

152648

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SICAKLIK ALGILAYICILARININ İNCELENMESİ,
KALİBRASYONU ve CAM SANAYİİNDE UYGULANMASI

Mustafa ÖZCAN
Teknik Öğretmen
141101220010073

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK EĞİTİMİ PROGRAMI

DANIŞMAN
Yrd. Doç. Dr. Fuat BÜYÜKTÜMTÜRK

İSTANBUL 2004

T.C.
MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KABUL VE ONAY BELGESİ

**SICAKLIK ALGILAYICILARININ İNCELENMESİ,
KALİBRASYONU ve CAM SANAYİİNDE UYGULANMASI**

Mustafa ÖZCAN'ın Sıcaklık Algılayıcılarının İncelenmesi, Kalibrasyonu Ve Cam Sanayiinde Uygulanması isimli Lisansüstü tez çalışması, M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunun 31.05.2004 tarih ve 2004/10-27 sayılı kararı ile oluşturulan jüri tarafından Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı Elektrik Eğitimi Programında YÜKSEK LİSANS Tezi olarak Kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Fuat BÜYÜKTÜMTÜRK

Üye : Doç. Dr. Koray TUNÇALP

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ferdi Boynak

Tezin Savunulduğu Tarih : 05.07.2004

ONAY

M.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26.07.2004 tarih ve 2004/13-44 sayılı kararı ile Mustafa ÖZCAN'ın Elektrik Anabilim Dalı Elektrik Eğitimi Programında Y.Lisans (MSc.) derecesi alması onanmıştır.

Marmara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Adnan AYDIN
MÜDÜR

ÖNSÖZ

Üzerinde çalışmak istediğim sıcaklık algılayıcıları konusunda bana desteğini sunan ve bu tezi almamı sağlayan tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Fuat BÜYÜKTÜMTÜRK'e öncelikle teşekkür ederim. Uygulama aşamasında gerekli olanakları sunan Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları, Anadolu Cam Sanayi A.Ş. Topkapı Fabrikasından Elektrik Elektronik Bakım-Onarım Şefi Sayın Faruk KURTULUŞ'a, Bakım-Onarım Teknisyeni Sayın Mevlüt BAYKAL'a, Cam Araştırma Merkezi Kalibrasyon Laboratuvarı sorumlusu Sayın Esat GÜNERTÜRKÜN'e, ilgili standartlar ve kalibrasyon yöntemleri hakkında yardımlarından dolayı TSE Kalite Kampusü Sıcaklık Laboratuvarından Sayın Aynur DAVUT'a, Sıcaklıkla ilgili ulusal ve uluslararası kuruluşlar hakkında yardımlarından dolayı TÜBİTAK-UME Sıcaklık Laboratuvarı Sorumlusu Sayın Doç. Dr. Sevilay UĞUR'a ve tezin düzenlenmesindeki yardımlarından dolayı Sayın Tek. Öğr. Muhammed Ozan AKI'ya teşekkür ederim.

Haziran 2004

Mustafa ÖZCAN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	ix
ABSTRACT	xi
YENİLİK BEYANI.....	xiii
SEMBOLLER LİSTESİ.....	xiv
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xvii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xxi
TABLolar LİSTESİ.....	xxvi
BÖLÜM I ISI VE SICAKLIK.....	1
I.1. GİRİŞ	1
I.2. TERMOMETRELER.....	2
I.2.1. Termometrelerin Gelişimi.....	2
I.3. SICAKLIK SKALALARI	3
I.3.1. Suyun Üç Hal Noktası.....	4
I.3.2. Isıl Özellikler.....	5
I.3.2.1. Özgül Isı	5
I.3.2.2. Isıl İletkenlik.....	5
I.3.2.3. Isıl Genleşme.....	5
I.4. METRE KONVENSİYONU (MC).....	5
I.4.1. Ölçüler ve Ağırlıklar Genel Konferansı (CGPM)	6
I.4.2. Ölçüler ve Ağırlıklar Uluslararası Komitesi (CIPM)	7
I.4.3. Ölçüler ve Ağırlıklar Uluslararası Bürosu (BIPM)	7
I.4.4. Danışma Komiteleri (CCs)	8
I.4.4.1. Termometri Danışma Komitesi (Consultative Committee for Thermometry -CCT)	8

I.4.5. NMI (Ulusal Metroloji Enstitüleri).....	9
I.5. METROLOJİ	10
I.5.1. Metrolojinin Bölümleri.....	11
I.5.1.1. Bilimsel Metroloji	11
I.5.1.2. Endüstriyel Metroloji.....	11
I.5.1.3. Yasal (Kanuni) Metroloji	11
I.6. ULUSAL ÖLÇÜM SİSTEMİ.....	11
I.6.1. UME (Ulusal Metroloji Enstitüsü)	12
I.6.1.1. UME Sıcaklık Standartları Laboratuvarı.....	14
I.6.1.1.a. Amaç ve Görevleri.....	14
I.6.1.1.b. Çalışma Alanları.....	15
I.6.2. TSE- Türk Standartları Enstitüsü.....	17
I.6.2.1. Amaç ve Görevleri	17
I.6.2.2. Çalışma Alanları.....	18
I.6.3. İzlenebilirlik ve Döngülü Karşılaştırma.....	20

BÖLÜM II SICAKLIK SKALALARI 21

II.1. GİRİŞ	21
II.1.1. 1990 Uluslararası Sıcaklık Skalası (ITS-90).....	21
II.1.2. Suyun Üçlü Noktası	25
II.1.2.1. Buz Noktası.....	25
II.1.3. Skala Tanımlamasında Kullanılan Sabit Noktalar	25
II.1.3.1. Metal Donma Ve Ergime Sabit Noktaları.....	26
II.1.3.2. Gazların Üçlü Noktası.....	26
II.1.4. 1927 Uluslararası Sıcaklık Skalası (ITS-27).....	26
II.1.5. 1948 Uluslararası Sıcaklık Skalası (ITS-48).....	27
II.1.6. 1960 değişimli 1948 Uluslararası Pratik Sıcaklık Skalası (IPTS-48)	27
II.1.7. 1968 Uluslararası Pratik Sıcaklık Skalası (IPTS-68)	28
II.1.8. 1975 değişimli 1968 Uluslararası Pratik Sıcaklık Skalası (IPTS-68/75)	28
II.1.9. 1976 0,5K – 30K Sıcaklık Aralığına Yönelik Sıcaklık Skalası (EPT-76).....	28

BÖLÜM III ÖLÇÜM, İSTATİSTİK VE İSTATİSTİKSEL ANALİZ YÖNTEMLERİ 30

III.1. GİRİŞ	30
III.2. TEMEL İSTATİSTİKSEL KAVRAMLAR.....	31
III.2.1. Ortalama Değer.....	31
III.2.2. Standart Sapma.....	31
III.2.3. Güven Aralığı ve Güven Aralığı Olasılığı.....	33
III.3. OLASILIK DAĞILIMLARI.....	34
III.3.1. Uniform Dağılım	34
III.3.2. Normal Dağılım (Çan Eğrisi)	35
III.4. ÖLÇÜMDE BELİRSİZLİK.....	36
III.4.1. Ölçüm Hataları.....	36

III.4.2. Ölçüm Belirsizliğini Oluşturan Etkenler	37
III.4.2.1. Tekrarlanabilirlik	37
III.4.2.2. Ölçüm Cihazının Performansı	37
III.4.2.3. Kalibratörün Belirsizliği	38
III.4.2.4. Ölçüm Cihazının Gösterge Hassasiyeti	38
III.4.2.5. Ortam Şartları	38
III.4.2.6. Diğer Belirsizlik Faktörleri	38
III.4.3. Kalibrasyon Belirsizlikleri ve Dağılımları	38
III.4.3.1. Örnek Uygulama	39

BÖLÜM IV SICAKLIK ALGILAYICILARI 42

IV.1. TERMOKUPUL (ISIL ÇİFT)	42
IV.1.1. Termokupul Çalışma Prensipleri	42
IV.1.2. Termoelektrik Etki (Seebeck Etkisi)	43
IV.1.3. Referans Nokta Kompanzasyonu	44
IV.1.3.1. Buz Hücresi Kullanarak Referans Nokta Kompanzasyonu	45
IV.1.3.2. Otomatik Kontrol Sistemi Kullanarak Referans Nokta Kompanzasyonu	45
IV.1.4. Termokupul Geriliminin Ölçümü	45
IV.1.4.1. Yazılım Kompanzasyonu	50
IV.1.4.2. Donanım Kompanzasyonu	51
IV.1.5. Sıcaklık Gerilim ve Gerilim Sıcaklık Dönüşüm Eşitlikleri	52
IV.1.5.1. Sıcaklık Gerilim Dönüşümü	52
IV.1.5.2. Gerilim Sıcaklık Dönüşümü	54
IV.1.6. Termokupul Temel Kanunları	55
IV.1.6.1. Termokupul Birinci Kanunu	55
IV.1.6.2. Arametal Kanunu	55
IV.1.6.3. Arasıcaklıklar Kanunu	56
IV.1.7. Termokupul Tipleri	56
IV.1.7.1. Platin İçeren Standart Tip Termokupullar	56
IV.1.7.2. Nikel İçeren Standart Tip Termokupullar	57
IV.1.7.3. Standart Olmayan Termokupullar	57
IV.1.8. Termokupul Tellerinin İzole Edilmesi	59
IV.1.8.1. Koruyucu Kılıflar	59
IV.1.8.1.a. Metal Kılıflar	60
IV.1.8.1.b. Seramik Tüpler	60
IV.1.8.2. Koruyucu Kılıf Seçimi	61
IV.1.9. Kavşak Bağlantıları	61
IV.1.9.1. Topraklı Tip Montaj	61
IV.1.9.2. Topraksız Tip Montaj	61
IV.1.9.3. Ucu Açık Tip Montaj	62
IV.1.10. Termokupul Kompanzasyon Kabloları (Uzatma Kabloları)	62
IV.1.11. Termokupullarda Girişim Önleme	63
IV.1.11.1. Ağaç Tip Anahtarlama	63
IV.1.11.2. Analog Filtre	64
IV.1.11.3. İntegrasyon	64
IV.1.11.3.a. Koruma	65
IV.1.12. Pratik Önlemler	66
IV.1.12.1. Zayıf Kavşak Bağlantıları	67

IV.1.12.2. Termokupul İletkenlerinin Kalibrasyonsuzluğu.....	68
IV.1.12.3. Şönt Empedans	69
IV.1.12.4. Galvonik Olaylar	69
IV.1.12.5. Termal Parelellik	70
IV.1.12.6. Girişim ve Sızıntı Akımları	70
IV.1.12.7. Termokupul Özellikleri	70
IV.1.12.8. Dökümantasyon	71
IV.1.13. Termokupul Arızalarının Tespiti	71
IV.1.13.1. Olay Kaydı.....	71
IV.1.13.2. Saha Kutusu Testi	72
IV.1.13.3. Termokupul Direnci	72
IV.1.13.3.a. Termokupul Direncinin Ölçümü.....	74
IV.1.14. Ölçme Sisteminde Dikkat Edilecek Hususlar	74
IV.2. RTD (RESISTANCE TEMPERATURE DETECTORS).....	75
IV.2.1. Çalışma Prensibi.....	75
IV.2.2. RTD Metalleri.....	77
IV.2.3. Üretimi.....	77
IV.2.4. RTD Özellikleri	79
IV.2.4.1. Joule Kaybı	79
IV.2.4.2. Doğruluk	79
IV.2.4.3. Kararlılık.....	79
IV.2.4.4. Tekrarlanabilirlik	80
IV.2.4.5. Cevap Verme Süresi	80
IV.2.4.6. İletken Tel Bağlantı Şekli (2,3,4 Telli Bağlantı)	80
IV.2.4.6.a. İki Telli Bağlantı	81
IV.2.4.6.b. Üç Telli Bağlantı	82
IV.2.4.6.c. Dört Telli Bağlantı	82
IV.2.5. Direnç Ölçümü.....	83
IV.2.5.1. Voltmetre Yöntemi	84
IV.2.5.2. Köprü Yöntemi	84
IV.2.5.3. Sıfır Dengeleme Yöntemi	86
IV.3. TERMİSTÖRLER	87
IV.3.1. Çalışma Prensibi.....	87
IV.3.2. Harcama Sabiti (Dissipation Constant-D.C.)	88
IV.3.3. Termistör Tipleri.....	89
IV.3.3.1. NTC Tip Termistörler.....	89
IV.3.3.1.a. Zaman Gecikmesi	90
IV.3.3.2. PTC Termistörler	90
IV.3.4. Termistör Uygulamaları	91
IV.3.4.1. Zaman Geciktirme	91
IV.3.4.2. Sıcaklık Ölçümü	91
IV.3.4.3. Sıcaklık Farkı.....	92
IV.3.4.4. Sıcaklık Kompanzasyonu	92
IV.3.4.5. Op-Ampli Ölçme Devresi.....	93
IV.4. TEMASSIZ SICAKLIK ÖLÇÜMÜ	94
IV.4.1. Gelişimi.....	94
IV.4.2. Kızılötesi Termometreler.....	94
IV.4.3. Radyasyonun Temelleri	97
IV.4.3.1. Siyah Yüzey Kavramı.....	99
IV.4.4. Pirometreler	100

IV.4.5. Emittans, Emissivite ve N Faktörü	102
IV.4.6. Radyasyon Termometresi Tipleri	103
IV.4.6.1. Geniş Bant Radyasyon Termometreleri	104
IV.4.6.2. Dar Bant Radyasyon Termometreleri	104
IV.4.6.3. Oransal Radyasyon Termometreleri	105
IV.4.6.4. Optik Radyasyon Termometreleri	107
IV.4.6.5. Fiberoptik Radyasyon Termometreleri	108
IV.4.7. Radyasyon termometresi Dedektör Tipleri	109
IV.4.7.1. Termal Dedektörler (Termopil)	109
IV.4.7.2. Kuantum Dedektörler	109
IV.5. ENTEGRE DEVRE SICAKLIK ALGILAYICILARI	110
IV.5.1. Giriş	110
IV.5.2. Analog Çıkış Veren Sıcaklık Algılayıcıları	111
IV.5.2.1. Gerilim Çıkışlı Algılayıcılar	111
IV.5.2.2. Akım Çıkışlı Algılayıcılar	112
IV.5.3. Sayısal Çıkış Veren Sıcaklık Algılayıcıları	113
IV.6. ISIL GENLEŞME PRENSİBİNE GÖRE ÇALIŞAN SICAKLIK ALGILAYICILARI	115
IV.6.1. Genleşme termometreleri	115
IV.6.2. Bimetal termometreler	116
IV.7. SICAKLIK ALGILAYICILARININ KARŞILAŞTIRILMASI	118
 BÖLÜM V KALİBRASYON	119
V.1. GİRİŞ	119
V.2. KALİBRASYONUN AMACI	120
V.3. ISO 9000 VE KALİBRASYON	121
V.4. KALİBRASYON SERTİFİKASI	122
V.5. KALİBRASYON PROSEDÜRÜ	122
V.6. DENEY VE KALİBRASYON LABORATUVARLARININ YETERLİLİĞİ İÇİN GENEL ŞARTLAR (TS EN ISO/IEC 17025)	124
V.7. TERMOKUPUL KALİBRASYONU	127
V.7.1. Uyumluluk Veya Tip Uygunluğu	128
V.7.2. Daldırma Uygunluğu	128
V.7.3. Platin İçeren Termokupulların Kalibrasyonu	128
V.7.4. Termokupulların Karşılaştırma Yöntemi İle Kalibrasyonu	129
V.7.4.1. Kalibrasyonda Kullanılan Cihazlar	130
V.7.4.1.a. Karşılaştırmacı Banyolar ve Fırınlar	130
V.7.4.1.b. Akışkan Banyolar	130
V.7.4.1.c. Akışkan Toz Banyolar	130
V.7.4.1.d. Tüp Fırınlar	130
V.7.4.1.e. Diğer Banyolar	130
V.7.4.2. Referans Kavşak	131
V.7.4.3. Gerilim (Emk) Ölçüm Cihazları	131
V.7.4.3.a. A Gurubu Potansiyometreler	131
V.7.4.3.b. B Gurubu Potansiyometreler	131
V.7.4.3.c. C Gurubu Potansiyometreler	131
V.7.4.4. Bağlantı Telleri	132
V.7.4.5. Referans Termometreler	132
V.7.4.5.a. Platin Dirençli Termometreler	132

V.7.4.5.b. Cam Hazneli Sıvı Termometreler	132
V.7.4.5.c. R ve S Tip Termokupullar.....	132
V.7.4.5.d. B Tip Termokupul.....	133
V.7.4.5.e. T Tip Termokupul.....	133
V.7.4.5.f. Aynı Tip Termokupullar.....	133
V.7.4.6. Kalibrasyon Prosedürleri	134
V.7.4.6.a. A Prosedürü.....	134
V.7.4.6.b. B Prosedürü.....	135
V.7.4.6.c. C Prosedürü.....	136
V.7.4.7. Termokupulların Kalibrasyona Hazırlanışı.....	137
V.7.4.7.a. B, R Ve S Tip Termokupulların Kalibrasyona Hazırlanışı	138
V.7.4.7.b. Laboratuvar Fırınlarındaki Nikel İçeren Termokupulların Kalibrasyona Hazırlanışı.....	138
V.7.4.7.c. Akışkan Yataklı Banyolardaki Nikel İçeren Termokupulların Kalibrasyona Hazırlanışı	138
V.7.4.8. Kalibrasyon Verilerinin Toplanması.....	139
V.7.4.8.a. Laboratuvar Fırınlarındaki Termokupullar	139
V.7.4.8.b. Akışkan Yataklı Banyolardaki Termokupullar	140
V.8. ENDÜSTRİYEL DİRENÇ TERMOMETRELERİNİN KALİBRASYONU.....	140
V.8.1. Kalibrasyon Yöntemleri.....	140
V.8.1.1. Karşılaştırma Yöntemi.....	141
V.8.1.2. Sabit Noktalar Yöntemi	141
V.8.2. Kalibrasyonda Kullanılan Banyolar	141
V.8.2.1. Sabit Nokta Banyoları.....	141
V.8.2.1.a. Buz Noktası Banyoları	141
V.8.2.1.b. Donma Noktası Standartları.....	142
V.8.2.2. Akışkan Banyolar.....	143
V.8.2.3. Su Banyoları.....	144
V.8.2.4. Tuz Banyoları.....	144
V.8.2.5. Dondurulmuş Banyolar	144
V.8.2.6. Buhar Banyoları	144
V.8.3. Kalibrasyonda Kullanılan Referans Termometreler	145
V.8.3.1. Standart Platin Dirençli Termometreler (SPRT).....	145
V.8.3.2. Referans Termokupullar	145
V.9. RADYASYON TERMOMETRELERİNİN KALİBRASYONU	146
V.9.1. Kalibrasyon Yöntemleri.....	146
V.9.1.1. Tungsten Şeritli Lamba Kullanarak	146
V.9.1.2. Transfer Standart Radyometresi Kullanarak.....	147
V.9.1.3. Termokupul veya Dirençli Termometre Kullanarak.....	147
V.9.2. Tungsten Şeritli Lambalar.....	147
V.9.3. Pratik Siyah Yüzeyler.....	148
V.9.4. Radyasyon Termometresi Kalibrasyon Uygulaması Örneği.....	149
V.9.4.1. Kayıtların İncelenmesi	149
V.9.4.2. Göz İle Kontrol	149
V.9.4.3. Koşullandırma ve Ayar	149
V.9.4.4. Jenerik Kontroller	150
V.9.4.4.a. Detaylı Göz İle Kontrol.....	150
V.9.4.4.b. Kararlılık ve Durulma	150
V.9.4.4.c. Hedef Çapı Etkileri (Size-of-object effects)	150

V.9.4.4.d. Emissivite Kalibrasyonu	151
V.9.4.5. Döngülü Karşılaştırma	151
V.9.4.6. Analiz	152
V.9.4.7. Belirsizlikler	152
V.9.4.8. Son Kayıtlar	154
BÖLÜM VI UYGULAMA	155
VI.1. CAM	155
VI.1.1. Giriş	155
VI.1.2. Camın Tanımı	155
VI.1.3. Camın Yapısı Ve Ana Bileşenleri	156
VI.1.4. Cam Kompozisyonları	157
VI.1.5. Camın Koşullandırılması	158
VI.1.5.1. Forehearth ve Feeder	159
VI.1.5.2. Koşullandırmanın ve Forehearth'ın Etkinliği	160
VI.1.5.3. Forehearth Seçim Kriterleri	161
VI.1.5.4. Forehearth'ın Etkin İşletilmesine Etki Eden Faktörler ve Kontrol Sisteminin Önemi	162
VI.2. PROSES KONTROL SİSTEMİ	162
VI.2.1. Proses İstasyonları	163
VI.2.2. Proses Arabirim Kartları	164
VI.2.3. Koordinatör İstasyon	166
VI.2.4. Merkezi Operatör İstasyonları	166
VI.2.5. Yerel Operatör Paneli	166
VI.2.6. Yedekleme	166
VI.2.7. Yol Abonelerinin Kuplağı	166
VI.3. UYGULAMADA KULLANILAN PROSES ARABİRİM KARTLARI	167
VI.3.1. Pirometre Arabirim Kartı	167
VI.3.2. Termokupul Arabirim Kartı	169
VI.4. TERMOKUPULLARIN HAZIRLANIŞI	172
VI.5. TERMOKUPULLARIN KALİBRASYONU	175
VI.6. PİROMETRE KALİBRASYONU	182
VI.7. ALGILAYICILARIN TESİSİ	188
BÖLÜM VII SONUÇLAR VE TARTIŞMA	192
KAYNAKLAR	194
EKLER	197
ÖZGEÇMİŞ	199

ÖZET

Sıcaklık Algılayıcılarının İncelenmesi, Kalibrasyonu ve Cam Sanayiiinde Uygulanması

İşletmelerde proses kontrolünün sağlanmasında işletme parametrelerinin ölçümü gereklidir. Bu parametreler çeşitli ölçüm cihazları kullanılarak elde edilir. Sıcaklık ölçümü proses kontrolünün sağlanmasında kullanılan temel ölçümler arasında yer alır.

Cisimleri ısıtılması ve soğutulması sonucu çeşitli fiziksel değişimlerin meydana gelmesinin yanı sıra kimyasal reaksiyon hızlanması ve renklerin değişimi gibi fark edilebilir değişimler de oluşmaktadır. Bazı bileşimler ve metallerde sıcaklık etkisiyle meydana gelen karakteristiksel elektriksel değişimler de ancak belirli sistemler kullanılarak tespit edilebilir. Açıklanan bu özelliklerden yararlanılarak çeşitli prensiplerle çalışan sıcaklık algılayıcıları geliştirilmiştir. Bu algılayıcılar kullanılarak gerçekleştirilen sıcaklık ölçümü sanayide proses kontrolü amacıyla uygulanır.

Bu çalışmada yaygın kullanıma sahip olan rezistif sıcaklık algılayıcıları, ısı elektrik prensibine göre çalışan sıcaklık algılayıcıları, ışıyım prensibine göre çalışan sıcaklık algılayıcıları, yarıiletken sıcaklık algılayıcıları ve ısı genleşme prensibine göre çalışan sıcaklık algılayıcıları incelenmiş ve bu algılayıcıların avantaj ve dezavantajları açıklanmıştır. Sıcaklık algılayıcılarının kalibrasyon yöntemleri açıklanarak sıcaklıkla ilgili standartlar ve ölçekler hakkında bilgi verilmiş ve sıcaklıkla ilgili ulusal ve uluslararası kuruluşlar incelenmiştir.

Uygulama aşamasında Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. Anadolu Cam Sanayii A.Ş. Topkapı Fabrikasında A Fırını 2.Hat Forehearth 2. Bölgesine (A2–Zone 2), üretimi ve kalibrasyonu yapılan üç adet B tipi termokupul ve kalibrasyonu yapılan bir adet pirometre monte edilerek kaliteli damla oluşumunda etkin olan

forehearth çıkış sıcaklığının ve cam homojenitesinin kontrolü amaçlı ölçümler yapılmıştır.

Sıcaklık algılayıcılarının, ilgili standartların, algılayıcıların kalibrasyon yöntemlerinin, ilgili ölçüklerin ve ulusal ve uluslararası kurumların incelenmesinde, yerli ve yabancı kitaplar, makaleler, bildiriler ve internetten yararlanılmış ve ilgili kişiler ile kişisel görüşmeler ve yazışmalar yapılmıştır. Termokupulların üretilmesi ve genel olarak termokupul ve pirometrelerin tesisi ve hazırlanışı aşamasında Anadolu Cam Sanayii A.Ş. Topkapı Fabrikası Elektrik-Elektronik Bakım Atölyesi imkanlarından yararlanılmış, termokupulların ve pirometrenin kalibrasyonları Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. Cam Araştırma Merkezi Kalibrasyon Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Uygulama aşamasında, proseste ürünler için gerekli sıcaklık değerleri 1148 – 1215 °C aralığında değiştiğinden, ölçüm aralığı en geniş (0 – 1700 °C) ve hata oranı 800 °C üzerinde 0,5 °C seviyesinde olan, cam sanayiinde yaygın kullanıma sahip B tip termokupul kullanılmıştır. Temaslı bir sıcaklık algılayıcısı olan termokupulun genel olarak seçilme nedeni ise forehearth'taki camın homojenitesinin kontrolüdür. Bu amaçla termokupullar eriyik haldeki camın orta seviyesine belirli ve eşit aralıklarla yerleştirilmişlerdir.

Camın ısıtılması ve soğutulması burülörler aracılığıyla yüzeyden gerçekleştirilir ve değişen ürünlere bağlı olarak forehearth'da ani sıcaklık değişimleri meydana gelir. Bu sıcaklık değişimlerini hızlı olarak algılamak ve sıcaklık değerini kontrol etmek amacıyla akışkan cam yüzeyi sıcaklığını ölçmede temassız bir algılayıcı olan, cevap verme süresi yüksek kızılötesi radyasyon pirometresi kullanılmıştır.

Haziran 2004

Mustafa ÖZCAN

ABSTRACT

A Study of Temperature Sensors, Calibration and Their Application in Glass Industry

In industry, process control can be maintained by measuring operation parameters. These parameters are obtained with various measurement devices. Temperature measurement is one of the essential measurements used to provide process control.

A variety of remarkable physical changes, chemical reaction acceleration and alteration of color occurs when the substances are heated and cooled. Some compositions and metals that are subjected to the temperature produce characteristic electrical changes. These changes can only be detected by special systems. Temperature sensors which use discussed features are produced to measure temperature in industry.

In this study, most common temperature sensors- resistance temperature detectors (RTD's), thermocouples, pyrometers, semiconductor temperature sensors and sensors that use thermal expansion principle- have been examined and their advantages and disadvantages have been explained. Temperature sensors calibration methods have been explained and information, about temperature related national and international standards and scales have been given. National and international organizations related with temperature have also been examined.

In the application phase, produced and calibrated three B type thermocouples and a calibrated pyrometer have been mounted at Furnace A Line 2 Forehearth Zone 2 (A2 Zone 2) in the Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş. Anadolu Cam Sanayii A.Ş. Topkapı Plant. By using mounted temperature sensors, measurements have been made to control the forehearth output temperature and glass homogeneity that is important for the quality of glass drop.

National and international books, articles, proclamations and the Internet have been used and discussions and correspondences have been made by experts to examine the temperature sensors, related standards, scales and national and international organizations. Anadolu Cam Sanayii A.Ş. Topkapı Plant Electric&Electronics Workshop facilities have been used for producing thermocouples, mounting and preparing thermocouples and pyrometer. Thermocouples' and pyrometer's calibrations have been carried out at Glass Research Center Calibration Laboratory in the Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş..

B type thermocouple which has a wide temperature range(0 – 1700 °C); 0,5 °C limit of errors over 800°C and most commonly used thermocouple in glass industry has been used for the process temperature range (1148 – 1215 °C). Generally, termocouple, a contact temperature sensor, has been used to determine the forehearth homogeneity and for this purpose, thermocouples have been located in the centre of molten glass with equal and determined distances.

As a process necessity, glass is heated and cooled on the surface and when the production changes, instant temperature changes occurs at the forehearth. These changes must be controlled simultaneously for the process. For this reason, Infrared Radiation Pyrometer, a non-contact temperature sensor, which has a high response time has been used to control and detect the instant temperature changes at the forehearth.

Haziran 2004

Mustafa ÖZCAN

YENİLİK BEYANI

Cam üretiminde; “ergitme”, “koşullandırma” ve “şekillendirme” başlıkları altında incelenen işlemler sırasının orta aşamasını oluşturan koşullandırma bölümünün forehearthda gerçekleştirilmesi önemli bir işlemdir. Forehearthda gerçekleştirilen sıcaklık kontrolü, kaliteli damla elde edilmesinde büyük öneme sahiptir. Mevcut üretim sistemi içerisinde sıcaklık kontrolü forehearth son bölgesi çıkışında yer alan pirometre ile yapılmaktadır. Ancak bu durum camın şekillendirme işlemine tabi tutulması için gerekli koşullara sahip olup olmadığının tespiti için yeterli değildir.

İstenen özellikte damlanın eldesi için camın şekillendirme aşamasına girmeden önce homojenitesinin ve sıcaklık değerinin tespiti gereklidir. Uygulama halindeki kontrol sisteminde sisteme sadece pirometre bağlı olduğundan homojenite tespiti yapılamamakta ancak üretilen ürünlerin gramaj kontrolleri ve diğer bazı kontrollerin sonucuna göre set değerinde değişiklik yapılarak istenilen özellikler elde edilmektedir.

Yapılan çalışmada forehearth son bölgesine eşit derinliklerde ve mesafelerde tesis edilen üç adet tekli termokupul ile homojenitenin kontrolü ve pirometre ile sıcaklık değişimleri kontrol edilmiştir. Elde edilen değerler karşılaştırılmış ve cam üretim sisteminde yer alan forehearth kontrolüne uygun sıcaklık algılayıcıların seçimi ve tesisi hakkında çeşitli sonuçlara varılmış ve daha verimli bir üretim için çözüm önerileri getirilmiştir.

Bu çalışma sıcaklık algılayıcıları ve bunların cam sanayinde uygulanmasında sonraki çalışmalara bir referans niteliği taşımaktadır.

Haziran 2004 Yrd. Doç. Dr. Fuat BÜYÜKTÜMTÜRK Mustafa ÖZCAN

SEMBOLLER LİSTESİ

a, b	: Dağılım aralığı başlangıç ve bitiş değerleri
c	: Özgül ısı (Cal/gr °C)
k	: Isıl iletkenlik (Cal/ms°C)
n	: Toplam ölçüm sayısı
T	: Termodinamik sıcaklık (K)
T_{90}	: ITS-90 skalasında Kelvin sıcaklığı
t_{90}	: ITS-90 skalasında Celcius sıcaklığı
S	: Standart sapma
$\bar{X}$	: Ölçüm sonuçlarının ortalama değeri.
X_i	: i nolu ölçüm
S_X	: Ortalama değerin standart sapması
t	: Malzeme sıcaklığı (°C)
k_n	: Doğrulama katsayısı
U	: Üst güven sınırı
L	: Alt güven sınırı
X	: Ortalama değer
P	: Güven aralığı olasılığı
u	: Belirsizlik
t	: Güven katsayısı
S_r	: Referans standardın (kalibratörün) belirsizliği
S_t	: Tekrarlanabilirlik
S_s	: Ölçüm cihazının performansı
S_{ok}	: Ölçüm cihazının en küçük okuma aralığı (Gösterge hassasiyeti)
S_{op}	: Operatörden kaynaklanan hatalar
U_T	: Toplam belirsizlik
S_{toplam}	: Toplam standart sapma
T_{jet}	: Jonksiyon sıcaklığı

T_{Ref}	: Referans sıcaklığı
S_{AB}	: Seebeck katsayısı ($\mu V/^{\circ}C$).
ΔV	: Termokupul çıkış gerilimi
V_{J1}	: Sıcak jonksiyon gerilimi
V_{J2}	: Soğuk jonksiyon gerilimi olarak tanımlanır
Cu	: Bakır termokupul iletkeni
C	: Konstantan termokupul iletkeni
Fe	: Demir termokupul iletkeni.
E	: Termoelektrik gerilim (μV)
a_n	: Termoelektrik tipine bağlı olarak değişen polinomial katsayı
T	: Sıcaklık ($^{\circ}C$)
n	: Polinom terim sayısı
ρ	: Orantı sabiti veya öz direnç ($\Omega mm^2/m$)
L	: Metal telin boyu (m)
A	: Metal tel kesiti (mm^2)
ρ_t	: t sıcaklığındaki öz direnç
ρ_0	: t_0 standart sıcaklığındaki öz direnç
a	: Direnç sıcaklık katsayısı ($^{\circ}C^{-1}$)
R_0	: Donma noktasındaki sıcaklık
α	: Callendar-Van Dusen Sabiti
δ	: Callendar-Van Dusen Sabiti
β	: Callendar-Van Dusen Sabiti
A,B,C	: Steinhart-Hart denklemi termistör katsayıları
β	: NTC'lerde belli bir sıcaklık aralığı üzerindeki direncin üstel ifadesi
E	: Bir quantumun toplam enerjisi
h	: Planck sabiti
ν	: Radyasyon frekansı ($1/sn$)
p	: Foton momentumu
c	: Işık hızı ($2,9979.10^8 m/sn$)
ϵ	: Emissivite
α	: Gerçek bir yüzey tarafından emilen radyasyon miktarı
σ	: Stefan-Boltzmann sabiti ($5,67.10^{-8} W/m^2K^4$)
T_s	: Yüzey sıcaklığı

T_{sur}	: Çevre sıcaklığı
$V(T)$	: Sıcaklıkla değişen termometre çıkış gerilimi (V)
T	: Nesne sıcaklığı
N	: N Faktörü ($14388/(\lambda.T)$)
λ	: Eşdeğer dalga boyu
SI/O	: Seri yollu çift yönlü yardımcı giriş-çıkış ucu
SC	: Seri yollu yardımcı clock giriş ucu
NC	: Bağlantı yapılmaz
GND	: Güç kaynağı toprak ucu
CS	: Chip select ucu
V^+	: Pozitif gerilim besleme ucu
L_0	: T_0 sıcaklığındaki metal çubuk uzunluğu
L_1	: T_1 sıcaklığındaki metal çubuk uzunluğu
γ	: Doğrusal termik genleşme katsayısı
V_0	: T_0 sıcaklığındaki hacim
V_1	: T_1 sıcaklığındaki hacim
α	: Hacimsel termik genleşme katsayısı
ρ_{eff}	: Oyuğun efektif reflektansı
ρ_s	: Oyuğun malzemesi reflektansı
r	: Açıklık yarıçapı
R	: Açıklıkla oyuk arka yüzeyi arasındaki mesafe
ϵ_s	: Yüzeyin emissivitesi
SiO_2	: Silika
B_2O_3	: Boroksit

KISALTMALAR LİSTESİ

AIEA/IAEA	: Dosimetry and Medical Radiation Physics Section / International Atomic Energy Agency
AIST	: National Metrology Institute of Japan, Department of National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
ASTM	: the American Society for Testing and Materials
BIPM	: the Bureau International des Poids et Mesures (Ölçüler ve Ağırlıklar Uluslararası Bürosu)
BNM-INM	: Institut National de Métrologie
CCAUV	: Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration (Akustik, Ultrason ve Titreşim Danışma Komitesi)
CCEM	: Consultative Committee for Electricity and Magnetism (Elektrik ve Manyetizma Danışma Komitesi)
CCL	: Consultative Committee for Length (Uzunluk Danışma Komitesi)
CCM	: Consultative Committee for Mass and Related Quantities (Kütle ve İlgili Büyüklükler Danışma Komitesi)
CCPR	: Consultative Committee for Photometry and Radiometry (Fotometri ve Radyometri Danışma Komitesi)
CCQM	: Consultative Committee for Amount of Substance (Madde Miktarı Danışma Komitesi)
CCRI	: Consultative Committee for Ionizing Radiation (İyonize Radyasyon Danışma Komitesi)
CCs	: Consultative Committees (Danışma Komiteleri)
CCT	: Consultative Committee for Thermometry (Termometri Danışma Komitesi)
CCTF	: Consultative Committee for Time and Frequency (Zaman ve Frekans Danışma Komitesi)
CCU	: Consultative Committee for Units (Birimler Danışma Komitesi)

CEM	: Centro Español de Metrología
CENAM	: Centro Nacional de Metrología
CGPM	: General Conference on Weights and Measures (Ölçüler ve Ağırlıklar Genel Konferansı)
CIPM	: International Committee for Weights and Measures (Ölçüler ve Ağırlıklar Uluslararası Komitesi)
CPU	: Central Processing Unit (Merkezi İşlem birimi)
CSIR-NML	: National Metrology Laboratory
D.C.	: Dissipation Constant (Harcama Sabiti)
DCS	: Distributed Control System
EPT-76	: The 1976 Provisional 0,5 K to 30 K Temperature Scale (1976 0,5K – 30K Sıcaklık Aralığına Yönelik Sıcaklık Skalası)
EURACHEM	: Avrupa Analitik Kimya Laboratuvarları Birliği
EUROMET QS-Forum	: Avrupa Metroloji Enstitüleri Birliği Kalite Sistemi Forumu
EUROMET	: Avrupa Metroloji Enstitüleri Birliği
F.H.	: Foreheart
IEC	: International Electrotechnical Commission (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
IEC/DIN	: International Electrotechnical Commision - Deutsch Institut für Normung
ILAC	: The International Laboratory Accreditation Conference (Uluslararası akreditasyon Konferansı)
IMEKO	: Uluslararası Ölçme Konfederasyonu
IMGC-CNR	: Istituto di Metrologia "Gustavo Colonnetti" del Consiglio Nazionale delle Ricerche
INTI	: Instituto Nacional de Tecnología Industrial
IPQ	: Instituto Português da Qualidade
IPTS-48	: The International Practical Temperature Scale of 1948 (Amended Edition of 1960 (1960 değişimli 1948 Uluslar arası pratik Sıcaklık Skalası)
IPTS-68	: The International Practical Temperature Scale of 1968 (1968 Uluslararası Pratik Sıcaklık Skalası)

IPTS-68/75	: The International Practical Temperature Scale of 1968 (Amended Edition of 1975 (1975 değişimli 1968 Uluslararası Pratik Sıcaklık Skalası)
IR	: Infrared (Kızılötesi)
IRMM	: Institute for Reference Materials and Measurements
IRT	: Kızılötesi Radyasyon Termometresi
ISO	: International Standards Organisation (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)
ITS-27	: The International Temperature Scale of 1927 (1927 Uluslararası Sıcaklık Skalası)
ITS-48	: The International Temperature Scale of 1948 (1948 Uluslararası Sıcaklık Skalası)
ITS-90	: The International Temperature Scale of 1990 (1990 Uluslararası Sıcaklık Skalası)
KRISS	: Korea Research Institute of Standards and Science
MC	: Metre Convention (Metre Konvensiyonu)
MENAMET	: Ortadoğu ve Kuzey Afrika Ülkeleri Metroloji İşbirliği Antlaşması
MSL	: Measurement Standards Laboratory of New Zealand
NBS	: National Bureau of Standards
NIM	: National Institute of Metrology
NIST	: National Institute of Standards and Technology
NMI	: National Metrology Institutes (Ulusal Metroloji Enstitüleri)
NMi VSL	: Nederlands Meetinstituut/Van Swinden Laboratorium
NML CSIRO	: National Measurement Laboratory CSIRO
NMS	: National Measurement System (Ulusal Ölçüm Sistemi)
NPL	: National Physical Laboratory
NRC	: National Research Council of Canada.
NTC	: Negative Temperature Coefficient (Negatif sıcaklık Katsayılı Termistör)
PTB	: Physikalisch-Technische Bundesanstalt
PTC	: Positive temperature coefficient (Pozitif sıcaklık Katsayılı Termistör)
RH	: Bağıl nem
RMS	: Root Mean Square (Efektif Değer)

ROM	: Read Only Memory (Sadece okunabilir bellek)
RTD	: Resistance Temperature Detectors (Dirençli Sıcaklık Algılayıcıları)
SI	: Standard International (Uluslar arası birim sistemi)
SMU	: Slovak Institute of Metrology/Slovenskí Metrologický Ústav
SPRING	: Standards, Productivity and Innovation Board
SPRT	: Standart platin dirençli termometre
SÜN	: Suyun üçlü noktası
TKS	: Türk Kalibrasyon Servisi
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
TÜRKAK	: Türkiye Akreditasyon Kurumu
UME	: National Metrology Institute of Turkey (Ulusal Metroloji Enstitüsü)
UV	: Ultraviole (Morötesi)
VNIIFTRI	: Institute for Physical-Technical and Radiotechnical Measurements, Gosstandart of Russia
VNIIM	: D.I. Mendeleyev Institute for Metrology, Gosstandart of Russia

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
Şekil I.1.Civalı termometre yapısı.....	2
Şekil I.2 Florentine termoskop	3
Şekil I.3 Suyun üç hal noktası	4
Şekil I.4 Uluslararası metroloji ve kalibrasyon organizasyonu	6
Şekil I.5 Ulusal ölçüm sisteminde izlenebilirlik	12
Şekil I.6 İzlenebilirlik Ve Döngülü Karşılaştırma Oluşum Şeması	20
Şekil II.1 ITS –90 temel özellikleri.....	22
Şekil III.1 Standart sapmaların toplanması.....	32
Şekil III.2 Standart sapmalarda meydana gelebilecek artış	32
Şekil III.3 Ortalama değerin değişimi.....	32
Şekil III.4 Uniform dağılım grafiği.....	35
Şekil III.5 Normal dağılım grafiği	36
Şekil IV.1 Termokupul temel yapısı	42
Şekil IV.2 Seebeck etkisi.....	43
Şekil IV.3 Referans nokta kompanzasyon şeması.....	44
Şekil IV.4 Buz hücresi.....	45
Şekil IV.5 Soğuk jonksiyon sıcaklığının otomatik kontrolü	45
Şekil IV.6 Kavşak geriliminin DVM ile ölçümü	46
Şekil IV.7 Harici referans kavşak.....	47
Şekil IV.8 Demir-Konstantan çift	47
Şekil IV.9 Kavşak geriliminin iptali.....	47
Şekil IV.10 Kavşakların DVM terminalerinden kaldırılması	48
Şekil IV.11 Buz banyosunun iptali	48
Şekil IV.12 İzotermal blokların birleştirilmesi.....	49
Şekil IV.13 Arametaller kanunu.....	49
Şekil IV.14 Arametal eşdeğer devresi.....	49

Şekil IV.15 Buz banyosu bulunmayan harici referans kavşak	50
Şekil IV.16 Çoklu ölçüm düzeneği	51
Şekil IV.17 Pratik yazılım kompanzasyonu	52
Şekil IV.18 Donanım kompanzasyonu devresi	52
Şekil IV.19 Termokupul birinci kanunu.....	55
Şekil IV.20 Ara metaller kanunu.....	55
Şekil IV.21 Ara sıcaklıklar kanunu	56
Şekil IV.22 (a) İki bacak izole edilmiş çift delikli tek tek izolatör (b) Seramik kılıf içinde tek delikli izolatör,tek bacak izole (c) Yekpare tek izolatör, ince telli termokupullar için (PtRh-Pt)	59
Şekil IV.23 Topraklı tip montaj	61
Şekil IV.24 Topraksız tip montaj	62
Şekil IV.25 Ucu açık tip montaj	62
Şekil IV.26 Ağaç tip anahtarlama	64
Şekil IV.27 Analog filtre	64
Şekil IV.28 Girişim akımının yönünün değiştirilmesi	65
Şekil IV.29 Metal ergitme potası	66
Şekil IV.30 Metal ergitme potası ölçüm düzeneği eşdeğer devresi	66
Şekil IV.31 Koruyucu tel bağlantısı	66
Şekil IV.32 Termokupul kaynaklama işlemi.....	67
Şekil IV.33 Gerilim üreten gradyenler	68
Şekil IV.34 Sızıntı direnci	69
Şekil IV.35 Görünür kavşak.....	69
Şekil IV.36 Termokupulun saha kutusu üzerinden kısa devre edilmesi	72
Şekil IV.37 Ateşlenen bir yer altı kömür filizinin sıcaklık profili	73
Şekil IV.38 Termokupul Direnç-Zaman değişim eğrisi	73
Şekil IV.39 Direnç değişim etkisi	73
Şekil IV.40 Sargılı tip RTD'ler	78
Şekil IV.41 Film levha tip RTD'ler.....	78
Şekil IV.42 Uzatma kablosu etkisi	81
Şekil IV.43 İki telli bağlantı	81
Şekil IV.44 Üç telli RTD bağlantısı	82
Şekil IV.45 Dört telli RTD bağlantısı	83

Şekil IV.46 Diferansiyel yükselteç kullanılarak direnç değişiminin gerilim bilgisine dönüştürülmesi	83
Şekil IV.47 Voltmetre yöntemi	84
Şekil IV.48 Köprü yöntemi	84
Şekil IV.49 $R_3 \gg R_T$ ve $R_1 \gg R_2$ yapılması	86
Şekil IV.50 Köprü çıkışının doğrusallaştırılması	86
Şekil IV.51 Sıfır dengeleme yöntemi	87
Şekil IV.52 Tipik bir NTC R/T eğrisi	90
Şekil IV.53 Zaman gecikme değerleri.....	90
Şekil IV.54 Zaman geciktirme devresi.....	91
Şekil IV.55 NTC'li köprü devresi	92
Şekil IV.56 NTC ile sıcaklık farkı ölçümü.....	92
Şekil IV.57 Kompanzasyonlu devre eğrisi.....	93
Şekil IV.58 NTC'li sıcaklık kompanzasyon devresi	93
Şekil IV.59 Op-ampli termistör devresi	93
Şekil IV.60 Kızılötesi termometre prensibi.....	94
Şekil IV.61 Herschel deneyi.....	95
Şekil IV.62 Elektromanyetik spektrum.....	98
Şekil IV.63 Yayınan enerji dengesi.....	99
Şekil IV.64 Spektral dağılımlar.....	100
Şekil IV.65 Temel kızılötesi termometre	101
Şekil IV.66 Kızılötesi bölgedeki siyahyüzey yayınıcı	105
Şekil IV.67 İki renkli kızılötesi termometre.....	106
Şekil IV.68 Oransal kızılötesi termometre yapısı	106
Şekil IV.69 Görsel karşılaştırmalı optik pirometre	107
Şekil IV.70 Otomatik optik pirometre.....	108
Şekil IV.71 Termopil.....	109
Şekil IV.72 Kuantum algılayıcı.....	110
Şekil IV.73 Işınım prensipli algılayıcı çalışma şeması	110
Şekil IV.74 LM 335 iç yapısı	111
Şekil IV.75 Temel ölçme düzeneği	112
Şekil IV.76 25°C de 2,982V gerilim çıkışı verecek şekilde kalibre edilmiş ölçme düzeneği	112
Şekil IV.77 LM 134 ayak bağlantıları.....	113

Şekil IV.78 Akım kaynağı temel devresi	113
Şekil IV.79 LM 74 blok diyagramı	114
Şekil IV.80 LM 74 entegre ayak bağlantıları	114
Şekil IV.81 LM 74 uygulaması	115
Şekil IV.82 Katı çubuğun sıcaklıkla genişmesi	115
Şekil IV.83 Sıvının sıcaklıkla genişmesi	116
Şekil IV.84 Bimetal termometre	117
Şekil IV.85 Bimetal uygulama devresi	117
Şekil V.1 İki potansiyometre yöntemi prensip şeması	134
Şekil V.2 Tek potansiyometre ve seçici bir anahtar içeren düzeneğin prensip şeması	135
Şekil V.3 Yalıtıcı gerilim karşılaştırma devresi prensip şeması	136
Şekil V.4 Termokupulun koruyucu tüp içerisine yerleştirilmesi	137
Şekil V.5 Tipik metal donma noktası hücresi	142
Şekil V.6 Tipik donma noktası fırını	142
Şekil V.7 Metal donma noktası hücresi zaman- sıcaklık ilişkisi	143
Şekil V.8 Tipik Buhar Banyosu	145
Şekil V.9 Radyasyon termometrelerinin kalibrasyonunda kullanılan temel üç izlenebilirlik zinciri: (a) Tungsten şeritli lamba kullanarak; (b) Transfer standart radyometresi kullanarak; (c) Termokupul veya dirençli termometre kullanarak	146
Şekil V.10 Siyahyüzey oyuğunun basit bir örneği	148
Şekil VI.1 Camın koşullandırılması	159
Şekil VI.2 Koşullandırma sürecindeki sıcaklık profili	161
Şekil VI.3 Sıcaklık dağılımı ve ısı homojenite ilişkisi	161
Şekil VI.4 Contronic P genel sistem yapısı	164
Şekil VI.5 Proses istasyonu prensip şeması	165
Şekil VI.6 Proses arabirim kartları	165
Şekil VI.7 Yol abonelerinin kuplajlanması	167
Şekil VI.8 PEA02 kartının blok diyagramı	168
Şekil VI.9 MUX analog giriş kartı blok diyagramı	170
Şekil VI.10 Termokupul iletkenleri ve seramik izolatörler	172
Şekil VI.11 Seramik izolatörler	173
Şekil VI.12 Termokupul jonksiyon noktası	173

Şekil VI.13 Termokupul klemens kutusu ve kompanzasyon kablosu bağlantısı.....	174
Şekil VI.14 LAND T/CAL 1600 kalibrasyon fırını	175
Şekil VI.15 Eurotron Microcal 2000 kalibratör	176
Şekil VI.16 B tipi referans termokupul	177
Şekil VI.17 Termokupulların seçici anahtara bağlanması.....	178
Şekil VI.18 Termokupulların fırın içerisine yerleştirilmesi	178
Şekil VI.19 Termokupul kalibrasyonu ölçüm sonuçlarının kaydedilmesi	179
Şekil VI.20 Matrix Technologies FIBER TEMP II pirometresinin genel görünümü.....	183
Şekil VI.21 Pirometre kalibrasyon düzeneği.....	184
Şekil VI.22 Pirometre kalibrasyon düzeneğinin genel görünümü	184
Şekil VI.23 Pirometre kalibrasyonu ölçüm sonuçlarının kaydedilmesi	185
Şekil VI.24 4-20 mA sıcaklık grafiği	186
Şekil VI.25 Foreheart boyutları.....	188
Şekil VI.26 Koşullandırma sisteminin bölümleri.....	188
Şekil VI.27 Termokupulların montajı	189
Şekil VI.28 Pirometrenin montajı	189
Şekil VI.29 Termokupulların Foreheart içerisine daldırılması	190
Şekil VI.30 Termokupul bağlantılarının gerçekleştirilmesi	190
Şekil VI.31 Saha kutusu	191
Şekil VI.32 Algılayıcı verilerinin monitör üzerinden izlenmesi	191

TABLolar LİSTESİ

	<u>SAYFA NO</u>
Tablo I.1 TSE sıcaklık laboratuvarı çalışma alanları.....	19
Tablo II.1 ITS-90 skalasında tanımlanan sabit noktalar.....	24
Tablo III.1 Doğrulama katsayıları.....	33
Tablo IV.1 Seebeck katsayıları.....	53
Tablo IV.2 Polinomial sabitler.....	54
Tablo IV.3 N.I.S.T.Monograph 175, ITS-90 değişimli termokupul bilgileri.....	58
Tablo IV.4 Sıcaklık algılayıcılarının karşılaştırılması.....	118
Tablo V.1 Karşılaştırma metodu ile kalibrasyonu yapılan termokupulların kalibrasyon belirsizlikleri.....	133
Tablo V.2 Akışkan banyo ortamları ve tipik çalışma sıcaklığı aralıkları.....	144
Tablo VI.1 Sıcaklık kalibrasyonları ile ilgili akreditasyon bilgileri.....	175
Tablo VI.2 B tipi termokupul tavlama bilgileri.....	175
Tablo VI.3 LAND T/CAL 1600 Kalibrasyon Fırını özellikleri.....	176
Tablo VI.4 Eurotron Microcal 2000 kalibratör özellikleri.....	177
Tablo VI.5 9201 kalibrasyon nolu termokupul ölçüm değerleri.....	179
Tablo VI.6 9202 kalibrasyon nolu termokupul ölçüm değerleri.....	180
Tablo VI.7 9203 kalibrasyon nolu termokupul ölçüm değerleri.....	180
Tablo VI.8 9201 kalibrasyon nolu termokupul sertifika değerleri.....	181
Tablo VI.9 9202 kalibrasyon nolu termokupul sertifika değerleri.....	181
Tablo VI.10 9203 kalibrasyon nolu termokupul sertifika değerleri.....	182
Tablo VI.11 Matrix Technologies FIBER TEMP II pirometresinin teknik özellikleri.....	182
Tablo VI.12 LAND L.R.C. 2 fırını ile ilgili teknik özellikler.....	183
Tablo VI.13 Eurotron Microcal 1000 kalibratörün teknik özellikleri.....	185
Tablo VI.14 HP Agilent 34401 model ampermetreden alınan değerler.....	186
Tablo VI.15 Pirometre kalibrasyon sertifikası değerleri.....	187

BÖLÜM I ISI ve SICAKLIK

I.1. GİRİŞ

Isı, madde yapısındaki molekül veya atomların kinetik enerjilerinin toplamı olup, kalori veya joule (Cal-J) birimi cinsinden ifade edilir. Kalori, $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ deki 1 gram suyun sıcaklığını 1°C artıran ısı miktarıdır. Bu birim, günümüzde kullanılan, SI Birim sisteminde terk edilmiş olup bunun yerine Joule, birim olarak kullanılmaya başlanmıştır ($4,18\text{ Joule} = 1\text{ Kalori}$). Isı enerjisini ölçen aletler Kalorimetre olarak adlandırılır. Isı vektörel bir büyüklüktür. Isının sonucu olarak tanımlanan sıcaklık; titreşimdeki parçacıkların kinetik enerjisinin bir ölçüsü olarak tanımlanır ve skaler bir büyüklüktür. Titreşimdeki parçacıkların hızına bağlı olarak malzemelerin sıcaklığı artar. Malzemenin verilen hacmindeki molekül ve atomlar aynı şiddetle hareket etmediğinden, malzemelerin sıcaklığını ölçen aygıtlar çok sayıda parçacığın ortalama kinetik enerjisi olan MAKROSKOBİK SICAKLIĞI referans olarak alırlar. Titreşen her atom kendisini çevreleyen uzaya elektromanyetik ışıyım yayan bir mikroskobik radyo vericisi gibi davranır.

Nitel olarak bir nesneye ait sıcaklık o nesne ile temas esnasında algılanan ılıklik veya soğukluk hissi olarak tanımlanır. Aynı yapıdaki iki nesne, sistem, birbirine değdirildiğinde (termal temasa geçirildiğinde) yüksek sıcaklıktaki nesnenin sıcaklığı azalırken, düşük sıcaklıktaki nesne sıcaklığı artacaktır. Bu sıcaklık değişimi belli bir noktada son bulacak ve nesnelere dokunduğumuzda aynı sıcaklık algılanacaktır. Değişimin durduğu bu nokta TERMAL DENGİ NOKTASI olarak adlandırılır. Bu sisteme ait sıcaklık tanımlandığında artık sıcaklığımız termal denge noktasındaki sıcaklık olacaktır. Nesnenin tipinden bağımsız olarak tüm nesnelerin termal dengeye ulaşması mümkündür. Birbirinden bağımsız iki sistemin bir üçüncü sistemle termal dengesi söz konusu ise bu iki sistemin de kendi aralarında termal dengede olduğu ve sistemin türünden bağımsız olarak aynı sıcaklıkta olduğu söylenir (termodinamiğin sıfırıncı kanunu). Termal dengede olan sistemlerden birinin, kalibre edilmiş bir termometre olarak başka bir sistemin sıcaklığının tespitinde

kullanılması mümkündür. Kalibre edilmiş bir termometre başka bir sistemle termal temasa girdiğinde ve termal dengeye ulaştığında sıcaklığa ait sayısal değer elde edilmiş olur. Örneğin; hasta bir çocuğun ateşini ölçmek içine ağzına yerleştirilen derecenin termal dengeye ulaşması sağlandıktan sonra, cam içerisindeki civanın genişmesi sonucu cam üzerindeki skaladan okuduğumuz sıcaklık değeri hastanın sıcaklığı olacaktır [1].

1.2. TERMOMETRELER

Herhangi bir sisteme ait sıcaklığı nicel olarak gösteren alettir. Bu işlemi gerçekleştirmenin en kolay yolu özelliği sıcaklıkla düzenli olarak değişen bir madde bulmaktır. Bu değişim ideal olarak;

$$t(x) = ax + b \quad (I.1)$$

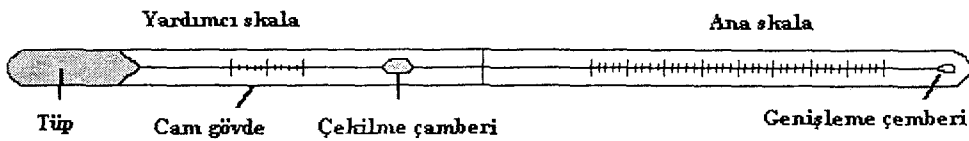
formunda lineer bir denklem ile sağlanacaktır.

Burada,

t: Malzeme sıcaklığı (malzeme özelliği olan x'in değişimine bağlı olarak değişir)

a, b : Malzemenin tipine bağlı olarak değişen sabit değerlerdir.

Civa elementi $-38,9^{\circ}\text{C}$ ile $+356,7^{\circ}\text{C}$ arası akışkan olup sıcaklık artışında genişleme özelliğine sahiptir. Genleşme oranı sabit olan civanın kalibrasyonu kolay olup termometre yapımında kullanılır.



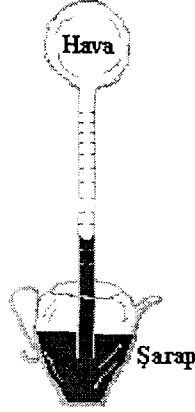
Şekil I.1.Civalı termometre yapısı

Civalı termometre kılcal boru içerisinde bulunan civa ile tüp ve skaladan oluşur. Civa genişleme oranı cam skalada kalibre edilir [1].

1.2.1. Termometrelerin Gelişimi

Termoskop, sıcaklığı ölçmede kullanılan ilk düzenek olup 1610 yılında Galileo tarafından geliştirilmiştir. Bu düzenekte kısmi olarak havası boşaltılmış cam tüp ve içi su veya şarap dolu bir kap kullanılmıştır. Sistemde havası alınmış cam tüp kaba daldırıldığında kap içerisindeki sıvının kısmen yükselmesine neden olur. Bu

aşamadan sonra cam tüpün ısıtılması ve ya soğutulmasına bağlı olarak cam tüp içerindeki sıvının yükselişi üzerinde yapılan taksimattan nicel olarak gözlemlenebilir. Burada hava termometrik ortam olarak kullanılmıştır.



şekil I.2 Florentine termoskop

1641 yılında hava yerine sıvının (cam içerisindeki alkolün) kullanıldığı, ilk kapalı 50 seviyeli alkol termometreler geliştirilmiş ancak referans olacak sabit bir nokta belirlenememiştir.

1664 yılında Robert Hook Alkol içindeki kırmızı boya bulunan düzeneği gerçekleştirmiştir. Düzenlenen skalada her derece eşit hacim artışına karşılık gelecek şekilde düzenlenmiş ve her bölmedeki artış termometre içindeki sıvının 1/500' oranında olacak tarzda ayarlanmıştır. Ayrıca suyun donma noktası referans olarak alınmış ve standart bir skalanın tesisinin mümkün olacağı gösterilmiştir.

1702 yılında sabit noktaları, kar (Buz parçaları) ve suyun kaynama noktası olan iki skalalı termometre geliştirilmiş ve 1708-1709 yılları arasında bu termometre aracılığıyla Kopenhag kentinin günlük sıcaklığı kaydedilmiştir.[1]

I.3. SICAKLIK SKALALARI

1724 yılında Gabriel Fahrenheit; termal genleşmesi yüksek, yüksek sıcaklıklarda akışkanlığını koruyan, kaygan, parlaklığından dolayı kolay izlenebilme özelliği olan civayı termometrik ortam olarak kullanmış ve bir skala oluşturmuştur. Fahrenheit yaptığı çalışmalardan sonra suyun kaynama noktasını 212 ve donma noktasını 32 olarak belirlemiş ve bunları referans değerleri olarak belirlemiştir. Bu iki referans nokta arası aralık 180 olup bu skaladan ölçülen sıcaklık Fahrenheit derece olarak (°F) adlandırılmıştır.

1745 yılında Anders Celsius (1701-1744), Upsula (Sweden) tarafından suyun donma noktası 0 ve kaynama noktası 100 olarak belirlenen skalayı (100 adımlı skala veya Centigrad skala) donma noktası 100 kaynama noktası 0 olacak şekilde tersine çevirmiş ve Celsius skalayı oluşturmuştur. Bu tespitte de yine iki referans noktası arası değerin 100 olduğuna dikkat edilmelidir.

1948 yılında Centigrade skala kullanımı yerini derece Celsius (°C) kullanımı almıştır. Derece celsius skalası aşağıdaki iki kabul üzerinden tanımlanır:

1. Suyun üç hal noktası 0,01 °C
2. Bir derece Celsius ideal gaz skalasındaki bir derece değişime eşittir.

Celsius skalasında suyun kaynama noktası standart atmosferik basınçta 99,975°C olarak tanımlanır. Bu nokta Centigrade skalada 100 olarak alınır [1].

Celsius skaladan Fahrenheit skalaya dönüşümde aşağıdaki bağıntılar kullanılır:

$$^{\circ}\text{F} = 1,8 ^{\circ}\text{C} + 32 \quad (\text{I.2})$$

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1,8 \quad (\text{I.3})$$

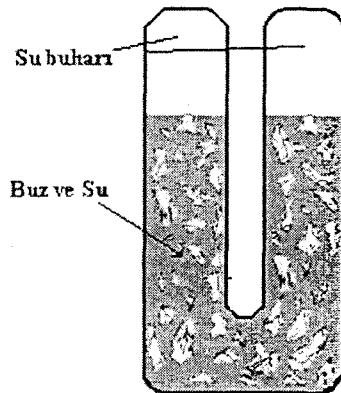
I.3.1. Suyun Üç Hal Noktası

Suyun üç halinin (su, buz, su buharı) dengede olduğu noktadır. Bu değer 273,16 olarak belirlenmiştir. Bu skaladaki sıcaklığın birimi Kelvin olarak adlandırılır. Sembolü K olup, sembolde derece işareti kullanılmamasına dikkat edilmelidir [1].

Celsius skaladan Kelvin skalaya dönüşümde aşağıdaki bağıntılar kullanılır:

$$\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273 \quad (\text{I.4})$$

$$^{\circ}\text{C} = 273 - \text{K} \quad (\text{I.5})$$



Şekil I.3 Suyun üç hal noktası

I.3.2. Isıl Özellikler

Isıl enerji alan malzemelerin iç enerjisi artar ve sıcaklığı yükselir. Bu enerjinin bir kısmı atomsal titreşimlerle kinetik enerjiye, bir kısmı da genleşme yolu ile potansiyel enerjiye dönüşür. Emilen enerjinin büyüklüğü, iletme hızı ve boyutlardaki değişimler malzeme türüne, iç yapıya ve çevre koşullarına bağlı olarak değişen, birer ısı özelliğidir.

I.3.2.1. Özgül Isı

1 gr ağırlığındaki malzemenin sıcaklığını 1°C arttırmak için gerekli olan enerjidir. Sembolü c olup, birimi Cal/gr°C dir.

I.3.2.2. Isıl İletkenlik

Malzeme içerisinde ısı enerjinin iletim hızı olarak tanımlanır. Sembolü k olup, birimi Cal/ms°C dir.

I.3.2.3. Isıl Genleşme

Isıl enerji alan atomlar titreşirler ve daha büyük çaplı atomlar gibi davranırlar, dolayısıyla atomlar arası uzaklık artar ve boyutları büyür, bu olaya Isıl genleşme adı verilir. Bir malzemede sıcaklık dT kadar arttığı zaman boyu dI kadar uzarsa birim boydaki artış sıcaklıkla orantılıdır.

$$dI / I = \alpha dT \quad (I.6)$$

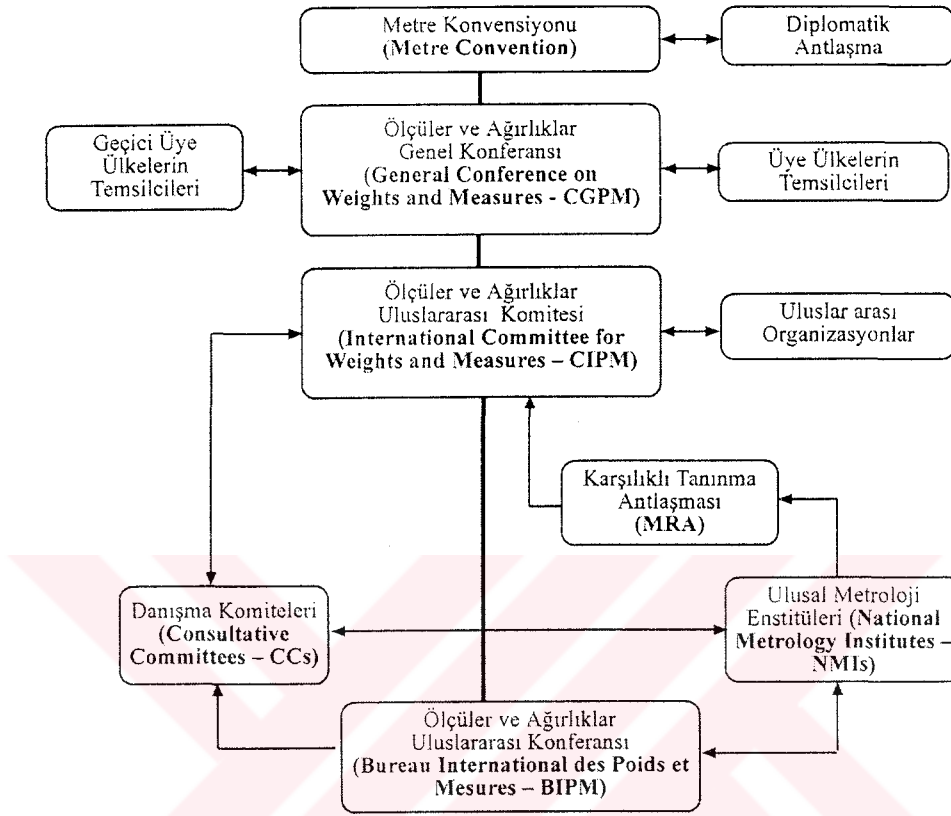
Burada α ısı genleşme katsayısıdır ve 1°C lik sıcaklık artışına karşın birim boydaki artış anlamına gelir [2].

I.4. METRE KONVENSIYONU (MC)

Metre Konvensiyonu; Ölçüler ve Ağırlıklar Genel Konferansı(CGPM), Ölçüler ve Ağırlıklar Uluslararası Komitesi(CIPM) ve Ölçüler ve Ağırlıklar Uluslararası Bürosu(BIPM)' na yetki veren, 51 ülke tarafından oluşturulan diplomatik bir antlaşmadır. Bu organizasyonlar; yüksek doğruluk, aralık ve farklılıktaki ölçüm standartlarının oluşturulması ve ulusal laboratuvarlar arasındaki dengliği sağlamak amaçlı çalışırlar.

Konvensiyon 17 ülke temsilcisinin imzasıyla 1875 yılında Paris'te oluşturulmuştur. Aynı tarihte BIPM kurulmuş, finans ve yönetim ilişkileri planlanmış

ve üye ülkelerden oluşan bir daimi organizasyon kurularak, ölçüm birimleriyle ilgili tüm konularda ortak hareket etme kararı alınmıştır. Konvensiyon şu anda gelişmiş ülkelerinde içinde yer aldığı 51 üye ülkeden oluşmaktadır [3].



Şekil I.4 Uluslararası metroloji ve kalibrasyon organizasyonu

Metre Konvensiyonu Üye Ülkeleri:

Daimi Üyeler: Arjantin, Avustralya, Avusturya, Belçika, Brezilya, Bulgaristan, Kamerun, Kanada, Şili, Çin, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Dominik Cumhuriyeti, Mısır, Finlandiya, Fransa, Almanya, Yunanistan, Macaristan, Hindistan, Endonezya, İran, İrlanda, İsrail, İtalya, Japonya, Kuzey Kore, Güney Kore, Malezya, Meksika, Hollanda, Yeni Zellenda, Norveç, Pakistan, Polonya, Portekiz, Romanya, Rusya Federasyonu, Singapur, Slovakya, Güney Afrika, İspanya, İsveç, İsviçre, Tayland, Türkiye, İngiltere, Amerika, Uruguay, Venezuela, Yugoslavya.

Geçici Üyeler: Çin TAIPEI, Letonya, Küba, Ekvator, Hong Kong, Kenya, Litvanya, Malta, Filipinler, Ukrayna [5].

I.4.1. Ölçüler ve Ağırlıklar Genel Konferansı (CGPM)

Ölçüler ve Ağırlıklar Genel Konferansı (CGPM), üye ülkelerin temsilcilerinden oluşur ve dört yılda bir (21. CGPM toplantısı Ekim 1999 da

toplandı) Paris'te toplanır. Konferans, Ölçüler ve Ağırlıklar Uluslar arası Komitesince yapılan çalışmaları değerlendirir; Uluslararası Birimler Sistemi'nin (SI) yaygınlaşmasını ve düzeltilmesini sağlar, Ölçüler ve Ağırlıklar Uluslar arası Bürosu'nun (BIPM) yönetimini ve gelişimini ilgilendiren konuları ve bu büronun dört yıllık bütçesini kararlaştırır [6].

1.4.2. Ölçüler ve Ağırlıklar Uluslararası Komitesi (CIPM)

Ölçüler ve Ağırlıklar Uluslararası Komitesi (CIPM), 18 farklı üye devletin temsilcilerinden oluşur. Dünya genelindeki ölçüm birimlerinin ortaklaştırılmasını, CGPM' ye sunduğu teklifler ile veya doğrudan gerçekleştirir.CIPM her yıl BIPM'de toplanarak, danışma komitelerince sunulan raporları değerlendirir ve BIPM'in finansal ve yönetim konularını ilgilendiren yıllık raporları Metre Konvensiyonu üye ülkelerine sunar [7].

CIPM 10 danışma Komitesine sahiptir:

Consultative Committee for Electricity and Magnetism (CCEM)¹

Consultative Committee for Photometry and Radiometry (CCPR)

Consultative Committee for Thermometry (CCT)

Consultative Committee for Length (CCL)

Consultative Committee for Time and Frequency (CCTF)

Consultative Committee for Ionizing Radiation (CCRI)

Consultative Committee for Units (CCU)

Consultative Committee for Mass and Related Quantities (CCM)

Consultative Committee for Amount of Substance (CCQM): metrology in chemistry

Consultative Committee for Acoustics, Ultrasound and Vibration (CCAUV)

1.4.3. Ölçüler ve Ağırlıklar Uluslararası Bürosu (BIPM)

Ölçüler ve Ağırlıklar Uluslararası Bürosu (BIPM), Metre Konvensiyonu tarafından kurulmuştur ve merkezi Fransa da, Paris yakınlarındadır. Finansmanı Metre Konvensiyonu üyeleri tarafından sağlanır ve CIPM' in özel yönetimi altında çalışır. Dünyada tek, sağlam ve Uluslararası Birimler Sistemi(SI)' nce izlenebilir bir ölçümler sistemini oluşturur ve ulusal ölçüm standartlarının uluslararası karşılaştırılmalarını koordine eder [8].

¹ Kısaltmalar, kurumların Fransızca adlarından alınmıştır.

I.4.4. Danışma Komiteleri (CCs)

Ölçüler ve Ağırlıklar Uluslararası Komitesi (CIPM), kendi alanında uzman kişilerin bilimsel ve teknik konularda danışman olarak çalıştıkları danışma komiteleri oluşturmuştur. Bu komiteler; metrolojiyi ilgilendiren fizik konularını detaylı olarak inceler, CIPM' de tartışılacak konuların gündemini belirler, ulusal ölçüm standartlarının karşılaştırılmasının; tanımlanmasını, planlanmasını ve gerçekleştirilmesini sağlar ve BIPM laboratuvarlarındaki bilimsel çalışmalar hakkında öneriler sunar. Komiteler düzensiz aralıklarla toplanır ve her komitenin başkanı, CIPM üyesi ülkeler arasından, CIPM tarafından belirlenir [9].

I.4.4.1. Termometri Danışma Komitesi (Consultative Committee for Thermometry -CCT)

1937 yılında kurulmuştur. 1990 Uluslararası Sıcaklık Skalası'nın (ITS-90) oluşturulması ve gerçekleştirilmesi, termodinamik sıcaklık, ITS-90' nin geliştirilmesi ve düzeltilmesi, ikincil referans noktalar ve termokupul ve dirençli termometrelerin uluslararası referans tablolarının oluşturulması ile ilgili aktiviteleri gerçekleştirir. 18 üye laboratuvar ve 4 gözlemci büro ile çalışma alanları aşağıda açıklanan 8 çalışma grubuna sahiptir.

Üye Laboratuvarlar:

Institut National de Métrologie [BNM-INM], Paris

CSIR - National Metrology Laboratory [CSIR-NML], Pretoria

Istituto di Metrologia "Gustavo Colonnetti" del Consiglio Nazionale delle Ricerche [IMGC-CNR], Turin

Korea Research Institute of Standards and Science [KRISS], Daejeon

Measurement Standards Laboratory of New Zealand [MSL], Lower Hutt

National Institute of Metrology [NIM], Beijing

National Institute of Standards and Technology [NIST], Gaithersburg

Nederlands Meetinstituut/Van Swinden Laboratorium [NMI VSL], Delft

National Metrology Institute of Japan, AIST/Department of National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba

National Measurement Laboratory CSIRO [NML CSIRO], Lindfield

National Physical Laboratory [NPL], Teddington

National Research Council of Canada [NRC], Ottawa

Physikalisch-Technische Bundesanstalt [PTB], Braunschweig

Slovak Institute of Metrology/Slovenskí Metrologický Ústav [SMU], Bratislava
Standards, Productivity and Innovation Board [SPRING Singapore], Singapur
National Metrology Institute of Turkey [UME], Gebze-Kocaeli
Institute for Physical-Technical and Radiotechnical Measurements, Gosstandart of Russia [VNIIFTRI], Moscow
D.I. Mendeleyev Institute for Metrology, Gosstandart of Russia [VNIIM], St Petersburg

Gözlemci Bürolar:

Centro Español de Metrología [CEM], Madrid
Centro Nacional de Metrología [CENAM], Querétaro
Instituto Nacional de Tecnología Industrial [INTI], Prov. Buenos Aires
Instituto Português da Qualidade [IPQ], Caparica

Çalışma Grupları:

- 1.Çalışma Grubu: Sabit noktaların belirlenmesi ve interpolasyon cihazlarının tanımlanması.
- 2.Çalışma Grubu: İkincil sabit noktalar ve ITS-90 ye yaklaşım teknikleri
- 3.Çalışma Grubu: Belirsizlikler.
- 4.Çalışma Grubu: Termodinamik sıcaklığın kararlaştırılması ve ITS- 90 nin daha düşük sıcaklıklara genişletilmesi.
- 5.Çalışma Grubu: Radyasyon Termometrisi.
- 6.Çalışma Grubu: Nem ölçümleri.
- 7.Çalışma Grubu: Anahtar karşılaştırmalar.
- 8.Çalışma Grubu: Kalibrasyon ve ölçüm yetenekleri [9].

I.4.5. NMI (Ulusal Metroloji Enstitüleri)

CGPM tarafından karara bağlanmış fiziksel birimleri realize etmek ve bunları BIPM'in kapsamındaki uluslararası karşılaştırmaya (Intercomparision)dahil ederek elde edilen etalonun (standartın) primer seviye bir standard olmasını ve dolayısıyla izlenebilirliğini temin etmek üzere kurulmuş ulusal boyutta kuruluşlardır.

Ölçüm işlemlerinde doğruluğu ve güveni tesis etmek, uluslararası geçerli bir ölçüm faaliyeti yürütmekten geçer bu da ancak bu husustaki uluslararası kuralları uygulamakla mümkündür. Bu kuralların temeli ise; İZLENEBİLİRLİK ve DÖNGÜLÜ KARŞILAŞTIRMA'dır [10,11].

1.5. METROLOJİ

Seviyesi ve sahasına bakmaksızın ölçme ile ilgili her türlü faaliyete METROLOJİ denir.

Doğru ve güvenilir ölçme faaliyetleri bilimsel, ticari, ahlaki ve sosyal boyutları olan ve sağlanamaması durumunda ailevi, toplumsal, bölgesel, ulusal ve uluslararası ilişkileri etkileyecek öneme sahip teknik ve sosyal tarafları olan bir konudur. İnsanlar doğru ölçmeyen bir tıbbi teşhis veya tedavi cihazı ile muayene olmak, bakkaldan, marketten aldıkları maddeleri yanlış ölçen bir terazide tarttırmak, yükseklik göstergesi hatalı çalışan bir uçakla yolculuk etmek, evlerinde kullanılan elektrik, su ve doğalgaz gibi hizmetlerin ücretlendirilmesine esas teşkil edecek olan sayaçların hatalı çalışmasını vb. şeyleri istemezler.

Bu örneklerin sayısını çoğaltmak mümkündür ve artan örnekler doğru ve güvenilir bir ölçme işleminin hayatımızın her noktasında bizimle birlikte mevcut ve vazgeçilmez olduğunu gösterir.

Her bireyin, her firmanın, her ilin ve ülkenin birbirinden bağımsız bir ölçme sistemine sahip olması belki kendi dar ve dışa açık olmayan toplulukları için problem oluşturmayacak. Ancak karşılıklı ilişkiler söz konusu olduğun da ortak bir ölçme sistemi ve birimine gerek olacaktır.

Toplumlar, firmalar ve bireyler ölçme faaliyetlerinden farklı seviyede ve farklı fiziksel birimlerde yararlanırlar. Bu ifadeyi netleştirmek için şu örneği verebiliriz. Fırıncıdan ekmek alan bir insan ekmeğin ağırlığının doğru olmasını ister veya uzay araştırmalarına destek veren bir firma ve mikroçip teknolojisinde bir parçanın uzunluğunu ölçmek isteyen bir firma doğru ve güvenilir ölçme işlemlerinin farklı seviye ve konularından yararlanır. Metrolojik faaliyetler;

- Bilimsel metroloji,
- Endüstriyel metroloji,
- Yasal (Kanuni) metroloji olarak ilgi sahalarına göre farklılık arz ederler [10].

I.5.1. Metrolojinin Bölümleri

I.5.1.1. Bilimsel Metroloji

CGPM de kabul edilen kararlara göre teorik tanımı yapılmış fiziksel birimlerin realizasyonlarını gerçekleştirerek, primer standartların oluşturulmasını temin etmektedir. Ülkemizde bu konu ile ilgili olarak TUBİTAK görevlendirilmiştir.

I.5.1.2. Endüstriyel Metroloji

Bilimsel metroloji sonucunda elde edilen primer standartlara bağlı olarak araştırma , üretim ve deneylerde yapılan ölçme faaliyetidir. Kalibrasyonun yapılması ve/veya yaptırılması tamamen isteğe bağlıdır. TSE, 132 sayılı kanunun verdiği yetkiye göre endüstriyel amaçlı kalibrasyon laboratuvarları kurmak ve konuyla ilgili araştırmalar yapmak üzere görevlendirilmiştir.

I.5.1.3. Yasal (Kanuni) Metroloji

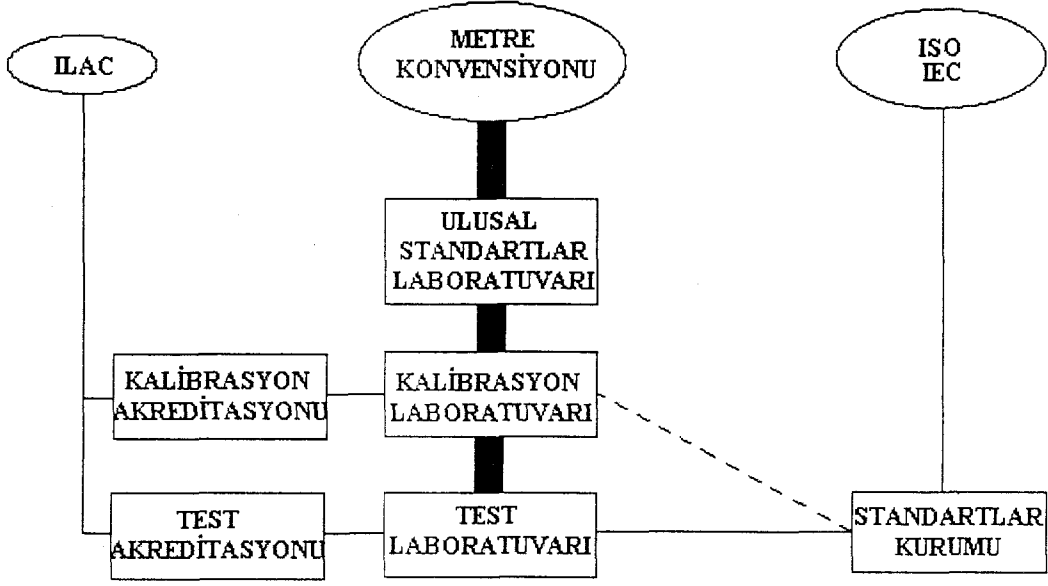
Ticarete esas teşkil eden ölçü ve kontrol aletlerinin kalibrasyonları ile ilgilenir. Bu kategoriye giren tüm cihazlar mecburi olarak kalibre ettirilmek zorundadır. Ülkemizde 3516 sayılı kanun yasal metrolojiyi (kalibrasyonu) kapsar. T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı bu konu ile görevlendirilmiştir [10].

I.6. ULUSAL ÖLÇÜM SİSTEMİ

Ülkenin zenginlik ve refahını etkileyen doğru ölçüm yeteneği, devletlerin bu konuya olan ilgisini artırmıştır. İyi ölçüm için birkaç hizmetin yerine getirilmesi gerekir:

- Personelin ölçüm teknikleri konusunda eğitimi;
- Ölçüm cihazlarının temini;
- Cihazların tamiri ve servis olanağı;
- Cihazların kalibrasyonu;
- Ölçümler için özelliklerin ve prosedürlerin tanımlanması; ve
- Ölçüm sonuçlarının sertifikalandırılması.

Ülke içindeki tim bu hizmetlerin toplamı Ulusal Ölçüm Sistemi'ni (NMS) oluşturur. Şekil I.5'te genel izlenebilirlik koyu çizgiler ile, genel izlenebilirliği etkileyen farklı faktörler ise diğer çizgiler ile gösterilmiştir.



Şekil I.5 Ulusal ölçüm sisteminde izlenebilirlik

Test ve kalibrasyon ile ilgili akreditasyon kurumları birbirinden bağımsızdır ve Uluslararası Akreditasyon Konferansı (ILAC), kurumların işbirliğinde bir forum işlevi görür. Testler, belirlenen özelliklere göre gerçekleştirilir. Bu özellikler ulusal standartlar birliğince önerilen veya uluslararası kuruluşlarca belirlenen ancak uyarlaması yapılan özelliklerdir. Genel standart belgeleri, Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) tarafından, elektriksel standartlar Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) tarafından belirlenir [13].

I.6.1. UME (Ulusal Metroloji Enstitüsü)

TÜBİTAK- Ulusal Metroloji Enstitüsü, Ülkemizde yapılan ölçümleri güvence altına almak, bu ölçümlerin uluslararası sisteme entegrasyonunu sağlamak, mevcut ve yeni ölçme tekniklerini geliştirmek, Türkiye'nin bilimsel ve teknolojik gelişimine katkıda bulunmak ve Türk endüstriyel ürünlerinin kalitesini arttırmak için gerekli Ulusal Metroloji Sistemi'ni kurmak amacıyla kurulmuştur.

Metroloji ve kalibrasyon, endüstriyel faaliyetlerin hayati parametresidir. Bu, sanayi ürünlerinin kalitesinin teminine yönelik bir titizlikten ileri gelir. Endüstrileşmiş ülkelerde yapılan ölçümlerin güvenilirliği ve doğruluğu da, ülke çapında oluşturulan bir kalibrasyon ağıyla gerçekleştirilir. Bu ağın oluşturulması ve uluslararası sisteme entegre olabilmesi için kurulan metroloji sistemleri, ülkelerin teknolojik kalkınmalarında bir alt yapı niteliğini taşır. Bu alt yapının en üst noktası da ülkedeki her türlü bilimsel ve endüstriyel ölçümlerin izlenebilir olduğu ulusal bir

merkezdir. Bu merkezlerin önemli görevlerinden birisi de ulusal kalibrasyon ağı kapsamında kuruluş ve laboratuvarlar arasındaki koordinasyonu sağlamak ve bu şekilde oluşturulan metroloji sistemini uygun bir şekilde uluslararası sisteme entegre etmektir.

UME, uluslararası seviyedeki 30 laboratuvarıyla bilimsel çalışmaların yanı sıra, kalibrasyon/ ölçüm, eğitim, akreditasyon, bilgi ve teknoloji transferi, endüstriyi yönlendirecek yayınlar, danışmanlık (laboratuvar kurma, kalite sistemi oluşturma, pazar araştırması, yatırım planlaması, ortam şartları, yerinde problem çözme), seminerler- teknik komiteler, cihaz yapımı, ölçme ve test cihazları ile ilgili bakım ve onarım, laboratuvar yeterlilik belgesi verme başlıkları altında endüstriye hizmet vermektedir. UME, 10 yıllık bir kuruluş olmasına rağmen ülkede metroloji alanında yapılan çalışmaların büyük bir kısmını yürütmekte ve 3000'i aşkın firma ve çok sayıda sanayi odası ile ilişki içinde olup, 600'e yakın firmaya hizmet vermektedir. UME kalibrasyon konusunda Türkiye gereksinimlerinin % 55'ini karşılamaktadır. Laboratuvarlarında 7 temel SI Birimleri'nden Amper, Kandela, Metre, Kilogram, Saniye ve Kelvin'in primer seviyede oluşturulması gerçekleştirilmiştir.

UME akreditasyon konusunda endüstrinin ihtiyacını karşılamak ve mevcut boşluğu doldurmak amacıyla Ocak 1995 tarihinden itibaren akreditasyon başvurularını yanıtlamaya başlamıştır. Akredite olan laboratuvarlar ise UME bünyesinde kurulmuş bulunan Türk Kalibrasyon Servisi'ni (TKS) oluşturmaktadır. Türkiye Akreditasyon Kurumu'nun (TÜRKAK) 04/11/1999 tarihinde yasal olarak kurulmasıyla UME, TKS sistemini, yeterli kapasiteye eriştiğinde TÜRKAK'a devrederek laboratuvar akreditasyonu konusundaki teknik desteğini sürdürmeye devam edecektir. TÜRKAK tam olarak faaliyete geçince, UME sadece TÜRKAK tarafından yapılmayan özel akreditasyonları yapacak, laboratuvar yeterlilik belgesi vermeye devam edecektir. Bu nedenle standart akreditasyon başvurularının önce TÜRKAK'a yapılması gerekmektedir.

UME yalnız ulusal alanda değil uluslararası platformda da kısa sürede tanınmıştır. UME, ölçümlerini yürürlükteki uluslararası standartlara göre yapmaktadır. UME'nin yaptığı ölçümler 14 Ekim 1999'da Paris'te imzalanan uluslararası karşılıklı tanınma antlaşmasına göre başta ABD, Avrupa Birliği, Japonya, Avustralya, Kore, Güney Afrika ve Rusya olmak üzere 38 ülke ve iki uluslararası organizasyon (AIEA/IAEA (Dosimetry and Medical Radiation Physics Section / International Atomic Energy Agency), IRMM (Institute for Reference

Materials and Measurements)) tarafından tanınmaktadır. Tanınma antlaşmasına sonradan katılan ülkelerle (2000 yılında Hong Kong-Çin, Şili, Mısır, 2001 yılında Letonya, Litvanya, Ekvator, Küba, Malta, Malezya ve Yunanistan) 48 ülke tarafından UME'nin yaptığı ölçümler tanınmaktadır. Bunların yanı sıra metroloji alanında IMEKO (Uluslararası Ölçme Konfederasyonu), EUROMET (Avrupa Metroloji Enstitüleri Birliği) ve EURACHEM (Avrupa Analitik Kimya Laboratuvarları Birliği) gibi uluslararası kuruluşlara üye olmuştur. Ayrıca Türkiye, İsrail, Mısır, Ürdün, Güney Afrika ve ABD'nin bölgesel bir metroloji enstitüleri birliği oluşturma çalışmaları uzun bir çabanın ardından sonuç vermiş ve Türkiye'nin koordinatörlüğünde İsrail, Filistin, Fas, Güney Afrika, Amerika, Kenya, ülkeleri arasında MENAMET (Ortadoğu ve Kuzey Afrika Ülkeleri Metroloji İşbirliği Antlaşması), 1999 tarihinde UME'de imzalanmıştır. Bu antlaşma ile Ortadoğu ve Kuzey Afrika Bölgesi ülkeleri arasında metroloji alanında ortak çalışma ve işbirliği esas alınmıştır. UME üyesi olduğu uluslararası kuruluşlarda aktif bir rol üstlenmiş olup, bu kuruluşların teknik komitelerinde yer almakta ve ortak projelere katılmaktadır.

I.6.1.1. UME Sıcaklık Standartları Laboratuvarı

Sıcaklık ve nem, bilim ve teknolojiye olduğu kadar günlük yaşamımızda da çok kullandığımız kavramlardır. Sıcaklık-nem ölçümleri ve kontrolü, endüstriyel işlemlerde çoğu kez ürün kalitesini belirleyen en temel unsur, sağlık, güvenlik ve çevre şartlarının izlenmesinde en önemli veridir.

Günümüzde modern sıcaklık ölçümleri yüksek doğruluk ve güvenilirlikle yapılmaktadır. Sıcaklığın 1 mK doğrulukla (derecenin binde biri), ölçülmesi ulusal laboratuvarlar için sıradan bir işlemdir. Ortam şartlarının yeterince iyi kontrol edilememesi, titreşim, elektriksel gürültü veya tasarımda verilen ödümler sıcaklık ölçümlerinde hataları ve belirsizlikleri artıran öğelerdir.

I.6.1.1.a. Amaç ve Görevleri

UME Sıcaklık Standartları Laboratuvarı, Türk endüstrisinin ve bilimsel topluluğunun sıcaklık konusunda kalibrasyon ve ölçüm gereksinimlerini -200°C – 2200°C aralığında Uluslararası Sıcaklık Ölçeği (ITS-90)'a göre ulusal standartları sağlayarak karşılar. ITS-90, sıcaklık ölçümlerinin doğru ve tekrarlanabilir bir şekilde

yapılmasına ve ölçülen sıcaklığa karşılık gelen termodinamik sıcaklığa en yakın şekilde hesaplanabilmesine olanak verecek şekilde oluşturulmuştur.

UME Sıcaklık Standartları Laboratuvarı, -35°C – 70°C sıcaklık aralığında çığ noktası (dew-point), -10°C – 70°C aralığında 5% – 100% bağıl nem (RH) ölçümleri yapabilmektedir.

UME Sıcaklık Standartları Laboratuvarı'nın amacı; Uluslararası Sıcaklık Ölçeği'ni oluşturmak, ölçeği saklamak, ikincil laboratuvarlara ölçeği aktararak izlenebilirlik zincirini kurmak ve sürekli katıldığı uluslararası karşılaştırmalarla ölçeğin uluslararası eşdeğerliliğini kanıtlamaktır.

UME Sıcaklık Standartları Laboratuvarı, ölçüm standartları ve yöntemlerini oluşturur, geliştirir ve sıcaklık-nem metrolojisi konusunda verdiği düzenli eğitimlerle endüstriye aktarır.

Sıcaklık Standartları Laboratuvarı'nın tüm faaliyetleri "ISO/IEC 17025: General Requirement for the competence of testing and calibration laboratories (Test ve Kalibrasyon Laboratuvarları İçin Genel Yeterlilik Kriterleri)" standardına uygun olarak gerçekleştirilmektedir. Enstitü aynı zamanda EUROMET QS-Forum (Kalite Sistemi Forumu)'un da üyesidir.

1.6.1.1.b. Çalışma Alanları

UME Sıcaklık Standartları Laboratuvarı, sıcaklık, ışıyım sıcaklığı ve nem laboratuvarları olarak üç kısımdan oluşmaktadır. Sıcaklık laboratuvarında, -200°C – 960°C aralığında doğrudan (contact thermometry) sıcaklık ölçümleri konusunda hizmet verilmektedir. Işıyım sıcaklığı laboratuvarı, -40°C – 2200°C aralığında uzaktan sıcaklık ölçümleri (radiation thermometry) konusunda hizmet sağlamaktadır. Nem laboratuvarında, çığ noktası ve bağıl nem ölçümleri ve sıcaklık-nem konularıyla ilgili tip onayı testleri yapılmaktadır.

Sıcaklık Laboratuvarı : Sıcaklık Laboratuvarı'nın çalışma aralığı olan -200°C – 960°C aralığında izlenebilirlik, ITS-90 sabit noktalarında standart platin direnç termometreler kalibre edilerek elde edilir.

Pt-100, sayısal termometre, termistör ve cam termometre gibi sıcaklık sensörlerinin kalibrasyonları, ITS-90 Sıcaklık Ölçeği'ne izlenebilir olarak karşılaştırmalı yöntemle, sıvı banyolarda yapılmaktadır.

-60°C ile 1100°C sıcaklık aralığında, ısıl-çiftlerin karşılaştırma metoduna göre kalibrasyonları, sıvı banyolar, üç bölgeyi ısıtmalı fırınlar ve ITS-90 sıcaklık ölçeğine izlenebilir referans termometreler kullanılarak gerçekleştirilir.

Ölçeğin ne kadar iyi oluşturulduğunu ortaya koyan uluslararası karşılaştırmalar devam etmektedir

Sıcaklık Laboratuvarı Çalışma Konuları: Sıcaklık Laboratuvarı, ITS-90 ölçeğinde temel olan suyun üçlü noktası (SÜN) yapımını uzun zamandır sürdürmektedir. Şimdiye kadar;

- PTB – Almanya (4 adet)
- GUM – Polonya (2 adet)
- BIPM – Fransa (2 adet)
- BNM-INM – Fransa (3 adet)
- CMS – Tayvan (5 adet)

metroloji enstitülerine SÜN verilmiştir. Ayrıca yurt içinde de TSE, S&Q Mart, Elimko, Metav, Aselsan (özel boyutlarda) gibi kurumlara SÜN yapılmıştır.

Laboratuvarda kalay sabit noktası hücresi yapılmış ve çinko, alüminyum ve gümüş sabit noktalarının yapımına başlanmıştır. Yeni sabit noktalar açık hücre olarak yapılmakta ve bu şekilde mevcut kapalı hücrelerle karşılaştırılarak UME ölçeğinde sabit noktaların safsızlığından, basınç bağımlılığından gelen belirsizlik bileşenleri incelenmekte, UME ITS-90 ölçeğinin belirsizlikleri iyileştirilmektedir.

Ayrıca ısıl-çift kalibrasyonları için minyatür sabit noktaların ve fırın yapımı çalışmaları başlamıştır. 0.3°C belirsizlikle çalışan R ve S-tipi Referans ısıl çiftlerin yapımının yanı sıra yüksek sıcaklık referans Pt/Pd ısıl çiftleri yapılmakta, bu konuda farklı tavlama sıcaklıkları, mekanik gerinim, ek sarım gibi ısıl çift tasarım parametrelerinin Pt/Pd ısıl çift emk değerlerine etkisi incelenmektedir.

Karşılaştırmalı kalibrasyonlar için $\pm 5\text{mK}$ kararlılıkla banyo yapımı devam etmektedir. UME referans dirençleri için yüksek kararlılıkta sıvı banyosu da yapım aşamasındadır.

Laboratuvarda, krayojenik sıcaklıklarda (-200°C'nin altında) sıcaklık ölçeğinin oluşturulması, ısıl iletkenlik ölçümleri, yüzey sıcaklığı ölçümleri konularında araştırmalar yapılmaktadır.

Işınım Sıcaklığı Laboratuvarı : 960 °C'nin üstündeki sıcaklıklarda, ITS-90 Sıcaklık Ölçeği Planck Işınım Kanunu'na göre oluşturulur. Bu yöntem, uzaktan

(ölçülen nesneye dokunmadan) ve oldukça hızlı sıcaklık ölçümlerine olanak sağladığı için, demir-çelik, tekstil, lastik, cam, kağıt, çimento, gıda gibi ölçüm cihazının cisme zarar verebileceği veya cismin uzak ve ulaşamayacak bir konumda olduğu durumlarda, askeri ve sivil amaçlı termal kamera ve gece görüş dürbünleri gibi sistemlerde kullanılır.

UME Işınım Sıcaklığı Laboratuvarı'nda, ITS-90 Işınım Sıcaklığı Ölçeği 960 °C üstündeki sıcaklıklarda oluşturulduğu gibi, 960°C altındaki sıcaklıklarda da ölçek -50 °C'ye kadar radyometrik olarak oluşturulmuştur.

Ölçeğin uluslararası geçerliliğini ortaya koyan karşılaştırmalar devam etmektedir.

Işınım Sıcaklığı Laboratuvarı Çalışma Konuları : Düşük sıcaklık ölçümlerimizin iyileştirilmesi amacıyla tasarlanan, -50°C ile 80°C aralığında değişken sıcaklık siyah cisim yapımı devam etmektedir.

Endüstriyel değişken sıcaklık siyah cisimlerin radyometrik kalibrasyonu ve emisivitelerinin belirlenmesi için bir spektral radyans ölçüm sistemi kurulmuştur. ITS-90 ışıınım sıcaklığı ölçeğinin radyometrik olarak oluşturulması çalışmaları sürmektedir.

Transfer standart ışıınım termometremizi (TSP-2) karakterize etmek amacıyla, filtre-detektör sistemlerinin spektral duyarlılığı, doğrusallığı, hedef çapı etkisi (size-of-source effect) gibi özelliklerinin ölçülmesi için düzenekler ve sistemler kurulmuştur.

Termal kamera ve gece görüş sistemlerinin, ITS-90'a izlenebilir performans testleri ve karakterizasyonlarıyla ilgili sistemlerde kurulmuştur [11].

I.6.2. TSE- Türk Standartları Enstitüsü

I.6.2.1. Amaç ve Görevleri

Türk Standartları Enstitüsü; her türlü madde ve mamuller ile usul ve hizmet standartlarını yapmak amacıyla 18.11.1960 tarih ve 132 sayılı kanunla kurulmuştur. Enstitünün ilgili olduğu bakanlık Başbakanlıktır. Enstitü, tüzel kişiliği haiz, özel hukuk hükümlerine göre yönetilen bir kamu kurumu olup, kısa adı ve markası TSE'dir. Bu marka çeşitli şekillerde gösterilir. Türk Standartları Enstitüsü'nün izni olmadan bu marka hiçbir şekil ve şart altında kullanılamaz. Yalnız Türk Standartları Enstitüsü tarafından kabul edilen standartlar Türk Standartı adını alır. Bu standartlar

isteğe bağılı olup, standardın ilgili olduğu bakanlığın onayı ile mecburi kılınabilir. Bir standardın mecburi kılınabilmesi için Türk Standardı olması şarttır. Mecburi kılınan standartlar Resmi Gazete'de yayınlanır. Türk Standartları Enstitüsü'nün görevleri şunlardır :

- Her türlü standardı hazırlamak ve hazırlatmak.
- Enstitü bünyesinde veya hariçte hazırlanan standartları tetkik ve uygun bulunduğu takdirde Türk Standartları olarak kabul etmek.
- Kabul edilen standartları yayınlamak ve ihtiyari olarak uygulanmalarını teşvik etmek, mecburi olarak yürürlüğe konmalarında fayda görülenleri ilgili bakanlığın onayına sunmak.
- Kamu sektörü ve özel sektörün talebi üzerine standartları veya projelerini hazırlamak ve görüş bildirmek.
- Standartlar konusunda her türlü bilimsel teknik incelemelerle araştırmalarda bulunmak, yabancı ülkelerdeki benzer çalışmalarını takip etmek, uluslararası ve yabancı standart kurumları ile ilişkiler kurmak ve bunlarla işbirliği yapmak.
- Üniversiteler ve diğeri bilimsel ve teknik kurum ve kuruluşlarla işbirliği sağlamak, standardizasyon konularında yayın yapmak, ulusal ve uluslararası standartlardan arşivler oluşturmak ve ilgililerin faydalanmalarına sunmak.
- Standartlarla ilgili araştırma yapmak ve ihtiyari standartların uygulanmasını kontrol etmek için laboratuvarlar kurmak, kamu sektörü veya özel sektörün isteyeceği teknik çalışmaları yapmak ve rapor vermek.
- Ülkemizde standart işlerini yerleştirmek ve geliştirmek için elemanlar yetiştirmek ve bu amaçla kurslar açmak ve seminerler düzenlemek.
- Standartlara uygun ve kaliteli üretimi teşvik edecek çalışmalar yapmak ve bunlarla ilgili belgeleri düzenlemek.
- Metroloji ve kalibrasyon ile ilgili araştırma ve geliştirme çalışmaları yapmak ve gerekli laboratuvarları kurmak.

Türk Standartları Enstitüsü'nün bu görevlerinin öncelik esasına göre düzenlenmesi Genel Kurul'ca kararlaştırılır ve ilgililere duyurulur [14].

I.6.2.2. Çalışma Alanları

Sıcaklık laboratuvarının yaptığı çalışmaları Tablo I.1'de gösterilmiştir.

Tablo I.1 TSE sıcaklık laboratuvarı çalışma alanları

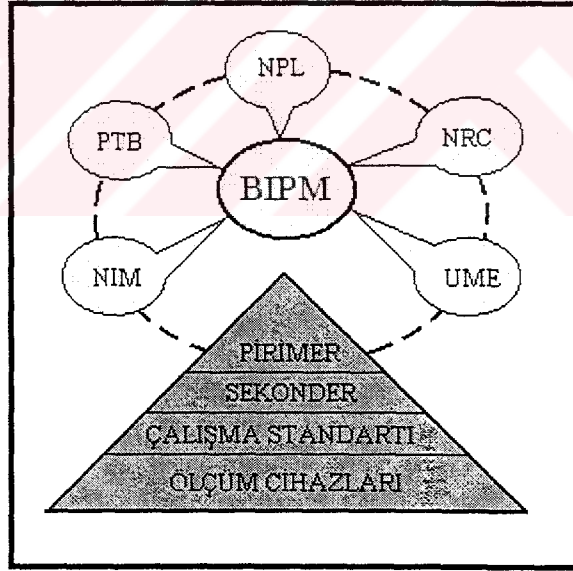
Cihaz Adı	Ölçüm Aralığı	Ölçüm Belirsizliği	Çözünürlük (Bölüntü)	Kullanılan Yöntem
Termokupul	0 C° - 500 C°	± 0,5 C°	-	Karşılaştırma
	500 C° - 1400 C°	± 1,5 C°		
Dijital Termometre	0 C° - 500 C°	± 0,2 C°	0,1 C°	Karşılaştırma
	500 C° - 1400 C°	± 1,0 C°	1 C°	
	0 C° - 500 C°	± 1,5 C°		
	500 C° - 1400 C°	± 2,5 C°		
Analog Termometre	0 C° - 500 C°	± 0,03 C°	0,1 C°	Karşılaştırma
		± 0,05C°	0,2 C°	
		± 0,15C°	0,5 C°	
		± 0,3C°	1 C°	
		± 0,5C°	2 C°	
		± 1,5C°	5 C°	
		± 3,0 C°	10 C°	
PT-100 ve PT-25	-80 C° - (-40 C°)	± 0,1 C°	-	Sabit Noktalar
	-40 C° - (-20 C°)	± 0,05 C°		
	-20 C° - 75 C°	± 0,02 C°		
	75 C° - 250 C°	± 0,05 C°		
	250 C° - 500 C°	± 0,05 C°		
	-40 C° - 660 C°	± 0,005 C°		
Elektronik radyasyon termometresi	0 C° - 500 C°	± 2 C°	-	Karşılaştırma
Tam daldırılmalı sıvılı cam termometre	-20 C° - 50 C°	± 0,01 C°	0,01 C°	Karşılaştırma
		± 0,02 C°	0,02 C°	
	-20 C° - 75 C°	± 0,05 C°	0,05 C°	
		± 0,05 C°	0,1 C°	
	-40 C° - 250 C°	± 0,1 C°	0,2 C°	
		± 0,2 C°	0,5 C°	
		± 0,3 C°	1 C°	
		± 0,5 C°	2 C°	
		± 2 C°	5 C°	

I.6.3. İzlenebilirlik ve Döngülü Karşılaştırma

Doğruluğu en kaba ölçümden primer standarda kadar uzanan mukayeseli ölçme işlemine İZLENEBİLİRLİK denilir. İzlenebilirliğin olmadığı ölçme işlemlerinin geçerliliğinden bahsedilemez. Burada geçen primer standart kavramı ise, uluslararası bir kararla (CGPM kararı) kabul edilmiş tarife dayalı olarak realize edilmiş ve döngülü karşılaştırma ile tescil edilmiş standarda verilen isimdir.

Özellikle, Ulusal Metroloji Enstitülerinde yapılan ve uluslararası karşılaştırmalara dahil edilebilen fiziksel birimlerin realizasyonu için temel teşkil edecek prototiplerin çeşidi ve seviyesi ülkelerin ulusal prestijleri açısından (Ülkenin bilimsel seviyesi ve gelişmişlik ölçüsü bakımından) son derece önemli bir kriterdir.

Yapılan ölçümlerin uluslararası geçerliliği bu karşılaştırma ölçümlerine dahil olunmasına bağlıdır. Ülkeler teknolojik imkanlara sahipiseler karşılaştırmaya BIPM tarafından dahil ettirililer. Bu yolla ülkede kullanılan ölçümler uluslararası bir nitelik kazanabilir. Teknolojik imkana sahip olmayan ülkeler yapılan ölçümlerin geçerliliği için karşılaştırmaya girmiş başka bir ülkeye bağımlı olarak çalışmak zorundadırlar [15, 16, 11].



Şekil I.6 İzlenebilirlik Ve Döngülü Karşılaştırma Oluşum Şeması

BÖLÜM II SICAKLIK SKALALARI

II.1. GİRİŞ

Sıcaklık, ısı bilimi olan termodinamik ile tanımlanır. Pratikte, termodinamik prensiplerle çalışan termometreler, uygun ve yeterli doğruluğa sahip değildirler. Bunların yerine uluslar arası ölçme topluluğunun oluşturduğu, yeniden üretilebilir bir deneysel sıcaklık skalası bilimsel ve ticari ihtiyaçların karşılanması amacıyla kullanılır. Bu skala mümkün olan en geniş aralığı ve termodinamik skalaya en yakın değerleri kapsayacak şekilde, periyodik olarak yenilenir. En yakın yenilenme 1990 yılında yapıldığından, şu anki skala 1990 Uluslararası sıcaklık skalası, kısaca (ITS-90) olarak bilinir. ITS-90; 1987 yılında toplanan 18.Ağırlıklar ve Ölçüler genel konferansının (CGPM) 7.maddesinde belirtildiği üzere, Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler komitesince (CIPM) 1989 yılında uygulanmaya konmuştur. Bu skala IPTS-68 (1975 revizyonlu) ve EPT-76 skalalarının yerini almıştır [13].

II.1.1. 1990 Uluslararası Sıcaklık Skalası (ITS-90)

Bu skalada temel fiziksel büyüklük termodinamik sıcaklıktır, T sembolüyle gösterilir ve Kelvin birimiyle(K)ifade edilir. Kelvin büyüklüğü suyun üçlü noktasının termodinamik sıcaklığının 1/273,16 sıdır.

Daha önceki sıcaklık skalalarında 273,15 K olan buz noktası referans alındığından, genel olarak sıcaklık ifade edilirken, 273,15 K den olan fark alınarak ifade edilir. Celsius sıcaklığı olarak ifade edilen bu skalanın sembolü t dir ve °C birimiyle gösterilir.

$$t(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,15 \quad (\text{II.1})$$

ITS-90 skalasında sıcaklıklar, Uluslararası Kelvin sıcaklıklarında T_{90} sembolüyle;uluslararası Celsius sıcaklıklarında t_{90} sembolüyle tanımlanırlar. T_{90} sıcaklığının birimi Kelvin(K), t_{90} sıcaklığının birimi ise Celsius (°C) dur. T_{90} ve t_{90} arasındaki ilişki:

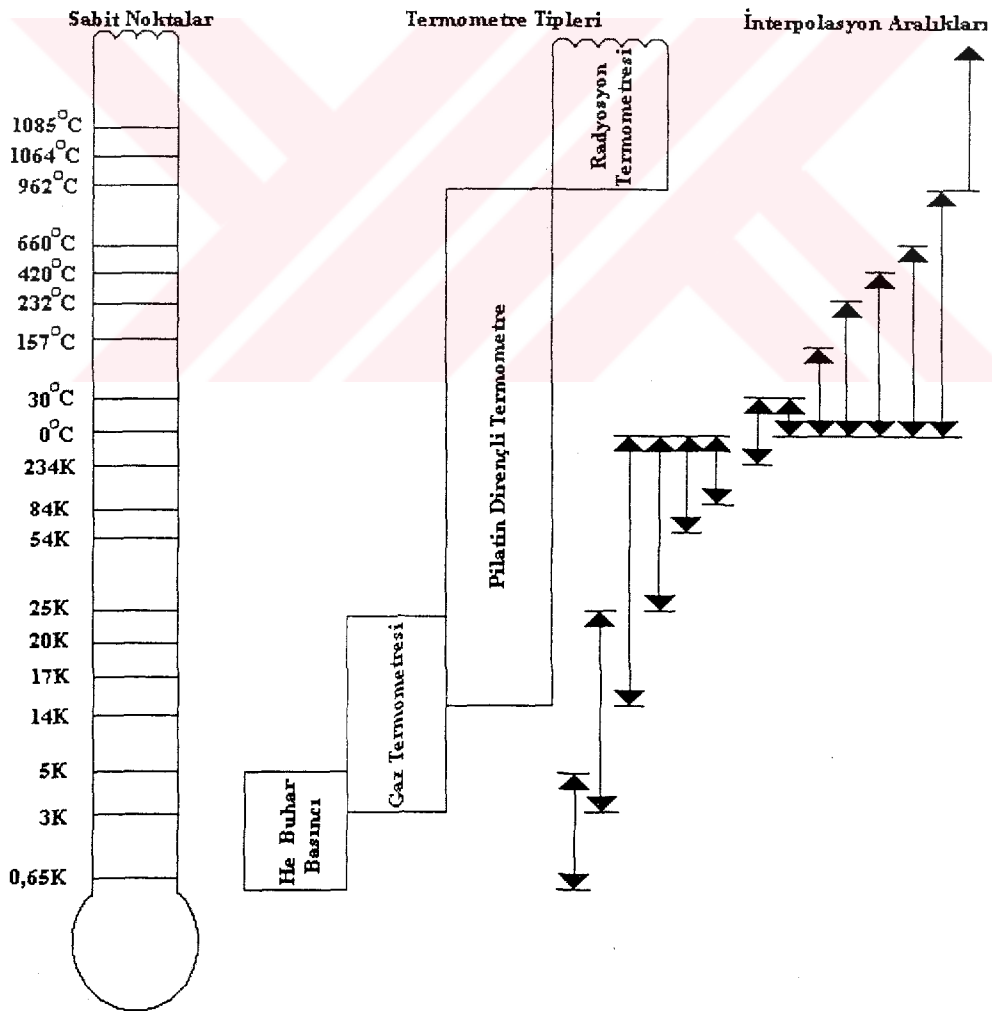
$$t_{90} (^{\circ}\text{C}) = T_{90} (\text{K}) - 273,15 \quad (\text{II.2})$$

şeklindedir.

ITS-90 skalası 0,65K dan başlayan ve artarak Planck radyasyon kanununa göre ölçülebilen çok yüksek sıcaklıklara kadar çıkan sıcaklıklarda kullanılır.

0,65 K ve 5,0K aralığı için T_{90} , buhar basıncı sıcaklığına göre tanımlanırken; 3,0K ve neon üç nokta sıcaklığı (24,5561K) için T_{90} , deneysel olarak belirlenen üç sıcaklık değerinde kalibre edilen helyum gaz termometresiyle ve özel interpolasyon prosedürleri kullanılarak belirlenir.

Denge durumundaki hidrojen üç nokta sıcaklığı (13,8033K) ve gümüş donma noktası (961,78°C) aralığı için T_{90} , belirli sayıdaki sabit noktalarda kalibre edilen pilatin dirençli termometreler ve özel interpolasyon prosedürleri kullanılarak belirlenir. Gümüş donma noktası üzerindeki sıcaklıklarda T_{90} , belirli sabit bir nokta ve Planck radyasyon kanuna göre oluşturulur [18].



Şekil II.1 ITS -90 temel özellikleri

Şekil II.1’de ITS- 90 tarafından belirlenen sabit noktalar, kullanılan termometre tipleri ve interpolasyon formüllerinin tanımlandığı sıcaklık aralıkları görülmektedir. Şekil II.1’de görüldüğü üzere skalanın oluşturulmasında kullanılan üç temel aşama vardır:

- Sabit noktalar; erime noktası, donma noktası ve birçok maddenin üçlü noktası, BIPM ile uyumlu olarak oluşturulur;
- Sabit noktalar dikkate alınarak uygun termometre tipleri belirlenir;
- Belirli değerlerin üzerindeki sıcaklık değerleri, belirlenmiş sabit noktalardaki tespit edilen değerler kullanılarak özel interpolasyon eşitlikleri ile hesaplanır.

Sabit noktalar, sıcaklık değeri bazı fiziksel işlemlerle sabitlenen fiziksel sistemlerdir. Bu nedenle evrenseldirler ve tekrarlanabilirler. Sıcaklık için en başarılı sistem, büyük hal değişimlerinin olduğu faz değişim süreçleridir. (Örneğin; sıvı halden katı hale veya buhar halinden sıvı hale geçişler) Sabit nokta düzeneği gibi uygun koşullar altında, kullanılan malzemeye bağlı olarak değişen bir sıcaklıkta, faz değişimi meydana gelir. Faz değişimi sabit nokta düzeneğinden bağımsızdır. Gizli ısı, sıcaklık değişimi olmaksızın hal değişimine neden olan ısı miktarı olarak tanımlanır. Bu durumda faz değişimi boyunca, madde ile çevresi arasında oluşacak küçük miktardaki ısı transferi maddede bir sıcaklık değişimine neden olmayacaktır.

Saf metallerin donma noktaları ergime gizli ısı tarafından kontrol edilir ve yüksek tekrarlanabilirlikte sıcaklıklar elde sağlanır. Bir çok maddenin üçlü noktası belirli bir sıcaklık ve basınç değerinde katı, sıvı ve gaz fazları arasında denge olması nedeniyle sabit noktalar yapımında kullanılır. Tablo II.1’de kullanılan sistemler ve belirlenen değerleri görülmektedir.

Skalanın oluşturulmasında dört tip termometre kullanılır:

- Buhar basınçlı termometreler;
- Gazlı termometreler;
- Platin dirençli termometreler; ve
- Radyasyon termometreleri.

Radyasyon ve gazlı termometrelerin interpolasyon formülleri, direk olarak termodinamik eşitlikler üzerinden belirlenir ancak, referansı skala üzerindeki

tanımlanan sıcaklıklardır. Basınçlı termometreler ve dirençli termometrelere ait eşitlikler daha deneyseldir.

Tablo II.1 ITS-90 skalasında tanımlanan sabit noktalar

No	Sıcaklık		Madde*	Hal
	T_{90}/K	$t_{90}/^{\circ}C$		
1	3-5	-270,15-(-268,15)	He	Buhar-basıncı noktası
2	13,8033	-259,3467	e-H ₂	Üçlü nokta
3	~17	~(-256,15)	e-H ₂ veya He	Buhar-basıncı noktası veya Gazlı termometre noktası
4	~20,3	~(-252,85)	e-H ₂ veya He	Buhar-basıncı noktası veya Gazlı termometre noktası
5	24,5561	-248,5939	Ne	Üçlü nokta
6	54,3584	-218,7916	O ₂	Üçlü nokta
7	83,8058	-189,3442	Ar	Üçlü nokta
8	234,3156	-38,8344	Hg	Üçlü nokta
9	273,16	0,01	H ₂ O	Üçlü nokta
10	302,9146	29,7646	Ga	M**
11	429,7485	156,5985	In	F**
12	505,078	231,928	Sn	F**
13	692,677	419,527	Zn	F**
14	933,473	660,323	Al	F**
15	1234,93	961,78	Ag	F**
16	1337,33	1064,18	Au	F**
17	1357,77	1084,62	Cu	F**

* He dışındaki diğer tüm maddeler doğal izotopik kompozisyonlardır: e-H₂, ortho ve para moleküler formların denge yoğunluğundaki hidrojenidir.

**M, F: Erime noktası, Donma noktası(101,325 Pa basıncındaki katı ve sıvı fazların dengede olduğu sıcaklık).

Termometreler, sıcaklık ölçümlerinin izlenebilirliğinin sağlanmasını temin eden birincil sıcaklık skalasını oluştururlar. Sabit noktalar herhangi bir termometrenin performansının kontrolünü sağlayan referans noktaları temin ederler, ancak skala termometrelerinden daha temel oldukları düşünülmemelidir. Radyasyon, gaz ve buhar basınçlı termometrelerin temel kullanım amacı; skalaların, kalibrasyonların gerçekleştirilmesinde kullanılacak olan standart lambalar veya rodyum-demir dirençli termometreler gibi daha uygun referans termometrelere çevrilmesidir.

Platin dirençli termometrelerde geniş aralıktaki bir çok referansın ve termometrenin kalibrasyonu amacıyla kullanılabilirler.

II.1.2. Suyun Üçlü Noktası

Sıcaklık skalasının temeli, termodinamik sıcaklık biriminin tanımlanmasında kullanılan, suyun üçlü noktasıdır. Suyun üçlü noktası; buz, su ve su buharının belirli bir kapalı kap içerisinde, kendi aralarında kararlı dengede oldukları tek bir sıcaklık ve basınç değerinde oluşur. Diğer sıcaklık ve basınç değerlerinde buz-su veya su-buhar gibi sadece iki fazın dengede olması durumu söz konusudur. Bu fiziksel sistemin sıcaklık referansı olarak kullanılabilmesi amacıyla, standart platin dirençli termometreler (SPRTs) için özel hücreler kullanılır. Hücreler temizliğine son derece önem gösterilmiş, dayanıklı bir cam tüp kullanılarak gerçekleştirilebilir. 0 °C deki buz noktası suyun üçlü noktasına yakındır ve doğru bir suyun üçlü noktası yapılıncaya kadar, sıcaklık skalaları için tanımlayıcı bir nokta olarak kullanılmıştır. Kolay yapılabilmesi nedeniyle buz noktası halen önemli bir konuma sahiptir.

II.1.2.1. Buz Noktası

Buz noktası ergimiş buz ile hava doyumlu suyun dengede olduğu noktadır. Herhangi bir laboratuvar da çok az kaynak kullanarak gerçekleştirilebilmesi nedeniyle, sabit nokta olarak kullanılır. Dikkatle oluşturulmuş bir buz noktası düzeneği $\pm 0,01^{\circ}\text{C}$ ye kadar bir doğruluk derecesine sahip olur. Bu doğruluğun üzerindeki gereksinimlerde üçlü-nokta hücresi kullanılmalıdır. Birçok termometre 0 °C noktasına sahiptir ve termometre seçilirken bu noktaya sahip termometreler tercih edilmelidir. Termometrelerin 0 °C de kontrolü, termometrelerin doğru çalışmasının kontrolünü sağlaması ve kalibrasyon sertifikasının geçerliliğinin tespiti açısından önemlidir.

II.1.3. Skala Tanımlamasında Kullanılan Sabit Noktalar

Birçok malzemeye bağlı olarak belirlenen sabit noktalar, sıcaklık skalasının temelini oluştururlar. Su sabit noktaları kadar ucuz ve kullanımları kolay olmamalarına rağmen, yüksek doğruluk ve güvenilirliğin gerekli olduğu uygulamalarda kullanılabilirler. Metal sabit noktaları, erişilecek karalı sıcaklığı sağlayacak yeterli ısıyı veren, metallerin sıvı - katı geçişini oluşturan gizli ısıya

dayanır. Daha düşük gizil ısılardaki gaz sabit noktalarında, doğruluğun sağlanması amacıyla yüksek kaliteli sıcaklık kontrolünü gereksinim duyulur.

II.1.3.1. Metal Donma Ve Ergime Sabit Noktaları

Bir çok saf metal, 1 mK içinde tekrarlanabilir donma noktalarına sahiptir. Metaller çok iyi derecede saf olmalı ve kullanıcının sıvı fazdan katı faza geçişini gözlemleyecek şekilde düşük termal gradyene sahip özel düzenekler içinde bulunmalıdır. Metallerin ergime noktaları da aynı amaç için kullanılabilir ve ayrıca ergime gizli ısı işlemi tarafından kontrol edilirler. Ancak saf olmamaya karşı daha duyarlı olmaları nedeniyle çok saf metallere gereksinim duyarlar. ITS-90 için kullanılan pek çok metal sabit noktası, fırınlar ve kontrol düzenekleriyle beraber özel hücreler içerisinde bulunur.

II.1.3.2. Gazların Üçlü Noktası

Düşük sıcaklık termometresi referans standartlarındaki en önemli gelişme, gazların kapalı üçlü-nokta hücrelerinin artan orandaki kullanımı ve varlığıdır. H_2 , Ne, O_2 ve Ar yaygın kullanılan gazlardır. Bu sabit noktaların diğer sabit noktalardan farkı, çok düşük miktarda gaz kullanmalarıdır. Daha az malzemeye ihtiyaç duyarlar ve sıcaklığı sabit tutmak için tek başına gizli ısı yeterli değildir. Üçlü noktaya yaklaşmak için, özel prosedürlerle beraber çok iyi kontrol edilen krayostat gereklidir. Hücreler üçlü-nokta basıncına ulaşmak amacıyla yeterince gaz ile doldurulurlar. Bu oda sıcaklığı basıncının 0,5-10 MPa arasında olması anlamına gelir. Hücrelerin yüksek derecede ısıtılması basınç değerinin korunmasını önler ve kapalılık özelliğinin kaybolmasına neden olur. Hücrelerin dik olarak tutulması durumunda birden fazla kapalı termometrenin yerleştirilmesi mümkündür [13].

II.1.4. 1927 Uluslararası Sıcaklık Skalası (ITS-27)

ITS-27; 7. Ağırlıklar ve Ölçüler genel konferansınca (CGPM) uygulamaya konmuştur. Bu skala gaz termometresi aracılığıyla termodinamik sıcaklıkların direk uygulanmasından doğan zorlukları ve mevcut durumdaki ulusal sıcaklık skalalarından doğan karışıklığı önlemek amacıyla oluşturulmuştur. ITS-27 sıcaklık ölçümlerinin daha doğru ve tekrarlanabilir sonuçlarla, termodinamik sıcaklığa olduğunca yakın olarak açıklanmasına olanak tanır.

Oksijen kaynama noktası ve altın donma noktası; sayısal değerleri atanan birkaç yeniden üretilebilir sıcaklıkta, sabit noktalarda ve iki adet standart interpolasyon cihazıyla gerçekleştirilebilir.

Düşük sıcaklıklarda Platin dirençli termometre, 660°C'nin üstündeki sıcaklıklarda ise radyum/platin termokupul kullanılır.

Altın donma noktası üzerindeki sıcaklıklarda Wien radyasyon kanununa göre tanımlama yapılır.

II.1.5. 1948 Uluslararası Sıcaklık Skalası (ITS-48)

ITS-48, 9. Ağırlıklar ve Ölçüler genel konferansınca (CGPM) benimsenerek uygulanmaya alınmıştır. ITS-27 den ayrılan noktaları şunlardır: Platin dirençli termometre alt limit değeri -190°C den, belirlenen (tanımlanan) oksijen kaynama noktasına (-182,97 °C) değiştirilmiştir.

Platin dirençli termometre jonksiyon aralığı ve termokupul aralığı, ölçülen antimon donma noktası değeri(Yaklaşık 630 °C) yerine 660 °C olmuş; gümüş donma noktası 960,5 °C yerine 960,8°C olarak değiştirilmiş; altın donma noktası, altın kaynama noktasının (1063 °C) yerini almış; Planck kanunu Wien kanununun yerini almış; ikinci radyasyon sabiti değeri olan $1,438 \cdot 10^{-2}$ mK yerini, $1,432 \cdot 10^{-2}$ mK almış; standart dirençli termometreler ve termokupullar için interpolasyon formülündeki izin verilen sabit aralığı değiştirilmiş, optik pirometreler için $\lambda \cdot T < 3 \cdot 10^{-3}$ mK olarak “görünür” radyasyonun kullanılabilmesi amacıyla değiştirilmiştir.

II.1.6. 1960 değişimli 1948 Uluslararası Pratik Sıcaklık Skalası (IPTS-48)

IPTS-48, AE-60; 11. Ağırlıklar ve Ölçüler genel konferansınca (CGPM) benimsenmiştir. 10. genel konferansta suyun üçlü noktası kelvini tanımlayan tek nokta olarak zaten benimsemiştir. Standart önünde yer alan “Practical” kelimesinin ITS-48 skalasına getirdiği yenilikler şunlardır: suyun üçlü noktası değeri 0,01 °C yerini, çinkonun donma noktası değeri (419,505 °C) almış, sülfürün kaynama noktasına (444,6°C) kalibrasyon amacıyla bir alternatif olmuştur; standart dirençli termometreler ve termokupullar için interpolasyon formülündeki izin verilen sabit aralığı değiştirilmiş; optik pirometrelerin “görünür” radyasyonu için oluşturulan sınırlamalar kaldırılmıştır.

II.1.7. 1968 Uluslararası Pratik Sıcaklık Skalası (IPTS-68)

IPTS-68; Uluslararası Ağırlıklar ve Ölçüler komitesi(CIPM) tarafından 13. genel konferansında belirlenmiştir. IPTS-68, IPTS-48 den ciddi anlamda farklılıklar arz eder. Termodinamik sıcaklığa yaklaşmak amacıyla sayısal değişikliklerin yapılmasının yanı sıra şu değişikliklerde yapılmıştır: Skala değeri 13,81 K ye düşürülmüştür; iki helyum buhar basınçlı skalalar önerilmiştir, altı yeni sabit nokta oluşturulmuştur-denge hidrojen üç nokta sıcaklığı(13,81K), orta denge hidrojen noktası (17,042K), denge hidrojen normal kaynama noktası (20,28K), neon kaynama noktası (27,102K), oksijenin üç nokta değeri (54,361K) ve kalay donma noktası (231,9681°C), bu değer suyun kaynama noktasına alternatif olmuştur;dört sabit(belirli) noktaya atanan değerler değiştirilmiştir. Oksijenin kaynama noktası (90,188K), çinkonun donma noktası (419,58°C), gümüşün donma noktası (961,93°C) ve altının donma noktası (1064,43°C); dirençli termometre aralığı interpolasyon formülü daha kompleks olmuştur; ikinci radyasyon sabiti olan C_2 'ye atanan sabit $1,4388 \cdot 10^{-2}$ mK olmuştur; dirençli termometreler ve termokupullar için interpolasyon formülündeki izin verilen sabit aralığı tekrar değiştirilmiştir.

II.1.8. 1975 değişimli 1968 Uluslararası Pratik Sıcaklık Skalası (IPTS-68/75)

IPTS-68, AE-75; 15. Ağırlıklar ve Ölçüler genel konferansında (CGPM), 1975 yılında belirlenmiştir. Bu skalanın getirdiği yenilikler şunlardır: oksijen noktası, kaynama noktasından farklı olarak yoğunlaşma noktası olarak belirlenmiştir; argon üç nokta değeri(83,798K), oksijen yoğunlaşma noktasına izin verilmiş bir alternatif olarak belirlenmiştir.

II.1.9. 1976 0,5K – 30K Sıcaklık Aralığına Yönelik Sıcaklık Skalası (EPT-76)

EPT-76 iki temel ihtiyacı karşılamak amacıyla oluşturulmuştur, bunlar: hataların azaltılması ve 5,2K ile 13,81K arasındaki boşluğu uluslararası bir skala oluşturmak amacıyla birleştirmektir. EPT-76'nın oluşturulmasındaki diğer amaçlar 27,1K de IPTS-68 ile devamlılık oluşturmak amacıyla termodinamik düzgünlük sağlamak, termodinamik T sıcaklığına yaklaştırmaktır. EPT-76'nın uygulanmasında kolaylık sağlanması amacıyla belirli metotlar onaylanmıştır. Bunlar, termodinamik

interpolasyon elemanı kullanmak ve bir veya daha fazla atanmış referans nokta kullanmak; 13,81K'nın üzerinde IPTS-68 kaynaklı farkları gidermek şeklinde sıralanabilir [18].



BÖLÜM III ÖLÇÜM, İSTATİSTİK ve İSTATİSTİKSEL ANALİZ YÖNTEMLERİ

III.1. GİRİŞ

Ölçüm, bir büyüklüğün bulunmasına yönelik işlemler dizisidir. Ölçüm sonucu ise ölçülen büyüklüğün, ölçüm sonucunda elde edilen değeridir. Tutarlı, kararlı ve gerçekçi ölçüm sonuçlarının elde edilebilmesi için, öncelikle, bir ölçüm prensibinin ve ölçüm metodunun oluşturulması, ölçüm prosedürünün ortaya konması ve ölçüm prosesinin tanımlanması gerekir. Bu kapsam içerisinde yer alan her bir basamak, sonlu sayıdaki değişkenlerin bir araya gelmesiyle yapılır. Bu değişkenlerin sayısı ne kadar artarsa, ölçüm sonucu elde edilen değer doğruluğu ve hassasiyeti de o ölçüde artar.

Dolayısıyla, istatistiksel analizin, elde edilmiş ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde verimli olarak kullanılabilmesi ve bağlı değerlendirmelerin tutarlı yapılabilmesi için değişkenlerin sayısının artırılması ve tam olarak tanımlanabilmesi gereklidir. Bu anlamda, olabildiğince çok değişken tanımlayarak ölçüm sonucunu elde etmek teorik açıdan olması gerekendir. Bu şekilde mükemmel ölçümlere ve ölçüm sonuçlarına ulaşılır. Ancak, bu teorik yaklaşımın gerçeğe uyarlanabilmesinin önünde iki engel vardır. Bunlardan birincisi yüksek maliyet, ikincisi ise doğrudan ölçüm için hazırlanan veya elde edilen örneğin niteliğine ve yapısına bağlı olarak gerçekçi ve kesin ölçüm sonuçları elde edilemeyeceği gerçeğidir.

Bu çerçevede, tutarlı ve yeterli bir yorumun ortaya konabilmesi ve değerlendirmenin yapılabilmesi doğrultusunda, yeter sayıdaki örnek kullanılarak yapılan ölçümlerle elde edilmiş ölçüm sonuçları üzerinde uygun istatistiksel analiz belirlenmesi ve uygulanması gereklidir. Genel anlamda, istatistik ve istatistiksel analiz yöntemleri, temelde elde edilen verilere dayanarak, bir değerler bütününe sahip olduğu belirsizliğin derecesini tanımlamak amacıyla dönük olarak kullanılırlar. Temel istatistiksel kavramların desteğiyle, ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesine yönelik

olmak üzere, birbirinden bağımsız stratejiler, yaklaşımlar veya detaylandırılmış örneklemelerle destekli çözümler ortaya konabilir ve geliştirilebilir.

III.2. TEMEL İSTATİSTİKSEL KAVRAMLAR

Ana kütleyi temsil eden örnekler ile yapılan ölçümler sonucunda elde edilen ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde ve yorumlanmasında kullanılan temel istatistiksel kavramlar, “Ortalama Değer”, “Standart Sapma”, “Olasılık Dağılımları”, “Güven Aralığı” ve “Güven Aralığı Olasılığı” olarak sıralanabilir. Bu kavramlardan her birisi, birbiriyle bağlantılı olarak kullanılarak, ölçüm sonuçlarının tutarlı ve gerçeğe en yakın şekilde değerlendirilmesi amacına dönük olmak üzere irdelenerek geliştirilmesini ve düzenlenmesini sağlarlar [19].

III.2.1. Ortalama Değer

Bulunan ölçüm değerlerinin aritmetik ortalamasıdır.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (\text{III.1})$$

Burada,

X_i : ‘i’ nolu ölçüm,

n : toplam ölçüm sayısı’dır.

III.2.2. Standart Sapma

Ölçüm değerlerinin ortalama değerden ne kadar uzağa dağıldığının göstergesidir. Standart sapmanın hesaplanmasında amaç, ölçümü bir başka ölçüm ile kıyaslamaktır. Standart sapmalarla yapılan işlemler aritmetik değil geometriktir; yani iki standart sapma aritmetik değil geometrik toplanır.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (\text{III.2})$$

Burada;

S : Standart sapma,

$\bar{X}$: Ölçüm sonuçlarının ortalama değeri,

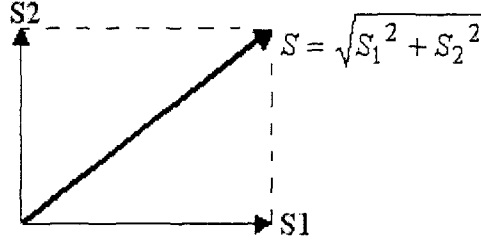
X_i : ‘i’ nolu ölçüm,

n : toplam ölçüm sayısı’dır.

$n > 20$ olması durumunda;

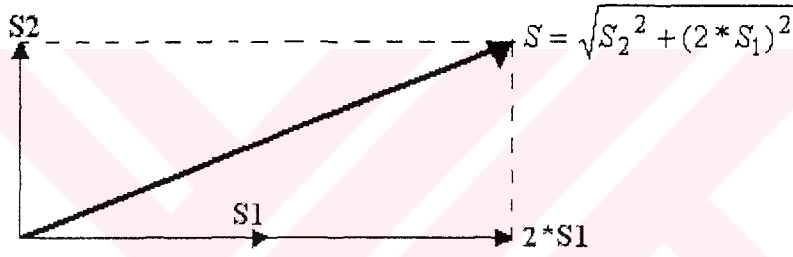
$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (\text{III.3})$$

olur.



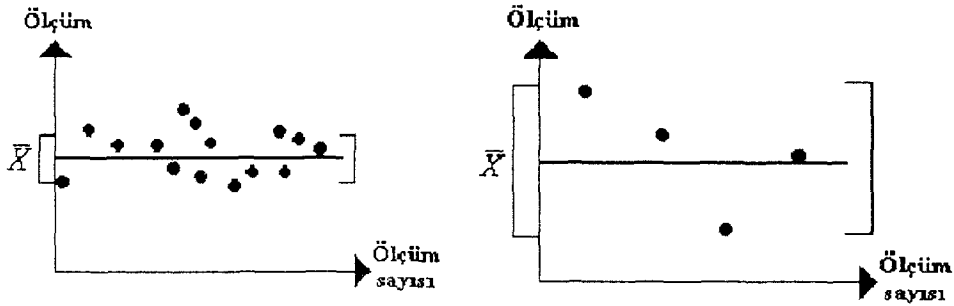
Şekil III.1 Standart sapmaların toplanması

Standart sapmalardan birinde meydana gelebilecek bir artış durumunda eşitlik Şekil III.2’de gösterildiği gibi olacaktır:



Şekil III.2 Standart sapmalarda meydana gelebilecek artış

Ortalamanın standart sapması(Deneysel standart sapma):



Şekil III.3 Ortalama değerin değişimi

Ortalama değer ölçüm sayısı arttıkça daha büyük bir doğrulukla tespit edilebilir. Ölçüm sayısının çok olduğu durumlarda, ortalama değerin değişebileceği aralık, ölçüm sayısının az olduğu durumlarla karşılaştırıldığında daha dardır. Deneysel standart sapma, yapılan ölçümlerin üstüne yeni bir ölçüm yapıldığında ortalama değerde meydana gelebilecek değişiklik miktarının bir ifadesidir. Bu çerçevede,

ölçüm sayısının artırılmasıyla birlikte ortalama değerin standart sapmasındaki değişim de azalmaktadır.

Yapılan (n) sayıda ölçümün üstüne yeni bir ölçüm yapıldığında (n+1), ortalamada meydana gelebilecek değişiklik miktarı eşitlik (III.4)'deki gibi olur:

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (\text{III.4})$$

S_x : Ortalama değerin standart sapması,

S : Ölçümlerin standart sapması,

n :Yapılan ölçüm adedi'dir.

Yapılan ölçüm sayısının 10 adetten küçük olması durumunda ortalamanın standart sapması değeri Tablo III.1'de verilen katsayı (doğrulama katsayısı) ile çarpılmalıdır [20].

$$S_x = k_n * \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (\text{III.5})$$

Tablo III.1 Doğrulama katsayıları

Ölçüm Sayısı	Katsayı (k_n)
2	7,0
3	2,3
4	1,7
5	1,4
6	1,3
7	1,3
8	1,2
9	1,2
10+	1,0

III.2.3. Güven Aralığı ve Güven Aralığı Olasılığı

Bir değişkenin değerini belirtmek için, o değişkene ait bir nokta değer olarak verildiğinde, bu ölçülen değişken için pek fazla bir anlam ifade etmeyecektir. Mevsimsel sıcaklık değişimlerinin belirtilmesi istendiğinde, yazları 30°C, kışları 0°C demek pek anlamlı olmayacaktır.

Değişkenin $L < X < U$ aralığında belirtilmesi daha kullanışlı olacaktır.Bu durumda belirtilen örnek için, yazları 30 ± 5 °C, kışları 0 ± 5 °C demek daha anlamlı bir bilgi olacaktır.

Güven aralığı olasılığı yapıldığında dört istatistiksel bilgi tanımlanmalıdır.

Bunlar;

U : Üst güven sınırı,

L : Alt güven sınırı,

X : Ortalama değer,

P (L < X < U): Güven aralığı olasılığı'dır.

Alt ve üst güven sınırları, tanımlanmış veya belirlenmiş güven aralığı olasılığı kullanılarak elde edilmiş ölçüm değerlerinin, ortalama değerden uzaklık derecesinin anlatımıdır.

Sıcaklığın yazları % 95 güven aralığı için 30 ± 5 °C denildiğinde, bunun anlamı sıcaklığın % 95 olasılıkla 25 °C ile 35 °C arasında değişecektir. Yani 100 gün süren bir yaz mevsiminde 95 gün sıcaklık 25 °C ile 35 °C arasında değişecek, 5 gün ise bu sınırların dışında olacaktır.

Bilimsel bir çalışmada amaç, güven aralığı olasılığını azaltmadan, güven aralığı genişliğini daraltmaya çalışmaktır. Güven aralığı ve güven aralığı olasılığı arasındaki dağılım eğrisi normal dağılımdır.

III.3. OLASILIK DAĞILIMLARI

Olasılık dağılımlarının ortaya konmasının amacı, ölçüme ve ölçüm sonucuna etki eden bütün değişkenlerin, dolayısıyla da ölçüm değerlerinin meydana gelme olasılıklarının analizinin yapılmasıdır. Gerçekte dağılım modelleri çok daha fazla olmasına karşın, olasılık dağılım analizleri, “uniform” ve “normal” olmak üzere iki grupta toplanarak gerçekleştirilebilir.

III.3.1. Uniform Dağılım

Bu tip dağılımlarda, bütün değişkenlerin meydana gelme olasılıkları birbirine eşittir. Böyle bir durumda, değişkenlerin dağılım aralığının genişliği $2u$ kadardır. Bunun matematiksel tanımı ise;

$$b - a = 2u \quad (III.6)$$

şeklinde ifade edilir.

Bu tip dağılımlarda, standart sapmanın tanımı, dağılım aralığının genişliğine bağlı olarak;

$$S = \sqrt{\frac{1}{3}u^2} \quad (\text{III.7})$$

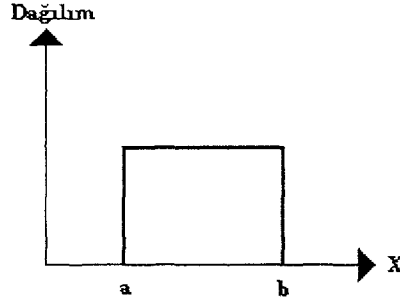
şeklinde yapılır.

Burada;

S : Standart sapma,

u : belirsizlik,

a, b : dağılım aralığı başlangıç ve bitiş değerleridir.



Şekil III.4 Uniform dağılım grafiği

III.3.2. Normal Dağılım (Çan Eğrisi)

Bu tip dağılımlarda, bütün değişkenlerin meydana gelme olasılığı birbirine eşit değildir. Ortalama değerden uzaklaştıkça, değişkenlerin meydana gelme olasılığı azalır. Normal dağılımda değişkenler teorik olarak eksi sonsuz ile artı sonsuz arasında değişir. Normal dağılımın en büyük özelliği, ortalama değerden sağa ve sola eşit uzaklıkta gidildiğinde, değişkenlerin meydana gelme olasılığının aynı olmasıdır. Dolayısıyla değişkenlerin dağılımı simetriktir. Normal dağılımda sonsuza doğru gidildikçe gerçekleşme olasılığı azalır.

Normal dağılımda, standart sapma, ortalama değer ile belirsizlik arasındaki ilişki;

$$\bar{X} \pm \frac{ts}{\sqrt{n}} \quad (\text{III.8})$$

olarak tanımlanır. Burada;

$\bar{X}$: Ortalama değer,

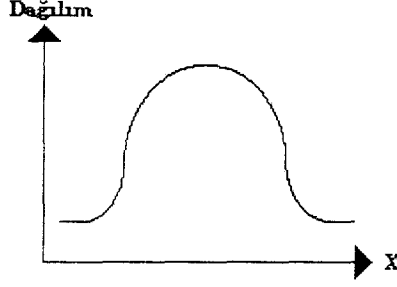
s : Standart sapma,

t : Güven katsayısı,

n : ölçüm sayısı şeklindedir,

$\frac{s}{\sqrt{n}}$ ifadesi deneysel standart sapma'dır.

Güven katsayısı t , güven seviyesine bağlı olarak belirlenir. Dolayısıyla, ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesinde gerek duyulan güven aralığının tanımlanmasıyla ifade edilir [19,20].



Şekil III.5 Normal dağılım grafiği

III.4. ÖLÇÜMDE BELİRSİZLİK

Sıcaklık, basınç, akış gibi herhangi bir fiziksel büyüklük ölçüldüğünde elde edilen sonucun ne kadar doğru bir değer olduğu yapılan bu ölçümle ilgili bir belirsizlik değeri verilirse anlaşılır. Ölçümün belirsizliği ölçümün doğruluğu hakkındaki şüphe dir.

Temel belirsizlik nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Ölçülecek fiziksel büyüklüğün iyi bir şekilde tanımlanamaması,
- Tanımlanmış ölçümün gerçekte oluşturulamaması,
- Çevresel etkilerin ölçüme olan etkisinin tam olarak bilinmemesi,
- Analog cihazlarda insanlardan kaynaklanan ölçüm hataları,
- Cihazların gösterge hassasiyeti,
- Yanlış kullanılan bilimsel sabit sayılar,
- Ölçüm metodundan kaynaklanan yanlış yapılan kabuller,
- Koşullarda hiçbir değişiklik olmamasına rağmen, tekrarlanan ölçümlerin farklılık göstermesi.

Bir ölçüm sırasında belirsizliği hesaplamak için birden fazla ölçüm yapılması ve bir takım istatistiksel bilgilerin kullanılması gereklidir.

III.4.1. Ölçüm Hataları

Bilimsel bir ölçümde hata, kaçınılmaması mümkün olmayan belirsizlik anlamını taşır. Hatalar rastlantısal (tesadüfî) ve sistematik olmak üzere iki türdür.

Rastlantısal hatalar hiçbir faktöre bağlı olmaksızın meydana gelen hatalardır. Ölçüm yeterli sayıda tekrarlandığında ölçüm değerleri normal dağılım eğilimi gösterecek ve ölçümlerin ortalaması gerçek değere eşit olacaktır. Bu hataların belirlenmesinde istatistiki yöntemlerden faydalanılır.

Sistematik hatalar uygun ölçüm şartlarının sağlanamamasından veya hatalı kalibre edilmiş ölçüm cihazlarının kullanılmasından kaynaklanan sabit hatalardır. Bu tip hataları çok sayıda ölçüm yaparak tespit etmek ve gidermek mümkün değildir.

III.4.2. Ölçüm Belirsizliğini Oluşturan Etkenler

Bir ölçümde belirsizliği oluşturan faktörler şu şekilde sıralanabilir:

- Tekrarlanabilirlik,
- Ölçüm cihazının performansı,
- Kalibratörün belirsizliği,
- Ölçüm cihazının gösterge hassasiyeti,
- Ortam şartları,
- Diğer belirsizlik faktörleri.

III.4.2.1. Tekrarlanabilirlik

Tekrarlanabilirlik, tekrarlanan ölçüm değerlerinin birbirine olan yakınlığıdır. Amaç deneyin aynı şartlarda yapıldığını garanti altına almaktır. Burada önemli olan, ölçüm sayısının belirlenmesidir. Dolayısıyla, ölçüm sayısının ölçümün doğruluğunu artırması gerçeği ile maliyetin artması ilişkisi arasındaki optimizasyonun kurulması gereklidir.

Tekrarlanabilirliği oluşturan iki ana etken, sistemin tekrarlanabilir olma özelliği ve insandır. Bu iki etken tekrarlanabilirlik faktörünü oluştururlar. Tekrarlanabilirlik faktörü, ölçüm değerlerinin deneysel standart sapmasıdır ve “normal” veya “uniform” olasılık dağılımına sahiptir.

III.4.2.2. Ölçüm Cihazının Performansı

Cihazın üreticisi tarafından belirtilen hata limitleridir. Genellikle bu faktör çalışma aralığı ve okunan değere bağlı olan bir fonksiyon olarak % hata şeklinde verilir. Bu tip cihazların kullanım süreleri arttıkça yapabilecekleri hata miktarı artacaktır. Belirlenmiş süreç içinde meydana gelen hata, hata limitleri içerisinde “uniform” olasılık dağılımına sahiptir.

III.4.2.3. Kalibratörün Belirsizliği

Kalibrasyon işleminde kullanılan kalibratör referanslarının belirsizliği de sonucu etkileyecektir. Bu belirsizlik, kalibratör referansının kalibrasyon sertifikasında belirtilmektedir. Kalibratörün referans belirsizliğinden gelen standart sapma faktörü, belirsizliğinin yarısı değerindedir.

III.4.2.4. Ölçüm Cihazının Gösterge Hassasiyeti

Gösterge hassasiyetinden kaynaklı belirsizlik, ölçüm cihazının son hanesinden kaynaklanan belirsizliktir. Ölçüm cihazının gösterge hassasiyeti, cihazların analog veya dijital olmalarına göre farklı dağılım gösterir. Gösterge hassasiyeti belirsizlik faktörü, dijital bir cihaz için uniform dağılım gösterirken, analog cihazlar için normal dağılım ortaya koyar.

III.4.2.5. Ortam Şartları

Ortamda meydana gelebilecek sıcaklık, nem, basınç vb. gibi değişimlerde ölçüm belirsizliğini etkiler. Bu gibi değişimlerin ölçümü ne kadar etkileyeceği hesaba katılmalıdır.

III.4.2.6. Diğer Belirsizlik Faktörleri

Bunların dışında yapılan bazı hatalar da ölçüm sonucunu etkileyebilir. Ölçümün cinsine göre ölçümlerin uygun olmayan noktalarda yapılması, yanlış parametrelerin kullanılması, hatalı yapılmış kabuller v.b. gibi.

III.4.3. Kalibrasyon Belirsizlikleri ve Dağılımları

- *Referans standartın (Kalibratörün) belirsizliği* : Normal dağılım gösterir.

$$S_r = \pm (\text{Sertifika Değeri}/2) \quad (\text{III.9})$$

- *Tekrarlanabilirlik* : Normal veya uniform dağılım gösterebilir.

$$S_t = \pm k_n * \frac{S_{tn}}{\sqrt{n}} \quad (\text{III.10})$$

- *Ölçüm cihazının performansı* : Uniform dağılım gösterir.

- Stabilite
- Lineerlik
- Histerisiz

$$S_s = \pm k_n * \frac{S_{sn}}{\sqrt{n}} \quad (III.11)$$

- Çevre şartlarının etkisi : Normal veya uniform dağılım gösterebilir.
 - Sıcaklık
 - Hava basıncı
 - Rutubet
 - Titreşim
 - Işık
 - Besleme enerjisi
- Ölçüm cihazının en küçük okuma aralığı(Gösterge hassasiyeti) : Dijital cihazlarda uniform dağılım, analog cihazlarda ise normal dağılım gösterir.

$$S_{ok} = \frac{\pm \text{enküçük bölme}}{2 * \sqrt{3}} \quad (III.12)$$

- Operatörden kaynaklanan hatalar : Normal veya uniform dağılım gösterebilir.
 - Uygulanan kuvvet
 - Göz hastalıkları
 - Eğitim

$$S_{op} = \pm S_{ok} \quad (III.13)$$

$$\text{Toplam standart sapma: } S_{toplam} = \sqrt{S_r^2 + S_t^2 + S_s^2 + S_{ok}^2 + S_{op}^2} \quad (III.14)$$

$$\text{Toplam belirsizlik: } U_T = \pm 2 * S_{toplam} \quad (III.15)$$

III.4.3.1. Örnek Uygulama

Land Cyclops 52 radyasyon Pirometresinin Land LRC kalibrasyon fırınında kalibrasyonu:

Land LRC 2 fırını 1500 C° ye set edilerek kararlı duruma gelmesi için belirli bir süre beklenilmiştir.

Fırın kararlı duruma geldikten sonra içindeki Siyah Yüzey (Black Body)'nin sıcaklığı standart B tipi termokupul ve standart sıcaklık okuma cihazı ile okunup gerçek değer olarak kabul edilmiştir.

Aynı anda Siyah Yüzey (Black Body)'nin sıcaklığı kalibrasyonu yapılacak pirometre ile okunarak ölçülen değer olarak kaydedilmiştir.

Yapılan ölçümlerde belirsizliğin düşük olması için ölçüm sayısının belli bir sayıda olmasına dikkat edilmesi amacıyla optimum 10 adet ölçüm yapılmıştır.

Siyah Yüzey (Black Body)'nin standart termokupul ve standart sıcaklık okuma cihazı ile okunan sıcaklık değerleri C° olarak:

1500,1	1500,1	1500,0	1500,2	1500,1
1500,0	1500,1	1500,0	1500,1	1500,2

Siyah Yüzey (Black Body)'nin sıcaklığı, kalibrasyonu yapılacak pirometre ile okunan sıcaklık değerleri C° olarak:

1499,0	1500,0	1500,0	1501,0	1499,0
1500,0	1500,0	1500,0	1501,0	1500,0

Belirsizlik hesaplamasında kullanılacak katalog değerleri:

Standart B tipi termokupulun sertifikasında belirtilen belirsizlik : 0,5 °C

Standart sıcaklık okuma cihazının sertifikasında belirtilen belirsizlik: 0,1 °C

Kalibrasyonu yapılan radyasyon pirometresinin okuma hassasiyeti: 1 °C olarak belirlenmiştir, buna göre belirsizlik değeri:

Pirometre ile okunan sıcaklık değerlerinin ortalaması: $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = 1500$

Pirometre ile okunan sıcaklık değerlerinin standart sapması:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} = 0,6666$$

Referans B tipi termokupulun belirsizliği:

$$S_{r1} = \pm (\text{Sertifika Değeri}/2) = \pm (0,5 \text{ °C} / 2) = \pm 0,25 \text{ °C}$$

Referans sıcaklık ölçme cihazının belirsizliği:

$$S_{r2} = \pm (\text{Sertifika Değeri}/2) = \pm (0,1 \text{ °C} / 2) = \pm 0,05 \text{ °C}$$

Tekrarlanabilirlik:

Radyasyon pirometresi ile yapılan ölçümler için hesaplandığından, pirometre ölçümlerine ait olan standart sapma değeri (0,6666) alınır:

$$S_t = \pm k_n * \frac{S_{tn}}{\sqrt{n}} = \pm 0,210818 \text{ (} k_n = 1; 10 \text{ ölçüm için)}$$

Stabilite:

Siyah Yüzey (Black Body)'nin sıcaklığında olan salınım.

Siyah Yüzey (Black Body)'nin standart termokupul ve standart sıcaklık okuma cihazı ile okunan sıcaklık değerlerinin ortalaması:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = 1500,1$$

Siyah Yüzey (Black Body)'nin standart termokupul ve standart sıcaklık okuma cihazı ile okunan sıcaklık değerlerinin standart sapması:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} = 0,0737$$

$$S_s = \pm k_n * \frac{S_{sn}}{\sqrt{n}} = \pm 0,023333$$

Okuma belirsizliği:

$$S_{ok} = \frac{\pm \text{enküçük bölme}}{2 * \sqrt{3}} = \frac{\pm 1}{2 * \sqrt{3}} = \pm 0,288675$$

Operatör belirsizliği:

$$S_{op} = \pm S_{ok} = \pm 0,288675$$

Toplam standart sapma:

$$S_{toplamlam} = \sqrt{S_{r1}^2 + S_{r2}^2 + S_t^2 + S_s^2 + S_{ok}^2 + S_{op}^2} = 0,52477$$

Toplam Belirsizlik:

$$U_T = \pm 2 * S_{toplamlam} = \pm 1,11$$

Bu sonuçlara göre;

Gerçek değer (Standart): 1500,1 °C,

Ölçülen değer (Pirometre): 1500 °C,

Hata: -0,1 °C,

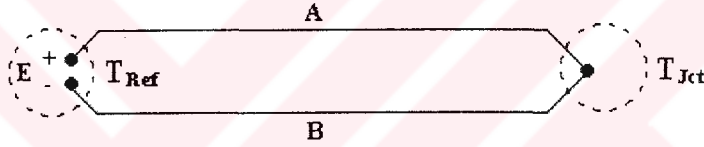
Belirsizlik : $\pm 1,1$ °C olup kalibrasyonu yapılan radyasyon pirometresi 1500 °C de 0,1 °C düşük okumaktadır. Ölçüm belirsizliği ise $\pm 1,1$ °C dir [20].

BÖLÜM IV SICAKLIK ALGILAYICILARI

IV.1. TERMOKUPUL (ISIL ÇİFT)

IV.1.1. Termokupul Çalışma Prensibi

Birbirinden farklı olan herhangi iki metal Şekil IV.1 'de görüldüğü gibi bağlanırsa termokupul elde edilmiş olur. Bu devrede AB bağlantısı Jonksiyon olarak adlandırılır. Jonksiyon sıcaklığı(T_{Jct}), referans sıcaklığı olan T_{Ref} den farklı olduğunda küçük bir D.C.gerilim(E), +/- terminallerde elde edilecektir. E değeri A ve B malzemelerine, jonksiyon ve referans sıcaklık değerlerine bağlı olarak değişir.



Şekil IV.1 Termokupul temel yapısı

İki telli bir termokupula ait eşitlikler verilmiştir. Devredeki tel sayısının artması halinde yeni eşitliklere ihtiyaç olacaktır.

$$E = \int_0^L S_A \frac{dT}{dx} dx + \int_L^0 S_B \frac{dT}{dx} dx \quad (IV.1)$$

Termoelektrik gerilim eşitliğinde ilk terim L boyundaki A iletkeni üzerindeki termal gradyane sahip iletken kısımlarında $\left(\frac{dT}{dx} dx \right)$ endüklenecek gerilimi, ikinci terimde yine L boyundaki B iletkeni üzerindeki termal gradyane sahip iletken kısımlarında $\left(\frac{dT}{dx} dx \right)$ endüklenecek gerilimi gösterir.

Şayet iki metalde homojen ise yeni eşitlik:

$$E = \int_{T_{Ref}}^{T_{Jct}} S_A dT + \int_{T_{Jct}}^{T_{Ref}} S_B dT \quad (IV.2)$$

İki iletkeninde T_{Ref} T_{Jct} arasında olması durumunda eşitlik:

$$E = \int_{T_{Ref}}^{T_{Jct}} (S_A - S_B) dT \quad (IV.3)$$

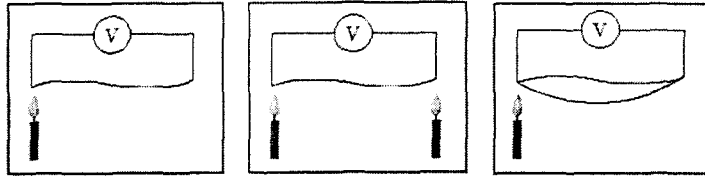
Küçük sıcaklık değişiklikleri için eşitlik (IV.4) kullanılabilir.

$$E = (S_A - S_B)(T_{Jct} - T_{Ref}) = S_{AB}(T_{Jct} - T_{Ref}) \quad (IV.4)$$

Eşitlik (IV.1)'de görüldüğü üzere üretilen E.M.K. iletkenler tarafından üretilmekte, jonksiyonlar sadece iki iletken arasında bağlantı görevi yapmaktadır. E.M.K. termal gradyeni (dT/dx) 0 olmayan iletken kısımlarında üretilir. E.M.K.-Sıcaklık tabloları sadece iki iletkenli, uniform ve metal iletkenlerin T_{Ref} den T_{Jct} ye kadar uzandığı durumlarda kullanılabilir. Küçük sıcaklık değişikliklerin olduğu durumlarda S_A ve S_B değerleri sabit olarak değerlendirilir ve IV.4 numaralı E.M.K. eşitliği kullanılabilir, bu ifadede S_{AB} Seebeck katsayısıdır [21].

IV.1.2. Termoelektrik Etki (Seebeck Etkisi)

1822 yılında Thomas Seebeck tarafından bulunmuştur. Bu prensibe göre homojen dağılıma sahip sabit bir iletken, iki ucundan farklı sıcaklığa tabi olduğunda bu uçlarda elektriksel bir potansiyel doğar. Seebeck ilk deneyini bilinenin aksine homojen bir iletkenle yapmıştır. Bu deneyin gözlemleri sonucu; 1- Hareketli yük taşıyıcılarına sahip bir iletkenin bir ucundan ısıtılması durumunda, iletkenin iki ucu arasında bir potansiyel fark doğduğunu, 2-Sıcaklığın değerine bakmaksızın iletkenin iki ucunun eşit sıcaklıkta olması durumunda, bir potansiyel fark doğmadığını, 3- iletken, aynı malzeme yapısından ikinci bir iletkenle birleştirildiğinde herhangi bir akım akışı olmadığını bulmuştur.



Şekil IV.2 Seebeck etkisi

İki uç arasındaki sıcaklık farkından dolayı oluşan termoelektrik gerilim, iletken boyunca bulunan gerilim farklarının toplamıdır.

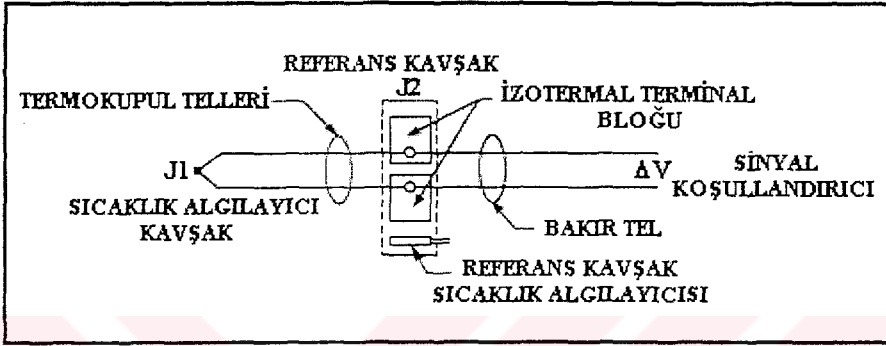
$$V = \int_0^L S \left(\frac{dT}{dx} \right) dx \quad (IV.5)$$

S: Seebeck katsayısı ($\mu V/^{\circ}C$)

Seebeck katsayısı her metal tel için farklı değerlerde olup; sıcaklığın bir fonksiyonu olan termoelektrik gerilimin birinci türevine eşittir. Diğer bir ifadeyle sıcaklık farkına bağlı olarak oluşan gerilim farkıdır [22].

Termokupulda Sıcaklık-Gerilim değişimi non-lineer bir değişim gösterir, termokupullar için çizilen Sıcaklık-Gerilim eğrilerinin eğimi Seebeck Katsayısını verdiğinden bu katsayı sıcaklıktaki değişime bağlı olarak değişecektir [18].

IV.1.3. Referans Nokta Kompanzasyonu



Şekil IV.3 Referans nokta kompanzasyon şeması

Termokupul ölçüm prensibi; sıcak jonksiyon(Termokupul kaynaklı ucu) ile soğuk jonksiyon(Termokupul kompanzasyon kabloları ile sinyal koşullandırıcının bakır kablolarının birleştiği nokta)arasındaki sıcaklık farkına dayanır.Güvenilir ve doğru ölçüm yapabilmek için soğuk jonksiyon sıcaklığı sabit tutulmalı veya kompanzasyon amacı ile sürekli ölçülmelidir. NIST (National Standards and Technology) standardına göre bu değer 0°C olarak belirlenmiştir.

Termokupul referans nokta kompanzasyonu:

$$\Delta V = V_{J1} - V_{J2} \quad (IV.6)$$

prensibine dayanır.

Burada;

ΔV : Termokupul çıkış gerilimi,

V_{J1} : Sıcak jonksiyon gerilimi,

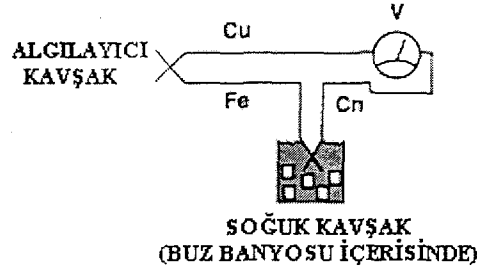
V_{J2} : Soğuk jonksiyon gerilimi olarak tanımlanır.

Bu kompanzasyon eşitliğinin geçerli olabilmesi için referans noktada bulunan iki termokupul ucunun aynı sıcaklıkta olması gereklidir [23]. Uç noktalarındaki

sıcaklık eşitliği elektriksel izolasyona sahip, termal iletkenliği yüksek olan izotermal blok kullanılarak gerçekleştirilebilir [18].

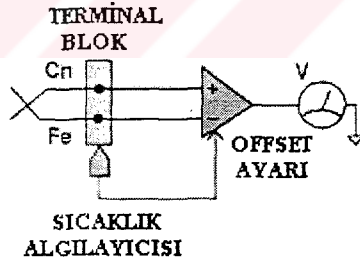
IV.1.3.1. Buz Hücresi Kullanarak Referans Nokta Kompanzasyonu

Soğuk jonksiyon sıcaklığını sabit tutmada kullanılan genel yöntem buz –su karışımı aracılığıyla jonksiyon sıcaklığını 0°C de tutmaktır. Bu işlem 0°C referanslı tabloların direk kullanımına olanak tanır [24].



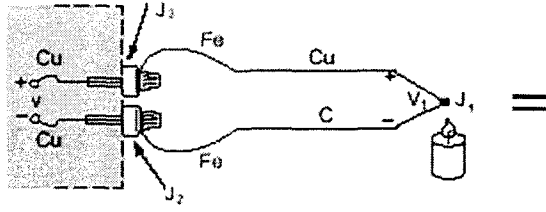
IV.1.3.2. Otomatik Kontrol Sistemi Kullanarak Referans Nokta Kompanzasyonu

Buz hücresinin endüstride kullanımı uygun değildir. Bunun yerine kullanılan yöntem, bir dirençli sıcaklık dedektörü veya termistör aracılığıyla soğuk jonksiyon sıcaklığının ölçülerek termokupul işaretli (görülen) sıcaklığının düzeltilmesidir [24].

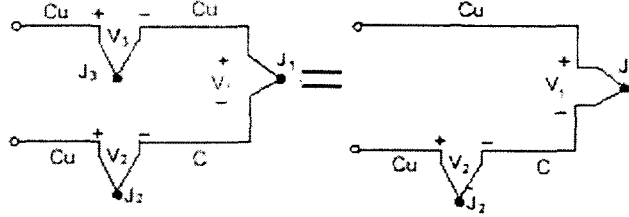


IV.1.4. Termokupul Geriliminin Ölçümü

Termokupulda endüklenen geriliminin ölçümü voltmetre kullanılarak yapılır. Bu durumda bağlanan voltmetre iletkenleri yeni bir termoelektrik devre oluştururlar. Bu durum Şekil IV.6’da verilen Bakır-Konstantan tip (T-Tip) termokupula bağlanan voltmetre bağlantısı kullanılarak açıklanabilir.



EŞDEĞER DEVRELER



Şekil IV.6 Kavşak geriliminin DVM ile ölçümü

Devrede Voltmetrenin sadece V_1 gerilimini ölçmesi gerekir, ancak devreye bağlanan voltmetrelerin telleri yeni kavşaklar (J_2, J_3) oluşturur. J_3 kavşağı Cu-Cu olduğundan üreteceği EMK 0 V ($V_3=0V$) olur. Fakat J_2 kavşağı Cu-C olduğundan V_2 kadar bir zıt emk'ı V_1 'e ekler. Bu durumda çıkış gerilimi V , J_1 - J_2 kavşakları arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı olur. Ölçülmek istenen J_1 kavşağındaki sıcaklığın bulunması için J_2 kavşak sıcaklığı bilinmelidir.

J_2 sıcaklığını belirlemenin bir yolu kavşağı buz banyosuna daldırarak sıcaklığını 0°C ye getirmek ve referans kavşak olarak kullanmaktır. Bu durumda her iki voltmetre terminali de Cu-Cu olduğundan bir EMK indüklenmeyecek ve çıkış gerilimi V , J_1 ve J_2 kavşakları arasındaki sıcaklık farkıyla orantılı gerilim olacaktır. Buna göre;

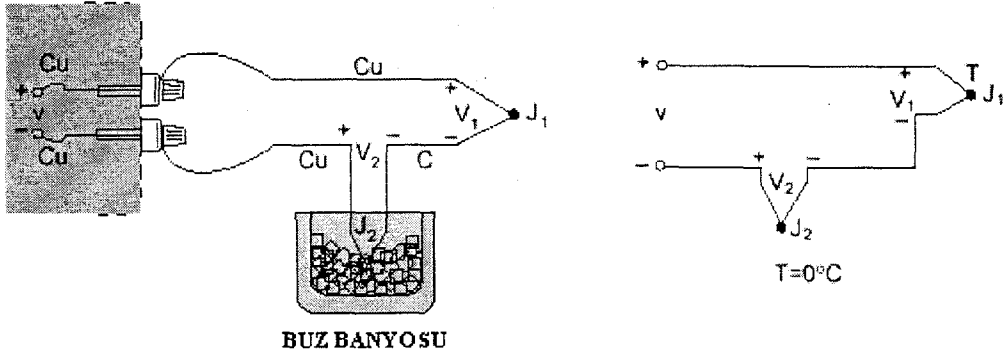
$$\begin{aligned} V &= (V_1 - V_2) \cong S(t_{J_1} - t_{J_2}) \\ T_{J_1} (^\circ\text{C}) + 273,15 &= t_{J_1} \\ V &= V_1 - V_2 = S[(T_{J_1} + 273,15) - (T_{J_2} + 273,15)] = S(T_{J_1} - T_{J_2}) = S(T_{J_1} - 0) \\ V &= S(T_{J_1}) \end{aligned} \quad (\text{IV.7})$$

olur. Burada T_{J_1} $^\circ\text{C}$ birimindedir.

Eşitlik (IV.7)'den görüleceği üzere buz banyosu kavşağının gerilimi (V_2) 0 V olmayıp mutlak sıcaklığın bir fonksiyonudur.

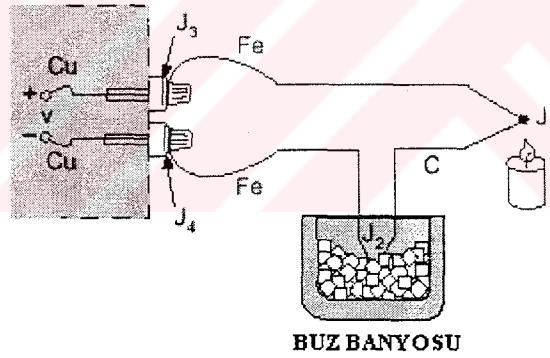
Soğuk nokta geriliminin devreye girmesinin sonucu olarak V çıkış gerilimi 0°C ye göre referanslanmış oldu. Bu yöntem soğuk nokta sıcaklığının net bir şekilde kontrol edilebilmesi nedeniyle çok doğru sonuç verir. Buz noktası National Bureau of Standards (NBS) tarafından termokupul tabloları oluşturmada referans değeri

olarak kullanılmaktadır. Bu değere göre (0°C) hazırlanan tablolar kullanılarak ölçülen gerilim değerine karşılık gelen sıcaklık değeri bulunabilir. Referans sıcaklık değerinin sabitlenmesi otomatik kontrol sistemleri kullanılarak ta gerçekleştirilebilir.

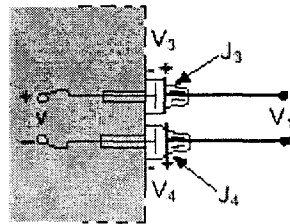


Şekil IV.7 Harici referans kavşak

Şekil IV.7’de incelenen Cu-C (Bakır-Konstantan) termokupulda termokupul bakır teli voltmetre terminallerinin malzemesiyle aynıdır. Cu-C yerine Demir – Konstantan (Fe-C), J Tip, termokupul kullanılacak olursa, Demir tel (Şekil IV.8) devredeki farklı metallere oluşun kavşak sayısını artıracak ve her iki voltmetre terminalleride Cu-Fe (Bakır-Demir) termokupul kavşağı olacaktır.



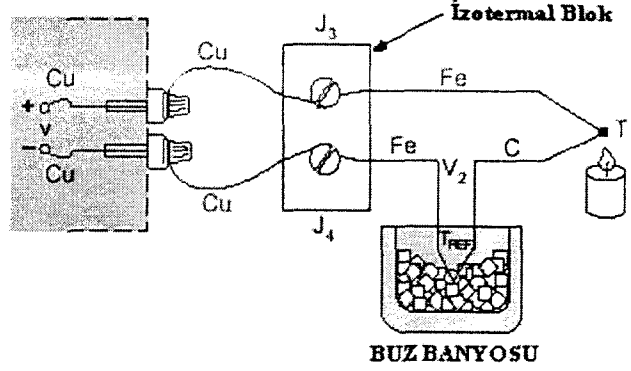
Şekil IV.8 Demir-Konstantan çift



$$\text{Eğer } V_3 = V_4 \text{ (} T_{J3} = T_{J4} \text{) ise} \\ V_1 = V$$

Şekil IV.9 Kavşak geriliminin iptali

Devrede voltmetre-termokupul uç bağlantılarının yapıldığı her iki terminal sıcaklığının da aynı sıcaklıkta olması hatasız ölçümün gerçekleştirilmesi için şarttır. Bu işlemin gerçekleştirilmesi için gerekli olan Cu-Fe kavşağının izotermal bloğun (Aynı sıcaklık) üstünde oluşturulması amacıyla, voltmetre telleri uzatılır.



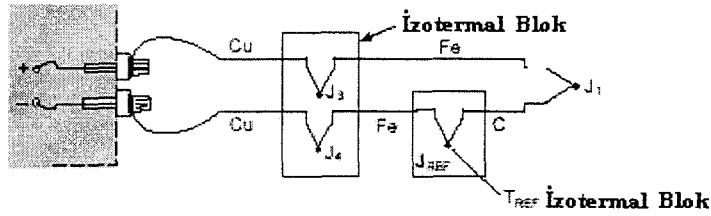
Şekil IV.10 Kavşakların DVM terminalerinden kaldırılması

İzotermal blok elektriksel bir yalıtkan, fakat iyi bir ısıl iletkenidir. Şekil IV.10'daki devrede J3 ve J4 kavşaklarının aynı sıcaklıkta kalmasını sağlar. Bloğun kesin sıcaklığının bilinmesi Cu-Fe (Bakır-Demir) kavşakların birbirine zıt davranışları nedeniyle önemsizdir. Şekil IV.10 durumu içinde çıkış gerilimi;

$$V = S(T_1 - T_{REF}) \quad (IV.8)$$

şeklindedir.

Buz banyosu yerine izotermal blok kullanılabilir.

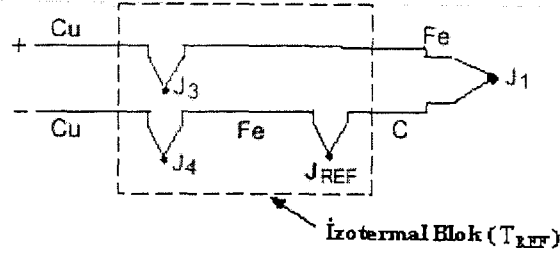


Şekil IV.11 Buz banyosunun iptali

Yeni izotermal bloğun sıcaklığı referans sıcaklık (T_{REF}) değerinde olduğundan çıkış gerilimi eşitliği değişmez :

$$V = S(T_1 - T_{REF}) \quad (IV.9)$$

Bu devre iki termokupul bağlantısına gerek duyduğundan uygun bir devre değildir. Devrede (-) (Negatif) uç üzerinde bulunan Fe teli kaldırılarak bu durum önenebilir. Fe teli J4 (Cu-Fe) ve JREF (Fe-C) kavşakları birleştirilerek kaldırılabilir.

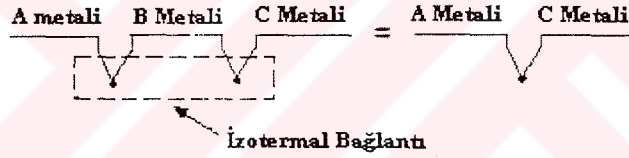


Şekil IV.12 İzotermal blokların birleştirilmesi

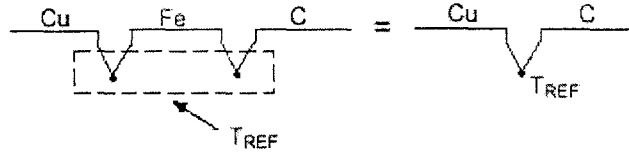
Bu işlemi gerçekleştirmenin ilk yolu iki ayrı izotermal bloğun referans sıcaklık değerinde birleştirilmesidir. Çıkış gerilimi bu durumda değişmemiştir:

$$V = S(T_1 - T_{REF}) \quad (IV.10)$$

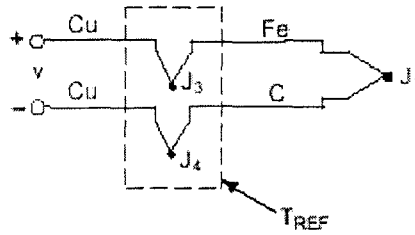
Fe telini kaldırmada ikinci yol, termokupul arametaller kanununu kullanmaktır. Bu kanuna göre, 3. bir metal (Devrede Fe) farklı iki metalden oluşan bir termokupul kavşağı arasına yerleştirilirse, yerleştirilen ara metalin oluşturacağı yeni kavşakların sıcaklıkları aynı ise, çıkış gerilimi değişmez. Bu durumda kullanılacak izotermal bir blok aracılığıyla yeni kavşak sıcaklıkları eşitlenip Fe teli kaldırılabilir, Şekil IV.13'te bu işlemin gerçekleştirilmesi görülmektedir.



Buna göre Şekil 9b'deki (-) tel aşağıdaki şekli alır:



Şekil IV.13 Arametaller kanunu



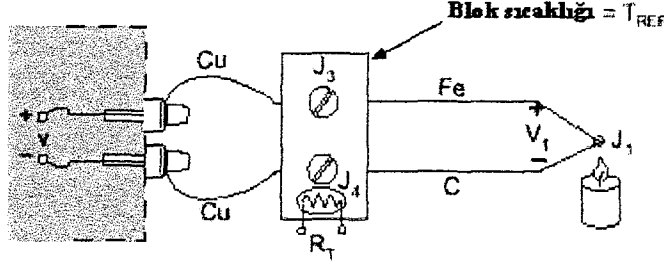
Şekil IV.14 Arametal eşdeğer devresi

Son durumda çıkış gerilim değeri değişmemiştir.

$$V = S(T_1 - T_{REF}) \quad (IV.11)$$

Burada S, Fe-C termokupulun Seebeck katsayısıdır.

T_1 sıcaklığının bulunmasında yapılması gereken son işlem İzotermal Blok (Referans Sıcaklık) sıcaklığın ölçümü ve gerekli hesaplamaların yapılmasıdır.



Şekil IV.15 Buz banyosu bulunmayan harici referans kavşak

Şekil IV.15'te görüldüğü gibi sıcaklığın bir fonksiyonu olarak R_T direncine sahip olan bir termistör referans jonksiyon mutlak sıcaklığını ölçmede kullanılabilir. İzotermal blok nedeniyle J_3 , J_4 kavşakları ile termistör aynı sıcaklıktadır.

Çıkış geriliminin bulunması iki teknik kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bunlar; yazılım kompanzasyonu ve donanım kompanzasyonu teknikleridir.

IV.1.4.1. Yazılım Kompanzasyonu

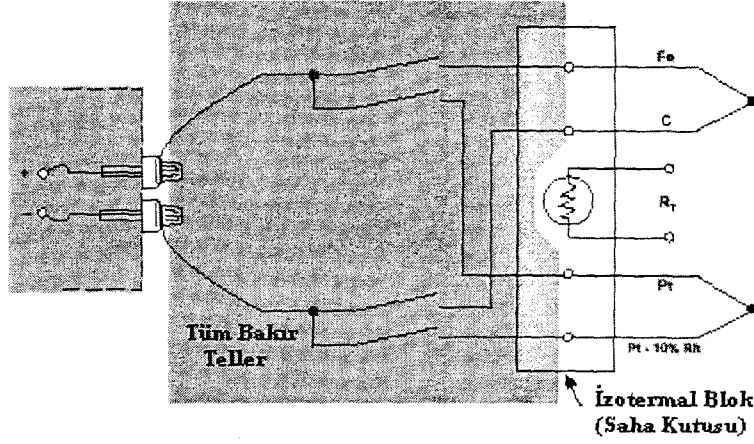
Yazılım kompanzasyonu bilgisayarlı bir ölçme düzeneği ve gerekli yazılım kullanılarak aşağıdaki prosedürün gerçekleştirilmesine dayanır.

1. T_{REF} sıcaklığını bulmak amacıyla R_T direnç değeri ölçülerek, T_{REF} değeri eşdeğer V_{REF} gerilim değerine dönüştürülür.
2. V gerilimi ölçülerek V_{REF} geriliminden çıkarılırsa V_1 gerilimi bulunur. Bu gerilim değeri T_{J1} sıcaklık değerinin bulunması amacıyla sıcaklık eşdeğerine dönüştürülür.

Burada R_T izotermal blok mutlak sıcaklığını ölçebilecek özellikte ,mutlak sıcaklıkla orantılı bir çıkış verebilecek Termistör, RTD veya Entegre devre sıcaklık algılayıcılarında herhangi biri olabilir.Yazılım Kompanzasyonunun tek dezavantajı referans jonksiyon sıcaklığını ölçmede bilgisayarın kullanılması nedeniyle yavaş kalınmasıdır, yüksek hız için donanım kompanzasyonu kullanılmalıdır.

Termokupullu ölçme düzenekleri birden fazla verinin ölçülmesi gereken yerlerde de kullanılabilir. Bu durumda izotermal referans bloğu birden fazla

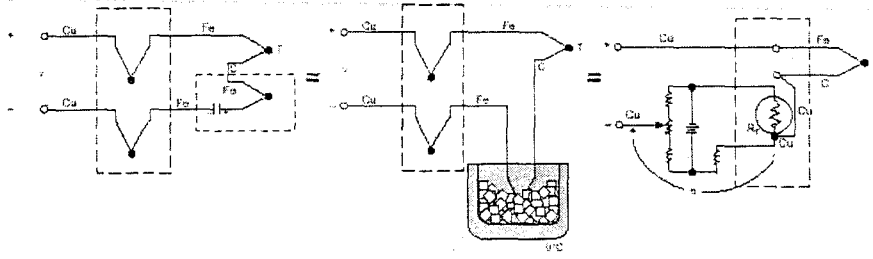
termokupul u kapsayacak şekilde tasarlanır ve özel bir röle sistemi kullanılarak termokupulların sıcaklık değerleri sırayla ölçülür. Şekil IV.16'da böyle bir ölçme düzeneği görülmektedir.



Şekil IV.16 Çoklu ölçüm düzeneği

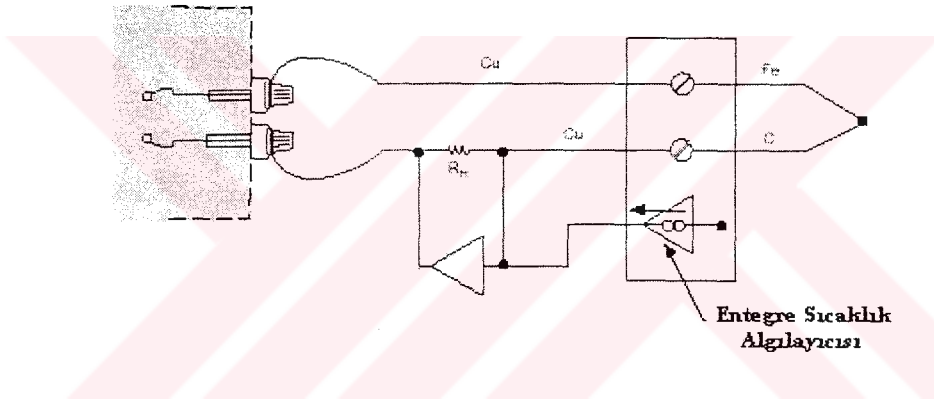
IV.1.4.2. Donanım Kompanzasyonu

Yazılım kompanzasyonunda kullanılan teknik referans nokta sıcaklığının ölçülerek bilgisayar ortamında bir yazılım aracılığıyla sıcaklığın bulunmasına dayanır. Donanım kompanzasyonunda yapılan işlem ise bir pil aracılığıyla referans jonksiyon ayar gerilimi (Offset gerilim) iptal edilir. Donanım kompanzasyonu gerilimi ve referans jonksiyon geriliminin birleşimi 0 C° deki jonksiyona eşittir. Kompanzasyon gerilimi(e), sıcaklık algılayıcı direncinin(R_T) bir fonksiyonudur. V gerilimi 0 C° referanslı olup, direk olarak okunduktan sonra referans tabloları aracılığıyla sıcaklık bilgisine dönüştürülür. Bu devrenin diğer adı Elektronik Buz Noktası Referansıdır. Bu tarz devreler hazır bir şekilde herhangi bir voltmetreye ve farklı tiplerdeki termokupullara bağlanmak üzere endüstride kullanılırlar. Tekniğin dezavantajı her termokupul tipi için özel tek bir Elektronik Buz Noktası referans devresinin gerekliliğidir.



Şekil IV.17 Pratik yazılım kompanzasyonu

Şekil IV.17’de pratik bir Buz noktası referans devresi görülmektedir. Bu devre bir reed röle tarayıcı ile kullanılarak tüm termokupul girişlerinin kompanzasyonunda kullanılabilir. Devrede blok içerisindeki tüm termokupulların aynı tipte olması gerekir, farklı tip termokupul olması durumunda kazanç dirençlerinin değiştirilmesi gerekir.



Şekil IV.18 Donanım kompanzasyonu devresi

Donanım kompanzasyonunun avantajı referans jonksiyon sıcaklık değerinin ölçülerek gerekli dönüşümlerin yapılması gereğinin ortadan kalkması nedeniyle yazılım kompanzasyonuna göre daha hızlı olmasıdır.

IV.1.5. Sıcaklık Gerilim ve Gerilim Sıcaklık Dönüşüm Eşitlikleri

Referans jonksiyon sıcaklığı ölçüldükten sonra yapılması gereken bu sıcaklığı kavşağın ölçülen sıcaklıkta ısıtılması durumunda üreteceği termoelektrik gerilim değerine dönüştürmektir. Sıcaklık-Gerilim dönüşümü iki yolla gerçekleştirilebilir.

IV.1.5.1. Sıcaklık Gerilim Dönüşümü

Bu dönüşüm iki şekilde gerçekleştirilebilir:

1. Polinomial kuvvet serileri tekniği:

$$E=a_0+a_1T+a_2T^2+a_3T^3+.....+a_nT^n \quad (IV.12)$$

Burada;

E : Termoelektrik gerilim(μV),

a_n : Termoelektrik Tipine bağı olarak değişen polinomial katsayılar(NIST tarafından belirlenir),

T : Sıcaklık($^{\circ}C$),

n : polinom terim sayısı olarak tanımlanır.

Polinomial katsayılar NIST tarafından her termokupul tipi için tablolar şeklinde belirtilmiştir. Bu tablolarda katsayıların sayısı, geçerli olduğu sıcaklık aralığı ve bu aralıklardaki hata aralıkları belirtilir. Polinomial katsayıların az olması durumunda Sıcaklık-Gerilim dönüşümü hızlı (Yazılım Kompanzasyonu) fakat daha az bir doğrulukla yapılabilir.

2. $y=mx+b$ eşitliği kullanarak:

İkinci yol belirli bir sıcaklık aralığı dahilinde Sıcaklık-Termoelektrik gerilim fonksiyonuna lineer yaklaşan bir eşitliğin kullanımıdır. Lineer yaklaşım eşitliğinde m sabiti sıcaklık-Gerilim eğrisinin eğimi yani Seebeck Katsayısı, b ise offset gerilimidir.

Tablo IV.1 Seebeck katsayıları

SEEBECK KATSAYI DEĞERLERİ	
TİP	S ($\mu V/^{\circ}C$)
S	6,02
R	5,93
B	0,05
E	60,93
J	51,71
K	40,46
T	40,69

NIST tarafından belirlenen tüm termokupullarda bu değer 0'a eşittir. Bu durumda eşitlik; $y=mx$ şeklini alır. Lineer sıcaklık aralığının seçiminde referans jonksiyonun çalışma koşulları dikkate alınmalıdır. Gerilim yaklaşımı referans jonksiyon sıcaklığının fiziksel olarak kontrol altında tutulmasına bağı olarak artacaktır.

IV.1.5.2. Gerilim Sıcaklık Dönüşümü

J1 noktasında üretilen E.M.K.nın hesaplanan değeri eşdeğer sıcaklık bilgisine aşağıda verilen polinomial kuvvet serileri kullanılarak çevrilebilir. Buna göre:

$$T=a_0+a_1E+a_3E^3+.....+a_nE^n \quad (IV.13)$$

olur [24].

Burada;

E : Termoelektrik gerilim(μV),

a_n : Tipe bağlı olarak değişen polinomial katsayılar(NIST tarafından belirlenir),

T : Sıcaklık($^{\circ}C$),

n : polinom terim sayısı olarak tanımlanır.

NIST tarafından her termokupul tipi için üç tablo yayınlanır. Bu tablolar ikinci, üçüncü ve dördüncü dereceden katsayıları içerirler. Gerilim-Sıcaklık çevriminde doğruluk polinom katsayısı yüksek tablolar kullanılarak yükseltilebilir, ancak bu durumda çevrim için gereken zaman arttığından hız düşer. Doğruluğu yükseltmede dar sıcaklık aralığının seçilmesi de önemlidir [23].

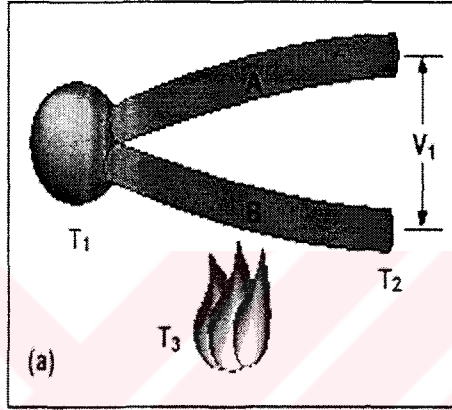
Tablo IV.2 Polinomial sabitler

Termoelektrik-sıcaklık dönüşümü sabitleri (J Tip termokupul)
$a_0=0,0$
$a_1=1,8843850*10^{-2}$
$a_2=1,2029733*10^{-6}$
$a_3=-2,5278593*10^{-10}$
$a_4=-2,5849263*10^{-14}$
-200 $^{\circ}C$ -0 $^{\circ}C$ için, hata sınırı -0,4 $^{\circ}C$ -0,5 $^{\circ}C$
$a_0=0,0$
$a_1=1,9323799*10^{-2}$
$a_2=-1,0306020*10^{-7}$
$a_3=3,7084018*10^{-12}$
$a_4=-5,1031937*10^{-17}$
0 $^{\circ}C$ -760 $^{\circ}C$ için, hata sınırı -0,9 $^{\circ}C$ -0,7 $^{\circ}C$
*NIST Monograph 125-Table A.6.2.3.

IV.1.6. Termokupul Temel Kanunları

IV.1.6.1. Termokupul Birinci Kanunu

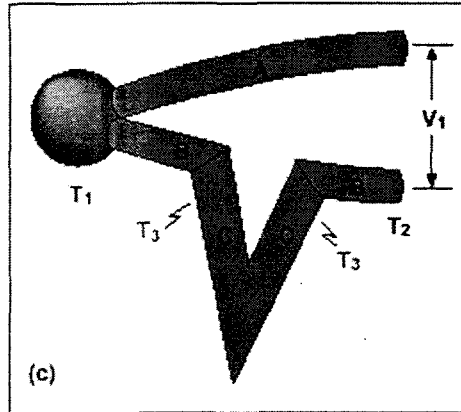
Bu kanuna göre kapalı ve açık kavşak arasındaki tel boyunca olacak sıcaklık değişiklikleri çıkış gerilimini etkilemez. Şayet etki eden üçüncü sıcaklık değeri telleri ertecek kadar yüksek olursa veya teller daimi olarak bu sıcaklığa maruz kalıp elektro termal davranışı değişirse çıkış gerilimi değişir, aksi taktirde çıkış geriliminde değişim olmaz [39].



Şekil IV.19 Termokupul birinci kanunu

IV.1.6.2. Arametaller Kanunu

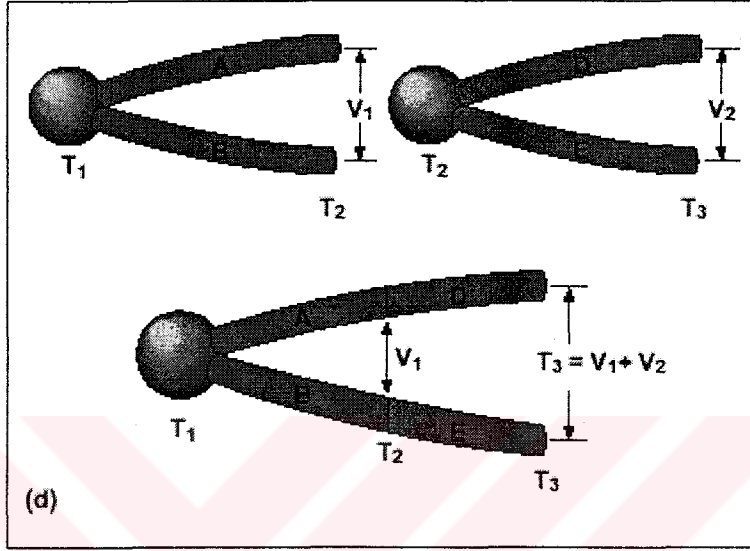
Bu temel kanuna göre termokupul telleri dışında farklı herhangi bir telin termokupul tellerinden biri veya her ikisi arasına yerleştirilmesi durumunda, oluşacak yeni kavşakların sıcaklıkları aynı olursa çıkış geriliminin değeri değişmez [39].



Şekil IV.20 Ara metaller kanunu

IV.1.6.3. Arasıcaklıklar Kanunu

Bu kanuna göre düşük bir sıcaklıktan yüksek bir sıcaklığa kadar olan Seebeck Gerilimi; düşük bir sıcaklıktan herhangi bir ara sıcaklık değerine kadar olan Seebeck gerilimiyle, bu ara sıcaklıktan yüksek sıcaklığa kadar olan Seebeck geriliminin toplamına eşittir [39].



Şekil IV.21 Ara sıcaklıklar kanunu

IV.1.7. Termokupul Tipleri

Genel olarak üç tip termokupulun olduğu söylenebilir. Bunlar; Platin içeren standart tip termokupullar, nikel içeren standart tip termokupullar ve standart olmayan tip termokupullardır.

IV.1.7.1. Platin İçeren Standart Tip Termokupullar

B, R ve S olmak üzere üç standart tip mevcuttur. Bunların tümü platin ve rodyum alaşımlı platinden oluşur ve bu özelliklerinden dolayı kimyasal olarak kararlıdır. Bu tip termokupulların avantajı mekanik etkiler sonucu oluşacak homojensizliklerin dikkatli bir tavlama yapılmak suretiyle önlenmesidir. Saf platin 1100 °C üzerinde pürüzlü bir yapı haline gelir ve kırılabilir; pürüzlerin yeterince genişlemesi durumunda tel üzerinde keskin bir kenar oluşur. B tip termokupul saf platin içeren bir tele sahip olmadığından diğer iki tip termokupula göre, yüksek sıcaklıklarda kullanımda daha uygundur. R tip termokupul S tip termokupula göre %10 daha fazla çıkış verir, ancak S tip termokupul daha karardır

ve eski sıcaklık skalalarının oluşturulmasında referans termokupul olarak kullanılmıştır. Standart termokupulların en önemli dezavantajı yüksek maliyetleridir.

IV.1.7.2. Nikel İçeren Standart Tip Termokupullar

T, J, K, E ve N tip termokupullar belirli şekillerde nikel içeren termokupullardır. Bu termokupullar kolay okside olurlar ve mekaniki etkilerin önlenmesi amacıyla tavlanmaları kolay değildir. Yüksek sıcaklıklarda bu tip termokupulların alaşımlarının özellikleri değişir. Ancak bu termokupulların maliyetleri düşüktür.

IV.1.7.3. Standart Olmayan Termokupullar

Zor koşullardaki sıcaklıkların daha uygun şekilde ölçümü için ikiyüzün üzerinde termokupul incelenmiştir. Endüstriyel öneme göre iki alanda yoğunlaşmıştır. Bunlardan ilki 3000 °C ye kadar olan sıcaklıkların, diğeri ise hidrojen ve karbonmonoksitçe zengin yüksek düzeyde reaktif gazların ölçümüdür. Hidrojen, sıcak metallerden kolayca geçebilecek küçük bir moleküldür.

Tungsten-Renyum alaşımı 2300 °C ye kadar olan sıcaklıklarda kullanılır ve hidrojenden az etkilenir. Uygun kalkanlar kullanılarak oksidasyon önlenir ve mekaniki etkilerden korunulur. Yaygın kullanılan boron içerikli boron- nitrit kalkanlarda 2000 °C civarında büyük kaymalar oluşurken, daha az kayma gösteren alüminyum kalkanlar ancak 1800 °C ye kadar kullanılabilir.

Birçok değişik alaşım kompozisyonu mevcuttur. Bunlardan en yaygın olanları: 0-426 °C aralığında $\pm 4,4$ °C toleransa sahip olan W-%3Re / W-%25 Re ve 425-2315 °C aralığında $\pm \%1$ toleransa sahip olan W-%5Re / W-%26 Re olan tungsten- renyum termokupul alaşımlarıdır. Boron-karpit/Grafit (B_4C/C) alternatif bir yüksek sıcaklık termokupulu olup 2200°C ye kadar kullanılabilir. Bu termokupulun çıkışı $290\mu V/K$ civarındadır [18].

Tablo IV.3 N.I.S.T.Monograph 175, ITS-90 değişimli termokupul bilgileri

Termokupul				Uzatma Kablosu		Termokupul
Tipi	Alaşımı	Sıcaklık Aralığı (C°-F°)	Kablo Rengi (+,-)	Sıcaklık Aralığı (C°-F°)	Kablo Rengi (+,-)	Özellik
J	Fe-CuNi	0-750 C° 32-1382 F°	Beyaz Kırmızı	0-200 C° 32-392 F°	Beyaz Kırmızı	Çabuk oksitlenir.
K	NiCr-NiAl	-200-1250 C° -328-2282 F°	Sarı Kırmızı	0-200 C° 32-392 F°	Sarı Kırmızı	Bazı ortamlarda oksitlenebilir.
E	NiCr-CuNi	-200-900 C° -328-1652 F°	Mor Kırmızı	0-200 C° 32-392 F°	Mor Kırmızı	Çıkış gerilimi en yüksek olan termokupuldur.
T	Cu-CuNi	-200-350 C° -328-662 F°	Mavi Kırmızı	-60-100 C° -76-212 F°	Mavi Kırmızı	Nemli ortamlarda ve düşük sıcaklıklarda kullanılır.
S	Pt%10Rh-Pt	0-1450 C° 32-2642 F°	-----	0-150 C° 32-300 F°	Siyah Kırmızı	Metal teması olmamalıdır.
R	Pt%13Rh-Pt	0-1450 C° 32-2642 F°	-----	0-150 C° 32-300 F°	Siyah Kırmızı	Metal teması olmamalıdır.
B	Pt%30Rh-Pt%6Rh	0-1700 C° 32-3092 F°	-----	0-100 C° 32-212 F°	Gri Kırmızı	Metal teması olmamalıdır. Yüksek sıcaklıklarda kullanımı uygundur.
N	NiCrSi-NiSiMg	-270-1300 C° -450-2372 F°	K.içi Kırmızı	0-200 C° 32-392 F°	K.içi Kırmızı	Yüksek sıcaklıklarda kararlıdır.
C	W%5Re-W%26Re	0-2320 C° 32-4208 F°	-----	0-870 C° 32-1600 F°	Beyaz Kırmızı	Bazı ortamlarda oksitlenebilir.

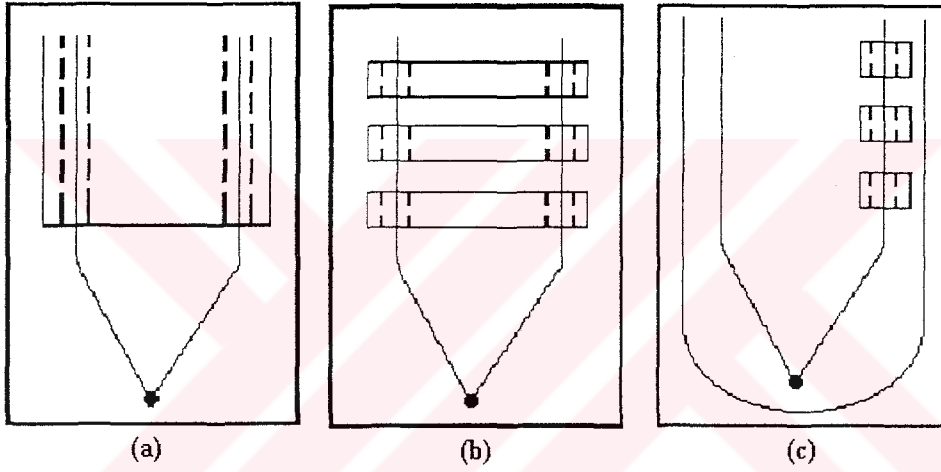
Fe: Demir, Cu:Bakır, Ni: Nikel, Cr: Krom, Al: Aliminyum, Pt: Platin, Rh: Rodyum, Si: Silisyum, Mg: Magnezyum, W: Tungsten, Re:Renyum

N.I.S.T. : National Institute of Standards and Technology

ITS 90 : İnternational Temperature Scale of 1990

IV.1.8. Termokupul Tellerinin İzole Edilmesi

Termokupul ucu kaynaklandıktan sonra koruyucu tüp içine yerleştirilsin ya da yerleştirilmesin (+) ve (-) bacaklar bir birinden izole edilirler, izolasyon için seramik izolatörler kullanılır. Bu izolatörlerde, sıcaklık limitlerine ve ortam şartlarına göre seçilirler. Genellikle DİN standardında KER 610 olarak bilinen özel porselen izolatörler çok yaygınca kullanılmaktadır. 1400 - 1500 °C'nin üzerinde veya özel ortam şartlarında KER 799 olarak bilinen saf alümina izolatörlerde kullanılır. 1200 °C'nin altındaki sıcaklıklarda Cu-Const, Fe-Const, NiCr-Ni gibi eleman telleri genel olarak tek parça olmayan parçalı izolatörlerle, PtRh-Pt termokupullar tek parça izolatörle izole edilir. Şekil IV.22'de izolatör tipleri görülmektedir [26].



Şekil IV.22 (a) İki bacak izole edilmiş çift delikli tek tek izolatör (b) Seramik kılıf içinde tek delikli izolatör, tek bacak izole (c) Yekpare tek izolatör, ince telli termokupullar için (PtRh-Pt)

IV.1.8.1. Koruyucu Kılıflar

Termokupul uygulamalarında dış koruyucu kılıfların önemi büyüktür. Eleman tellerinin proses içinde mekanik darbeler, kimyasal veya fiziksel aşınmalara karşı belli bir ömre sahip, dayanıklı olmaları için ortam şartlarına göre çeşitli kılıflar kullanılır. Termokupul eleman telleri uçları kaynaklı ve izolatörlü bu kılıflar içine monte edilir.

Genel olarak 1200 °C'ye kadar metal, 1200 °C'nin üzerinde seramik koruyucu kılıflar kullanılır. Bazı özel uygulamalarda 1200 °C'nin altında seramik kılıflar kullanıldığı gibi 1200 °C'nin biraz üstüne kadar olan uygulamalarda da özel alaşımlı metal kılıflar kullanılabilir [26].

IV.1.8.1.a. Metal Kılıflar

Metal koruyucular, kullanılacağı ortamın kimyasal aşınmalarına, mekanik darbelerine ve korozyon gazlarına karşı çok çeşitli alaşımlarda üretilmektedir. Koruyucu kılıf seçiminde yukarıda sayılan özelliklerin yanı sıra sıcaklık limitleri çok önemli bir faktördür. Bu faktörler göz önüne alınarak çalışacağı ortama en uygun koruyucu kılıf seçilir. DIN standartlarında birçok proses için ortak olarak kullanılan metal kılıfların alaşımları, kodları ve kimyasal analizleri belirtilmiştir.

Koruyucu kılıflar ortam şartlarına bağlı olarak büyük özen gösterilerek seçilmelidir. Doğru seçim direkt termokupul ömrünü etkilemektedir. Dış görünüşü ile metal olan bir koruyucu kılıf, alaşım oranlarına bağlı olarak proses içinde değişik ömre sahip olacaktır [26].

IV.1.8.1.b. Seramik Tüpler

Termokupul uygulamalarında genellikle 1200 °C'nin üzerine çıkıldığı uygulamalarda seramik tüpler kullanılır. Bu konuda en fazla kullanılan DIN standardı seramik kılıflar; KER 530 (Poroz seramik) KER 610 (Özel porselen) KER 799 (Saf alümina) dır.

KER 530 = Poroz özelliktedir yani gözenekli yapıdadır. Ani sıcaklık değişimlerinde hücre bağları arasında boşluk olduğu için genleşmeye müsaittir. Yani termal şoklara son derece iyi dayanıklıdır. Gazlardan etkilenme ihtimali olan uygulamalarda poroz seramik içinde gaz geçirmez tüp kullanılır. 1600 °C'ye kadar olan ve termal şok ihtimali olan uygulamalarda tercih edilir. KER 610 ve KER 799'a nazaran ucuzdur.

KER 610 = Özel porselen olarak bilinmektedir. Hücre yapısı gözeneksizdir. Bu nedenle gaz geçirmez özelliğe sahiptir. 1500 °C'ye kadar kullanılabilir. Tek başına seramik tüplü PtRh-Pt termokupul olarak kullanılabildiği gibi metal kılıflar içerisinde gaz geçirmez tüp olarak da geniş bir kullanım alanı vardır.

Örneğin tuz banyoları ve tav ocakları uygulamalarında uygun seçilen dış metal koruyucu kılıf içine yerleştirilen KER 610 seramik kılıf, eleman telinin ömrünü uzatmaktadır. Dolayısı ile termokupullun komple ömrü "gaz geçirmez" tüpsüz olana nazaran daha uzundur. Termal şoklara orta derecede dayanıklıdır.

KER 799= Seramik tüpler içinde en kaliteli seramik yapıya sahip olanıdır. % 99.97 oranında saf alümina ihtiva eder. Sıcaklık limiti olarak diğer tüplere nazaran

daha yüksek sıcaklıklara dayanabilir. 1800 °C'ye kadar olan termokupul uygulamalarında KER 799 saf alümina tüpler kullanılır. Seramik bağları çok sıktır. Bu nedenle çok iyi gaz geçirmezlik özelliği de vardır. Seramik tüpler içinde en üst düzeyde kaliteli olmasının yanı sıra diğerlerine göre çok daha pahalıdır. Dayanıklılık, sıcaklık, gaz geçirmezlik ve termal şoklar açısından en üst düzeyde bir tüptür. Geniş kullanım alanları vardır [26].

IV.1.8.2. Koruyucu Kılıf Seçimi

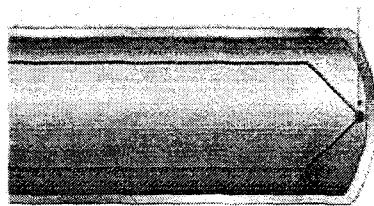
Termokupul dış koruyucu kılıfı, tamamen ortam şartlarına, prosesin durumuna göre seçilmelidir. Çalışma şartları koruyucu kılıf seçiminde çok önemli bir faktördür. Termokupulun ömrü, doğru veya yanlış koruyucu kılıf seçimine bağlı olarak artacak veya azalacaktır [26].

IV.1.9. Kavşak Bağlantıları

Eleman tellerinin uçları kaynak yapıldıktan ve izolatör geçirildikten sonra koruyucu kılıf içine yerleştirilir. Uygulamanın durumuna göre topraklı - topraksız - ucu açık tipte olmak üzere çeşitli şekillerde koruyucu kılıf montajı söz konusudur [25].

IV.1.9.1. Topraklı Tip Montaj

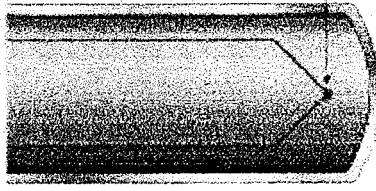
Topraklı montajda algılama alanı direk olarak prob yüzeyine irtibatlandırılmıştır. Bu nedenle hızlı ısıl tepki verirler. Genellikle daha hassas ölçüm alınması veya hızlı sıcaklık değişimlerinin algılanması için uygun bir montaj şeklidir. Elektriksel gürültü problemi olabilecek uygulamalarda tercih edilmeyebilirler [25].



Şekil IV.23 Topraklı tip montaj

IV.1.9.2. Topraksız Tip Montaj

Hemen hemen bütün termokupullarda seçilen yaygın bir montaj şeklidir. Dış koruyucu ile eleman teli arasında herhangi bir kısa devre söz konusu değildir. Bu tip termokupulun cevap verme süresi topraklı tipten daha yavaştır [25].



Şekil IV.24 Topraksız tip montaj

IV.1.9.3. Ucu Açık Tip Montaj

Genellikle bazı özel durumlarda tercih şeklidir. Korozyona ve mekaniki darbelere maruz kalan uygulamalarda kullanılmamalıdır. Kaynak ucu ortama açıktır [25].



Şekil IV.25 Ucu açık tip montaj

IV.1.10. Termokupul Kompanzasyon Kabloları (Uzatma Kabloları)

Termokupullar ile cihazlar arasındaki bağlantılar özel kablolar ile yapılır. Bu kablolar termokupul kompanzasyon kabloları olarak anılır. Kompanzasyon kablolarının iletkenleri yine termokupul eleman telinin özelliklerine yakın özel alaşımlardır. Dolayısı ile Cu-Const termokupul için Cu-Const özel kablo, Fe-Const termokupul için Fe-Const özel kablo gerekmektedir. Sıcaklık bilgisi termokupuldan cihaza kompanzasyon kabloları sayesinde daha ekonomik olarak taşınmış olur. Kompanzasyon kabloları aynı cins termokupullar mV-sıcaklık özelliklerini 200°C'ye kadar aynen sağlarlar. Termokupul kompanzasyon kablosunun bir ucu kaynaklandığında diğer uçtan 200°C'ye kadar kullanılan termokupulun mV değeri standartlardaki değerine uygun elde edilir. Ancak üreteceği mV değeri 200°C'de sınırlı kalır. Kompanzasyon kablolarının dolaşacağı ortam sıcaklığı bu nedenle 200°C'nin üzerine çıkmamalıdır. Kompanzasyon kablosu ile termokupul eleman telinin bağlandığı klemens kutusu veya termokupul kafasının sıcaklığı 200°C'nin üzerine çıkamaz. Çıktığı takdirde termokupul, aşan miktar kadar hatalı ölçüm yapacaktır [26].

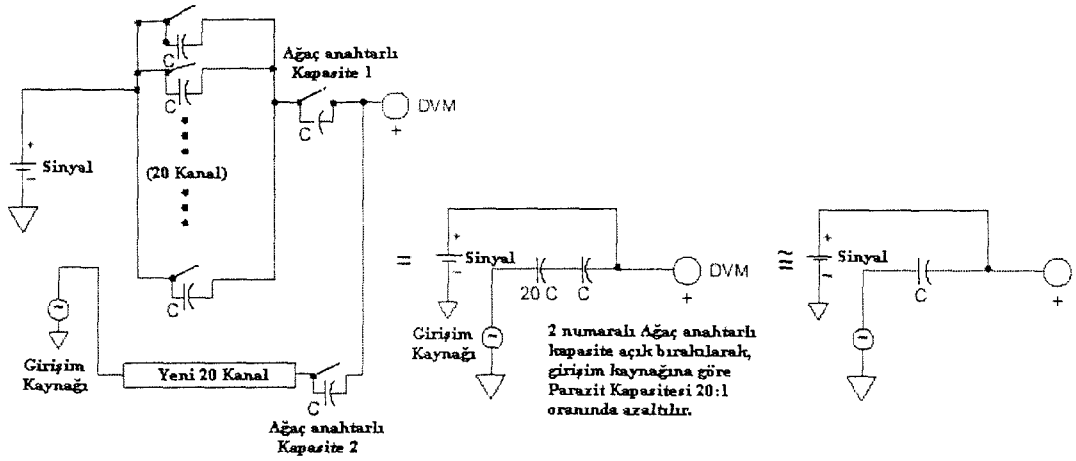
Kompanzasyon kabloları termokupul eleman telinin elektriksel özelliklerini belli bir sıcaklığa kadar sağladıkları için artık soğuk nokta termokupul eleman telinin klemens kutusundaki uçları değil, klemense bağlanan kompanzasyon kablosunun diğer uçlarıdır. Bu şekilde termokupul uç noktası sıcak nokta, kompanzasyon kablolarının son uçları soğuk nokta tanımına uyar. Soğuk nokta, yani uzatma kablosunun uç noktasının sıcaklığı termokupul olayı açısından önem kazanır. Kompanzasyon kablosu uçları doğrudan cihaza bağlanıyor ise bu noktadaki sıcaklığın kompanze edilmesi gerekir. Bu işlem, elektronik cihazlarda soğuk nokta sıcaklık kompanzatörleri ile yapılır. Cihaz girişinde cihazın bulunduğu ortam sıcaklığına oranlı mV değeri termokupul bacağına ilave edilerek soğuk nokta sıcaklığı kompanze edilmiş olur. Termokupullar için bakır kablo ile uzatma yapıldığı takdirde, termokupul kafasına bağlantı yapılan bakır kablonun eleman teline bağlandığı klemens noktası soğuk noktadır. Bu noktadaki mV değeri aynen bakır kablo ile cihaza taşınır. Cihaza bağlantı yapıldığı noktadaki sıcaklık, termokupul kafa sıcaklığından farklı olduğu takdirde bu sıcaklık farkı kadar hataya sebebiyet verir. Hatasız bir ölçüm yapılmak istenildiği takdirde termokupul kompanzasyon kabloları kullanılmalıdır [26].

Kompanzasyon kabloları çeşitli izolasyonlarda üretilir ve yine eleman tellerinde olduğu gibi (+) (-) polariteleri vardır. Bağlantı bu polariteye uygun yapılmalıdır [26].

IV.1.11. Termokupullarda Girişim Önleme

IV.1.11.1. Ağaç Tip Anahtarlama:

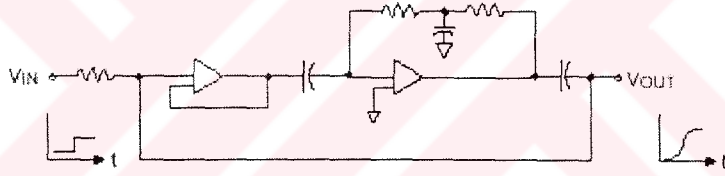
Ağaç tip anahtarlama, tarayıcı kanallarının gruplandırılması ve her birinin bir ana anahtara sahip olmasıdır. Bu anahtarlama olmaz ise, tüm kanallar kondansatörleri üzerinden girişime maruz kalırlar. Ağaç tip anahtarlama paralel durumdaki kanal kapasitans grupları ağaç anahtarlı kapasitans ile seri durumdadır. Buna göre oluşabilecek herhangi bir girişim kanallar arası kapasitans nedeniyle azaltılmış olur.



Şekil IV.26 Ağaç tip anahtarlama

IV.1.11.2. Analog Filtre

Direk olarak voltmetre girişine yerleştirilen bir filtre girişimi azaltır. Bu durumda voltmetre cevap verme süresi artar.



Şekil IV.27 Analog filtre

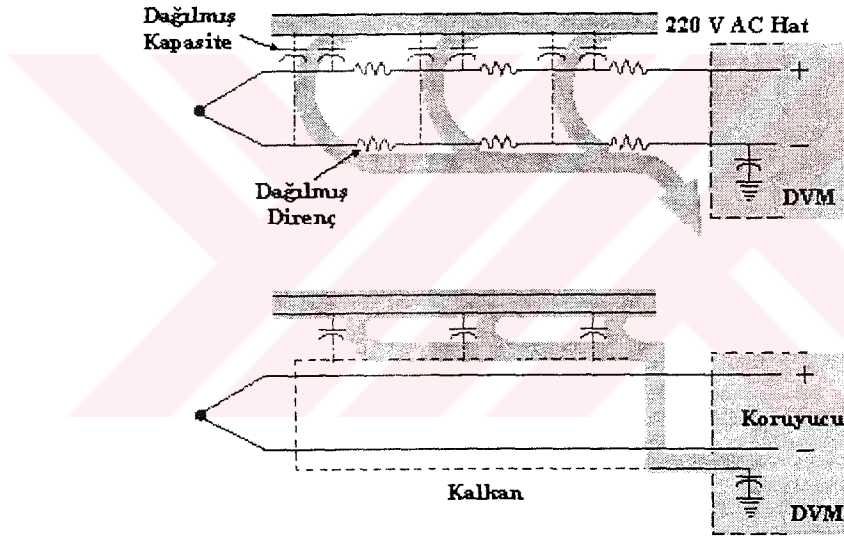
IV.1.11.3. İntegrasyon

İntegrasyon bir A/D tekniği olup temel olarak bir tam hat çevrimi üzerindeki ortalama girişim miktarı olarak tanımlanır. Buna göre enerji hatları kaynaklı girişimler ve bağlı harmonikler yok edilebilir. Şayet integrasyon periyodu bir tam sayı hat çevriminden az seçilecek olursa, girişim engelleme özelliği azaltılmış olur.

Termokupul devreleri uzun iletkenlere sahip olduklarından enerji taşıyan iletkenlerin meydana getireceği girişimlere karşı duyarlıdır, bu nedenle A/D integrasyon konvertörü termokupul voltajını ölçmede büyük yarar sağlar. İntegrasyon tekniği ile günümüz teknolojisine bağlı olarak tam çevrim integrasyonunda saniyede 48 örnekleme almak mümkündür.

IV.1.11.3.a. Koruma

Koruma; düşük ve yüksek ölçme uçları üzerindeki çeşitli girişim kaynağı etkilerini azaltmada kullanılan bir tekniktir. Termokupul iletkenlerinin 220V AC enerji hattıyla aynı hattan çekildiğini kabul edelim. Bu durumda termokupul iletkenleri ile enerji hatları arasında bulunan kapasitans, termokupul iki ucu arasında sinyal genliğine yakın değerde bir AC sinyal oluşturur. Bu “ortak mod” sinyal ideal bir devrede problem oluşturmaz, ancak voltmetre ideal bir devre değildir, voltmetre düşük terminal ucu ile şase arasında bir kapasitans mevcuttur. Bu kapasiteden ve termokupul iletken dirençleri üzerinden akan akım bir normal mod girişim sinyali oluşturur. Koruyucu fiziksel olarak voltmetre devresini saran bir metal kutudur. Koruyucunun termokupul iletkenlerini saran kalkana bağlanması halinde girişim akımının yönü değiştirilmiş olur.

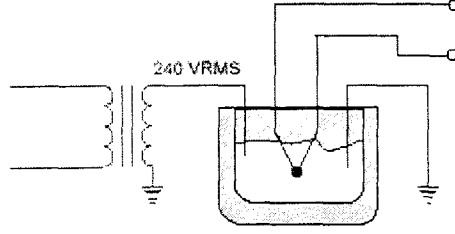


Şekil IV.28 Girişim akımının yönünün değiştirilmesi

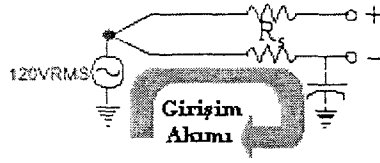
Tarayıcının koruyucu terminallerini her termokupul kanalı için ayrı ayrı irtibatlandırması halinde, her kalkanlı termokupul kavşağı girişim kaynağıyla ters bir etki oluşturmayacak şekilde irtibatlanabilir. Termokupul kalkanlarının koruyucu ile irtibatlandırılması sonucunda, kalkanın direk toprağa bağlanması durumunda oluşan “toprak döngüleri” yok edilmiş olur. Dijital voltmetre DVM koruyucusu, termokupul kavşaklarının ortak mod girişim kaynaklarıyla direk temasa girdiği durumlarda oluşan girişim gerilimlerini yok eder.

Şekil IV.29’da metal ertitme potasının merkezindeki sıcaklığın ölçümüne ait düzenek görülmektedir. Pota elektrik akımıyla ısıtılmaktadır ve pota merkezindeki

potansiyel 120 V RMS'tir. Bu bağlantının eşdeğer devresi Şekil IV.30'da gösterilmektedir.

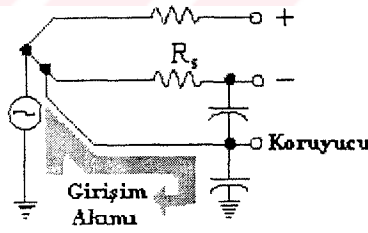


Şekil IV.29 Metal ertitme potası



Şekil IV.30 Metal ertitme potası ölçüm düzeneği eşdeğer devresi

Dijital voltmetre düşük uç terminali ile şase arasındaki kapasite bir akım akışına neden olur. Buna bağlı olarak termokupul R_s seri direnci üzerinde bir gerilim düşümü olur. Oluşan bu gerilim dijital voltmetre girişinde belirir ve hatalı bir ölçüme neden olur. Termokupula direk bağlanacak bir koruyucu iletken kullanılarak düşük terminal ucundan akan akım azaltılabilir. Bu durumda akım koruyucu telden akacağından oluşacak hatalar önlenmiş olur.



Şekil IV.31 Koruyucu tel bağlantısı

Termokupul R_s direnci değeri düşürülerek de girişim önenebilir. Bu işlem büyük kesitli termokupul teli kullanılarak gerçekleştirilebilir. Manyetik alan kaynaklı girişimleri önlemenin yolu termokupul iletkenlerinin üniform bir şekilde bükülmesidir [18].

IV.1.12. Pratik Önlemler

Termokupul eğrilerinin doğruluğu termokupul telinin kalitesine bağlıdır, bu nedenle sıcaklık ölçümü yapıldığında teller kalibre edilmiş olmalıdır. Ölçüm

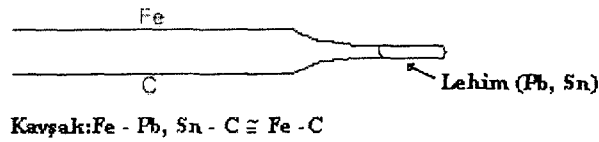
düzenekleri ve referans nokta kompanzasyonu kaynaklı hatalar dışında ölçüm hatalarının ana kaynakları aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

1. Zayıf Kavşak bağlantıları
2. Termokupul iletkenlerinin kalibrasyonsuzluğu
3. Şönt empedans
4. Galvonik olaylar
5. Termal Parelellik
6. Girişim ve sızıntı akımları
7. Termokupul özellikleri
8. Dökümantasyon

IV.1.12.1. Zayıf Kavşak Bağlantıları

Termokupul iletkenlerinin birleştirilmesi lehimleme, gümüş lehimleme ve kaynak gibi yöntemler kullanılarak gerçekleştirilir. Lehimleme işleminde üçüncü bir metal termokupul devresine eklenmiş olur, bu anda termokupul her iki yanındaki sıcaklıklar eşit ise herhangi bir hata söz konusu olmaz. Ancak lehimleme işlemi kavşağa uygulanacak sıcaklık değerini sınırlar. Yüksek sıcaklıklara maruz kalacak kavşaklarda yapılması gereken işlem kaynaklamadır. Kaynaklama işlemi dikkatle yapılması gereken bir işlemdir. Kaynak sırasında meydana gelecek aşırı ısınma tellere zarar verebilir, kaynak gazına ve telin kaynak edildiği ortamdaki gazların tele nüfuz etmelerine bağlı olarak tel karakteristikleri değişebilir [18].

Bu gibi zorluklar pahalı ama üniformluğu sağlayan bir teknik olan Kapasitif-Deşarj tekniği kullanılarak aşılabılır [18].



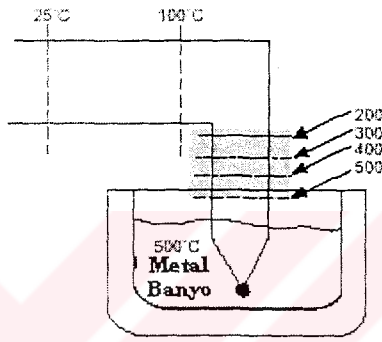
Şekil IV.32 Termokupul kaynaklama işlemi

Zayıf kaynak yapılması durumu açık bağlantı anlamına gelir. Bu durum “Açık Termokupul Kontrolü” ile kolayca tespit edilebilir. Bu veri toplayıcılarda (Data Loggers) bulunan ortak bir test fonksiyonudur. Tesbiti en kolay hatalardan olmasına rağmen yaygın bir hata kaynağı değildir [18].

IV.1.12.2. Termokupul İletkenlerinin Kalibrasyonsuzluğu

Kalibrasyonsuzluk açık (Kopuk) termokupul hata durumundan daha ciddi bir hatadır. Bu durumda ölçü aleti yanlış değer gösterir. Kalibrasyonsuzluk termokupul tellerinin fiziksel yapısının dış etkiler sonucu bozulmasına bağlı olarak NBS standartları dışına çıkılması durumudur. Atmosferdeki gazların teller üzerindeki etkileri, titreşim ve zorlamalar kalibrasyonsuzluğa neden olurlar.

Robert Moffat “Termokupul Termometrisine Gradyen Yaklaşım”adlı çalışmasında termokupul geriliminin termal gradyene sahip termokupul tel kesitlerinde indüklendiğini ve her zaman kavşağa bağlı olmadığını söylemiştir.



Şekil IV.33 Gerilim üreten gradyenler

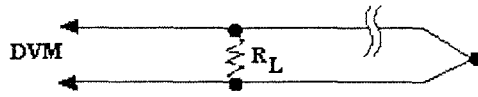
Şekil IV.33'te bir metal ergitme potası içerine yerleştirilmiş termal prob görülmektedir. Bu durumda izotermalliğe çok yakın iki bölge oluşurken, gradyenliği geniş bir bölgede oluşur. Bu düzenekte termokupul kavşağı çıkış geriliminin oluşumuna bir katkısı yoktur. Çıkış gerilimini indükleyen şekildeki gölgeli kısımdır. Yıpranma veya tavlamaya bağlı olarak çıkış geriliminde meydana gelecek kaymadan dolayı kavşağın değiştirilmesi yalnız başın sorunu çözemez, çıkış gerilimini indükleyen gölgeli kısmın tamamında değişimi gerekir.

Termokupul iletkenlerinin kusursuz üretilmemesine bağlı olarak çıkış geriliminde bazı hatalar oluşur. Şayet tellerdeki homojensizlikler termal gradyenliğin dik (Steep) olduğu kesitlerde oluşur ise oluşacak hatalar daha büyük olur. İletkenin hangi noktasında hatanın oluştuğu bilinmediğinden yapılması gereken dik gradyenlerin oluşturulmamasıdır. Gradyenler metal kılıflar kullanılarak veya termokupul tellerinin düzgün olarak yerleştirilmesi sonucu azaltılabilir [18].

IV.1.12.3. Şönt Empedans

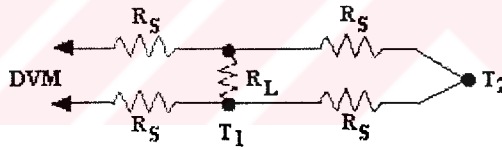
Yüksek sıcaklıklar termokupul yalıtkanları'na (izolasyonlarına) zarar vererek te etkilerini gösterirler. Yalıtkanlık direnci sıcaklık artışına bağlı olarak eksponansiyel olarak azalır. Bu azalış bir sanal kavşak oluşum noktasına kadar sürebilir.

Yüksek sıcaklıkta çalışan açık bir termokupullu ele alalım. Sızıntı direnci (R_L), oldukça küçük olacağından devre tamamlanacak ve voltmetreden yanlış değer okunacaktır.



Şekil IV.34 Sızıntı direnci

Açık olmayan dar çaplı bir telin uzun bir kısmını ele alalım. Termokupul iletkeni küçük olacak olursa ,seri direnci(R_S), oldukça yüksek olacaktır ve bazı koşullarda $R_L \ll R_S$ olacaktır. Bu termokupul kavşağının R_L noktasında oluştuğu anlamına gelir ve çıkış gerilimi T_2 ile değil, T_1 ile orantılı olacaktır.



Şekil IV.35 Görünür kavşak

Yüksek sıcaklıkların termokupul iletkenleri üzerinde daha zararlı etkileri de vardır. Yalıtkan içerisindeki kimyasallar ve yabancı maddeler termokupul metaline temas ettiğinde sıcaklık-gerilim değerleri belirlenen standartlar dışına çıkar. Yüksek sıcaklıklardaki uygulamalarda yalıtkan seçimine bu açıdan dikkat edilmelidir. Atmosferik etkiler uygun seçilmiş metal veya seramik kılıflarla minuma indirilebilir [18].

IV.1.12.4. Galvonik Olaylar

Bazı termokupul yalıtkanları içerisinde kullanılan yalıtkanlar, su etkisiyle elektroliz oluştururlar. Bu galvonik etkiye bağlı olarak Seebeck etkisinden yüzlerce

kat daha fazla bir çıkış gerilimi oluşur. Termokupl tellerinin atmosferik etkilerden ve sıvılardan korunması amacıyla tedbirler alınmalıdır [18].

IV.1.12.5. Termal Parelellik

Hiçbir termokupul kütlesiz yapılamaz. Termokupulla yapılan bir ölçüm sırasında termokupul kütlesinin etkisi nedeniyle değişiklikler olur. Eğer ölçülecek kütle küçük ise termokupul da küçük olur. Ancak küçük telle yapılan termokupulların kirliliğe, yıpranmaya, şekil değişikliğine ve şönt empedansa duyarlılıkları oldukça fazladır. Bu etkileri minimuma indirmek için uzatma kabloları kullanılabilir. Uzatma kabloları termokupul ile voltmetre arasında kullanılmak üzere hazır olarak bulunurlar. Bu kablolar Seebeck Katsayıları termokupul malzemesiyle aynı özellikte olan metallere yapılır. Boyut olarak daha büyük olmaları nedeniyle seri dirençleri uzak mesafe geçişlerinde bir sorun oluşturmaz. Maliyetleri termokupul iletkenlerine göre daha azdır. Daha dar bir sıcaklık aralığında tasarlanmalı ve mekanik etkilere duyarlılıkları nedeniyle, uzatma kablosu üzerindeki termal gradyenliğin minimum seviyede tutulması gerekir. Gradyen teorisine göre bu durum çıkış geriliminin de bir değişim olmadığı anlamına gelir [18].

IV.1.12.6. Girişim ve Sızıntı Akımları

İntegrasyon, Ağaç anahtarlama ve koruma yöntemleri kullanılarak veri toplama sistemlerindeki hatla-bağlantılı girişimler önlenir. Genişband girişimlerde Analog Filtreleme daha etkili bir yöntemdir. Bir veri toplama sisteminde önlenemeyecek girişim sistemindeki D.C. sızıntı akımlarının neden olduğu D.C. offsettir. D.C. sızıntı akımları kaynaklı hataların belli bir etkiye genliğinde olmaları durumu yaygın olmamakla beraber, oluşabilecek etkilerin önlenmesi gerekir. Küçük dolayısıyla seri empedansı yüksek olan termokupullarda bu etki önemlidir [18].

IV.1.12.7. Termokupul Özellikleri

Termokupul telleri NBS standartları dikkate alınarak üretilir. Bu standartlardaki tellerin özellikleri bazı durumlarda kalibrasyonlarla (Bilinen sıcaklık değerlerinde kontrol edilerek) düzeltilebilir. Temel özelliklerinin düzeltilmesi amacıyla yapılan kalibrasyon durumunda kalibrasyonsuzluk dışına çıkma durumunun önlenmesi büyük önem kazanır [18].

IV.1.12.8. Dökümantasyon

Dökümantasyon kavramının gerilim ölçümünü etkileyen kavramlar arasında yer alması ilginç olabilir. Ancak birden fazla verinin toplandığı bir termokupullu ölçme sisteminde yapılacak yanlış termokupul kodlamaları, etiketleme hataları, hatalı NBS eğrilerinin kullanımı gibi yapılan yanlışlıklar hata kaynağı oluşturlar.

Bir ölçüme ait bilgilerin tamamı (Dönüştürücü tipi, çıkış gerilim değeri, algılayıcı yeri v.b.) bir veri dosyasında toplanmalıdır. Bu işlem hazır formlar kullanılarak veya bilgisayar kullanılarak gerçekleştirilebilir.

IV.1.13. Termokupul Arızalarının Tespiti

Termokupulla ilgili hataların tamamı termokupul ölçme sınırına yakın ölçüm yapılan durumlarda artar. Bu duruma sık rastlanmaz ancak yüksek sıcaklıktaki kötü atmosferik koşullarda, küçük termokupulla ölçüm yapılması durumunda değerlerde değişimler gözlenir. Termokupulun hangi zamanlarda hatalar ölçümler yaptığıının tespiti için güvenilir prosedürlerin oluşturulması gereği vardır. R. P. Reed, teşhis tekniklerini kullanarak hatalı termokupulların ve veri kanallarının tespitini sağlayan bir sistem geliştirmiştir. Bu sistem olay kaydı, Bölge kutusu ve Termokupul direnci olmak üzere üç öğeden oluşur [18].

IV.1.13.1. Olay Kaydı

Doğrudan bir test olmayıp, ölçüm sırasındaki olayların kayıt altına alınması olayıdır. Bu kayda uygun bir örnek aşağıda verilmiştir:

- 10:43 Enerji Kesintisi
- 10:47 Enerjinin geri gelmesi
- 11:05 M821 Kodlu termokupulun K tip bir termokupulla değişimi
- 13:51 Yeni veri toplama sistemi programının yazılması
- 16:07 M821 de yanlış değer gözükmesi

Program listesi incelendiğinde M821 de J tip termokupul kullanıldığı belirlenir ve yeni veri toplama programı M821 i J tip olarak algılar. Ancak olay kaydına bakıldığında M821 in K tip termokupulla değiştirildiği ve programa girilmediği görülür. Birçok hata bu kadar kolay tespit edilemeyebilir, ancak birçok

verinin toplandığı sistemlerde açıklanamayan değişimlerin tespitine yardımcı olacaktır [18].

IV.1.13.2. Saha Kutusu Testi

Bölge kutusu referans buz banyosu yerine kullanılan, sıcaklık değeri bilinen izotermal bloktur. Şayet termokupul, bölge kutusu üzerinden geçici süreyle kısa devre edilecek olursa izotermal blok sıcaklığına çok yakın bir sıcaklık değeri (Oda sıcaklığına yakın bir değer) göstergeden okunmalıdır. Termokupul iletkenlerinin direnci paralel dirençten çok büyük olursa $V=0$ olur. Kısa devre olmaması durumunda T_J sıcaklığı ölçülür ve sistem gerilimi:

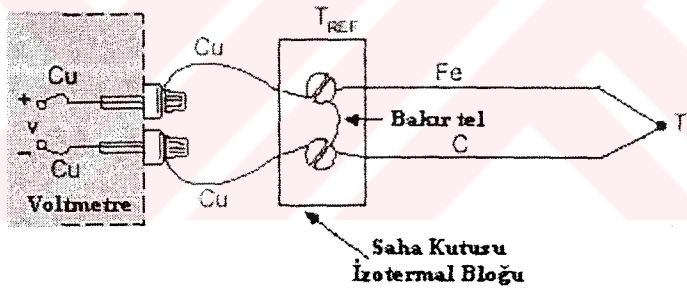
$$V \cong S(T_J - T_{REF}) \quad (IV.14)$$

olur. Ancak fonksiyonel test için terminaller kısa devre edildiğinde $V=0$ ve gözükten sıcaklık:

$$0 = S(T'_J - T_{REF}) \quad (IV.15)$$

$$T'_J = T_{REF} \quad (IV.16)$$

olacaktır.



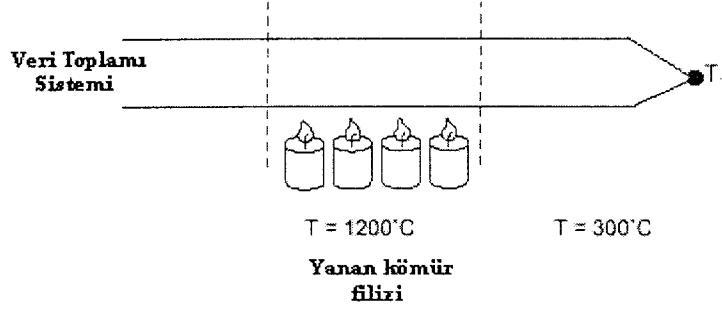
Şekil IV.36 Termokupulun saha kutusu üzerinden kısa devre edilmesi

Buna göre $V=0$ durumunda bölge kutusu sıcaklığı gözükcektir. Bu testte ilk olarak T_J gözlemlenerek termokupul iletkenleri bakır telle kısa devre edildi ve son olarak voltmetreden T_J yerine bölge sıcaklığı değerinin gözüktüğünden emin olundu. Bu test tekniği kullanılarak kontrolörün, tarayıcının, voltmetrenin ve bölge kutusu kompanzasyonunun doğru olarak çalıştığı kontrol edilebilir [18].

IV.1.13.3. Termokupul Direnci

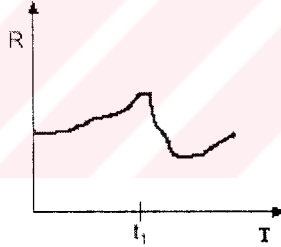
Termokupul direncindeki ani değişim bir hata göstergesidir. Her termokupul için çizilecek Direnç-Zaman eğrileri aracılığıyla; açık devre, kısa devre, titreşim yorulması veya farklı hata kaynaklarının neden olacağı ani direnç değişimleri tespit edilebilir [18].

Şekil IV.37’de ateşlenen bir yer altı kömür filizinin sıcaklık profili termokupullu ölçme düzeneği kullanılarak incelenecektir. Termokupul telleri yüksek bir sıcaklık bölgesinden geçerek daha serin bir ortama ulaşmaktadır. Ölçülen sıcaklık ani olarak değişmiş ve 300C° den 1200C° ’ye yükselmiştir. Bu durum yanan kömür filizinin yer değiştirmesi sonucu mu oluşmuştur yoksa termokupul izolasyonunun sıcak noktada bozularak termokupul tellerini kısa devre etmesi sonucu mu oluşmuştur.



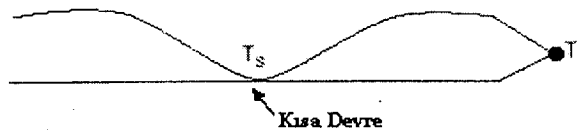
Şekil IV.37 Ateşlenen bir yer altı kömür filizinin sıcaklık profili

Şayet termokupul direnç değişiminin sürekli takibine sahip isek, hata kaynağının ne olduğu kolaylıkla anlaşılacaktır.



Şekil IV.38 Termokupul Direnç-Zaman değişim eğrisi

Termokupul direnci, iletken tel direnci değişen sıcaklıkla değişeceğinden zamanla değişecektir. Ancak dirençteki ani değişim hatalı bir duruma işaret eder. Dirençteki ani ve beklenmedik değişim termokupul yalıtkanlığının (izolasyonunun) bozulduğunu ve termokupul döngüsünün kısaldığını gösterir [18].



Şekil IV.39 Direnç değişim etkisi

Bu durumda ölçülecek sıcaklık yeni kavşak sıcaklığı olan T_s sıcaklığıdır.

IV.1.13.3.a. Termokupul Direncinin Ölçümü

Termokupul direncinin ölçümü bir bataryanın iç direncinin ölçümüne benzer. Gerilim üreten bir termokupul büyük direnç ölçüm hatasına neden olur. Bu hata durumu offset kompanzasyonlu direnç ölçüm tekniğiyle aşılabılır. Adından anlaşılacağı üzere bu teknikte ilk olarak dirençli akım kaynağı uygulanmadan termokupul gerilimi ölçülür. Daha sonra dirençli akım kaynağı çalıştırılarak direnç üzerindeki gerilim ölçülür. Voltmetre yazılımı termokupul offset gerilimini kompanze ederek termokupul kaynak direncini ölçer.

IV.1.14. Ölçme Sisteminde Dikkat Edilecek Hususlar

Özet olarak bir termokupullu ölçme sisteminin integrasyonu aşağıdaki noktalar dikkate alınarak düzeltilebilir.

- Isıyı ölçme alanının dışına iletmeyecek mümkün olan en uzun teller kullanılmalı.
- Küçük tel kullanmak gerekiyorsa sadece ölçme alanında kullanılmalı, diğer kısımlar uzatma kabloları ile geçilmeli.
- Tel şeklini değiştirecek, mekaniki gerilmelerden ve titreşimden kaçınılmalı.
- Uzun termokupul telleri kullanılması durumunda termokupul kalkanı (Shield) voltmetre koruyucusuna bağlanmalı ve bükülü uzatma kablosu kullanılmalıdır.
- Dik sıcaklık gradyanlarından kaçınılmalıdır.
- Termokupul telleri ölçme aralıkları içinde kullanılmalı.
- Korumalı tip A/D integrasyon konvertörü kullanılmalı.
- Çevre koşullarının kötü olması durumunda termokupul tellerini koruyacak uygun kaplama malzemeleri kullanılmalıdır.
- Uzatma kabloları düşük sıcaklıklarda ve termal gradyanın düşük olduğu bölgelerde kullanılmalı.
- Olay kaydı ve termokupul direnç kaydı tutulmalıdır.

IV.2. RTD (RESISTANCE TEMPERATURE DETECTORS)

Dirençli sıcaklık algılayıcıları, metallerin elektriksel direncinin değerinin sıcaklıkla değişmesi esasına göre çalışan algılayıcılardır. İletkenlik özelliği yüksek olan metallerin bu özelliğinin aksine, RTD'ler metallerin direnç özelliklerinden yararlanılarak geliştirilmişlerdir. Her metal değeri deneysel olarak belirlenecek olan bir R direnç değerine sahip olup bu değer metal telin boyuyla (L) doğru, kesitiyle (A) ters orantılı olarak değişir.

$$R = \frac{\rho \cdot L}{A} \quad (IV.17)$$

Burada;

ρ : Orantı sabiti veya öz direnç ($\Omega\text{mm}^2 / \text{m}$)

L : Metal telin boyu (m)

A : Metal tel kesiti (mm^2) değerlerini temsil ederler.

IV.2.1. Çalışma Prensibi

RTD'ler direnç değerleri sıcaklıkla artan metallerden imal edilirler. Sınırlı bir sıcaklık aralığı için bu artış lineer olup aşağıdaki denklemle ifade edilir.

$$\rho_t = \rho_0 [1 + a (t-t_0)] \quad (IV.18)$$

Burada:

ρ_t : t sıcaklığındaki öz direnç

ρ_0 : t_0 standart sıcaklığındaki öz direnç

a : Direnç sıcaklık katsayısı ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)

olup (IV.17) ve (IV.18) nolu denklemler birleştirilerek t_0 standart sıcaklığı 0°C olarak belirlenerek $y = mx + b$ lineer denklem formu oluşturulur. Bu durumda sıcaklık direnç değişimi lineer olup α eğimine sahiptir:

$$R/R_0 = \alpha t + 1 \quad (IV.19)$$

Teorik olarak herhangi bir metalin sıcaklık ölçümünde kullanılması mümkün olmakla beraber, seçilen metalin yüksek kaynama noktasına ve korozyona karşı dayanıma sahip olması aranan özelliklerdir. Platin; kimyasal kararlılığı, saflığı ve uzun dönem kararlılığı gibi nedenlerden dolayı RTD metali olarak yaygın kullanıma

sahiptir. Platin RTD'ler IEC/DIN (International Electrotechnical Commission-Deutsch Institut für Normung) sınıfı veya referans sınıfı olarak imal edilirler. RTD sınıfları arasındaki farklılık platinin saflık derecesiyle ilgilidir. IEC/DIN standartındaki platin RTD ler, saf platin içerisine platinyum gurubundan başka elemanların katılmasıyla elde edilirken, referans sınıfı RTD ler 99,999% saf platinden imal edilir. Her iki RTD de 0 °C de 100 Ω direnç değeri gösterirken, DIN sınıfı platin RTD 100 °C de 138,5 Ω, referans sınıfı platin RTD ise 139,02 Ω direnç gösterir. Uluslar arası standartlarda standart RTD eğrileri geliştirilmiş olup belirlenen sıcaklık katsayısı 0 °C – 100 °C aralığındadır. (IV.19) numaralı denklem α için çözülür ise;

$$\alpha = (R_{100} - R_0) / R_0 t \quad (IV.20)$$

olup,

IEC/DIN sınıfı platin RTD için ; $\alpha = 0,00385 \Omega / \Omega(^{\circ}\text{C})$

Referans sınıfı platin RTD için ; $\alpha = 0,003926 \Omega / \Omega(^{\circ}\text{C})$ (max)'dır.

Direnç ve sıcaklık arasındaki bağıntı **Callendar-Van Dusen** denklemi kullanılarak temsil edilebilir.

$$\frac{R}{R_0} = 1 + \alpha \left[T - \delta \left(\frac{T}{100} - 1 \right) \left(\frac{T}{100} \right) - \beta \left(\frac{T}{100} - 1 \right) \left(\frac{T}{100} \right)^3 \right] \quad (IV.21)$$

Burada;

T : Sıcaklık (°C)

R : T sıcaklığındaki direnç

R_0 : Donma noktasındaki sıcaklık

α : Sabit(R-T eğrisine lineerlik özelliği verir)

δ : Sabit

β : Sabit

α , δ , β sabitlerinin kesin değerleri RTD nin dört değişik sıcaklıkta test edilmesi ve (IV.21) numaralı denklemin çözümüyle bulunur.

Callendar-Van Dusen denklemi :

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t-100^{\circ}\text{C}) t^3] \quad (IV.22)$$

biçiminde sadeleştirilebilir. İkinci dereceden, 0°C üzerindeki sıcaklıklarda bir RTD'nin davranışı (IV.23) eşitliği ile ifade edilebilir.

$$R_t = R_0 (1 + At + Bt^2) \quad (IV.23)$$

A, B, C katsayıları kullanılan malzemeye (örneğin; platin) ve malzeme saflık derecesine bağlı olarak değişir. IEC-751 uluslararası standardı RTD'ler arası dönüşüm prensiplerini belirleyen standarttır.

IEC-751-2(ITS90) standartına göre platin RTD sabitleri şunlardır:

$$A = 3,90833 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$B = -5,7753 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$$

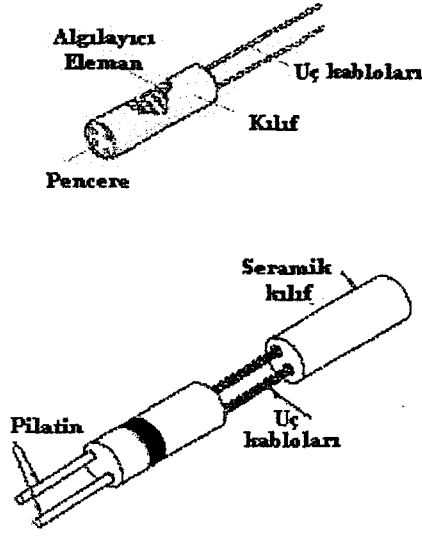
$$C = -4,1833 \cdot 10^{-12} \text{ } ^\circ\text{C}^{-3}$$

IV.2.2. RTD Metalleri

Tüm metaller sıcaklıktaki pozitif değişime karşı dirençlerinde pozitif değişim gösterirler. Bu RTD'lerin temel fonksiyonudur. RTD nominal direnç değerleri büyük olduğunda oluşacak sistem hataları minimum olacaktır, bu RTD de kullanılan metal direncinin öz direncinin yüksek olacağı anlamına gelir. Metal öz direncinin düşük olması durumunda kullanılacak malzemede fazla olmalıdır. Altın (Au), Gümüş (Ag), Bakır (Cu), Platin (Pt), Tungsten (W), ve Nikel (Ni) yaygın kullanılan RTD metalleridir. Altın ve Gümüş öz dirençlerinin küçük olması nedeniyle sık kullanılmazlar. Tungsten yüksek öz direnç değerine sahip olmasına rağmen kırılğan olması ve çalışmasının zor olması nedeniyle çok yüksek sıcaklık uygulamalarında kullanılır. Bakır lineerliği ve maliyetinin düşüklüğü nedeniyle zaman zaman kullanılır ancak bakır platine göre daha fazla kullanılmalıdır. En yaygın kullanılan RTD malzemeleri Platin, Nikel ve Nikel alaşımlarıdır. Nikel malzeme non-lineer olması ve zamanla kayma oluşması nedeniyle sık kullanılmaz. Platin ölçme kararlılığı açısından en uygun malzemedir [18].

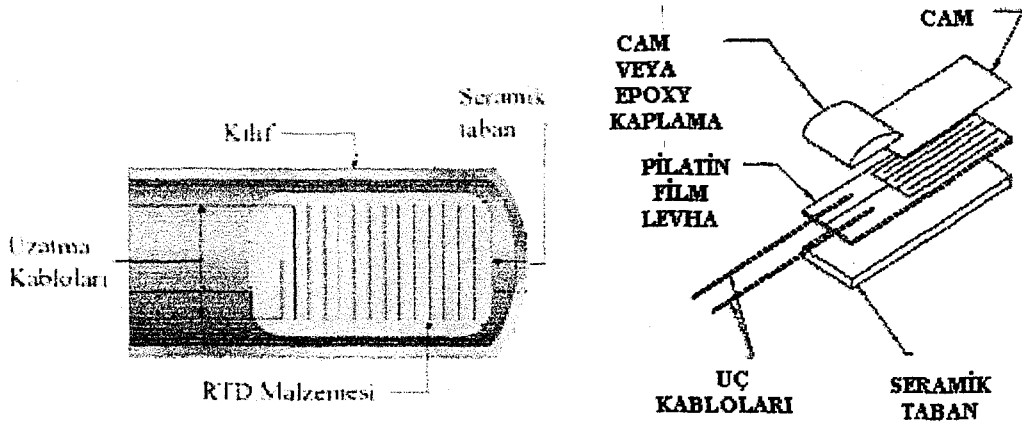
IV.2.3. Üretimi

RTD'ler genel olarak Sargılı tip ve Film levha tip olmak üzere iki tip yapılırlar. Sargılı tip RTD'ler, 100Ω direnç değerinde platin telin bobin oluşturacak şekilde sarılarak yalıtkan bir kılıf içerisine konulmasıyla elde edilir. Bu kılıflar cam tüp veya epoxy şeklinde olabilirler. Bu işlemlerin tamamı mikroskop aracılığıyla ve elle gerçekleştirilir [27].



Şekil IV.40 Sargılı tip RTD'ler

Film levha tip RTD'ler, ince film şeklindeki platin veya alaşımının seramik plaka üzerine kaplanmasıyla oluşturulurlar. Platin maddesi belirlenen direnç değerini verecek şekilde seramik üzerine kaplanır ve daha sonra neme ve rutubete karşı cam veya epoxy madde aracılığıyla kaplanır. Bu tip RTD'lerin en büyük avantajı çok yüksek direnç değerlerinde küçük yüzeyler kullanılarak üretilibilmeleridir. (1000 Ω RTD'ler mevcuttur.) Film levha biçimindeki RTD'ler şekil değişikliğine karşı duyarlı olup yüksek sıcaklık katsayısına sahiptirler (0,00385 Ω/Ω ($^{\circ}\text{C}$)). 1000 Ω RTD'ler yüksek rezolüsyona sahip olup uzatma kabloları kaynaklı hataları düşüktür [27].



Şekil IV.41 Film levha tip RTD'ler

IV.2.4. RTD Özellikleri

RTD tanımlanırken değerlendirilmesi gereken temel özellikler şunlardır:

- Joule kaybı
- Doğruluk
- Kararlılık
- Tekrarlanabilirlik
- Cevap verme süresi
- İletken tel bağlantı şekli (2,3,4 telli bağlantı)

IV.2.4.1. Joule Kaybı

RTD'lerle direnç ölçmek için üzerinden akım geçirmek gerekir. Geçen bu akım RTD üzerinde $I^2 \cdot R$ joule kaybının oluşmasına neden olur. Bu kayıp RTD için sıcaklık artışı ve dolayısıyla direnç değişimi demektir. Bu kayıp RTD'nin içinde bulunduğu ortama bağlı olarak değişir [27].

IV.2.4.2. Doğruluk

IEC 751 standardı RTD doğruluğu için iki tolerans sınıfı belirlemiştir: A sınıfı, B sınıfı:

$$\text{A sınıfı: } \Delta_t = \pm(0,15 + 0,002 * |t|)$$

$$\text{B sınıfı: } \Delta_t = \pm(0,30 + 0,005 * |t|)$$

Burada:

$|t|$: °C olarak sıcaklığın mutlak değeridir.

A sınıfı tolerans -200°C ile 650°C arasındaki 3 veya 4 telli RTD'lere uygulanırken, B sınıfı tolerans -200°C ile 850°C arasındaki tüm RTD'lere uygulanmaktadır [27].

IV.2.4.3. Kararlılık

RTD'lerin sabit bir giriş uygulanması durumunda standart bir çıkış vermesi olarak tanımlanır [27].

Fiziksel veya kimyasal etkiye maruz kalan RTD'lerde kalibrasyon kayması oluşur. Platinin kaplandığı maddeler (yalıtkan plastik kılıf veya seramik yüzey) bu etkilerle uzanarak veya kısalarak RTD telini etkilerler. Kalibrasyon kayması üreticiler tarafından yaklaşık olarak 0,05°C/yıl olarak belirlenmiştir [27].

IV.2.4.4. Tekrarlanabilirlik

RTD'nin aynı şartlar altında tekrarlanan ölçümlerde aynı çıkış değerini vermesidir. Doğruluk bir çok uygulama için gerekli bir parametre olmayıp, kararlılık ve tekrarlanabilirlik dikkate alınması gereken kavramlardır. 100,00 °C sıcaklıktaki bir banyoda bulunan RTD sürekli olarak 100,06°C sıcaklık gösteriyor ise bu hata elektronik olarak kompanze edilebilir [27].

IV.2.4.5. Cevap Verme Süresi

Bu süre uygulamanın türüne bağlı olarak farklılık gösterir. Bu kavram algılayıcının sıcaklığa verdiği tepki olarak tanımlanır ve algılayıcının termal yüzeyi ile sensörün ölçüm yapılacak yere yakınlığına bağlı olarak değişir. Ölçüm yapılacak yere yakın olunması durumunda cevap verme süresi artar. RTD özellikleri tanımlanırken RTD zaman sabiti değeri verilir. Bu zaman RTD'nin sıcaklığın her bir adım değişikliğine cevap vermesi ve son denge değerinin %63 üne ulaşması için geçen süredir. Cevap verme süreleri 0,2 m/s de akan su ve 1 m/s de esen hava ortamları kullanılarak hesaplanır [27].

IV.2.4.6. İletken Tel Bağlantı Şekli (2,3,4 Telli Bağlantı)

Dirençli termometrelerdeki en önemli hata kaynaklarından biri, algılama elemanını ölçme düzeneğine bağlayan tellerin direncidir. Köprü devrelerinde, köprüyü tamamlamaya yarayan üç direncin ölçüm sıcaklığına maruz kalmaması amacıyla RTD, uzatma kabloları kullanılarak uzaklaştırılır. RTD'nin ölçme düzeneğinden uzakta olması sebebiyle bu tellerin dirençleri de RTD direncine etki ve sıcaklık ölçümünde önemli bir hata kaynağı olur. İki telli bir ölçme işleminde her bir koldaki uzatma kablosu direncinin R_L olması durumunda sıcaklık ölçümünde meydana gelecek hata yaklaşık olarak;

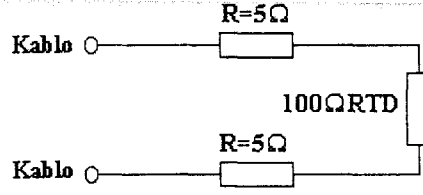
$$\Delta T_m = \frac{2R_L}{\alpha * R(0^\circ C)} \quad (IV.24)$$

olur [13].

Buna göre; 100Ω değerindeki bir RTD de uzatma kablolarının toplam direncinin 10Ω olması durumunda ölçmede yapılacak hata;

$$\Delta T_m = \frac{2R_L}{\alpha * R(0^\circ C)} = \frac{2 * 5}{0,00385 * 100} = \frac{10}{0,385} \cong 26^\circ C \quad (IV.25)$$

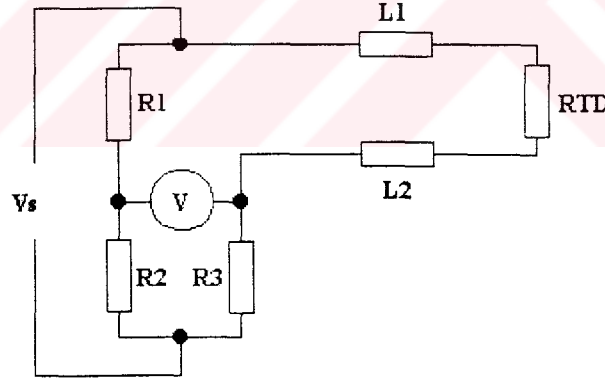
olacaktır [13].



Şekil IV.42 Uzatma kablosu etkisi

Uzatma kablolarından kaynaklanan ölçüm hatalarının önlenmesinde kullanılan temel yöntem direnç değerinin dört uçlu yöntem kullanılarak ölçümüdür. Çünkü bu yöntemde voltmetreye doğru hemen hemen hiç akım akışı olmaz ve tel dirençlerinden dolayı oluşan bir gerilim düşümü yoktur. Şayet voltmetreler ideal değil ise ve devreden akım çekiyor ise burada iki tür hata kaynağı var demektir. Bunlardan ilki tel dirençlerinden kaynaklanan hata, ikincisi ise iki dirençten akan akımın aynı olmamasından kaynaklanan hatadır. İki telli direnç ölçümü prensibi köprü devrelerine kolaylıkla uygulanamaz. Bunun yerine üç telli ve dört telli bağlantılar köprü devrelerinde kullanılır [27].

IV.2.4.6.a. İki Telli Bağlantı



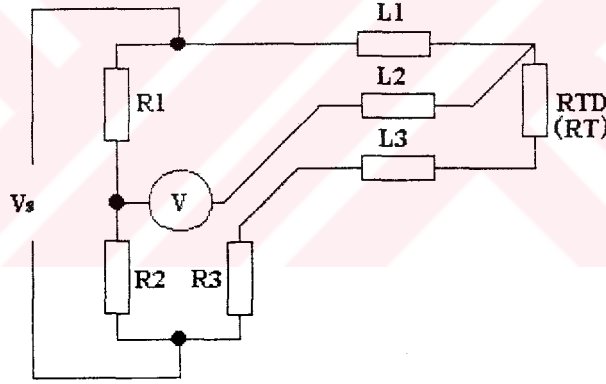
Şekil IV.43 İki telli bağlantı

Bu bağlantı özellikle 100Ω RTD lerde büyük direnç hatalarına sebep olmaktadır. 2 telli bağlantıda akım RTD üzerinden dolaştığından RTD sıcaklığı buna bağlı olarak artacak, sıcaklık artışı direnç değerinde artmaya neden olacaktır. Dirençteki artış $V = I \cdot R$ şeklinde gerilim yükselişiyle algılanır. Gerilim yükselişine neden olan direnç değeri RTD ve uç kablolarından oluşan toplam direnç değeridir. Uç kablolarındaki direnç değerlerinin sabit kalması durumunda sıcaklık ölçümünde

herhangi bir hata oluşmaz, ancak ortam sıcaklığına bağlı olarak kablolarda oluşan direnç değişimi hataların oluşmasına neden olur. Bu nedenle uç kablolarının uzun olduğu yerlerde bu tip bağlantı tercih edilmemelidir. Bu bağlantı şekli 1000Ω RTD'ler ve kısa uç kabloları ile kullanılır.

IV.2.4.6.b. Üç Telli Bağlantı

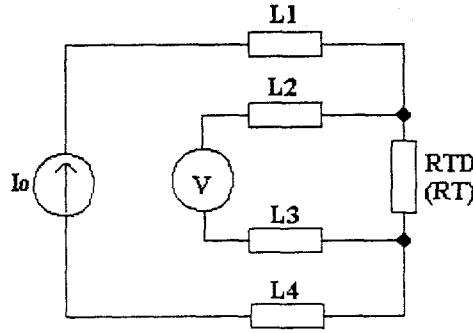
RTD uzatma kablolarının kullanımı varolan hatanın değerinin artmasına neden olur. Bu etki 3 telli bağlantı kullanılarak önlenabilir. Bu bağlantı şeklinde RTD den gelen üç tel vardır. L1 ve L3 telleri ölçüm akımını taşıırken, L2 teli potansiyel tel durumundadır. L1 ve L3 tellerinin empedans etkileri köprünün karşı bacaklarında yer almaları sebebiyle yok sayılır. R3 direnci RTD direncine (RT), belirli bir sıcaklık derecesinde eşit olur (Bu değer genelde sıcaklık aralığının orta noktasında olur). Bu noktada L2 telinden akım akmaz. Sıcaklık artışına bağlı olarak RTD direnci arttığında köprü dengesi bozulacak ve L2 telinden akım akarak belirli bir offset sıcaklığı gözlenecektir.



Şekil IV.44 Üç telli RTD bağlantısı

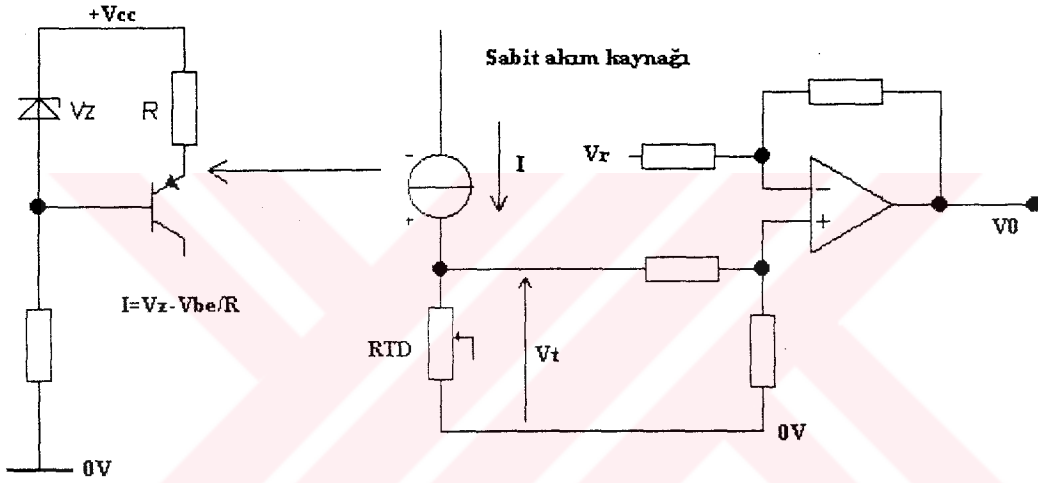
IV.2.4.6.c. Dört Telli Bağlantı

RTD bağlantıları için optimum bağlantı şeklidir. Bu bağlantı dirençlerden dolayı oluşan dengesizliği ortadan kaldırır. L1 ve L4 telleri üzerinden sabit bir akım dolaşırken, L2 ve L3 telleri, RTD üzerinde düşen gerilimin ölçülmesini sağlarlar (Buraya bağlanacak ölçü aleti giriş empedansı çok yüksek olduğundan L2 ve L3 telleri direnç değerlerinin etkileri yok denecek kadar azdır). Sabit bir akım akışı olması durumunda gerilim, direncin bir fonksiyonu olacak ve sıcaklık sağlıklı bir şekilde ölçülecektir. Bu bağlantı iki ve üç telli bağlantılara göre daha pahalı olmakla beraber yüksek doğruluk istenen yerlerde kullanılır.



Şekil IV.45 Dört telli RTD bağlantısı

Diferansiyel yükselteç kullanılarak direnç değişiminin gerilim bilgisine dönüştürülmesi:



Şekil IV.46 Diferansiyel yükselteç kullanılarak direnç değişiminin gerilim bilgisine dönüştürülmesi

Şekil IV.46'daki devre direnç değişikliğini V_t gerilim değişikliğine çevirmek için sabit bir akım kaynağı kullanır ve bu durumda ;

$$V_t = IR_0(1 + \alpha T) \quad (IV.26)$$

olur. Burada V_r , IR_0 'ye karşılık gelir. Bu durumda çıkış gerilimi ise T °C ile orantılı olur [28].

IV.2.5. Direnç Ölçümü

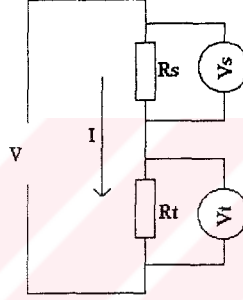
Ohm kanununa göre direnç, üzerindeki gerilim düşümü ve üzerinden akan akımın değeri ölçüldükten sonra $R = V / I$ eşitliği kullanılarak hesaplanabilir. Ancak elektrik akımı kolay olarak ölçülemez veya gerilim ve direnç değeri bilinmeden belirlenemez. Pratikte dirençler diğer dirençlerle karşılaştırılarak ölçülür ve böylelikle akımın doğru olarak bilinmesi veya ölçümüne olan gereksinim ortadan kalkar.

IV.2.5.1. Voltmetre Yöntemi

Voltmetre ölçüm prensibi Şekil IV.47'de verilmiştir. Direnç değerinin ölçümünde, gerilim değerinin ölçümü için voltmetre kullanılması sebebiyle bu adla adlandırılır. Bu yöntemi kullanarak direnç ölçmek amacıyla bir standart direnç ve iki adet iyi ölçüm yapan voltmetre kullanılır. Standart direnç ve RTD üzerinden akan akım aynı olduğundan, dirençler üzerindeki gerilimlerin oranı, dirençlerin oranı olacaktır.

$$\begin{aligned} I * R_s &= V_s \\ I * R_t &= V_t \end{aligned} \quad R_t = \frac{V_t}{V_s} * R_s \quad (IV.27)$$

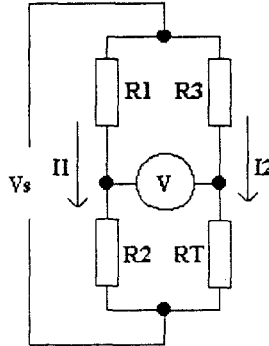
Devrenin temel özelliği kullanılan voltmetrelerin devreden akım çekmemesi ve bağlantı tellerinin direnç ölçümünde etkisinin olmamasıdır.



Şekil IV.47 Voltmetre yöntemi

IV.2.5.2. Köprü Yöntemi

Köprü devresi temel olarak; dört bağlantı teli, bir dış kaynak ve sıcaklık katsayısı sıfır olan üç dirençten oluşur.



Şekil IV.48 Köprü yöntemi

Köprü devresi biri RTD olan iki gerilim bölücüden alınan çıkış gerilimlerini karşılaştırır. Buna göre çıkış gerilimi:

$$I_1 * R_2 = I_2 * R_T$$

$$\left(\frac{V_S}{R_1 + R_2} \right) * R_2 = \left(\frac{V_S}{R_3 + R_T} \right) * R_T$$

$$\left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) * V_S = \left(\frac{R_T}{R_3 + R_T} \right) * V_S$$

$$V_0 = V_T - V_2$$

$$V_0 = \left(\frac{R_T}{R_3 + R_T} \right) * V_S - \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) * V_S$$

$$V_0 = \left[\frac{R_T (R_1 + R_2)}{(R_3 + R_T)(R_1 + R_2)} \right] * V_S - \left[\frac{R_2 (R_3 + R_T)}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_T)} \right] * V_S$$

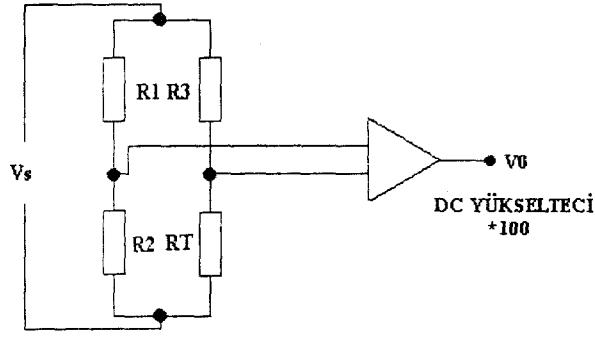
$$V_0 = \left(\frac{R_T}{(R_3 + R_T)} - \frac{R_2}{(R_1 + R_2)} \right) * V_S$$

(IV.28)

olur. Köprü yönteminde, köprü dengeye, köprü dirençlerinden birinin çıkış gerilimi sıfır oluncaya kadar ayarlanması suretiyle getirilir ve değeri bilinen üç direnç değerine göre $R_T = \frac{R_2 * R_3}{R_1}$ eşitliği kullanılarak R_T (RTD) direnç değeri bulunabilir [13,18].

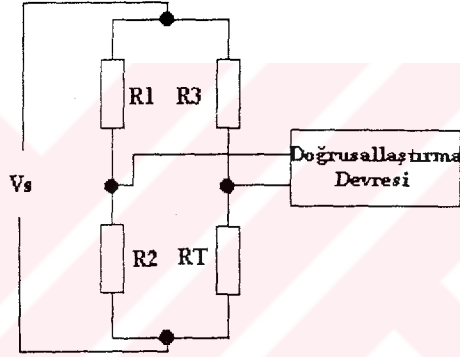
IV.28 eşitliğinde, R_T nin eşitliğinin hem payında hemde paydasında görülmesi sebebiyle V, R_T deki değişmelerle doğrusal olarak değişmez. Doğrusal olmayan bu değişmeyi çözümlmek için üç yaygın yöntem mevcuttur [28].

Doğrusal dışı olma durumu, $R_3 \gg R_T$ ve $R_1 \gg R_2$ yapılmak suretiyle (Yani tipik olarak bir 100 faktörü kullanılarak) kabul edilebilir düzeylere indirilebilir. Bu işlem köprü gerilimini yine 100 faktörü ile azaltılması yan etkisini doğurmakla beraber, bu durum DC bir yükselteç kullanmak suretiyle kolayca yeniden eski haline getirilebilir [28].



Şekil IV.49 $R_3 \gg R_T$ ve $R_1 \gg R_2$ yapılması

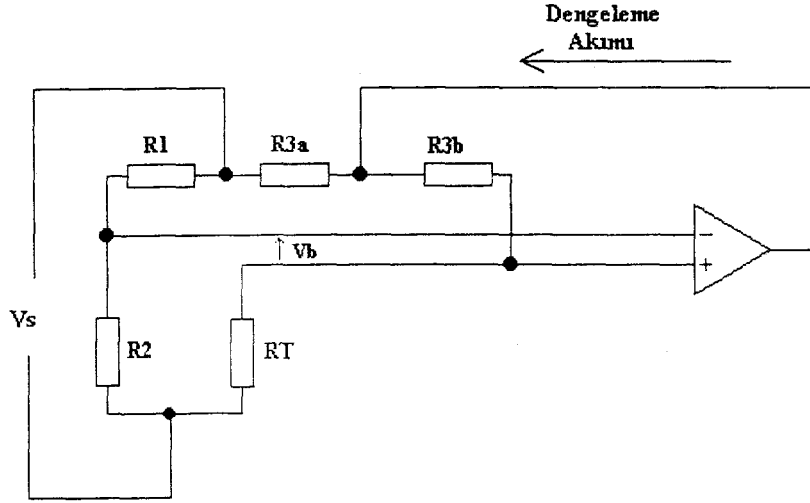
Doğrusallaştırmada kullanılan diğer bir yöntem; köprüden alınan doğrusal olmayan çıkışın, sıcaklık ile doğrudan ilişkisi bulunan bir çıkış gerilimi almak üzere, uygun bir doğrusallaştırma devresi ile işleme tabi tutulmasıdır. Doğrusallaştırma devresi bir işlemsel yükselteç veya mikroişlemcili cihaz olabilir [28].



Şekil IV.50 Köprü çıkışının doğrusallaştırılması

IV.2.5.3. Sıfır Dengeleme Yöntemi

Son yöntem elektronik bir devre kullanarak, kollardan birisindeki direncin ayarlanması suretiyle dengeye gelen köprü devresinde, bilinmeyen direncin bulunmasında kullanılan Wheatstone Köprüsünün modern bir şeklidir. Bu devrede V_b dengesizlik voltajını ölçer ve V_b yi sıfıra getirmek için köprünü koluna verilen akımı yükseltir veya düşürür. Köprü dengelenmiş durumda iken, R_T de meydana gelen değişikliği doğrudan I 'nın yeni değerinden elde edilir. Bu değer RTD'nin sıcaklığa verdiği değişikliğin bir fonksiyonudur [28].



Şekil IV.51 Sıfır dengeleme yöntemi

IV.3. TERMİSTÖRLER

IV.3.1. Çalışma Prensipleri

Termistörler metal oksit ve silikon gibi metal olmayan iletkenlerden üretilen, direnç sıcaklık katsayıları oldukça yüksek olan, direnci sıcaklıkla değişen elektronik parçalardır [24].

Kullanılan malzemeye ve üretim şekline göre termistörler genelde -50°C ile 150°C arasındaki sıcaklık aralıklarında kullanılırlar ancak bazı cam kapsüllü tip termistörler için sıcaklık aralığı 300°C ye kadar çıkar. Bir termistörün direnç değeri tipik olarak 25°C noktasında referans edilerek tanımlanır ve bu referans kısaca R25 şeklinde gösterilir. Bir çok uygulama için R25 değerleri 100Ω ile $100\text{ k}\Omega$ arasındadır. Minimum 10Ω , maksimum $40\text{ M}\Omega$ R25 değerlerinde termistörlerde üretilebilir. Bunun yanı sıra direnç değeri 25°C den farklı referans ta tanımlı olan termistörlerde tanımlanabilir [29]. Termistörler RTD lere göre daha duyarlı ($\Delta R/\Delta T$) elemanlardır. NTC termistörler duyarlılıkları yaklaşık olarak $-4\%/^{\circ}\text{C}$ değerindedir [24].

Termistör direnç-sıcaklık (R/T) eğrileri, kullanıcının ölçme yapacağı ölçme aralığını veren eğrilerdir. Bu eğriler genelde non-lineer bir karakteristiğe sahip olduklarından R/T eğrilerini belirlemede kullanılan birkaç interpolasyon eşitliği mevcuttur. Bunlardan en iyi bilineni Steinhart-Hart eşitliğidir:

$$1/T = A + B(\ln R) + C(\ln R)^3 \quad (\text{IV.29})$$

Burada;

T : Kelvin skalasında ölçülen sıcaklık

R : T Sıcaklığındaki direnç

A, B, C : Termistör katsayılarıdır [29].

A, B, C katsayıları termistör üretici firmalar tarafından genelde verilir. Şayet verilmemiş ise 3 bilinmeyenli 3 denklem kurularak bu katsayılar hesaplanır. Denklemi çözmek için ise 3 değişik sıcaklıkta termistörün direncini ölçmemiz veya termistör grafik tablosundan okumamız gerekir. Kurulacak denklemler Steinhart-Hart denkleminden elde edilmiş olup şunlardır:

$$\frac{1}{T_1} = A + B \ln(R_1) + C [\ln(R_1)]^3 \quad (IV.30)$$

$$\frac{1}{T_2} = A + B \ln(R_2) + C [\ln(R_2)]^3 \quad (IV.31)$$

$$\frac{1}{T_3} = A + B \ln(R_3) + C [\ln(R_3)]^3 \quad (IV.32)$$

Denklemlerdeki T1, T2, T3 değerleri belirlenen sıcaklıkları, R1, R2, R3 değerleri ise belirlenen sıcaklıklardaki direnç değerlerini gösterir. Bu denklemlerin çözülmesi sonucunda A, B, C katsayıları elde edilir [30].

Termistörler modülasyonlu algılayıcı sınıfına girerler yani çalışmaları için bir uyarım sinyaline ihtiyaç duyarlar. Bu sinyal genelde termistörden geçen doğru veya alternatif bir akımdır. Geçen akım bir Joule ısısına ve devamında sıcaklık artışına neden olur. Çoğu uygulamalarda bu ısı artışı cismin sıcaklığının yanlış belirlenmesiyle sonuçlanabilen bir hata kaynağıdır [30].

IV.3.2. Harcama Sabiti (Dissipation Constant-D.C.)

Termistör üzerinden geçen akımın şiddetine bağlı olarak termistör üzerinde bir enerji harcandığını ve bunun ölçme hatalarına neden olduğunu biliyoruz. Termistör üreten firmalar genellikle harcama sabiti diye bilinen bir değişkeni termistör özelliklerinde belirtirler. Harcama sabiti; Termistör sıcaklığını normal şartlar altında 1°C artırmak için gerekli olan elektrik gücü miktarıdır. Bu değer genelde 0,5mW/°C ile 10mW/°C arasında değişir. Herhangi bir sıvı içerisine daldırılan bir termistörün harcama sabiti yükselir ve ısınma olmadan daha yüksek akım geçirilebilir. Örneğin; 5KΩ direnci olan bir termistörden 1mA akım geçirirsek

$I^2 \cdot R = 5 \text{ mW}$ değerinde güç harcanır. Eğer bu termistörün harcama sabiti $10 \text{ mW}/^\circ\text{C}$ ise termistörde $0,5^\circ\text{C}$ kadar bir ısınma olur ve dolayısıyla ölçümümüz hatalı olur. Şayet küçük harcama sabitine sahip bir termistör kullanılıyor ise hatayı azaltmak için devreden geçen akım mümkün olduğu kadar azaltılmalıdır [31].

IV.3.3. Termistör Tipleri

Üretim şekline göre termistörler çip, boncuk ve disk tip olmak üzere üç tip olarak üretilirken, sıcaklık katsayısına göre; Negatif sıcaklık katsayılı termistör (NTC-Negative temperature coefficient) ve Pozitif sıcaklık katsayılı termistör (PTC-Positive temperature coefficient) olmak üzere iki tip olarak üretilirler. NTC direnci sıcaklıkla azalırken, PTC direnci sıcaklıkla artar [29].

IV.3.3.1. NTC Tip Termistörler

NTC termistörlerde direnç sıcaklıkla ters orantılı olarak değişir. Sıcaklığa karşı çok duyarlı olan bu termistörler, sıcaklık ölçümü ve kontrolünde kullanılırlar. Yüksek bir nonlinear karakteristiğe sahip olmalarından dolayı NTC'ler β şeklinde bir büyüklükle tanımlanırlar. β belli bir sıcaklık aralığı üzerindeki direncin üstel ifadesidir. Bir termistör için β değeri:

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{R_{T1}}{R_{T0}}\right)}{\left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad (\text{IV.33})$$

şeklindedir. Burada:

T_1 ve T_0 : Kelvin skalasındaki referans sıcaklık değerleri (25°C için $290,15 \text{ K}$, 0°C için ise $273,15 \text{ K}$ değerindedir),

R_{T1} ve R_{T0} : T_1 ve T_0 sıcaklıklarındaki direnç değerleridir.

Buna göre herhangi bir T sıcaklığındaki direnç değeri R_T :

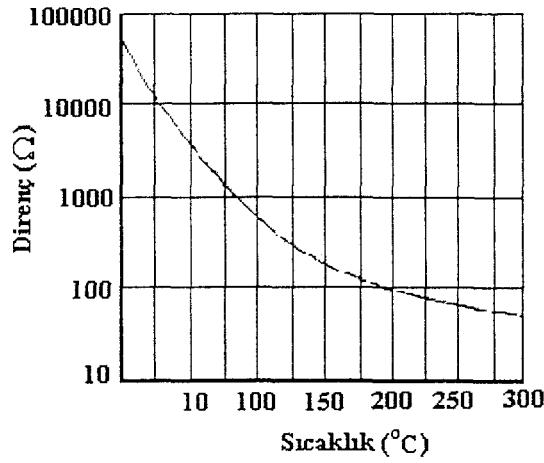
$$R_T = R_{T0} * e^{\beta\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \quad (\text{IV.34})$$

olur.

Direnç değerinin bilinmesi halinde ise karşılık gelen sıcaklık değeri:

$$T = \frac{1}{\frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{R_T}{R_{T0}}\right) + \frac{1}{T_0}} \quad (\text{IV.35})$$

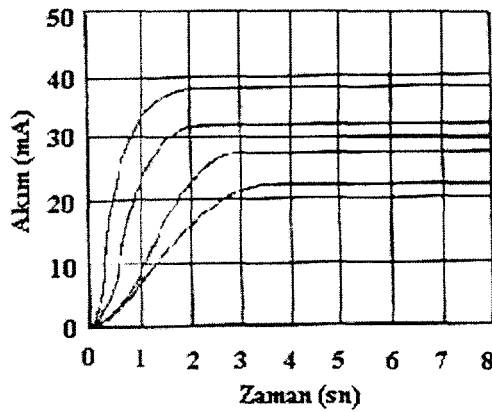
eşitiği kullanılarak bulunabilir [24].



Şekil IV.52 Tipik bir NTC R/T eğrisi

IV.3.3.1.a. Zaman Gecikmesi

NTC termistöre gerilim uygulandığında, ilk anda NTC termistör direnci yüksek olduğundan, geçecek akım değeri küçük olacaktır. Akım akışı sonucu NTC ısısı giderek artacağından direnci azalmaya başlayacak ve akım artışı doyum noktasına kadar sürecektir. Doyum noktası uygulanan gerilim ve direnç değeriyle sınırlıdır. Termistör yüzeyinin büyümesi durumunda harcama sabiti değeri artacak ve devamında NTC termistörün doyuma ulaşması için geçen süre artacaktır. Bu süre saniye (s) olarak ifade edilir. Bu durum yüzey boyutu farklı birkaç termistör için, Şekil IV.53'de gösterilmiştir [32].



Şekil IV.53 Zaman gecikme değerleri

IV.3.3.2. PTC Termistörler

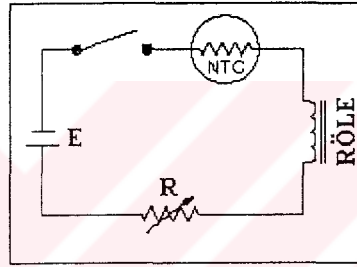
PTC termistörlerde direnç sıcaklıkla doğru orantılı olarak değişir. Sıcaklığa karşı duyarlılıkları düşük olduğundan bu termistörleri sıcaklık ölçme ve kontrolünde

kullanmak zordur. Devre koruma, termostat ve zaman geciktirme elemanı olarak kullanımı yaygındır [29].

IV.3.4. Termistör Uygulamaları

IV.3.4.1. Zaman Geciktirme

Termistörün zaman geciktirme özelliğinin tipik bir uygulaması şekil IV.54’de görülmektedir. Devrede anahtar kapatıldığında, ilk anda termistör direnci büyük olduğundan geçen akım küçük olacaktır. Akım akışına bağlı olarak termistör ısısında meydana gelecek artış bir süre sonra termistör direncinin düşmesine neden olacak ve devreden geçen akım artacaktır. Akım değeri belli değere ulaştığında röle çekecektir. Rölenin çekme süresi devredeki potansiyometre aracılığıyla ayarlanabilir [24,32].

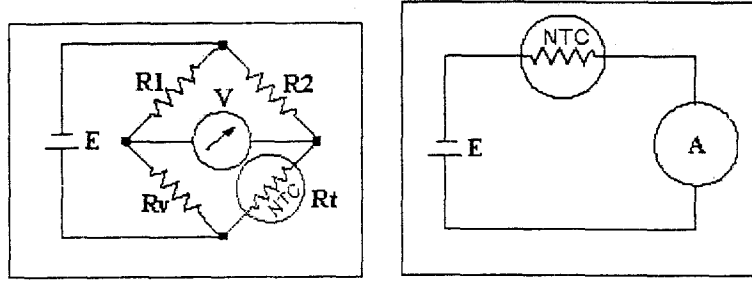


Şekil IV.54 Zaman geciktirme devresi

IV.3.4.2. Sıcaklık Ölçümü

Termistörde oluşacak elektrik gücü harcamasına bağlı olarak, termistör sıcaklığı kendisini çevreleyen ortama bağlı hale gelir ve elektriksel direnci ortam sıcaklığının bir fonksiyonu olur. Bu özellik sıcaklık değişimlerini ölçmede kullanılabilir. Termistör sıcaklık katsayısı çok yüksek olduğundan, doğru sıcaklık ölçümleri basit ölçme düzenekleriyle gerçekleştirilebilir. Şekil IV.55’de bir NTC termistöre seri bağlı bir mikroampermetre ve besleme kaynağından oluşan basit bir ölçüm devresi görülmektedir. Devredeki mikroampermetrenin sıcaklık değerine göre kalibrasyonu suretiyle sıcaklık ölçümü yapılabilir.

Daha hassas sıcaklık ölçümünün istendiği durumlarda köprü devresinin bir bacağına yerleştirilen termistörlü ölçme düzeneklerini kullanmak mümkündür. Bu düzeneklerde dikkat edilmesi gereken husus termistörden geçecek akımın Joule kayıplarına neden olmayacak değerde bir akım olmasıdır [24].



Şekil IV.55 NTC'li köprü devresi

Köprü devresinde koldaki R_v direnci ayarlanarak, köprü dengeye getirildiği zaman, denge durumu için:

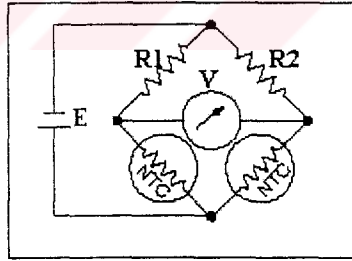
$$\frac{R_1}{R_v} = \frac{R_2}{R_t} \text{ ve } R_t = R_v \frac{R_2}{R_1} \quad (\text{IV.36})$$

olur.

Bilinen R_v , R_1 , R_2 dirençleri için R_t değeri hesaplanır. R_t direnç değeri bulunduğundan sonra direnç-sıcaklık dönüşüm eşitliği yardımıyla sıcaklık değeri hesaplanır [24].

IV.3.4.3. Sıcaklık Farkı

Şekil IV.56 daki gibi köprü devresinin bacaklarına karşılıklı şekilde yerleştirilen termistörler aracılığıyla yaklaşık $0,001^\circ\text{C}$ ye kadar olan sıcaklık farkları ölçülebilir [24].

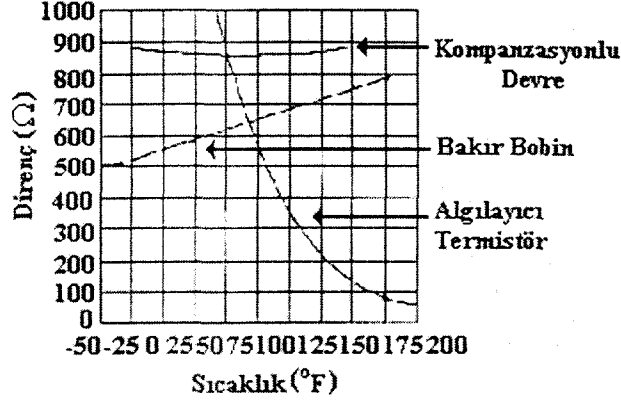


Şekil IV.56 NTC ile sıcaklık farkı ölçümü

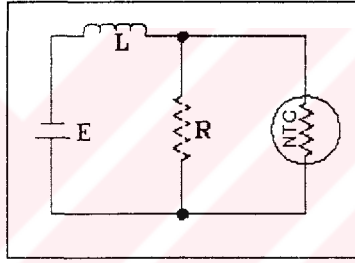
IV.3.4.4. Sıcaklık Kompanzasyonu

NTC termistörler, pozitif sıcaklık katsayısına sahip devrelerdeki sıcaklığın kompanzasyonunda kullanılabilirler. Bu uygulamaya tipik bir örnek bakır telden yapılmış ölçü cihazı bobinleridir. Bakır, pozitif sıcaklık katsayısına sahip olduğundan doğal bir hata kaynağı durumundadır. Sıcaklık değerinde meydana gelecek artış, direnç değerinde bir artış meydana getirecek ve dolayısıyla ölçü cihazı tam skala hareketinde oluşacak sapma azalacaktır. Bu tip bir hatanın düzeltilmesinde kullanılacak temel yöntem, pozitif sıcaklık katsayısına sahip bakır telin, negatif

sıcaklık katsayısına sahip bir termistörle eşleştirilmesidir. Bu uygulamada termistör, bir dirençle devreye paralel bağlanmak suretiyle bobin pozitif eğimiyle eşit genlikte negatif bir eğim oluşturulur. Şekil IV.57’de bu işlemlerle ilgili eğimler görülmektedir [32].



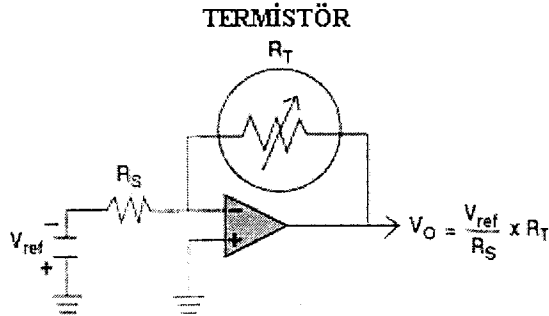
Şekil IV.57 Kompanzasyonlu devre eğrisi



Şekil IV.58 NTC’li sıcaklık kompanzasyon devresi

IV.3.4.5. Op-Ampli Ölçme Devresi

Şekil IV.59’da verilen devre, ölçülen termistör direnciyle orantılı olarak çıkış veren bir devre olup, bu devre 100 ohm dan büyük termistör kullanımlarında daha sağlıklı bir sonuç verir [24].



Şekil IV.59 Op-ampli termistör devresi

IV.4. TEMASSIZ SICAKLIK ÖLÇÜMÜ

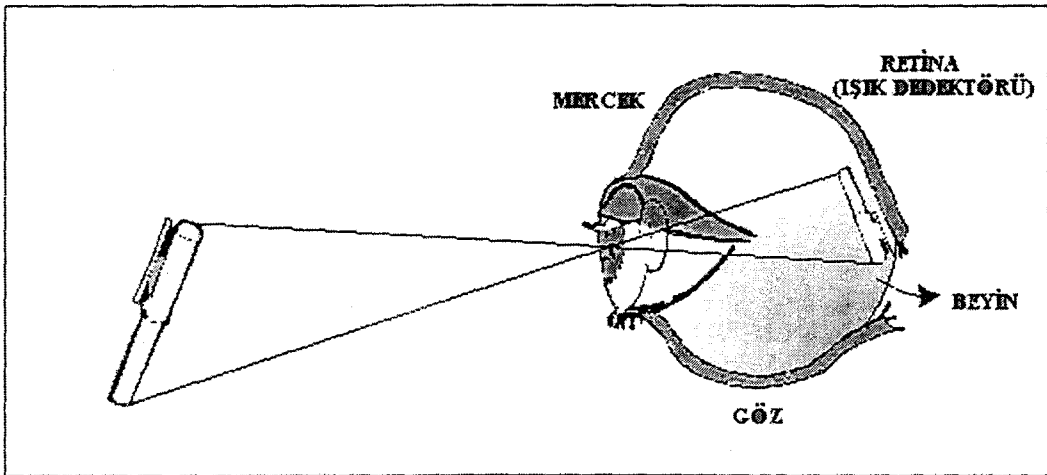
IV.4.1. Gelişimi

İnsan gözü, güneş ışınının yaydığı ışının görünür bölgesindeki enerjinin sadece çok küçük bir parçasını görür. Eğer insan organik veya inorganik, tüm canlılardan yayılan kızılötesi ışınları görebilseydi karanlıkta da görebilecekti. Kızılötesi ışınlar gözle görülememelerine rağmen derideki sıcaklıkla algılanabilirler, ortam sıcaklığından daha soğuk olan bir nesne kızılötesi enerji yayar. Çingiraklı yılan gibi bazı hayvanlar gözlerinin altında bulunan kızılötesi algılayıcılar aracılığıyla yüzeylerce yayılan ısı miktarını belirleyerek, avlarını kovalayıp, kendilerini diğer hayvanlara karşı koruyabilirler.

Temassız sıcaklık algılayıcıları kızılötesi yayınım enerjisinden yararlanarak uzak mesafeden nesnelerin sıcaklığının belirlenmesinde kullanılırlar. Nesnenin yaydığı enerjinin dalga boyunu belirledikten sonra algılayıcı, nesne malzemesini ve yüzey durumunu kapsayacak eşitliklerle nesne sıcaklığı belirler.

IV.4.2. Kızılötesi Termometreler

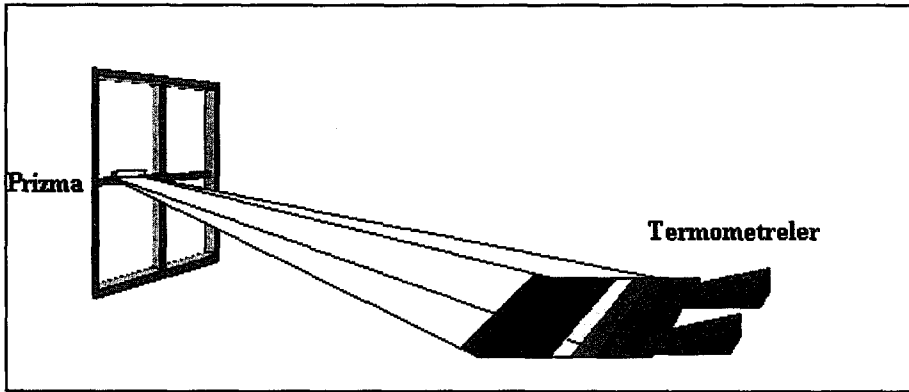
Kızılötesi termometrelerin (IR) ilk pratik uygulaması insan gözüdür. İnsan gözü yapısında bulunan mercek aracılığıyla yayınan radyasyonu retina üzerine odaklar. Radyasyonla aktif duruma geçen retina beyine sinyal göndermeye başlar ve beyin radyasyonun bir göstergesi durumuna gelir. Tecrübeye dayalı kalibrasyon yapılması durumunda beyine gelen sinyalleri sıcaklığa çevirebilir [18].



Şekil IV.60 Kızılötesi termometre prensibi

İlk termometre, kızılötesi ışığın bulunduğu 1800 yılından 200 yıl, Newton'un ışığın doğasını incelediği 1642-1727 yıllarından 100 yıl önce İtalya'da Galilei (1564-1642) tarafından bulunmuştur. 1704 yılında yayınlanan "Opticks" adlı eserinde Newton, kullandığı cam prizma aracılığıyla beyaz ışığın renk demetlerine ayrılabilceğini göstermiştir. Işık demetinin son rengi kırmızıdır ve sırayla birbirini tamamlayan turuncu, sarı, yeşil, mavi, indigo (Çivit) ve mor renklerinden oluşur. Ayrıca Newton kullandığı başka bir prizma aracılığıyla beyaz rengin tekrar elde edilebileceğini göstermiştir. Newton'un çalışmaları sonucu renklerin ışığın doğal bir özelliği olduğu ve beyaz ışığın farklı renklerin bir karışımı olduğu anlaşılmıştır. Newtonun 1675 yılında ortaya koyduğu ışığın taneciklerden oluştuğunu söyleyen "Korpüskül Teorisi" 1678 yılında Christiaan Huygens tarafından ortaya atılan "Dalga Teorisi" ile yıkılmıştır. 1800'lü yıllarda teori kabul görmüş, Maxwell'in "Elektromanyetik Dalga Teorisi" ile önemi artmıştır [18].

1800 yılında Friedrich William Herschel cıvalı termometreler ve cam prizmalarla yaptığı deneyler sonucunda "Görünmeyen kızılötesi ısı dalgaları" hipotezini ortaya koymuş, oluşturduğu düzenek aracılığıyla renklerin yaydığı ısıları belirlemeye çalışmıştır. Çalışmaları sonucu kırmızı rengin sonlarına gittikçe ısı miktarının arttığını, hatta kırmızı ışığın belirli bir noktasından sonra çok yüksek ısı artışı olduğunu belirlemiş ve bu bölgeye Kızılötesi anlamına gelen Infrared adını vermiştir [18].



Şekil IV.61 Herschel deneyi

Yaklaşık 50 yıl sonra Kızılötesi radyasyonun gözün retinasını etkileyerek ışığın algılanmasına neden olmak dışında, ışık dalgalarının özelliğine de sahip olduğu belirlenmiştir [18].

Alman fizikçi Joseph von Fraunhofer 1800'lü yıllarda yaptığı çalışmalar sonucu güneş spektrumunun siyah hatlarca bölündüğünü bulmuş bu buluş emisyon ve radyasyon çalışmalarına büyük katkı sunmuştur [18].

1864 yılında James Clerk Maxwell Elektromanyetizmanın temel denklemlerini oluşturmuştur. Maxwell elektrik hızının(300000Km/sn) deneysel ışık hızına çok yakın olmasından hareketle ışığın elektromanyetik kanunlara göre elektromanyetik alanda dalgalar şeklinde ilerleyen elektromanyetik bir etki olduğunu söylemiştir [18].

Gustav Robert Kirchhoff ve Robert Bunsen 1859 yılında birden fazla prizma içeren spektrometre ile yaptıkları çalışmalar sonucu her kimyasal elementin görülebilen, kaydedilebilen ve ölçülebilen karakteristik bir ışık spektrumu yaydığını söylemiştir. Devam eden çalışmalar sonucu 1859 yılında Kirchhoff emisyon ve radyasyon ile ilgili genel teoriyi oluşturmuştur. Kirchhoff Kanunu olarak bilinen bu teoriye göre; bir maddenin ışık yayma kapasitesi aynı sıcaklıktaki ışığı emme kapasitesine eşittir. Takip eden yıl Kirchhoff, emisyon ve radyasyon teorisinin devamı olarak Siyahyüzey kavramını oluşturmuştur. Siyahyüzey ısıtıldığında tüm frekanslardaki radyasyonları emen, soğutulduğunda da aldığı tüm frekansları yayan yüzey olarak tanımlanır [18].

Avusturyalı fizikçi Josef Stefan bir yüzeyden yayılan enerji ile sıcaklık arasındaki ilişkiyi tanımlamıştır. Sıcak yüzeylerle yaptığı uzun çalışmalar sonucu 1879 yılında deneysel araştırmalarının sonucu olarak, bir siyah yüzeyden yayına toplam radyasyonun yüzeyin mutlak sıcaklığının dördüncü kuvvetiyle değiştiğini belirlemiştir (Stefan Kanunu). 1884 yılında Stefanın eski öğrencilerinden biri olan, Ludwig Boltzmann, termodinamik prensipler ve Maxwellin elektromanyetik teorisinden faydalanan Stefanın deneysel çalışmasına teorik bütünlük katmıştır. Bu tarihten sonra Stefan-Boltzmann dördüncü derece kanunu olarak bilinen bu kanun radyasyon termometrelerinin temelini oluşturur. Stefan geliştirdiği denklem aracılığıyla güneş yüzey sıcaklığını yaklaşık 11000 °F (6000 °C) olarak belirlemiştir [18].

Siyah yüzeyin yaydığı radyasyonun karakteristiğini belirlemek amacıyla Alman fizikçi Wilhelm Wien ve İngiliz fizikçi John Rayleigh çeşitli çalışmalar yapmıştır. Yaptığı çalışmalara bağlı olarak Wien, siyah yüzey radyasyonundaki dalga boyunun tepe değerinin enerji miktarıyla doğru, mutlak sıcaklıkla ters orantılı olarak değiştiğini göstermiştir [18].

Max Karl Ernst Ludwig Planck 1897 yılında başlayan çalışmaları sonucu siyahyüzey radyasyonunu bulmaya yarayan formülü oluşturmuştur. Planck a göre ışık ve ısı süreklilik arz etmezler. Enerji parçalar veya demetlerden oluşur. Parça veya demetlere “quanta” adını veren Planck, yayınan toplam enerjinin quantaların yaydığı E enerjilerinin toplamı olduğunu ve $E = h.V = h.c/ \lambda$ eşitliğiyle bulunabileceğini söylemiştir (h: Planck sabiti; V: 1/sn olarak radyasyon frekansı) [18].

1905 yılında Albert Einstein; ışığın, değeri Planck sabiti kullanılarak hesaplanacak partiküllerden oluştuğunu göstermiştir [18].

Radyasyon termometresi için ilk patent 1901 yılında alınmış, ticari anlamda ilk radyasyon termometresi 1931 yılında üretilmiştir. 2. dünya savaşıdan sonra modern anlamda radyasyon termometreleri üretilmiştir. Temassız sıcaklık algılayıcıları ilaç, kimya, gıda, plastik, kağıt sanayi gibi ulaşılması zor alan veya kirliliğe karşı duyarlı ortamlardaki sıcaklık ölçümlerinde yaygın olarak kullanılırlar [18].

Canlı veya cansız katı, sıvı veya gazlar elektromanyetik radyasyon halindeki termal enerjilerini kendilerini çevreleyen ortamla transfer ederler. Şayet bir nesne ile onu çevreleyen ortam arasında sıcaklık farkı var ise burada ısı şeklinde bir enerji transferi olur; daha soğuk olan nesne çevreleyen sıcaklık kadar ısınırken, daha sıcak olan nesne soğur. Söz konusu nesne ile ortam arasında sıcaklık farkı yok ise net radyasyon enerjisi transferi sıfır olur [18].

Her iki durum içinde radyasyon karakteristik spektrumu, söz konusu nesneye ve ortamın mutlak sıcaklığına bağlıdır. Radyasyon termometreleri veya genel olarak temassız sıcaklık algılayıcıları radyasyonun sıcaklığa bağlı bu değişimini esas alarak çalışırlar.

IV.4.3. Radyasyonun Temelleri

Planck’ın quantum teorisi radyasyon enerjisinin miktarının belirlenmesinde kullanılan temel teoridir. Quantum teorisine göre; radyasyon foton veya quanta şeklindeki enerji paketlerinden oluşur. Fotonların genliği radyasyonun dalga boyuna bağlı olarak değişir. Bir quantumun toplam enerjisi (E), Planck sabiti olan $h = 6,6256.10^{-34}$ ile radyasyon frekansı (V) ile çarpımıdır.

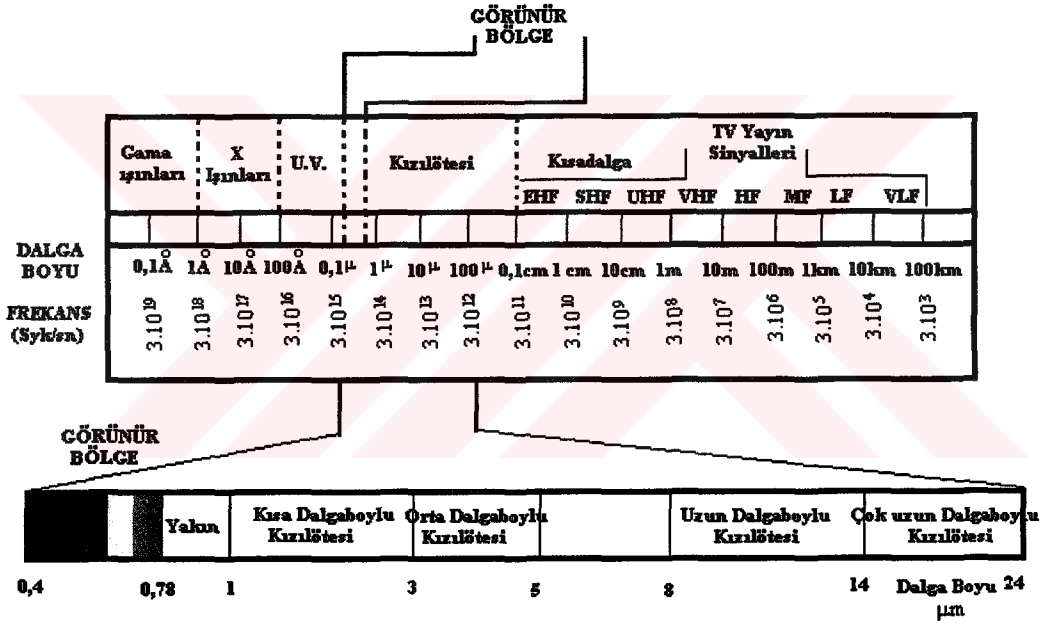
1905 yılında Albert Einstein quantaların ışık hızında ($2,9979.10^8$ m/sn) ilerleyen parçacıklar olduğunu söylemiş, fotonların ışık hızında ilerlemesinin

rölativite teorisine uymaları anlamına geleceğini belirtmiştir. $E^2 = c^2 \cdot p^2$ eşitliğiyle ifade edilen rölativite teorisinde her foton $p = E / c = h / \lambda$ momentumuna sahip olmalıdır. Frekans ışık hızının foton dalga boyuna bölünmesiyle bulunarak ($V = c / \lambda$), E eşitliği yeniden yazıldığında;

$$E = h \cdot V = h \cdot c / \lambda \quad (I.37)$$

olur [18].

Eşitlikten görüleceği üzere enerjinin miktarı dalga boyu veya frekansla değişir. Dalga boyunun küçük olması durumunda enerji büyük olur. Dalga boyu ışının yerinin belirleneceği bir adres olarak düşünülebilir. Elektromanyetik radyasyonun içindeki dalga boylarının tamamının bulunduğu harita Elektromanyetik spektrum olarak adlandırılır.



Şekil IV.62 Elektromanyetik spektrum

Kısadalga boyları, Gama ışınları, X ışınları ve UV radyasyonu yayınlanan en yüksek enerjiye sahiptir. Spektrum ara bölgesi(Isı bölgesi), 0,1μm'den 1000 μm ye kadar uzanır ve bir parça Ultraviole (UV) dalga, görünür ışık (VIS), Kızılötesi (IR) dalgaların tamamını kapsar. Bu bölüm termal radyasyon olarak ifade edilir ve ısı transferi ile radyasyon termometrelerinin incelenmesinde çok önemlidir [18].

Temassız sıcaklık algılayıcıları spektrumun kızılötesi kısmında çalışırlar. Kızılötesi aralık 0,78 μm (mikron) ile 1000μm aralığındaki dalga boylarını kapsar ve çıplak gözle görülemez. Kızılötesi ışın bir bölge olup temel olarak üç bölümde incelenir.Bunlar; yakın kızılötesi (0,78μm-30μm), orta kızılötesi (3μm-30μm) ve

uzun kızılötesi (30 μ m-300 μ m) bölüm şeklindedir. 0,7 μ m den 14 μ m ye kadar olan aralık kızılötesi sıcaklık ölçümünde kullanılır [18].

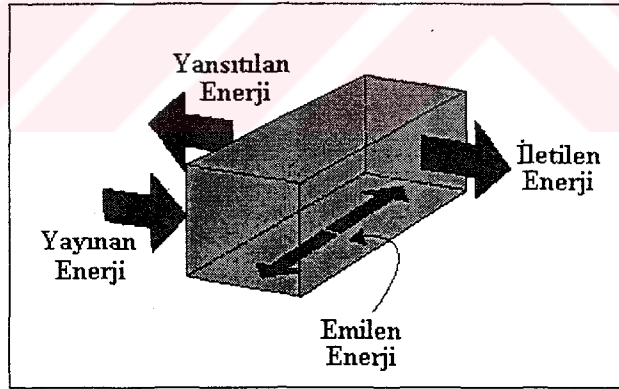
IV.4.3.1. Siyah Yüzey Kavramı

Çevreden nesneye gelen enerji, Şekil IV.63'te görüldüğü üzere; nesne tarafından emilir, yansıtılır veya opak değilse iletilir. Radyasyon termometrelerinin temeli siyah yüzey kavramına dayanır. 1860 yılında Kirchhoff siyah yüzeyi; gelen radyasyonun tamamını dalgaboyu ve yönünden bağımsız olarak emerek, yansıtma veya iletme uğratmayan yüzey olarak tanımlamıştır. Gerçek bir yüzey tarafından emilen radyasyon miktarı emilim(α), olarak tanımlanır. İdeal siyah yüzey için emilim 1 dir($\alpha_b = 1$). Siyahyüzey dışındaki yüzeylerde α , $0 \leq \alpha \leq 1$ 'dir. Radyasyon ısı transferine göre:

$$q''_{\text{emilen}} = \alpha \cdot q''_{\text{gelen}} \quad (\text{IV.38})$$

olmalıdır.

Gelen radyasyonun tamamını emen siyah yüzey aynı zamanda mükemmel bir radyasyon yüzeyidir. Kirchhoff, gerçek bir yüzeye ait emissiviteyi (ϵ); belirli sıcaklıkta bir yüzeyden yayılan termal radyasyonun, aynı sıcaklıkta siyah yüzeyden yayılan termal radyasyona oranı olarak tanımlar [18].



Şekil IV.63 Yayınan enerji dengesi

Bu oranın geçerli olması için spektral (Tayfsal) ve yönsel koşulların aynı olması koşulu vardır. 1879 yılında Stefan, bir nesne yüzeyinden yayılan radyasyonun yüzeyin mutlak sıcaklığının dördüncü kuvvetiyle orantılı olduğunu söylemiştir. Daha sonra Boltzmann, mutlak sıcaklıkta siyah yüzeyden yayılan radyasyonun;

$$q'' = \sigma \cdot T_s^4 \quad (\text{IV.39})$$

olduğunu göstermiştir. Burada $\sigma = 5,67.10^{-8} \text{ W / m}^2.\text{K}^4$ olup Stefan-Boltzmann sabitidir. Siyah yüzey olmayan yüzeyler için radyasyonun ısı transfer oranı birim alan için:

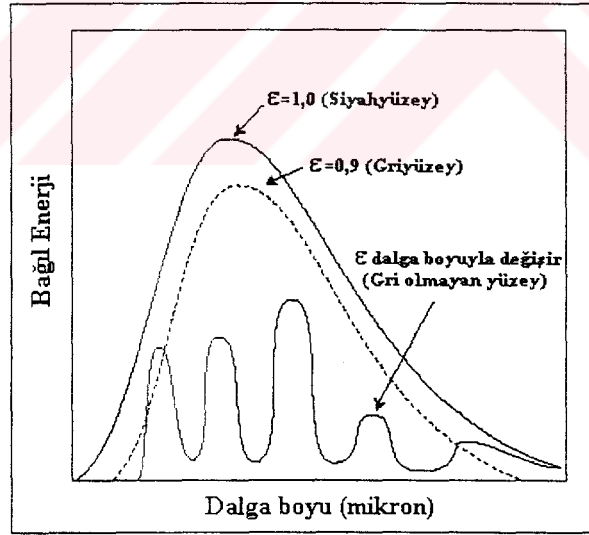
$$Q'' = \alpha.\sigma.(T_s^4 - T_{\text{sur}}^4) \quad (\text{IV.40})$$

olur. Burada T_s yüzey sıcaklığı, T_{sur} ise çevre sıcaklığıdır. Bazı yüzeylerin performansı siyah yüzey performansına yaklaşmakla beraber, tüm gerçek nesneler ve yüzeyler 1'den daha küçük bir emissiviteye sahiptirler. Siyah yüzey olmayan nesneler; emissivitesi dalga boyuyla değişmeyen griyüzey veya emissivitesi dalga boyuyla değişen griolmayanyüzeylerdir. Birçok organik nesne emissivitesi 0,90 ve 0,95 arasında değişen griyüzeyli nesnelerdir [18].

Siyah yüzey kavramı radyasyon gücünün sıcaklıkla değişmesini göstermesi bakımından önemlidir. Temassız sıcaklık ölçümüyle yapılan ölçümlerde emissivite dikkate alınmalı ve düzeltilmelidir. Örneğin emissivitesi 0,6 olan bir nesne siyah yüzey enerjisinin yalnızca % 60'ını yayar. Şayet bu tarz bir düzeltme yapılmaz ise gerçek sıcaklıktan daha düşük bir sıcaklık ölçülecektir. Emissivitesi 0,9'dan daha küçük olan nesneler için gerçek yüzeye ait ısı transfer oranı:

$$Q'' = \varepsilon.\sigma.T_s^4 \quad (\text{IV.41})$$

olur.



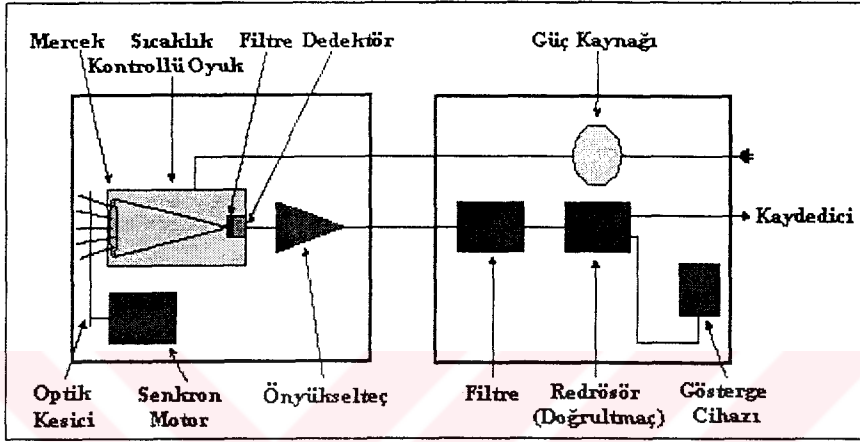
Şekil IV.64 Spektral dağılımlar

IV.4.4. Pirometreler

Pirometre yunanca “pyro” kökünden gelir ve Türkçe karşılığı “ateş”tir. Pirometreler akkor halindeki nesnelerin sıcaklığını ölçmede kullanılan cihazlardır.

Pirometre akkor halindeki nesnelerden yayınan görünür radyasyonu algılayan temassız optik cihaz olarak tanımlanır [18].

Herhangi bir nesneden yayınan termal radyasyonu algılayan ve ölçen, modern daha doğru ölçüm yapan herhangi bir temassız algılayıcı cihazda pirometre olarak tanımlanabilir. Termometre terimi ise yunanca “thermos” kökünden gelir ve sıcak anlamı taşır, sıcaklığı ölçmede kullanılan birçok cihazı tanımlamada kullanılan bir terimdir. Buna göre pirometre bir tür termometredir. Radyasyon termometresi ve pirometre terimleri aynı anlamda kullanılırlar [18].



Şekil IV.65 Temel kızılötesi termometre

Bir radyasyon termometresi temel olarak bir optik sistem ve dedektörden oluşur. Optik sistem nesneden yayınan enerjiyi, radyasyona duyarlı olan dedektör üzerine odaklar. Dedektörün çıkışı hedef nesnenin yaydığı enerji ve dedektörün belirli dalga boylarındaki radyasyonlara verdiği cevapla orantılıdır. Buna göre dedektörün çıkışı nesne sıcaklığının bir göstergesi olur. Nesnenin emittivitesi veya emittans dedektör çıkışının doğru bir sıcaklık sinyaline dönüştürülmesinde son derece önemlidir. Kızılötesi termometreler/Pirometreler dalga boyları $0,7\mu\text{m}$ ile $20\mu\text{m}$ arasında olan nesnelerden yayılan radyasyonun enerjisini ölçmede kullanılırlar. Termokupul veya RTD'nin aksine pirometrelerle ölçmede herhangi bir fiziksel temasa gerek yoktur. Bu nedenle pirometreler, hareketli nesnelerin veya ulaşılması zor yüzeylerin sıcaklığının ölçümünde tercih edilirler. Sağlam bir yapıya sahip olan pirometrelerin maliyetleri yüksek olup, optik elemanlarının periyodik temizlenmesi gerekir. Termokupul ve RTD benzeri standart kalibrasyon eğrilerine sahip değildirler [18].

IV.4.5. Emittans, Emissivite ve N Faktörü

Emittans; dedektör çıkışının, nesne sıcaklığını temsil eden sıcaklık sinyaline dönüşümünde önemli bir terimdir. Emittans ve Emissivite terimleri teknik olarak farklı terimlerdir. Emissivite, malzemenin özelliğine bağlı bir terim iken, örneğin dökme demir, Emittans belirli bir nesnenin özelliğine ait olan bir terimdir. Buna göre Emissivite, emittans'ı belirlemede bir bileşendir. Emittans'ı etkileyen diğer faktörler nesnenin biçimi ve oksidasyondur [18].

Bir malzemeye ait görünür emittans, belirlendiği sıcaklığa ve ölçmenin yapıldığı andaki dalga boyuna bağlı olarak değişir. Yüzey şeklinin parlak olması durumunda emittans yüksek, mat veya pürüzlü olması durumunda ise düşüktür.

Radyasyon termometrelerinin çıkışını gösteren temel eşitlik:

$$V(T) = \epsilon \cdot K \cdot T^N \quad (IV.42)$$

şeklindedir.

Burada:

ϵ : Emittivite,

$V(T)$: Sıcaklıkla değişen termometre çıkışı,

K : Sabit,

T : Nesne sıcaklığı,

N : N Faktörü ($= 14388 / (\lambda \cdot T)$),

λ : Eşdeğer dalga boyudur.

Hedef nesnedeki emittans değişiminin en az olması için N değeri en yüksek olan radyasyon pirometresi seçilmelidir. N değeri yüksek olan bir pirometre kullanılması durumunda; optik sistemin kirliliği, görüş alanındaki gazlarca enerjini emilmesi gibi çıkışı etkileyecek parametrelerin etkisi azalır. Tüm maddelere ait emissivite değerleri bilinir ve referans tablolarla yayınlanır. Bununla beraber laboratuvar altında belirlenen bu emissivite değerleri, gerçek çalışma koşullarında nesnelerin emittiviteleriyle nadir olarak aynılık gösterir. Bu nedenle yayınlanan emissivite verileri değerlerin yüksek olduğu durumlarda kullanılmalıdır. Genel olarak bir çok opak, metal olmayan malzemeler yüksek ve kararlı bir emissiviteye (0,85-0,90) sahiptirler. Okside olmayan birçok metal malzeme 0,2 ile 0,5 arasında emissivite değerine sahiptir. Altın, Gümüş ve Alüminyum için emissivite 0,02 ile

0,04 aralığında olup bu metallerin sıcaklıklarının radyasyon termometreleriyle ölçümü oldukça zordur [18].

Emissivite deneysel olarak laboratuvar ortamında çeşitli yöntemler kullanılarak belirlenebilir. Birçok cihaz emissivite değerinin tablo değerlerinden bakılarak girişine olanak tanıyacak şekilde üretilmektedir [18].

IV.4.6. Radyasyon Termometresi Tipleri

Şekil IV.65'te görüldüğü üzere bir radyasyon termometresi; hedeften yayılan enerjiyi toplayan bir optik sistem, bu enerjiyi elektriksel sinyale dönüştüren bir dedektör, hedefin spesifik emittans karakteristiğini termometre kalibrasyonuna ayarlayan emittivite ayarlayıcı ve çevre koşulları nedeniyle cihaz içindeki sıcaklık değişimlerinin doğruluğu etkilememesini sağlayan ortam sıcaklığı kompanzasyon devresinden oluşur [18].

Modern anlamdaki pirometrelerde bu prensibe göre çalışırlar. Bu termometrelerin geliştirilen yeni dedektör sistemleriyle ölçme performansları artırılmış, mikroişlemci tabanlı elektronik sistemler kullanılarak; anlık sıcaklık, minimum ve maksimum sıcaklık, ortalama sıcaklık ve sıcaklık farkı gibi değişkenlerin LCD göstergeler üzerinden izlenmesi sağlanmıştır. Radyasyon pirometreleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Geniş bant Radyasyon termometreleri / Pirometreleri
- Dar bant Radyasyon termometreleri / Pirometreleri
- Oransal Radyasyon termometreleri / Pirometreleri
- Optik Radyasyon termometreleri / Pirometreleri
- Fiber-Optik Radyasyon termometreleri / Pirometreleri

Ancak bu sınıflandırmada yer alan pirometrelerin kesin çizgilerle birbirinden ayrıldıkları söylenemez. Örneğin optik pirometreler dar bant pirometreler altında düşünülebilirken, fiberoptik pirometreler geniş bant, dar bant ve oransal pirometreler altında sınıflandırılabilir. Benzer şekilde Kızılötesi radyasyon pirometrelerinin de bu sınıflardan biri altında değerlendirilebilmesi mümkündür.

IV.4.6.1. Geniş Bant Radyasyon Termometreleri

Geniş bant radyasyon termometreleri; yapıları en basit, maliyetleri en az olan, 2,5 mikron ile 20 mikron arasındaki dalga boylarına cevap verebilen termometrelerdir. Bu termometrelerin geniş bant olarak nitelendirilmesinin nedeni, normal kullanımdaki sıcaklık aralıklarında nesnelerden yayınan termal radyasyonun büyük bir bölümünü ölçebilmesidir. Geniş bant termometreler, ölçülen yüzeyin toplam emittansına bağlı olarak çalışırlar. Termometrelerle ölçüm yapılırken hedef ile termometre arasında bir etki olmamalıdır. Su buharı, toz, duman, buhar ve atmosferdeki radyasyon emici gazlar yayınan radyasyona etki ederek termometrenin düşük değer okumasına neden olurlar. Termometrelerde optik sistem temiz tutulmalı ve görüş penceresi çevredeki aşındırıcı etkilere karşı korunmalıdır [18].

Standart aralıkları 32 °F – 1832 °F (0 °C – 100 °C) ile 932 °F – 1652 °F (500 °C – 900 °C) arasında değişirken, doğruluk dereceleri tam skalada %0,5 - % 1 arasında değişir [18].

IV.4.6.2. Dar Bant Radyasyon Termometreleri

Dar bant radyasyon termometreleri adından da anlaşılacağı üzere dar bir aralıktaki dalga boylarında çalışan pirometrelerdir. Tek renk termometre / Pirometre olarak ta adlandırılırlar. Bu pirometrelerin spektral / tayfsal cevapları 1 mikrondan daha azdır. Pirometrelerde kullanılan dedektörler kullanılan cihazın spektral cevaplarını belirlerler. Örneğin silikon hücre kullanılarak gerçekleştirilen bir cihazın cevabı 0,9 mikron ile 1,1 mikron arsında değişir, böyle bir cihaz 1102 °F (600 °C) üzerindeki sıcaklıkların ölçümünde kullanılabilir [18].

Radyasyon termometrelerindeki önemli gelişmelerden biride gelen radyasyonun seçimli filtrasyonudur, bu sayede cihaz, daha yüksek doğruluğa ulaşmak amacıyla belirli uygulamalarla eşleştirilebilir. Seçimli spektral (tayfsal) cevapların en yaygın olanları atmosferdeki girişimleri önleyen 8-14 mikron aralığıdır. 7,9 mikron ince film plastiklerin ölçümünde kullanılırken, 5 mikron cam yüzeylerin ölçümünde kullanılır [18].

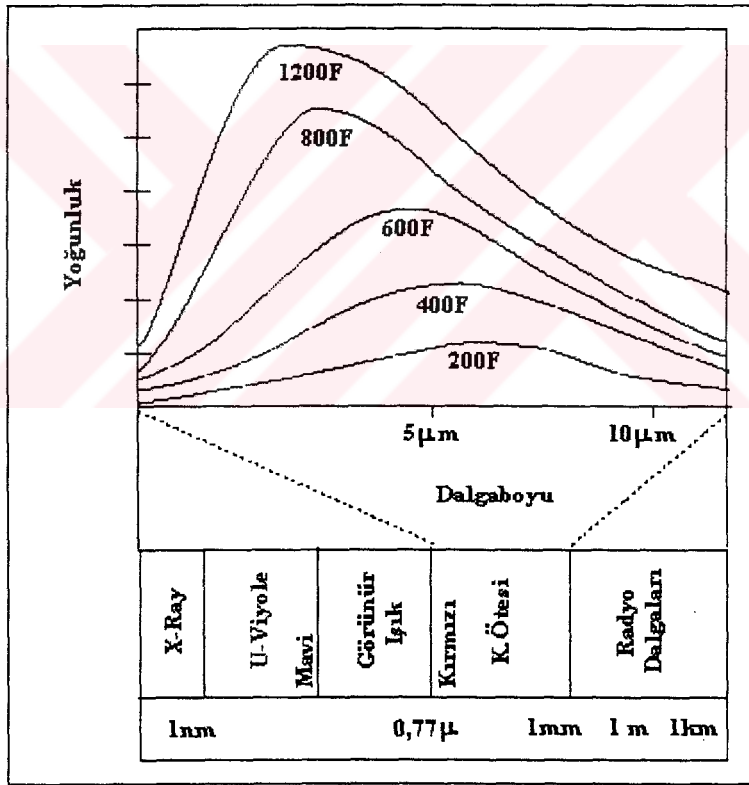
Daha kısa veya uzun dalga boyu cevabı sıcaklık aralığına bağlı olarak değişir. Şekil IV.66'te görüldüğü üzere sıcaklık yükseldikçe radyasyon yoğunluk eğrilerinin tepeleri daha kısa dalga boyuna doğru ilerler. Kısa dalga boylu dar bant termometreler 932 °F (500 °C)'den daha büyük sıcaklıkların ölçümünde

kullanılırken, uzun dalga boylu termometreler -50°F ($-45,5^{\circ}\text{C}$) gibi düşük sıcaklıkların ölçümünde kullanılırlar [18].

Standart sıcaklık aralıkları üreticilere bağlı olarak değişmekle beraber, bazı standart örnekleri: $-36^{\circ}\text{F} - 1112^{\circ}\text{F}$ ($-37,78^{\circ}\text{C} - 600^{\circ}\text{C}$), $32^{\circ}\text{F} - 1832^{\circ}\text{F}$ ($0^{\circ}\text{C} - 1000^{\circ}\text{C}$), $1112^{\circ}\text{F} - 5432^{\circ}\text{F}$ ($600^{\circ}\text{C} - 3000^{\circ}\text{C}$) ve $932^{\circ}\text{F} - 3632^{\circ}\text{F}$ ($500^{\circ}\text{C} - 2000^{\circ}\text{C}$) şeklindedir. Tipik doğruluk dereceleri tam skalada % 0,25 - % 2 arasında değişir [18].

IV.4.6.3. Oransal Radyasyon Termometreleri

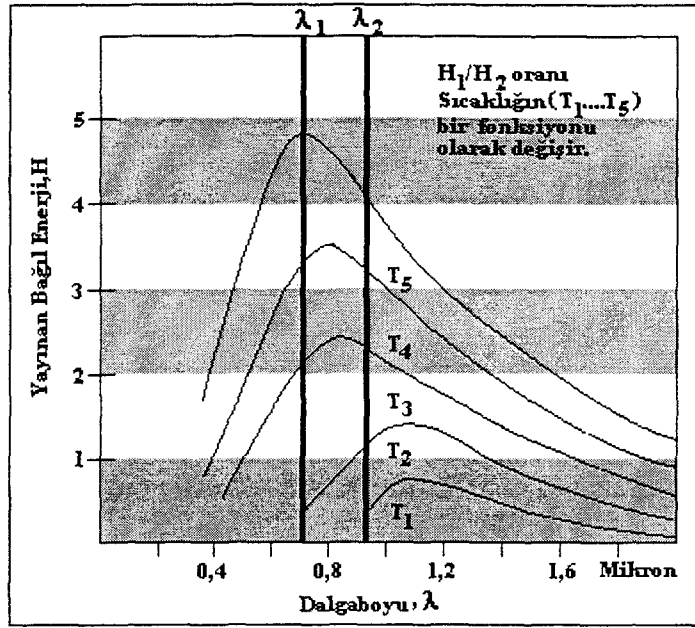
İki renk radyasyon termometresi olarak ta adlandırılan bu termometreler, bir nesneden yayınan radyasyon enerjisini iki ayrı dar dalga boyunda ölçerek, nesnenin sıcaklığının bir fonksiyonu olan iki enerjinin ortalamasını alırlar. İki renkli pirometre olarak adlandırılmalarının nedeni görünür spektrumda farklı iki renge karşılık gelen (Örneğin; kırmızı ve yeşil) iki dalga boyuna sahip olmalarıdır [18].



Şekil IV.66 Kızılötesi bölgedeki siyah yüzey yayını

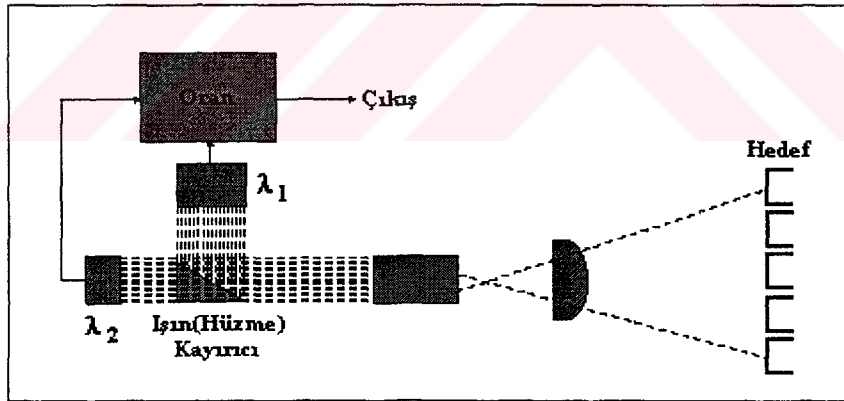
Sıcaklık ölçümü Şekil IV.67’de görüldüğü üzere sadece ölçülen iki enerjiye bağlı olup, mutlak değerlerine bağlı değildir. Oransal tekniğin kullanılmasına bağlı

olarak emissivite değişimi ve enerji emici maddeler gibi hedefle cihaz arasındaki hata kaynakları elenir veya azaltılır [18].



Şekil IV.67 İki renkli kızılötesi termometre

Her malzemenin emissivitesi farklı dalga boyları için eşit olarak değişmez. Farklı dalga boylarında emissivitesi eşit olarak değişmeyen malzemelere Griyüzeyler denir. Bu kuralın geçerli olmadığı malzemelere ise Griolmayanyüzeyler denir [18].

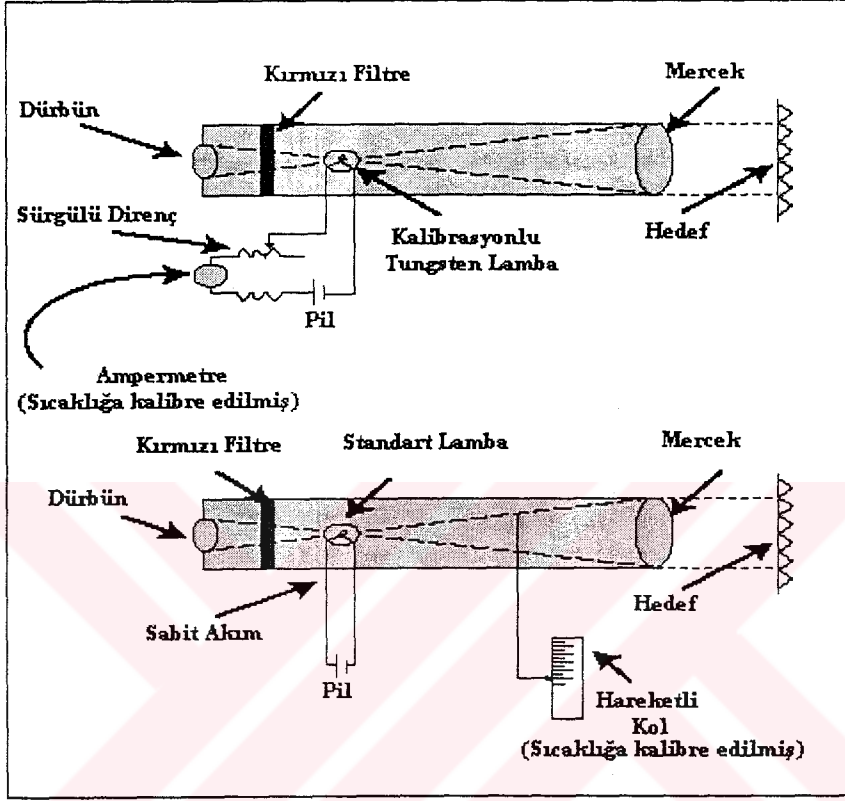


Şekil IV.68 Oransal kızılötesi termometre yapısı

Griolmayan yüzey gibi dinamik olmayan olaylar ,dalga boylarının birlikte polarizasyonu ile ayarlanabilir. Bu ayarlamaya “eğim” adı verilir.Uygun eğim değerleri deneysel olarak belirlenir. Şekil IV.68’te basit bir oransal pirometrenin şeması görülmektedir [18].

IV.4.6.4. Optik Radyasyon Termometreleri

Optik pirometreler nesneden yayınan termal spektrumun dar bant dalga boylarındaki radyasyonunu ölçerler ve görünür kızıl spektrumdaki optik parlaklık prensibine göre çalışırlar. Elle kontrol edilebilen bazı optik düzenekler Şekil IV.69'da görülmektedir [18].



Şekil IV.69 Görsel karşılaştırmalı optik pirometre

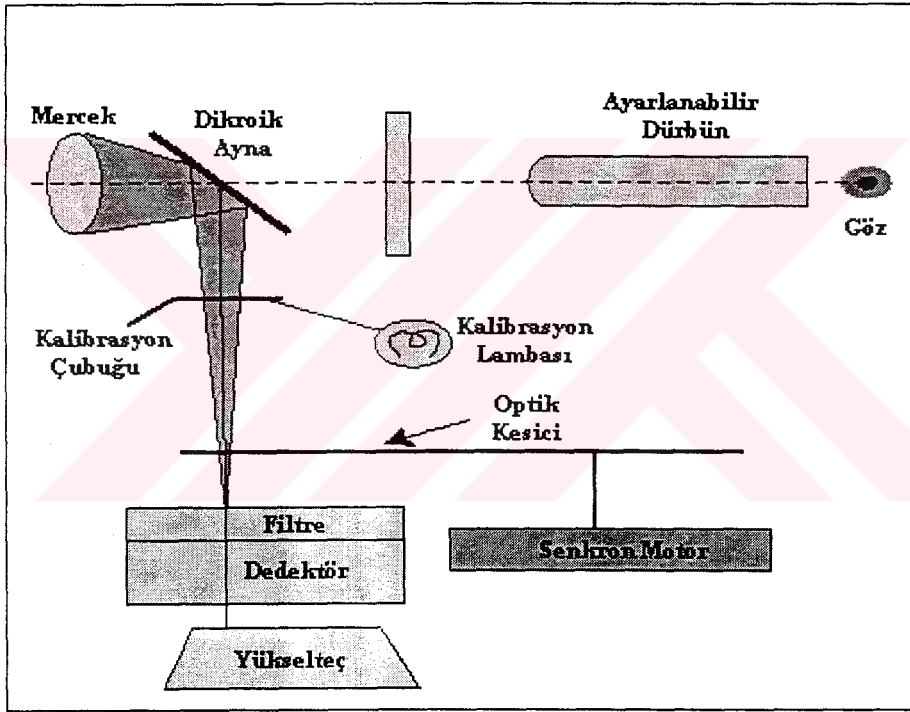
İlk sistem pirometrenin nesne üzerine odaklanmasından sonra, dahili lamba filamanının izlenmesine dayanır. Lamba filamanına uygulanan enerji değiştirilerek filamanın nesne rengini alması sağlanır, bu noktadan sonra nesne sıcaklığı filamana uygulanan güce göre belirlenecektir [18].

İkinci sistemde filamana sabit bir akım uygulanır ve nesne parlaklığı dönebilen, enerji emici bir kam (mil) aracılığıyla değiştirilir. Nesne sıcaklığı, kam tarafından emilen enerji miktarına bağlı olup, enerji miktarı kamın açısal pozisyonunun bir fonksiyonudur [18].

Kızılötesi bölgede çalışan otomatik optik pirometrelerde mevcuttur. Bu cihazlar insan gözü yerine elektrikli radyasyon dedektörleri kullanırlar. Çalışma prensipleri nesne tarafından yayınan radyasyonun dahili, kontrollü bir referans kaynaktan yayınan radyasyonla karşılaştırılmasına dayanır. Cihaz çıkışı, nesne ile

referans kaynak radyasyonlarının farkıyla orantılıdır. Şekil IV.70'te dikroik ayna kullanılarak gerçekleştirilen bir otomatik optik pirometre görülmektedir.

Yayınan radyasyon, kızılötesi radyasyonu dedektöre yansıtan, görünür ışığı da göz yerine (dürbüne) geçiren mercekten de geçerek gelir. Düzenekteki kalibrasyon çubuğu yükseltici tarafından aktif hale getirildiğinde lens den gelen radyasyonu keserek, kalibrasyon lambasından gelen radyasyonu dedektöre odaklar. Optik kesici bir motor tarafından sürülür ve lens den gelen radyasyonla kalibrasyon lambasından gelen radyasyonu dönüşümlü olarak dedektöre aktarır. Bahsedilen düzenekler tabanca şeklindeki bir kapalı yapı içerisinde, geniş veya dar görüş alanına sahip olarak bulunurlar. Tetikleme sonrasında sistem çalışır ve göstergeden değer okunur. Optik pirometrelerin tam skaladaki doğrulukları % 1 ile % 2 arasında değişir [18].



Şekil IV.70 Otomatik optik pirometre

IV.4.6.5. Fiberoptik Radyasyon Termometreleri

Kendi başına bir tip olarak tam anlamıyla ele alınamayacak olan bu pirometrelerde radyasyonu cihaza götüren ışık kılavuzu olan fiberoptik sistem bulunur. Spektral cevapları 2 mikron kadardır ve 210 °F (100 °C) kadar olan düşük sıcaklıkların ölçümünde kullanılırlar [18].

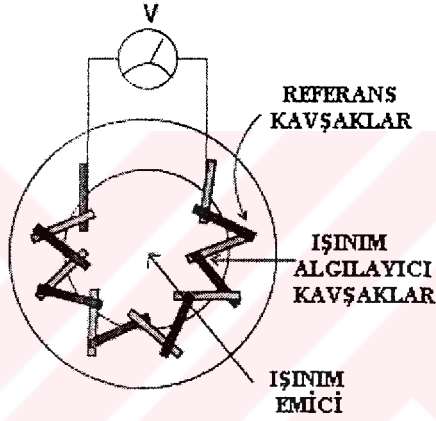
IV.4.7. Radyasyon termometresi Dedektör Tipleri

Genel olarak kullanılan iki tip radyasyon dedektörü vardır :

- Termal dedektörler
- Kuantum dedektörler.

IV.4.7.1. Termal Dedektörler (Termopil)

Bu düzenek malzemeden gelen ışıının seri olarak bağlanmış termokupul kavşaklarında gerilim oluşturması esasına göre çalışır. Gelen ışıının bir grup algılayıcı kavşağı ısıtırken bir grup referans kavşağı ısıtmaz. Seri bağlanan termokupul kavşaklarının sayısının artmasına bağlı olarak üretilen gerilim artar ve daha düşük sıcaklık algılamalarına olanak tanınmış olur. Emilimin yükseltilmesi amacıyla emilim bölgesi siyah boya veya benzeri bir madde ile kaplanır [24].

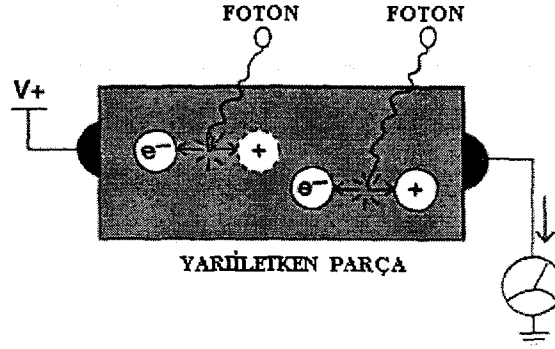


Şekil IV.71 Termopil

Cihaz tarafından emilen ışıının sıcaklık bilgisine dönüştürülürken farklı dalga boylarındaki ışıının ayırt edilmesi zordur. Bu nedenle farklı dalga boylarındaki ışıının ayıklanması için optik filtreler kullanılır [24].

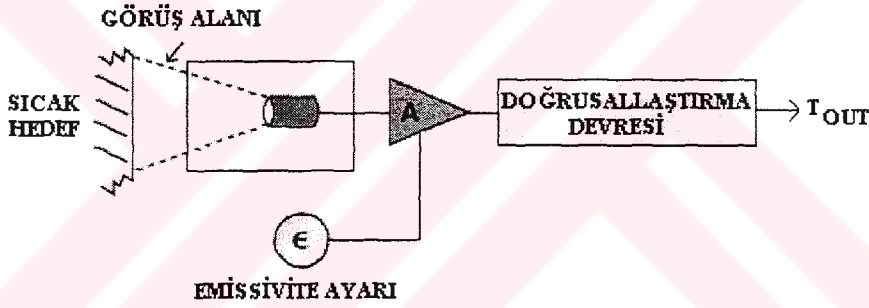
IV.4.7.2. Kuantum Dedektörler

Termal dedektörlerden farklı olarak bu dedektörler, uzun dalga boyundaki ışıınlara ($10\mu\text{m}$) karşı daha hassas olup düşük sıcaklık ölçümlerine olanak tanır ($<0^\circ\text{C}$). Foton algılayarak çalıştıklarından yüksek cevap verme sürelerine (μs) sahiptirler [24].



Şekil IV.72 Kuantum algılayıcı

Tipik bir kuantum dedektör düşük bant genişliğine sahip yarıiletken kullanılarak gerçekleştirilir. Malzemedен yayılan fotonların yarıiletken yapı tarafından emilimi sonucu oluşan elektron-oyuk çifti elektrik akımını sağlar. Belli bir alan için ölçme yapılacak ise algılayıcı etrafı bir kılıf kullanarak görüş alanına odaklandırılır. Dönüştürücüden alınan ham sinyal belli bir değere yükseltildikten sonra lineerleştirilerek bir sıcaklık çıkışı alınır. Şekil IV.73'te şekilde bir dedektörün sıcaklık ölçümünde kullanılması gösterilmiştir [24].



Şekil IV.73 Işınım prensipli algılayıcı çalışma şeması

IV.5. ENTEGRE DEVRE SICAKLIK ALGILAYICILARI

IV.5.1. Giriş

Hassas sıcaklık ölçümü ve kontrolünde yaygın olarak kullanılan, diğer algılayıcılara göre daha hassas ve lineer olan algılayıcılardır [33].

Entegre devre algılayıcılar yarıiletken yapıda küçük elektronik parçalardır. Genellikle 0 °C ile +100 °C arasında kullanılan bu algılayıcıların -25 °C ile +125 °C arasında kullanılabilen tipleri de vardır. Endüstride çevre sıcaklığı ölçüm ve kontrolünde ve düşük sıcaklık endüstriyel otomasyon alanlarında yaygın olarak kullanılırlar. Entegre devre algılayıcılar, analog ve sayısal çıkışlı olmak üzere iki tip

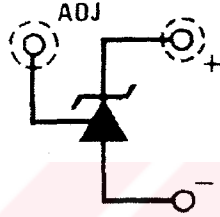
yapılırlar. Analog çıkışlı tipler kendi aralarında lineer gerilim ve lineer akım çıkışlı olmak üzere iki tiptirler [33].

IV.5.2. Analog Çıkış Veren Sıcaklık Algılayıcıları

IV.5.2.1. Gerilim Çıkışlı Algılayıcılar

Sıcaklıkla doğru orantılı olarak gerilim üreten algılayıcılardır. Bu gerilim değeri 5-10mV arasında değişir [33].

National Instruments LM335 model entegre : -40 °C ile +100 °C arası sıcaklık algılamasında kullanılır. İletim gerilimi 10 mV/K olan bir zener içeren entegre yapısındadır. Minimum doğruluğu -1 °C,-2 °C; maksimum doğruluğu +1 °C ,+2 °C değerleri arasında değişir [34].



Şekil IV.74 LM 335 iç yapısı

Entegreye bağlanan pot aracılığıyla noktasal kalibrasyon yapmak imkanı vardır. Pot kolu ayar ucuna irtibatlı durumdadır. Çıkış gerilimindeki hata miktarı ile sıcaklık arasında eğrisel bir değişim olduğundan, belli bir noktada yapılan kalibrasyon diğer tüm sıcaklık ölçümleri için geçerli olacaktır. Kalibrasyon yapılsın veya yapılmazın entegre çıkış gerilimi

$$V_{out_T} = V_{out_{T_0}} * \frac{T}{T_0} \quad (IV.43)$$

olur [34].

Burada;

T : Bilinmeyen sıcaklık değeri (K),

T₀ : Referans sıcaklık değeri (K) olur.

Genelde çıkış 10 mV/K olacak şekilde kalibrasyon yapılır. Buna göre, 0 °C için (273 K);

$$X \text{ mV} \cdot 1 \text{ K} = 10 \text{ mV} \cdot 273 \text{ K}$$

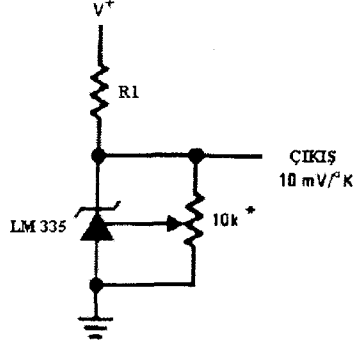
$$X = 2,73 \text{ V}$$

olan entegre çıkış gerilimi, 100 °C için (100 + 273 = 373 K):

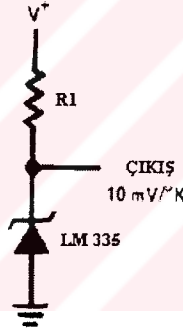
$$X \text{ mV} \cdot 373 \text{ K} = 10 \text{ mV} \cdot 373 \text{ K}$$

$$X = 3,73 \text{ V}$$

olur.



Şekil IV.75 Temel ölçme düzeneği

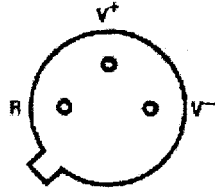


Şekil IV.76 25°C de 2,982V gerilim çıkışı verecek şekilde kalibre edilmiş ölçme düzeneği

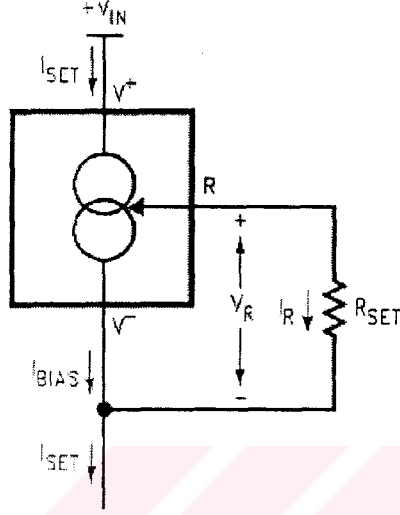
IV.5.2.2. Akım Çıkışlı Algılayıcılar

Sıcaklıkla doğru orantılı olarak akım üreten algılayıcılardır. Akım değerleri genelde 1-5 A/°C arasında değişir [33].

National Instruments LM134 model entegre : -55 °C ile +125 °C arası sıcaklık algılamasında kullanılan 3 uçlu bir entegre devredir. Doğruluğu % ± 3 değerindedir ve giriş gerilimi 1V - 40V arasında değişir. Akım harici bir direnç kullanılarak sağlanır. Algılamayı sağlayacak gerilim değeri 25 °C sıcaklıkta 64 mV olup, sıcaklık kelvin skalasıyla orantılıdır. Genelde uzak mesafe sıcaklık algılamalarında kullanılır [35].



Şekil IV.77 LM 134 Ayak bağlantıları



Şekil IV.78 Akım kaynağı temel devresi

LM 134'deki toplam akım; $I_{SET} = I_R + I_{BIAS} = V_R/R_{SET} + I_{BIAS}$ olup; Burada R_{SET} değeri V_R ye bağlı olarak değişir. V_R geriliminin yaklaşık değeri $214 \mu V/K$ 'dır. I_{SET} 'nin bilinen değeri için I_{BIAS} , I_{SET} in belli bir değerini oluşturacağından, $n = I_{SET}/I_{BIAS}$ oranı kullanılabilir ve bu değer üretici firma kataloglarında belirtilir. I_{SET} değeri, $2 \mu A \leq I_{SET} \leq 1mA$ aralığında $n = 18$ olacaktır [35]. Bu durumda;

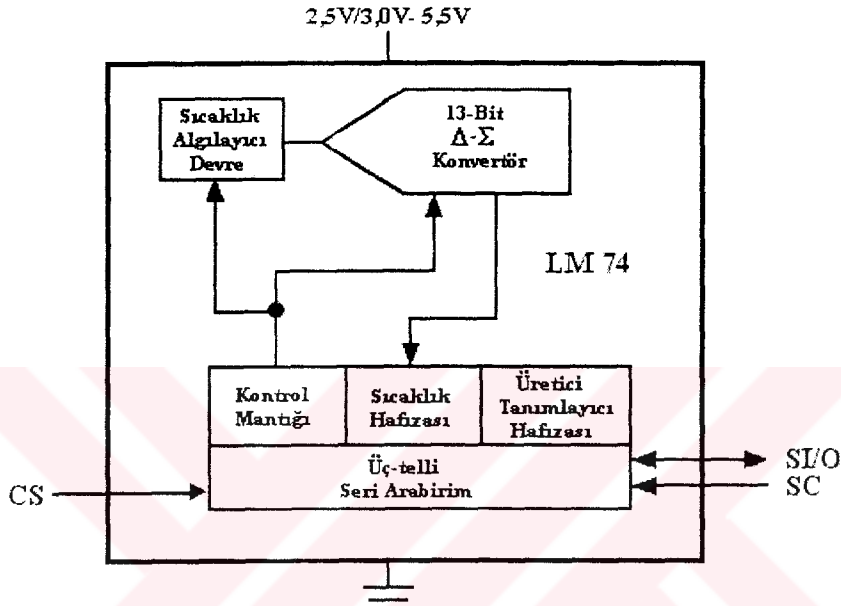
$$I_{SET} = \left(\frac{V_R}{R_{SET}} \right) * 1,059 = \frac{227 \mu V / K}{R_{SET}}$$

olur.

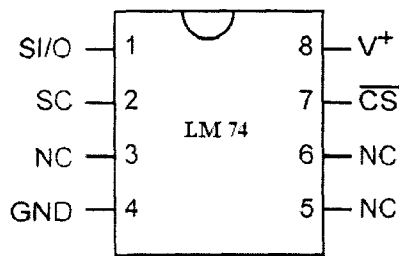
IV.5.3. Sayısal Çıkış Veren Sıcaklık Algılayıcıları

Genelde bilgisayar destekli çevre sıcaklık ölçüm ve kontrolünde kullanılan algılayıcılardır. Sayısal çıkışlı algılayıcıların bazıları aynı yonga üzerinde çeşitli kontrol elemanlarına da (Termostat) sahip olabilir. Genelde seri çıkış veren bu algılayıcıların 8 ve 12 bit arasında çıkış veren modelleri vardır [36].

National Instruments LM 74 model enregre: -55°C ile $+150^{\circ}\text{C}$ arası sıcaklık algılamasında kullanılır. $\pm 1,25^{\circ}\text{C}$ doğruluğa, 13 Bit, 1 bit işaret biti olmak üzere, birim LSB de $0,0625^{\circ}\text{C}$ rezolüsyona sahiptirler. SPI ve MICROWIRE uyumlu $\Delta-\Sigma$ analog-sayısal konvertöre sahip olan bu algılayıcıların, $+3\text{V} - 5,5\text{V}$ arasında besleme gerilim değerleri vardır. Disk sürücü devreleri, yazıcı ve elektronik test cihazlarında kullanılırlar [37].



Şekil IV.79 LM 74 blok diyagramı



Şekil IV.80 LM 74 ayak bağlantıları

Burada;

SI/O : Yardımcı giriş-çıkış ucu : Seri yollu, çift yönlü veri hattıdır.

SC : Yardımcı clock giriş ucu : Seri yolludur.

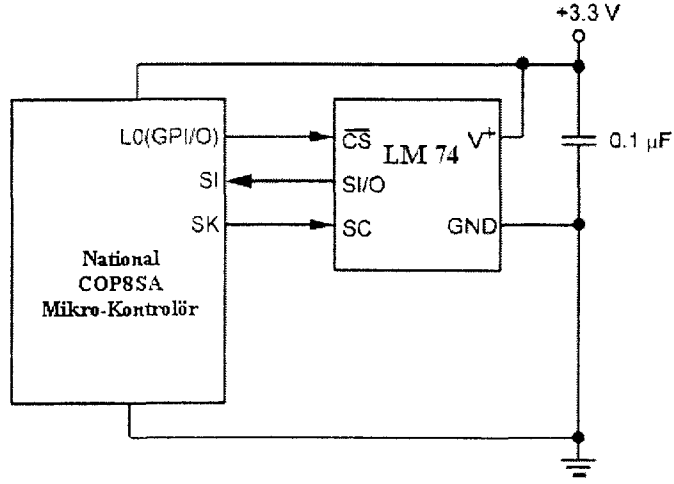
NC : Bağlantı yapılmaz.

GND : Güç kaynağı toprak ucu

CS : Chip select ucu

V⁺ : Pozitif gerilim besleme ucu

Uygulama devresi:



Şekil IV.81 LM 74 uygulaması

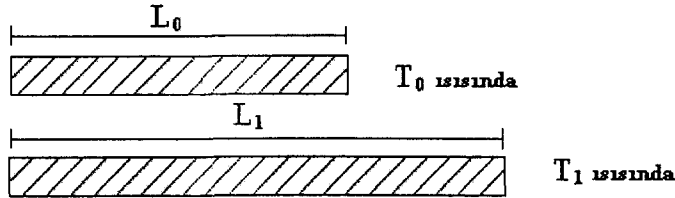
IV.6. ISIL GENLEŞME PRENSİBİNE GÖRE ÇALIŞAN SICAKLIK ALGILAYICILARI

IV.6.1. Genleşme termometreleri

T_0 sıcaklığında uzunluğu L_0 olan bir metal çubuk daha yüksek olan T_1 sıcaklık derecesine ulaşacak şekilde ısıtılacak olursa çubuk aşağıdaki denklemden bulunacak yeni bir L_1 uzunluğuna erişecektir.

$$L_1 = L_0 * (1 + \gamma (T_1 - T_0)) \quad (IV.44)$$

Burada γ doğrusal termik genleşme katsayısı olarak tanımlanır.



Şekil IV.82 Katı çubuğun sıcaklıkla genleşmesi

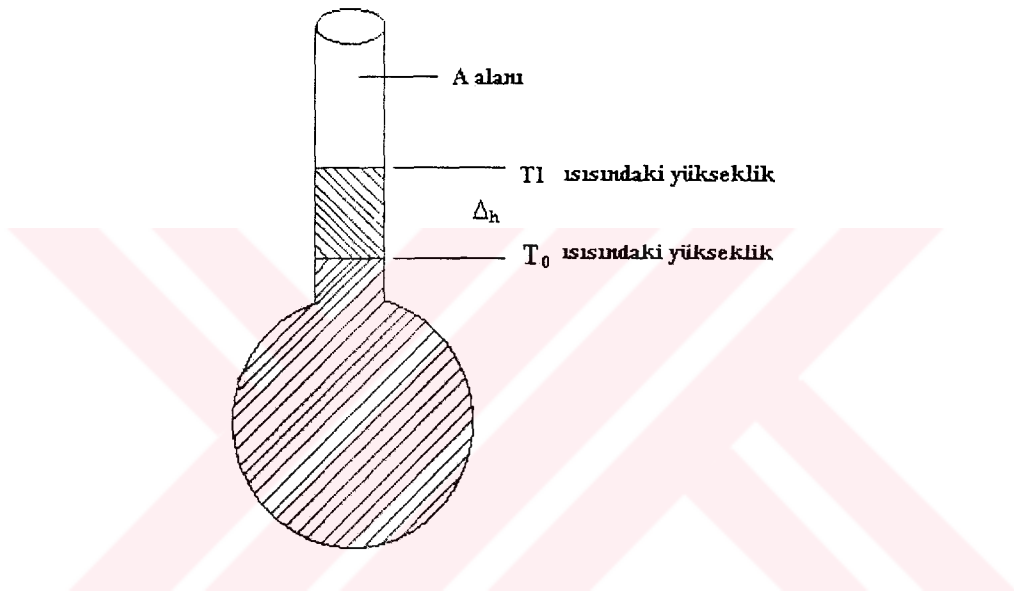
Şekil IV.83'de T_0 sıcaklık derecesinde bir hacim birimlik sıvı görülmektedir. Şayet bu sıvı T_1 sıcaklık derecesinde ısıtılacak olursa, hacmi artar ve bu artış aşağıdaki denklemlerle bulunur.

$$V_1 = V_0 * (1 + \alpha (T_1 - T_0)) \quad (IV.45)$$

Burada α hacimsel termik genleşme katsayısı olarak tanımlanır. Kılcal hacimdeki ΔV artışı tüp içerisindeki sıvı sütunun uzunluğuna Δh olarak yansır. Şayet A kılcal tüpün enine kesit alanı olarak alınacak olursa, Δh değeri IV.46 daki denklemle bulunur:

$$\Delta h = \Delta V / A \quad (IV.46)$$

Şayet A değeri küçük olarak alınırsa, sıcaklıkta meydana gelecek küçük değişiklikler için sütun boyunda önemli değişiklikler elde edilebilir. Bu prensip cıva ve alkol içeren termometrelerin esasını teşkil eder. Pratikte ise sıvının içerisinde bulunduğu kabın genleşmesine ilişkin olarak ta küçük bir düzeltme yapılması gerekir [28].

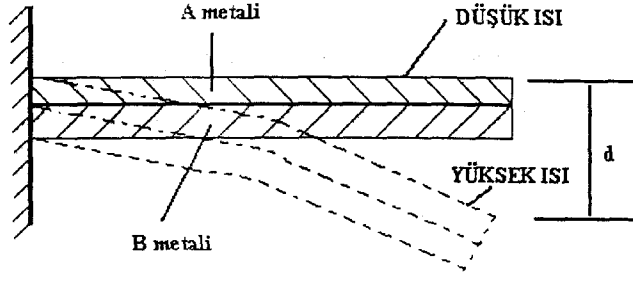


Şekil IV.83 Sıvının sıcaklıkla genleşmesi

IV.6.2. Bimetal termometreler

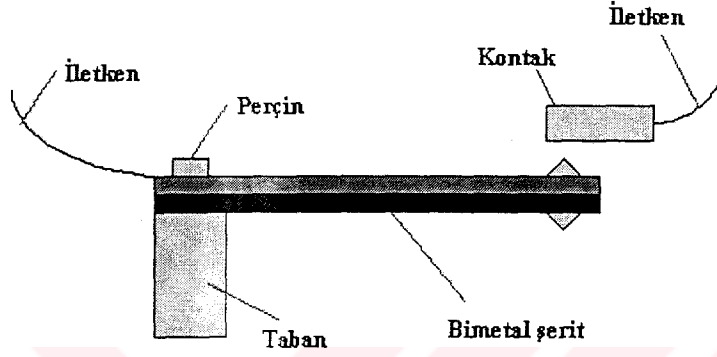
Genleşme katsayıları farklı iki metalin birbirine yapıştırılmasıyla elde edilirler. Şekil IV.84'de sıcaklığın yükselmesine bağlı olarak genleşme katsayısı büyük olan A metalinin, genleşme katsayısı küçük olan B metali üzerine bükülmesi ve buna bağlı olarak oluşan d sapması görülmektedir. Oluşan küçük d değişikliği spiral sargılı çift metalli bir yay vasıtasıyla artırılabilir ve daha doğrusal bir şekile sokulabilir [28].

Çift metalli termometreler ucuz olmakla beraber, hassasiyet dereceleri düşüktür. Bu tip termometreler uzaktan değer okunmasına izin vermediklerinden, endüstride yaygın olarak kullanılmamaktadırlar. İbrenin yerini alan anahtar kontaklarla oluşturulan termostatların temeli açıklanan prensibe dayanır [28].



Şekil IV.84 Bimetal termometre

Bimetal termometre uygulaması :



Şekil IV.85 Bimetal uygulama devresi

Çiftmetalli (Bimetal) termometreler yüksek sıcaklıklara son derece dayanıklıdır. Bu özelliklerinden dolayı fırın ve soğutucu devrelerinde elektriksel kontrol amacıyla yaygın olarak kullanılırlar. Şayet bimetal algılayıcı fırın devresinde kullanılacak ise üst metalin (yeşil) genleşme katsayısı yüksek, soğutma devresinde kullanılacak ise alt metalin (mavi) genleşme katsayısı yüksek olarak seçilmelidir. Bilindiği üzere bimetal algılayıcılarda genleşme katsayısı yüksek olan metal küçük olan metal üzerine bükülecektir. Buna göre soğutucu devrelerinde kullanılan algılayıcıda bimetal üst tarafa doğru bükülecek ve kontak kapanarak devreden akım akışı sağlanmış olacaktır. Hassas sıcaklık algılamalarının istenmesi durumunda bimetalin spiral şekilde sarılması gerekir [38].

Bu termometrelerin yanı sıra gaz ve buhar basınçlı termometreler bulunmakta olup, herhangi bir elektrik enerjisi kullanmayan bu termometreler tehlikeli alanlardaki sıcaklık ölçme uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar.

IV.7. SICAKLIK ALGILAYICILARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Sıcaklık algılayıcısı seçiminde aşağıdaki kriterler göz önüne alınarak seçim yapılmalıdır.

1. Sıcaklık aralığının sınırları,
2. Çevresel etkiler,
3. Algılayıcı cevap verme süresi,
4. Lineerlik,
5. Cihaz ömrü,
6. Duyarlılık,
7. Sıcaklığı ölçülecek cisimle temas olup olmaması,
8. Maliyet.

Tablo IV.4 Sıcaklık algılayıcılarının karşılaştırılması

SICAKLIK ALGILAYICILARI				
Termokupul	RTD	Termistör	Işınım Algılayıcıları	Entegre Algılayıcılar
-190°C ile 1821°C arası ölçme aralığına sahiptirler.	-200°C ile 850°C arası ölçme aralığına sahiptir.	-50°C ile 150°C arası ölçme aralığına sahiptir.	>1000°C ışıma sahip cisimlerin algılanmasında kullanılır.	-25°C ile 150°C arası ölçme aralığına sahiptirler.
Cevap verme süreleri RTD lere göre yüksektir.	Cevap verme süresi termokupullara göre düşüktür.	Termokupul ve RTD ye göre cevap verme süreleri yüksektir.	Kuantum tip algılayıcının cevap verme süresi yüksektir.	Cevap verme süreleri yüksektir.
Lineerliği RTD ye göre düşüktür.	Lineerliği termokupula göre oldukça yüksektir.	RTD ve Termokupula göre lineerliği oldukça düşüktür.	Lineerliği düşüktür.	Diğer algılayıcılara kıyasla lineerliği en yüksek olandır.
RTD ye göre kullanım süresi daha azdır.	Termokupullara göre daha uzun ömürlüdür.	Direnç değerleri yüksek olduğundan uzun mesafe sıcaklık algılamasında kullanılabilirler.	Hareketli cisimlerin algılamasında kullanılırlar.	Kullanım süreleri uzundur.
Duyarlılıkları düşüktür.	Duyarlılıkları yüksektir.	Duyarlılıkları %3/°C ile %6/°C arasında olup yüksektir.	Uzun dalga boyuna sahip ışınlarda (10µm) Kuantum tip algılayıcının duyarlılığı oldukça yüksektir.	Duyarlılıkları 0,0625°C/birim-LSB olup diğer algılayıcılara göre oldukça yüksektir.

BÖLÜM V KALİBRASYON

V.1. GİRİŞ

Bilindiği gibi ölçme bilimi (metroloji) ve onun temel uygulama alanlarından biri olan kalibrasyon, günümüzde kaliteli mal ve hizmet üretimi için vazgeçilmez unsurlardan birini teşkil eder. Metroloji metotlarını hayata geçirmek kalibrasyonun konusudur. Kalibrasyon la ilgili farklı tanımlar mevcuttur, bunlardan bazıları aşağıdaki verilmiştir.

Kalibrasyon, belli şartlar altında bir ölçü aletinin veya ölçme sisteminin gösterdiği değerler veya bir ölçü aleti ile elde edilen değerler ile ölçülen bunlara tekabül eden ve bilinen değerleri arasında bir takım bağlantı kurma işlemidir [41].

Belirlenmiş koşullar altında ölçme sisteminin veya ölçme sisteminin gösterdiği değerler veya maddi ölçüt ile gösterilen değerlerle ölçülen büyüklüğün, bunlara karşılık geldiği bilinen değerleri arasındaki ilişkiyi belirleyen işlemler dizisine kalibrasyon denir.

Belirlenmiş koşullar altında, ölçme cihazı ve ölçme sisteminin gösterdiği değerler (veya maddi ölçüt ile gösterilen değerler) ile ölçülen büyüklüğün bunlara karşılık gelen bilinen gerçek (veya doğru) değerleri arasında ilişkiyi belirleyen işlemler dizisidir [40].

Belirli koşullar altında, bir ölçme cihazı veya bir ölçme sisteminin gösterdiği değerler veya, bir maddi ölçüt veya bir referans malzemenin verdiği değerler ile ölçüm standartları ile gerçekleştirilen bunlara karşılık gelen değerler arasındaki ilişkiyi kuran işlemler dizisidir [42].

Kalibrasyon; doğruluğu bilinen bir standart/ölçüm sistemi kullanarak diğer bir standart, test/ölçü aleti veya sistemin doğruluğunun ölçülmesi, sapmaların belirlenmesi mümkün ise ayarlanması veya raporlanmasıdır.

Kalibrasyon tanımı termometreler için açılacak olursa, kalibrasyon laboratuvarlarında üç temel özellik aranır;

- Termometre değerini ITS-90 sıcaklık tanımına ilişkilendirecek olanaklara sahip olmalıdır.
- ITS-90 ilişkilendirilmesindeki belirsizlik bilinmelidir. Özellikle, termometreyle yapılacak ölçümlerdeki beklenen sıcaklık belirsizliği.
- ITS-90 ilişkisi ve belirsizlik, kalibrasyon tarihi sonrasındaki belirli bir tarih içindede geçerliliğini korumalıdır [13].

ITS-90 ilişkisi: Termometrede okunan değerlerin gerçek sıcaklık değerine ilişkilendirilmesi için kullanılan yöntemlerdir. Doğrudan değer okunan termometrelerde bu ilişki bazı düzeltmeler aracılığıyla yapılırken, dirençli termometrelerde direnç değerini sıcaklıkla ilişkilendirecek bir eşitlik kullanılarak yapılır [13].

Belirsizlik: Kalibrasyonun ana amacı, termometre doğruluğunun belirlenmesidir. Gerçek sıcaklık değerinin bulunduğu değerler aralığının tahmini tanımlanması olan belirsizlik olmadan ITS-90 ilişkilendirilmesi kurulamaz. Birçok ölçme işleminde birden fazla belirsizlik kaynağı vardır. Belirsizlik; termometre değerinin okunmasında, kötü daldırılma durumlarında, banyonun homojen olmamasında ve diğer bilinen deneysel hatalardan dolayı olabilir. Diğer deneysel belirsizliklerden farklı olarak, termometre değerinin okunmasından kaynaklanan belirsizlikler her ölçmeyi etkiler. Okuma kaynaklı belirsizlikler daha doğru bir termometre kullanılarak veya ITS-90 ile karşılaştırılarak belirlenebilir. Benzer şekilde, daha doğru bir termometrenin belirsizliği de sadece kalibrasyonla belirlenebilir. Kalibrasyon zincirinin herhangi bir noktasındaki belirsizlik bilinmez ise alt kullanıcılar ölçümleriyle ilgili belirsizlikleri tahmin edecek bilgilere ulaşamazlar. Genelde kalibrasyon sertifikaları belirsizlikleri gösterir. Sertifika üzerindeki belirsizlik değeri, kalibrasyonda kullanılan referans termometrenin belirsizliği veya laboratuvar akreditasyonuna göre belirlenen belirsizlik değeridir [13].

V.2. KALİBRASYONUN AMACI

Kalibrasyonun amacı; üretim aşamasında kullanılan tüm test/ölçü aletlerinin doğruluğundan emin olmak ve yapılan ölçüm işlemlerinin farklı yerlerde farklı

test/ölçü aletleri ile tekrarlanması durumunda aynı sonucun alınmasını sağlamak, bir başka deyişle alınan ölçüm sonuçlarını standartlaştırmaktır.

Bir kalibrasyonun sonucu, ölçülen büyüklüğün değerlerinin göstergedeki karşılıklarının belirlenmesine veya gösterge için yapılacak düzeltmenin belirlenmesine imkan verir.

Kalibrasyon, etki büyüklüklerinin sonuçları gibi diğer metrolojik özellikleri de belirleyebilir.

Kalibrasyon sonucu kimi zaman **kalibrasyon sertifikası** kimi zaman da **kalibrasyon raporu** adı verilen dokümanlara kaydedilebilir.

Bu kavram, Türkçe terminolojide nadiren "**etalonaj**" olarak da ifade edilir [10].

V.3. ISO 9000 VE KALİBRASYON

Ölçüm tekniği, kalitenin gerçekleşme süreci içinde önemli bir konuma sahiptir. Kalite planlamasının en önemli aşamaları:

- Müşteri beklentilerine ilişkin kalite karakteristiklerinin belirlenmesi,
- Kalite karakteristiklerine ilişkin parametrelerin tespiti,
- Parametrelerin ölçümüne ilişkin tekniklerin ve metotların tespiti,
- Üretim yeterliliklerinin tespiti,
- Ölçme yeterliliklerinin tespiti,
- Üretim toleranslarını tespiti,
- Kalite planlarının uygulanması,
- Sürekli iyileştirme ve düzeltme,

Bu faaliyetlerin tamamı ölçme tekniği ile yakından ilgilidir. Kaliteye ulaşmada ölçme tekniği, kuruluşun görme ve duyu organlarının işlevini üstlenir. Kuruluşlar ürettikleri ürünün kalite karakteristiklerini ölçüm tekniklerini kullanarak “görür” ve “duyar”; ürün özelliklerini, üretimi takip ederek kontrol altında tutar. Ürün özellikleri ve ürün kalitesi ancak kuruluşun ürün fonksiyonu ile ilgili özelliklerini ölçebilecek ölçüm tekniğine sahip olması durumunda tam olarak kontrol edilebilir.

İşte bu nedenlerle kalite sistemlerinin işletilmesinde ölçme tekniği önemli bir yer tutar. ISO 9000 serisi Kalite Güvencesi Standartları nda ürünün müşteri

spesifikasyonlarına uygunluğunu gösteren bir ölçme ve kalibrasyon sisteminin bulunması zorunludur.

Ölçüm cihazlarının ,bilinen belirsizlik sınırlarında doğru olarak çalışmasını sağlamak için, bir kalibrasyon sisteminin işletilmesi istenir.

ISO 9000 Standartının 4.11. no lu maddesi “Muayene, Ölçme ve Deney Teçhizatları” başlığı altında, kuruluşlarda oluşturulması istenen “Kalibrasyon Sistemi”ne ilişkin gerekler tarif edilmektedir.

V.4. KALİBRASYON SERTİFİKASI

ISO 25 rehberi tüm test tipleri için gerekli olan kontrol listelerini sağlar. Bu rehbere göre termometre kalibrasyonu ile ilgili başlıklar şunlardır:

- Kalibrasyon laboratuvarının adı, adresi ve yeri.
- Müşterinin adı, adresi ve yeri.
- Sertifikanın tanımlanmasında kullanılan yöntemler, genellikle ölçüm kayıtlarının izlenebilirliğini sağlayan bir numara.
- Test edilen cihazın tanımlanmasında kullanılan yöntemler, üretici, model ve test için verilen tüm elemanların seri numaraları.
- Kalibrasyonun gerçekleştiriliş tarihi.
- Kullanılan kalibrasyon yönteminin açıklanması (Bu açıklama genellikle standart yöntemlerden farklı uygulamalar olduğunda yapılır).
- Sonuçlar ve gözlemler ve/veya sonuçlardan elde edilen sonuçlar ve yorumlar.
- Uygun skala için (ITS-90 veya IPTS-68) izlenebilirliğin belirtilmesi.
- Belirsizlik.
- Raporun düzenleyicisi ve/veya testlerden sorumlu personel.
- Raporun yeniden üretilebileceği koşullar.
- Bağımsız bir akreditasyon kurumunun onayı [13].

V.5. KALİBRASYON PROSEDÜRÜ

Bireysel kalite güvence prosedürlerine bağlı olarak, farklı laboratuvarlar ve standartlar farklı kalibrasyon prosedürlerine sahiptirler. Aşağıda verilen sekiz adım uygun bir kalibrasyon prosedürü için genel hatları verecektir.

1) Kayıtların incelenmesi : Test için sunulan termometrenin modeli, seri numarası ve diğer bilgilerin incelenmesi ile müşterinin adı, adresi ve sipariş numarasının incelenmesi gibi işlemleri kapsar.

2) Göz ile kontrol : Cihazın durumunun kaydedilmesi amacıyla yapılır. Taşıma sırasındaki hasarların tespiti amacıyla da kontroller gerçekleştirilebilir.

3) Koşullandırma ve ayar (şayet gerekli ise): Bazı termometreler için koşullandırma veya ön kalibrasyon ayarları gereklidir. Örneğin bazı tip termokupullar tavlama ihtiyacı duyarlar. Normal olarak kalibrasyon işlemi termometrelerin servis veya tamirini kapsamaz. Ancak müşteri istediği takdirde ve koşullar uygunsa bu işlemlerde gerçekleştirilir.

4) Jenerik kontroller: Bu aşamada hata ve zararların kontrolü ve döngülü karşılaştırmada tam olarak elde edilemeyen ölçümler gerçekleştirilir. Gerçekleştirilen bu ölçümler aracılığıyla kayma ve histerisiz belirsizlikleri ne dair tahminler yapılabilir.

5) Döngülü karşılaştırma : Termometrenin ITS-90 ile olan ilişkisini belirlemede kullanılan verileri toplayan, kalibrasyonun bir bölümüdür. Döngülü karşılaştırma ilişkisi doğru bir şekilde belirleyecek tarzda kurulmalı ve müşteri tarafından istenilen aralığı kapsamalıdır. İlişkisi ve belirsizliği belirleyecek sayıda ölçümlerin yapıldığından emin olunmalı ve sistematik hata kaynaklarından kaçınılmalıdır.

6) Analiz : Tüm veriler toplandıktan sonra termometre için en iyi ITS-90 ilişkisini belirlemek amacıyla sonuçlar irdelenir.

7) Belirsizlikler : Referans termometre belirsizliği, kalibrasyon ortamının kararlılığı ve homojenliğindeki değişimlerden kaynaklı belirsizlik, ITS-90 ilişkisinden olan sapmalar, histerisiz belirsizliği, kayma belirsizliği ve termometrelere özgü belirsizlikler dikkate alınarak belirsizlikler belirlenir.

8) Son kayıtlar: İlk aşamada kalibrasyonla ilgili sertifika düzenlenip düzenlenmeyeceğine karar verilir. Şayet 2-7 aşamaları arasında beklenen davranış görülmez ise sertifika verilmez. Şayet müşteriye sertifika verilmez ise nedenini açıklayan bir açıklama verilmelidir. Sertifika düzenlensin veya düzenlenmesin, termometreyle ilgili bilgiler belli bir süre saklanmalıdır. Kalibrasyon yeterli görülürse bir kalibrasyon sertifikası hazırlanarak bir kopyası dosyada saklanmalıdır. Müşteriye fatura hazırlanır ve işlem sonlanır [13].

V.6. DENEY VE KALİBRASYON LABORATUVARLARININ YETERLİLİĞİ İÇİN GENEL ŞARTLAR (TS EN ISO/IEC 17025)

Altı (6) ana madde ve bu maddelere ait alt maddelerden oluşan bu standart, numune alma dahil, deney ve/veya kalibrasyon hizmeti veren bir laboratuvarın yeterliğinin tanınması için sağlanması gereken genel şartları belirler. Bu standart, standart olan, standart olmayan ve laboratuvar tarafından geliştirilen metotlarla yapılan deney ve kalibrasyonu kapsar. Standart ana maddeleri şunlardır;

- Kapsam
- Atıf Yapılan Standartlar
- Terimler Ve Tarifler
- Yönetim Şartları
- Teknik Şartlar

1) Kapsam: Bu standart, numune alma dahil, deney ve/veya kalibrasyon hizmeti veren bir laboratuvarın yeterliğinin tanınması için sağlanması gereken genel şartları belirler. Bu standart, standart olan, standart olmayan ve laboratuvar tarafından geliştirilen metotlarla yapılan deney ve kalibrasyonu kapsar.

2) Atıf Yapılan Standartlar: Atıf yapılan standartlar şunlardır;

ISO 9001:1994 (TS EN ISO9001): Kalite sistemleri- Tasarım, Geliştirme, Üretim, Tesis ve Serviste kalite güvence modeli (Quality systems- Model for quality assurance in design, development, production, installation and servicing)

ISO 9002:1994 (TS EN ISO 9002): Kalite sistemleri- Üretim, Tesis ve Serviste kalite güvence modeli (Quality systems-Model for quality Assurance in production, installation and servicing)

ISO/IEC Guide 2 (TS EN 45020): Standartlaştırma ve İlgili Faaliyetler Hakkında Genel Terimler ve Tarifler (General terms and their definitions concerning standardization and related activities)

VIM:1993 (TS 5798): Metrolojide Temel ve Genel Terimler İçin Uluslararası sözlük (International vocabulary of basic and general terms in metrology)

3) Terimler ve Tarifler: Bu standarta göre kullanılan terim ve tarifler aşağıdaki standartlardan alınmıştır.

TS EN 45020: Standartizasyon, belgelendirme ve laboratuvar akreditasyonu ile ilgili tarifler bulunur.

TS EN ISO 8402: Kalite ile ilgili genel tarifler verilmektedir.

TS 5798: Metrolojide Kullanılan Genel ve Temel Terimler Sözlüğü

4) Yönetim Şartları: Laboratuvar veya bağlı olduğu kuruluşun yasal statüsü, kuruluş kalite sistemi, dökümantasyon işlemleri, sözleşme bilgileri, taşeron kullanımı, Satın alma ve donanım, Hizmet, Şikayetler, Kontrol, Düzeltici ve Önleyici faaliyetler, Kayıt sistemi ve Yönetimin gözden geçirmeyle ilgili yapacağı faaliyetleri kapsar.

5) Teknik Şartlar: Deneylerin ve/veya kalibrasyonların doğruluğu ve güvenilirliğini belirleyen şartları tanımlar. Personel tanımları, Yerleşim ve Çevre koşulları, Deney ve Kalibrasyon Metotları ve Metotların Geçerli Kılınması, Metotların Seçimi, Ölçme Belirsizlik Hesaplanması, Verilerin Kontrolü, Cihazlar, Ölçümlerin izlenebilirliği, Özel şartlar (Kalibrasyon ve Deney), Numune Alma, Raporlama ve Deney ve Kalibrasyon sertifikaları ile ilgili standartları kapsar.

TS EN ISO/IEC 17025 Standartına göre bir Laboratuvarın Sahip Olması Gereken Özellikler şu şekilde sıralanabilir (TS EN ISO/IEC 17025-4.1.5) :

- Görevlerini yerine getirmek, kalite sisteminden veya deney ve/veya kalibrasyon prosedürlerinden sapmaları tanımlamak ve bu sapmaları önleyecek veya aza indirecek faaliyetleri başlatmak için gerekli yetkileri ve kaynakları olan yönetici ve teknik personele sahip olmalı;
- Yönetimin ve personelin yapılan işin kalitesini olumsuz yönde etkileyebilecek her türlü ticari, ekonomik ve diğer iç ve dış baskılardan ve etkilerden uzak tutulmasını sağlayacak düzenlemelere sahip olmalı;
- Müşterilerine ait gizli bilgilerin ve tescilli hakların korunmasını sağlayan, sonuçların elektronik olarak muhafaza edilmesini ve iletilmesini korumaya alan prosedürler de dahil olmak üzere, politika ve prosedürlere sahip olmalı;
- Yeterlik, tarafsızlık, karar verme veya çalışmasıyla ilgili dürüstlüğüne olan güveni azaltacak herhangi bir faaliyette bulunmayı önlemek için politika ve prosedürlere sahip olmalı;
- Kuruluşu ve yönetim yapısını, herhangi bir ana kuruluş içindeki yerini; kalite yönetimi, teknik faaliyetleri ve destek hizmetleri arasındaki ilişkileri tarif etmeli;

- Deney ve/veya kalibrasyon kalitesine doğrudan etkisi olan, yönetme, uygulama ve geçerli kılma görevini yerine getiren bütün personelin sorumluluklarını, yetkilerini ve birbirleri ile olan ilişkilerini belirlemeli;
- Personel adayları dahil bütün deney ve kalibrasyon elemanlarının, metotları ve prosedürleri ve her deney ve/veya kalibrasyonun hedefini bilen, deney veya kalibrasyon sonuçlarını değerlendirebilen uzmanlar tarafından uygun şekilde yönlendirilmelerini sağlamalı;
- Laboratuvar işlemlerinde gerekli kaliteyi sağlamak için ihtiyaç duyulan kaynakların temininden ve teknik işlemlerden genel olarak sorumlu olan bir teknik yönetime sahip olmalı;
- Diğer görev ve sorumluluklarından bağımsız olarak, bu standarttaki kuralların uygulanmasını ve daima takip edilmesini sağlamak için gerekli yetki ve sorumluluğa sahip, hangi isim altında olursa olsun bir kalite yöneticisi atamalı; bu yönetici, laboratuvar politikası ve kaynaklar hakkında kararların alındığı en yüksek yönetim kademesine doğrudan ulaşabilmeli;
- Mümkünse kilit konumdaki yönetici personel için yardımcıları atanmalıdır.

TS EN ISO/IEC 17025 Standardına göre Deney ve Kalibrasyonların Doğruluğu ve Güvenilirliğini Belirleyen Faktörler şunlardır (TS EN ISO/IEC 17025-5.1.1.) :

- İnsan faktörü,
- Yerleşim ve çevre Koşulları,
- Deney ve kalibrasyon metotları ve bu metotların geçerli kılınması,
- Cihazlar,
- Ölçüm izlenebilirliği,
- Numune alma,
- Deney ve kalibrasyon cihazlarının taşınımı.

TS EN ISO/IEC 17025 Standardına Göre Deney Raporları ve Kalibrasyon Sertifikaları şu bilgilere sahip olmalıdır (TS EN ISO/IEC 17025-5.10.2.) :

- Başlık (Örneğin, “Deney Raporu veya Kalibrasyon Sertifikası” gibi),
- Laboratuvarın adı ve adresi, Deney ve/veya kalibrasyon, Laboratuvar adresinden başka bir yerde yapıldıysa yeri,

- Deney raporunun veya kalibrasyon sertifikasının özgün bir tanımlaması (Örneğin; seri numarası gibi) ve sayfaların deney raporu veya kalibrasyon sertifikasının bir kısmı olduğunun anlaşılmasını sağlamak için her sayfanın üzerine bir tanımlama işaretinin konulması ve deney raporu veya kalibrasyon sertifikasının son kısmının açık bir şekilde tanımlanması,
- Müşterinin adı ve adresi,
- Kullanılan metodun tanımı,
- Deneyi veya kalibrasyonu yapılan numunelerin tarifi, durumu ve kesin tanımlaması,
- Deney sonuçlarının geçerliliği ve uygulanması ile ilgili olmaları durumunda, deneyi ve kalibrasyonu yapılan numunelerin laboratuvara kabul edilme tarihi ve deneyin veya kalibrasyonun yapılma tarihleri,
- Deney sonuçlarının geçerliliği ve uygulanması ile ilgili olmaları durumunda, laboratuvar veya diğer kuruluşlar tarafından kullanılan numune alma prosedürlerine yapılan atıf,
- Uygun olduğunda ölçü birimleriyle birlikte deney ve kalibrasyon sonuçları,
- Deney raporunu veya kalibrasyon sertifikasını imzalayan elemanların adları, görevleri ve imzaları veya eşdeğer tanıtımları,
- Uygun olduğunda, sonuçların sadece deneyi ve kalibrasyonu yapılan numunelerle ilgili olduğunu belirten bir beyan [17].

V.7. TERMOKUPUL KALİBRASYONU

Termokupul kalibrasyonundan söz ederken, kalibrasyon kelimesinin hangi anlamda kullanıldığının bilinmesi gerekir. Kalibrasyon kelimesi termokupul tipine uygunluk anlamında kullanılırken, kalibrasyonsuzluk; termokupul tellerinde homojensizlikler oluşması anlamına gelir ve kalibrasyon sertifikasının geçerliliği kalmaz [13].

Diğer termometreler için adım - adım açıklanmış olan genel kalibrasyon prosedürleri, termokupullar için uygun olmayabilir. Ancak genel prosedür termokupul tellerinin standart tablolara uyması durumunda iyi bir test olacaktır. Buradaki zorluk test sonrasında termokupul tellerinin uygun olduğunu veya belirli koşullarda uygunluğunun süreceğini bilmemektir [13].

Termokupulların kalibrasyonunda temel üç yöntem mevcuttur. İlk yöntem termokupul tellerinin uygunluğunu belirlemek ve sonrasında B tip belirsizlik tahmini yapacak şekilde bilinen jenerik (önceden belirlenmiş) kayıtları kullanmaktır. İkinci yöntem daldırma koşullarının uyumluluğu ile ilgili olup son yöntem genel kalibrasyon prosedürlerinin yeterli kararlılığa sahip pilakin içeren termokupullara uygulanmasıdır [13].

V.7.1. Uyumluluk Veya Tip Uygunluğu

Uyumluluk testi izlenebilirliğe ulaşmada önemli bir adımdır. Bu aşamada jenerik kayıtlar kullanılarak, okunan gerilim değerlerinin sıcaklık değerine dönüştürülmesi ve B tip belirsizlik tahminlerinin yapılması mümkün olur. Dönüşüm direk standart tablolardan olabileceği gibi, tablo değerlerini düzeltecek sapma fonksiyonları kullanılarak ta gerçekleştirilebilir [13].

Kullanımda olan termokupulların kalibrasyonunda birçok yöntem kullanılabilir. Kararlı bir sıcaklığın olduğu durumlarda termokupullar yenisi ile değiştirilebilir. Okunan değerlerde görülecek ciddi bir fark diğer tüm termokupulların değiştirilmesi gerektiği anlamına gelir. Bununla birlikte aynı sıcaklığı gözleyen birden fazla termokupul olması durumunda, termokupulların yarısı farklı zamanlarda konulmuş olmalı ve termokupul set değerleri arasında farklılık olması durumunda, termokupulların yerleri birkaç cm değiştirilmeli, şayet değerlerde büyük farklılıklar olur ise termokupullar değiştirilmelidir. Uyumluluk yaklaşımının kullanılabilirliği büyük oranda uygulamaya, termokupul tipine ve kullanılan sıcaklık aralığına bağlıdır [13].

V.7.2. Daldırma Uygunluğu

Bu yöntem daldırma koşullarının kalibrasyon anındaki koşullara olan uygunluğunu belirlemek amacıyla gerçekleştirilir. Bu sayede taşıma veya kullanım sırasında oluşan homojensizlik etkileri kalibrasyon aracılığıyla ortadan kaldırılmış olur [13].

V.7.3. Platin İçeren Termokupulların Kalibrasyonu

Bu tip termokupulların kalibrasyonu, diğer termometre kalibrasyon yöntemleriyle aynıdır. Güvenli bir şekilde sökülmesinin ve yeniden montajının bilinmesi gereği ve yeniden üretilebilirliğinin tavlama prosedürüne bağlı olması, bu

tip termokupulların kalibrasyonlarının daha uzman kişilerce gerçekleştirilmesini gerektirir.

Kalibrasyonun döngülü karşılaştırma aşamasında birçok uygulama için referans termometre olarak platin içeren termometreler kullanılır.

Yüksek doğruluğun gerektiği uygulamalarda referans olarak bir yüksek sıcaklık standart platin dirençli termometresi (SPRT), bir transfer standart radyometresi veya tanımlanmış sabit noktalardan birkaçı kullanılabilir [13].

V.7.4. Termokupulların Karşılaştırma Yöntemi İle Kalibrasyonu

Bu yöntem termokupulun gösterdiği değerin herhangi bir referans termometre ile karşılaştırılması ile ilgili tekniklerden oluşur. Termokupulların gerilim-sıcaklık ilişkisinin kesin değerlendirilmesi, belirli ölçüm sıcaklıklarında termokupulun ürettiği gerilimlerin değerlendirilmesiyle elde edilir. Kalibrasyonlar -180°C – 1700°C (-290°F – 2660°F) aralığındaki çıplak telli ve kaplamalı termokupullara uygulanır [43].

Karşılaştırma yöntemiyle kalibrasyonda, termokupulun gösterdiği değer aynı sıcaklıktaki bir referans termometrenin (Belirli bir doğruluktaki kalibrasyonu bilinen termometre) gösterdiği değer ile karşılaştırılarak kalibre edilir. Referans termometre başka bir termokupul, platin dirençli termometre veya sıcaklığın değerine, doğruluğuna vb. kriterlere bağlı olarak değişen farklı bir sıcaklık algılayıcısı olabilir [43].

Yöntemin başarısı termokupul ile referans termometrenin istenilen doğruluk sınırlarında, aynı sıcaklıkta olmalarına bağlı olduğundan karşılaştırmanın yapıldığı ortamın ve koşulların seçiminde titizlik gösterilmelidir. Uygun tekniklerle kullanılan akışkan yataklı banyolar, uniform ısıtılmış metal bloklar, tüp fırınlar ve kuru akışkanlı banyolar belirli sıcaklık aralıkları için kullanılırlar [43].

Termokupulun geriliminin ölçümü aşamasında, önemli bir hata kaynağı olan cihaz yükleme etkisinin önlenmesi amacıyla, potansiyometrik cihazlar veya yüksek empedanslı elektronik cihazlar kullanılmalıdır. Burada amaç ölçülen gerilimin, test sıcaklığında termokupulun ürettiği gerilim olmasının temini ve diğer kaynaklardan gerilim değerinin etkilenmesinin önlenmesidir. Yöntem malzemelerin homojen olduğunu kabul eder [43].

V.7.4.1. Kalibrasyonda Kullanılan Cihazlar

Kalibrasyonun uygulanması için gerekli cihazlar, sıcaklık aralığına bağlı olarak değişecektir, ancak kullanılan düzenekler aşağıda açıklanan düzeneklerden herhangi biri olacaktır [43].

V.7.4.1.a. Karşılaştırmacı Banyolar ve Fırınlr

Kalibre edilecek termokupul ölçüm kavşağı ile referans termometreyi aynı sıcaklığa getirmek için kontrollü karşılaştırmacı banyolar ve fırınlar kullanılır [43].

V.7.4.1.b. Akışkan Banyolar

-160°C ile 630°C (-250°F ile 1170°F) sıcaklık aralığında karşılaştırmacı banyo olarak, iyi karıştırılmış, sıcaklığı kontrollü olarak sabit tutulan, yalıtkan akışkan banyolar kullanılır [43].

V.7.4.1.c. Akışkan Toz Banyolar

-70°C ile 980°C (-100°F ile 1800°F) sıcaklık aralığında alüminyum oksit veya benzer tozlu, hava akışkanlı karşılaştırmacı banyolar kullanılır. Banyolarda sıcaklık kararlılığının ve üniformaluluğunun sağlanması gerekir [43].

V.7.4.1.d. Tüp Fırınlr

620 °C (1150 °F) üzerindeki sıcaklıklarda karşılaştırmacı banyonun oluşturulması, elektrikli ısıtıcıya sahip tüp fırınlar kullanılarak sağlanır. Seçilen fırında aranan özellikler şunlardır:

a- Fırının, kullanılacağı sıcaklık aralıklarında kısa sürede (Yaklaşık 10 dk.) fırın sıcaklığını sabit tutacak kontrol sistemine sahip olması gerekir.

b- Fırında termokupul ölçüm kavşağının yerleştirileceği üniform bir sıcaklık aralığı olmalı ve fırın derinliği, ölçüm noktasının termokupul boyunca oluşacak termal gradyenden etkilenmemesini sağlayacak derinlikte olmalıdır [43].

V.7.4.1.e. Diğer Banyolar

Bir banyo için aranan özellik test termokupulu ile referans termokupulu aynı sıcaklıkta tutmasıdır. Sıvı oksijen içine daldırılan bakır blokların veya diğer soğutucularında kullanımı vardır. Bu bloklar test termokupulu ve referans termokupulun yerleştirileceği hücrelere sahiptirler [43].

V.7.4.2. Referans Kavşak

Kontrollü sıcaklık banyoları, referans kavşağın seçilen bir değerinde sabit tutulduğu yapıda olmalıdır. Yaygın kullanılan referans sıcaklık değeri 0 °C (32 °F) değeridir. Referans kavşak sıcaklığı yüksek doğrulukta bir kontrol sistemiyle kontrol edilmelidir [43].

Birden fazla termokupulun hızlı kalibrasyon edilmesi için referans kavşak olarak, çok terminalli izotermal bir yapı kullanılabilir. Bu yapının sıcaklığı, referans kavşağı buz banyosu olan bir referans termokupl ile belirlenir. Böyle bir sistem, buz banyosu termal yükleme etkisini, termokupul tellerinin ve bakır bağlantı tellerinin etkilerini önler [43].

Minimum hata, ölçüm kavşağından referans kavşağına kadar olan termokupul tellerinin eksiz olarak devamıyla sağlanır.

V.7.4.3. Gerilim (Emk) Ölçüm Cihazları

Termokupul gerilimini ölçmek amacıyla kullanılacak olan cihazın seçimi, gerçekleştirilecek olan kalibrasyonun doğruluğuna bağlıdır. Genel olarak, kullanılacak cihazlar aşağıda sıralanan üç tip cihazdan biri olabilir [43].

V.7.4.3.a. A Gurubu Potansiyometreler

Yüksek doğruluk istenen uygulamalarda kullanılırlar. Bu tip potansiyometreler sürgülü tele sahip değildir, tüm ayarlar kadranlı anahtarlar kullanılarak gerçekleştirilir. Bu cihazlar ANSI C.100.2'ye göre 1000 μV 'ta 0,2 μV ve 50.000 μV 'ta 5 μV hata limitine sahiptirler.

V.7.4.3.b. B Gurubu Potansiyometreler

Bir çok uygulamada kullanılmaya uygun, sürgülü bir tele sahip potansiyometrelerdir. Bu tip cihazlar 1000 μV 'ta 1 μV ve 50.000 μV 'ta 12 μV hata limitine sahiptirler.

V.7.4.3.c. C Gurubu Potansiyometreler

Potansiyometrik veya yüksek empedanslı düzeneklere uygun dijital voltmetrelere ve ADC'lere sahiptirler. A ve B gurubu potansiyometrelerin hata limitlerine sahip olan bu potansiyometreler birçok termokupuldan hızlı olarak değer okumaya uygundur.

V.7.4.4. Bağlantı Telleri

Referans kavşak ile potansiyometre arasındaki bağlantılar izolasyonlu bakır telle yapılmalı ve elektriksel girişimler mevcut ise topraklı kanaldan geçirilmeli veya örgülü tel kullanılmalıdır [43].

Referans termokupul ile kalibre edilecek termokupul arasındaki anahtarlama seçici anahtar kullanılarak gerçekleştirilebilir. Seçici anahtar termokupullar arası geçişte termokupulları tamamen birbirinden ayıracak yapıya sahip olmalıdır [43].

V.7.4.5. Referans Termometreler

Termokupulların karşılaştırılmalı kalibrasyonunda kullanılacak olan referans termometrelerin seçimi sıcaklık aralığına ve kalibrasyon doğruluğuna bağlı olarak değişir [43].

V.7.4.5.a. Platin Dirençli Termometreler

Standart platin dirençli termometreler $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $630\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-300\text{ }^{\circ}\text{F}$ - $1170\text{ }^{\circ}\text{F}$) sıcaklık aralığında, akışkan yataklı banyolarda kullanıldığında en yüksek doğruluğu veren termometrelerdir. $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-70\text{ }^{\circ}\text{F}$)'nin altındaki veya $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($400\text{ }^{\circ}\text{F}$) üstündeki sıcaklıklarda $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($0,2\text{ }^{\circ}\text{F}$) ye yaklaşan doğruluklar istenir. Bu uygulamalarda dirençli termometreler yaygın kullanıma sahiptir [43].

V.7.4.5.b. Cam Hazneli Sıvı Termometreler

$-180\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-300\text{ }^{\circ}\text{F}$ - $750\text{ }^{\circ}\text{F}$) sıcaklık aralığında kullanılan termometrelerdir. Genel olarak, organik termometrik akışkanların kullanıldığı $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ altındaki sıcaklıklarda doğruluk düşük iken, $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ üzerindeki sıcaklıklarda cam içindeki boyutsal değişim çok hızlı olup, boyutsal kalibrasyon gereklidir [43].

V.7.4.5.c. R ve S Tip Termokupullar

$0,51\text{ mm}$ 'lik Platin - $\% 10$ Rodyum / Platin (S Tip) veya Platin - $\% 13$ Rodyum / Platin (R Tip) termokupullar, $630\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($1170\text{ }^{\circ}\text{F}$ - $2190\text{ }^{\circ}\text{F}$) sıcaklık aralığında referans termometre olarak kullanılırlar. Ulaşılabilecek doğruluk dereceleri Tablo V.1'de verilmiştir. A ve B Gurubu potansiyometreler ile C gurubu cihazlar bu tip termokupullar ile kullanılabilirler [43].

Tablo V.1 Karşılaştırma metodu ile kalibrasyonu yapılan termokupulların kalibrasyon belirsizlikleri

Termokupul Tipi	Sıcaklık Aralığı	Kalibrasyon Noktaları ^E	Belirsizlik ^A	
			Gözlenen Noktalarda	İnterpolasyonlu Değerler ^B
E	(0 -870°C) ^C	Her 100°C	0,5	1
	(0 -870°C) ^C	300°C,600°C ve 870°C	0,5	2
	(0 -350°C) ^D	Her 100°C	0,1	0,5
	(-160 -0°C) ^D	Her 50°C	0,1	0,5
J	(0 -760°C) ^C	100°C,300°C,500°C ve 750°C	0,5	1
	(0 -350°C) ^D	Her 100°C	0,1	0,5
K	(0 -1250°C) ^C	Her 100°C	0,5	1
	(0 -1250°C) ^C	300°C,600°C,900°C ve 1200°C	0,5	2
	(0 -350°C) ^D	Her 100°C	0,1	0,5
	(-160 -0°C) ^D	Her 50°C	0,1	0,5
R ve S	(0 -1450°C) ^C	Her 100°C	0,3	0,5 ve 2
	(0 -1450°C) ^C	600°C ve 1200°C	0,3	1 ve 3
B	(0 -1700°C) ^C	Her 100°C	0,3	0,5 ve 3
		600°C ve 1200°C	0,3	1 ve 5
T	(0 -370°C) ^D	Her 100°C	0,1	0,2
	(0 -100°C) ^D	50°C ve 100°C	0,05	0,1
	(-160 -0°C) ^D	Her 60°C	0,1	0,2

^A Homojen termokupullar ve yeterli deneysel önem gösterilerek.

^B Referans tabloda verilen fark eğrisi kullanılarak.

^C Tüp fırın içerisinde, Kalibrasyonu yapılan S Tip termokupul ile karşılaştırarak.

^D Akışkan yataklı banyo içerisinde, Standart platin dirençli termometre ile karşılaştırarak.

^E Yaklaşık kalibrasyon noktaları.

V.7.4.5.d. B Tip Termokupul

0,51 mm veya üstü kalınlıkta Platin - % 30 Rodyum / Platin - % 6 Rodyum (B Tip) termokupullar, 1200 °C (2190 °F) üzerindeki sıcaklıklarda referans termometre olarak kullanılırlar. Bu tip termokupullar ile ulaşılabilecek doğruluk dereceleri Tablo V.1’de verilmiştir. A ve B Gurubu potansiyometreler ile C gurubu cihazlar bu tip termokupullar ile kullanılabilirler [43].

V.7.4.5.e. T Tip Termokupul

-180 °C – 370 °C (-300 °F – 700 °F) sıcaklık aralığında referans termometre olarak kullanılırlar. Genel olarak, doğrulukları 200 °C (400 °F) üzerindeki tel kararlılıkları ile sınırlıdır [43].

V.7.4.5.f. Aynı Tip Termokupullar

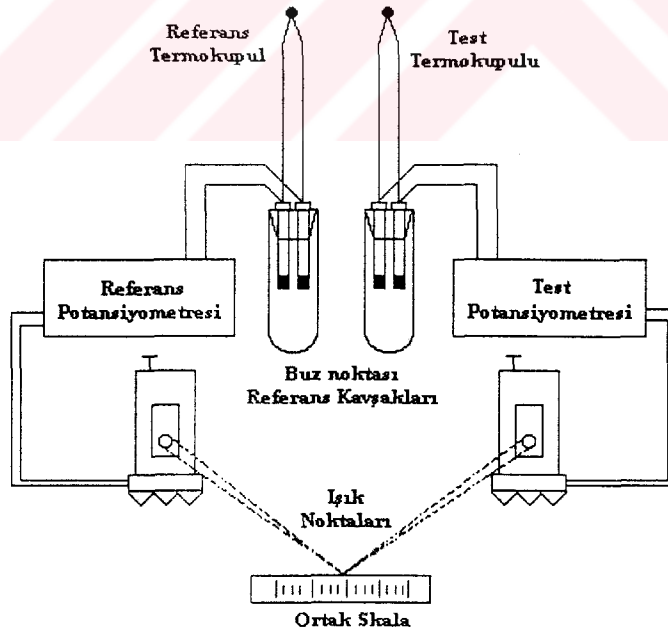
C prosedürünün kullanılması durumunda, referans termokupul daha önce kalibrasyonu yapılmış, test termokupulu ile aynı yapıya sahip olan bir termokupul olabilir [43].

V.7.4.6. Kalibrasyon Prosedürleri

Bu kalibrasyon prosedürü, seçilen kalibrasyon noktalarında termokupul gerilimlerinin ölçümü ve kalibrasyon noktası sıcaklıklarının standart bir termokupul veya farklı bir tip termometre ile ölçülmesi esasına dayanır. Test noktalarının sayısı ve seçimi termokupul tipine, sıcaklık aralığına ve istenilen doğruluğa bağlı olarak değişir. Genel olarak kalibrasyon, üç farklı tip prosedür kullanılarak gerçekleştirilir [43].

V.7.4.6.a. A Prosedürü

Bu prosedür bir standart termokupul ve iki potansiyometrenin olduğu durumlarda kullanılır. Bu yöntem geniş sıcaklık aralığında kullanılan ve her seçili nokta için sıcaklığı değiştirilen bir fırın içinde yer alan termokupulların, kalibrasyon noktalarından herhangi birinde kalibrasyonunun yapılması amacıyla kullanılır. İki potansiyometre kullanılması sebebiyle, fırın veya banyonun her nokta için kararlı olmasını beklemeden, standart termokupul ve kalibre edilecek termokupulun gösterdiği değerler aynı anda okunabilir. Standart termokupul ve kalibrasyonu yapılacak termokupul iki ayrı potansiyometreye Şekil V.1’de gösterildiği gibi bağlanır.



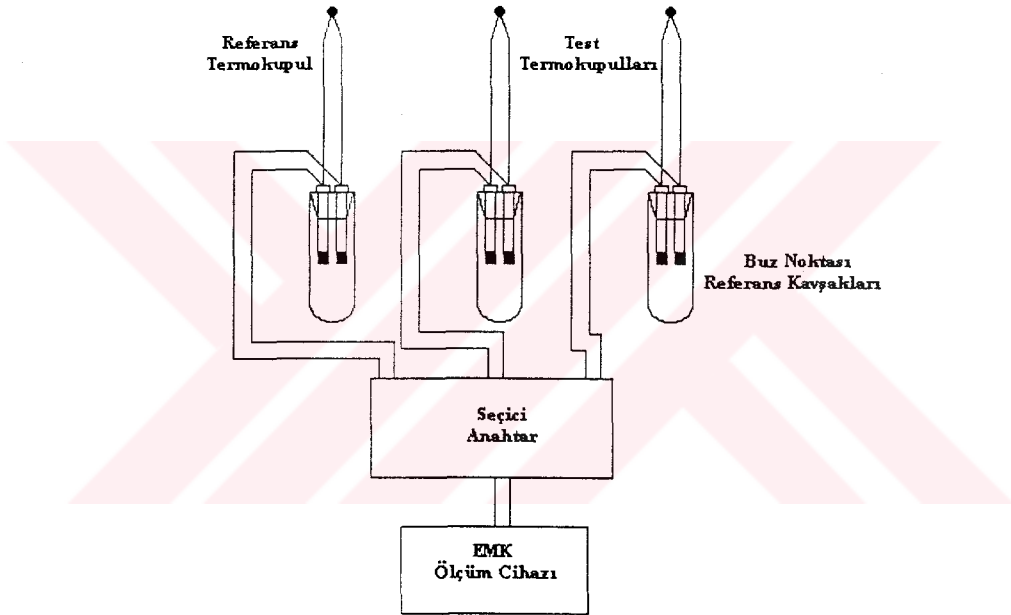
Şekil V.1 İki potansiyometre yöntemi prensip şeması

Her iki potansiyometrede birer adet yansıtıcı galvanometreye sahiptir. Galvanometreden yansıyan ışık noktaları ortak bir skala üzerine odaklanır. Devreler

açık olduğunda galvonometreler ayarlanarak yansıttıkları ışık noktalarının sıfır noktasında çakışması sağlanır, bu durumda termokupul gerilimleri dengelenmek amacıyla potansiyometreler ayarlandığında ışık noktaları sıfır noktasında çakışır. Birden fazla termokupulun kalibrasyonunun yapılması istendiğinde bir seçici anahtar, termokupulların referans kavşakları ile ilgili potansiyometreler arasına yerleştirilmelidir. Açıklanan veri toplama işlemi sırasıyla her termokupul için tekrarlanır [43].

V.7.4.6.b. B Prosedürü

Bu prosedür sadece bir potansiyometrenin kullanıldığı sistemlerde uygulanır. Birden fazla termokupulun referans termometresi termokupul olan bir sistemle kalibrasyonuna ait şema Şekil V.2’de verilmiştir.



Şekil V.2 Tek potansiyometre ve seçici bir anahtar içeren düzeneğin prensip şeması

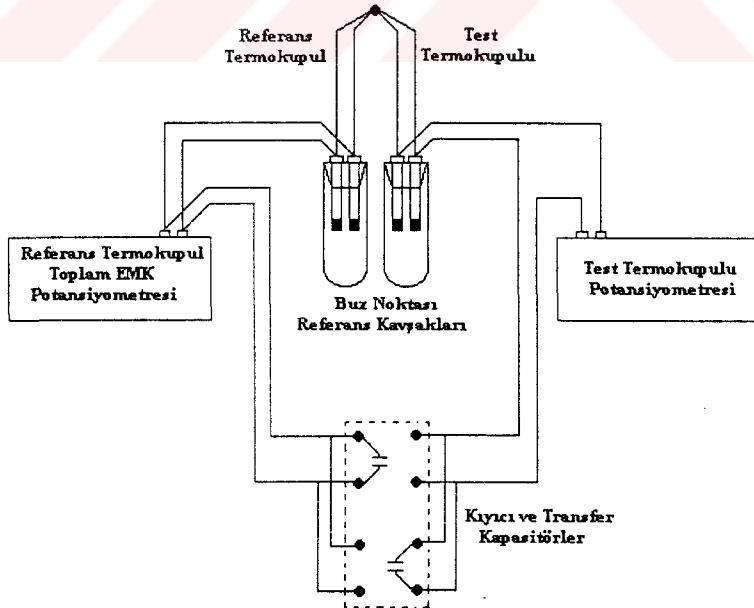
Bu yöntemin kullanılması için termokupul içeren fırın veya banyonun değerler alınmadan önce istenen sıcaklık değerinde kararlı hale gelmesi için beklenmelidir. Şekil V.2’de gösterildiği üzere kalibrasyonu yapılacak her termokupul sırayla seçici anahtar kullanılarak potansiyometreye bağlanır. Referans termokupulun gösterdiği değer kalibrasyonu yapılacak her termokupul için değer okunmadan önce ve sonra okunmalıdır. Termokupul sayısının fazla olması veya herhangi diğer bir nedenle tek fırının kullanılmasının yeterli olmaması durumunda, gerekli kalibrasyon noktalarında ayrı ayrı ayarlanmış fırın veya banyolar kullanılabilir. Termokupulların her fırın veya banyoya daldırılmasından sonra,

değerlerin alınmasından önce, kararlı durumun sağlanması amacıyla bir süre beklenilmelidir [43].

V.7.4.6.c. C Prosedürü

Kalibrasyonu yapılacak termokupul ile referans termokupulun aynı olması durumunda, örneğin S tip bir termokupulun bir S tip referans termokupul ile kalibrasyonu durumunda, iki potansiyometreli yöntemin farklı bir şekilde düzenlenmesi kalibrasyon amaçlı kullanılabilir. Bu teknikte potansiyometrelerden biri ile referans termokupulun gerilimi A prosedüründe açıklandığı gibi ölçülürken, diğer potansiyometre kullanılarak aynı anda referans termokupul ile kalibrasyonu yapılacak termokupulun arasında oluşan çok küçük gerilim farkının ölçümü yapılır [43].

Direkt fark almak şeklinde gerçekleştirilen bu karşılaştırma yönteminde, termokupullar arasında fark geriliminin ölçüldüğü nokta haricinde herhangi bir elektriksel devre olamaz. Aynı ortama sahip sıvı ve kuru akışkanlı banyolarda bu durum termokupullar birbirine değmediği sürece bir sorun yaratmaz. Ancak tüp fırınlarda elektriksel temas olmaksızın birçok kavşağı aynı sıcaklıkta tutmak zor olabilir. Bu durumda elektriksel izolasyon, referans noktada kullanılacak “Yalıtıcı gerilim karşılaştırma devresi” ile sağlanabilir. Bu işlemi gerçekleştiren temel devre Şekil V.3’te verilmiştir [43].

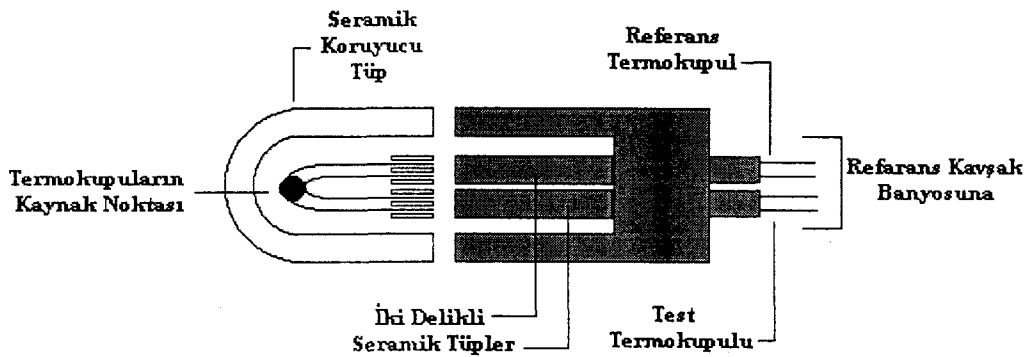


Şekil V.3 Yalıtıcı gerilim karşılaştırma devresi prensip şeması

Yalıtıcı gerilim karşılaştırma devresi, çift kutuplu, çift yönlü kıyıcı (titreşimli anahtar) ve ilk olarak referans termokupul gerilimine şarj olan ve daha sonra ise test termokupulun geriliminin seri olarak karşısına bağlanan kapasitörden oluşur. Böylelikle fark potansiyometresi iki termokupul arasındaki emk farkını göstermiş olur. Referans termokupulun toplam emk sı ayrı bir potansiyometre aracılığıyla sürekli olarak gözlemlenir. Yüksek duyarlılığın elde edilmesi amacıyla iki kıyıcı Şekil V.3'te gösterildiği gibi 180° faz farklı olarak yerleştirilmiştir [43].

V.7.4.7. Termokupulların Kalibrasyona Hazırlanışı

Test için hazırlanma aşamasında termokupul için bir koruyucu tüp kullanılmalıdır. Bu tüp yeterli daldırma uzunluğunda olmalı ve fırın veya banyodan 50 mm - 70 mm arası bir mesafede dışarıya uzanmalıdır. Her termokupul için koruyucu tüpten daha uzun olan iki delikli bir seramik tüp kullanılmalıdır. C prosedürü dışındaki kullanımlarda, her termokupul telleri kendi tüpü içerisinde geçirilir ve termokupul tüpleri birbirlerine gevşek bir şekilde bağlanır. Tüm termokupul ölçüm kavşakları iyi bir termal temas sağlanması amacıyla, birleştirilerek tek bir noktadan kaynak yapılabileceği gibi, bunun mümkün olmaması halinde ayrı ayrı kaynak yapıldıktan sonra yine termal temasın sağlanması amacıyla platin bir tel veya folyo ile birbirlerine bağlanabilirler. Termokupul kavşağı kaynaklandıktan sonra koruyucu tüp içerisine yerleştirilir ve uygun derinlikte fırın veya banyo içerisine daldırılır. Böyle bir uygulama şematik olarak Şekil V.4'te görülmektedir. Bu işlemlerin gerçekleştirilmesi sırasında dikkat edilmesi gereken termokupul tellerinin gerilmeye maruz kalmasının ve kirlenmesinin önlenmesidir [43].



Şekil V.4 Termokupulun koruyucu tüp içerisine yerleştirilmesi

V.7.4.7.a. B, R Ve S Tip Termokupulların Kalibrasyona Hazırlanışı

Bu prosedür 0 °C – 1480 °C (32 °F – 2700 °F) sıcaklık aralığındaki çıplak tel Platin - % 10 Rodyum / Platin (S Tip) veya Platin - % 13 Rodyum / Platin (R Tip) ve 0 °C – 1700 °C (32 °F – 3100 °F) sıcaklık aralığındaki Platin - % 30 Rodyum/ Platin -% 6 Rodyum (B Tip) termokupulların kalibrasyonunda uygulanan bir tavlama prosedürüdür. Termokupul ek noktalarından serbest kalacak şekilde havada asılı tutulduktan sonra 1450 °C (2650 °F) sıcaklıkta yaklaşık 45 dakika süreyle elektriksel olarak tavlmalıdır. Bu işlemin ardından termokupul 1 dakika süreyle 750 °C (1380 °F) ye gelinceye kadar soğutulmalı ve bu sıcaklıkta yaklaşık olarak 30 dakika kalmalıdır. Bu tavlama işleminin ardından termokupulun birkaç dakika için oda sıcaklığında tutulması sağlanmalıdır. Ayarlı bir transformatörden sağlanan yaklaşık 12 A değerindeki akım 0,51 mm lik telin elektriksel olarak ısıtılması için uygun bir kaynak olacaktır. Sıcaklığın değeri termokupulun platin ayağına odaklanmış bir radyasyon pirometresi kullanılarak belirlenir. Tavlama sonrası termokupul yalıtkan tüp içerisinden geçirilir ve daha sonra koruyucu tüp içerisine konur [43].

V.7.4.7.b. Laboratuvar Fırınlarındaki Nikel İçeren Termokupulların Kalibrasyona Hazırlanışı

Bu prosedür 0 °C – 1260 °C (32 °F – 2300 °F) sıcaklık aralığındaki çıplak tel, ham metal termokupulların kalibrasyonunda uygulanır. Bu yöntem yeni tel kullanılarak gerçekleştirilen işlemlerde kullanılır. Kabul edilmiş kalibrasyon yöntemleriyle kalibrasyonları yapılır [43].

V.7.4.7.c. Akışkan Yataklı Banyolardaki Nikel İçeren Termokupulların Kalibrasyona Hazırlanışı

Bu prosedür yaklaşık 980 °C (1800 °F) ye kadar olan sıcaklıklardaki çıplak veya izolasyonlu tel, nikel içeren termokupullar için geçerlidir. Termokupulların akışkan banyoya daldırılması için, koruyucu tüp kullanılması haricinde özel bir hazırlık gerekli değildir. 540 °C (1000 °F) ye kadar olan sıcaklıklarda borosilikat cam, 540 °C ile 620 °C arasında, silika veya seramik tüpler kullanıma uygundur. Bu tüpler daldırılma ucundan kapalı olmalı ve daldırılacak termokupul veya termokupulların daldırılma mesafesinde olmalıdırlar. Çıplak tel termokupul kullanılması durumunda tüp dışında yer alan kısımlar elektriksel olarak yalıtılmalıdır. Bu amaçla kullanılacak izolasyon malzemesinin, maruz kalınacak

sıcaklığa karşı dayanıklı olması önemlidir. Referans termometre olarak, kalibre edilecek termokupul ile aynı tüp içerisinde yer alan başka bir termokupul veya test edilen termokupul ile yakın uzaklıkta yer alan bir dirençli termometre veya cam hazneli sıvı termometre kullanılabilir. Referans termometrenin seçimi istenen sıcaklığa bağlı olarak değişir [43].

V.7.4.8. Kalibrasyon Verilerinin Toplanması

Kalibrasyon verilerinin toplanması amacıyla kullanılan yöntemler platin ve nikel içeren termokupullar için kullanılabilir [43].

V.7.4.8.a. Laboratuvar Fırınlarındaki Termokupullar

Koruyucu tüpe sahip termokupul elektrik ile ısıtılan fırın içerisine uygun derinlikte olacak şekilde yerleştirilir, referans kavşak ve gerekli düzenekler kurularak açıklaması yapılan A, B, C prosedürlerinden uygun olanı kullanılır [43].

A Prosedürü : Kalibrasyon noktalarındaki ölçümler düşük sıcaklıklarda başlar ve artan sıcaklıklarda devam eder. Referans termokupula bağlı olan potansiyometre istenen sıcaklık değerine karşılık gelen emk değerine ayarlanır ve fırın ısıtılmaya bırakılır. Fırın sıcaklığının 0,5 °C (1 °F) / dakika'yı geçmemesine dikkat edilir. Bu arada iki galvanometreden gelen ışık noktaları ayarlanarak sıfır noktalarının ortak skala üzerinde her zaman çakışması temin edilmelidir. Fırın soğurken test termokupuluna ait potansiyometre ayarlanarak, test termokupuluna ait olan galvanometrenin yaydığı ışık noktasının referans termometrenin yaydığı ışık noktası ile aynı noktada çakışması sağlanır. Bu ayarlama yapıldığında, test termokupulunun gerilim değeri referans termokupulunun sıcaklık değerine karşılık gelir. Devam eden her kalibrasyon noktası için aynı işlemler tekrarlanır [43].

B Prosedürü : Referans termokupulunun gösterdiği değeri kullanarak fırın en düşük kalibrasyon noktası değerine ısıtılır ve bu sıcaklıkta yaklaşık 10 dakika tutulur. Dönüşümlü olarak sırayla; referans termokupul gerilimi, test termokupulu gerilimi ve tekrar referans termokupul gerilimi ölçülür. İki referans termokupul gerilimi değeri arasındaki karşılaştırma fırın kararlılığı hakkında bir fikir verecektir. Kararlı koşullar altında, test termokupulundan okunan gerilim referans termokupulunun gösterdiği iki değerinin ortalaması olan bir sıcaklık değerine karşılık gelir. Yakın bir sıcaklık değeri için test termokupulunun gösterdiği ikinci bir gerilim değeri için ölçümler yapılır. Fırın sıcaklığındaki küçük değişimlerden dolayı, okunan iki gerilim

serisi değerlerinin tamamen aynı sıcaklıkta üretildiği söylenemez. Test termokupulunun ikinci gerilim ölçümüne ait değerler (Birinci ölçüme ait emk tablosu / İkinci ölçüme ait emk tablosu) oranıyla çarpılarak düzeltilir. Test termokupuluna ait emk tabloları referans termometrenin gösterdiği sıcaklığa göre oluşturulur. Test termokupulu için okunan iki değer ortalama alınır ve birinci sıcaklık ölçümü değerine atanır. 10 °C (18 °F) ye kadar olan sıcaklık farklarında 0,1 °C (0,2 °F) den büyük olmayacak bir hata oluşmadan standart referans tablolar kullanılarak düzeltme yapılabilir. Aynı prosedür yükselen kalibrasyon noktalarında tekrarlanır [43].

C Prosedürü : Uygulanacak prosedür şekli kullanılacak düzeneğe bağlı olarak değiştiğinden özel bir prosedür tanımlaması yapılmaz, ancak gerekli önlemler alınmalı ve açıklanan teknikler dikkatle uygulanmalıdır [43].

V.7.4.8.b. Akışkan Yataklı Banyolardaki Termokupullar

Akışkan yataklı banyolardaki termokupulların kalibrasyonuna ait verilerin okunmasına ait prosedür, laboratuvar ortamındaki termokupulların kalibrasyonuna ait olan prosedürle(B prosedürü), hemen hemen aynıdır. Aradaki tek fark referans termometre olarak termokupul yerine dirençli termometre veya cam hazneli sıvı termometre kullanılmasıdır [43].

V.8. ENDÜSTRİYEL DİRENÇ TERMOMETRELERİNİN KALİBRASYONU

Endüstriyel direnç termometrelerinin kalibrasyonunda kullanılan birçok yöntem mevcuttur ve bu yöntemlerin yaygın kullanılanları aşağıda açıklanacaktır. Ancak kullanılan bu yöntemlerin gerçek ortamda gerçekleştirildiği söylenemez. Isı transfer koşulları, termometrenin ortama daldırılma mesafesi, ortam akış oranı vb. gibi faktörlere bağlı olarak değiştiğinden kalibrasyon öncesi bu koşullar dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir [44].

V.8.1. Kalibrasyon Yöntemleri

Direnç termometrelerinin kalibrasyonu, karşılaştırma yöntemi veya sabit noktalar veya her iki yöntem birlikte kullanılarak gerçekleştirilebilir [44].

V.8.1.1. Karşılaştırma Yöntemi

Sıcaklık değeri anlık olarak kalibrasyonu yapılmış bir termometre ile belirlenen izotermal bir blok içerisine yerleştirilmiş test termometrelerinin direncinin ölçümü esasına dayanır. Referans termometre ve diğer yardımcı ekipmanlar, sıcaklık değeri, istenen doğruluk derecesi ve diğer kriterlere bağlı olarak belirlenir. Referans termometre, kalibrasyonu geçerli yöntemler kullanılarak yapılmış, bir termokupul, cam hazneli sıvı termometre, dirençli termometre veya herhangi bir başka termometre olabilir [44].

V.8.1.2. Sabit Noktalar Yöntemi

Saf bir maddenin farklı fazları arasındaki veya saf maddelerin karışımları arasındaki denge durumu sıcaklıklarında, direnç değerinin ölçümü esasına dayanır. Her sabit nokta değeri faz durumlarının dengesiyle belirlenen tek bir sıcaklık değerinde kalibrasyon olanağı sağlar. Sıcaklık, tam olarak tanımlanmış bir maddenin denge durumunun özelliğidir [44].

V.8.2. Kalibrasyonda Kullanılan Banyolar

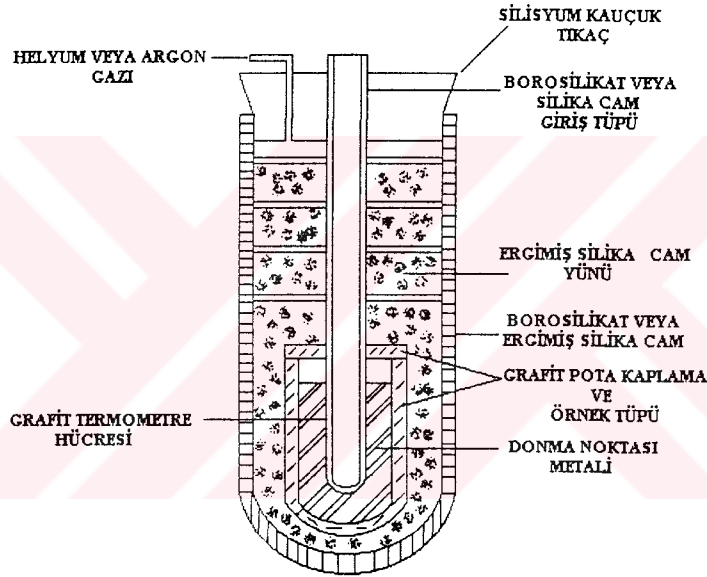
V.8.2.1. Sabit Nokta Banyoları

V.8.2.1.a. Buz Noktası Banyoları

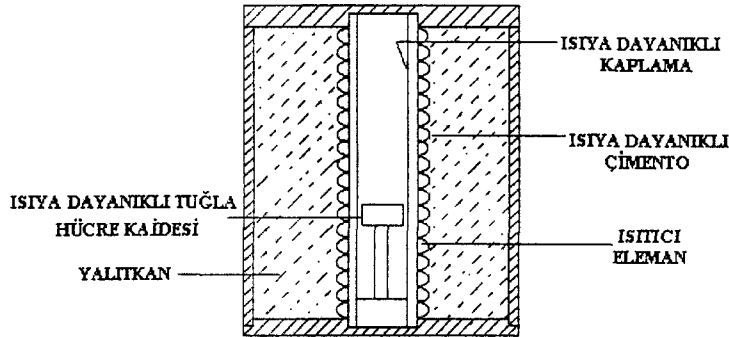
En yaygın kullanıma sahip olan ve en basit olan banyodur. Buz noktası (0 °C) 0,01°C'den daha küçük bir hatayla gerçekleştirilebilir. Geniş ağızlı çift çeperli bir kap, damıtılmış su, ticari buz ve buz parçaları kullanılarak bir buz noktası oluşturulabilir. Banyo, termometre ile termal teması sağlayacak ve buzun yüzmemesini önleyecek ölçüde yeterince suya sahip olmalıdır. Çift çeperli kap derinliği, test termometresi daldırılma derinliğinden en az 25 mm, tercihende 50 mm üstünde daha derin olmalıdır. Termometre banyoya daldırılmadan evvel, test termometresi çapında temiz bir cam çubuk buz noktası merkezinden itibaren yeterli daldırılma derinliğinde daldırılmalıdır. Bu esnada termometre, yardımcı bir buz banyosunda ön soğutmaya tabi tutularak, test banyosuna daldırıldığında termometre etrafındaki buzların daha az erimesi ve termometrenin ölçüm için gerekli olan sıcaklık dengesine daha çabuk ulaşması temin edilir. Daha sonra cam çubuk çıkarılarak termometre banyoya dikkatli bir biçimde yerleştirilir ve değerler kararlı durum sağlandığında değer alınmaya başlanır [44].

V.8.2.1.b. Donma Noktası Standartları

Buz noktası banyosunun yanında, bir çok saf maddenin donma noktası sıcaklıkları da sabit nokta olarak kullanılır. Genel olarak saf maddelerin donma noktaları sabit nokta yapımında tercih edilir. Benzoik asit veya bromobenzen gibi maddelerin donma noktalarında termometrik sabit nokta yapımında kullanılır. Şekil V.5 ve Şekil V.6'da tipik metal donma noktası hücre ve fırın gösterilmiştir. Donma noktası standardını kullanmak için, hücreye sahip fırın metal erime sıcaklığının biraz üstünde bir sıcaklığa getirilir; tamamen ergime gerçekleştikten sonra fırın sıcaklığı donma sıcaklığının altında bir değere düşürülür. Hücre içerisine yerleştirilen termometre aracılığıyla soğuyan metalin sıcaklığı zamanın bir fonksiyonu olarak bulunur [44].

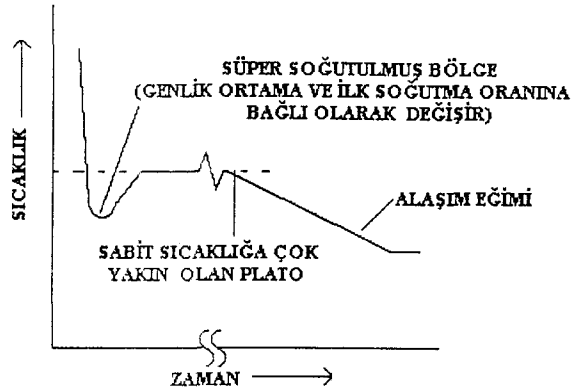


Şekil V.5 Tipik Metal donma noktası hücresi



Şekil V.6 Tipik donma noktası fırını

Şekil V.7’de görülen durgun, düz bölüm metal donma noktasındaki termometre direnç değeridir. Şayet sıcaklık - zaman ölçümlerinde belirtilen durgun, düz bir bölüm elde edilemiyorsa bu durum metalin kirlenmiş olması, iletim kayıplarının yüksek olması veya kullanılan tekniğin zayıf olması anlamına gelir [44].



Şekil V.7 Metal donma noktası hücresi zaman- sıcaklık ilişkisi

Termometre kalibrasyonlarında kullanılan donma veya ergitme hücrelerinde, termometre tabanının hücre tabanıyla temas etmemesine, ancak metalin içine yeterince daldırılmasına dikkat edilmelidir. Bu durumda termometre boyunca oluşacak iletim kayıplarının ihmalî mümkün olur. Termometre tabanı ile dış kısmı arasında sıkı yerleştirilen grafit veya cam tabaka termometre daldırılmasını kolaylaştırır [44].

V.8.2.2. Akışkan Banyolar

Akışkan banyolarda banyo akışkanı aktive edilirken, akışkan banyonun sıcaklığı ısıtılma ve soğutulma miktarları ayarlanarak kontrol edilir. İstenen banyo sıcaklığına bağlı olarak, banyo içindeki hassas bir termometre aracılığıyla ısıtma ve soğutma miktarı belirlenir. Tablo V.2’de yaygın kullanıma sahip olan banyo ortamları ve bunlara ait olan çalışma sıcaklık aralıkları verilmiştir. Banyo ortamı, çalışma sıcaklıklarına uygun ve gerekli kimyasal kararlılıkta olmalı ve ayrıca banyo kabına ve termometre malzemesine karşı dayanıklı olmalıdır. Banyo sıcaklığı sıcaklıkla kararlı, çalışma sıcaklıklarında ise üniform olmalıdır. Banyo kararlılığının tespiti, banyo çalışma alanına yerleştirilen bir referans termometrenin gösterdiği değerlere göre oluşturulan bir sıcaklık-zaman fonksiyonuyla belirlenebilir. Değerlerdeki değişimler banyo kararlılık sınırlarını gösterir. Banyo sıcaklığının üniformluk tesbiti banyo çalışma alanına yerleştirilen referans termometrenin

sabitlenmesi ve eklenecek ikinci bir referans termometrenin farklı noktalarda gösterdiği değerler ile birinci referans termometrenin gösterdiği değerin karşılaştırılması suretiyle gerçekleştirilebilir. İki termometrenin karşılaştırılması sonucu elde edilen değişimler banyonun sıcaklık üniformluğunun derecesini gösterir [44].

Tablo V.2 Akışkan banyo ortamları ve tipik çalışma sıcaklığı aralıkları

Ortam	Sıcaklık Aralığı(°C)
Su	0-100
Hafif Mineral Yağlar	-75 – 200
Halojen	-150 – (-70)
Silikon Yağlar	-100 – 400
Kuru Akışkanlar	75 - 850
Ergimiş Tuzlar	200 – 620
Akışkan Kalay	315 – 540
Galyum-%62,5;İridyum-%21,5;Kalay-%16	15 - ?

V.8.2.3. Su Banyoları

0°C - 100°C aralığında kullanılan banyolardır [44].

V.8.2.4. Tuz Banyoları

200°C - 620°C aralığında kullanılan banyolardır [44].

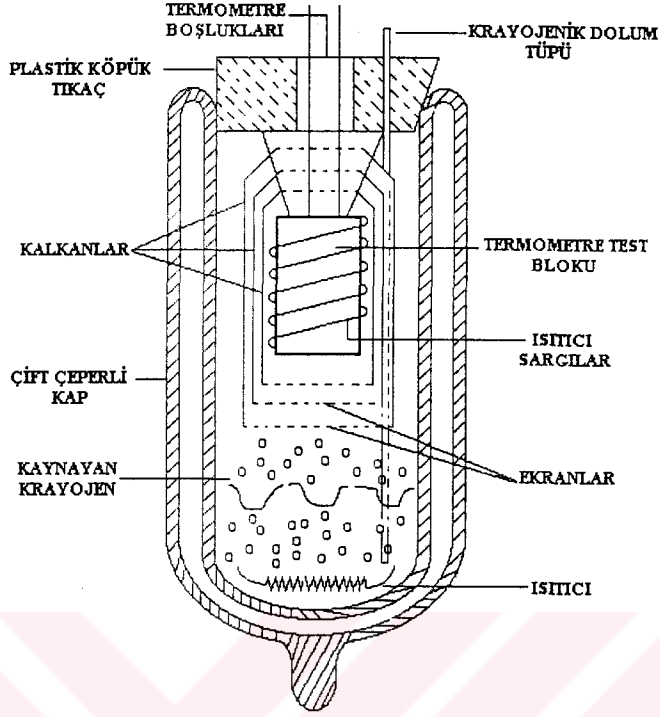
V.8.2.5. Dondurulmuş Banyolar

Ortam sıcaklığının altındaki aralıklarda banyolar, mekaniksel soğutma yöntemi veya krayojenler kullanılarak soğutulabilirler. Bu iş için seçilen akışkanlar sıcaklık aralıklarından etkilenirler, bazı akışkanlar oda sıcaklığında alevlenirken bazılarında zehirli buhar yayarlar. Bu tip akışkanların kullanımında dikkatli olunmalıdır.

V.8.2.6. Buhar Banyoları

0 °C altındaki sıcaklıklarda kullanılırlar. Şekil V.8’de tipik bir buhar banyosu görülmektedir. Test termometresi ve standart termometre izotermal blok içerisinde yer alırlar ve elektrikli bir ısıtıcı blok yüzeyine sarılmış durumdadır. Buharlaştırılan bir krayojenin oluşturduğu buhar, bloğu soğutur. Bloğa uygulanacak birkaç miliwatlık güç ile blok sıcaklığı kalibrasyon için gerekli sıcaklığa getirilir. Bloğun kararlılığı bir elektronik kontrolör kullanılarak sağlanabilir. Kararlı çalışan bir güç

kaynağı krayojen için gerekli olan sabit kaynamayı sağlar. Bloğun boyutuna ve test termometrelerinin sayısına bağlı olarak radyasyon ve akışkan hareketleri ekranları, banyo içerisindeki blok sıcaklığını sabit tutmak amacıyla kullanılırlar [44].



Şekil V.8 Tipik Buhar Banyosu

V.8.3. Kalibrasyonda Kullanılan Referans Termometreler

Referans termometreler sabit noktalar veya başka bir referans termometre kullanılarak test edilmeli ve ölçüm istatistiğinin oluşturulması amacıyla test termometresi ile birlikte başka bir referans termometrenin kalibrasyonunda yapılmalıdır [44].

V.8.3.1. Standart Platin Dirençli Termometreler (SPRT)

ITS-90 (International Temperature Scale of 1990) standartına göre $-259,3467^{\circ}\text{C}$ ile $961,78^{\circ}\text{C}$ arasında kullanılan tavlanmış, saf platin dirençli termometredir [44].

V.8.3.2. Referans Termokupullar

ITS-90 standartına göre kalibrasyonu yapılmış termokupullar referans termometre olarak kullanılabilirler [44].

V.9. RADYASYON TERMOMETRELERİNİN KALİBRASYONU

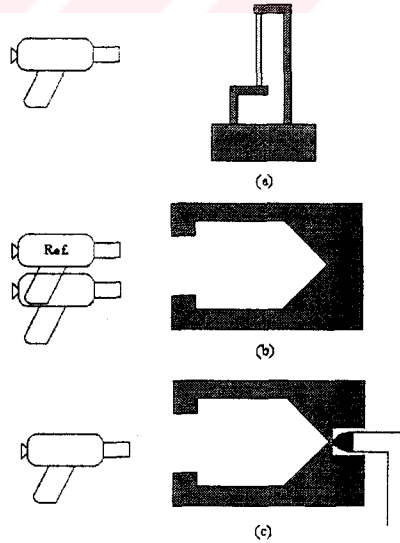
Radyasyon termometrelerinin temel olarak kullanım amacı, doğru sayısal ölçümlerden ziyade endüstriyel işlemlerin gözlemlenmesidir. Daha doğru ve izlenebilir ölçümlere doğru bir eğilimin ortaya çıkmasıyla birlikte, radyasyon termometrelerinin kalibrasyon prosedürlerinde hızlı gelişmeler zorunlu olmuştur. Özellikle direk okumalı termometrelerin kalibrasyonları, emissivite kompanzasyon ayarlamasının doğruluğunu oluşturmali ve ısıtım-sıcaklık ilişkisini belirlemelidir [13].

V.9.1. Kalibrasyon Yöntemleri

Radyasyon termometrelerinin ITS-90 ye göre izlenebilirliği Şekil V.9'da gösterilen üç zincir kullanılarak elde edilebilir [13].

V.9.1.1. Tungsten Şeritli Lamba Kullanarak

Radyasyon termometresi skalasının oluşturulmasında kullanılan geleneksel yöntemlerden biridir. Tungsten şeritli lamba, transfer standart termometre yardımıyla siyah yüzeye karşı ulusal standartlar laboratuvarında kalibre edilir. Bu aşamadan sonra lamba diğer radyasyon termometrelerinin kalibrasyonu amacıyla ısıtım kaynağı olarak kullanılabilir [13].



Şekil V.9 Radyasyon termometrelerinin kalibrasyonunda kullanılan temel üç izlenebilirlik zinciri: (a) Tungsten şeritli lamba kullanılarak; (b) Transfer standart radyometresi kullanılarak; (c) Termokupul veya dirençli termometre kullanılarak.

Özellikle tungsten filaman kullanan ve 655 nm yakınında kullanılan kaybolan filamanlı termometrelerin kalibrasyonunda tercih edilirler. Ayrıca lamba, bir transfer standart radyometre (655 nm de çalışan) ile irtibatlı şekilde siyah yüzeyin sıcaklığının oluşturulmasında kullanılır. Bu yöntem 655 nm'den çok daha uzun dalga boyuna veya 2 mm den daha büyük görüş alanına sahip termometrelerin kalibrasyonlarında kullanılan en iyi yöntemdir [13].

V.9.1.2. Transfer Standart Radyometresi Kullanarak

Transfer standart radyometrelerinin kararlılığındaki düzeltmelere bağlı olarak, şeritli lambaların sıcaklık skalasının oluşturulmasındaki kullanımı azalmıştır. Bir sabit nokta siyah yüzeyi kullanılarak kalibrasyonu yapıldıktan ve tam olarak karakterize edildikten sonra radyometre, tüm dalga boylarındaki termometrelerin kalibrasyonunu gerçekleştirecek olan bir siyah yüzeyin ışıyım sıcaklığını belirlemede kullanılabilir [13].

V.9.1.3. Termokupul veya Dirençli Termometre Kullanarak

ITS-90'nın platin dirençli termometre kullanılarak oluşturulduğu 960 °C'nin altındaki sıcaklıklarda bir siyah yüzeyin sıcaklığı kalibrasyonu yapılmış bir termokupul veya dirençli termometre kullanılarak belirlenebilir. Bu yöntem siyah yüzey sıcaklığının ölçümünde çok uygun ve ekonomik bir yöntem olmasına rağmen, oyuk içindeki sıcaklık gradyanlarından dolayı önemli hatalara ve belirsizliğe sahiptir [13].

Bu yöntemin platin içeren termokupullar kullanılarak 960 °C ile 1700 °C arasındada kullanılması mümkündür. Ancak bu durumda kalibrasyon zincirinde yeni bir adım olduğundan belirsizlik artacaktır [13].

V.9.2. Tungsten Şeritli Lambalar

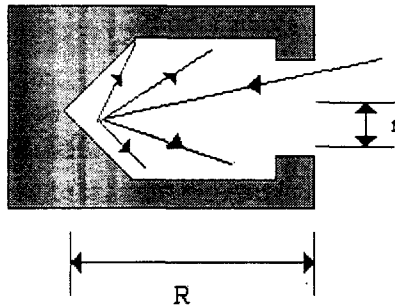
Tungsten şeritli lambalar uzun süre boyunca sıcaklık skalasının radyasyon termometrisi bölümünü oluşturmak amacıyla kullanılmışlardır ve eşdeğer siyah yüzeylere göre daha uygun ve düşük maliyete sahip spektral ışıyım kaynaklarıdır. Şerit lambalar 5 mm ye kadar olan genişlikteki ve 50 mm uzunluğundaki tungsten şeritlerin, ateşe dayanıklı cam içerisine konulmasıyla oluşturulurlar. Lamba ortam sıcaklıklarından etkilenmeyecek şekilde oluşturulur ve cam tüp içerisine filamanın oksidasyonunu ve kirlenmesini önlemek amacıyla bir gaz

konulur. Vakum lambalar 700 °C ile 1700 °C arasındaki uygulamalarda kullanılırlar, şayet tüp içerisine gaz doldurulur ise 1500 °C ile 2300 °C arasında da kullanım mümkün olur [13].

Lambaların kalibrasyonu belirli bir dalga boyu (genellikle 655 nm) için belirlenmiş ışıınım sıcaklığına ulaşmak için gerekli filaman akımı dikkate alınarak yapılır. Işıınım sıcaklığı lamba ile aynı spektral ışıınıma sahip olacak bir siyah yüzeyin sıcaklığıdır. Bir lambanın ışıınım sıcaklığı dalga boyuna bağılı olarak değışir, farklı dalga boylarındaki lamba kullanımlarında düzeltmeler uygulanmalıdır. Lambalarında farklı dalga boylarındaki kalibrasyonu mümkündür. Tungsten filamanın emissivitesi yaklaşık olarak 0,4 olduğundan, lambanın ışıınım sıcaklığı filamanın gerçek sıcaklığından 40 °C – 300 °C arasında daha düşük olur [13].

V.9.3. Pratik Siyah Yüzeyler

Pratik siyah yüzeylerin oluşturulmasının altında yatan prensipler birkaç açıdan önemlidir. Bunların en önemli uygulaması radyasyon termometrelerinin kalibrasyonu amacıyla kullanılmalarıdır. Ayrıca siyah yüzey prensipleri kullanılarak yansıma hataları daha kolay anlaşılabilir veya ortadan kaldırılabilir. Siyah yüzey oluşturulmasına etki eden temel iki faktör vardır. Bunlardan ilki ve en önemlisi siyah yüzey emissivitesi diğeri ise sıcaklık üniformluğudur. Pratik siyah yüzeyler yüzey olmayıp, oyukturlar. Çünkü oyuklar ışığı yansıtmaktan ziyade hapseder ve emerler. Ayrıca gerçek bir yüzeyden daha fazla emissiviteye sahiptirler. Şekil V.10'da basit bir örnek görölmektedir. Oyuk emissivitesinin üst sınır değeri reflaktans değeri dikkate alınarak kolaylıkla belirlenebilir. Oyuk içerisine giren ve arka yüzeye çarpan bir ışık ışıını (hüzmesi) için, geri yansıyan ışığın miktarı iki faktöre bağılıdır. Bunlar; yüzey reflaktansı ve yüzeyin boyutudur.



Şekil V.10 Siyah yüzey oyğunun basit bir örneğı

Buna göre oyukun efektif reflektansı;

$$\rho_{eff} = \rho_s \frac{r^2}{R^2} \quad (V.1)$$

olur. Burada ;

ρ_s : Oyuk malzemesi reflektansı,

r : Açıklık yarıçapı,

R : Açıklıkla oyuk arka yüzeyi arasındaki mesafedir [13].

Emissivite ve oyuk reflektansı ilişkili olduğundan emissivite:

$$\varepsilon_{eff} = 1 - (1 - \varepsilon_s) \frac{r^2}{R^2} \quad (V.2)$$

olarak verilebilir. Emissivite üst sınırını veren bu eşitliğe göre, siyah yüzey kalitesini etkileyen faktörler şunlardır [13]:

- Yüzeyin emissivitesi(ε_s),
- Açıklığın boyutu (r),
- Oyukun boyutu (R).

V.9.4. Radyasyon Termometresi Kalibrasyon Uygulaması Örneği

Radyasyon termometrelerinin kalibrasyonu diğer kalibrasyon prosedürlerinden genel anlamda farklılık içermez. Ancak radyasyon termometrelerini ilgilendiren diğer bazı özellikler aşağıda açıklanacaktır [13].

V.9.4.1. Kayıtların İncelenmesi

Test için sunulan termometrenin modeli, seri numarası ve diğer bilgilerin incelenmesi ile müşterinin adı, adresi ve sipariş numarasının incelenmesi gibi işlemleri kapsar.

V.9.4.2. Göz İle Kontrol

Cihazın durumunun kaydedilmesi amacıyla yapılır. Taşıma sırasındaki hasarların tespiti amacıyla da kontroller gerçekleştirilebilir [13].

V.9.4.3. Koşullandırma ve Ayar

Sayet gerekli ise üretici kitapçıklarına bağlı olarak gerçekleştirilir [13].

V.9.4.4. Jenerik Kontroller

Döngülü karşılaştırmadan önce termometre üzerinde gerçekleştirilmesi gereken birkaç kontrol vardır. Kontrol sonuçlarının aynı yapıdaki ve model numarasındaki tüm termometreler için aynı olması beklenir. Tipik davranışlardan oluşacak sapmalar jenerik davranışlarda da oluşacak bir sapma anlamına gelir ve hatalar ile zararların göstergesi olurlar [13].

V.9.4.4.a. Detaylı Göz İle Kontrol

Radyasyon termometrelerinin pahalı bir kameraya benzediği ve aynı titizlikle ele alınması gerektiği unutulmamalıdır. Termometre merceği; toz, yağ ve çiziklerin olup olmaması açısından kontrol edilmeli, gerekiyorsa temizlenmelidir. Termometre pil ile çalışıyorsa pili kontrol edilmelidir. Termometre radyans (ışınım) ölçümü ve emissivite kompanzasyonunun çalıştığı kontrol edilmelidir. Bu amaçla mat ampule sahip bir masa lambası gözlenebilir [13].

V.9.4.4.b. Kararlılık ve Durulma

Siyah yüzeye maruz kalan termometrenin ilk bir saat sonrasındaki durulma zamanından sonra, termometrenin gösterdiği değerler kararlılık durumunun kontrolü açısından gözlemlenir. Eğer mümkünse, ortam sıcaklığı değiştirilerek ortam sıcaklığına karşı olan duyarlılık saptanır. Bu kontroller özellikle uzun dalga boylu ve dar- bant termometreler için önemlidir. Termometrenin ortam sıcaklığına karşı olan duyarlılığı geniş olur ise belirsizlik hesabına katılır [13].

V.9.4.4.c. Hedef Çapı Etkileri (Size-of-object effects)

Siyahyüzey, kalibrasyon aralığının en yüksek değerine ayarlanarak termometre ile siyah yüzey arasında bulunan ayarlanabilir açıklık, termometre görüş alanı için belirtilen değerden biraz daha büyük bir çap değerine ayarlanır. Termometrenin tam olarak odaklandığından emin olunur ve değer kaydedilir. Bu aşamadan sonra açıklık, görüş alanının en az iki katı kadar açılır ve okunan bu değer kaydedilir. Okunan iki değer arasındaki fark nesne boyutu etkilerinden kaynaklanan belirsizliğin ölçüsü olur [13].

Siyahyüzeyi çevreleyen ortamın, siyah yüzeye göre daha serin olmadığı durumlarda bu test gerçekleştirilemez. Bu nedenle test en yüksek kalibrasyon sıcaklığında gerçekleştirilir. Bir çok radyasyon termometresi için değerler, siyah yüzey açıklığından bağımsız durumda iken görüş alanının 2-3 katı daha fazla

kapatılması gerekir. Bu uzun dalga boylu termometreler için toplam belirsizliğe etki eden önemli bir faktördür. Geniş parlamalar merceklerin zarar görmesi anlamına gelir. Örneğin; 10 μm 'lik koruyucu film tabakalı bir merceğe sahip termometrenin film tabakasında oluşacak bir zarar, 140 °C de 10 °C den daha fazla bir hataya neden olacaktır [13].

V.9.4.4.d. Emissivite Kalibrasyonu

Genel olarak, radyasyon termometrelerinin kalibrasyonu sadece siyah yüzeyler kullanılarak yapılır. Ancak hemen hemen tüm uygulamalarda termometreler, siyah yüzey olmayan yüzeyler için emissivite kompanzasyonu ile birlikte kullanılırlar. Bu tip ölçümlerde emissivite kompanzasyonunun doğruluğu bilinmez ise izlenebilirlik sağlanamaz. Kompanzasyon mekanizmasının doğruluğu aşağıdaki gibi kontrol edilir [13].

Siyah yüzey en yüksek kalibrasyon sıcaklığına ayarlanır ve emissivite kompanzasyonu 1,0 değerine getirilerek termometrenin gösterdiği değer kaydedilir. Termometre ile siyah yüzey arasına bir nötr yoğunluk filtresi yerleştirilir. Böylece görüş alanı en az 2 kat daha fazla kapatılmış olur [13].

Daha sonra emissivite kompanzasyonu, filtreden önceki değeri verecek şekilde ayarlanır. Emissivite ayar değeri kaydedilir. İdeal olarak emissivite değeri filtre geçirgenliği ile aynıdır. Kullanılan nötr yoğunluk filtreleri 0,2 ile 1,0 aralığında geçirgenliğe sahiptir ve kullanılan filtrelerin siyah yüzeye göre daha serin olmasına ve filtre yüzeyinde yansıma olmamasına dikkat edilir. Bu test, kalibrasyon aralığının en yüksek sıcaklık değerinde gerçekleştiğinden ışıyım kalibrasyonu bitiminde gerçekleştirilmesi daha uygun olur [13].

V.9.4.5. Döngülü Karşılaştırma

Kalibrasyonun bu aşamasında, termometre ile ölçülen sıcaklıklar kalibrasyonlu bir ışıyım kaynağı sıcaklıkları ile karşılaştırılır. Döngülü karşılaştırma işlemi temel olarak üç şekilde gerçekleştirilebilir. Bunlar; tungsten şeritli lamba (transfer standart radyometresi ile veya değil), transfer standart radyometresi ve siyah yüzey ile kalibrasyonlu temaslı termometre ve siyah yüzey şeklindedir. Transfer standart radyometresi kullanılarak yapılan döngülü karşılaştırma daha doğrudur ancak iki termometrenin yerlerinin siyah yüzeyi görmesi amacıyla sürekli olarak değiştirilmesi nedeniyle zaman kullanımı fazladır [13].

Radyasyon termometreleri siyah yüzeyi belirtilen görüş alanından en az 2 faktör daha fazla kapatarak görecekte şekilde monte edilmelidir. Bu nesne boyutu etkilerinin okunan değerler üzerinde en az etkiye sahip olması anlamına gelir. Kalibrasyon süresince termometre ön merceğinin siyah yüzey kaynağından farklı bir radyasyon etkisinde kalmamasına özen gösterilmelidir. Diğer lambalar veya oda aydınlatmasından kaynaklanan radyasyonlar termometrelerde ek hatalara neden olurlar. Diğer tüm optik ölçümlerde olduğu gibi kalibrasyon işlemi karanlık bir laboratuvar ortamında gerçekleştirilmelidir. Tungsten şeritli lambalarda karanlık bir laboratuvar zorunludur [13].

Diğer termometrelerin aksine radyasyon termometreleri histerisiz göstermezler, dolayısıyla sıcaklık aralığının alçalan veya yükselen sıralamada yapılmasının bir önemi yoktur. Siyah yüzey fırınları yükselen bir sıralamada daha hızlı olarak kararlı hale geldiklerinden bu yol tercih edilmelidir [13].

Döngülü karşılaştırmada ulaşılabilecek doğruluk, seçilen izlenebilirlik zincirine bağlı olarak değişir. Siyah yüzey ve temaslı termometre referans radyans olarak kullanıldığında; siyah yüzey oyuğundaki termal gradyanlar ve radyans kayıplarından dolayı belirsizlikler oldukça fazla olacaktır. Kalibrasyon için transfer standart radyometresi veya tungsten şeritli lamba kullanıldığında; test altındaki termometrenin çalışma dalga boyuna bağlı olarak belirsizlik çok küçük veya büyük olabilir. Transfer standart termometreler ve şerit lambalar radyans (ışınım) sıcaklığına bağlı olarak kalibre edildiklerinden, emissiviteyi 1,0 kabul edilir. Şayet ışınlam kaynağının emissivitesi 1,0 değil ise ışınlam sıcaklığı dalga boyuna bağlı olarak değişir. Bu durum yaklaşık olarak 0,4 emissiviteye sahip şerit lambalarda ciddi bir problem teşkil eder. Şerit lambalar kullanıldığında dalga boyuna bağlı değişimi düzeltmek için bir düzeltme yapılmalıdır [13].

V.9.4.6. Analiz

Tüm veriler toplandıktan sonra termometre için en iyi ITS-90 ilişkisini belirlemek amacıyla sonuçlar irdelenir [13].

V.9.4.7. Belirsizlikler

Kalibrasyon belirsizliğine eki eden faktörler şunlardır:

- Referans termometre okuma belirsizliği: Bu belirsizlik değeri referans termometre veya tungsten şeritli lamba sertifikası üzerinde belirtilir.

- Kalibrasyon ortamının kararlılık ve üniformluğundaki değişimler: Bu faktör uygulanan izlenebilirlik zincirine bağlı olarak değişir:
 - Transfer standart radyometresi ve tungsten şeritli lamba kullanılması durumunda büyük belirsizlik kaynağı, ışıyım sıcaklığı düzeltimidir.
 - Transfer standart radyometresi ve siyah yüzey bulunması durumunda, transfer standart radyometresi test altındaki termometreden görünen ışıyımı ölçer ve döngülü karşılaştırmada çok az bir hata söz konusu olur. Şayet siyah yüzey emissivitesi bilinmiyor ise oyuğun ışıyım sıcaklığından dolayı bir belirsizlik var demektir. Bu belirsizlik çok uzun dalga boylu termometreler ve düşük doğruluklu siyah yüzeylerde önemlidir.
 - Temaslı termometre ve siyah yüzey kullanılması durumunda, temaslı termometre tarafından gözlenen bir siyah yüzeyin ışıyım sıcaklığındaki değişim iki faktöre bağlı olarak değişir. Bunlar; oyuk içerisindeki sıcaklık üniformluğunun derecesi ve temaslı termometre ve oyuk arasındaki yakınlık ile oyuk tarafından yayılan enerjidir.
- Belirlenen ITS-90 ilişkisinden olan sapmalar.
- Kayma belirsizliği: Girişim filtresine sahip termometreler için kayma, yıllık %1 (Işıyım olarak) veya daha fazla olabilir. Termometrelerin iyi monte edildiği birçok geniş-bant termometreler için kayma ihmal edilebilir. Bu nedenle kayma belirsizliği sıfır olarak kabul edilebilir.
- Histerisiz belirsizliği: Birkaç saniyeden daha az olan termometre cevap verme zamanı dışında, radyasyon termometrelerinde histerisiz etkileri olmamalıdır. Bu belirsizlik sıfır kabul edilir. Şayet histerisiz gözlenir ise cihaz hatalı olacaktır.
- Parlama belirsizliği: Termometrelerde bulunan en büyük kalibrasyon belirsizliğidir. Termometreler farklı boylardaki birçok nesnenin sıcaklığının ölçümünde kullanılırlar ve nesnenin etrafındaki sıcaklık daha sıcak veya soğuk olabilir. Kalibrasyonda en iyi yaklaşım belirlenen görüş alanının en az faktör iki ile kaplanmasıdır. Belirsizlik tam olarak (çap olarak) kaplanan görüş alanı ile faktör iki ile kaplanan görüş alanının gösterdiği değerler arasındaki farktır. Bu durumda ITS-90 ilişkisi ideal kullanıma karşılık olur ve belirsizlik

nesneyi çevreleyen ortamın daha sıcak ve soğuk olduğu durumdaki kullanımları kapsar.

Referans ve transfer standart radyometreler için bu belirsizlik sıfırdır. Çünkü bu termometreler siyah yüzeyin sıcaklığını ölçerken ideal koşullarda kullanılırlar. Küçük nesne boyutu etkileri olması göz önüne alınarak siyah yüzey açıklığı kalibrasyon koşulu olarak sertifika üzerine yazılmalıdır. Bu durumda termometre kullanıcısı farklı kullanımlar için belirsizliği bulabilir.

- Toplam belirsizlik: Kalibrasyondaki toplam belirsizlik, tüm belirsizlik faktörleri dikkate alınarak hesaplanır [13].

V.9.4.8. Son Kayıtlar

İlk aşamada kalibrasyonla ilgili sertifika düzenlenip düzenlenmeyeceğine karar verilir. Şayet 2-7 aşamaları arasında beklenen davranış görülmez ise sertifika verilmez. Şayet müşteriye sertifika verilmez ise nedenini açıklayan bir açıklama verilmelidir. Sertifika düzenlensin veya düzenlenmesin, termometreyle ilgili bilgiler belli bir süre saklanmalıdır. Kalibrasyon yeterli görülür ise bir kalibrasyon sertifikası hazırlanarak bir kopyası dosyada saklanmalıdır. Müşteriye fatura hazırlanır ve işlem sonlanır [13].

BÖLÜM VI UYGULAMA

VI.1. CAM

VI.1.1. Giriş

Cam, insanlar tarafından çok eski tarihlerden beri kullanılan bir malzemedir. Tabii cam olan obsidian, ilk çağlarda ok ucu, mızrak ucu, bıçak gibi kesici aletlerde kullanılmıştır. Suni olarak eritildiğinde bilinen ilk cam, süs aletleri ve boncukların yüzeylerinde emaye olarak kullanılmıştır. Günümüze ulaşan ve tamamı cam olan en eski kap ise M.Ö. 7000 yıllarına aittir.

Tüm çağlar boyunca üretilen ve kullanılan cam en büyük gelişmeyi 1900'lü yıllarda yapmıştır. Yeni üretim tekniklerinin geliştirilmesi ve yeni cam kompozisyonlarının bulunmasıyla bugün yaklaşık 700 farklı kompozisyon, optik elyaftan pencere camına kadar pek çok farklı kullanım sahası için ticari olarak üretilmektedir. Günümüzde cam, şişe, kavanoz, pencere camı, bardak, elektrik ampulü gibi günlük kullanım dışında cam yünü ve cam elyaf olarak ısı, ses ve su izolasyonunda, optik elyaf ile telekomünikasyonda, ayrıca elektronik sanayi ve pek çok farklı uygulamasıyla uzay sanayinde kullanılmaktadır [45].

VI.1.2. Camın Tanımı

Cam amorf yapılı bir katıdır. En önemli özellikleri, transparan olması, bir çok kimyasal madde ile reaksiyona girmesi ve sert olmasıdır. En kötü özelliği ise kırılğan olmasıdır. Cam oda sıcaklığında tam bir elastik katıdır.

Camın en çok rastlanan tarifi 1945 tarihlerinde ASTM tarafından teklif edilen tanımdır. Bu tanıma göre; "Cam bir inorganik ergitme ürünüdür." Bugün gliserin gibi bazı organik malzemelerden de cam elde edildiğinden, ayrıca ergitmenin yanı sıra başka metotlarla da cam yapıldığından bu tarif her zaman geçerli değildir, ancak, ticari olarak üretilen pek çok cam bu tarife uygun olarak üretilmektedir [45].

VI.1.3. Camın Yapısı Ve Ana Bileşenleri

SiO_2 (Silika) pek çok ticari camın ana bileşeni olup, ticari açıdan en yaygın üretilen cam Soda-kireç-silis camlarıdır. Ticari bir soda-kireç-silis camında, başta SiO_2 (Silika) olmak üzere alkali ve toprak alkali metal oksitleri ile Al_2O_3 ve Fe_2O_3 gibi + 3 değerlikli iyonların oksitleri mevcuttur. Bunlar nihai camda istenen fiziksel ve kimyasal özelliklere veya camın üretim prosesini gerektirdiği bazı özelliklere göre belirli oranlarda camın bileşimine katılırlar. Diğer bir deyişle söz konusu olan oksitlerin her biri miktarlarına bağlı olarak, cama gerek nihai üründe gerekse üretim sırasında etkin bazı özelliklerini verirler [45].

Bu noktadan hareketle cam içinde yer alan oksitler başlıca üç grupta incelenirler:

1. **Cam yapıcılar:** Ağ yapıcı olarak adlandırılan oksitlerdir. SiO_2 en önemlisidir.
2. **Akışkanlar:** Cam harmanında düşük sıcaklıkta reaksiyon veren oksitlerdir. Genellikle alkali metal oksitleri (Li_2O , Na_2O , K_2O) bu gruba girerler. Akışkanlarca zengin camların kimyasal dayanıklılıkları düşüktür.
3. **Stabilizatörler:** Cama yüksek kimyasal dayanıklılık veren oksitlerdir. Ayrıca, akışkanlarla birlikte, camın şekillendirilmesi için önemli olan işleme özelliklerini kontrol ederler. CaO , MgO , BaO , vb. en önemlileridir. Al_2O_3 de camın suya karşı dayanıklılığını artırıcı etkisi nedeniyle bu grupta yer alırlar.

Ana grupları belirlenen oksitlerin başlıcalarının açıklamaları ve temel kaynakları aşağıda verilmektedir:

Silika (SiO_2) : Ana cam yapıcıdır. Camlarda %50-80 oranında bulunur. Kristal silikanın erime sıcaklığı çok yüksek ($1713 \pm 5^\circ\text{C}$), sıvı silikanın akışkanlığı düşüktür (10^7 poise). Ana kaynağı kumdur. Camın viskozitesini ve kimyasal dayanıklılığı artırır, ısı genleşme katsayısını düşürür.

Boroksit (B_2O_3) : Diğer bir cam yapıcı oksittir. Kompozisyona girerek geniş uygulama alanına sahip bir cam türü olan borosilikat camları oluşturur. Ergime işlemini kolaylaştırır, kimyasal dayanıklılığı artırır, düşük ısı genleşme sağlayarak ısı şok dayanıklılığını artırır. Çizilmeye karşı dayanıklılığı dolayısıyla mekanik dayanımı artırır. Ana kaynakları kolemanit, boraks ve borik asittir.

Na₂O : Erimeyi kolaylaştırır ve camın vizkositesini derhal düşürür. Kimyasal dayanıklılığı ve mekanik mukavemeti düşürür, ısı genleşme katsayısını artırır. Başlıca kaynağı doğal ve yapay sodadır.

K₂O : Camın parlaklığını ve elektriksel direncini artırır. Na₂O etkilerine sahiptir, başlıca kaynağı K₂CO₃'tür.

CaO : Camda yüksek miktarda mevcut olduğunda cama ergimiş halde iken akışkan fakat, soğutulduğunda çabuk sertleşen bir özellik verir. Başlıca kaynağı kalkerdir.

MgO : CaO'e benzer özellikler gösterir, camın havaya karşı mukavemetini artırır. Tabiatda CaO ile beraber bulunur.

Al₂O₃ : Camın kimyasal dayanıklılığını ve viskositesini artırır. Ana kaynağı Feldspat, nefelin, siyanit veya alüminedir [45].

VI.1.4. Cam Kompozisyonları

Pratik olarak bakıldığında cam bir oksitler karışımı olarak düşünülebilir. Bu oksitlerin cinsi ve miktarları camın kompozisyonlarını oluşturur.

Camın kompozisyonları belirlenirken aşağıdaki hususlara dikkat edilir:

1. Nihai üründe aranılan özellikler: Camın kimyasal dayanıklılığının yüksek olması, genleşme katsayısının düşük olması vb. fiziksel ve kimyasal özellikler.
2. Eritme koşulları: Örneğin, kolay erimesi istenilen camlarda akışkanların yüksek olması.
3. Şekillendirme koşulları: Örneğin, camın “uzun” veya “kısa” olması.
4. Fiyat.

Yukarıda belirlenen dört ana etken belirli taviz dengeleri içerisinde yorumlanarak, cam kompozisyonları saptanır [45].

Belirli mamul türleri için cam kompozisyonları dünyanın her yerinde birbirine benzerdir. (Tabiidir ki, doğal kaynaklar vb. etkilerle bazı sapmalar olacaktır.) Değişik mamul türleri için (düz cam, şişe, kavanoz, ısıya dayanıklı cam vb.), camda aranılan özellikler farklı olduğundan, farklı cam kompozisyonları uygulanmıştır. Örneğin; Şişe, kavanoz gibi camlarda ~ %1,2 civarında olan Mg, düz camda %3,5'dur. Çünkü düz camın şekillendirilmesi kristalleşme sıcaklığına yakın sıcaklıklarda yapılır. Camın bu sıcaklıklarda kristalleşmesini engelleyebilmek için kompozisyona camın kristalleşmeye karşı temayülünü azaltıcı bir oksit olan MgO

katılır. MgO ayrıca camın atmosfer koşullarına karşı kimyasal dayanıklılığını artırır. Isıya dayanıklı camlarda ısı genleşme katsayısını düşük tutmak için cama B_2O_3 katılır ve yine aynı gerekçeyle, erimeyi güçleştirmesine rağmen, Na_2O miktarı düşük tutulur [45].

Kompozisyon seçimi yapılmış bir cam için, kompozisyonu sağlayacak hammaddeler tespit edilir, bunlar sağlanır, uygun miktarlarda tartılır, yeterli düzeyde karıştırılır (Harman) ve eritilmek üzere fırına verilir [45].

VI.1.5. Camın Koşullandırılması

Bütününde hammadde ve harmanla başlayıp ürünün ambara teslimine kadar uzanan cam üretimi sürecinde, “ergitme”, “koşullandırma” ve “şekillendirme” ana başlıkları altında ele alınan işlemler zincirinin ortasındaki halkayı oluşturan camın koşullandırılması, ürünün niteliğini etkileyen en önemli unsurlardan biridir. Tasarımdan süreç kontrolüne, refrakter kalitesinden ekipman seçimine kadar birçok konuda hassas ve ileri teknoloji gerektiren bu proses, son yıllarda üzerinde en çok durulan konuların başında gelmiş ve çeşitli gelişmelere sahne olmuştur [46].

Üretim zincirinin ortasındaki halkayı oluşturan camın koşullandırılması, değişen fırın şartları ve çekiş hızlarında, camın ısı ve kimyasal homojenitesinin düzenlenerek damlanın belli bir ürün için sabit bir sıcaklık, ağırlık ve şekilde üretim makinalarına hazırlanmasıdır. Camın koşullandırılması işlemi, “çalışma havuzu”, “forehearth” ve “feeder” ana birimlerinde gerçekleştirilmektedir. Bu birimlerle sağlanan etkin koşullandırmanın temel hedefi ise, pazarın talebi doğrultusunda uygun kaliteyi sağlamak ve bu kaliteyi olabildiğince düşük maliyetlerle üretmektir [46].

Etkin koşullandırmayla beklenen, uygun kalitede ürünün elde edilmesi için öncelikle damla oluşumunun sağlanmasıdır. Nitelikli damla oluşumunda etken faktörler ise, sıcaklık, ısı ve kimyasal homojenite, ağırlık ve şekildir. Bu faktörler, etkin koşullandırmanın sonucu olarak elde edilen damlanın niteliğini tanımlamakla birlikte ürünün şekillendirme kalitesine de doğrudan yön vermektedirler. Dolayısıyla damla niteliğini tanımlayan bu faktörlerin kontrolü ön plana çıkmaktadır. Bu kontrol mekanizmasının ana basamakları, forehearth’taki camın ısı homojenitesinin, cam akışının ve damla oluşumunun kontrolüdür. Bu kontrol mekanizmasının bağlı olduğu temel düşünce, forehearth cam çıkış sıcaklığını, dış etkenlerden bağımsız olmak koşuluyla sabit tutabilmek ve cam ısı homojenitesini denetim altına alabilmektir. Bu yaklaşımın ortaya konmasıyla elde edilecek kazanım ise, forehearth cam çıkış

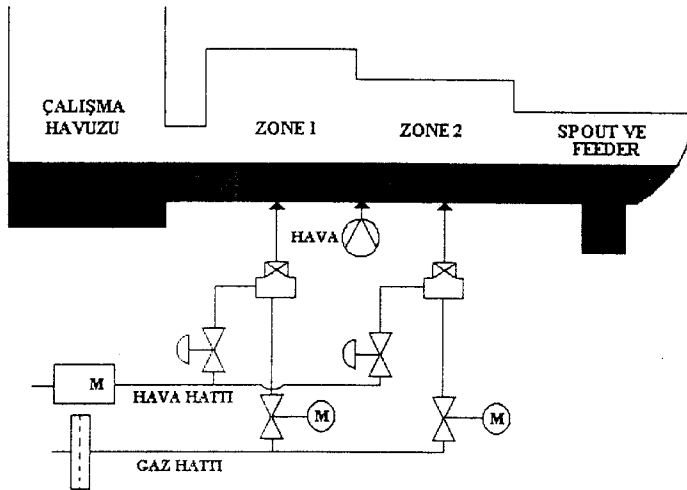
sıcaklığının ısı homojenitesinin asgari zaman ve sapma ile arzu edilen değerlere getirilmesi ve herhangi bir ürün değişikliğine gidildiğinde yeni koşullar için en kısa sürede dengeye ulaştırılmasını sağlamaktır [46].

Tüm bu karakteristik belirlemelerin yanında, dış etkenlerin etkileri de bu yaklaşımın önemli bir parçası olarak ele alınmalıdır. Bu etkenlerin içinde en önde geleni foreheart'a giren cam sıcaklığının etkisidir. Foreheart giriş cam sıcaklığının etkisi, esasında ergitme fırınında veya çalışma havuzunda hedeflenmiş arzu edilen sıcaklık değerlerindeki sapmalardan veya kontrol dışı sürekli değişimlerden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla, foreheart'a gelirken camın geçirdiği tüm aşamaların değerlendirilmesi, irdelenmesi ve hedeflerin sürekli kontrolü gerekmektedir. Böylelikle, camın ergitilmesinden başlayarak şekillendirmesine giden yolda, foreheart'ın koşullandırmadaki yeri gerçek anlamda ortaya konulabilir.

VI.1.5.1. Forehearth ve Feeder

F.H. fonksiyonu, fırında ergitilmiş camı imalata uygun sıcaklığa ve akışkanlığa getirmek üzere ısıtmak veya soğutmak ve bu şekilde şartlandırılmış camı feeder mekanizmasına iletmektir. F.H. iki temel kısımdan oluşur:

- 1) Soğutma bölümü: Bu bölümde camı hem ısıtma hem de soğutmak mümkündür.
- 2) Şartlandırma bölümü (Dengeleme bölümü): Bu bölümde camı sadece ısıtmak mümkündür.



Şekil VI.1 Camın koşullandırılması

Camın F.H. içinde ilerlerken ısıtılması veya soğutulması ancak cam yüzeyinde sağlanabilir ve cam soğudukça kötü bir ısı iletkeni olduğundan cama iyi

bir şekilde ısı verilebilmesi veya alınabilmesi için cam yüzeyinin yeterince akışkan tutulması gerekir [46].

F.H. ta soğutma bölümünden çıkan camın ortam sıcaklığının, imalat için uygun bir sıcaklıkta olması gerekir. Eğer cama bu bölgede önemli ölçüde soğutma tatbik edilmiş ise cam yüzeyi sıcaklığı dip kısımlarınki sıcaklıktan daha düşüktür [46].

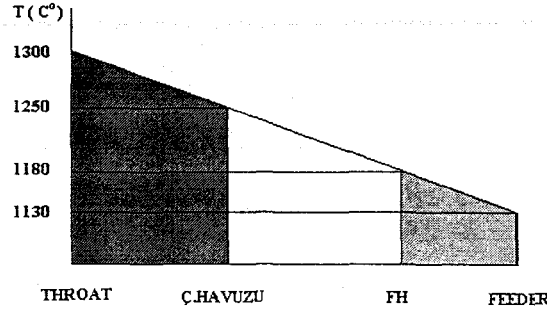
F.H. operasyonlarında maksimum ısı dengesini temin edebilmek için soğutma, soğutma bölgesi içinde eşit bir şekilde tatbik edilmeli ve küçük sıcaklık değişimleri sadece son birkaç feetlik mesafe içinde olmalıdır [46].

F.H. ısı alış veriş yapmasının yanı sıra bir başka fonksiyonu da camı şartlandırması, dengelemesidir. Şartlandırma ve dengeleme, camın sıcaklık ve kompozisyonu açısından homojen hale gelebilmesidir. Şartlandırma bölgesinde camın mümkün olduğunca kararlı bir sıcaklıkta tutulmasına çalışılır. Bunun içinde şartlandırma bölgesinde karıştırıcılar veya spout'ta döner tüp kullanılır [46].

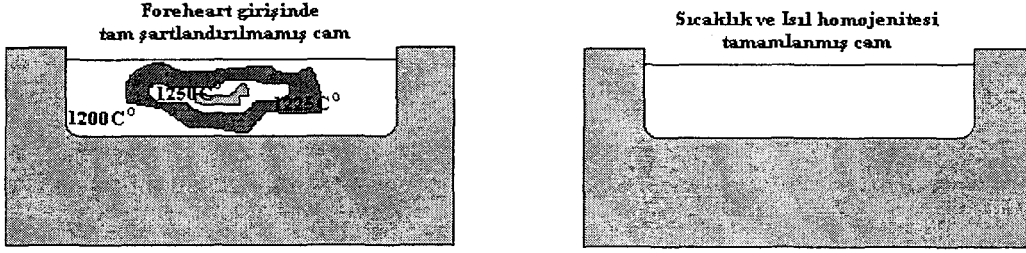
Feeder'e verilen camın sıcaklığında meydana gelebilecek 38 °C'lik bir düşme, camın akışkanlığını iki kat azaltır ki, bu da camın belli bir akışkanlık derecesine göre ayarlanmış makinelerde uyumsuzluğa ve önemli imalat kayıplarına yol açabilir [46].

VI.1.5.2. Koşullandırmanın ve Forehearth'ın Etkinliği

Koşullandırmanın ve forehearth'ın etkinliği, yüksek şekillendirme kalitesinin elde edilmesiyle somut bir anlam kazanmaktadır. Yüksek şekillendirme kalitesi ise doğrudan damlanın niteliğine bağlıdır. İstenen özellikte damlanın oluşması için ön koşul, istenen sıcaklık ve homojenizasyonu tamamlanmış olan camın feeder'e girmesidir. Throat'tan damla oluşumuna kadar geçen zaman diliminde, belirgin bir sıcaklık düşmesi ve dolayısıyla da ısı kaybı söz konusudur. (Şekil VI.2). Koşullandırma sürecinde, çalışma havuzu ve forehearth boyunca yer alan cam kütlesinin söz konusu ısıyı, camın ısı homojenizasyonundan (Şekil VI.3) ödün vermeden kaybetmesi, sürecin felsefesini ortaya koymaktadır [46].



Şekil VI.2 Koşullandırma sürecindeki sıcaklık profili



Şekil VI.3 Sıcaklık dağılımı ve ısı homojenite ilişkisi

Bu felsefenin özünü oluşturan ana hedefler ise, sıcaklık ve homojenite kontrolü ile düzenlenmesi, ürün değişiminde istenen yeni sıcaklık dengelerine kısa sürede ulaşılması ve enerji tasarrufu olarak şekillenmektedir [46].

Isıl homojenitenin sağlanmasında, cam kütesine, uygun bir ısıtma ve soğutmanın uygulanması şarttır. Teorik açıdan değerlendirildiğinde, ısı homojenitenin mükemmel olabilmesi için sonsuz izolasyona ve yeterli zamana ihtiyaç vardır [46].

VI.1.5.3. Forehearth Seçim Kriterleri

Forehearth'daki cam sıcaklığının kontrol edilmesinin ana nedeni, ısı homojenitenin izlenmesiyle birlikte, cam viskozitesinin, yani akışkanlık derecesinin güvenli kontrolünün sağlanmasıdır. Dolayısıyla, cam kompozisyonu ve camın cinsi, forehearth seçimini doğrudan etkileyen ana kriterlerden birisi olarak ele alınmalıdır. Forehearth'ın yakından ve hassasiyetle kontrolü, forehearth işletme hedeflerine ulaşmakta ve kararlı bir yapı elde etmekte çok önemli bir konuma sahiptir. Dolayısıyla yatırımların, koşullandırma prosesinin ve forehearth'ın bütün olarak uygun ve yeterli kontrol sistemini de içeren enstrümantasyonunun niteliği, güvenilirlik, bakım kriterleri ve desteği, yedek ünitelerin yeterliliği, kullanıcıların eğitimi ve sağlanacak destek, etkin forehearth işletmesinin sağlanması yolunda çok önemli bir yere sahip olmaktadır [46].

VI.1.5.4. Forehearth'ın Etkin İşletilmesine Etki Eden Faktörler ve Kontrol Sisteminin Önemi

Forehearth seçim kriterleri, temelde, etkin işletim mekanizmasının ana hatlarını oluşturmaktadır. Dolayısıyla, arzu edilen nitelikli damla hedefine uygun olarak tanımlanan ısı homojenite, verimlilik, kapasite, ürün değişimi, pazar analizi, kontrol yaklaşımı, soğutma ve yakıt sistemleri ile enstrümantasyon kavramlarının etkinliğinin ve yeterliliğinin analizi, forehearth'ın işletilmesine etki eden faktörlerin irdelenmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır [46].

Çağdaş bir kontrol sisteminin oluşturulması ve geliştirilmesi, kontrol hedeflerinin belirlenmesi ile uygun ölçüm ve ayar mekanizmalarının ortaya konması, alternatif çözümlerin tanımlanması ve kontrol sisteminin yapılandırılmasıyla sağlanabilir. Bu kapsam içerisinde, çağdaş bir kontrol sisteminin oluşturulması ve geliştirilmesi için öngörülen mekanizmalar, proses işletme hedeflerinin ortaya konması kontrol sistem hedeflerinin tanımı, proses üzerindeki bağlayıcı koşulların belirlenmesi, dış bozucu etkenlerin karakteristiklerinin ve kaynaklarının tanımlanması ile proses dinamik karakterlerinin detaylandırılması şeklinde ele alınmalıdır. Bu doğrultuda, yakma ve soğutma sistemlerinin etkinliği, yanma koşulları, hava/yakıt oranı ve oksijen seviyesi başta olmak üzere, öncelikle proses işletme hedeflerine ulaşmak için gerekli işletme şartlarının düzenlenmesi ve bununla bağıntılı olarak proses kontrol yapısının oluşturulması sağlanmalıdır. Kontrol sisteminin tutarlı ve kararlı bir yapıyı ortaya koyabilmesi için, kullanılan tüm enstrümantasyon ile doğru sonuçlar elde edildiğinden herhangi bir şüphenin olmaması gerekir. Bu açıdan yaklaşıldığında, cihazların doğru kalibrasyonu ve periyodik bakımların gerçekleştirilmesi temel şarttır. Bütün bu faktörlerin yanı sıra, eleman eğitimi ve karşılıklı iletişimi de içeren insan faktörü göz ardı edilmemelidir [46].

VI.2. PROSES KONTROL SİSTEMİ

Proses kontrolü, Mannesmann (Hartmann&Braun) firmasının bir ürünü olan Contronic P sistemi ile sağlanmaktadır. Bir proses kontrol sistemi olan Contronic P; istasyon adı verilen ve dijital veri haberleşmesiyle birbirine bağlanan mikrobilgisayar tabanlı yapılardan oluşur. Uygulamanın biçimine bağlı olarak yapılacak programla bu istasyonlar çalıştırılır. Sistem, donanım yapıları ve tüm istasyonlar için ortak olan

bir işletim sisteminden oluşur. Bireysel otomasyon fonksiyonları önceden programlanır ve istasyon bellek ünitesinde saklanır. Fonksiyonların tanımlanması (Konfigürasyon), parametrelerin girişi ve giriş çıkış yönlendirilmesi, ekran diyalog modunda gerçekleştirilir. Proses istasyonları, kapalı çevrim kontrolü, açık çevrim kontrolü ve gözlem işlemi otomasyon fonksiyonlarının sistem temelini oluşturur. Bu istasyonlar, modüler olarak genişletilebilen alarm devrelerine ve aktüatörlere bağlı olan Proses Kontrol Kartlarına sahiptirler [47].

Arabirim analog ve binary sinyalleri veri işlemi amacıyla dijital sinyale çevirir ve birincil elemanlar için gerekli olan besleme gerilimini sağlar. Proses istasyonlarındaki gözlem ve işletim işlemi V.24 Seri arabirim kullanılarak yerel operatör panelleri aracılığıyla gerçekleştirilir. Proses istasyonlarında doğabilecek bir hata durumunda başka bir işletim moduna geçilmemesini sağlamak amacıyla Yedekleme İstasyonları kullanılır. Bu amaçla bir yedekleme istasyonu dört proses istasyonuna atanır [47].

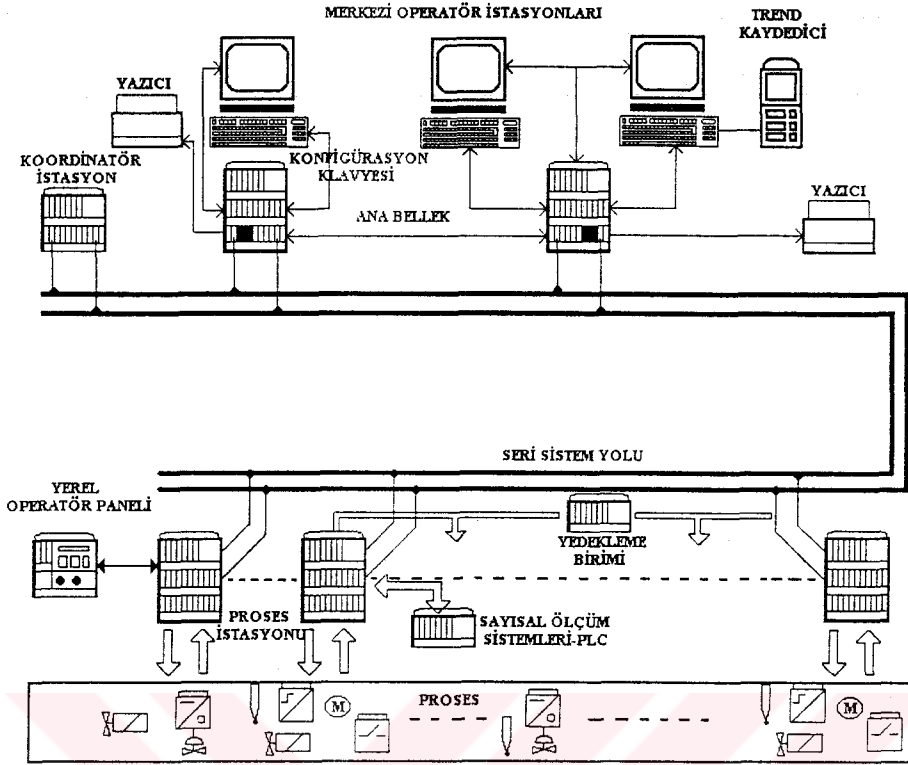
Seri sistem yolu, koaksiyel kablo kullanılarak dağıntık proses istasyonları arasındaki bağlantıyı sağlar ve merkezi istasyonlar ile haberleşmeyi sağlar. Veri transferi döngüsel olarak kontrol edilir ve veri kontrol birimince gözlenir [47].

Merkezi operatör istasyonları, proses verilerinin optimal gösterimi, proses sahasının gözlenmesi ve hızlı merkezi işlem için; sistem yolu ile tüm sistem verilerine ulaşımı sağlar. Bir yol sistemi üzerine birden fazla merkezi işlem istasyonu direk olarak, seçilebilir hiyerarşik olarak veya yedekleme amacıyla paralel olarak atanabilir [47].

Proses istasyonları ve operatör istasyonlarının yanı sıra sistemde bulunan koordinatör istasyon; kullanımı özel fonksiyonları gerçekleştirir. Ayrıca koordinatör istasyon büyük proses kontrol sistemlerinde, proses istasyonlarının birbirine bağlanması ve çok kademeli fonksiyonel hiyerarşi oluşturmak amacıyla kullanılır [47].

VI.2.1. Proses İstasyonları

Kapalı-çevrim, açık-çevrim ve gözlem otomatik fonksiyonlarının fonksiyonel birimlerinden oluşur. Karmaşık ve geniş işletmelerde birkaç birim olarak kullanılabilir ve bu birimler bir sistem yolu üzerinden birbirine bağlanırlar. Sistem yolu operatör istasyonları ile hızlı veri değişimini sağlar.

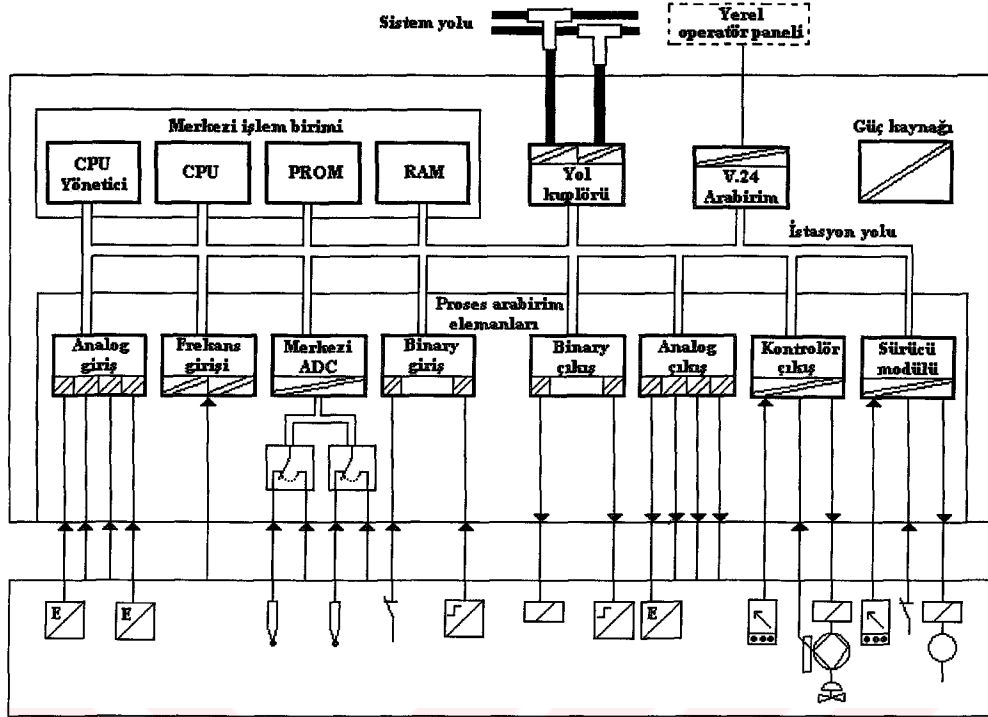


Şekil VI.4 Contronic P genel sistem yapısı

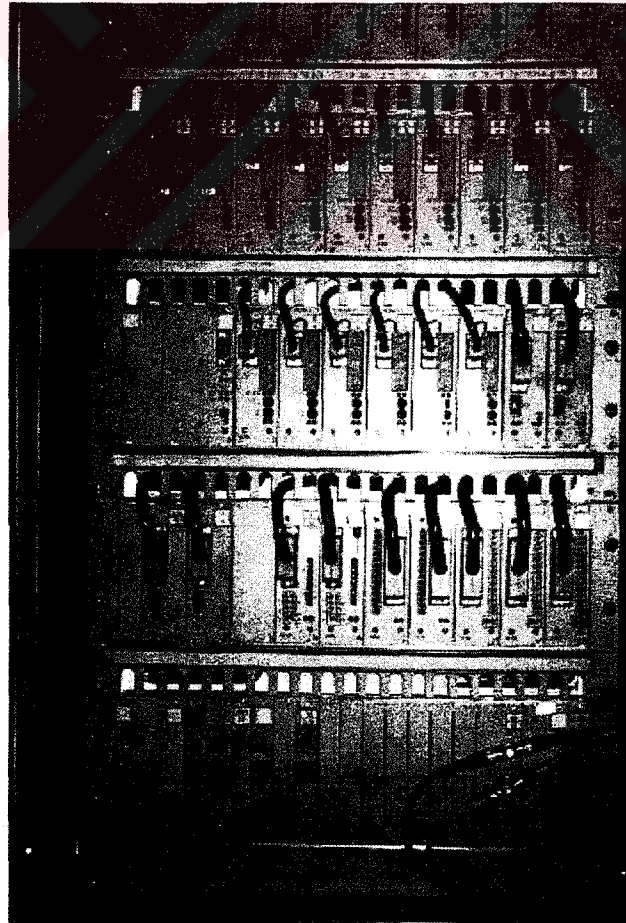
Tüm proses istasyonları aynı temel yapıya sahiptirler. Farklı fonksiyonel gereksinimler (Kapalı-çevrim kontrol, Açık-çevrim kontrol, Gözlem v.b.) aynı donanım yapısında ancak farklı fonksiyon yazılım modülleri kullanılarak gerçekleştirilir. Proses istasyonu hafızalı merkezi işlem birimi (CPU), proses arabirimi ve istasyon yolu ile dahili olarak bağlanan haberleşme elemanlarından oluşur. 16 bit işlemciye sahip olan işlemci, istenen proses fonksiyonlarının gerçekleştirilmesinin kontrolünün gerçekleştirir. Proses fonksiyonları ve işletim sistemi sadece okunabilir bellekte (ROM) saklanır. Proses istasyonu içerisindeki universal veri değişimi istasyon yolu ile gerçekleştirilir. İstasyon seri sistem yoluna yol kuplörü aracılığıyla bağlanır. V.24 (RS 232), yerel operatör panellerinin bağlantısını sağlayan bir seri veri arabirimidir [47].

VI.2.2. Proses Arabirim Kartları

Sinyal işlemek ve dönüştürmek amacıyla CPU ile proses arasındaki bağlantıyı sağlar. Birincil elemanlardan (transmitter, kontak vb.) veriyi alarak geribildirim bilgilerini ve düzeltme komutlarını prosese gönderir [47].



Şekil VI.5 Proses istasyonu prensip şeması



Şekil VI.6 Proses arabirim kartları

VI.2.3. Koordinatör İstasyon

Hiyerarşik yapıdaki otomasyon fonksiyonlarının gerçekleştirildiği otomasyon sistemlerinde kullanılırlar. Bireysel olan proses istasyonları arasındaki fonksiyonel bağlantıları gerçekleştirir ve kendisine bağlı olan proses istasyonlarının durumunu tarar. Bu amaçla, koordinatör istasyon proses istasyonunun aksine, kendisi sistem yolu üzerinden veri transferi başlatabilir. Koordinatör istasyonu, proses istasyonundan ayıran bir diğer fark proses arabirim kartlarına sahip olmamasıdır. Kendi bellek yapısına sahip olan koordinatör istasyon, gerektiğinde ek bellek birimleriyle de kullanılır ve proses verilerine sistem yolu üzerinden ulaşır [47].

VI.2.4. Merkezi Operatör İstasyonları

Merkezi operatör istasyonları ile proses istasyonları arasındaki haberleşme, seri sistem yolu üzerinden gerçekleştirildiğinden operatör istasyonları, sistem içerisindeki tüm verilere ulaşabilirler [47].

VI.2.5. Yerel Operatör Paneli

Proses istasyonunun otomasyon fonksiyonlarının özlenmesi ve işletimi için gerekli gereksinimleri yerel kontrol masaları sağlar. Klavye, hata durum göstergeleri, ölçüm göstergeleri vb. gibi elemanlara sahiptir [47].

VI.2.6. Yedekleme

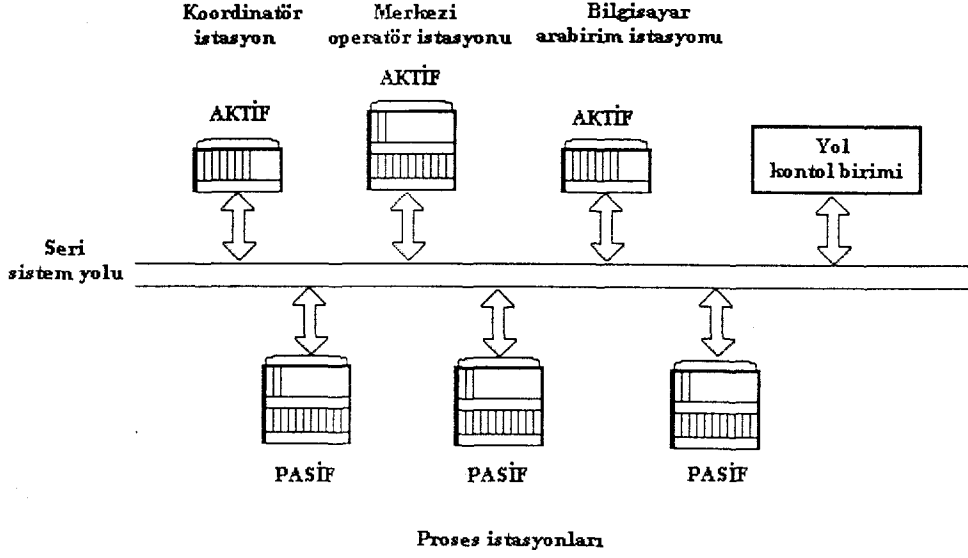
Yedekleme yapısı, yedekleme ünitesi tarafından gerçekleştirilen ve saklanan bir fonksiyonun herhangi bir hata oluşması durumunda kesintisiz olarak gerçekleştirilmesini sağlar.

VI.2.7. Yol Abonelerinin Kuplajı

Conronic P içerisindeki istasyonlar, sistem yoluna birer abone olarak bağlanırlar. Maksimum 127 istasyonun bu şekilde bağlanması mümkündür. Üç farklı tip yol aboneliği vardır. Bunlar; pasif abonelik, aktif abonelik ve yol kontrol birimidir.

Proses istasyonları veri haberleşme sisteminin pasif aboneleridir ve yalnızca sorgulandıklarında cevap verilirler. Merkezi operatör istasyonları, koordinatör istasyonlar ve bilgisayar arabirim istasyonları aktif abonelerdir ve veri değişim işlemlerini başlatabilirler. Yol kontrol birimi ise sistem yolunu çevrimsel olarak aktif

istasyonlara (gerekirse öncelikli olarak) bağlar, ancak proses verilerinin değişimi sürecinde görev almaz [47].



Şekil VI.7 Yol abonelerinin kuplajlanması

VI.3. UYGULAMADA KULLANILAN PROSES ARABİRİM KARTLARI

VI.3.1. Pirometre Arabirim Kartı

Pirometre arabirim kartı olarak, PEA 02 tip Mux Analog Giriş Kartı kullanılmıştır. Bu karta ait özellikler aşağıda verilmiştir.

Özellikleri :

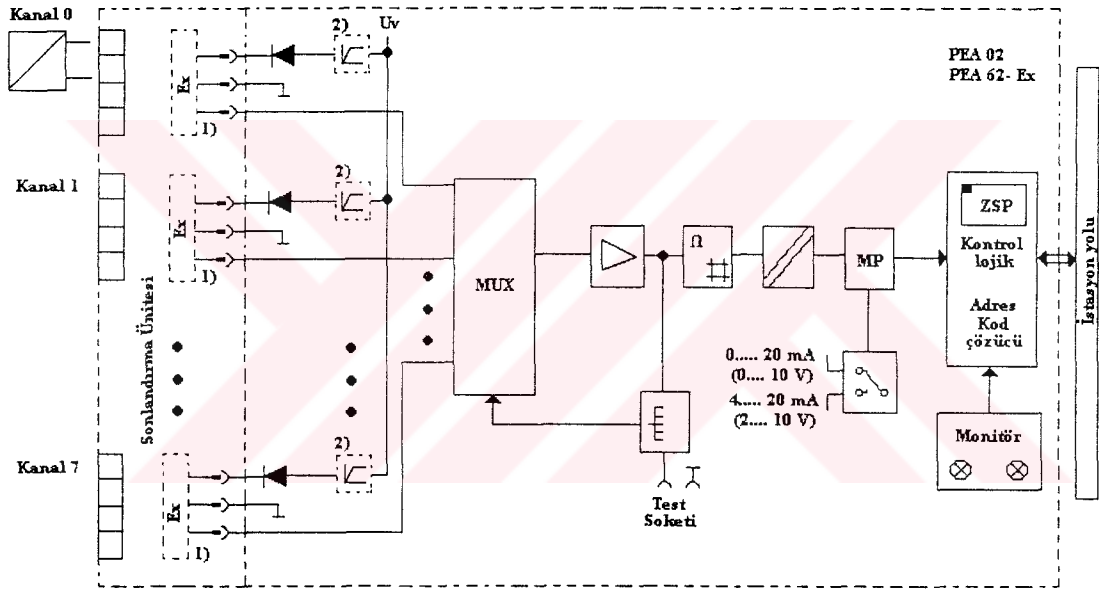
- 8 adet Analog standart sinyal girişi,
- Multiplexer,
- Tüm kanallar için ortak A/D dönüşümü,
- 4- 20 mA ölçüm aralığı için transmitter güç kaynağı,
- Toprağa kaçak denetimi,

Uygulama Alanları

- Hızlı değişim gösteren değişkenlere sahip standart analog sinyallerin toplanması ve sayısallaştırılması. (örneğin; çevrim kontrolü)
- 2 hatlı transmitterler için direkt bağlantı (yalnızca 4-20 mA ölçüm aralığında)

PEA 02 analog giriş modülü, birbirinden bağımsız 8 analog giriş sinyalini işleyebilir. 0-20 mA / 0-10 V ve 4-20 mA / 2 - 10 V ölçüm aralıkları her kanal için ortak olarak seçilebilir. 2 hatlı transmitterler (4-20 mA aralığındaki) modül bir transmitter güç kaynağına sahip olduğundan direk olarak bağlanabilirler [48].

Prosesten alınan giriş sinyalleri sonlandırma biriminde 0/0,2...1V arasında bir gerilime dönüştürülerek modüle girer. Her giriş sinyali multiplexer tarafından 20 ms içerisinde 4 defa toplandıktan sonra tüm kanallar için ortak olan ADC de sayısallaştırılır. Alınan 4 sayısal ölçüm değerinin ortalama değeri, dalgalı gerilimlerin oluşturduğu paraziti önlemek amacıyla hesaplanır. Bu ortalama değer geçici belleğe yazılır. Böylece yenilenmiş ölçüm değerlerine her kanal için 20 ms de bir ulaşmak mümkün kılınır [48].



Şekil VI.8 PEA02 kartının blok diyagramı

Giriş Bilgileri

Analog girişlerin sayısı: 8

Ölçüm aralığı: 4-20 mA, 0-20 mA, 2-10 V, 0-10 V

Ölçüm aralığı seçimi: Tek bir anahtar ile tüm kanallar için ortak.

Ölçüm zamanı (Tek bir veri toplanması): 50 Hz de 20 ms, 60 Hz de 16,67 ms

Terminal gerilimi: > 16,2 V (Açık devre < 23 V)

Kısa devre akımı: 22...28 mA

Toleranslı hat direnci: $R_L = (U_{KI} - U_B) / 20 \text{ mA}$ (U_B : 2 telli transmitter çalışma gerilimi)

İletim hata sınırları: < ±0,25%

Sıcaklık etkisi: 0,12% / 10K

Çıkış Bilgileri :

İstasyon yolu:

Veri: 16 bit paralel

Ölçüm sonuçları: 12 Bit

Çözünürlük $\cong 0,0312\% - 0,5\%$ (4-20 mA , 2- 10 V)

$\cong 0,025\%$ (0-20 mA , 0- 10 V)

Güç kaynağı: +5 V (+24 V)

Güç tüketimi:

Transmitter var iken : 8 W

Transmitter yok iken : 4,5 W

VI.3.2. Termokupul Arabirim Kartı

Termokupul arabirim kartı olarak, PEA 05 tip Merkezi ADC birimi ve PEA 06 tip ölçüm noktası seçici biriminden oluşan Mux Analog Giriş Kartı kullanılmıştır. Bu karta ait özellikler aşağıda verilmiştir [49].

Özellikleri

- Maksimum 256 adet analog sinyal girişi,
- Algılayıcı ile direk bağlantı,
- Konfigürasyona bağlı ölçüm aralığı,
- İntegrasyonlu A / D dönüşüm,
- Otomatik sıfır noktası ve eğim doğrultması,
- 16 (8) 2 – kutuplu (4- Kutuplu) girişli ölçüm noktalı seçim kartları ile modüler birleşim.

Uygulama Alanları

- Gözlem amaçlı uygulamalarda normal ve düşük orandaki değişime sahip analog sinyallerin toplanması ve sayısallaştırılması.
- Termokupul, direnç detektörleri (iki, üç veya dört telli devre), strain gage ve transmitter bağlantıları.

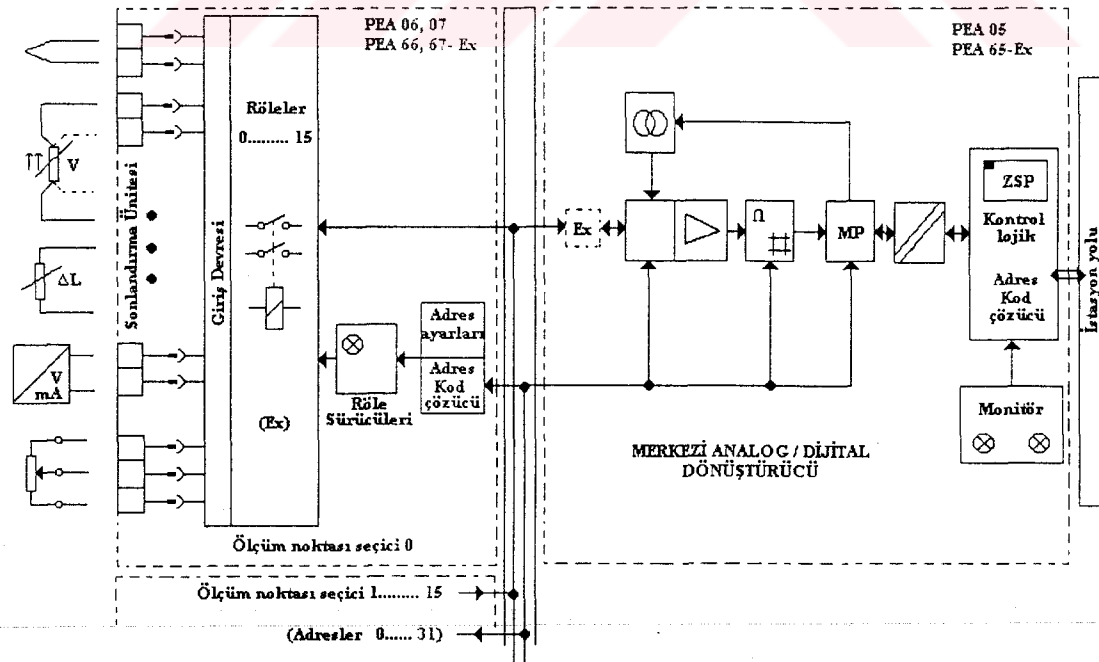
MUX analog giriş kartı, ölçüm noktası seçicileri ve merkezi ADC den oluşur. MUX ile 256 farklı ölçüm noktasından analog sinyaller, saniyede 30 ölçüm noktası tarama oranıyla alınır ve sayısallaştırılır [49].

Merkezi ADC : Her ölçüm noktasından sinyal alınışında, proses istasyonunun merkezi işlem birimi tüm gerekli verileri (kanal adresi, algılayıcı tipi, devre tipi, besleme akımı genliği vb.) 16 bitlik kelimeler olarak Merkezi ADC kartının mikroişlemcisine gönderir. Mikroişlemci ölçüm çevrimine başlar ve ölçüm noktası rölelerinin anahtarlama durumunu, bağlı bulunan algılayıcıları, donanım hatalarını ve A /D dönüşümünü kontrol eder. Ölçüm sonucunu sıfır noktası ve eğim değişimlerini eleyen, belirlenmiş doğrultma değerleri aracılığıyla hesaplar [49].

Her bir ölçüm noktası için tarama zamanı konfigürasyon zamanı olarak tanımlanabilir [49].

Termokupulla yapılan ölçümlerde dahili veya harici referans nokta sıcaklığı ölçümü, direnç detektörüyle yapılan ölçümlerde ise hat dengelemesi, doğrultma hesaplarında dikkate alınır [49].

Ölçüm noktası seçici : Ölçüm noktası seçici 16 giriş röleli elemandan oluşan modüler bir yapıya sahiptir [49].



Şekil VI.9 MUX analog giriş kartı blok diyagramı

Giriş Bilgileri :

Giriş değişkenleri:

Gerilim, Akım, Direnç, Termokupl, Dirençli dedektörler (iki, üç veya dört telli devre), Direnç farkı, Strain gage.

Ölçüm aralıkları:

0... ± 1mV – 0... ± 60V

0... ± 0,1mA – 0... ± 50mA

0... 2,5Ω - 0... 6KΩ

Ölçüm noktası seçicileri

Her bir modül için giriş sayıları:

2 kutuplu anahtarlama bağlantıda 16 adet.

3 ve 4 kutuplu anahtarlama bağlantıda 8 adet.

6- Kutuplu anahtarlama bağlantıda 4 adet.

Röleler: 2 Kutuplu reed röle

Merkezi ADC giriş sayısı: Maksimum 256 (2 veya 4 kutuplu)

İzin verilen maksimum anahtarlama gerilimi: 60 V

İzin verilen maksimum anahtarlama akımı: 150 mA

Kontakların termal gerilimi: < 5μV

Kontaklar arası test gerilimi: 150 V

Kontakların yalıtım direnci: 10¹⁰ Ω

Kontak tipi: Kuru lamalı kontak (Rodyum malzeme)

Kontak direnci: 100 mΩ - 1 Ω

Kontak ömrü: 10⁸ anahtarlama çevrimi

Merkezi ADC (PEA 05)

Yükseltici ölçüm aralığı: 0... ±64 mV, 0... ±1024 mV (R_i >20 MΩ)

Tolerans sınırları: ±0,03% - ± 0,02

A / D dönüşüm: İntegrasyonlu, 16 Bit (İşaret biti dahil)

İntegrasyon zamanı: 50 Hz için 20 ms

Toplam ölçüm zamanı: 30 ms

Çıkış Bilgileri :

İstasyon yolu:

Veri: 16 bit paralel

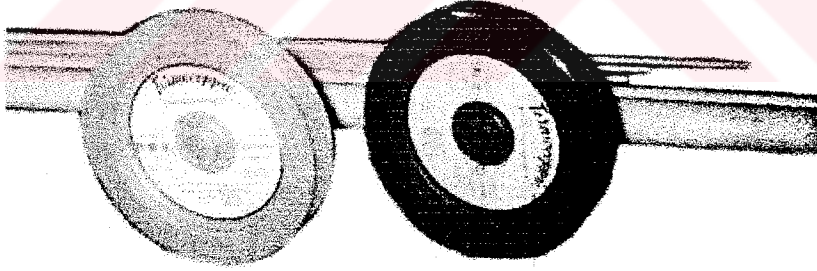
Ölçüm sonuçları: 12 Bit çözünürlük $\cong 0,025\%$

Güç kaynağı: +5 V (+24 V), 9 W

VI.4. TERMOKUPULLARIN HAZIRLANIŞI

1. B Tipi termokupul oluşturmak üzere, 86 cm boyunda termokupul iletkenleri kesilmiştir. Termokupul (+) ve (-) uçlarını oluşturan bu iletkenlerin özellikleri şunlardır:

- **Termokupul iletkenlerini üreten firma:** ENGELHARD (İtalya)
- **(-) ucu oluşturan iletken:** Pt - Rh %6 ; 0,5 mm²
- **(+) ucu oluşturan iletken:** Pt- Rh %30 ; 0,5 mm²
- **Termokupl kompanzasyon kablolarının mutlak hatası:** (-25 °C)- (+100 °C) aralığında ± 4 °C; (+100 °C) - (+200 °C) aralığında ± 4 °C.



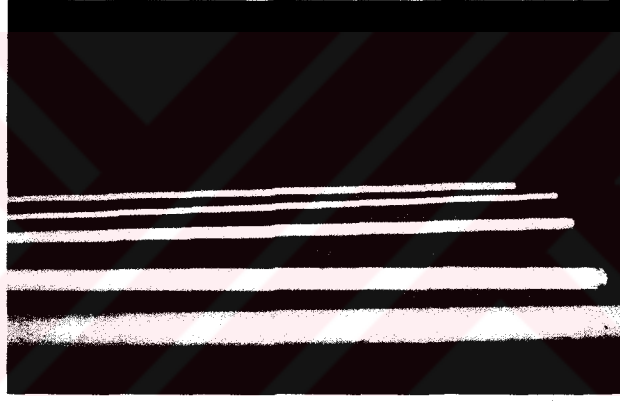
Şekil VI.10 Termokupul iletkenleri ve seramik izolatörler

ITS-90 skalasına göre B tip Termokupul için maksimum ve minimum sıcaklık ve gerilim değerleri ise şunlardır: 0 °C - 1820 °C aralığı için: 0 mV- 13,820 mV'tur.

2. Termokupl iletkenlerinin içinden geçirilmesinde ve izolasyonunda kullanılan seramik malzemeler hazırlanmıştır. Seramik malzemeler iç içe geçen üç ayrı boy ve çaptan oluşmakta, bunlardan birinci seramik malzeme içindeki

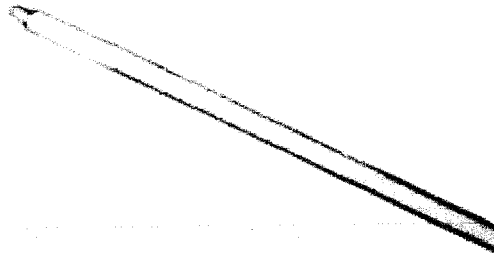
deliklere termokupul iletkenleri yerleştirildikten sonra, bu seramik yapı sırasıyla 2. ve 3. izolatör seramikler içerisine konulmuştur. Seramik malzemeler ile ilgili bilgiler şunlardır:

- **Seramik malzemeyi üreten firma:** Technische Keramik GmBh&Co.Kg (Almanya)
- **Termokupl iletkenlerinin yerleştirildiği seramik malzeme (1. Seramik Malzeme):** Dış ap: 4 mm, iteki delik sayısı: 2, i delik çapı: 1,2 mm, boy: 1 m.
- **1. İzolatör (2. Seramik Malzeme):** Dış ap: 8 mm, İç ap: 5 mm, boy: 1 m.
- **2. İzolatör (3. Seramik Malzeme):** Dış ap: 15 mm, İç ap: 10 mm, boy: 1 m.



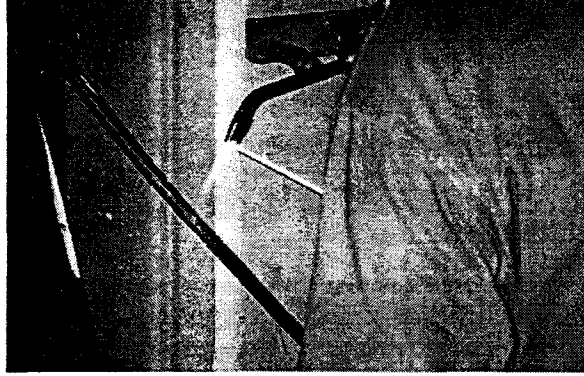
şekil VI.11 Seramik izolatörler

3. Termokupul malzemesi seramik malzeme içerisinden geçirilmiştir.
4. Bu aşamada seramik malzeme içinden geçirilen termokupul iletkenleri belli bir mesafede dışarı çıkarılarak düzgün bir şekilde bükölmüş ve jonksiyon oluşturulmuştur.

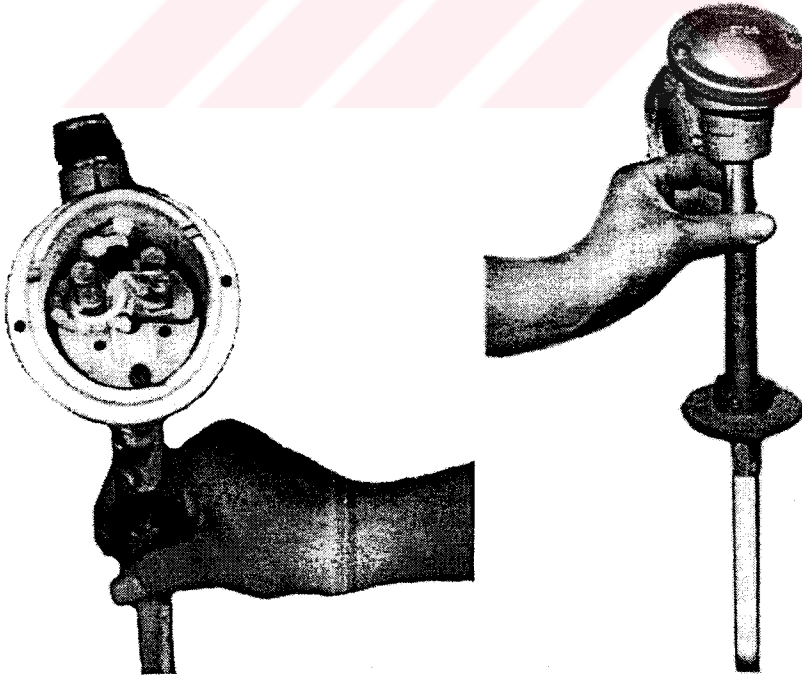


şekil VI.12 Termokupul jonksiyon noktası

5. Asetilen – Oksijen kaynağı kullanılarak termokupul malzemesini oluşturan jonksiyon ergitilmiştir. Bu aşamada kaynağın temiz, parlak ve düzgün olmasına dikkat edilmiştir.



6. Termokupul uçları (+) ve (-) şeklinde etiketlenmiştir.
7. Seramik malzeme içerisine yerleştirilen termokupul, izolatör seramikler içerisinden geçirildikten sonra, klemens kutusuyla birleştirilmiş ve kompanzasyon kablolarıyla ek yapılmıştır. Kompanzasyon kabloları Elimko B tipi kompanzasyon kablosu olup; (+) uç bakır, (-) uç nikel alaşımlıdır.



Şekil VI.13 Termokupul klemens kutusu ve kompanzasyon kablosu bağlantısı.

VI.5. TERMOKUPULLARIN KALİBRASYONU

Kalibrasyon işlemi TSE Akreditasyonu (İST/083) olan, sıcaklığı 23 ± 2 °C ve nem oranı %55 BN olan bir laboratuvar da gerçekleştirilmiştir. Bu laboratuvar da yapılan sıcaklık kalibrasyonları ile ilgili akreditasyon bilgileri Tablo VI.1’de verilmiştir.

Tablo VI.1 Sıcaklık kalibrasyonları ile ilgili akreditasyon bilgileri

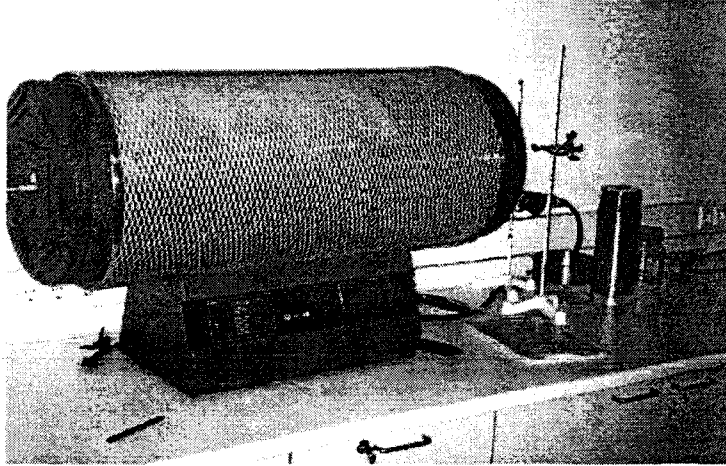
ÖLÇÜM BÜYÜKLÜĞÜ	ÖLÇME SAHASI	ÖLÇME ŞARTLARI	ÖLÇME BELİRSİZLİĞİ
PT-100	0-100 C°	Su Banyosu Akışkan	$\pm 0,7$ C°
	50-600 C°	Akışkan Yataklı Banyo	$\pm 0,6$ C°
Termokupul	50-600 C°	Akışkan Yataklı Banyo	± 2 C°
	600-1600 C°	TCAL 1600	± 3 C°
Radyasyon Pirometresi	400-1400 C°	CFM 1400	± 6 C°
	900-1600 C°	LRC 2	± 2 C°
Optik Pirometre	800-1200 C°	LVP(LAND Visual Pyrometre)	± 4 C°
	1200-1500 C°	LVP(LAND Visual Pyrometre)	± 5 C°
	1300-1600 C°	LVP(LAND Visual Pyrometre)	± 6 C°
	1600-1800 C°	LVP(LAND Visual Pyrometre)	± 7 C°
	1800-2200 C°	LVP(LAND Visual Pyrometre)	± 9 C°

1) B tipi termokupul, kalibrasyon öncesi belirlenen tavlama sıcaklık değerine, tavlama süresine ve tavlama şekline göre tavlannmıştır.

Tablo VI.2 B tipi termokupul tavlama bilgileri

TAVLAMA SICAKLIĞI	TAVLAMA SÜRESİ	TAVLAMA ŞEKLİ
Kullanım Sıcaklığı*2	4,5 saat	Yatay/Dikey

Termokupul çalışma sıcaklığı maksimum 1300 C° olduğundan, termokupl 1560 °C’de 4,5 saat, yatay ve dikey olmak üzere fırında tavlannmıştır.



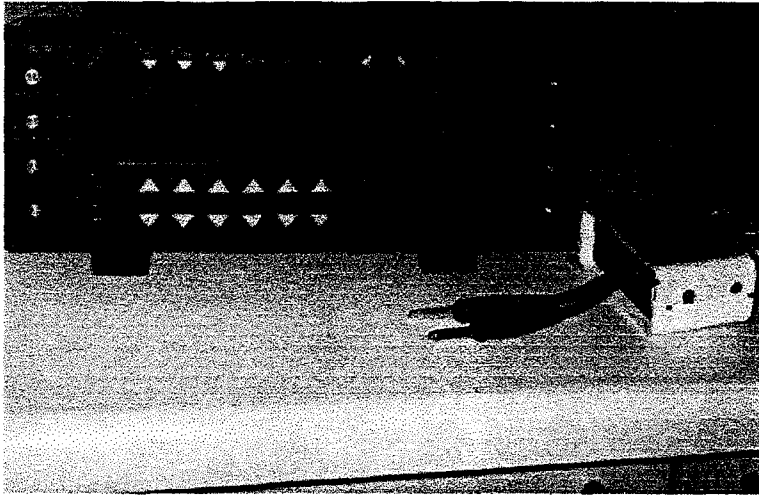
Şekil VI.14 LAND T/CAL 1600 Kalibrasyon fırını

2) Kalibrasyona yapılacak termokupulun çalışma aralığı 1000 °C - 1300 °C olarak belirlendiğinden ve 25 °C lık aralıklarla kalibrasyon istendiğinden, LAND T/CAL 1600 Kalibrasyon Fırını açılarak 1300 °C ye set edilmiş ve cihaz belirli bir süre bekletilerek elektronik devresindeki elemanların kararlı duruma gelmesi sağlanmıştır. LAND T/CAL 1600 Kalibrasyon Fırını özellikleri Tablo VI.3'te verilmiştir.

Tablo VI.3 LAND T/CAL 1600 Kalibrasyon Fırını özellikleri

Mak.Sıcaklık Aralığı	1600 C°(2900 F°)
Mak.Daimi Çalışma Sıcaklığı	1550 C°(2850 F°)
Sıcaklık Kontrolörü	P.I.D.
Termokupul	R Tip
Güç Kontrolü	Solid State Röle
Maksimum Güç	6,0 KW
Dış Boyutlar	
Yükseklik	620 mm
Uzunluk	1130 mm
Derinlik	420 mm
Tüp Boyutları	
Çap	25 mm
Genel Uzunluk	1200 mm
Isıtılan Uzunluk	610 mm
Homojen Sıcak Bölge Uzunluğu	200 mm
Sıcaklık Üniformluğu	± 2 K
Ağırlık	
Net	40 Kg
Brüt	57 Kg

3) Kalibrasyonu yapılacak termokupul ve referans olarak kullanılacak termokupul uçları bir araya gelecek şekilde LAND T/CAL 1600 kalibrasyon fırınının homojen bölgesine yerleştirilmiştir.



Şekil VI.15 Eurotron Microcal 2000 kalibratör

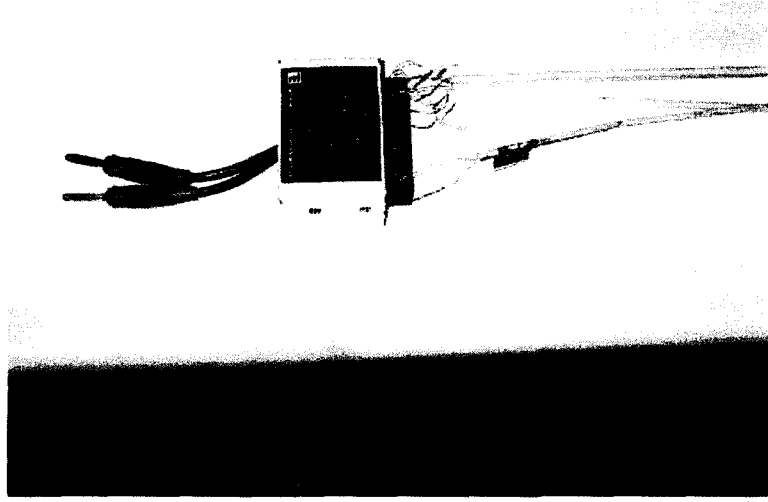
4) Referans Termokupul ve kalibrasyonu yapılacak termokupul altın kontaklı seçici anahtar üzerinden Eurotron Microcal 2000 kalibratöre bağlanmıştır. Altın kontaklı seçici anahtar termokupullardan değer okumamızı sağlamaktadır. Kalibratör ise bize sıcaklık, referans kompanzasyonlu gerilim değeri ve kompanzasyonsuz gerilim değeri olmak üzere toplam üç ayrı değeri göstermektedir. Burada kullanılan termokupulun Referans Termokupulun seramik kılıfı mekanik gerilmenin önlenmesi amacıyla parçalı yapıdadır.

Tablo VI.4 Eurotron Microcal 2000 kalibratör özellikleri

GİRİŞ-ÇIKIŞ PAREMETRELERİ(TERMOKUPULLAR)	J,K,T,R,S,B,N,C,E,U,F,G,D
REFERANS JONKSİYON KOMPANZASYONU	
Dahili otomatik	-10 C° - +55 C°
Harici ayarlanabilir	-50 C° - +100 C°
Uzaktan Harici PT-100 kullanarak	-10 C° - +100 C°
REFERANS JONKSİYON KOMPANZASYON KAYMASI	$\pm 0,015 \text{ C}^\circ / \text{C}^\circ$ (-10 C° - +55 C°)
REFERANS JONKSİYON KOMPANZASYON HATASI	
Dahili	0,15 C°
Harici	0,3 C°
ORTAK MOD BASTIRMA	> 140 dB (A.C. Çalışmada)
GENEL MOD BASTIRMA	> 70 dB (50 veya 60 Hz' de)
SICAKLIK KARARLILIĞI	+21 C° - +25 C° Bandını geçen sıcaklıklar için: Tam skala: $\pm 3 \text{ ppm/}$ C°; Sıfır: $\pm 0,2 \mu\text{V/ C}^\circ$
ÇIKIŞ EMPEDANSI(emk çıkış)	0,5 mA maksimum akımda < 0,5 Ω
GİRİŞ EMPEDANSI(mV)	> 10 M Ω
GÖSTERGE	LCD 240*64 noktalı LED aydınlatmalı
ÖLÇÜM ÖRNEKLEME ZAMANI	250 ms
ÇALIŞMA ORTAMI SICAKLIK ARALIĞI	-10 C° - +55 C°
BOYUT	264*96*172 mm (DIN)
AĞIRLIK	4 Kg (NET)
	5,5 Kg (BÜRÜT)

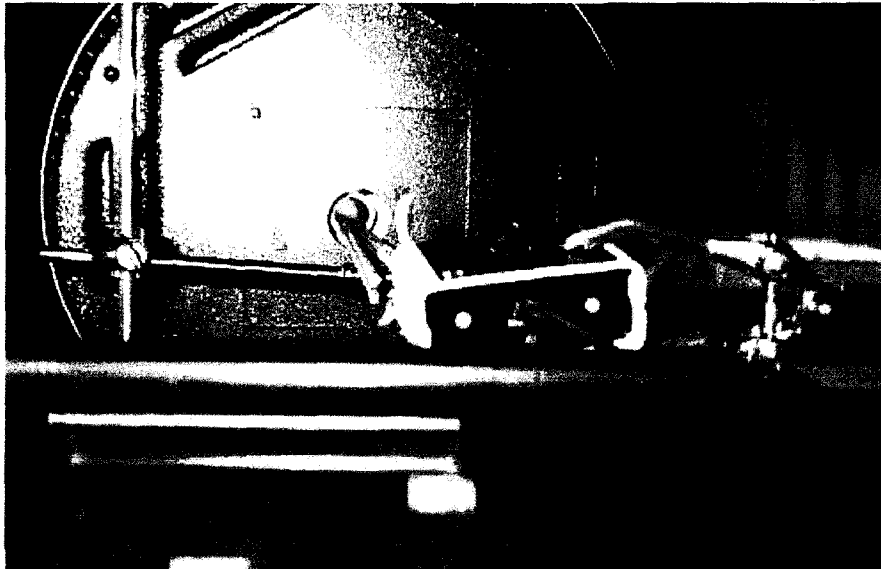


Şekil VI.16 B tipi referans termokupul

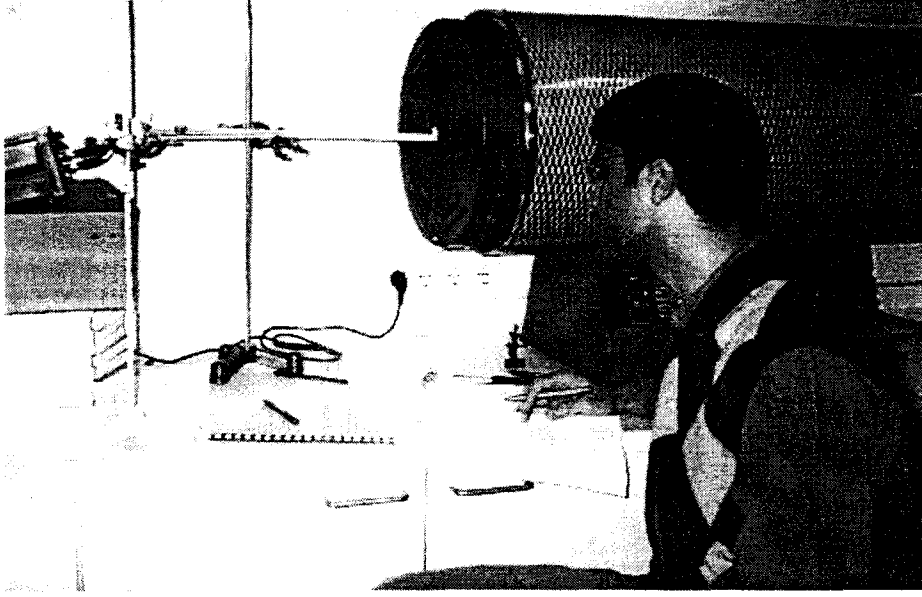


Şekil VI.17 Termokupulların seçici anahtara bağlanması

5) 1300 °C'den başlanarak 25 °C aralıklarla T/CAL 1600 kalibrasyon fırınının set edilen değerlerine karşılık gelen sıcaklık ve gerilim değerleri (Kompanzasyonlu-Soğuk Kavşak Sıcaklığı 0 °C) Microcal 2000 kalibratör üzerinden okunmuştur. (Bu aşamada fırının her yeni set değerinde kararlılık sağlanması amacıyla bir süre beklenmiştir.) Eurotron Microcal 2000 kalibratörden altın kontaklı seçici anahtar aracılığıyla alınan referans ve test termokupullarına ait olan değerler aşağıda verilmiş olup, Eurotron Microcal 2000 cihazından okunan sıcaklık değerleri, otokontrol amaçlı alınmıştır.



Şekil VI.18 Termokupulların fırın içerisine yerleştirilmesi



Şekil VI.19 Termokupul kalibrasyonu ölçüm sonuçlarının kaydedilmesi

Tablo VI.5 9201 kalibrasyon nolu termokupul ölçüm değerleri

Referans		Test	
(mV)	°C	(mV)	°C
7,8500	1300,15	7,8545	1300,62
7,8501		7,8546	
7,5883	1275,82	7,5934	1276,39
7,5884		7,5937	
7,3141	1250,54	7,3193	1250,73
7,3134		7,3197	
7,0534	1225,63	7,0594	1225,17
7,0536		7,0595	
6,7964	1200,97	6,8026	1201,51
6,7962		6,8027	
6,5321	1175,25	6,5383	1175,75
6,5390		6,5384	
6,2313	1145,60	6,2365	1146,13
6,2312		6,2367	
6,3300	1125,87	6,0391	1126,32
6,3390		6,0389	
5,7885	1100,87	5,7941	1101,51
5,7887		5,7943	
5,5475	1076,13	5,5528	1076,68
5,5476		5,5539	
5,3142	1051,47	5,3191	1051,86
5,3130		5,3192	
5,0591	1024,40	5,0632	1024,88
5,0590		5,0634	
4,8298	999,40	4,8341	999,95
4,8290		4,8040	

Tablo VI.6 9202 kalibrasyon nolu termokupul ölçüm değerleri

Referans		Test	
(mV)	°C	(mV)	°C
7,8500	1300,15	7,8560	1300,55
7,8501		7,8540	
7,5883	1275,82	7,5935	1276,31
7,5884		7,5932	
7,3141	1250,54	7,3191	1250,76
7,3134		7,3192	
7,0534	1225,63	7,0588	1226,16
7,0536		7,0594	
6,7964	1200,97	6,8009	1201,46
6,7962		6,8011	
6,5321	1175,25	6,5374	1175,74
6,5390		6,5375	
6,2313	1145,60	6,2361	1146,07
6,2312		6,2362	
6,3300	1125,87	6,0390	1126,29
6,3390		6,0386	
5,7885	1100,87	5,7937	1101,48
5,7887		5,7938	
5,5475	1076,13	5,5531	1076,64
5,5476		5,5527	
5,3142	1051,47	5,3162	1051,81
5,3130		5,3161	
5,0591	1024,40	5,0615	1024,59
5,0590		5,0610	
4,8298	999,40	4,8338	999,91
4,8290		4,8335	

Tablo VI.7 9203 kalibrasyon nolu termokupul ölçüm değerleri

Referans		Test	
(mV)	°C	(mV)	°C
7,8500	1300,15	7,8556	1300,60
7,8501		7,8555	
7,5883	1275,82	7,5938	1276,36
7,5884		7,5939	
7,3141	1250,54	7,3183	1250,74
7,3134		7,3184	
7,0534	1225,63	7,0597	1226,12
7,0536		7,0598	
6,7964	1200,97	6,8018	1201,59
6,7962		6,8020	
6,5321	1175,25	6,5380	1175,85
6,5390		6,5384	
6,2313	1145,60	6,2370	1146,18
6,2312		6,2370	
6,3300	1125,87	6,0394	1126,36
6,3390		6,0392	
5,7885	1100,87	5,7942	1101,52
5,7887		5,7942	
5,5475	1076,13	5,5534	1076,67
5,5476		5,5538	
5,3142	1051,47	5,3160	1051,80
5,3130		5,3158	
5,0591	1024,40	5,0608	1024,60
5,0590		5,0605	
4,8298	999,40	4,8352	1000,16
4,8290		4,8351	

6) Kalibrasyon Sertifikası düzenlenmiştir. Sertifika düzenlenirken ölçülen değerlerden yararlanılarak belli düzenlemeler yapılır. Düzenlemelerde Eurotron Microcal 2000 cihazından okunan mv değerleri esastır. Sertifika üzerinde yer alan Gerçek Değer sütunu; Bir üst laboratuvarca belirtilen sertifika değerlerine (Referans termokupul belirsizlik değeri) göre düzeltilen sıcaklık değerini (ITS-90), Test elementi (mV) sütunu; kalibre edilen termokupulun uygulanan sıcaklık değerine karşılık endüklenen gerilim değerini, sapma sütunu, sıcaklık ve mV türünden ITS-90 skalasına göre test termokupulunun sapmalarını ve belirsizlik sütunu ise termokupul için belirli koşullar dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucu bulunan toplam belirsizlik değerini gösterir. Termokupul kalibrasyon düzeneğinde kullanılan B tipi standart termokupulunun belirsizliği ± 2 °C (Bu değer TSE laboratuvarlarında yapılan kalibrasyon sonucu düzenlenen sertifikadan alınmıştır), Microcal 2000 ölçüm cihazının belirsizliği ise $\pm 0,1$ °C (Çeşitli etkiler dikkate alınarak belirlenen tahmini bir değerdir) olarak alınmıştır.

Tablo VI.8 9201 kalibrasyon nolu termokupul sertifika değerleri

Gerçek değer (C°)	Test elementi (mV)	Sapma (ITS-90)		Belirsizlik ($\pm$ C°)
		mV	(C°)	
1300,54	7,8823	-0,0016	-0,15	3,00
1276,39	7,5761	-0,0021	-0,19	3,00
1250,81	7,2656	-0,0020	-0,18	3,00
1226,21	7,0581	-0,0016	-0,16	3,00
1201,64	6,7896	-0,0026	-0,23	3,00
1176,08	6,5350	-0,0034	-0,34	3,00
1146,49	6,2336	-0,0055	-0,55	3,00
1126,62	6,0404	-0,0063	-0,64	3,00
1101,96	5,7943	-0,0064	-0,64	3,00
1077,08	5,5502	-0,0055	-0,61	3,00
1052,67	5,3125	-0,0070	-0,71	3,00
1025,49	5,0789	-0,0079	-0,88	3,00
1000,58	4,8510	-0,0064	-0,69	3,00

Tablo VI.9 9202 kalibrasyon nolu termokupul sertifika değerleri

Gerçek değer (C°)	Test elementi (mV)	Sapma (ITS-90)		Belirsizlik ($\pm$ C°)
		mV	(C°)	
1300,54	7,8789	-0,0050	-0,46	3,00
1276,39	7,5730	-0,0052	-0,47	3,00
1250,81	7,2627	-0,0049	-0,45	3,00
1226,21	7,0554	-0,0043	-0,40	3,00
1201,64	6,7865	-0,0057	-0,51	3,00
1176,08	6,5329	-0,0055	-0,55	3,00
1146,49	6,2316	-0,0075	-0,75	3,00
1126,62	6,0366	-0,0101	-1,02	3,00
1101,96	5,7903	-0,0104	-1,04	3,00
1077,08	5,5477	-0,0080	-0,89	3,00
1052,67	5,3095	-0,0100	-1,01	3,00
1025,49	5,0778	-0,0090	-1,00	3,00
1000,58	4,8479	-0,0095	-1,00	3,00

Tablo VI.10 9203 kalibrasyon nolu termokupul sertifika değerleri

Gerçek değer (C°)	Test elementi (mV)	Sapma (ITS-90)		Belirsizlik (± C°)
		mV	(C°)	
1300,54	7.8810	-0,0029	-0,27	3,00
1276,39	7,5753	-0,0029	-0,26	3,00
1250,81	7,2648	-0,0028	-0,25	3,00
1226,21	7,0572	-0,0025	-0,24	3,00
1201,64	6,7896	-0,0026	-0,23	3,00
1176,08	6,5345	-0,0039	-0,39	3,00
1146,49	6,2345	-0,0046	-0,46	3,00
1126,62	6,0383	-0,0084	-0,85	3,00
1101,96	5,7929	-0,0078	-0,78	3,00
1077,08	5,5496	-0,0061	-0,68	3,00
1052,67	5,3119	-0,0076	-0,77	3,00
1025,49	5,0800	-0,0068	-0,76	3,00
1000,58	4,8511	-0,0063	-0,68	3,00

Sertifika sonuçları ve proses dikkate alındığında **değerlerin uygun olduğu** sonucuna varılmıştır.

VI.6. PİROMETRE KALİBRASYONU

Kalibrasyonu yapılacak pirometre Matrix Technologies firmasına ait olan FIBER TEMP II Düşük aralık (982 °C - 1315 °C) Kızılötesi Radyasyon Termometresi (IRT)'dir. Bu pirometreye ait olan teknik özellikler Tablo VI.11'de verilmiştir.

Tablo VI.11 Matrix Technologies FIBER TEMP II pirometresinin teknik özellikleri

ÖLÇÜM ARALIĞI	Düşük Aralık	982 C°- 1315 C°(1800 F° - 2400 F°)
OPTİK KAFA	Lens	0,4" (10 mm)
	Görüş Açısı	100:1 (0,57)
	Odaklama Mesafesi	Sınırsız
	Maksimum Ortam Sıcaklığı	400 F°(204 C°)
IŞIK KILAVUZU	Fiber Optik Kablo Uzunluğu	20'(6,1 m)
	Minumum Bükülme Yarıçapı	2"(50 mm)
	Maksimum Ortam Sıcaklığı	176 C°(350 F°)
İŞLEMCI	Dedektör	Silikon Fotovoltaik Hücre
	Çıkış	4-20 mA Lineer
	Maksimum Döngü Direnci	1 KΩ
	Rezolüsyon	<0,1 F°(0,05 C°)
	Ortam Sıcaklığındaki Kayma	<0,04 F°/ F°(<0,02 C°/ C°)
	Maksimum Ortam Sıcaklığı	140 F° (60 C°)
	Güç Kaynağı	Regüleli 24V D.C.(Nominal) 18-40 V D.C.(Cihaz Terminallerinde)
	Sistem Test Çıkışı	2325 F° + 5 F° 1274 C° + 2 C°
	Lineerleştirme uyumluluğu	1 F° (0,5 C°)
	Koruma Sınıfı	NEMA 12

1) Kalibrasyonu yapılacak pirometre 982 °C - 1315 °C çalışma aralığına sahip olduğundan ve maksimum istenen sıcaklık 1300 °C olduğundan, siyahyüzey (Blackbody) olarak 600 °C - 1500 °C çalışma aralığı olan LAND L.R.C. 2 firmı seçilmiş ve siyah yüzeyin sıcaklığını tespiti amacıyla Referans B tip Termokupul kullanılmıştır.

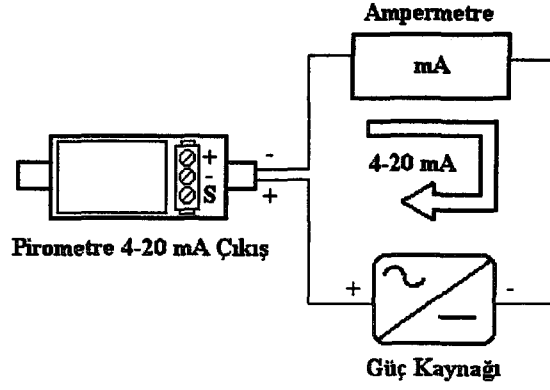


Şekil VI.20 Matrix Technologies FIBER TEMP II pirometresinin genel görünümü

Tablo VI.12 LAND L.R.C. 2 firmı ile ilgili teknik özellikler

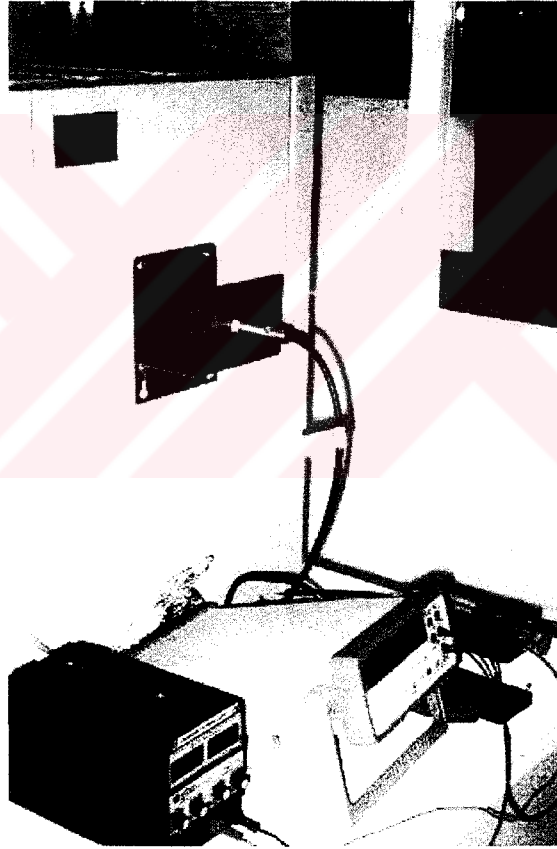
MAKSİMUM ÇALIŞMA SICAKLIĞI	1600 °C
ÖNERİLEN SICAKLIK ARALIĞI	600 °C- 1500 °C
RADYOSYON OYUK MALZEMESİ	Silikon Karbit
İç Çap	50 mm
Dahili Uzunluk	300 mm
Görüş tüpü Uzunluğu	140 mm
EMİSSİVİTE	0,998
DİRENÇ İSİTMA ELEMANI	SİC(Silisyum Karbür)
KONTROL TERMOKUPULU	Pt %13 Rh/Pt
KONTROLÖR	Eurotherm 808
GÜÇ TÜKETİMİ	12 KVA/FAZ (3 FAZLI ÇALIŞIYOR)
ÖLÇÜM TERMOKUPULU	Pt %6 Rh/Pt %30 Rh
Uzunluğu	1,2 m
GENEL BOYUTLAR	
Boy	780 mm
Genişlik	570 mm
Yükseklik	750 mm

2) Şekil VI.21'deki kalibrasyon düzeneği pirometre çıkışını gözlemlemek amacıyla kurulmuştur.



Şekil VI.21 Pirometre kalibrasyon düzeneği

Devredeki güç kaynağı 220/24 V Regüleli D.C. kaynak olup, miliampermetre olarak HP Agilent 34401 A (6 ½ Digit) multimetrenin mA kademesi kullanılmıştır.



Şekil VI.22 Pirometre kalibrasyon düzeneğinin genel görünümü

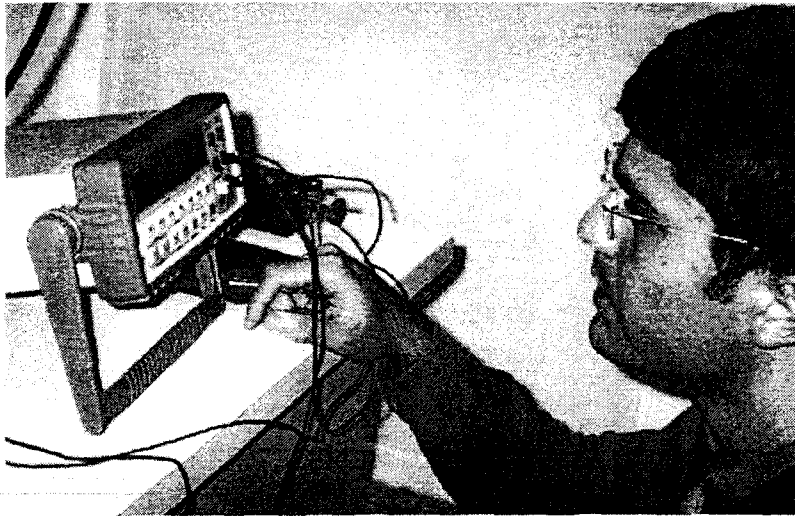
Kalibrasyon düzeneğinde Referans B tip termokupulun sıcaklığını ölçmek amacıyla Eurotron Microcal 1000 kalibratör kullanılmıştır. Bu kalibratörün teknik özellikleri Tablo VI.13’de gösterilmiştir.

Tablo VI.13 Eurotron Microcal 1000 kalibratörün teknik özellikleri

GİRİŞ-ÇIKIŞ PAREMETRELERİ(TERMOKUPULLAR)	J,K,T,R,S,B,N,C,E,U,F,G,D
REFERANS JONKSİYON KOMPANZASYONU	
Dahili otomatik	-10 °C - +55 °C
Harici ayarlanabilir	-50 °C - +100 °C
Uzaktan Harici PT-100 kullanarak	-10 °C - +100 °C
REFERANS JONKSİYON KOMPANZASYON KAYMASI	$\pm 0,015$ °C/ °C (-10 °C- +55 °C)
ORTAK MOD BASTIRMA	> 140 dB (A.C. Çalışmada)
GENEL MOD BASTIRMA	> 70 dB (50 veya 60 Hz' de)
SICAKLIK KARARLILIĞI	Tam skala: ± 5 ppm/ °C; Sıfır: $\pm 0,2\mu V/$ °C
ÇIKIŞ EMPEDANSI(emk çıkış)	0,5 mA maksimum akımda < 0,5 Ω
GİRİŞ EMPEDANSI(mV)	> 10 M Ω
GÖSTERGE	LCD 240*64 noktalı LED aydınlatmalı
ÖLÇÜM ÖRNEKLEME ZAMANI	280 ms
ÇALIŞMA ORTAMI SICAKLIK ARALIĞI	-10 °C- +55 °C
BOYUT	264*96*172 mm (DİN)
AĞIRLIK	4 Kg (NET)
	5,5 Kg (BÜRÜT)

3) Pirometrenin kalibre edileceği sıcaklık 1000 °C-1300 °C olduğundan ve 100 °C lik aralıklarla kalibrasyon istendiğinden, fırın 1300 °C ye ayarlandıktan sonra kararlı duruma gelmesi amacıyla bir süre beklenmiştir. Fırının kararlı duruma gelişi, siyahyüzeyin sıcaklığını ölçen referans termokupulun gösterdiği değerin sabitlenmesi beklenerek kontrol edilmiştir.

4) Pirometre fırının içindeki siyahyüzeyi tam görececek şekilde ayarlanarak ölçümlere geçilmiştir.



Şekil VI.23 Pirometre kalibrasyonu ölçüm sonuçlarının kaydedilmesi

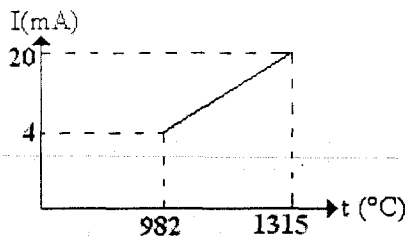
5) Referans termokupulun bağı olduğu Eurotron Microcal 1000 kalibratörden okunan gerilim ve sıcaklık değerleri ile, pirometre çıkışının bağı olduğu HP Agilent 34401 model ampermetreden alınan değerler Tablo VI.14'de verilmiştir.

Tablo VI.14 HP Agilent 34401 model ampermetreden alınan değerler

Referans		Test	
(mV)	°C	(mA)	°C
7,816 7,816	1295,56	19,219 19,219	1298,74
6,821 6,821	1202,09	14,739 14,740	1205,52
5,816 5,817	1102,69	9,958	1106,00
4,848 4,848	1000,61	5,077	1004,41

6) Kalibrasyon sertifikası düzenlenmiştir. Sertifika düzenlenirken ölçülen değerlerden yararlanılarak belli düzenlemeler yapılır. Sertifika üzerinde yer alan gerçek değer sütunu; bir üst laboratuvarca belirtilen sertifika değerlerine göre düzeltilen değeri (ITS-90), ölçülen değer sütunu; pirometre teknik özelliklerine göre çalışma sıcaklık değerlerine (982 °C - 1315 °C) karşılık gelen akım çıkışlarına (4-20 mA) göre hesaplanan sıcaklık değerini, sapma sütunu referans değer ile ölçülen değer arasındaki farkı ve belirsizlik sütunu ise radyasyon pirometreleri için belirli koşullar dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucu bulunan değeri gösterir. Bu hesaplamalarla ilgili eşitlik (I.1) ile belirtilmiştir. Pirometre kalibrasyon düzeneğinde kullanılan B tipi standart termokupulun belirsizliği ± 2 °C, HP Agilent 34401 A multimetrenin belirsizliği $\pm 0,1$ °C (akım değerinin sıcaklık bilgisine dönüştürülmesi nedeniyle °C olarak belirtilmiştir), Pirometre belirsizliği $\pm 0,05$ °C ve Eurotron Microcal 1000 ölçüm cihazının belirsizliği $\pm 0,1$ °C dir.

Radyasyon pirometresi 4-20 mA akım çıkışına karşılık gelen sıcaklık değerleri şu şekilde hesaplanabilir;



Şekil VI.24 4 -20 mA sıcaklık grafiği

Şekil VI.24 4 -20 mA sıcaklık grafiği

$$\frac{I-4}{4-20} = \frac{t-982}{982-1315} \Rightarrow \frac{I-4}{(-16)} = \frac{t-982}{(-333)}$$

$$I-4 = \frac{(t-982)*16}{333}$$

$$I = \frac{(t-982)*16}{333} + 4 \quad (VI.1)$$

$$t-982 = \frac{(I-4)*333}{16}$$

$$t = \frac{(I-4)*333}{16} + 982$$

19,219 mA için t (°C):

$$t = \frac{(I-4)*333}{16} + 982 = \frac{(19,219-4)*333}{16} + 982 = 1298,74 \quad (VI.2)$$

14,740 mA için t (°C):

$$t = \frac{(I-4)*333}{16} + 982 = \frac{(14,740-4)*333}{16} + 982 = 1205,52 \quad (VI.3)$$

9,958 mA için t (°C):

$$t = \frac{(I-4)*333}{16} + 982 = \frac{(9,958-4)*333}{16} + 982 = 1106,00 \quad (VI.4)$$

5,077 mA için t (°C):

$$t = \frac{(I-4)*333}{16} + 982 = \frac{(5,077-4)*333}{16} + 982 = 1004,41 \quad (VI.5)$$

Tablo VI.15 Pirometre kalibrasyon sertifikası değerleri

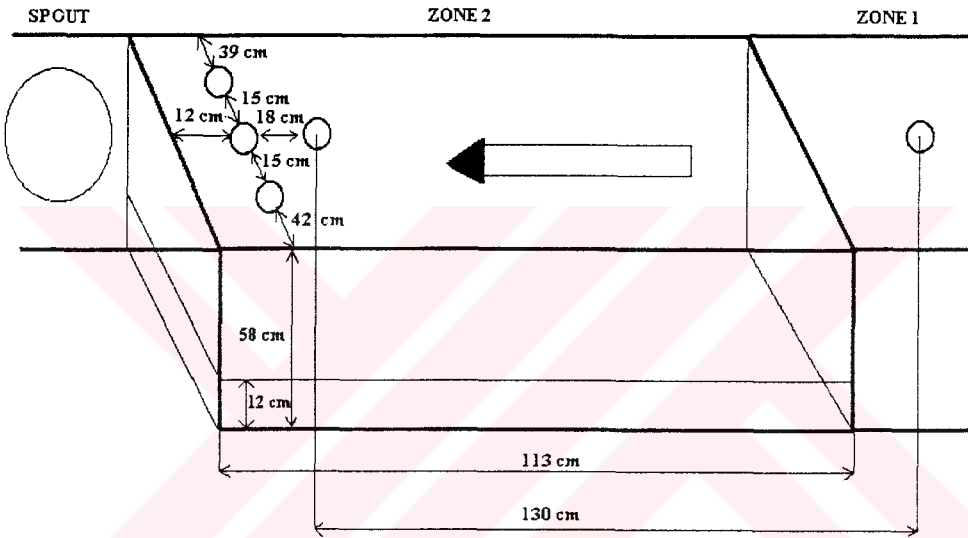
Gerçek Değer (°C)	Ölçülen Değer (°C)	Sapma (°C)	Belirsizlik (±°C)
1305,43	1298,74	3,18	3,11
1204,09	1205,52	3,43	3,11
1104,39	1106,00	3,31	3,11
1002,61	1004,41	3,80	3,11

Sertifika sonuçları ve proses dikkate alındığında değerlerin uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

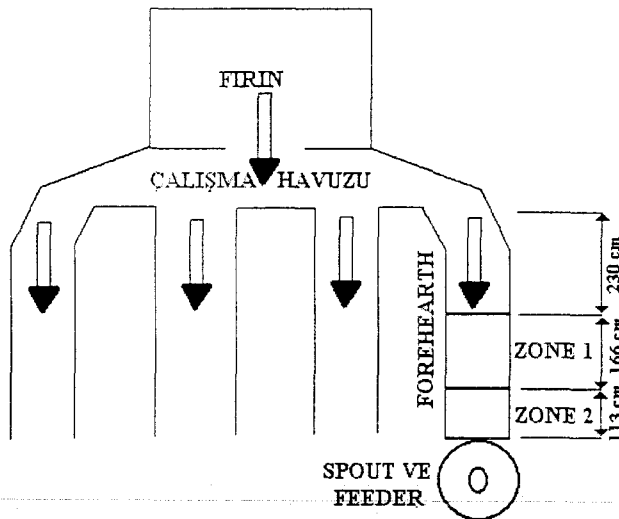
VI.7. ALGILAYICILARIN TESİSİ

Algılayıcıların tesisi aşağıda belirtilen adımlar doğrultusunda gerçekleştirilmiş ve değerler alınmıştır.

1. Forehearth içindeki akışkanla forehearth tavanı arasındaki mesafe demir bir çubuk kullanılarak ölçülmüş ve 46 cm olarak belirlenmiştir.
2. Forehearth tabanı ile akışkan yüzeyi arasındaki mesafe demir bir çubuk kullanılarak ölçülmüş ve 12 cm olarak belirlenmiştir.
3. Termokupulların monte edileceği platformla forehearth tavanı arasındaki mesafe 32 cm olarak ölçülmüştür.

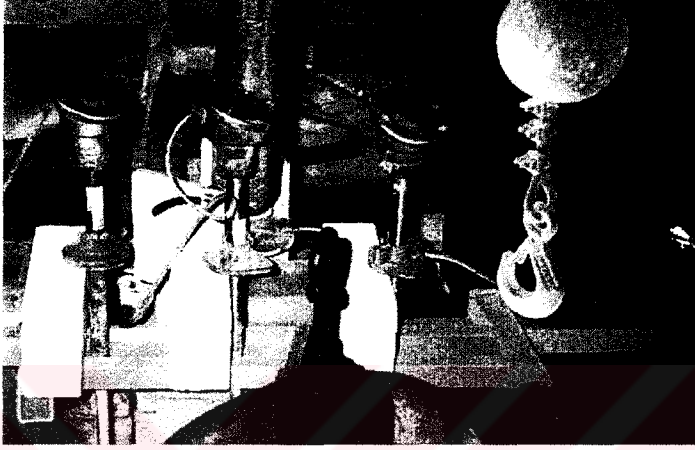


Şekil VI.25 Forehearth boyutları



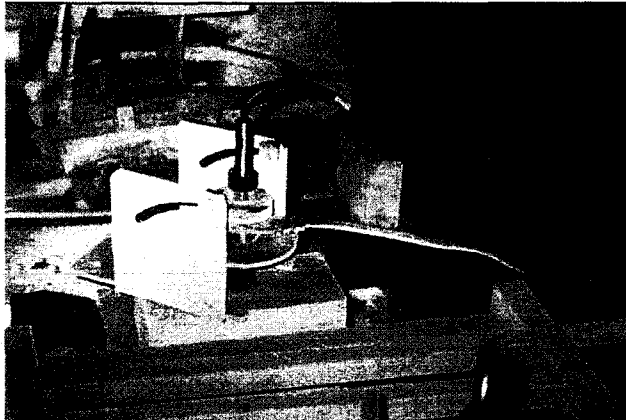
Şekil VI.26 Koşullandırma sisteminin bölümleri

4. Termokupulun akışkanın yüzeyinden itibaren 6 cm derinliğe daldırılması planlandığından, termokupul montaj aparatı 84 cm (46+32+6) mesafede olacak şekilde sabitlenmiştir.
5. 100 cm boyundaki 3 adet termokupulun (9201, 9202, 9203 kalibrasyon numaralı) B tip kompanzasyon kabloları ile olan bağlantıları sırasıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil VI.27 Termokupulların montajı

6. Termokupullar DCS'e tanıtılmıştır. Tanıtma işleminde değer okumada başlangıç değeri (Scalestart) 800 °C, son okuma değeri (Scaleend) 1400 °C olarak belirlenmiş, gerekli kodlama ve tanıtımlar yapılmıştır.
7. Bağlantıları yapılan termokupulların ortam sıcaklığına adapte olması amacıyla termokupullar foreheart dış kısmı üzerinde yaklaşık 2 saat süreyle bekletilmiştir.
8. Pirometere ek kutusu montajı yapılarak gerekli kablolama işlemi tamamlanmış ve pirometre kafasını soğutacak olan üfleme havası borusu tesis edilmiştir.



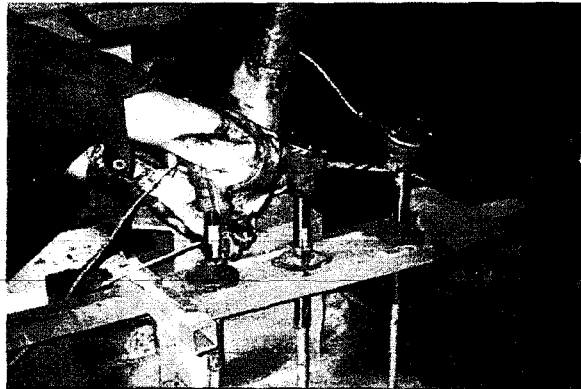
Şekil VI.28 Pirometrenin montajı

9. Pirometre kablosunun üzeri dış etkilere karşı izocam ile kaplanmıştır.
10. Pirometre DCS'e tanıtılmıştır. Tanıtma işleminde değer okumada başlangıç değeri (Scalestart) 982 °C, son okuma değeri (Scaleend) 1315 °C olarak belirlenerek, gerekli kodlama ve tanıtımlar yapılmıştır.
11. Termokupullar montaj aparatı üzerine alınarak alev görmesi amacıyla akışkan içine daldırılmadan 30 dakika bekletilmiştir.



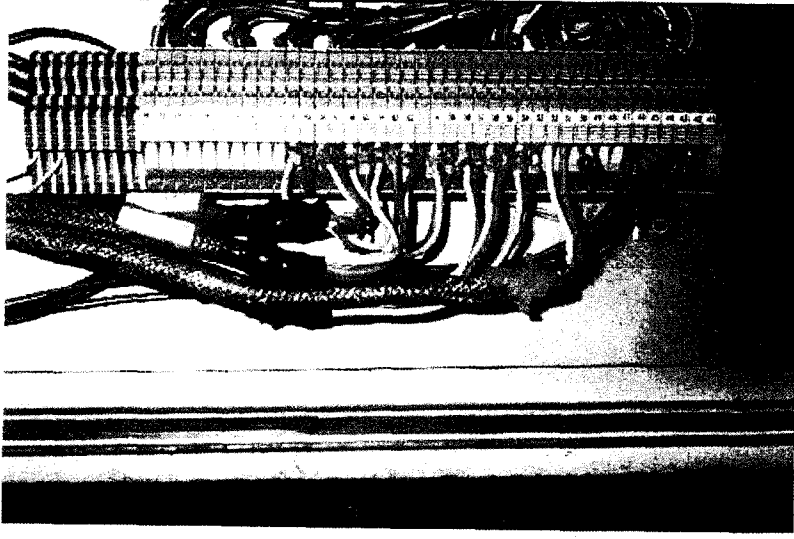
Şekil VI.29 Termokupulların Foreheart içerisine daldırılması

12. Montaj aparatı üzerindeki termokupullar akışkana daha yakın hale getirilerek 30 dakika kadar tekrar bekletilmiştir.
13. Termokupullar akışkan içerisine belirlene mesafeye göre tam olarak daldırılmış ve pirometre montajı yapılmıştır.



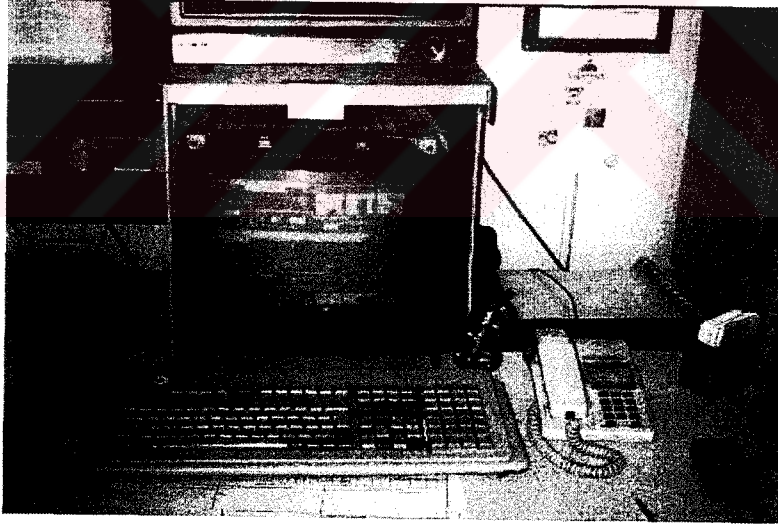
Şekil VI.30 Termokupul bağlantılarının gerçekleştirilmesi

14. Saha kutusuna gerekli bağlantılar yapılmıştır.



Şekil VI.31 Saha kutusu

15. DCS sistemine bağlanan algılayıcıların verileri monitör üzerinden alınmaya başlanmıştır (08.11.2002 / 17:00). İlk değer alınmaya başlandığı anda üretim aşamasında standart ecza şişeleri vardır ve set sıcaklığı 1215 °C'dir.



Şekil VI.32 Algılayıcı verilerinin monitör üzerinden izlenmesi

BÖLÜM VII SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Cam üretiminde önemli bir aşama olan koşullandırma aşamasının forehearth'da gerçekleştirilmesinde sıcaklık kontrolü kaliteli damla elde edilmesinde önem taşır. Mevcut üretim sistemi içerisinde sıcaklık kontrolü forehearth son bölgesi çıkışında yer alan pirometre ile yapılmaktadır. Ancak bu durum camın şekillendirme işlemine tabi tutulması için gerekli koşullara sahip olup olmadığının tespiti için yeterli değildir.

İstenen özellikte damlanın eldesi için camın şekillendirme aşamasına girmeden önce homojenitesinin ve sıcaklık değerinin tespiti gereklidir. Uygulama halindeki kontrol sisteminde sisteme sadece pirometre bağlı olduğundan homojenite tespiti yapılamamakta ancak üretilen ürünlerin gramaj kontrolleri ve diğer bazı kontrollerin sonucuna göre set değerinde değişiklik yapılarak istenilen özellikler tesis edilmektedir.

Yapılan çalışmada forehearth son bölgesine eşit derinliklerde ve mesafelerde tesis edilen üç adet tekli termokupul ile homojenitenin kontrolü ve pirometre ile ani sıcaklık değişimleri kontrol edilmeye çalışılmıştır. Tesis edilen termokupullar ve pirometre karşılaştırmalı bir sıcaklık ölçümüne imkan sağlarlar.

Kararlı durum için monte edilen termokupulların gösterdiği değerler incelendiğinde cam eriyiğinin homojenitesinin farklı olduğu görülmüştür. Genelde orta termokupulun, diğer termokupullara göre yaklaşık 12 °C daha soğuk olduğu tespit edilmiştir. Kontrol, pirometreden okunan değerlere göre yapıldığından, set değeri ile pirometre değerini karşılaştırmak anlamsızdır. Bal rengi camda derinliğe bağlı olarak meydana gelebilecek sıcaklık farkı 1,5 ile 2,5 °C/cm dir. Termokupullar ile pirometre arasındaki mesafe 6 cm olduğundan 9 °C ile 15 °C arasındaki sıcaklık farkları normal sınırlar olarak kabul edilir. Bu durumda EK A'da verilen grafiklerden okunan termokupullar ile pirometre arasındaki sıcaklık farkı bu sınırlar içerisinde olduğundan pirometrenin doğru değer gösterdiği söylenebilir. Pirometrenin

doğruluğunun tespiti, kontrol sisteminden bağımsız olarak çalışan diğer bir pirometre ile sağlanabilir.

Termokupulların yaklaşık iki ay gibi kısa bir süre sonra devre dışı kaldığı görülmüştür. Bunun nedeninin izolasyon seramiğinin yüksek sıcaklıklara bağlı olarak erimesi ve yüksek sıcaklıkta iletken hale gelen cam eriyiğinin termokupul iletkenlerine temas etmesiyle oluşan kısa devredir. Bu durumda ölçme sistemindeki değerler belirlenen sıcaklık aralığının dışına çıkar ve doğru ölçüm yapmak mümkün olmaz.

Termokupulların çalışma ömrünün kısa oluşu maliyeti artırıcı bir etkidir. Ayrıca termokupullar tesis edilirken ortam sıcaklığındaki termokupulun eriyik haldeki cama daldırılmaları halinde, cam içerisindeki çözünmüş gazlar nedeniyle habbe oluşumuna neden olurlar ve oluşan habbeler cam damlasında boşluklar meydana getirirler. Bu nedenle termokupul montajlarında dikkatli olunmalıdır.

Cam koşullandırma aşamasında ısıtma ve soğutmaya maruz kaldığından ve kademeli bir ısıtma söz konusu olduğundan forehearth'daki her bölge çıkışına yerleştirilecek pirometreler sağlıklı bir kontrol imkanı sağlayabilir. Her bölgeden ölçülen sıcaklık değerleri, ısıtıcı ve soğutucuların gücü ve önceki proses ölçümleri birlikte değerlendirilerek ısıtma veya soğutma miktarları önceden tahmin edilebilir. Böylece cam sıcaklığının forehearth çıkışında set değerinde olması garanti altına alınabilir ve gereksiz ısıtma ve soğutma için harcanan enerjiden tasarruf edilebilir.

Kaliteli bir damla için gerekli homojenite ve sabit sıcaklık değeri feeder öncesi son bölgede gerekli olduğundan bu bölüme noktasal ve hızlı cevap verebilme özelliği olan termokupulların yerleştirilmesi gereklidir. Uygulama aşamasında tesis edilen üç adet tekli termokupul seramik kılıflıdır. Bu termokupullar kullanılarak tek bir seviyenin farklı bölgeleri için bir kontrol imkanı sağlanmıştır. Termokupullar üç seviyeli (three level) olarak değiştirilmek suretiyle, üç adet üç seviyeli termokupul kullanılarak üç farklı bölgedeki farklı üç seviyenin sıcaklığı ölçülebilir ve böylece daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilir. Ayrıca bu termokupullar kontrol sistemine bağlanarak, forehearth çıkışındaki homojenitenin oluşmasına yardımcı olan döner tüpün devri kontrol edilerek gereksiz çalışmadan dolayı harcanan enerjiden tasarruf edilebilir.

Uygulamada kullanılan termokupulların izolasyonunda kullanılan seramik malzemeler değişen ve yüksek olan sıcaklık değerlerinde aşındığından, maliyet ve çalışma ömrü dikkate alınarak izolasyonda platin kartuşlar kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] <http://www.thermometricscorp.com/abtem.html> (Erişim tarihi: **10 Ekim 2002**).
- [2] Onaran, K.: “Malzeme Bilimi”, Bilim Teknik Yayınevi, İstanbul, Türkiye, (1995).
- [3] http://www.bipm.org/enus/1_Convention/Foreword.html (Erişim Tarihi: **17 Ekim 2002**).
- [4] http://www.bipm.org/enus/1_Convention/chain.html (Erişim Tarihi: **17 Ekim 2002**).
- [5] http://www.bipm.org/enus/1_Convention/member_states.html (Erişim Tarihi: **17 Ekim 2002**).
- [6] http://www.bipm.org/enus/2_Committees/cgpm.html (Erişim Tarihi: **17 Ekim 2002**).
- [7] http://www.bipm.org/enus/2_Committees/cipm.html (Erişim Tarihi: **17 Ekim 2002**).
- [8] http://www.bipm.org/enus/4_BIPM/bipm.html (Erişim Tarihi: **17 Ekim 2002**).
- [9] http://www.bipm.org/enus/2_Committees/cc.html (Erişim Tarihi: **17 Ekim 2002**).
- [10] <http://www.tse.org.tr/tsewebtr/kalibrasyon/source> (Erişim Tarihi: **10 Kasım 2002**).
- [11] <http://www.ume.mam.gov.tr/ume.html> (Erişim Tarihi: **10 Kasım 2002**).
- [12] <http://www.bipm.org/pdf/directory.doc> (Erişim Tarihi: **17 Ekim 2002**).
- [13] Nicholas, J.V.; White, D.R.: “Traceable Temperatures”, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, England, (1994).
- [14] <http://www.tse.org.tr/Turkish/tse/kurulus.asp> (Erişim Tarihi: **10 Kasım 2002**).
- [15] <http://www.kampus.tse.org.tr> (Erişim Tarihi: **10 Kasım 2002**).
- [16] <http://www.tse.org.tr/Turkish/kalibrasyon/ulustan.asp> (Erişim Tarihi: **10 Kasım 2002**)

- [17] TS EN ISO/IEC 17025.: “Deney ve Kalibrasyon Laboratuvarlarının Yeterliliği İçin Genel Şartlar”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye.
- [18] OMEGA Engineering Inc.: “Temperature handbook”, 21st century 2nd edition; OMEGA Engineering Inc., Stamford, CANADA, (2000).
- [19] Arıburnu, D.: “Ölçüm, Ölçüm Belirsizliği ve Akreditasyon”, Türkiye Şişe Cam Fabrikaları A.Ş. Araştırma ve Mühendislik Müdürlüğü Teknik Rapor, 522, İstanbul, Türkiye (1997).
- [20] Günertürkün, E.: “Kalibrasyon ve Ölçümde Belirsizlik Hesabı”, Şişe Cam Teknik Bülten, 3, (2000).
- [21] [http://www.sensormag.com/articles/notes on using thermocouples.htm](http://www.sensormag.com/articles/notes%20on%20using%20thermocouples.htm) (Erişim Tarihi: 20 Ocak 2003).
- [22] <http://www.sensormag.com/articles/0199/termo199/main.shtml> (Erişim Tarihi: 20 Ocak 2003).
- [23] <http://www.sensormag.com/articles/1297/swl297/main.shtml> (Erişim Tarihi: 20 Ocak 2003).
- [24] <http://www.sensormag.com/articles/0900/17/main.shtml> (Erişim Tarihi: 20 Ocak 2003).
- [25] <http://www.sensormag.com/articles/0100/54/main.shtml> (Erişim Tarihi: 20 Ocak 2003).
- [26] <http://katalog.elimko.com.tr> (Erişim Tarihi: 21 Mart 2003).
- [27] <http://www.sensormag.com/articles/0899/39/main.shtml> (Erişim Tarihi: 20 Ocak 2003).
- [28] Parr, E.A.: “Endüstriyel Kontrol El Kitabı – Cilt 1 / Transdüserler”, MEB Yayınevi, İstanbul, Türkiye, (1999).
- [29] <http://www.sensormag.com/articles/0597/negtemp/main.shtml> (Erişim Tarihi: 20 Ocak 2003).
- [30] Gürdal, O.: “Algılayıcılar ve Dönüştürücüler”, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, Türkiye, (2000).
- [31] İbrahim D.: “Termistör Isı Sensörleri ve Bu Sensörlerin Pratikte Kullanımı - 2”, Kaynak Elektrik Dergisi, Ekim, (2000).
- [32] <http://www.wuntronic.de> (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2003).
- [33] İbrahim D.: “Entegre Devre Isı Sensörleri ve Bunların Pratikte Kullanımları”, Kaynak Elektrik Dergisi, Mart, (2001).
- [34] <http://www.national.com/pf/LM/LM335.html> (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2003).

- [35] <http://www.national.com/pf/LM/LM134.html> (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2003).
- [36] İbrahim D.: “Sayısal Isı Sensörleri ve Bunların Pratikte Kullanımları”, Kaynak Elektrik Dergisi, Aralık, (2000).
- [37] <http://www.national.com/pf/LM/LM74.html> (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2003).
- [38] <http://www.howstuffworks.com/therm2.html> (Erişim Tarihi: 10 Nisan 2003).
- [39] McGee, T.D.: “Principles and Methods of Temperature Masurement”, John Wiley & Sons, Newyork, USA, (1988).
- [40] Pastacı, H.: “Elektrik ve Elektronik Ölçmeleri”, Metinler Matbaacılık, İstanbul, Türkiye (2000).
- [41] TS 5798: “Metroloji – Terimler”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, Türkiye, (1988).
- [42] http://art-works.net/metcal/olcum_sonuclari.htm (Erişim Tarihi: 10 Ekim 2002).
- [43] ASTM 14.03/E220-86: “Standard Test Method for Calibration of Thermocouples by Comparison Techniques”, ASTM, West Conshohocken, PA, (1998).
- [44] ASTM 14.03/E644-91: “Standard Test Methods for Testing Industrial Resistance Thermometers”, ASTM, West Conshohocken, PA, (1998).
- [45] Şişecam Eğitim Merkezi.: “CAM”, Eğitim Yayınları, İstanbul, Türkiye, (2000).
- [46] Arıburnu, D.: “Cam Ambalaj ve Züccaciye Üretiminde Camın Foreheart’larda Etkin Koşullandırılması”, 13. Cam Problemleri Sempozyumu, Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş., İstanbul, Türkiye, Ekim 23 (1998).
- [47] Mannesmann / Hartmann & Braun: “Contronic P: The Process Control System for the Process Industry”, Hartmann & Braun AG, Frankfurt, Germany, (1988).
- [48] Mannesmann / Hartmann & Braun: “PEA 02 Analog giriş modülü kullanım kitapçığı”, Hartmann & Braun AG, Frankfurt, Germany, (1988).
- [49] Mannesmann / Hartmann & Braun: “PEA 05 ve PEA 06 Analog giriş modülü ve ölçüm noktası seçici birimi kullanım kitapçığı”, Hartmann & Braun AG, Frankfurt, Germany, (1988).

EKLER



EK A

Algılayıcılardan okunan veriler ve ilgili grafikler



ÖZGEÇMİŞ

Mustafa ÖZCAN

1979 yılında İstanbul'da doğdu. İlkokulu ve Ortaokulu İstanbul'da bitirdi. 1992 yılında başladığı Alibeyköy Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümündeki öğrenimini 1995 yılında bölüm birinciliği derecesi ile bitirdi. 1996 yılında girdiği ÖYS sınavında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümünü kazandı. Dört yıl süren öğrenim süreci sonunda bu bölümden mezun oldu. 2001 yılında Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Eğitimi Bölümünde yüksek lisans programına başladı. 2000 yılında Aventis ilaç firması Elektrik – Elektronik bakım atölyesinde göreve başladı ve aynı yıl kendi isteğiyle buradaki görevinden ayrılarak, Şişli Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Elektrik Bölümünde öğretmenliğe başladı. 2002 yılında Bahçeşehir Üniversitesi Meslek Yüksek Okulu Elektrik Bölümünde öğretim görevlisi olarak işe başladı. Halen bu görevlerine devam etmektedir.