

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**HASSAS SICAKLIK ÖLÇÜMÜNDE ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ İÇİN FARKLI
MODELLEMELER VE DENEYSEL KARŞILAŞTIRMALAR**

Mustafa ALTIN

ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**ANKARA
2010**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Mustafa ALTIN tarafından hazırlanan “**Hassas Sıcaklık Ölçümünde Ölçüm Belirsizliği İçin Farklı Modellemeler ve Deneysel Karşılaştırmalar**” adlı tez çalışması 26.02.2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. İsa NAVRUZ

Jüri Üyeleri :

Başkan : Prof. Dr. Mehmet KABAK
Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Doç. Dr. H. Gökhan İLK
Ankara Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Üye : Yrd. Doç. Dr. İsa NAVRUZ (Ankara Üniversitesi)
Ankara Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Orhan ATAKOL

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HASSAS SICAKLIK ÖLÇÜMÜNDE ÖLÇÜM BELİRSİZLİĞİ İÇİN FARKLI MODELLEMELER VE DENEYSEL KARŞILAŞTIRMALAR

Mustafa ALTIN

Ankara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. İsa NAVRUZ

Bu Tezde, sıcaklık kalibrasyonunda kullanılan farklı ölçüm sistemleri ve yöntemlerinin, ölçüm hassasiyetlerinin ve ölçüm modellerinin karşılaştırılması ve aynı zamanda imal edilen sıcaklık ölçüm cihazı için tasarlanan ölçüm modelinin diğer modellere göre üstünlüğünün araştırılması amaçlanmıştır.

Sıcaklık kalibrasyon ölçümleri alınırken ölçümleri etkileyen hata faktörlerinin modellenmesi yapılarak, ölçüm belirsizliğine etkileri deneysel olarak gözlemlenmiştir. Kalibrasyon laboratuvarı ortam sıcaklığını ölçmek amacıyla 15-35°C arası $\pm 0.001^\circ\text{C}$ çözünürlükte ve yüksek hassasiyette ölçüm yapan termometre imal edilmiştir. Termometrenin tasarımında Analog Device firmasına ait ADuC834 parça numaralı 24-bit microconverter kullanılmıştır. Termometre ile alınan ölçümler eş zamanlı olarak RS232 seri port üzerinden bilgisayara gönderilmektedir. Visual Basic 6.0'da hazırlanan bilgisayar programı tarafından elde edilen düzeltilmiş değerler kullanılarak referans SPRT'nin (Standart Platinum Resistance Thermometer) doğruluğuna çok yakın sonuçlar elde edilmiştir. İmal edilen termometrenin kalibrasyonunda kullanılan belirsizlik hesap yöntemi ve modellenmesi ile diğer ölçüm yöntemleri karşılaştırılmış ve en iyi ölçüm modellenmesi belirlenmeye çalışılmıştır.

Şubat 2010, 69 sayfa

Anahtar Kelimeler: Ölçüm Belirsizliği, Hassas Sıcaklık Ölçümü ve Kalibrasyonu

ABSTRACT

Master Thesis

**DIFFERENT MODELINGS AND EXPERIMENTAL COMPARISON FOR
MEASUREMENT UNCERTAINTY OF PRECISION TEMPERATURE MEASUREMENT**

Mustafa ALTIN

Ankara University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electronic Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. İsa NAVRUZ

In this study, different measurement systems and techniques, measurement sensitivities and models used for temperature calibration were investigated. Also a temperature measurement device was produced and its measurement model was compared with other measurement models.

Error factors which effects the measurement during the temperature calibration measurement reading was modeled and effects on measurement uncertainty was observed experimentally. In order to measure the temperature of calibration laboratory, a high sensitivity thermometer, 15-35°C range with $\pm 0.001^\circ\text{C}$ resolution, was produced. Analog Device's ADuC834 24-bits microconverter was used for the thermometer. Reading values are sent to PC via RS-232 serial port synchronously. Reading values are received and corrected by a program coded in MS Visual Basic 6.0 and results close to the reference SPRT (Standart Platinum Resistance Thermometer) accuracy were acquired. Uncertainty calculation method and model used for thermometer were compared with other measurement methods and it was tried to determine the best measurement model.

February 2010, 69 pages

Key Words: Measurement Uncertainty, Precision Temperature Measurement and Calibration

TEŐEKKÖR

Çalıőmalarımı yönlendiren, araőtırmalarımın her aőamasında bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyerek, bu tezi tamamlamamda büyük katkıda bulunan danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. İsa NAVRUZ'a (Ankara Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı) çalıőmalarım süresince her türlü laboratuvar imkânlarından faydalandığım 1'inci Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanı ve Kalibrasyon Laboratuvarı çalıőanlarına ve çalıőmalarım süresince birçok fedakârlıklar göstererek beni destekleyen eőime en derin duygularla teşekkür ederim.

Mustafa ALTIN
Ankara, Şubat 2010

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	2
2.1 Tanımlar	2
2.2. Belirsizlik Hesaplarında İstatistiksel Kavramlar.....	5
2.2.1 Rastgele hatalar.....	5
2.2.2 Sistematik hatalar	5
2.2.3 Güvenilirlik aralığı.....	6
2.2.4 Çok sayıda yapılmış ölçüm serileri.....	7
2.2.5 Az sayıda yapılmış ölçüm serileri	8
2.2.6 Ölçülen büyüklüğün toplam belirsizliği.....	11
2.3 Standart Belirsizliğin Hesaplanması	12
2.3.1 Ölçümün modellenmesi	12
2.3.2 Standart belirsizliğin A-Tipi hesaplanması	13
2.3.3 Standart belirsizliğin B-Tipi hesaplanması	15
2.3.4 Bileşik Belirsizliğin Hesaplanması.....	16
2.3.5 Genişletilmiş Belirsizliklerin Belirlenmesi.....	19
3. MATERYAL	20
3.1 Sıcaklık Ölçümünün Önemi.....	20
3.2 Karşılaştırma Deneylerinde Kullanılan Materyaller.....	21
3.2.1 Sıvılı cam termometreler	21
3.2.2 Isıl çift termometreler	22
3.2.3 Platin direnç sıcaklık sensörleri.....	23
4.1 30°C’de Karşılaştırma Yöntemi ile Sıvı Cam Termometre Kalibrasyonu	25
4.1.1 Sıvı cam termometrenin kalibrasyon işlemi	26
4.1.2 Sıvı cam termometrenin kalibrasyon belirsizlik hesabı	29
4.2 30°C’de Karşılaştırmalı Kalibrasyon Metodu ile J-tipi Isıl çift Kalibrasyonu	34
4.2.1 Isıl çift termometrenin kalibrasyon belirsizlik hesabı	35
4.3 30°C’de Karşılaştırmalı Kalibrasyon Metodu ile RTD (Resistance Temperature Dedector) Sensörlü İmal Edilen Dijital Termometre Kalibrasyonu	39
4.3.1 Tezde kullanılan sayısal termometrenin yapısı ve çalışma prensibi.....	39
4.3.2 Dijital Termometrenin Kalibrasyon İşlemi	43
4.3.3 Verilerin alınması.....	44
4.3.4 Dijital termometrenin kalibrasyon belirsizlik hesabı	47
5. BULGULAR ve TARTIŞMA.....	51
6. SONUÇ	54
KAYNAKLAR	56
EKLER	57
EK 1 Sıcaklık Ölçme Bilgisayar Programı Form1 Visual Basic 6.0 Kaynak Kodları	58
EK 2 Sıcaklık Ölçme Bilgisayar Programı Form2 Visual Basic 6.0 Kaynak Kodları	66
ÖZGEÇMİŞ.....	69

SİMGELER DİZİNİ

CI	Güvenilirlik aralığı
c_i	Hassasiyet katsayısı
cov	Kovaryans
k	Kapsam faktörü
n	Gözlem sayısı
N	Ölçüm sayısı
S	Deneysel standart sapma
u	Standart belirsizlik
U	Genişletilmiş belirsizlik
u_c	Birleşik belirsizlik
x_i	Değişken
X_i	Bağımsız gözlem
\bar{X}'	Gerçek değer
\bar{x}	Aritmetik ortalama
V	Varyans
V_{eff}	Serbestlik derecesinin etkin değeri
V_i	Serbestlik derecesi
y	Ölçüm sonucu
μ	Beklenti
δ	Ölçüm hatası
ε	Rastgele hata
β	Sistematik hata

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Çeşitli istatistik terimler arasındaki geometrik ilişkiler	6
Şekil 2.2 X 'in normal dağılımı	8
Şekil 2.3 Student's istatistiği	9
Şekil 2.4 Toplam belirsizliğin kapsadığı aralığın gösterimi	12
Şekil 2.5 Dikdörtgen dağılım	16
Şekil 2.6 Üçgen dağılım	16
Şekil 3.1 Sıvılı cam termometre	22
Şekil 3.2 Seebeck etkisi ve Seebeck gerilimi	23
Şekil 3.3 PRT sensör iç yapısı	24
Şekil 4.1 Cam termometrenin kalibrasyon düzeneği	25
Şekil 4.2 SPRT nin 4 telli olarak Multimetreye bağlanması	26
Şekil 4.3 SPRT nin 4 telli olarak ölçümü	27
Şekil 4.4 Cam termometrenin sıcaklık doğrultma yöntemi	29
Şekil 4.5 Isıl çift kalibrasyon düzeneği	34
Şekil 4.6 ADuC834'ün blok şeması	40
Şekil 4.7 ADuC834 akış diyagramı	41
Şekil 4.8 RTD'nin ADuC834'e bağlantısının blok gösterimi	42
Şekil 4.9 ADuC834'ün devrede kullanımı	43
Şekil 4.10 Digital termometre kalibrasyon düzeneği	44
Şekil 4.11 Sıcaklık ölçme programı arayüzü	45
Şekil 4.12 Sıcaklık ölçme programı arayüzü ve ayarlar menüsü	46
Şekil 4.13 Sıcaklık ölçme örogramı arayüzü ve excel kayıt sayfası	47
Şekil 5.1 Sıvı Cam termometre kalibrasyonu sonuç grafiği	51
Şekil 5.2 Isıl çift kalibrasyonu sonuç grafiği	52
Şekil 5.3 Dijital termometre kalibrasyonu sonuç grafiği	53

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Normal dağılım için Student istatistiği.....	10
Çizelge 3.1 Standart Isılçift Tipleri ve Değerler Aralığı.....	23
Çizelge 4.1 Sıcaklık Banyoları.....	26
Çizelge 4.2 Cam Termometre Belirsizlik Bütçesi.....	33
Çizelge 4.3 Isıl Çift Belirsizlik Bütçesi.....	38
Çizelge 4.4 Dijital Termometre Belirsizlik Bütçesi.....	50

1. GİRİŞ

Üretimde kullanılan cihazların gerektiği şekilde kullanılabilmesi, cihaz kalitesinin sağlanabilmesi, ürün kalitesinin korunabilmesi ve arttırılabilmesi için ölçümlerin yapılması şarttır. Verimli ve kaliteli bir üretimde makinelerin ve ölçüm cihazlarının bakımı ve kalibreli olması ön koşuldur. Kalibrasyon olmadan üretimde kaliteden bahsetmek mümkün değildir.

Bir ölçümün sonucu rapor edilirken, sonucun kalitesini belirten sayısal bir gösterge olmalıdır ki bu sonucu kullanan kişiler o sonucun güvenilirliğini tayin edebilsinler. Böyle bir gösterge olmaksızın ölçüm sonuçları kendi aralarında, sertifikalarda veya standartlarda verilen değerlerle karşılaştırılmaz. Bu nedenle bir ölçümün kalitesini karakterize eden, hemen uygulanabilir, kolayca anlaşılabilir ve genel olarak kabul gören bir işlemin olması çok önemlidir (Murphy 1961, Schncider 1962). Bu da ölçüm sonucunda elde edilen değer belirsizliğini hesaplamak ve ifade etmektir.

Bir ölçüm sonucunun belirsizliğinin hesaplanması ve ifade edilmesi için ideal bir yöntem şu özellikleri taşımalıdır.

Evrensellik: Yöntem her çeşit ölçüme ve her ölçüm için kullanılan her çeşit veriye uygulanabilir olmalıdır.

Kendi içinde tutarlılık: Ölçüm belirsizliği, belirsizliğe katkıda bulunan bileşenlerden, bileşenlerin gruplanmış şeklinden veya alt bileşenlerine ayrılmış olmasından bağımsız olarak elde edilebilmelidir.

Taşınabilirlik: Bir ölçümün sonucunu ikinci bir ölçümde kullanmak gerektiğinde birinci ölçümün belirsizliği doğrudan bu ikinci ölçümde kullanılabilmelidir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Tanımlar

Belirsizlik hesaplarının nasıl yapıldığı ve nasıl ifade edildiğine geçmeden önce bazı tanımların açıklığa kavuşturulmasında yarar vardır (Anonymous 1993, Anonim 1993).

Ölçüm: Bir büyüklüğün değerinin bulunmasına yönelik işlemler dizisi.

Ölçüm metodu: Genel hatlarıyla ifade edilen ve belirli bir prensibe göre gerçekleştirilen ölçüm faaliyetleriyle ilgili olarak teorik ve uygulamalı işlemler dizisi.

Ölçüm hatası: Ölçüm sonucundan, ölçülen büyüklüğün gerçek değerinin çıkarılmasıyla elde edilen sonuç.

Bağıl hata: Mutlak ölçüm hatasının ölçülen büyüklüğün gerçek değerine oranı.

Rastgele hata: Aynı büyüklüğün bir dizi ölçümleri esnasında önceden tahmin edilmeyecek şekilde değişen ölçüm hatası bileşeni.

Sistemik hata: Aynı büyüklüğün bir dizi ölçümleri boyunca sabit kalan veya önceden tahmin edilebilen değişimler gösteren ölçüm hatası bileşeni.

Düzeltilme faktörü: Öngörülen sistemik hatayı telafi etmek amacıyla, ölçüme ait düzeltilmemiş sonuç ile çarpılan sayısal faktör.

Ölçümün doğruluğu: Ölçülen büyüklüğün gerçek değeri ile ölçüm sonucu arasındaki uyuma yakınlığıdır.

Ölçüm sonuçlarının tekrarlanabilirliği: Aşağıdaki koşulların tümüne uyarak, aynı ölçülen büyüklüğe ait ardıl ölçüm sonuçları arasındaki uyuma yakınlığıdır.

- Aynı ölçüm metodu,
- Aynı gözlemci,
- Aynı ölçme cihazı,
- Aynı konum,
- Aynı kullanım koşulları,
- Kısa zaman aralığında tekrar.

Deneysel standart sapma: Aynı ölçülen büyüklüğe ait n adet ölçümden oluşan bir seri için, aşağıdaki formülle verilen “ s ” parametresi deneysel standart sapmadır ve sonuçların dağılımını karakterize eder.

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

x_i : i . ölçüm sonucu

\bar{x} : değerlendirilen n adet sonucun aritmetik ortalamasıdır.

Ölçüm belirsizliği: Ölçülen büyüklüğün gerçek değerini kapsayan değerler aralığını karakterize eden tahmini değer.

A-tipi belirsizlik hesabı: Gözlem serilerinin belirsizlik hesaplarının istatistiksel analiz yöntemi.

B-tipi belirsizlik hesabı: Gözlem serilerinin belirsizlik hesaplarının diğer (istatistiksel olmayan) analiz yöntemleri.

Birleşik standart belirsizlik: Bir ölçümün çok sayıda başka değerlerden elde edilmiş sonucunun standart belirsizliği, bu değerlerdeki değişimlerin ölçüm sonucunu nasıl etkilediği göz önüne alınarak hesaplanan varyans veya kovaryans ifadeleri toplamının pozitif kareköküne eşittir.

Genişletilmiş belirsizlik: Ölçülen bir niceliğin beklentiye göre ölçüm sonucu değerlerinin büyük bir kısmını içeren aralık olarak tanımlanır.

Kapsam faktörü: Genişletilmiş belirsizliği hesaplamak amacıyla bileşik belirsizlikle çarpılan sayısal faktör olarak tanımlanır. Pratikte, kapsam faktörünün değeri 2 ve 3 arasında bulunmaktadır (Anonymous 1993).

Aritmetik ortalama: Değerlerin toplamının, değerlerin sayısına bölünmesi sonucunda elde edilen değer.

Varyans: Sapmanın ölçümüdür. Her bir ölçümün ortalamasından sapmasının karesinin gözlem sayısının bir eksikliğine bölünmesi ile elde edilir. N tane gözlem x_1, x_2, \dots, x_n için

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i$$

\bar{x} : n tane x 'in ortalaması

Varyans ise;

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2$$

Güven katsayısı: Güven aralığı veya istatistiksel olarak belirlenmiş kapsam aralığı ile ilişkili olasılık değeri.

Belirsizlik: Ölçülen değerlerin belli bir olasılıkla ortalama değer etrafında bulunduğu aralığı tanımlar. Belirsizlik genelde bir rakam olarak verilirken, mutlak veya göreceli olabilir.

2.2 Belirsizlik Hesaplarında İstatistiksel Kavramlar

Pek çok deneyin sonucu ölçümdür. Ölçümlerin güvenilirliği, o deneyin kontrol edilebilen girdilerinin yanı sıra, pek çok kontrol edilemeyen hatta farkına bile varılmayan faktörlere bağlıdır. Bu faktörlerden bazıları, deneyi yapan kişi, deneyde kullanılan cihazlar, deneyin yapıldığı ortamdır. Bu şekilde test edilen cihazdan ve ölçülen niceliğin sabit kalmayıp kaynağın hatalar yanında, bu yukarıda sözü geçen hatalar da ölçüm sonuçlarını etkiler (Benedict 1884, Dietrich 1991).

Bunları matematiksel bir dille anlatabilmek için her ölçülen X için δ hatasının yapıldığını kabul edelim. Bunu $X \pm \delta$ olarak ifade edersek $X \pm \delta$ ifadesi, gerçek değer \bar{X}' 'i kapsar. Daha önce söylendiği gibi, ölçüm hatası δ genellikle iki bileşenden oluşur. Rastgele hata ε ve sistematik hata β , yani $\delta = \varepsilon + \beta$.

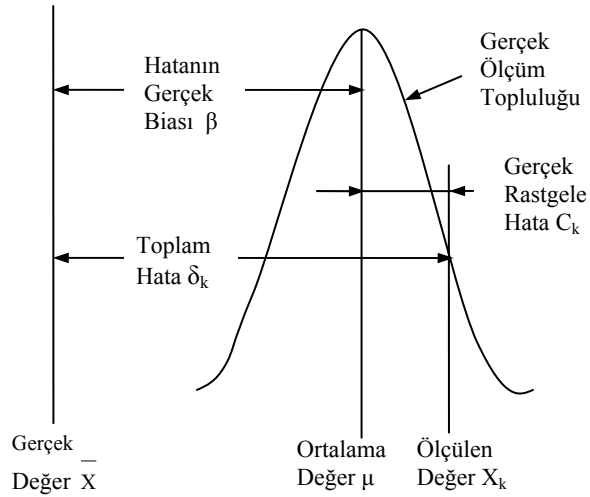
2.2.1 Rastgele hatalar

Eğer aynı değer için ölçümler tekrar tekrar yapılırsa rastgele hata ε , bu ölçümlerin ortalama etrafında bir sapmasını gösterir. Sapma ölçüm yapan cihazların karakteristiğinden ve/veya ölçümü yapılan niceliğin sabit kalmamasından dolayıdır. Kesinlik terimi rastgele hataları karakterize etmek için kullanılır. Kesinlik bütün ölçümlerin hepsinin gerçek standart sapması veya daha çok eldeki verilerin kesinlik indeksi s olarak verilir. s büyükse veriler geniş bir dağılım gösterir, s küçük ise veriler daha kesindir.

2.2.2 Sistematik hatalar

Bütün ölçümlerde rastgele hataların dışında her zaman kabul edilen gerçek değerden daha az veya daha fazla bir değer elde edilir. Bu hatalar sabit hatalar veya sistematik hatalar olarak adlandırılır ve terminoloji olarak bias (eğilim) diye karakterize edilir.

Sistemik hata nicelik olarak bias β , veya biasın tahmini limiti B ile belirtilir. Bu değer nicelik olarak bilindiğinde tüm ölçülen değerlere eklenen bir düzeltme faktörü gibi kullanılır. Sıfır bias gerçek değer \bar{X}' ile ölçülen değerlerin ortalama değeri μ arasında hiçbir fark yok demektir. Pratikte sıfır biaslı ölçüm yoktur. Burada söylenmek istenen Şekil 2.1' de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Çeşitli istatistik terimler arasındaki geometrik ilişkiler

2.2.3 Güvenilirlik aralığı

X' in en uygun değerini bulduktan sonra ikinci olarak bulunması gereken bu uygun değer X' in gerçek değerini ne kadar temsil ettiği. Bu her ölçümün sonuna \pm olarak eklediğimiz niceliktir ve güvenilirlik aralığı (CI) olarak adlandırılır. Böylece gerçek değer, güvenilirlik aralığı $CI(p)$ dikkate alınarak $\bar{X} \pm CI(p)$ şeklinde verilir. Burada p güvenilirlik değerinin olasılığıdır.

Bu güvenilirlik aralıklarını elde etmek için aynı değişkenin tekrar tekrar ölçümüne gerek vardır ve bu aralıklar verilerin büyüklüklerine ve sayılarına göre farklılıklar gösterirler.

2.2.4 Çok sayıda yapılmış ölçüm serileri

Çok sayıda ölçüm, matematiksel olarak ölçüm sayısının 10'dan büyük olduğu durum olarak kabul edilir. Tekrarlanan gözlemler sonucunda farklı X değerinin kaç kez okunduğu Gauss-Laplace normal dağılımıyla çok yakın bir yaklaşımla ifade edilebilir (Anonymous 1967).

$$f(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{X-\mu}{\sigma}\right)^2\right]$$

σ , X 'in gerçek standart sapmasını gösterir.

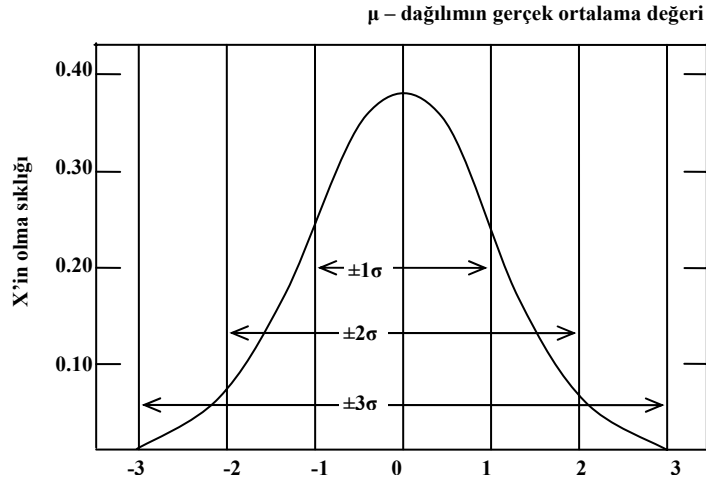
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (X_k - \mu)^2}$$

Kullanılarak elde edilir.

σ belli bir X değerinin ne kadar saçıldığıнын ölçüsüdür, bir başka deyişle kesinlik hatası ε 'nin ölçütüdür.

Yukarıdaki formüllerde gösterildiği gibi dağılımın merkez noktası topluluğun ortalamasıdır. Verilen koşullarda ortalama değer gerçek değer \bar{X}' 'in en iyi tahmini olduğundan $f(x)$ dağılımını ve sapma σ 'yi tanımlayan ifadelerde de μ kullanılmıştır. μ sonsuz sayıda gerçekleşen gözlemlerin ortalamasıdır.

Normal dağılım, merkez μ olmak üzere olası değerlerin %68.26'sının $\pm 1\sigma$ aralığında olduğu anlamına gelir (Kline and McClintock 1953, Benedict 1964). Fakat pek çok uygulama için bu aralık yeterli değildir. O yüzden daha büyük güvenilirliğe sahip daha geniş aralıklar kullanılır. Değerlerin %95.46'sının $\pm 2\sigma$ aralığı içinde yer aldığı veya değerlerin %99.73'nün $\pm 3\sigma$ aralığı içinde yer aldığı gibi, Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 X'in normal dağılımı

2.2.5 Az sayıda yapılmış ölçüm serileri

Pratik yaşamda bir değişken üzerinde yapılan ölçümlerin sayısı sınırlıdır. Genellikle X 'in bütün olası değerleri arasında oldukça küçük bir miktarı ölçülür. Bu gerçek aritmetik ortalama μ 'nün elde edilememesi böylece doğru standart sapmanın (σ) bulunamaması demektir. Bu durumda, ulaşılamayacak sapma ($X_k - \mu$) yerine sadece ($X_k - \bar{X}$) farkı bulunabilir. Bir veri örneğinin kesinlik indeksi

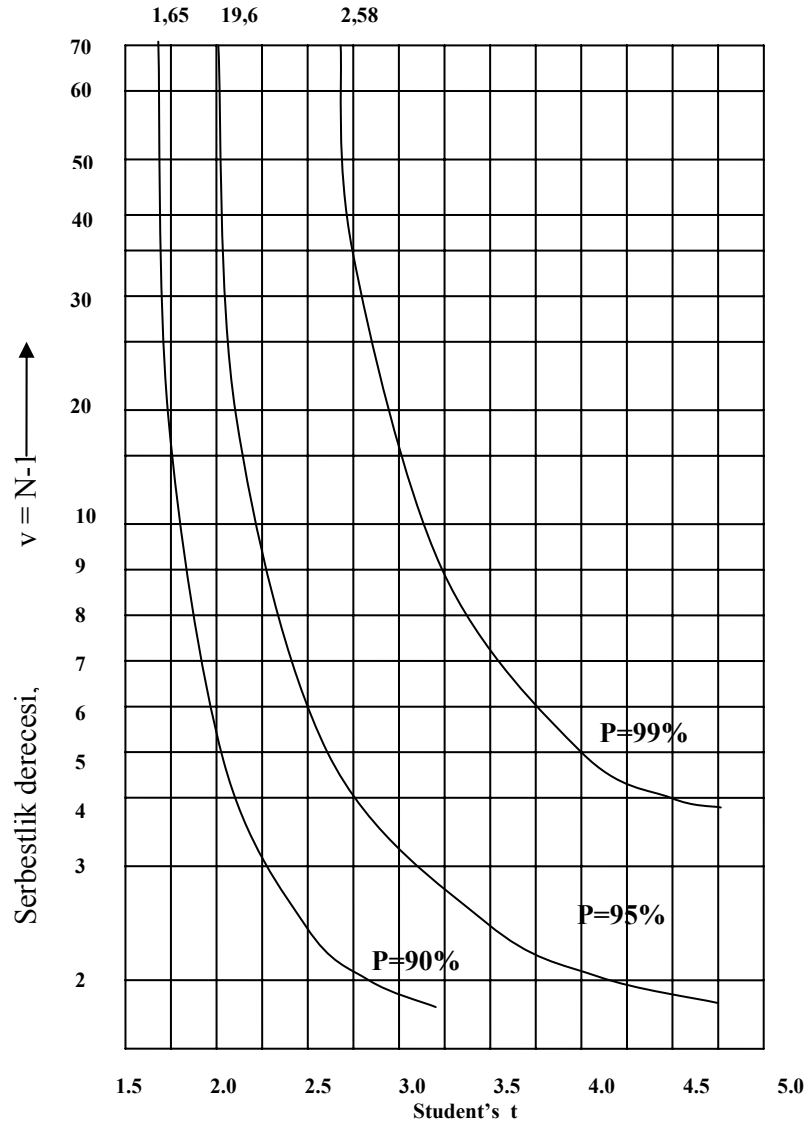
$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (X_k - \bar{X})^2}$$

olarak verilir. Burada μ 'nün yerine \bar{X} kullanıldığı için meydana gelebilecek negatif eğilimin etkisini yok edebilmek için farklar oluşturulurken N yerine $(N-1)$ kullanılmıştır. Fakat yine de az sayıda değerler için standart sapma elde edilen " s " arzu edilen " σ "ya eşit değildir.

Yukarıdaki sorunu çözebilmek için W.S. Gosset tarafından oluşturulan çizelge kullanılır. Bu çizelgede güvenilirlik aralıkları tek bir grup, az sayıdaki değerlerin kesinlik indeksine dayanarak bulunabilir. Student's istatistik diye adlandırılan, bu

istatistikte değerler izelge 2.1 ve Şekil 2.3’de, serbestlik (ν) ve istenilen güvenilirlik (p) derecelerine göre verilmiştir (Anonim 1995).

Çizelge 2.1’deki değerlerin yakından incelenmesi sonucu Őunu gösterir ki, ölçümlerde ki gerçek standart sapma “ σ ” tam belirlenmediğinden ve bunun yerine az sayıda yapılmış ölçümler için t -istatistiği kullanıldığında güvenilirlik aralığı geniŐlemektedir.



Şekil 2.3 Student's istatistiği

Çizelge 2.1 Normal dağılım için Student istatistiği.

$\nu=N-1$	$t_{90\%}$	$t_{95\%}$	$t_{99\%}$
1	6.314	12.706	63.657
2	2.920	4.303	9.925
3	2.353	3.182	5.841
4	2.132	2.776	4.604
5	2.015	2.571	4.032
6	1.943	2.447	3.707
7	1.895	2.365	3.499
8	1.860	2.306	3.355
9	1.833	2.262	3.250
10	1.812	2.228	3.169
11	1.796	2.201	3.106
12	1.782	2.179	3.055
13	1.771	2.160	3.012
14	1.761	2.145	2.977
15	1.753	2.131	2.947
16	1.746	2.120	2.921
17	1.740	2.110	2.898
18	1.734	2.101	2.878
19	1.729	2.093	2.861
20	1.725	2.086	2.845
21	1.721	2.080	2.831
22	1.717	2.074	2.819
23	1.714	2.069	2.807
24	1.711	2.064	2.797
25	1.708	2.060	2.787
26	1.706	2.056	2.779
27	1.703	2.052	2.771
28	1.701	2.048	2.763
29	1.699	2.045	2.756
30	1.697	2.042	2.750
40	1.684	2.021	2.704
60	1.671	2.000	2.660
120	1.658	1.980	2.617
∞	1.645	1.960	2.576

2.2.6 Ölçülen büyüklüğün toplam belirsizliği

Ölçüm sırasında rastlanan her iki tip hatadan, rastgele hatalar istatistiksel, sistematik hatalar ise istatistiksel olmayan yöntemlerle hesaplandığından, bu iki hata tipi birbirine basitçe eklenememektedir (Anonim 1995).

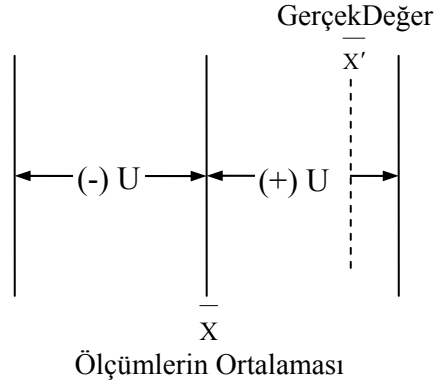
Fakat ölçümlerin çoğunluğunda belirsizliği belirleyen tek bir rakama ihtiyaç vardır. Bu yüzden tekrar tekrar yapılan herhangi bir büyüklüğün (örneğin, sıcaklık veya basınç) ölçümlerinde rastlanan rastgele ve sistematik hatalar belli bir yöntemle birleştirilerek belirsizliği tanımlayan tek bir rakam oluşturulur. Hatanın eğilimi B ve hatanın kesinliği $t_{95} s_{\bar{X}}$ bileşiminden oluşan bu rakama belirsizlik (U) denir.

Tüm hataların aynı yönlerde bulunamayacağı tahmin edilir. Dolayısıyla toplam belirsizlik, belirsizliklerin kareleri toplamlarının karekökü olarak belirlenir.

$$U_{RSS} = \sqrt{B^2 + (t_{95} s_{\bar{X}})^2} \quad (\%95 \text{ güvenilirlik ile})$$

Burada RSS alt indisi karelerin toplamının karekökü (Root Sum Square) olarak oluştuğunu sergilemektedir ve bu model için güvenilirlik düzeyinin %95 olduğu parantez içerisindeki rakam gösterir.

Bu model ölçülen parametrenin verilen kapsamı için beklenen hata sınırını gösterir, yani toplam hata δ 'nın en iyi değeridir. Kapsam değeri ölçülen parametrenin gerçek değerinin \bar{X}' en uygun değer \bar{X} artı veya eksi değeri $\pm U$ ile belirlenen aralıkta bulunmasının beklenen olasılığını tanımlamaktadır. Belirsizlik aralığı Şekil 2.4'de gösterilmektedir.



Şekil 2.4. Toplam belirsizliğin kapsadığı aralığın gösterimi

2.3 Standart Belirsizliğin Hesaplanması

2.3.1 Ölçümün modellenmesi

Daha önce söylendiği gibi pek çok durumda ölçülen nicelik Y doğrudan ölçülemez fakat N tane X_1, X_2, \dots, X_N gibi başka nicelikten f fonksiyonu ile verilen bağıntıyla elde edilir (Anonymous 1999).

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$$

Örnek 1: Belli bir t_0 sıcaklığında direnci R_0 olan ve direnç değeri sıcaklığa bağlı olarak α katsayısıyla doğrusal değişen direncin iki ucuna potansiyel farkı V uygulandığında, t sıcaklığında direnç üzerindeki P gücü V , R_0 , α ve t değerleri kullanılarak şu şekilde ifade edilir:

$$P = f(V, R_0, \alpha, t) = V^2 / R_0 [1 + \alpha(t - t_0)]$$

Girdi nicelikler seti X_1, X_2, \dots, X_N şu şekilde sınıflandırılabilir;

Yapılan ölçümde değerleri ve belirsizlikleri doğrudan belirlenebilen nicelikler. Bu değerler ve belirsizlikler, tek bir gözlen sonucu, tekrarlanan gözlemler sonucu veya belli bir deneyim sonucunda karar vererek elde edilebilir. Bu sonuçlar cihazlardan okunan

değerlere ve ortam sıcaklığı, basınç, nem gibi sonucu yönlendiren etkenlere göre düzeltmeler içerebilir.

Standart belirsizlik hesaplamasında, A-tipi ve B-tipi hesaplanma yöntemleriyle belirsizlikler hesaplanır.

2.3.2 Standart belirsizliğin A-Tipi hesaplanması

Çoğu kez rastgele değişken q için n tane bağımsız gözlem sonucunda aynı gözlem koşullarında elde edilen en iyi kestirim, n tane gözlemin aritmetik ortalamasıdır (Anonymous 1999).

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_k$$

Her bir gözlem q_k , ortam koşullarındaki rastgele değişimlerden ve etki faktörlerinin rastgele değişimlerinden dolayı farklılıklar gösterir. Girdi büyüklüğündeki rastgele hatalardan doğan belirsizliğin tanımlanması için deneysel standart sapma eşitliği kullanılır.

Gözlemlerin deneysel varyansının değeri, aynı zamanda q için olasılık dağılımının varyansı σ^2 'dir, ve aşağıdaki eşitlikle belirlenir.

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

Varyansın bu kestirimi ve deneysel standart sapma olarak adlandırılan onun pozitif karekökü, gözlemlenen değerlerin farklılığını belirtir veya daha genel olarak onların ortalamadan sapmalarını karakterize eder. Diğer bir deyişle deneysel varyans tüm gözlem sonuçlarının dağılımına ait bir değerdir.

Gözlemler ortalamasının varyansının en iyi kestirimi ise,

$$s^2(\bar{q}) = \frac{s^2(q_k)}{n}$$

Eşitliğiyle verilir. Ortalamanın deneysel varyansı $s^2(\bar{q})$ ve onun pozitif kareköküne eşit olan ortalamanın deneysel standart sapması $s(\bar{q})$, \bar{q} değerlerinin beklenen değer μ_q 'u ne derece temsil ettiğinin ölçüsüdür ve her ikisi de q 'nun içerdiği belirsizliği ölçmek için kullanılırlar.

Kolaylık için, A-tipi varyans veya A-tipi standart belirsizlik olarak adlandırılır. Belirsizliği ve onun hesaplanması için kullanılan varyansların A-tipi veya B-tipi değil, sadece varyansların belirlenmesi için kullanılan belirsizlik hesaplama yöntemlerinin A-tipi (tekrarlanan ölçüm sonuçlarına dayanan istatistik yöntem) veya B-tipi (istatistik olmayan yöntem) olduğunu söyleyebiliriz.

Notlar:

1. n tane gözlemin sonucunun güvenilir bir kestiriminin \bar{q} olabilmesi için gözlem sayısının yeterince büyük olması gerekir. Eğer q normal dağılıma sahip değilse bu fark t -dağılımı olarak ele alınır.
2. σ^2 ölçüm sayısının sonsuz olduğu halde normal dağılıma sahip bir değişkenin standart sapmasıdır. Bu yüzden deneysel standart sapma ile standart sapma arasındaki fark oldukça küçük olması için ölçüm sayısı büyük olmalıdır. Örneğin, ölçüm sayısı 10'dan küçük ise elde edilen deneysel standart sapma t -faktör adlandırılan değeri ile çarpılmalıdır (Anonymous 1993). Bu işlemler, $s^2(\bar{q})$ ile $\sigma^2(\bar{q})$ arasındaki farkın belirlenmesi, güvenilirlik aralığı belirtilmesinde çok önemlidir.

2.3.3 Standart belirsizliğin B-Tipi hesaplanması

İstatistiksel olmayan yöntemle, olabilecek bütün farklı değerler göz önüne alınarak, bütün elde olan bilgiler kullanılarak hesaplanır (Anonymous 1999). Bunlar;

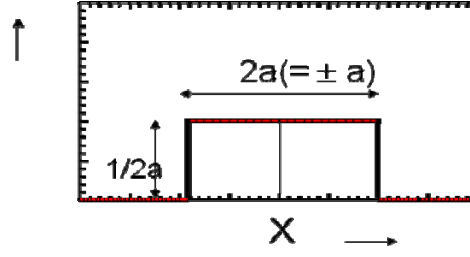
- Daha önce yapılan bir ölçümde elde edilen veriler.
- İlgili malzemeler ve kullanılan cihazlar konusundaki deneyim ve daha önce edinilmiş bilgiler.
- Üreticinin belirttiği özellikler
- Kalibrasyon ve diğer sertifikalarda bulunan veriler
- El kitaplarından alınan referans verilere ilişkin belirsizliklerdir.

Bu şekilde hesaplanan $u^2(x_i)$ ve $u(x_i)$ bazen kolaylık açısından B-tipi varyans ve B-tipi standart belirsizlik olarak adlandırılır.

Eğer kestirim x_i başka bir kaynaktan alınmışsa ve kaynakta belirsizlik standart sapmanın belli bir çarpanı olarak veriliyorsa standart belirsizlik $u(x_i)$ basitçe, söylenen değer bu çarpana bölümü, kestirilen varyans $u^2(x_i)$ ise bölme sonucunda elde edilen değer karesidir.

Örnek 2: Eğer kalibrasyon sertifikasında standart direnç $R_s = 10.000742\Omega \pm 129\mu\Omega$ olarak verilmiş ve belirsizliğin %99 güvenilirlik düzeyiyle $129\mu\Omega$ olduğu belirtilmişse, $u(R_s) = \frac{129}{2.58} = 50\mu\Omega$ dur. Göreceli standart belirsizlik ise $5 \times 10^{-6} \Omega/\Omega$ 'dır ve varyans $u^2(R_s) = (50\mu\Omega)^2 = 2.5 \times 10^{-9} \Omega^2$ 'dir.

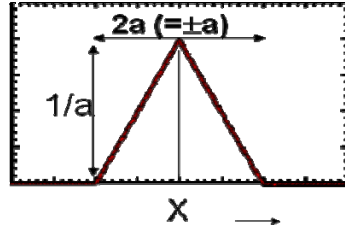
Sistematik hatalarla ilgili bazen herhangi bir dış etkenden dolayı sadece X_i için en alt ve en üst değerler verilir. O zaman bu limitler içinde olasılığın bir (1), dışında ise sıfır (0) olduğunu kabul edebiliriz (dikdörtgen dağılım). Bu durumda X_i için en uygun değer Standard Belirsizlik=Genişletilmiş Belirsizlik / $\sqrt{3}$ olarak hesaplanır.



Şekil 2.5 Dikdörtgen dağılım

Gerçek yaşamda dikdörtgen dağılım elde edilmez bunun yerine, orta noktalarda yoğunlaşıp, kenarlarda azalan bir dağılım daha gerçekçi bir yaklaşım olur. Bu şekilde iki tarafa aynı eğime sahip taban genişliği $(a_+ - a_-) = 2a$ alınırsa, X_i 'nin tahmini değeri $x_i = (a_- + a_+)/2$ ve varyans $u^2(x_i) = \frac{a^2}{6}$ olarak verilir. Üçgen dağılım olarak adlandırılır ve

$$u(x_i) = \frac{a}{\sqrt{6}} \text{ 'dır.}$$



Şekil 2.6 Üçgen dağılım

Verilen sınırlar içinde girdi değerlerinin simetrik olmadığı durumlarda farklı dağılımlar farklı sonuçlar verir. Eğer uygun bir dağılım seçmek için yeterli bilgi yoksa bir önceki gibi $u^2(x_i) = (a_+ + a_-)/12$ alınabilir.

2.3.4 Bileşik belirsizliğin hesaplanması

y ölçülebilir büyüklük Y 'nin kestirilen değeri iken girdi büyüklüklerinin kestirilen değerleri $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ standart belirsizliklerinin uygun bir kombinasyonu halinde elde

edilmektedir (Anonymous 1999). Bu yöntemle belirlenen belirsizlik bileşik olarak adlandırılır ve $u_c(y)$ olarak gösterilir.

Bileşik standart belirsizlik aşağıdaki ifadeyle hesaplanan bileşik standart varyansın pozitif karekökü olarak tanımlanır.

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

Buradaki f fonksiyonu ölçüm modelini belirleyen fonksiyondur. $u(x_i)$ değerlerinin her biri A-tipi yöntem veya B-tip yöntemle gösterildiği şekilde hesaplanır. $u_c(y)$ bileşik standart belirsizlik olarak kabul edilir ve ölçülen büyüklük Y ile ilintili kestirilen y değerinin dağılımını sergiler.

$\frac{\partial f}{\partial x_i}$ kısmi türevler $X_i = x_i$ değerinde hesaplanan $\frac{\partial f}{\partial X_i}$ türevlere eşittir. Bu türevler genellikle duyarlılık katsayıları olarak adlandırılır ve x_1, x_2, \dots, x_N değerlerinin değişiminin kestirilen değer y 'yi nasıl etkilediğini gösterir. İstatistikte bu türevler duyarlılık katsayıları olarak adlandırılır. Pratikte, girdi büyüklüklerinin küçük değişimi Δx_i ile y 'nin değerinde meydana gelen değişim aşağıdaki ifade ile verilir.

$$(\Delta y)_i = \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i$$

Eğer bu değişimin nedeni x_i 'lerin standart belirsizlikleri ise buna uygun y 'de ki değişim $\left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right) u(x_i)$ olacaktır. Böylece bileşik varyans $u_c^2(y)$ her bir girdi büyüklüğün varyansını içeren bileşenlerin toplamı olarak kabul edilir (Anonymous 1999).

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N [c_i u(x_i)]^2 \equiv \sum_{i=1}^N u_i^2(y)$$

Bu ifadede

$$c_i \equiv \frac{\partial f}{\partial x_i}, \quad u_i(y) \equiv |c_i| u(x_i)$$

Örnek 3: Örnek 1 için duyarlılık katsayılarını ve bileşik standart belirsizliği hesaplayalım. Ölçümlerde kullanılan fonksiyon

$$P = f(V, R_0, \alpha, t) = \frac{V^2}{R_0 [1 + \alpha(t - t_0)]}$$

Buradan hassasiyet katsayıları

$$C_1 \equiv \frac{\partial P}{\partial V} = \frac{2V}{R_0 [1 + \alpha(t - t_0)]} = \frac{2}{V} \frac{V^2}{R_0 [1 + \alpha(t - t_0)]} = \frac{2P}{V}$$

$$C_2 \equiv \frac{\partial P}{\partial R_0} = \frac{V^2}{R_0^2 [1 + \alpha(t - t_0)]} = -\frac{1}{R_0} \frac{V^2}{R_0 [1 + \alpha(t - t_0)]} = -\frac{P}{R_0}$$

$$C_3 \equiv \frac{\partial P}{\partial \alpha} = -\frac{V^2(t - t_0)}{R_0 [1 + \alpha(t - t_0)]^2} = \frac{t - t_0}{1 + \alpha(t - t_0)} \frac{V^2}{R_0 [1 + \alpha(t - t_0)]} = \frac{P(t - t_0)}{1 + \alpha(t - t_0)}$$

$$C_4 \equiv \frac{\partial P}{\partial t} = \frac{\alpha V^2}{R_0 [1 + \alpha(t - t_0)]^2} = -\frac{\alpha}{1 + \alpha(t - t_0)} \frac{V^2}{R_0 [1 + \alpha(t - t_0)]} = \frac{\alpha P}{1 + \alpha(t - t_0)}$$

Elde edilen duyarlılık katsayılarını kullanarak

$$\begin{aligned} u^2(P) &= \left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)^2 u^2(V) + \left(\frac{\partial P}{\partial R_0} \right)^2 u^2(R_0) + \left(\frac{\partial P}{\partial \alpha} \right)^2 u^2(\alpha) + \left(\frac{\partial P}{\partial t} \right)^2 u^2(t) = \\ &= [c_1 u(V)]^2 + [c_2 u(R_0)]^2 + [c_3 u(\alpha)]^2 + [c_4 u(t)]^2 \\ &= u_1^2(P) + u_2^2(P) + u_3^2(P) + u_4^2(P) \end{aligned}$$

2.3.5 Genişletilmiş belirsizliklerin belirlenmesi

Bileşik belirsizlik $u_c(y)$ evrensel olarak ölçümlerdeki belirsizliği tanımlamasına rağmen, bu değer ölçülen büyüklüğün dağılımını gösterdiğinde güvenilirlik düzeyi sadece %68.27'dir. Endüstriyel uygulamalarda daha yüksek güvenilirlik düzeylerine gereksinim vardır. Bu durumlarda ölçümlerdeki belirsizliği tanımlamak için genişletilmiş belirsizlik olarak adlandırılan diğer bir terim kullanılır. Genişletilmiş belirsizlik U bileşik standart belirsizlik $u_c(y)$ ile kapsam faktörü k nın çarpımı sonucunda elde edilir (Anonymous 1999).

$$U = k \times u_c(y)$$

3. MATERYAL

3.1 Sıcaklık Ölçümünün Önemi

Sıcaklık, bilim teknoloji ve günlük yaşamda çok sık kullanılan bir kavramdır. Sıcaklık ölçümü ve kontrolü endüstride, sanayide ve hatta günlük hayatta çok önemli rol oynamaktadır.

Metallerin işlenmesinden hassas bir kimyasal sürecin tamamlanmasına, kalibrasyon ölçümlerinden biyolojik bir olayın gerçekleşmesine kadar değişen çok çeşitli işlemlerde sıcaklığın denetlenmesi gerekmektedir.

Sıcaklık meydana getirdiği bir takım etkilerin ölçülmesi ile saptanır.

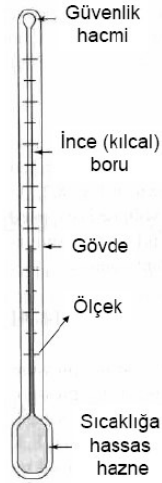
- Sıcaklığın bazı elektrik devrelerinde gerilim oluşmasına neden olduğu keşfedildikten sonra bu gerilimin büyüklüğü ölçülerek sıcaklık miktarının belirlenmesi mümkün olmuştur.
- Sıcaklık bazı metallerin direncini değiştirir. Birbirine yapıştırılan uzama katsayıları farklı iki metal şeridin sıcaklık etkisi ile meydana getirdikleri şekil değişimi bimetal termometrenin esasıdır.
- Sıcaklık renk değişimine neden olur, ses hızını etkiler. Tüm bunlar tıp, bilim ve sanayide kullanılmaktadır.
- Sıcaklık, hemen hemen tüm endüstriyel işlemlerde çoğu kez ürün kalitesini belirleyen en önemli unsurdur.
- Enerji kaynaklarının (petrol ve diğer benzeri doğal kaynakların) en verimli şekilde kullanılması için ortam sıcaklığının çok dikkatli bir şekilde izlenmesi gerekmektedir.

- Sağlık, güvenlik, evre Şartlarının izlenmesinde sıcaklık önemli bilgidir.
- Biyoteknoloji ve metroloji dahil pek çok kendine özgü bilimsel disiplinde de sıcaklık vazgeçilmez bir unsurdur.
- Özellikle kalibrasyon laboratuvarlarında ortam Şartlarının yapılan ölçümlere büyük miktarlarda hata etkileri vardır ve bu değerin belirli limitler içinde olması istenir (rneğin $21\pm 1^{\circ}\text{C}$) ve kalibrasyonun kalitesi için uluslararası standartlarda gerek Şarttır. Özellikle boyut ölçümlerinde limitler çok daha hassas olmakta $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ kadar düŐmektedir. Limitler aŐıldığında ortam Şartları sağlanıncaya kadar kalibre iŐlemine ara verilir ve bu değerlerin günlük olarak kaydedilmesi gereklidir. Kalibre raporlarında laboratuvarın kalibre esnasındaki sıcaklık ve nem miktarı belirtilmek zorundadır.

3.2 Karşılaştırma Deneylerinde Kullanılan Materyaller

3.2.1 Sıvılı cam termometreler

Çalışma prensibi cam içerisinde bulunan sıvının sıcaklık ile genleŐmesine dayanır. Hazne içindeki sıvı sıcaklık artıkça genleŐip kılcal boru (kapiler) zerinde ölçülebilir bir yükseklik oluŐturur. Burada genleŐme ile sıvının termal enerjisi mekanik enerjiye dönüŐtürülür. Kılcal borunun üst kısmı kapatılmıŐ olup, içerisine sıvının buharlaŐmasını önlemek için azot gibi nötr bir gaz doldurulur. Termometrenin aŐırı ısınması halinde, i basınç nedeniyle termometrenin kırılmasını önlemek için, kılcal borunun üst kısmında küçük bir hacim bulunur. Termometre içindeki sıvı hizası ile aynı hizadan okuma yapılmalıdır. Sıvılı cam termometrelerde genellikle cıva veya organik sıvılar kullanılır.



Şekil 3.1 Sıvılı cam termometre

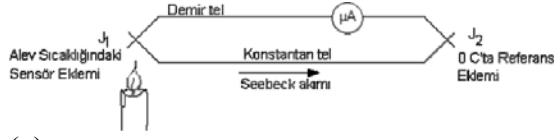
3.2.2 Isıl çift termometreler

Sıcaklık ölçümü için birçok yöntem vardır. Elektronik dünyası ve yüksek sıcaklık ölçümleri için en önemli metotlardan birisi ısıl çift sistemidir.

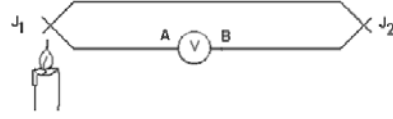
1821'de Thomas Seebeck iki farklı metalin veya metal alaşımının her iki ucunu kaynakla birleştirip bir ucunu ısıttığında ortaya çıkan küçük akım akışının iki bağlantı arasındaki sıcaklık farkına bağlı olduğunu keşfetmiştir. Eğer devre ortadan ayrılırsa, bir açık devre gerilimi (Seebeck gerilimi) ölçülebilir. Kaynak noktasına, sıcak nokta veya ölçüm eklemi ve diğer açık iki ucuda, soğuk nokta veya referans noktası da denir. Isıl çift prensibi sıcak nokta ile soğuk nokta arasındaki sıcaklık farkından doğar. Sıcaklık farkı devrede, Seebeck etkisi adı verilen bir elektromotor kuvvetin oluşmasına yol açar. Bu elektromotor kuvveti yaklaşık olarak iki bağlantı arasındaki sıcaklık farkı ile orantılıdır. Soğuk nokta uçlarında mV mertebesinde gerilim üretilir. Şekil 3.2 Seebeck etkisi ve Seebeck gerilimini göstermektedir. Sıcaklıktaki küçük değişmeler için Seebeck gerilimi sıcaklıkla doğru orantılıdır. Bu olay endüstrinin tercih ettiği ölçme enstrümanlarından biri olan ısıl çiftin temelini oluşturmaktadır. En çok bilinen ısıl çiftler ve bunların normal sıcaklık aralıkları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

$$V_{ab} = \alpha (T_1 - T_2)$$

α = Seebeck katsayısı



(a)



(b)

Şekil 3.2 Seebeck etkisi ve Seebeck gerilimi

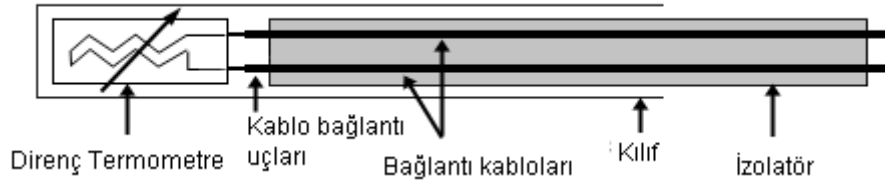
(a) Seebeck etkisi: $TJ1 \neq TJ2$ olduğunda akım akar, (b) Seebeck etkisi: $TJ1 \neq TJ2$ olduğunda A - B üzerindeki gerilim düşümü.

Çizelge 3.1 Standart Isıl çift Tipleri ve Değerler Aralığı

Tip	Malzemeler	Normal Değerler Aralığı
J	Demir-konstantan	-200°C'tan 1190°C
K	Bakır-konstantan	-260°C'tan 390°C
T	Kromel-alumel	-260°C'tan 1370°C
E	Kromel-konstantan	-260°C'tan 990°C
S	%90 platin + %10 rodyum-platin	-40°C'tan 1760°C
R	%87 platin + %13 rodyum-platin	-40°C'tan 1760°C
B	%70 Pt + %30 Rh- platin	0°C'tan 1810°C
N	Nikrosil-Nisil	-260°C'tan 1290°C

3.2.3 Platin direnç sıcaklık sensörleri

Platin direnç termometreler endüstriyel çalışmalarda en sık -200°C ile +750°C sıcaklık aralığında kullanılır. Yüksek saflıkta dirence sahip platin telin, özel sarım teknikleri kullanılarak sarılması ile (Platin Resistance Thermometer) PRT sensörler elde edilir ve bu sensörler koruyucu tüp içine yerleştirilerek muhafaza edilir. PRT termometreler 2, 3 veya 4 direnç teli ile uzatma yapılarak okuma cihazına bağlanabilir. Bu termometrelerin 0°C'deki nominal değeri 25Ω, 100Ω veya 1000Ω'dur.



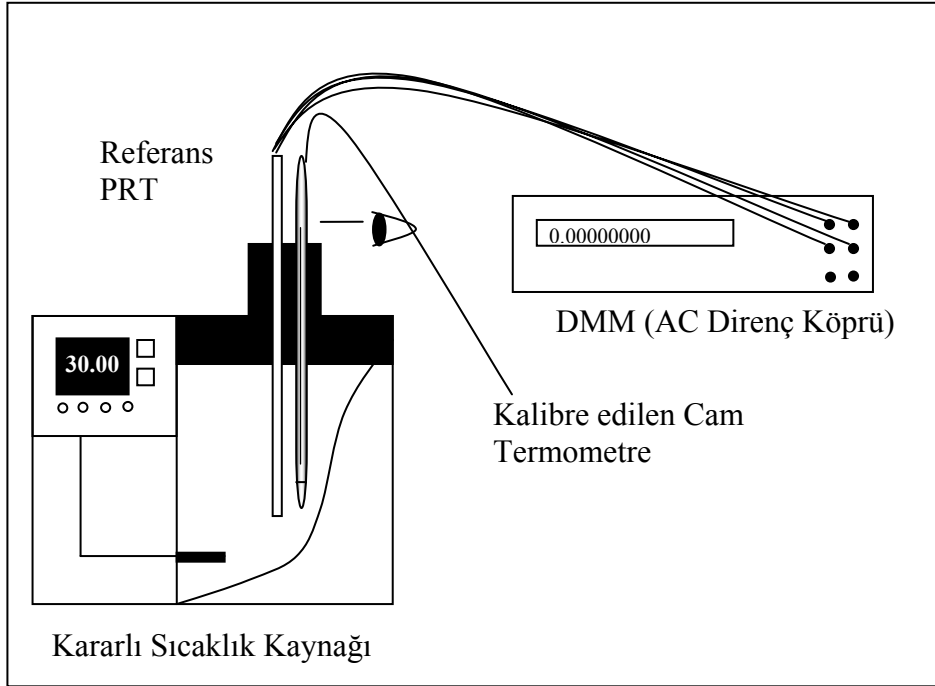
Şekil 3.3 PRT sensör içyapısı

Kablolardan kaynaklanan elektriksel dirençler, termometre direncine seri bağlı bir direnç etkisi yaratır. Bu yüzden ölçülen direnç değeri toplam direnç değeri olarak karşımıza çıkar. Bu durum, olması gereken sıcaklık değerinden daha büyük bir değer ölçerek hata yapmamıza neden olur. Daha uzun ve/veya daha küçük çapa sahip kablolar, daha büyük kablo direnç etkisi yaratarak önemli ölçüm hatalarına neden olur. Bu sebeple 2 telli ölçüm tavsiye edilmez. Bunun yerine 4 telli bağlantı yapılmalıdır.

4. DENEYSEL KALİBRASYONLAR

4.1 30°C de Karşılaştırma Yöntemi ile Sıvı Cam Termometre Kalibrasyonu

Sıvı cam termometrenin kalibrasyonu için şekil 4.1’de verilen kalibrasyon düzeneği kurulur.



Şekil 4.1 Cam termometrenin kalibrasyon düzeneği

Sıvı cam termometrenin kalibrasyonu referans SPRT kullanılarak karşılaştırma yöntemi ile yapılmıştır. Karşılaştırmada referans olarak kullanılan SPRT uluslararası izlenebilirliğe sahip akredite bir laboratuvar tarafından kalibre edilmiş ve 0.001°C doğruluğa sahiptir.

Sıcaklık kaynağı olarak kullanılan termostat kontrollü yağ banyosunun ısı dağılımı mükemmel ve doğruluğu 0.01°C'dir. Bazı banyo sıvılarının özellikleri çizelge 4.1'de verilmiştir.

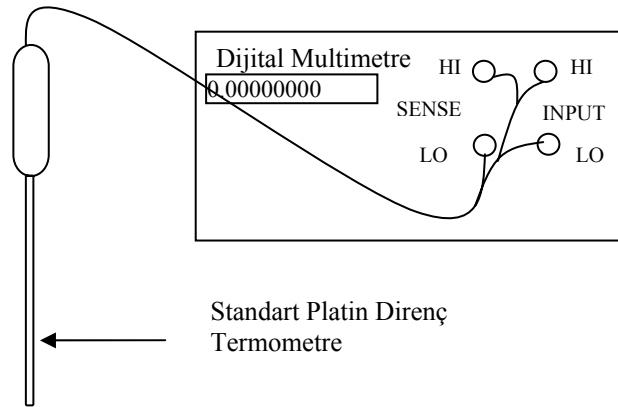
Çizelge 4.1 Sıcaklık Banyoları

Banyo	Sıcaklık Aralığı	Sıcaklık Dağılımı/ °C
Alkol (Etanol veya Metanol)	-60 °C ile 4 °C	±(0.002 – 0.005)
Su (Saf su)	4 °C ile 90 °C	±(0.002 – 0.010)
Yağ	-60 °C ile 250 °C	±(0.002 – 0.005)
Tuz (%50 KNO ₃ ve %50 NaNO ₃ karışımı)	250 °C ile 550°C	±(0.010 – 0.050)

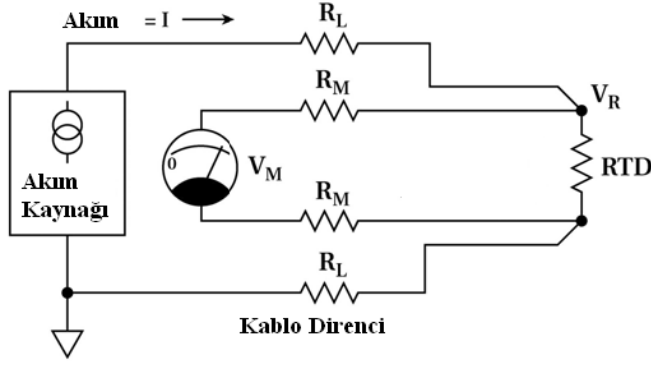
SPRT'nin direnç oran ölçümünde kullanılan dijital multimetre çözünürlüğü 8.5 dijitli Hewlett Packard firmasına ait 3458A parça numaralı yüksek doğruluklu ve yine uluslararası izlenebilirliğe sahip akredite bir laboratuvar tarafından kalibre edilmiştir.

4.1.1 Sıvı cam termometrenin kalibrasyon işlemi

Kalibrasyona başlamadan önce multimetre 4 saat boyunca ısınması için çalıştırılmış olmalıdır. SPRT dört telli olarak Multimetrenin uygun girişlerine Şekil 4.2 de gösterildiği gibi bağlanır. Multimetre dört telli direnç okuması yapacak şekilde okuma aralığı ve kurulum ayarı yapılır.



Şekil 4.2 SPRT nin 4 telli olarak Multimetreye bağlanması



Şekil 4.3 SPRT nin 4 telli olarak ölçümü

SPRT'nin her kalibre öncesinde ve sonrasında Triple Point of Water (TPW) noktası olan $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta direnç değeri ölçülür. Suyun üçlü noktası olarak tanımlanan bu karışım için damıtılmış su kullanılır. Kimya laboratuvarı tarafından hazırlanan damıtılmış suyun bir kısmı önce buz yapma makinesinde buz haline getirilir. Daha sonra bu buz parçaları yaklaşık 2 ila 3mm çapında kırılarak içinde damıtılmış saf su bulunan termosu suyun $1/3$ oranında karıştırılır. Bu halde yaklaşık 15 ila 30 dakika kadar suyun istenilen 3 lü duruma gelmesi beklenir. Daha sonra SPRT'nin termos içinde yaklaşık 15 dakika kararlı olması beklenerek ölçümler alınır. Ölçümler sırasında multimetrenin ölçüm sıklığı ve yöntemi ayarlanarak otomatik olarak ölçüm alması sağlanmıştır. Bu deneyde multimetre yaklaşık 5 saniyede 100 ölçüm alıp bu ölçümlerin ortalamasını vermektedir. Elde edilen bu direnç değeri daha sonra ölçüm alınacak olan $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki SPRT'nin direnç oran hesabında kullanılacaktır.

Kalibrasyon sıcaklığı oranı, referans termometreden elde edilen direnç ölçümü yoluyla hesaplanır. Veya herhangi bir hesaplama gerek kalmadan SPRT'nin sertifikasındaki sıcaklık değerine karşılık gelen direnç değeri elde edilinceye kadar banyo sıcaklığı ayarlanır.

$$W_t = R_t / R_{0.01^{\circ}\text{C}}$$

$R_{0.01^{\circ}\text{C}}$: Suyun üçlü noktasındaki ölçülen direnç değeri.

R_t : Kalibrasyon sıcaklığındaki direnç değeri.

SPRT'nin ölçüm aldığı sıcaklıktaki direnç değerinin suyun üçlü noktasındaki direnç değerine oranı multimetrenin sahip olduğu matematiksel fonksiyonlar kullanılarak otomatik olarak yapılır.

Cam termometre ve SPRT şekil 4.1'de gösterildiği gibi çok dikkatli bir şekilde ve birbirlerine temas ettirilmeden uygun aparatlarla banyo içinde aynı derinliğe sabitlenirler. Banyo istenilen sıcaklık olan 30°C ayarlanır.

Cam termometreden çıplak gözle okuma yapılır. Bir bölmenin yarısı kadar ara değerler ayırt edilebilir. Referans SPRT'den en az 10 değer okunur aynı şekilde kalibre edilen termometreden de en az 10 değer okunur. Cam termometre yağ banyosunun içine banyo sıcaklığı okuma değerine kadar daldırılmamışsa aşağıdaki formülle doğrultma değeri hesaplanmalıdır. Bu hesap yapılırken şekil 4.4'deki gibi ölçüm alınır.

$$Düzeltme = K \times n \times (T - t)$$

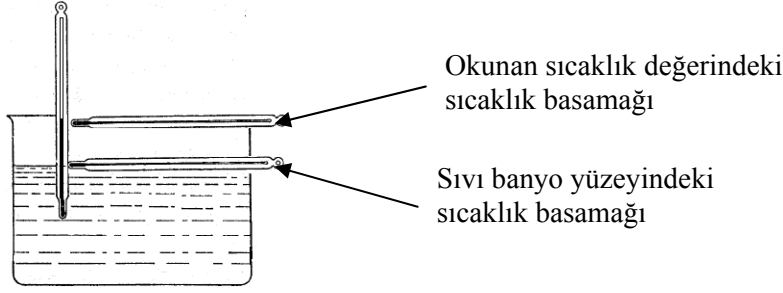
K = düzeltme katsayısı °C ölçüm yapan termometreler için 0.00016

°F ölçüm yapan termometreler için 0.00009

n = Termometrenin yağ banyosu dışında kalan kısmındaki sıcaklık adımlarının sayısı

T = Termometrenin okuduğu sıcaklık değeri

t = Termometrenin kök sıcaklığı, (Termometrenin yağ yüzeyindeki sıcaklık basamağındaki seviyenin sıcaklık değeri + Termometrenin yağ banyosunun dışında kalan ve okuduğu sıcaklık değerinde ki seviyenin sıcaklık değeri)/2.



Şekil 4.4 Cam termometrenin sıcaklık doğrultma yöntemi

Her bir termometre ölçümü arasında, oluşturabilecek iç gerilimleri gidermek için, bir kalemle termometreye yumuşakça vurmalıdır.

Sıfır değerinde değişme olup olmadığını görmek için, termometre, kalibrasyonun başında ve sonunda 0.01°C'de TPW noktasında kontrol edilmelidir.

4.1.2 Sıvı cam termometrenin kalibrasyon belirsizlik hesabı

Kalibre edilecek olan termometreden okunan T_c sıcaklık değerinin hatası aşağıdaki model fonksiyonla ifade edilir.

$$E = T_c - T_r + \delta T1 - \delta T2 - \delta T3 + \delta T4 + \delta T5 + \delta T6 + \delta T7 + \delta T8 + \delta T9 - \delta T10 - \delta T11$$

Model fonksiyondaki hata değerlerinin hesaplanması:

E: Toplam hata

Tr: SPRT'den hesaplanan sıcaklık değeri. $W_t = R_t/R_{0,01^\circ\text{C}}$ formülü kullanılarak elde edilen oran değerinin SPRT'nin sertifikasından interpolasyon yapılarak hesaplanır. Bu değer 29.947°C'dir. SPRT sertifika belirsizliği $k=2$ için %95 güvenlilikle 0.002°C verilmiştir. Hesaplamalarda bu değer 2 ye bölünerek 0.001°C olarak kullanılır.

Tc: Kalibre edilen termometrenin okuduğu sıcaklık değeri: Termometreden okunan ölçümlerin ortalaması 85.967°F yaklaşık 29.982°C okunmuştur.

δT1: Standart termometrenin interpolasyonundan gelen düzeltme: 0.001°C doğruluğa sahip SPRT'nin direnç oranında her ne kadar en küçük dijital 0.0000001Ω olsa da bu değer yapılan hesap sonucunda ve sertifikada değer en fazla 0.001°C verildiği göz önüne alınarak interpolasyon hatasına bağlı düzeltme değeri sıfır, standart belirsizliği,

$$u(\delta T1) = \frac{0.001}{2\sqrt{3}} = 0.00028867^\circ\text{C} \text{ alınır.}$$

δT2: Standart termometrenin kalibrasyonundan gelen düzeltme: SPRT'nin sertifika belirsizliği %95 güvenlilikle k=2 için 0.002°C olarak verilmiştir. Bu değer hesaplamalarda kullanılırken 2'ye bölünür ve dolayısıyla belirsizlik değeri 0.001°C dir.

δT3: Standart termometrenin yıllık kaymasından gelen düzeltme: Referans termometrenin en az iki kalibrasyonu arasındaki kaymadan gelen düzeltme. Kalibrasyon tarihçesi bakıldığında 30°C deki direnç değerlerinde değişim 0.000285Ω bulunmuştur. SPRT'nin 30°C'de sıcaklık oran katsayısı (0.10088Ω/°C)'dir. Bu değer dikdörtgen dağılım gösterdiği dikkate alınarak normal dağılıma çevirmek için $\sqrt{3}$ 'e bölünür. Sonuç olarak belirsizlik değeri 0.0016°C.

δT4: Ortam şartları etkisinden gelen düzeltme: Kalibre edilen cam termometrenin sütunlarındaki yükselmeye ortam şartlarının etkisinden kaynaklanan düzeltme. Kalibre edilen termometrenin okunan değerinin banyo sıvısının dışında kalması durumunda $Düzeltilme = Kn(T-t)$ formülü kullanılarak hesaplanır. Bu kalibrede

$$Düzeltilme = 0.00009 \times 18 \times \left(85.97^\circ\text{F} - \left(\frac{79.5^\circ\text{F} + 75.2^\circ\text{F}}{2} \right) \right) = 0.0139644^\circ\text{F} \text{ buda yaklaşık}$$

olarak 0.00776°C'dir

Burada ilk önce hassasiyet katsayılarının bulunması gerekmektedir. Daha sonra bu bileşen için bir belirsizlik değeri hesaplanacaktır.

$$C_1 = \frac{\partial \text{Düzeltilme}}{\partial T} = 0.00162$$

$$C_2 = \frac{\partial \text{Düzeltilme}}{\partial t_1} = \frac{0.00162}{2} = 0.00081$$

$$C_3 = \frac{\partial \text{Düzeltilme}}{\partial t_2} = -\frac{0.00162}{2} = -0.00081 \text{ olarak bulunur. Buradan bu parametrenin}$$

bileşik belirsizliği

$$u(\delta T_4) = \sqrt{(C_1 \times u(T))^2 + (C_2 \times u(t_1))^2 + (C_3 \times u(t_2))^2}$$

$$u(\delta T_4) = \sqrt{(0.00162 \times 0.0321)^2 + (0.00081 \times 0.0321)^2 + (-0.00081 \times 0.0321)^2}$$

$$u(\delta T_4) \cong 0.0321 \text{ olarak bulunur.}$$

T, t₁, t₂ sıcaklık değerlerinin belirsizlikleri okuma çözünürlüğünden hesaplanmıştır. Buda 0.0577°F yaklaşık 0.0321°C'dir.

δT5: Banyonun kararlılığından gelen düzeltme: Banyonun sistematik hatası olmadığı için düzeltme değeri sıfırdır. Banyo özellikleri belirlenirken ölçümlerin standart sapma değeri 0.01°C bulunmuş ve bu değer standart belirsizlik olarak tanımlanmıştır.

δT6: Banyo sıcaklık dağılımından gelen düzeltme: Banyonun üretici spesifikasyonlarında bildirilen doğruluk değeri $1.44 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$ olarak verilmiştir. Bu değer belirsizlik olarak kullanılmak istendiğinde $\sqrt{3}$ 'e bölünür ve değer $8.314 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$ olarak kullanılır. Bunu da nominal ölçüm sıcaklığı ile çarparsak $8.314 \times 10^{-5} \frac{^\circ\text{C}}{^\circ\text{C}} \times 30^\circ\text{C} \cong 0.00249^\circ\text{C}$ olarak bulunur.

δT7: Kalibre edilen termometrenin buz noktasındaki değişiminden gelen düzeltme: 30°C deki kalibrasyondan hemen önce ve sonra sıfır noktasında ölçümler alınmıştır ve iki ölçüm arasında fark gözlenmemiştir. Düzeltme değeri sıfırdır. Bu bileşene ait standart belirsizlik, kullanıcı çözünürlüğünden gelen belirsizliğe eşit 0.0577°F yaklaşık 0.0321°C alınmıştır.

δT8: Kalibre edilen termometrenin çözünürlüğünden gelen düzeltme: Kullanıcı standart termometrenin okumalarını 0.2°C nin yarısında ayırt edebilmektedir. Düzeltme sıfırdır. Bu interpolasyondan kaynaklanan hata standart belirsizlik olarak alınır. Bu değer $\frac{0.2}{2\sqrt{3}} = 0.0577^\circ\text{F}$ yaklaşık 0.0321°C'dir.

δT9: Kalibre edilen termometrenin standart sapmasından gelen düzeltme: 12 ölçüm sonucu elde edilen standart sapma değerinin ölçüm sayısının kareköküne bölünerek bulunur. Ölçümler boyunca cam termometre herhangi bir değişim görülmediği için bu değer sıfır dolayısıyla da etki ve belirsizlik değeri de sıfırdır.

δT10: SPRT'nin standart sapmasından gelen düzeltme: 12 ölçüm sonucu elde edilen standart sapma değerinin ölçüm sayısının kareköküne bölünerek bulunur. Ölçüm değerleri oransal olarak aşığıdaki gibidir.

Ölçüm Sayısı	Ölçülen Değeri
1	29.946°C
2	29.948°C
3	29.950°C
4	29.947°C
5	29.944°C
6	29.968°C
7	29.944°C
8	29.947°C
9	29.950°C
10	29.949°C
11	29.945°C
12	29.947°C

Ortalama= 29.949

Standart sapma= $6.42 \times 10^{-3} \text{°C}$

$$u(\delta T_{10}) = \frac{6.42 \times 10^{-3}}{\sqrt{12}} \cong 1.85 \times 10^{-3} \text{°C olarak bulunur.}$$

δT_{11} : SPRT'nin buz noktasından gelen düzeltme: 30°C deki kalibrasyondan hemen önce ve sonra sıfır noktasında ölçümler alınmıştır ve iki ölçüm arasında fark $1.34739 \times 10^{-5} \Omega$ gözlemiştir. 0°C deki sıcaklık direnç katsayısı ($0.0039855 \Omega/\text{°C}$) olduğundan bu değer 0.00338°C buda dikdörtgen dağılım gösterdiği için $\sqrt{3}$ 'e bölünürse sonuç yaklaşık 0.002°C bulunur.

Çizelge 4.2 Cam Termometre Belirsizlik Bütçesi

Nitelik	Sembol	Tahmini Değer	Standart Belirsizlik	Olasılık Dağılımı	Hassasiyet Katsayısı	Katkı
Referans Termometre Değeri	Tr	29.949°C	0.001 °C	dikdörtgen	-1	-0.001°C
Kalibre edilen Termometrenin okuduğu değer	Tc	29.978°C	0.0321 °C	dikdörtgen	1	0.032 °C
Referans termometrenin interpolasyonu	δT_1	0 °C	0.0003 °C	dikdörtgen	-1	-0.001 °C
Referans termometre kalibrasyonu	δT_2	0 °C	0.001 °C	normal	-1	-0.001 °C
Referans termometrenin yıllık kayması	δT_3	0 °C	0.0016 °C	dikdörtgen	-1	-0.002°C
Referans termometrenin buz noktasındaki değişimi	δT_{11}	0 °C	0.002 °C	dikdörtgen	-1	-0.002 °C
Kalibre edilen termometre gövde yüksekliği farkı	δT_4	0.008°C	0.0321 °C	dikdörtgen	1	0.032 °C
Banyo kararlılığı	δT_5	0 °C	0.01 °C	normal	1	0.010 °C
Banyo dağılımı	δT_6	0 °C	0.0025 °C	dikdörtgen	1	0.003 °C
Kalibre edilen termometrenin buz noktasındaki değişimi	δT_7	0 °C	0.0321 °C	dikdörtgen	1	0.032 °C
Kalibre edilen termometrenin çözünürlüğü	δT_8	0 °C	0.0321 °C	dikdörtgen	1	0.032 °C
Kalibre edilen termometrenin Std. Sap. gelen düzeltme	δT_9	0 °C	0 °C	normal	1	0.000 °C
Referans termometrenin Std. Sapmasından gelen düzeltme	δT_{10}	0 °C	0.0019°C	normal	-1	-0.002°C
Düzeltilme	C	0.039°C				0.066 °C

Genişletilmiş Belirsizlik:

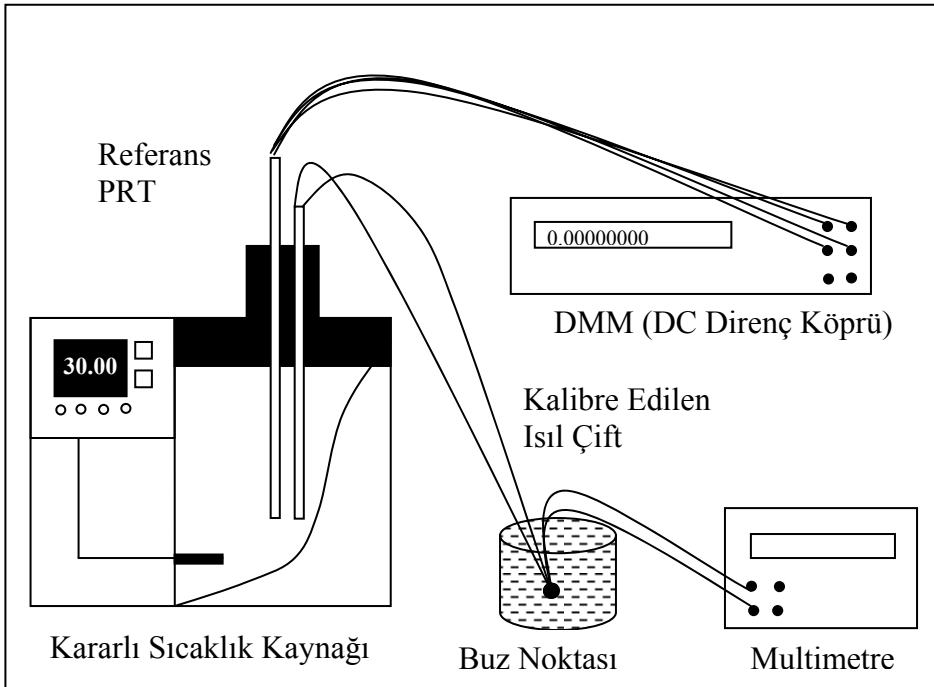
Elde edilen standart belirsizlik değeri, kapsam faktörü 2 ile çarpılarak %95 belirsizlik düzeyi ile bulunur.

$$U = k \times u(C) = 2 \times 0.066^\circ\text{C} \cong \pm 0.132^\circ\text{C}$$

Okunan ortalama değere kalibre sonucu elde edilen düzeltme miktarı ve belirsizlik değeri eklenirse $(29.949^\circ\text{C} + 0.039^\circ\text{C}) \pm 0.132^\circ\text{C} = 29.988^\circ\text{C} \pm 0.132^\circ\text{C}$ bulunur.

Cam termometreye uygulanan gerçek değer 29.988°C 'i 29.856°C ile 30.120°C aralığında %95 kesinlikle okuyacağı anlamına gelir.

4.2 30°C Sıcaklıkta Karşılaştırmalı Kalibrasyon Metodu ile J-tipi Isıl çift Kalibrasyonu



Şekil 4.5 Isıl çift kalibrasyon düzeneği

Isıl çift kalibrasyonunda da yine laboratuvar standardı olan referans SPRT kullanılmıştır. Kalibrasyon düzeneği bir önceki deneyde olduğu gibidir. Bunda farklı olarak ısıl çiftin eklem sıcaklığı, buz noktası yardımıyla 0°C 'de tutulmalıdır. Referans SPRT'den en az 10 ölçüm alınır. Aynı şekilde kalibre edilen ısıl çiftten de en az 10 adet emk (elektro motor kuvvet) ölçümü alınır.

4.2.1 Isıl çift termometrenin kalibrasyon belirsizlik hesabı

Kalibre edilen ısıl çiftte ait kalibre model fonksiyonu aşağıdaki gibidir.

$$E = T_c(V_c) + \delta V_{c1}(S_{c30})^{-1} + \delta V_{c2}(S_{c30})^{-1} + (S_{c0})\delta T_0 + \delta T_{\text{banyo}} - T_r - \delta T_r - \delta T_{r1} - \delta T_{r2}$$

Model fonksiyondaki hata değerlerinin hesaplanması:

Tr: SPRT'den hesaplanan sıcaklık değeri: $W_t = R_t/R_{0.01^\circ\text{C}}$ formülü kullanılarak elde edilen oran değeri SPRT'nin sertifikasından interpolasyon yapılarak hesaplanır. Bu değer 29.947°C . SPRT sertifika belirsizliği $k=2$ için %95 güvenilirlikle 0.002°C verilmiştir hesaplamalarda bu değer 2 ye bölünerek kullanılır. 0.001°C olarak kullanılır.

δT_r SPRT'nin standart sapmasından gelen düzeltme: 12 ölçüm sonucu elde edilen standart sapma değerinin ölçüm sayısının kareköküne bölünerek bulunur. Ölçüm değerleri aşağıdaki gibidir.

Ölçüm Sayısı	Ölçülen Değer
1	29.934
2	29.931
3	29.932
4	29.938
5	29.931
6	29.933
7	29.937
8	29.937
9	29.939
10	29.944
11	29.937
12	29.934

$$u(\delta T_r) = \frac{3.59 \times 10^{-3}}{\sqrt{12}} \cong 1.037 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C} \text{ olarak bulunur}$$

δT_{r1} : Standart termometrenin kalibrasyonundan gelen düzeltme: SPRT'nin sertifika belirsizliği %95 güvenilirlikle $k=2$ için 0.002°C olarak verilmiştir. Bu değer hesaplamalarda kullanılırken 2'ye bölünür dolayısıyla belirsizlik değeri 0.001°C dir.

δT_{r2} : Standart termometrenin yıllık kaymasından gelen düzeltme: Referans termometrenin en az iki kalibrasyonu arasındaki kaymadan gelen düzeltme. Kalibrasyon tarihçesi bakıldığında 30°C deki direnç değerlerinde değişme 0.000285Ω bulunmuştur. SPRT'nin 30°C 'de sıcaklık oran katsayısı ($0.10088\Omega/^{\circ}\text{C}$) dir. Bu değer dikdörtgen dağılım gösterdiği dikkate alınarak normal dağılıma çevirmek için $\sqrt{3}$ 'e bölünür. Sonuç olarak belirsizlik değeri 0.0016°C .

δT_0 : SPRT'nin buz noktasından gelen düzeltme: 30°C 'deki kalibrasyondan hemen önce ve sonra sıfır noktasında ölçümler alınmıştır ve iki ölçüm arasında fark $1.34739 \times 10^{-5}\Omega$ gözlemiştir. 0°C deki sıcaklık direnç katsayısı ($0.0039855\Omega/^{\circ}\text{C}$) olduğundan bu değer 0.00338°C buda dikdörtgen dağılım gösterdiği için $\sqrt{3}$ 'e bölünürse sonuç yaklaşık 0.002°C bulunur.

δT_{banyo} : Banyonun kararlılığından ve sıcaklık dağılımından gelen düzeltme:

Banyonun kararlılığı: Banyo özellikleri belirlenirken ölçümlerin standart sapma değeri 0.01°C bulunmuş ve bu değer standart belirsizlik olarak tanımlanmıştır.

Banyo sıcaklık dağılımı: Banyonun üretici spesifikasyonlarında bildirilen doğruluk değeri $1.44 \times 10^{-4}^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ olarak verilmiştir. Bu değer belirsizlik olarak kullanılmak istendiğinde $\sqrt{3}$ 'e bölünür ve değer $8.314 \times 10^{-5}^{\circ}\text{C}/^{\circ}\text{C}$ olarak kullanılır. Bunu da nominal ölçüm sıcaklığı ile çarparsak $8.314 \times 10^{-5} \frac{^{\circ}\text{C}}{^{\circ}\text{C}} \times 30^{\circ}\text{C} \cong 0.00249^{\circ}\text{C}$ olarak bulunur. Her iki belirsizlik değerinin birleştirilmiş hali ise;

$$u(\delta T_{\text{thermal}}) = \sqrt{(0.01^{\circ}\text{C})^2 + (0.00249^{\circ}\text{C})^2} \cong 0.0103^{\circ}\text{C}$$

δV_{c1} : Multimetrenin kalibrasyonundan gelen düzeltme: Multimetrenin okuma yaptığı basmaktaki belirsizlik değeri 0.314×10^{-6} V olarak belirlenmiştir. Bu değerin sıcaklık karşılığı 1°C değişiklik sonucu ölçülen değişim voltajı $S_{C30} = (0.1\text{mV}/^\circ\text{C})$ 'dir.

δV_{c2} : Multimetrenin en son kalibresinden bu yana gelen kayma miktarı: Multimetrenin en son kalibresinden bu yana sonuca etkileyecek kadar kayma gözlenmemiştir. Belirsizlik değeri olarak 0.314×10^{-6} V alınmıştır.

V_c : Kalibre edilen ısı çiftinin ürettiği emk değeri:

T_c : Kalibre edilen ısı çiftinin ürettiği emk değerinin standart tablodaki sıcaklık karşılığı: Üretilen emk'ya denk gelen sıcaklık değerini belirlemek için kullanılan ve tablodan gelen düzeltme değeri sıfırdır. Belirsizlik değeri de ölçümlerin standart sapmasından gelen değer.

Ölçüm Sayısı	Ölçülen Değeri
1	1.534711mV
2	1.534715 mV
3	1.534718 mV
4	1.534722 mV
5	1.534720 mV
6	1.534722 mV
7	1.534723 mV
8	1.534723 mV
9	1.534718 mV
10	1.534680 mV
11	1.534670 mV
12	1.534599 mV

Ortalama=1.53470mV

Standart sapmadan gelen belirsizlik değeri $^\circ\text{C}$ cinsinden

$$u(\delta V_c) = \frac{3.68 \times 10^{-5}}{\sqrt{12}} \cong 1.062 \times 10^{-5} \text{ mV}. \text{ } 30^\circ\text{C} \text{ da } 1^\circ\text{C} \text{ değişiklik sonucu ölçülen değişim}$$

voltajı $S_{C30} = (0.1\text{mV}/^\circ\text{C})$ 'dir.

Sc₀ Kalibre edilen ısı çiftinin 0°C'deki duyarlılığı: J tipi kalibre edilen ısı çiftinin 0°C'deki ölçümleri sırasındaki sıcaklık değerindeki 1°C değişiklik sonucu ölçülen değişim voltajı $Sc_0 = (0.08\text{mV}/^\circ\text{C})$ 'dir.

Sc₃₀ Kalibre edilen ısı çiftinin 30°C'deki duyarlılığı: J tipi kalibre edilen ısı çiftinin 30°C'deki ölçümleri sırasındaki sıcaklık değerindeki 1°C değişiklik sonucu ölçülen değişim voltajı $Sc_{30} = (1\text{mV}/^\circ\text{C})$ 'dir.

Çizelge 4.3 Isıl Çift Belirsizlik Bütçesi

Nicelik	Sembol	Tahmini Değer	Standart belirsizlik	Dağılım	Duyarlılık katsayısı	Belirsizliğe Katkısı
Referans SPRT Belirsizliği	Tr	29.936°C	0.001°C	Normal	-1	-0.001°C
Referans SPRT tekrarlanabilirliği	δTr	0°C	0.001°C	Normal	-1	0.001°C
Kalibre edilen (J-tipi) ısı çiftinin tekrarlanabilirliği	Tc(Vc)	29.956°C	1.062×10^{-5} mV	Normal	$(0.1\text{mV}/^\circ\text{C})^{-1}$	0.001°C
Multimetre belirsizliği	δVc1	0 μV	0.31×10^{-6} V	Normal	$(0.1\text{mV}/^\circ\text{C})^{-1}$	0.003°C
Multimetre kayması	δVc2	0 μV	0.25×10^{-6} V	Dikdörtgen	$(0.1\text{mV}/^\circ\text{C})^{-1}$	0.003°C
Referans SPRT kayması	δTr1	0°C	0.002°C	Dikdörtgen	1	0.002°C
Buz noktası	δT0	0°C	0.002°C	Normal	≈1	0.002°C
Yağ banyosu dağılımı, kararlılık	δTtherm	0°C	0.011°C	Dikdörtgen	1	0.011°C
Düzeltilme	E	0.020°C				0.012°C

Elde edilen standart belirsizlik değeri, kapsam faktörü 2 ile çarpılarak %95 belirsizlik düzeyi ile bulunur.

$$U = k \times u(E) = 2 \times 0.012^\circ\text{C} \cong 0.024^\circ\text{C}$$

$$29.936^\circ\text{C} + 0.02^\circ\text{C} \pm (0.024^\circ\text{C})$$

29.956°C ±(0.024°C) ya da 29.932°C ile 29.980°C arasında olabilir.

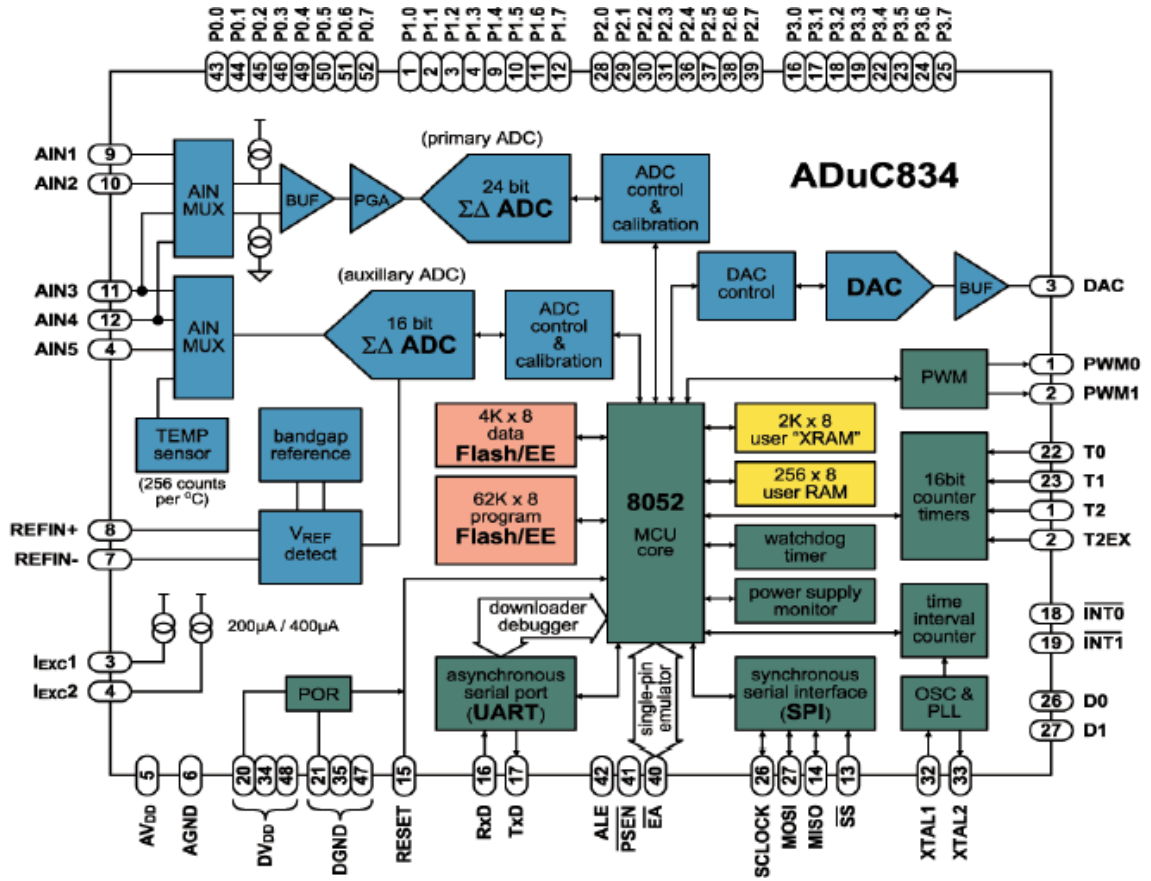
4.3 30°C’de Karşılaştırmalı Kalibrasyon Metodu ile RTD (Resistance Temperature Dedector) Sensörlü İmal Edilen Dijital Termometre Kalibrasyonu

4.3.1 Tezde kullanılan sayısal termometrenin yapısı ve çalışma prensibi

Bu tez için tasarlanan dijital sıcaklık ölçer cihazda işlemci olarak; Analog Device firmasına ait ADuC834 model 62KB FLASH MCU, Dual 16-/24-Bit 8051 Microconverter ve sıcaklık sensörü olarak da 4-Telli PT-1000 kullanılmıştır.

ADuC834 mikro dönüştürücü, endüstri standardı 8051 mimari yapısına sahip, yüksek hassasiyetli (24bit), yüksek performanslı analog/dijital–dijital/analog dönüştürücüleri (ADC–DAC) ve çok çeşitli analog ve dijital birimleri tek entegre devre üzerinde içeren mikrokontrolörden oluşmaktadır. On-chip download/debug ara yüze sahip olan mikrodönüştürücü, devre üzerinde monte edilmiş durumda iken programlanabilir (62KB program belleği, 4KB Flash/EEPROM data belleğine sahip). Üzerindeki ADC'leri yazılım ile kalibre edilebilir. -40°C ile +125°C aralığında çalışacak şekilde üretilmiştir. Çok küçük fiziksel boyutlarına karşın zengin çevre birimleri ile donatılmıştır. Bütün gelişmiş özelliklerine karşın, pahalı ve geniş hacim kaplayan ürünlerin aksine, düşük maliyetli ve çok yüksek entegrasyona sahip bir ailedir.

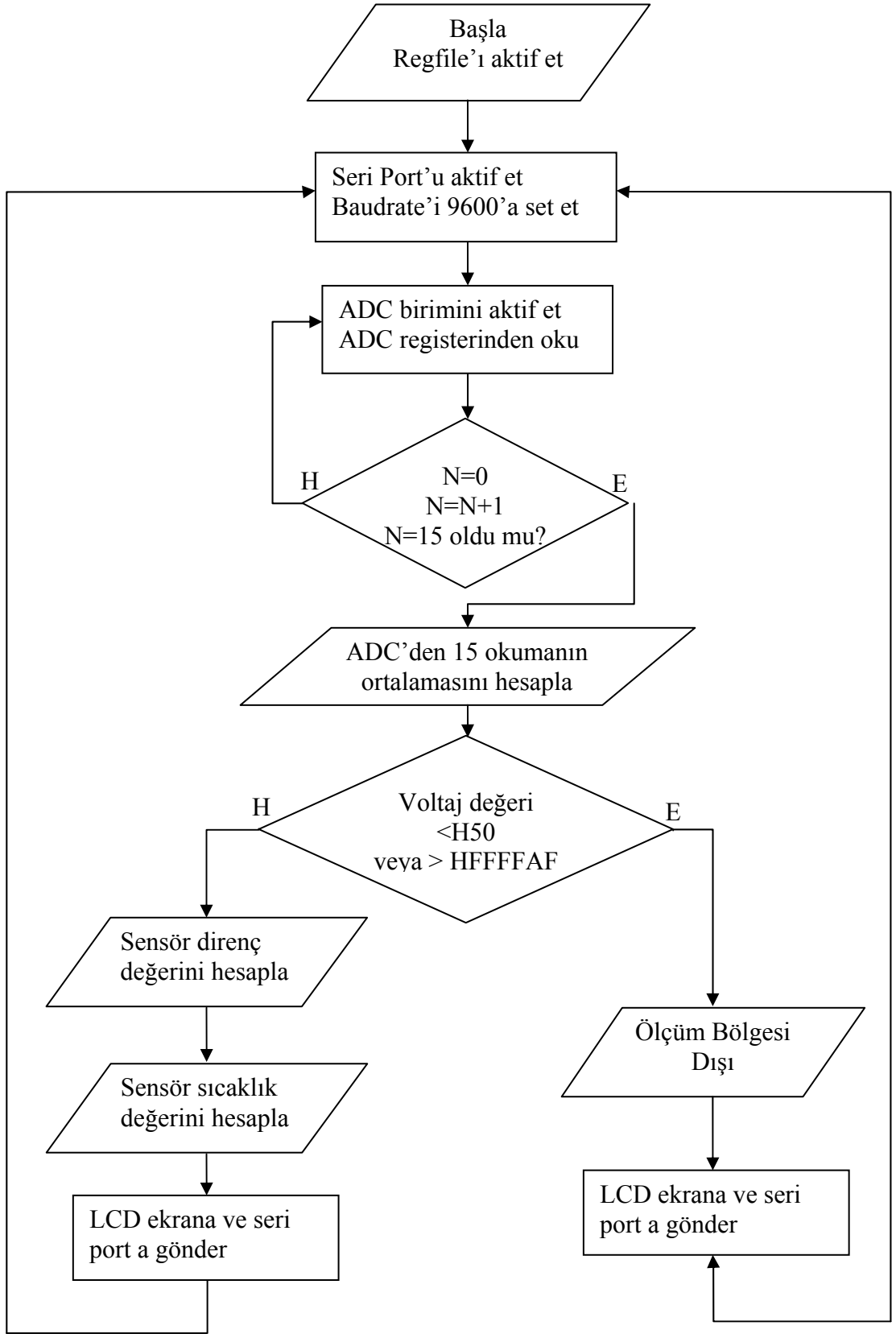
Yüksek doğruluk ve yüksek hız (5Hz den 400ksps’a varan hızlar) özellikleri ile microconverter, akıllı sensör kalibrasyonu, her tip bilgi toplama, işleme ve haberleşme gibi uygulamalar için uygundur. Idle ve Power down modlarına sahip statik CPU yapısında olmaları nedeniyle çok az akım çekerek çalışabilmeleri sayesinde, düşük güç tüketimi gerektiren uygulamalar ve cihazlar için mükemmel bir seçenek oluşturmaktadır.



Şekil 4.6 ADuC834'ün blok şeması.

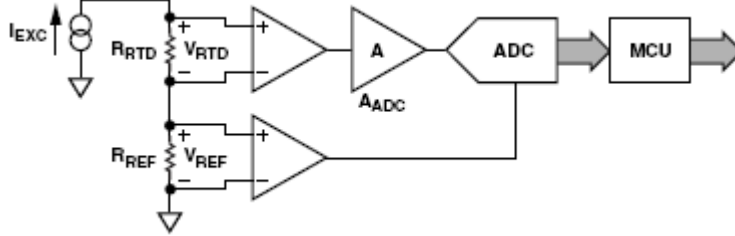
ALGORİTMA

- ADuC834 Microconverter 400µA uyarma akımını RTD üzerinden akıtır.
- Analog girişlerden RTD üzerindeki voltaj düşümü ADC'e gönderilir.
- Dijitale dönüştürülen voltaj değeri yüklenen yazılım sayesinde mikroişlemci tarafından 15 ölçümün ortalaması alınarak formülasyon ile direnç değeri hesaplanır.
- Direnç değerinden de sıcaklık değeri hesaplanır.
- Elde edilen ölçümler LCD ekrana aynı zamanda da seri çıkış özelliği vasıtasıyla RS232 port üzerinden saniyede 1 paket (15 ölçümün ortalaması) veri bilgisayara gönderilir.
- Bilgisayarda hazırlanan yazılım vasıtasıyla hem kalibre edilir hem de kalibrasyondaki hata değerlerinin yüklenmesi ile birlikte kalibrasyon belirsizlik değeri hesaplanır.



Şekil 4.7 ADuC834 akış diyagramı

RTD direnç okunması, Şekil 4.8 'de görüldüğü gibi bağlantıda hem RTD hem de Referans direnç üzerinden aynı akım kaynağı ile akım akıtılmaktadır. Bu akım V_{RTD} ve V_{REF} olmak üzere iki voltaj üretir.



Şekil 4.8 RTD'nin ADuC834'e bağlantısının blok gösterimi

$$V_{RTD} = I_{EXT} \times R_{RTD}$$

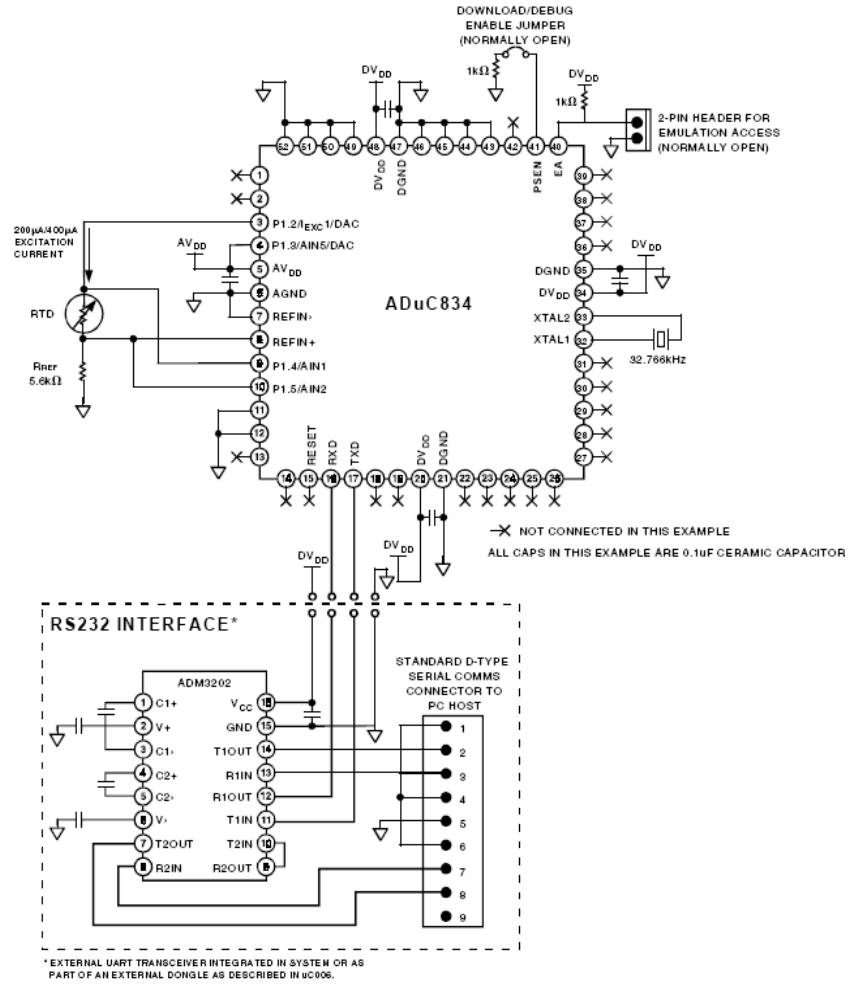
$$V_{REF} = I_{EXT} \times R_{REF}$$

Buradan da dijital sinyal çıkışı ADC_{norm} aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$ADC_{norm} = A_{ADC} \frac{V_{RTD}}{V_{REF}} = A_{ADC} \frac{I_{EXT} \times R_{RTD}}{I_{EXT} \times R_{REF}} = A_{ADC} \frac{R_{RTD}}{R_{REF}}$$

Buradan da RTD direnci aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$R_{RTD} = ADC_{norm} \frac{R_{REF}}{A_{ADC}}$$



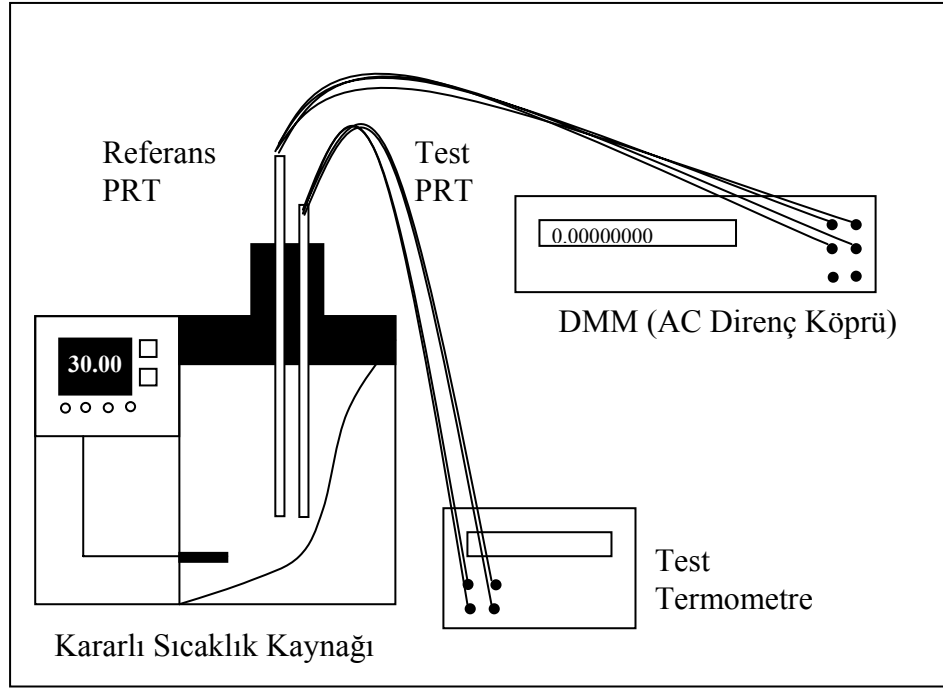
Şekil 4.9 ADuC834'ün devrede kullanımı

4.3.2 Dijital termometrenin kalibrasyon işlemi

Dijital termometrenin kalibrasyonunda yine laboratuvar standardı olan referans SPRT kullanılmıştır. Kalibrasyon düzeneği bölüm 4.1 de olduğu gibidir.

Kalibre edilen termometrenin sensörü ve SPRT Şekil 4.10'da gösterildiği gibi çok dikkatli bir şekilde ve birbirlerine temas ettirilmeden uygun aparatlarla banyo içinde aynı derinliğe sabitlenirler. Banyo istenilen sıcaklık olan 30°C gelinceye kadar ayarlanır.

30°C kalibrasyon sıcaklığında banyonun kararlı olması beklenir. Referans termometre ve kalibre edilen dijital termometreden aynı anda sıcaklık değerleri okunur ve kaydedilir. 30°C sıcaklık değeri için en az 10 okuma yapılır.

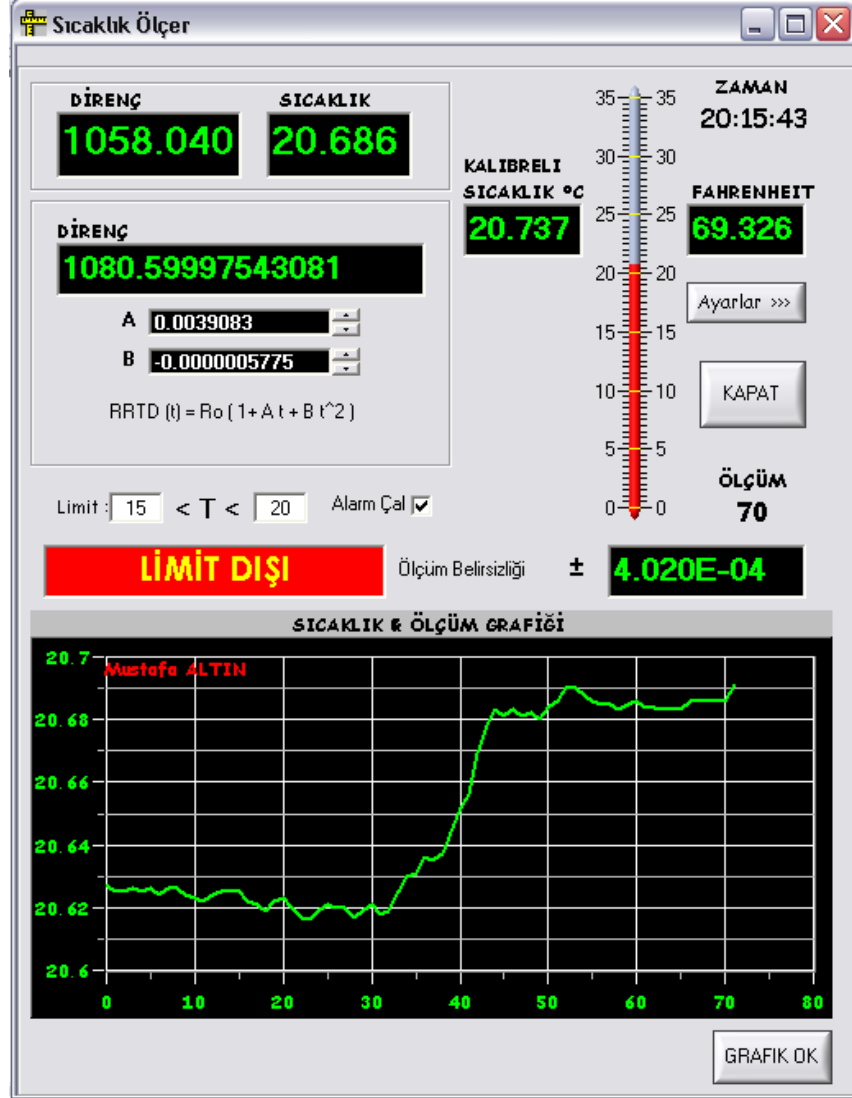


Şekil 4.10 Dijital termometre kalibrasyon düzeneği

4.3.3 Verilerin alınması

Bu tezde tasarlanan sıcaklık ölçen termometre aynı zamanda RS232 seri bağlantısı ile bilgisayara bağlanarak eş zamanlı ölçüm alınmakta ve önceden hesaplanan eğriye göre kalibreli değeri Visual Basic 6.0 hazırlanmış programın şekil 4.11 ara yüz ekranında izlenebilmektedir. Aynı zamanda gerçek değer, kalibreli değer, sıcaklık değerlerine göre grafik çizimi, şekil 4.12’de gösterilen ayarlar menüsünden bilinen belirsizlik değerleri girildiğinde ölçümlerin standart sapmasını, belirtilen zaman periyodunda hesaplayarak ölçüm sisteminin anlık ölçümlerdeki toplam belirsizliğini hesaplayabilmektedir. Elde edilen ölçüm değerleri şekil 4.13’de gösterildiği gibi Excel’e saat, tarih ve belirsizlik değeri olarak yine istenilen periyotlarda kaydedilebilmektedir. Kalibrasyon sonunda yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen kalibreli değerler, programda ayarlar

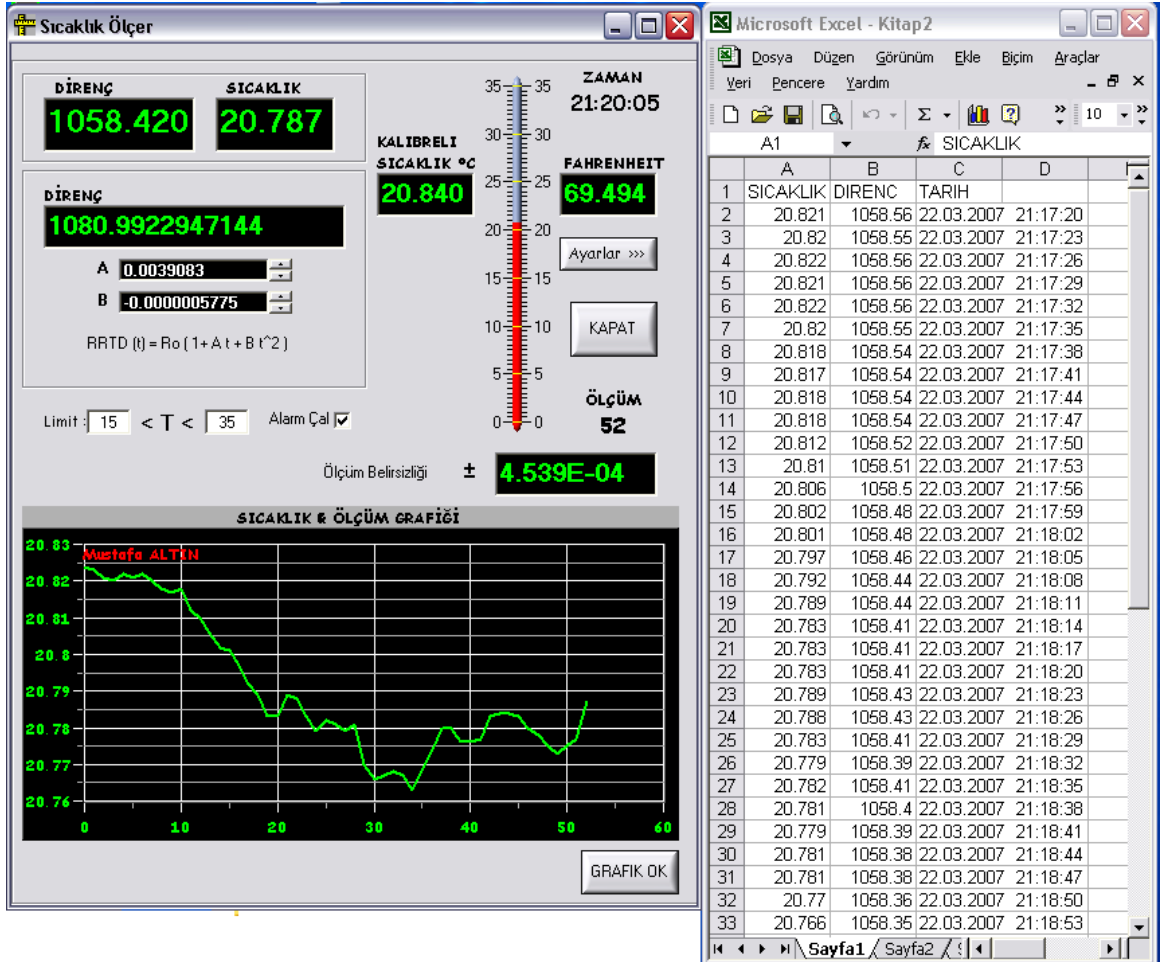
menüsündeki kalibre tablosuna girilerek kalibre edilip düzeltilmiş ölçüm sonuçları hesaplanmaktadır.



Şekil 4.11 Sıcaklık Ölçme Programı Ara yüzü



Şekil 4.12 Sıcaklık Ölçme Programı Ara yüzü ve Ayarlar Menüsü



Şekil 4.13 Sıcaklık Ölçme Programı Ara yüzü ve Excel Kayıt Sayfası

4.3.4 Dijital termometrenin kalibrasyon belirsizlik hesabı

Bu deney için kurulan düzenekte hatalar aşağıdaki gibi modellenmiştir.

$$T_X = T_S + rM_S + \delta M_S + \delta M_K + \delta B_{uz} - (r \times \delta T_x)$$

Hata parametrelerinin tanımları ve değerleri:

r : T_{ix}/T_{is} Okunan sıcaklık değerlerinin oranı:

T_S : Referans standart termometre değeri: Kalibrasyon sertifikasından alınan değeri sıcaklık olarak sertifikasında $k=2$ %95 0.002°C olarak verilmiştir. Hesaplamalarda $0.002^\circ\text{C}/2=0.001^\circ\text{C}$ olarak alınır.

δT_x : Sıcaklık ölçümleri çözünürlük düzeltmesi: Bu değerlerde DMM'in ve dijital termometrenin çözünürlüğünden ve parazitik voltaj etkilerinden gelen sistematik belirsizlik değeridir ve dikdörtgen dağılım gösterir. Oransal olarak $1 \times 10^{-3}^\circ\text{C}$ olması beklenir. Yani ekranda okunabilen en küçük değer dolayısıyla normal dağılıma çevirmek için $2 \times \sqrt{3}$ 'e bölüldüğünde $0.29 \times 10^{-3}^\circ\text{C}$ olur.

δB_{uz} : Suyun üçlü noktasından gelen düzeltme: 30°C deki kalibrasyondan hemen önce ve sonra sıfır noktasında ölçümler alınmıştır ve iki ölçüm arasında fark $1.34739 \times 10^{-5} \Omega$ gözlemiştir. 0°C deki sıcaklık direnç katsayısı ($0.0039855 \Omega/^\circ\text{C}$) olduğundan bu değer 0.00338°C buda dikdörtgen dağılım gösterdiği için $\sqrt{3}$ 'e bölünürse sonuç yaklaşık 0.00195°C bulunur.

δM_S : Multimetrenin kalibrasyonundan gelen düzeltme: Multimetrenin okuma yaptığı basmaktaki belirsizlik değeri 0.0003Ω olarak belirlenmiştir. Multimetrenin okuma yaptığı değerdeki 1°C değişimindeki sıcaklık direnç katsayısı ($0.10087 \Omega/^\circ\text{C}$)'dir.

rM_S : Multimetrenin en son kalibresinden bu yana gelen kayma miktarı: Multimetrenin en son kalibresinden bu yana $5 \times 10^{-6} \Omega$ kayma gözlenmiştir. Dikdörtgen dağılım gösterdiği varsayıldığı için karekök 3'e bölüldüğünde 0.0000029Ω olarak bulunur.

δM_K : Standart termometrenin interpolasyonundan gelen düzeltme: 0.001°C doğruluğa sahip SPRT'nin direnç oranında küçük dijital 0.0000001Ω 'dur bu değer yapılan hesap sonucunda ve sertifikada değer en fazla 0.001°C verildiği göz önüne alınarak. interpolasyon hatasına bağlı düzeltme değeri sıfır, standart belirsizliği

$$= \frac{0.001}{2\sqrt{3}} = 0.00029^\circ\text{C} \text{ alınır.}$$

Ölçümler : T_X ve T_S ölçümlerdeki belirsizlikler arasında ilişki vardır. Böyle durumlarda ölçülen kararsızlık yüzünden sadece bağıl farklılığı düşünmek gerekir.

A-Tipi değerlendirme: T_X/T_S oranının sapmasını ölçmek için 30°C değerinde 12 ölçüm yapıldığını ve okumaların aşağıdaki gibi olduğunu görülmüştür.

No.	Oran
1	1.000128785
2	1.000245493
3	1.000256493
4	1.000000269
5	1.000223503
6	1.000227735
7	1.000142752
8	1.000171082
9	1.000257490
10	1.000227735
11	1.000033242
12	1.000136396

Aritmetik ortalama $\bar{r} = 1.000170915$

Standart Sapma $s(r) = 8.6 \times 10^{-5}$

Standart sapma belirsizliği

$$u(r) = s(\bar{r}) = \frac{8.6 \times 10^{-5}}{\sqrt{12}} = 2.48 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}/^\circ\text{C}$$

Nominal değer 30°C ile çarparsak sonuç yaklaşık 0.001°C olur.

Çizelge 4.4 Dijital Termometre Belirsizlik Bütçesi

Nitelik	Sembol X_i	Değer x_i	Standart Belirsizlik $u(x_i)$	Dağılım	Hassasiyet katsayısı	Belirsizlik değeri $U_i(y)$
Referans Termometrenin Belirsizliği	T_S	29.936 °C	0.001°C	Normal	1	0.001°C
Standart termometrenin buz noktası	δBuz	0.000 °C	0.00195	ddikdörtgen	1	0.00195°C
Multimetrenin ölçüm belirsizliği	δM_S	0.000 °C	0.00030Ω	Normal	$(0.10087\Omega/^{\circ}C)^{-1}$	0.003°C
Multimetrenin en son kalibresinden bu yana kayma etkisi	rMs	0.000 °C	0.0000029Ω	ddikdörtgen	$(0.10087\Omega/^{\circ}C)^{-1}$	0.00003°C
Kalibre edilen termometrenin çözünürlüğü	δTx	-0.001 °C	0.00029°C	üçgen	-1	0.00029°C
Standart termometrenin interpolasyon etkisi	δM_K	0.000 °C	0.00029°C	üçgen	1	0.00029°C
Ölçümlerin oranı	r	1.00017°C/°C	0.001	normal	1	0.0001°C
Düzeltilme	E	-0.001°C				0.00374°C

Genişletilmiş Belirsizlik:

$$U = k \times u(T_X) = 2 \times 0.00374 \cong 0.008^{\circ}C$$

$$29.936^{\circ}C - 0.001^{\circ}C \pm (0.008^{\circ}C)$$

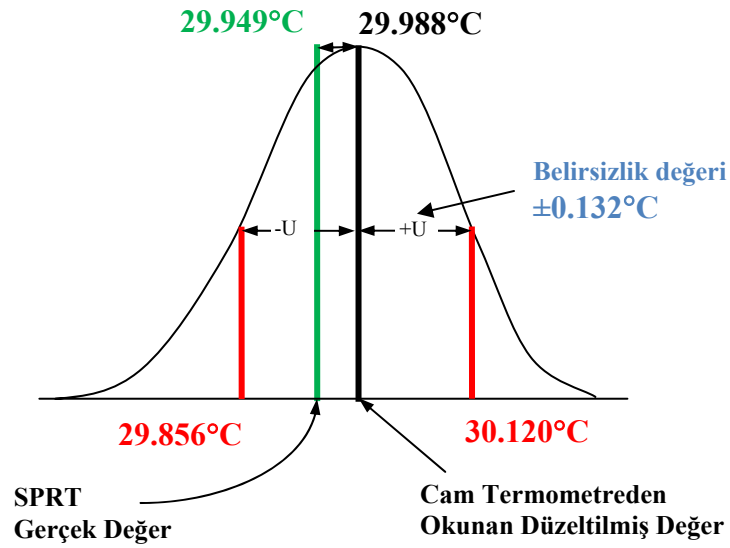
29.935°C ± 0.008°C sonuç 29.927°C ile 29.943°C arasında olabilir.

5. BULGULAR ve TARTIŞMA

Bu tezde, aynı referans standart SPRT kullanılarak, aynı laboratuvar şartlarında, aynı yağ banyosu, aynı sıcaklıkta, aynı personel tarafından iki farklı sıcaklık termometresi ile bu tez için üretilen dijital termometre ayrı ayrı kalibre edilerek karşılaştırılmıştır. Her kalibrasyon ölçümünde farklı ölçüm modelleri kullanılarak en iyi ölçüm metodu belirlenmeye çalışılmıştır.

Yapılan karşılaştırma kalibrasyon deneyleri sonucunda;

1. Sıvı cam termometre kalibrasyonunda kullanılan modelleme sonucunda aşağıdaki grafik elde edilmiştir.



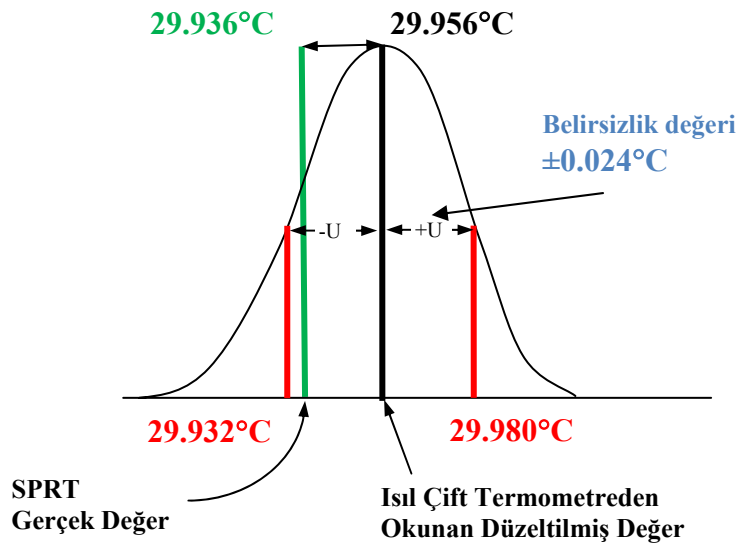
Şekil 5.1 Sıvı cam termometre kalibrasyonu sonuç grafiği

Bu grafikteki gauss eğrisi, ölçümlerin, düzeltilmiş değer etrafındaki dağılımını göstermektedir. Bölüm 4.1’de sıvı cam termometre kalibrasyonunda uygulanan gerçek değer (referans SPRT’den ölçülen değer) 29.949°C’dir. Ölçümlerin sonucunda hesaplanan düzeltilmiş değer 29.988°C olarak hesaplanmıştır. Kapsam faktörü $k=2$ için %95 olasılıkla elde edilen toplam belirsizlik değeri ise $\pm 0.132^\circ\text{C}$ olarak bulunmuştur.

Düzeltilmiş değer etrafındaki belirsizlik değerinin eklenip çıkartılmasıyla hesaplanan alt ve üst sınır değerleri de grafikte gösterilmiştir.

Not: Bundan sonra referans SPRT'den ölçülen değere gerçek değer denilecektir.

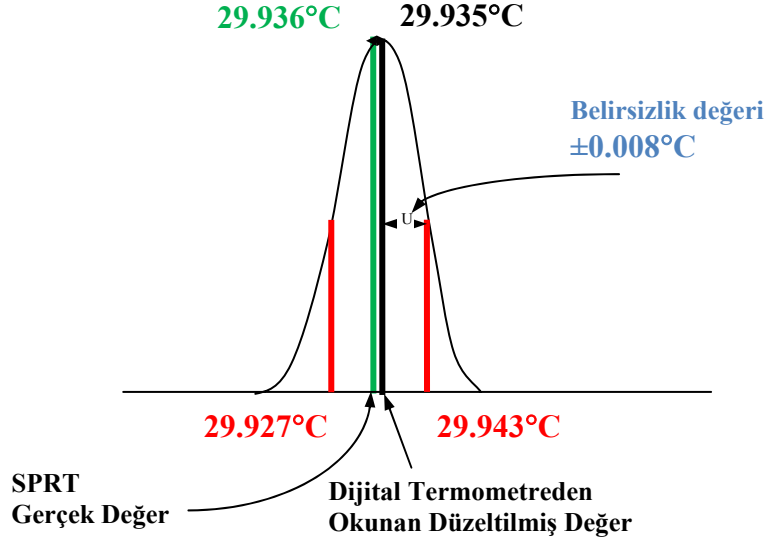
2. Isıl çift kalibrasyonunda kullanılan modelleme sonucunda aşağıdaki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.2 Isıl çift kalibrasyonu sonuç grafiği

Bu grafikte de önceki grafikte olduğu gibi gauss eğrisi, ölçümlerin, düzeltilmiş değer etrafındaki dağılımını göstermektedir. Bölüm 4.2'de ısıl çift kalibrasyonunda uygulanan gerçek değer 29.936°C'dir. Ölçümlerin sonucunda hesaplanan düzeltilmiş değer 29.956°C olarak hesaplanmıştır. Kapsam faktörü $k=2$ için %95 olasılıkla elde edilen toplam belirsizlik değeri ise $\pm 0.024^{\circ}\text{C}$ olarak bulunmuştur. Düzeltilmiş değere belirsizlik değerinin eklenip çıkartılmasıyla hesaplanan alt ve üst sınır değerleri de grafikte gösterildiği gibidir.

3. Tezde tasarlanan dijital termometre kalibrasyonunda kullanılan modelleme sonucunda aşağıdaki grafik elde edilmiştir.



Şekil 5.3 Dijital termometre kalibrasyonu sonuç grafiği

Bu grafikte de önceki grafiklerde olduğu gibi gauss eğrisi, ölçümlerin düzeltilmiş değer etrafındaki dağılımını göstermektedir. Bölüm 4.3’de dijital termometre kalibrasyonunda uygulanan gerçek değer 29.936°C’dir. Ölçümlerin sonucunda hesaplanan düzeltilmiş değer 29.935°C olarak hesaplanmıştır. Kapsam faktörü $k=2$ için %95 olasılıkla elde edilen toplam belirsizlik değeri ise $\pm 0.008^{\circ}\text{C}$ olarak bulunmuştur. Yine düzeltilmiş değere belirsizlik değerinin eklenip çıkartılmasıyla hesaplanan alt ve üst sınır değerleri de grafikte gösterildiği gibidir.

Bu üç kalibrasyon deneyi sonucunda, en iyi ölçüm belirsizliği ve doğruluğunun bu tez için üretilen dijital termometreye ve onun için tasarlanan modellemeye ait olduğu görülmüştür. Aynı zamanda üretilen termometre, RS232 seri portla bilgisayara bağlanarak, tasarlanan bilgisayar programı sayesinde elde edilen kalibre değerleri doğrultma tablosu olarak programa girildiğinde referans SPRT’nin doğruluğuna çok yakın değerler elde edilmektedir. Bu program sayesinde ölçüm sonuçları istenilen periyotta Excel programına kaydedilerek herhangi bir zamanda analiz için geri çağrılabilir.

6. SONUÇ

Bu tezde sıcaklık ölçüm sistemlerine etki eden hataların analizi yapılmaya çalışılmıştır. Yapılan üç kalibrasyon deneyi sonucunda; Bölüm 5’de açıklandığı gibi sırasıyla,

- Cam termometre kalibrasyonu sonucunda, Şekil 5.1’de de gösterildiği gibi;

$$\text{Hata} = (\text{Düzeltilmiş Değer}) - (\text{Gerçek Değer}) = 29.988^{\circ}\text{C} - 29.949^{\circ}\text{C} = 0.039^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Toplam belirsizlik} = \pm 0.132^{\circ}\text{C}$$

- Isıl çift kalibrasyonu sonucunda, Şekil 5.2’de de gösterildiği gibi;

$$\text{Hata} = 29.956^{\circ}\text{C} - 29.936^{\circ}\text{C} = 0.039^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Toplam belirsizlik} = \pm 0.024^{\circ}\text{C}$$

- Bu tez için üretilen dijital termometre kalibrasyonu sonucunda, Şekil 5.3’de de gösterildiği gibi;

$$\text{Hata} = 29.935^{\circ}\text{C} - 29.936^{\circ}\text{C} = -0.001^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Toplam belirsizlik} = \pm 0.008^{\circ}\text{C}$$

Sonuç olarak, yukarıdaki sonuçlardan da görüldüğü üzere, bu tezde üretilen dijital termometre ve onun için tasarlanan ölçüm modelinin diğer ölçüm modellerine göre sistematik ve rastgele hatalarının çok daha düşük olduğu, referans SPRT’ye çok yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Bu cihazın portatif olması kolayca taşınabilir ve yüksek çözünürlüğe sahip olması gibi avantajlarından da faydalanarak, özellikle yüksek sıcaklık hassasiyeti gerektiren boyut laboratuvarlarındaki çevre sıcaklığının takibinde aynı zamanda da SPRT’nin kullanılmayacağı daha küçük ve dar alanlarda ikincil standart olarak kullanılabilmesi düşünülmektedir. İstenildiğinde AC power adaptörünün yerine pil adapte edilerek hareket kabiliyeti daha da artırılabilir.

İleride sıcaklık ölçüm sistemlerinde kullanılan sensörlerin, SPRT'ye benzer yüksek doğrulukta ve kararlılıkta üretilmesiyle kalibrasyon yöntemleri ve belirsizlik hesapları daha karmaşık ve bilimsel hesap yöntemlerine ihtiyaç duyacaktır. Mesela günümüzde yeni yeni gelişen fiber optik sensör teknolojilerinin daha kompakt ve yaygın olarak geliştirilmesi sonucu kalibrasyon işlemlerinde ışığa veya ses sinyallerine sıcaklık etkilerinin ölçülmesi gibi teknikler kullanılarak ölçümler daha çok fizik veya optik ölçüm ve hesaplama teknikleriyle yapılarak birincil seviye laboratuvar standartlarının doğruluk değerlerine yakın ölçüm cihazları üretilebilir.

KAYNAKLAR

- Anonim. 1993. "Kalibrasyonda Ölçme Belirsizliğinin İfadesi İçin Kılavuz" WECC Doc. 19-1990 Sayılı Doküman Tercümesi, UME Y. 15.
- Anonim. 1994. "Metrolojide Kullanılan Temel ve Genel Terimler Sözlüğü," UME 94-003.
- Anonim. 1995. "Ölçüm Belirsizliği", UME 95-014
- Anonymous. 1967. "Presentation of Data and Limits of Accuracy of an Observed Average," ASTM STP-15-C.
- Anonymous. 1993. ISO, Guide to Expression of Uncertainty in Measurement, Prep. By ISO Tech. Advis. Gr.4 (TAG 4), Work. Gr. 3 (WG 3).
- Anonymous. 1999. "Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration", EA4/02
- Anonymous. 2007. "EA Guidelines on the Calibration of Temperature Block Calibrators, "EA-10/13, EA Committee 2.
- Benedict, R.P. 1964. "Uncertainty in Measurement," Electro-Technol., p.51.
- Duncan, A.J. 1974. "Quality Control and Industrial Statistics", 4th ed., Irwin, Homewood, IL.
- Kline, S.J. and McClintock, F.A. 1953. "Describing Uncertainties in Single Sample Experiments", Mech. Eng., 75. p.3.
- Murphy, R.B. 1961. "Quality of Observations", Materials Research & Standards, p.357-264.
- Schneider, D.B. 1962. "Error Analysis of Measurement System", NBS Miscellaneous Publication 248, Proc. Stand. Lab. Conf., p.93.
- Tavener J.P., 2006. "Temperature Calibration"; Depths of Immersion, Test and Measurement Conference,
- Derelioğlu, A. ve Arifoviç, N. 2008. Sıcaklık Kaynaklarının Karşılaştırılması, MMO.
- Arifoviç, N. Ve Derelioğlu, A. 2008. "Kuru Fırın Ölçümlerinde Belirsizlik Hesabı", MMO, 2008
- Preston-Thomas, H. And Taylor, R. 1990. "The International Temperature Scale of 1990 (ITS-90)", *Metrologia*, vol.27,pp. 3-10.
- Callendar, H. L. 1887. "On the Practical Measurement of Temperature: Experiments Made at the Cavendish Laboratory, Cambridge," Philosophical Transactions of the Royal Society of London. A. Volume 178, pp, 161-230.

EKLER

- EK 1 Sıcaklık Ölçme Bilgisayar Programı Form1 Visual Basic 6.0 Kaynak Kodları
EK 2 Sıcaklık Ölçme Bilgisayar Programı Form2 Visual Basic 6.0 Kaynak Kodları

EK 1

Bu kaynak kodları, imal edilen dijital termometreden alınan sıcaklık ve direnç değerlerini işleyerek, girilen sistematik belirsizliklerle birlikte istenilen periyotta ölçümlerin standart sapmasından gelen belirsizlik değerini de hesaba katarak kapsam faktörü $k=2$ için genişletilmiş belirsizlik değerini hesaplamaktadır. Aynı zamanda SPRT'den elde edilen sıcaklık değerleri tablo halinde doğrultma değeri olarak programa girildiğinde, bu değerler arasında interpolasyon yaparak dijital termometrenin kalibrasyonu yapılmaktadır. Ve görsel olarak ölçüm sonuçlarını bir grafik üzerinde eş zamanlı olarak gösterilmektedir.

```
Dim Deger
```

```
Dim arr_direnc(1000000) As Variant
```

```
Dim arr_sicaklik(1000000) As Variant
```

```
Dim std_sicaklik(1000000), std_adet
```

```
Dim i, N, M, l
```

```
Private Declare Function sndPlaySound Lib "Winmm.dll" Alias "sndPlaySoundA" _  
(ByVal lpszSoundName As Any, ByVal uFlags As Long) As Long
```

```
Dim SoundBuffer As Long
```

```
Dim xdata(10), ydata(10)
```

```
Dim Sayac
```

```
Dim k, x1, y1, x2, y2 As Variant
```

```
Dim ilkdeger, sondeger
```

```
Private Sub CWButton2_ValueChanged(ByVal Value As Boolean)
```

```
If Me.Width = 7770 Then
```

```
Me.Width = 12090
```

```
Exit Sub
```

```
Else
```

```
Me.Width = 7770
```

```
End If
```

```
End Sub
```

EK 1 Sıcaklık Ölçme Bilgisayar Programı Form1 Visual Basic 6.0 Kaynak Kodları
(devam)

```
Private Sub Check1_Click()  
If Check1.Value = 1 Then  
std_adet = 0  
text2 = 0  
TopBel = 0  
Timer2.Interval = 1000 * Val(CWNumEdit2)  
Else  
Timer2.Interval = 0  
End If  
End Sub
```

```
Private Sub CWButton1_ValueChanged(ByVal Value As Boolean)  
Unload Me  
Unload Form2  
End Sub
```

```
Private Sub CWButton3_ValueChanged(ByVal Value As Boolean)  
On Error Resume Next  
DataGrid1.AllowAddNew = True  
DataGrid1.AllowDelete = True  
DataGrid1.AllowUpdate = True  
DataGrid1.Visible = True  
CWButton3.Visible = False  
CWButton4.Visible = True  
DataGrid1.Enabled = True  
Label17.Visible = True  
Label16.Visible = True  
Label17.Visible = True  
Label18.Visible = True
```

EK 1 Sıcaklık Ölçme Bilgisayar Programı Form1 Visual Basic 6.0 Kaynak Kodları
(devam)

```
Label19.Visible = True
```

```
Label21.Visible = True
```

```
U1.Visible = True
```

```
U2.Visible = True
```

```
U3.Visible = True
```

```
U4.Visible = True
```

```
U5.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CWButton4_ValueChanged(ByVal Value As Boolean)
```

```
On Error Resume Next
```

```
Verileri_Yukle
```

```
DataGrid1.Visible = False
```

```
CWButton4.Visible = False
```

```
CWButton3.Visible = True
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_QueryUnload(Cancel As Integer, UnloadMode As Integer)
```

```
If MsgBox("Uygulamayı Kapatmak İstiyormusunuz?", vbYesNo, "Sıcaklık Ölçer") =  
vbNo Then
```

```
Cancel = 1
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub CWButton5_ValueChanged(ByVal Value As Boolean)
```

```
Form2.Show
```

```
End Sub
```

EK 1 Sıcaklık Ölçme Bilgisayar Programı Form1 Visual Basic 6.0 Kaynak Kodları
(devam)

```
Private Sub Form_Load()  
Verileri_Yukle  
Check1_Click  
Timer1.Enabled = True  
Timer1.Interval = 998  
MSComm1.CommPort = 1  
MSComm1.PortOpen = True  
i = 0  
N = 0  
End Sub
```

```
Private Sub RESET_Click()  
CWGraph1.ClearData  
If RESET.Enabled = True Then  
N = 0  
Label9 = N  
End If  
End Sub
```

```
Private Sub Timer1_Timer()  
SAAT = Time  
MSComm1.Break = True  
Deger = MSComm1.Input  
If Trim(Len(Deger)) >= 30 Then  
Direnc = Val(Mid$(Deger, 15, 7))  
If Direnc <= 1000 Or Direnc = "" Then  
While arr_direnc(i - 1) < 10  
i = i - 1  
Wend
```

EK 1 Sıcaklık Ölçme Bilgisayar Programı Form1 Visual Basic 6.0 Kaynak Kodları
(devam)

```
Direnc = arr_direnc(i - 1)
```

```
End If
```

```
sicaklik = Val(Mid$(Deger, 36, 6))
```

```
If sicaklik = 0 Or sicaklik = "" Or sicaklik <= 10 Or sicaklik >= 45 Then
```

```
While arr_sicaklik(i - 1) < 10 Or arr_sicaklik(i - 1) > 45
```

```
i = i - 1
```

```
Wend
```

```
sicaklik = arr_sicaklik(i - 1)
```

```
End If
```

```
i = i + 1
```

```
If i = 1000000 Then
```

```
i = 0
```

```
End If
```

```
N = N + 1
```

```
Label9 = N - 1
```

```
RRTD = RRtd_Hesapla(Direnc, sicaklik)
```

```
CWSlide1.Value = sicaklik
```

```
Fahrenheit = Fahrenheit_Hesapla
```

```
Kontrol_Et
```

```
arr_direnc(i) = Direnc
```

```
arr_sicaklik(i) = sicaklik
```

```
CWGraph1.Enabled = True
```

```
CWGraph1.ChartY arr_sicaklik(i)
```

```
ilkdeger = xdata(1)
```

```
sondeger = xdata(Sayac - 1)
```

EK 1 Sıcaklık Ölçme Bilgisayar Programı Form1 Visual Basic 6.0 Kaynak Kodları
(devam)

```
If sicaklik.Text < ilkdeger Then GoTo MinExt
```

```
If sicaklik.Text > sondeger Then GoTo MaxEnt
```

```
If sicaklik.Text < sondeger And sicaklik.Text > ilkdeger Then GoTo Interpolasyon
```

```
MinExt:
```

```
y1 = ydata(1): x1 = xdata(1)
```

```
y2 = ydata(2): x2 = xdata(2)
```

```
Text1.Text = ((sicaklik.Text - x1) / (x2 - x1)) * (y2 - y1) + y1
```

```
Exit Sub
```

```
MaxEnt:
```

```
y1 = ydata(Sayac - 2): x1 = xdata(Sayac - 2)
```

```
y2 = ydata(Sayac - 1): x2 = xdata(Sayac - 1)
```

```
Text1.Text = ((sicaklik.Text - x1) / (x2 - x1)) * (y2 - y1) + y1
```

```
Exit Sub
```

```
Interpolasyon:
```

```
For l = 1 To Sayac
```

```
If sicaklik.Text < xdata(l) Then
```

```
y2 = ydata(l): x2 = xdata(l)
```

```
y1 = ydata(l - 1): x1 = xdata(l - 1)
```

```
Text1.Text = ((sicaklik.Text - x1) / (x2 - x1)) * (y2 - y1) + y1
```

```
Exit Sub
```

```
End If
```

```
Next
```

```
End If
```

```
MSComm1.Break = False
```

```
End Sub
```

EK 1 Sıcaklık Ölçme Bilgisayar Programı Form1 Visual Basic 6.0 Kaynak Kodları
(devam)

```
Function RRtd_Hesapla(Ro, t)
RRtd_Hesapla = 1000 * (1 + A_deger * t + B_deger * t ^ 2)
'Virgülden sonraki 3 hane alındı
RRtd_Hesapla = RRtd_Hesapla
End Function
```

```
Function Fahrenheit_Hesapla()
If Text1 <> "" Then
Fah = (9 * Text1.Text / 5) + 32
Fahrenheit_Hesapla = Fah
Fahrenheit_Hesapla = Fahrenheit_Hesapla
End If
End Function
```

```
Sub Kontrol_Et()
If sicaklik < T_Min Or sicaklik > T_Max Then
uyari.Visible = True
If a_cal.Value = 1 Then Cal
Else
uyari.Visible = False
End If
End Sub
```

```
Sub Cal()
SoundBuffer = sndPlaySound(App.Path & "\sound24.wav", &H2)
End Sub
```

```
Private Sub Timer2_Timer()
If sicaklik > 15 And sicaklik < 50 Then
```

EK 1 Sıcaklık Ölçme Bilgisayar Programı Form1 Visual Basic 6.0 Kaynak Kodları
(devam)

```
std_adet = std_adet + 1
std_sicaklik(std_adet) = sicaklik
'standart sapma
ToplamX = 0
For k = 1 To std_adet
ToplamX = ToplamX + std_sicaklik(k)
ortalama = ToplamX / std_adet
Next
FarklarTopla = 0
For k = 1 To std_adet
FarklarTopla = FarklarTopla + (std_sicaklik(k) - ortalama) ^ 2
Next
If std_adet <> 1 Then Std_Sapma = Sqr(FarklarTopla / (std_adet - 1))
text2 = (Std_Sapma * 100000) / 100000
U1 = text2 / ((Sqr(std_adet)) * ortalama)
TopBel = Sqr((U1 ^ 2) + (U2 ^ 2) + (U3 ^ 2) + (U4 ^ 2) + (U5 ^ 2)) * 2
End If
End Sub
Sub Verileri_Yukle()
On Error Resume Next
Adodc1.Recordset.MoveFirst
Sayac = 1
Do While Not Adodc1.Recordset.EOF
xdata(Sayac) = Adodc1.Recordset.Fields(1)
ydata(Sayac) = Adodc1.Recordset.Fields(2)
Sayac = Sayac + 1
Adodc1.Recordset.MoveNext
Loop
End Sub
```

EK 2

Bu kaynak kodları, istenilen periyotta ölçülen sıcaklık, direnç ve belirsizlik değerlerini, saat ve tarihle birlikte excel'e kaydetmektedir.

```
Dim ml As Integer
```

```
Dim kitap As Excel.Application
```

```
Dim kitapCh As Excel.Chart
```

```
Dim yaz As Variant
```

```
Dim ch As Integer
```

```
Private Sub CWButton1_ValueChanged(ByVal Value As Boolean)
```

```
On Error Resume Next
```

```
ch = 1
```

```
kitap.Workbooks.Add
```

```
Excel_Timer2.Enabled = True
```

```
kitap.Range("A1").Value = "SICAKLIK"
```

```
kitap.Range("B1").Value = "DIRENC"
```

```
kitap.Range("C1").Value = "BELIRSIZLIK"
```

```
kitap.Range("D1").Value = "TARIH"
```

```
kitap.Range("F1").Value = "BELIRSIZLIK C"
```

```
kitap.Visible = True
```

```
Command1.Enabled = False
```

```
Form2.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
Set kitap = CreateObject("excel.application")
```

```
ml% = 1
```

```
LblSicak.Caption = Form1.Text1.Text
```

```
LblDirenc.Caption = Form1.RRTD.Text
```

EK 2 Sıcaklık Ölçme Bilgisayar Programı Form2 Visual Basic 6.0 Kaynak Kodları
(devam)

```
LblBelirsiz.Caption = Form1.TopBel.Text  
End Sub
```

```
Private Sub Form_Unload(Cancel As Integer)  
On Error Resume Next  
If a = vbCancel Then Calcel = 1  
dos% = 1  
If ch = 1 Then  
kayit = "Rapor_" & Date & "_"  
Set fs = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")  
If fs.FileExists("C:\" & kayit & dos% & ".xls") = True Then  
Do While fs.FileExists("C:\" & kayit & dos% & ".xls") = True  
dos% = dos% + 1  
Loop  
End If  
ActiveWorkbook.SaveAs ("C:\" & kayit & dos% & ".xls")  
kitap.Quit  
End If  
End Sub
```

```
Private Sub Excel_Timer2_Timer()  
On Error Resume Next  
ml% = ml% + 1  
yazsic = "A" & ml%  
yazdirenc = "B" & ml%  
yazbelirsiz = "C" & ml%  
yazzaman = "D" & ml%  
yazbeldeger = "F" & ml%
```

EK 2 Sıcaklık Ölçme Bilgisayar Programı Form2 Visual Basic 6.0 Kaynak Kodları
(devam)

```
kitap.Range(yazsic).Value = Str$(Form1.Text1.Text)    'excelin A sutununa sıcaklık
degerlerini yazıyor
kitap.Range(yazdirenc).Value = Str$(Form1.RRTD.Text)  'excelin B sutununa direnc
degerlerini yazıyor.
kitap.Range(yazbelirsiz).Value = Str$(Form1.TopBel.Text) 'excelin C sutununa
belirsizlik degerlerini yazıyor.
kitap.Range(yazbeldeger).Value = kitap.Range(yazsic).Value *
kitap.Range(yazbelirsiz).Value
kitap.Range(yazzaman).Value = Date & " " & Time      'excelin D sutununa tarihi
yazıyor.
End Sub

Private Sub Excel_Timer3_Timer()
Label1.Caption = Date & " " & Time
End Sub
```

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mustafa ALTIN

Doğum Yeri : Emirdağ

Doğum Tarihi : 01.05.1974

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Bahçelievler Deneme Lisesi / 1991

Lisans : Ankara Üniversitesi Elektronik Mühendisliği / 1997

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

1nci Hava İkmal Bakım Merkezi Komutanlığı - ESKİŞEHİR / 1997-Devam