

# ULUSLARARASI SICAKLIK ÖLÇEĞİ 1990 (ITS-90)'a GÖRE KARŞILAŞTIRMALI KALİBRASYONLARIN YAPILMASI

Aliye KARTAL, Ali C. KUYRUKLUYILDIZ ve Ahmet T. İNCE  
TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)

## ÖZET

*Sıcaklık, bilim, teknoloji ve günlük yaşamda çok sık ölçülen bir birimdir. İlk kullanılan termometre olan sıvı-cam termometre, termometre gelişiminde çok büyük katkıya sahip ve tarih süresince sıcaklık ölçümlerinde büyük gelişmeler göstermiştir. -50 °C ile 550 °C sıcaklık aralığı çok sık kullanılan aralık olup, bu sıcaklık aralığında; değişik türde ve boyutlarda sıvı-cam, pt-100, platin direnç termometreler kullanılmaktadır. Platin direnç termometreler, diğer termometre türlerine göre daha yüksek ölçüm hassasiyetine sahip ve ayrıca modern direnç köprüleri ve voltmetreler ile bağlanarak otomasyon imkanlarına sahiptirler.*

*Bu çalışmada, Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) sıcaklık karşılaştırmalı kalibrasyon laboratuvarında -40 °C ile 550 °C sıcaklık aralığında, sıcaklık ölçüm cihazlarının (sıvı-cam, platin direnç ve sayısal termometrelerin ...) Uluslararası Sıcaklık Ölçeği ITS-90'a [1] göre karşılaştırmalı yöntem ile nasıl kalibre edildiği, kalibrasyon esnasında dikkat edilmesi gereken konular, termometrelerin kararlılıklarının tespiti, termometrelerin tekrarlanabilirliği ve karşılaştırmalı yöntemle göre belirsizliğin hesaplanması başlıklar altında sunulacaktır.*

*Bunun yanısıra karşılaştırmalı kalibrasyonların yapımında ITS-90 sıcaklık ölçeğine izlenebilirliğin nasıl ve ne gibi şartlarda olması gerektiği konularında belirtilecektir.*

## 1.0. GİRİŞ

Sıcaklık ölçüm kalibrasyonu, referans termometreler ile kalibrasyona gelen ölçüm cihazları arasındaki değerler ilişkisinin özel koşullar altında kurulan işlemler kümesidir. Kalibrasyon için çevre koşulları, kararlı bir sıcaklık ve kalibrasyona gelen termometrenin uygun büyüklükte olması gibi koşullar gerekmektedir.

Kalibrasyon ya faz değişiminin kararlı olmasından dolayı, örneğin donma noktası veya kaynama noktası gibi sıcaklığın sabit olduğu yerlerde ya da sıcaklığın devamlı olarak kontrol edilen yerlerde olmalıdır. Bunlarda bize temelde iki çeşit kalibrasyon yöntemini gösteriyor.

- i) Sabit noktalarda kalibrasyon
- ii) Karşılaştırmalı yöntem ile kalibrasyon

Sabit noktalarda kalibrasyonu yapılacak referans termometreler ITS-90 [1]nin öngördüğü sabit noktalar kullanılarak gerçekleştirilir [2].

Karşılaştırmalı yöntemle göre kalibre edilecek cihazlar elektronik veya elle kontrol edilen sıvı banyolar ve yüksek sıcaklıklarda uygun fırınlar kullanılarak kalibrasyona tabi tutulur. Kalibre

edilecek termometreler referans termometreler ile aynı banyoya yerleştirilmelidir ve ölçümler kendine mahsus şekilde yapılmalıdır.

UME'de -40°C ile 550°C arasında ITS-90 ölçeğine göre kalibre edilmiş standart platin direnç termometresi ile kalibrasyona gelen platin direnç, sayısal ve sıvı-cam termometreleri karşılaştırmalı yöntemle göre, sıvı banyolar veya yüksek sıcaklıklarda uygun fırınlar kullanılarak kalibrasyona tabi tutulur.

Karşılaştırmalı kalibrasyonlar, sabit nokta kalibrasyonlarına göre genellikle hızlı, kolay kalibrasyon maliyeti olarak ucuzdur. Ayrıca bu yöntem aynı zamanda birkaç tane termometreyi aynı anda kalibre etme imkanı sağlamaktadır. Karşılaştırmalı kalibrasyonların sabit noktalarda kalibrasyon metoduna göre yukarıdaki avantajlarının yanısıra karşılaştırmalı kalibrasyonun belirsizliği en az 10 kez daha sabit nokta metoduna göre kötüdür.

## 2.0. TERMOMETRELERİN KARŞILAŞTIRMALI YÖNTEME GÖRE KALİBRASYONU [3]

Yapılan kalibrasyonun temeli, kalibrasyon yapılacak termometrenin belli bir belirsizlik aralığında referans termometreler ile aynı sıcaklıkta olmasıdır. Karşılaştırmalı kalibrasyonlar -40 °C ile 550 °C arasında gerçekleştirilmektedir. UME'de kalibrasyon için kullanılan banyolar ve çalışma aralığı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1 Karşılaştırmalı kalibrasyonlarda kullanılan banyolar ve çalışma sıcaklık aralıkları

Banyo	Sıcaklık Aralığı	Sıcaklık Değişimi / °C
Alkol banyosu (Etanol veya Methanol)	-40 °C - 0 °C	±(0.002 - 0.005)
Su banyosu (Saf Su)	4 °C - 90 °C	±(0.002 - 0.01)
Yağ banyosu (Silikon)	150 °C-250 °C	±(0.005 - 0.010)
Tuz banyosu (%50 KNO <sub>3</sub> ve % 50 NaNO <sub>3</sub> karışımı)	250 °C - 550 °C	±(0.01 - 0.05)

Kalibrasyonun yapılacağı sıcaklık değerleri, kalibrasyonu istenilen aralıkta en az 10 farklı noktada seçilir. Her bir kalibrasyon noktasında en az 10 ölçüm alınmalıdır. Bu ölçümler E18 veya F700 model alternatif akımlı (ASL Automatic System Laboratory) direnç köprüsü tarafından gerçekleştirilir. Ölçümler banyo dengeye geldikten on dakika sonra alınmaya başlanır. Her bir ölçümde, ölçümler arasında bir dakika beklenir. Kalibrasyon sırasında standart dirençleri muhafaza banyosundaki standart dirençlerin sıcaklığı kalibreli Pt-100 tipi termometre ile kontrol edilir. Standart dirençlerin muhafaza banyosu sıcaklık değişimi ±0.015 °C dir.

### 2.1. Karşılaştırmalı Kalibrasyonlarda Kullanılacak Sıvı Banyolar

Karşılaştırmalı metoda göre yapılan kalibrasyonlar, sıcaklık kontrolünün elle veya elektronik olarak yapılabildiği, karıştırıcıların mekanik ve dolaşimli çalıştığı sıvı banyolar ile gerçekleştirilir. Sıvı banyoların çalışma prensipleri aşağıda genel olarak verilmiştir.

### 2.1.1. Paralel Tipli Banyolar (Su Banyoları)

Çalışma aralıkları 4 °C - 90 °C arasındadır. Bu tip banyolarda ısıtma, soğutma ve karıştırma işlemleri banyonun arka kısmında gerçekleşir ve banyonun iç kısmına doğru dağıtılır. Kalibrasyon esnasındaki sıcaklık değişimi bir kaç 0.002 °C ile 0.010 °C civarındadır. İyi bir banyo için banyo içindeki sıvı çok iyi karıştırılmalı, banyo içindeki sıvı dolaşımı iyi olmalı ve banyo soğutulacaksa bu işlem kalibrasyona başlamadan önce yapılmalıdır, aksi takdirde iyi bir sıcaklık dağılımı elde edilemez.

### 2.1.2. Alkol Banyoları

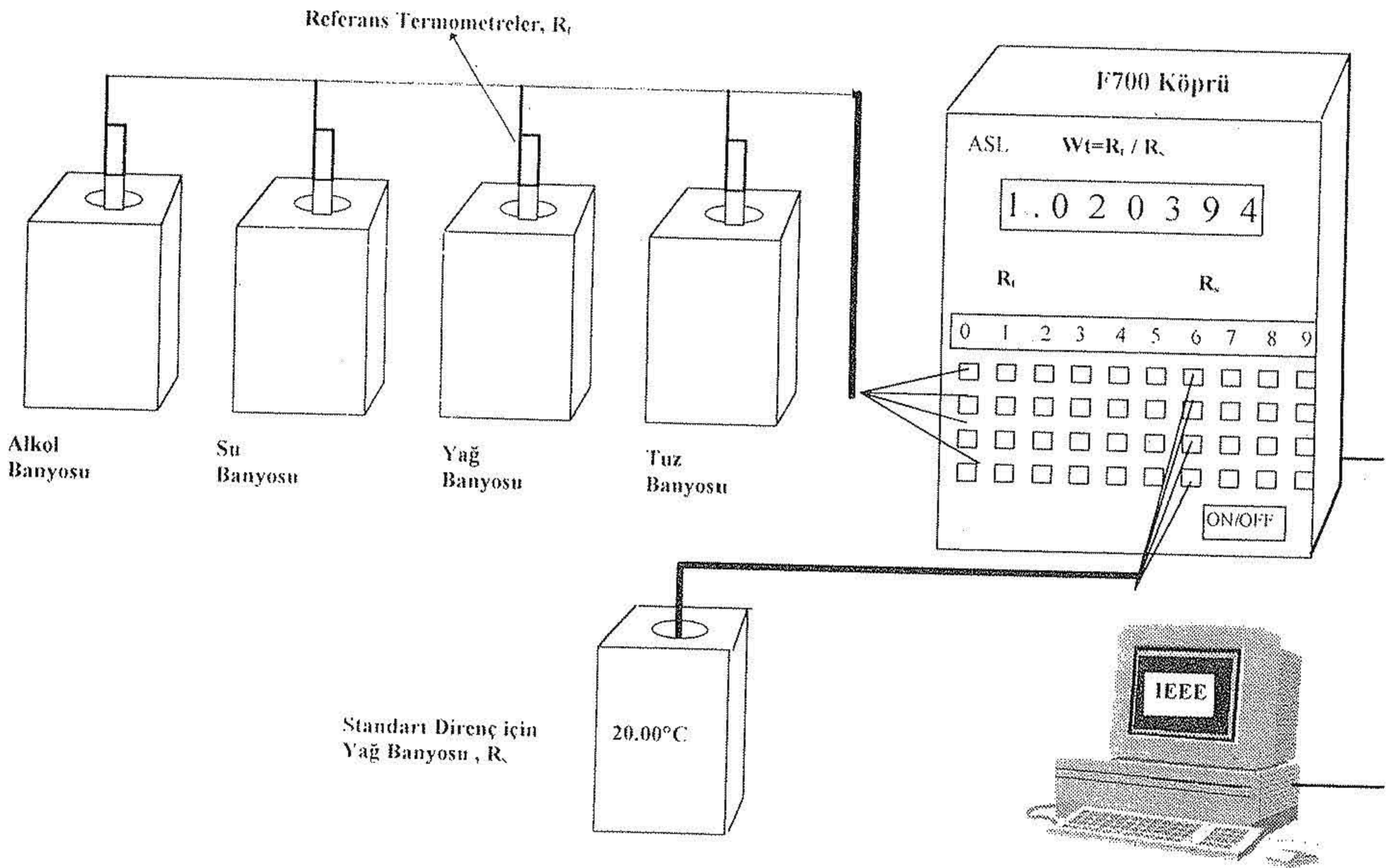
Bu banyoların çalışma sıcaklık aralığı -80 °C ile +4 °C arasındadır. Bu sıcaklığa uygun soğutucular kullanılarak ulaşılır. Bu banyolar ile kalibrasyon esnasındaki sıcaklık değişimi 0.002 °C ile 0.005 °C arasındadır.

### 2.1.3. Orta Merkezli Banyolar

Bu tür banyolar uzun yıllardır birincil düzeydeki laboratuvarlar tarafından kullanılmaktadır. Bunlar yağ doldurmalı ve tuz doldurmalı banyolardır. Yağ banyosunun çalışma sıcaklık aralığı 100 °C - 300 °C'dır. Yağ banyosunun kararlılığı 0.005 °C - 0.01 °C arasındadır. Kullanımı tuz banyolarına göre daha kolaydır. Bu banyolarda dikkat edilmesi gereken nokta, çalışma sıcaklığının üstüne çıkılmamasıdır, aksi takdirde yağ sıçramaları tehlikeli olabilir. Tuz banyosunun çalışma aralığı ise 200 °C - 550 °C'dır. 560 mm daldırma derinliğinde ve kalibrasyon esnasındaki tahmini sıcaklık değişimi 0.01 °C - 0.05 °C arasındadır. Tuz banyosunda kullanılan oksidasyona çok müsait olan maddelerden olan Potasyum nitrat ve Sodyum nitrat çok çabuk kimyasal reaksiyon vereceklerinden dolayı dikkatli olunması gerekir. Tuz banyosuna daldırılacak termometreler banyoya daldırılmadan önce koruyucu bir kap içine konmalıdır (paslanmaz çelikten yapılmış). Termometreler kesinlikle tuz ile temas ettirilmemelidirler, aksi takdirde termometrelerde zamanla çatlama gözlemlenebilir.

NOT: Sıvı banyoların hepsinde çalışma sıcaklığının üstüne çıkılmaması gerekir. Zira çalışma sıcaklığının üstüne çıktığı zaman banyodan gelecek sıçramalar tehlikeli olabilir.

Karşılaştırma metodu ile yapılan kalibrasyonda kullanılan banyolar ve kalibrasyon düzeneği Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1 Karşılaştırmalı metoda göre kalibrasyon düzeneği

## 2.2. Kalibrasyon Banyolarının Sıcaklık Dağılımı

Kullanılan sıvı banyonun sıcaklık dağılımının homojen olmamasının nedeni banyo içinde soğuk ve sıcak noktaların olmasıdır. Bu problemin çözümü için iki veya daha fazla çalışma termometresi, kalibrasyonu yapılacak termometre ile birlikte sıvı banyoya daldırılarak aynı zaman dilimi içinde bir seri ölçüm alınır. Örneğin, cam termometrelerin kalibrasyonundan iyi sonuç alınabilmesi için banyo sıcaklığının çok yavaş yükselmesi gerekir. Çalışma standardı ve kalibrasyonu yapılacak cam termometre birbiri ardından okunur. Bu okunmaların ters yönde uygulanması da yapılır. Ölçümlerin sonucu simetrik ise, ya banyonun sıcaklığı kararlı ya da sıcaklığı belli artış ile değişiyor demektir. Herbir termometre için alınan ölçümlerin ortalaması alınarak ortalama sıcaklık değeri bulunur.

## 2.3. Termometrelerin Değişik Zamanlardaki Sıcaklık Duyarlılığı

Kalibrasyonlarda kullanılan termometreler değişik firmalara ait ve farklı yapılarda olabilir. Bunlar bir banyoda karşılaştırıldığında, bu termometrelerin banyo sıcaklığının değişmesine karşı duyarlılıkları farklı olacaktır. Bu problem termometreler dengeye geldikten sonra ölçümler alınarak giderilebilir. Bunun yanı sıra banyoları kontrol eden sıcaklık ünitelerini geliştirerek, daha hassas sıcaklık değişimlerine duyarlı olmalarını sağlamak da bir çözüm yoludur.

### 2.4.0. Platin Direnç Termometresinin (PRT) Kalibrasyon Metodu

Platin direnç termometreleri endüstride yaygın olarak kullanılan termometrelerdir (örneğin, Pt-100). Bu termometreler referans sıcaklıklara karşılık termometrenin gösterdiği direnç değişimleri belirlenip, daha sonra tespit edilen bu noktalardan uygun eğriler geçirilerek kalibre edilirler.

Kalibrasyonlarda elde edilen değerlere en uygun eğrilerin *least square* prensibine göre geçirilmesi esastır. Bununla birlikte yaygın olarak belli belirsizlikler içersinde iki denklem kullanılmaktadır. Tablo 2’de gösterilen (1) ve (2) nolu eşitlikler Pt-100 termometreleri için yukarıda belirtilen denklemleri göstermektedir.

Tablo 2 Platin direnç termometreleri için kullanılan denklemler ve sıcaklık aralıkları

Denklemler	Eşitlik No	DIN IEC 771 12/90 Standardı (Avrupa)	ASTM Standardı (Amerika)
		Sıcaklık Aralığı	Sıcaklık Aralığı
$R(t) = R_0(0^\circ C) [1 + At + Bt^2 + Ct^3(t - 100)]$	(1)	-200 °C ile 0 °C	-200 °C ile 0 °C
$R(t) = R_0(0^\circ C) [1 + At + Bt^2]$	(2)	0 °C ile 850 °C	0 °C ile 650 °C

Tablo 2'deki denklemlerde belirtilen;

$R_t$ : Pt-100 termometresinin t sıcaklığında göstermiş olduğu direnç değeri,

$R_0$ : Termometrenin 0 °C de göstermiş olduğu direnç değeri,

A, B, C, D; denklemlerin sabit katsayılarıdır.

Pt-100 termometreleri Amerika'da ASTM standardına göre Avrupa'da ise kullanılan DIN standardına göre farklı değerlerle sınıflandırılmışlardır. Sınıflandıma işlemi termometrelerin sıcaklığı bilinen referanslara karşılık göstermiş olduğu direnç değerlerinin kararlılığına göre yapılmıştır. Yapılan bu sınıflandırma sonucunda termometrenin hangi sınıfa ait olduğunu gösteren denklemler aşağıda verilmiştir.

DIN	ASTM
A Sınıfı	$\Delta t = 0.15 + 0.002t$ $\Delta t = 0.13 + 0.0017t$
B Sınıfı	$\Delta t = 0.30 + 0.005t$ $\Delta t = 0.25 + 0.0042t$

Yukarıda belirtilen denklemleri sağlayan Pt-100 termometreleri buldukları satırın başlığını oluşturan standartlara uyuyor demektir. Bilindiği gibi platin direnç termometrelerinin dirençlerindeki yaklaşık  $4 \times 10^{-4} \Omega$  değişim 1 mK sıcaklık değişimine denktir. Pt-100 kalibrasyonlarında 50 mK toplam belirsizlik ile DIN denklemleri kullanılabilir.

Pt-100 termometrelerinin tavlama öncesi ve sonrası suyun üçlü noktasında göstermiş oldukları direnç farkı 2 - 3 mK ise kararlı bir termometre olduğunu gösterir. Eğer fark 10 mK nin üzerinde ise az kararlı ve daha büyük bir belirsizliğe sahip olduğunu gösterir.

#### 2.4.1. Pt-100 Tipi Termometrelerde Kararlılık Testi

Kalibrasyonu yapılacak Pt-100'lerin, suyun üçlü noktası veya buz noktasındaki direnç değeri ölçülür. Pt-100 tipi termometre maksimum kalibrasyon sıcaklığının 20 - 30 °C üzerindeki sıcaklığa ayarlanmış fırında 4 saat tavlama işleminden sonra fırından çıkarılıp oda sıcaklığında soğutulan termometrenin tekrar suyun üçlü noktasındaki ve buz noktasındaki direnç değeri ölçülür. İki ölçüm arasındaki fark 10 mK'den büyükse tavlama işlemi tekrarlanır. Fark yine 10 mK'den büyükse kalibrasyon sertifikasında bu durum belirtilir ve belirsizlik hesabında bu fark gözönüne alınarak tekrar hesaplanır. Fark 10 mK den küçükse kalibrasyona başlanır.

#### 2.4.2. Pt-100 Termometrenin Kalibrasyon Metodu

Kalibrasyona kalibrasyon aralığının en yüksek değerinden başlanarak 0 °C ye doğru ölçümler alınır. Negatif sıcaklık değerlerinde ise en düşük değerden başlanıp 0 °C ye doğru ölçümler alınarak kalibrasyon yapılır. Kalibrasyon toplam ölçüm noktası 10'dur. Pt-100 termometre banyoya referans termometre ile aynı seviyede olacak şekilde ve mümkünse metal blok içerisine yerleştirilir. Ayarlanan sıcaklık değerlerinde referans termometre ve Pt-100 termometresinin okuduğu direnç oranı olarak aynı anda okunarak kaydedilir. Her bir sıcaklık değeri için en az 10 okuma yapılır ve okunan değerlerin ortalamaları alınır. Referans

termometrenin direnç oranı değeri direnç değerine çevrilir. Referans termometrenin kalibrasyon sıcaklığında  $W_t$  değeri bulunur.

$$W(t) = \frac{R(t)}{R_0(0^\circ C)} \dots\dots\dots(3)$$

$W(t)$  değeri : Termometrenin t sıcaklığındaki direnç değerinin  $0^\circ C$ 'deki direnç değerine oranı

$R(t)$  değeri : Test termometresinin t sıcaklığında göstermiş olduğu direnç değeri

$R_0(0^\circ C)$  : Test termometresinin  $0^\circ C$  deki direnç değeri

Bu bulunan sıcaklık değerleri Pt-100 termometrenin okuduğu değerler ile karşılaştırılarak bir tablo hazırlanır .Ayrıca kalibrasyon bölgesindeki sıcaklık değerlerine karşılık gelen PRT tipi termometresinin direnç ve  $W_t$  değerlerini gösteren bir tablo verilir. Referans termometrenin okuduğu sıcaklık değerleri ve Pt-100 termometresinin bu sıcaklıklarda okuduğu direnç değerleri (1) ve (2) nolu denklemlerde yerine konarak A , B ve C katsayıları bulunur.

## 2.5. Sayısal termometrenin Kalibrasyon Yöntemi

Sayısal termometrede PRT tipi termometrenin kalibrasyonunda izlenen yöntem ile kalibre edilir. Bu tür termometre kalibrasyonundaki fark, referans termometrenin ölçtüğü sıcaklık değerlerine karşılık sayısal termometreden de doğrudan sıcaklık değeri okunur ve bu değerler karşılaştırılır.

## 2.6. Sıvı-Cam Termometrenin Kalibrasyon Yöntemi

### 2.6.1. Sıvı - Cam Termometre Geldiğinde Dikkat Edilmesi Gereken Hususlar

Sıvı-cam termometrenin sıvı kolonunun sağlamlığı kontrol edilir. Termometrenin bölmeleri ve numaralandırılması doğru olmalı ve çizgileri düzgün olmalıdır. Termometrenin yapısı ve yapımında kullanılan cam kalibrasyona uygun olmalıdır. Bunları yaparken yaklaşık 8-10 kez büyüten büyüteçten faydalanılır.

Termometre sıvı haznesinde hava kabarcığı bulunabilir veya sıvı kolonundaki sıvının arasına hava boşluğu girmiş olabilir. Bu çok rastlanan bir durumdur ve katı  $CO_2$  (Karbondiyoksit) kullanılarak ortadan kaldırılabilir. Bunun için uygulanılacak metod: Sıvı haznesi katı  $CO_2$  içersinde bekletilerek tüm sıvı hazne içersine toplanır. Eğer bir miktar sıvı hala hazne içersinde kalmış ise termometre hazne kısmından avuç içersine alınarak çok sert olmamak şartı ile sadece el masaya degecek şekilde vurularak sıvı bir miktar aşağı itilir.

### 2.6.2 Sıvı -Cam Termometrede Kararlılık Testi

Sıvı-cam temometrede kararlılık testinin yapılması için, sıcaklık aralığı  $200^\circ C$ 'den büyük olması gerekir. Termometrenin aralığının en yüksek değerinden  $20^\circ C$  aşağı bir sıcaklıkta termometre tavllanır. Sıcaklık aralığı  $200^\circ C$ 'ye kadar olan sıvı-cam termometrelerde camın kristal yapısı aynı olduğu için tavlama işleminin yapılmasına gerek yoktur. Eğer

termometre 200 °C'den daha fazla bir sıcaklıkta ısıtılırsa camın kristal yapısı bozulur ve deforme olur.

### 2.6.2. Sıvı-Cam Termometrenin Kalibrasyonunda Dikkat Edilmesi Gereken Bazı Noktalar

Kalibrasyon esnasında son rakamı belirleyecek yeterlilikte bir büyüteç veya dürbün kullanılır. Ortam ışığı yeterli olmalıdır. Termometre okunurken termometreye sıvı seviyesi hizasından bakılır.

### 2.6.3. Sıvı -Cam Termometrenin Kalibrasyon Metodu

Kalibrasyona başlamadan önce buz noktasında ölçüm alınır. Termos içindeki buz ve su karışımı homojen olarak yapılmalıdır. Kalibrasyona, kalibrasyon aralığının minimum değerinden başlanıp yukarı sıcaklıklara doğru devam edilir ve en az 7 noktada ölçüm alınır. Ölçüm alınan noktalar kalibrasyon aralığının %80'ini kapsamalıdır. İki veya daha fazla referanstermometre kullanılır ve kalibrasyon esnasında sıvı cam termometreleri referanslar arasına yerleştirilir. Eğer kalibrasyon laboratuvarında yeterli sayıda Faden termometre varsa kalibrasyonda iki tane Faden termometre kullanılabilir. Dataların alınmasındaki ölçme işlemi Tablo 3'deki gibidir. Alınan ölçüm değerleri termometreler bazında ortalaması alınır. Eğer buz noktası ölçümü farklı ise test termometrelere buz noktası düzeltilmesi yapılır. Faden termometrenin ölçülen değerlerinin ortalaması alınır ve ortalama Faden termometrenin kendisinden gelen düzeltilmesi yapılır. Faden düzeltilmesi hesaplanırken referans termometrelerin ortalama sıcaklığı banyonun sıcaklığı olarak alınır ve düzeltme hesaplanır. Buz noktası düzeltilmesinden sonra *Faden Termometre için düzeltme* hesaplanır ve gerekli düzeltme yapılır.

Tablo 3 Kalibrasyon ölçüm sırası

Faden Termometre	Referans Termometre	Test Termometre	Referans Termometre	Faden Termometre	Okuma Yönü
Faden1	N1	T1, T2..... Tn	N2	Faden2	⇒
Faden1	N1	T1, T2..... Tn	N2	Faden2	⇐
Faden1	N1	T1, T2..... Tn	N2	Faden2	⇐
Faden1	N1	T1,T2..... Tn	N2	Faden2	⇒

### 3.0. BELİRSİZLİK HESAPLARI

Ölçüm sonuçlarının doğru değerlendirilmesi sonuçların güvenilirliğine bağlıdır. Ölçülen aynı büyüklüğün değeri, ölçümden ölçüme farklılık gösterir. Her ölçümün sonucunda, verilen sayı mutlaka belli bir şüphe içerir. Bu nedenle ölçüm sonucu verilirken ölçülen veya hesaplanan değer belirsizliği her zaman belirlenmelidir.

Ölçüm belirsizliği ölçülen büyüklüğün gerçek değerinin içinde bulunduğu değerler aralığını karakterize eden tahmini değerdir. Ölçüm belirsizliği genel olarak bir çok bileşeni içerir. Bu bileşenlerin bir kısmı, ölçüm serileri sonuçlarının istatistiksel dağılımına bakılarak



tahmin edilebilir ve deneysel standart sapma yardımıyla karakterize edilebilir. Diğer bileşenlerin tahmini ise diğer bilgilere ve tecrübeye dayandırılabilir.

Herhangi bir kalibrasyonda belirsizlik iki şekilde ele alınır;

- \* A tipi belirsizlik (tekrarlanan ölçüm sonuçlarına dayanan istatiksel yöntem)
- \* B tipi belirsizlik (istatiksel olmayan yöntem)

#### **A tipi standart belirsizliğin hesaplanması:**

Herbir gözlem için ortam koşullarındaki rasgele değişimlerden ve etki faktörlerinin rasgele değişimlerinden dolayı farklılıklar gösterir. Girdi büyüklüğündeki rasgele hatalardan doğan belirsizliğin tanımlanması için deneysel standart sapma kullanılır.

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

Gözlemlerin deneysel varyansının değeri, bu aynı zamanda girdilerin olasılık dağılımının varyansıdır. Varyansın bu kestirimi, ve deneysel standart sapma olarak adlandırılan onun pozitif kare kökü, gözlemlenen değerlerin farklılığını belirtir veya daha genel olarak onların ortalamadan sapmalarını karakterize eder. Yani deneysel varyans tüm gözlem sonuçlarının dağılımına ait bir degerdir.

#### **B tipi standart belirsizliğin hesaplanması:**

Girdi değeri için kestirilen değer  $x_i$  tekrarlanmış ölçümler sonucunda elde edilmemişse, kestirilmiş varyans veya standart belirsizlik olabilecek bütün farklı değerleri göz önüne alınarak bütün elde olan bilgiler kullanılarak bilimsel bir şekilde yargıya varılır.

B tipi değerlendirmede ortaya çıkan belirsizlik bileşenleri,

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

B tipi belirsizliğe etki eden faktörler;

- a) Termometrelerin daldırıldığı banyo veya banyoların belirsizliği.
- b) Kalibrasyonda kullanılan referans termometrelerin belirsizliği.
- c) İki referans termometrenin banyo sıcaklık duyarlılığından gelen belirsizlik.
- d) F700 Köprüsünün belirsizliği.
- e) Elektriksel gürültüden kaynaklanan belirsizlik.
- f) Referans direncin belirsizliği.
- g) Buz noktası belirsizliği.
- h) Kalibrasyon sonucunda oluşturulan tablodan gelen belirsizlik.

### Toplam Standart Belirsizlik

Bileşke standart belirsizlik veya toplam standart belirsizlik, belirsizlik yayılma yasası kullanılarak, ölçümlerin A tipi ve B tipi standart belirsizliklerinin bir araya getirilmesinden elde edilir. Bu yasaya göre, toplam belirsizlik, bütün belirsizliklerin karelerinin toplamının kareköküne eşittir.

Yani;

$$\text{Toplam belirsizlik} = k \sqrt{(A \text{ tipi } 1)^2 + (A \text{ tipi } 2)^2 + \dots (B \text{ tipi } 1)^2 + (B \text{ tipi } 2)^2 + \dots}$$

Belirsizlikler güvenilirlik seviyesine göre tanımlanmalıdır. Bunlar;

k = 1 % 66 güvenilirlik seviyesi

k = 2 % 95 güvenilirlik seviyesi

k = 3 % 99.7 güvenilirlik seviyesi

Genellikle k = 2 kullanılır.

**Örnek :**

**Tablo 4** Pt-100 termometre için tahmini belirsizlik hesabı;

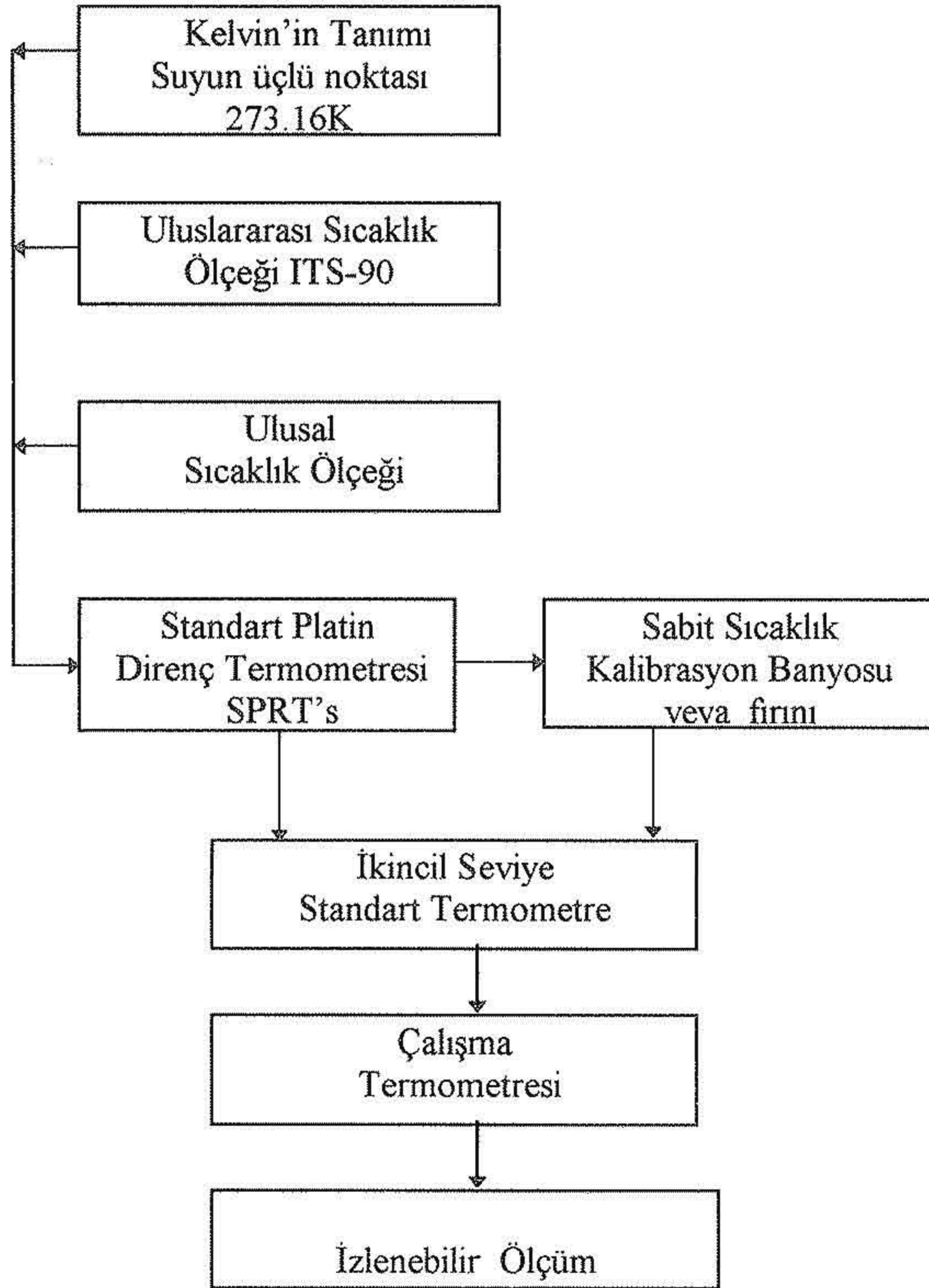
Belirsizlik Faktörleri	°C
A tipi (1 standart sapma)	0.005
Termometrelerin daldırıldığı banyo veya banyoların,	0.010
Kalibrasyonda kullanılan referans termometrelerin belirsizliği	0.002
İki referans termometre banyo sıcaklık duyarlığından gelen belirsizlik,	0.005
F700 Köprüsünün belirsizliği	0.0006
Elektriksel gürültüden kaynaklanan belirsizlik	0.0001
Referans direncin belirsizliği	0.0001
Buz noktası belirsizliği	0.005
Kalibrasyon sonucunda oluşturulan tablodan gelen belirsizlik	0.010
1 standart sapma (k=1)	0.0167
<b>Toplam Belirsizlik (k=2)</b>	<b>0.034</b>

Tablo 4’de verilen değerler sadece bir örnektir, sonuçta elde edilen toplam belirsizlik müşteriden gelen termometrenin kararlılığına ve alınan dataların çokluğu ve azlığına göre artabilir veya azalabilir.

#### 4.0. İZLENEBİLİRLİK

Herhangi bir ölüm esnasında elde edilen sonuçların ulusal veya uluslararası standartlarla oluşan bir zincir içerisinde bağlantılı olmasına izlenebilirlik olarak tanımlanabilir.

Sıcaklık ölümlerindeki izlenebilirlik zinciri Tablo 5’de verilmiştir.



Tablo 5 Sıcaklık ölümlerinin izlenebilirlik zinciri

## 5.0. SONUÇ

Bu yayında, UME sıcaklık laboratuvarına kalibrasyon için kabul edilen PRT tipi ve sıvı-cam termometrelerin karşılaştırmalı yöntemine göre kalibrasyonlarının nasıl gerçekleştirildiği kısaca anlatıldı.

Pt-100, sayısal ve sıvı-cam termometrelerin kalibrasyonları istenilen aralığa göre değişik alet ve yöntemler kullanılmaktadır. -40 °C ile 550 °C arasında sıvı banyolar kullanılarak kalibrasyonlar gerçekleştirilmektedir. Toplam kalibrasyon belirsizliğinin güvenilir olarak hesaplanmasında; kullanılan sıvı banyoların belirsizliği, referans termometrelerin belirsizliği, test termometresinin buz noktası kararlılığı ve tekrarlanabilirliği ve vb belirsizliği etkileyen faktörleri gözönüne alınmalıdır.

Kalibrasyon belirsizliği hesaplamalarında uygulanacak yöntem bu yayında verilmiştir. Her laboratuvarın kalibrasyon esnasında kullanacağı cihazlar ve laboratuvar ortamının farklı olacağından, belirsizliğini etkileyen faktörler farklı olacaktır.

## KAYNAKÇALAR

- [1] Preston-Thomas, H., "The International Temperature scale of 1990", Metrologia, pp 3-10, 1990
- [2] İnce A. T ve Kartal A. "Uluslararası Sıcaklık Ölçeği 1990'nın Ulusal Metroloji Enstitüsü'nde (UME) Gerçekleştirilmesi ve Muhafazası", II. Ölçümbilim Kongresi, Ekim 1997
- [3] İnce A. T., Uğur S., Aşık A. "Platin Direnç ve Sayısal Termometrelerin Karşılaştırmalı Metoda Göre Kalibrasyonları, Eğitim Notları", TÜBİTAK UME, 7-9 Kasım, 1995