

# 234.3156K İLE 692.677K SICAKLIK ARALIĞINDA STANDART PLATİN DİRENÇ TERMOMETRELERİN ULUSLARARASI SICAKLIK ÖLÇEĞİNE (ITS-90) GÖRE KALİBRASYONLARININ GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Ayşegül Aşık, Sevilay Uğur, Ahmet T. İnce

TÜBİTAK, Ulusal Metroloji Enstitüsü, P.K.21 41470 Gebze-KOCAELİ

## Özet

Yapılan ölçümlerin güvenilirliği, ölçüm yapılan cihazın kendisinden daha hassas bir cihaz ile kontrol edilerek sağlanır. Bu hassas cihazlar da kalibreli olmalıdır.  $-189^{\circ}\text{C}$  ile  $961^{\circ}\text{C}$  arasındaki sıcaklık ölçümlerinde kullanılan her türlü sıcaklık ölçüm cihazı platin direnç termometreleri kullanılarak kalibre edilmektedir.

Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME) sıcaklık laboratuvarı sıcaklık ölçüm cihazlarının kalibrasyonunda kullanılan standart platin direnç termometrelerinin 1990 Uluslararası Sıcaklık Ölçeği ITS-90'a göre kalibrasyonunu yapmaktadır. Bu çalışmada UME'de ITS-90'a göre 234.3156 K ile 692.677 K arasında gerçekleştirilen sabit noktalar ve karşılaştırma metodları ile kalibrasyondan ve bu kalibrasyonlardaki matematiksel işlemlerden bahsedilmiştir.

## 1. Giriş

Uluslararası sıcaklık ölçeği ITS-90 daha önceki sıcaklık ölçeklerinden elde edilmiştir. Bunlarla mümkün olan termodinamik sıcaklıklara yakın olarak ölçülen sıcaklıklar hassas ve tekrarlanabilir olarak formüle edilmişlerdir. 1927 yılında CGPM tarafından ilk Uluslararası Sıcaklık Ölçeği ITS-27 kabul edilmiştir. Platin direnç termometresini sıcaklık interpolasyon cihazı olarak uluslararası sıcaklık ölçeğinde ilk olarak kullanılması 1927 yılında olmuştur.

ITS-27 kabul ettiği aralığın alt bölgesinden  $660^{\circ}\text{C}$  ye kadar ki aralıkta platin direnç termometresinin kullanılmasını kabul etmiştir. Bundan sonra ITS-48, IPTS-68 uluslararası sıcaklık ölçekleri kabul edilmiştir. En son olarak 1990 yılında Uluslararası Sıcaklık Ölçeği ITS-90 CGPM tarafından kabul edilmiştir [1].

1990 Uluslararası Sıcaklık Ölçeği 1987'de yapılan 18. Genel Ölçü ve Ağırlıklar Konferansı'nın 7. maddesinde belirtilen öneriye göre 1989'da yapılan toplantısında Uluslararası Ölçü ve Ağırlıklar Komitesi tarafından kabul edilerek 1968 Uluslararası sıcaklık ölçeğinin yerini almıştır [2].

ITS-90 Uluslararası Sıcaklık Ölçeği sıcaklıkları, belirli bir sıcaklıkta fiziksel olaylarla tanımlanmış belirli ısısal denge durumlarına dayandırılmıştır. Bu ısısal durumlar genel olarak sabit noktalar olarak belirtilirler. ITS-90 alt bölgelerinde tanımlı sabit noktalar ve bu bölgelere ait interpolasyon cihaz ve denklemlerinin kullanıldığı sıcaklık ölçeğidir. ITS-90, 0.65 K'den plank ışınım kanunu terimleri ile ölçülebilecek sıcaklığa kadar (1357.77K) olan bölgeyi kapsar. Bu ölçek 4 ana alt bölge ve bunların alt bölgelerinden oluşur.

Platin direnç termometresi ITS-90 da 13.8033K - 1234.93K arasında kullanılan temel interpolasyon cihazıdır. Kullanılan aralığa göre  $25\Omega$ ,  $0.25\Omega$  ve  $2.5\Omega$  platin direnç termometreler bu aralıkta temel referans standardıdır.

## 2. Platin Direnç Termometreleri İçin Kalibrasyon Metodları

### Sabit Noktalar İle Kalibrasyon

Platin direnç termometrelerin (PRT) kalibrasyonunda en önemli sabit nokta suyun üçlü noktasıdır. Çünkü ITS-90 da PRT'nin interpolasyon eşitlikleri bu değere dayandırılarak belirlenmiştir. Suyun üçlü noktası saf suyun katı, sıvı ve gaz fazının üçünün de bir arada bulunduğu denge halidir [3].

Platin direnç termometresinin kullanıcının uygun bulunduğu en sık aralıklarla suyun üçlü noktasında direnç değeri kontrol edilmelidir. Çünkü suyun üçlü noktası değerindeki büyük değişiklikler termometrenin gövdesinde hasar olduğunu veya kötü kullanıldığını gösterir. Kabul edilebilir limitlerdeki değişiklikler PRT'ye nem kaçağı olmasından, izolasyonun kömürleşmesinden, bazı sarmalların kısa devre olmasından veya bazı yapısal tahribatlardan kaynaklanabilir.

Platin direnç termometresinin suyun üçlü noktasındaki bazı direnç değişiklikleri geçicidir. Bu değişim mekanik ve ısısal şoklardan olabilir. Platin direnç termometrenin sertifikasındaki direnç değerinde meydana gelen direnç değişimleri, termometre yaklaşık  $450^{\circ}\text{C}$ 'de 4 saat bekletilerek (tavlama) yok edilebilir ve sertifikasındaki direnç değeri tekrar elde edilebilir veya bu değere çok yaklaşılabilir. Suyun üçlü noktasındaki direnç değişikliklerinin en büyük nedeni soğutma yöntemi sırasındaki soğutmadan kaynaklanan termal şoklardır. Bu nedenle PRT'yi yüksek sıcaklık bölgesinden çıkartırken dikkat etmek gerekir. Örneğin standart PRT için tipik soğutma programı  $630^{\circ}\text{C}$ 'den  $100^{\circ}\text{C}$ 'ye soğutma işleminin en az 30 dk sürmesini gerektirir.

Eğer PRT'nin suyun üçlü noktasındaki direnç değeri önemli ölçüde değişmiş ve tavlama işlemi ile bu değişim giderilemiyorsa termometre sabit noktalar kullanılarak kalibre edilir.

Platin direnç termometrelerin kalibrasyonunda kullanılan en önemli sabit nokta suyun üçlü noktasıdır. Çünkü ITS-90 bir PRT'nin interpolasyon eşitliklerini bu değere dayandırarak belirler. 13.8033K ile 692.677K arasında kullanılan denklemler ITS-90 tarafından tanımlanmıştır [4].

Platin direnç termometresinin ITS-90 sıcaklık ölçeğine göre kalibrasyonunun yapılabilmesi için aşağıda verilen şartlardan birini sağlaması gerekir.

$$W (29.7646^{\circ}\text{C}) \geq 1.11807 \quad [1]$$

$$W (-38.8344^{\circ}\text{C}) \leq 0.844235 \quad [2]$$

Gümüş donma noktasına kadar kullanılan platin direnç termometresi aynı zamanda şu eşitliği de sağlamalıdır:

$$W (961.78^{\circ}\text{C}) \geq 4.2844 \quad [3]$$

Eğer PRT yukarıdaki şartlardan birini sağlıyorsa PRT'nin suyun üçlü noktasında direnç değeri ölçülür ve kalibrasyon yapılacak sıcaklık bölgesinin en üst değerinin 20°C-30°C üzerindeki bir fırında 2-3 saat tavllanır. Bu süre sonunda fırından çıkartılıp soğutulan termometrenin tekrar suyun üçlü noktası direnci ölçülür. Tavlama işleminden önce ve sonra ölçülen suyun üçlü noktası direnç değerlerinin farkına bakılır. Bu fark 1-2 mK ise, kalibrasyon metodu uygulanır. Eğer bu fark 2 mK'den büyükse tekrar tavlama işlemi yapıp yukarıdaki metod uygulanır.

Kararlılığı iyi olan termometreler için kalibrasyona 234.3156K - 692.677K arasındaki bölgede Çinko sabit noktasından başlanır. Hücrenin donma platosuna geldiği kontrol termometresi ile tespit edildikten sonra kalibrasyonu yapılacak PRT ön ısıtma işlemine tabi tutularak hücreye daldırılır ve dengeye gelmesi için 10 - 15 dk beklenir. Her iki dakikada bir 1 mA ve  $\sqrt{2}$  mA ile yaklaşık 5 ölçüm alınır. Ölçümler F18 AC direnç köprüsünden (hassasiyeti 0.1 mK)  $R_1/R_s$  direnç oranı şeklinde alınır. Burada  $R_s$  sabit noktada platin direnç termometresinin direnç değeri,  $R_s$  sıcaklığı çok iyi kontrol edilen ( $\pm 10$  mK) yağ banyosunda saklanan standart direncin değeridir. Beş ölçümün ortalamasının standart direnç değeri ile çarpımıyla  $R_1$  değeri elde edilir. Kalibrasyon sırasında 1 mA ve  $\sqrt{2}$  mA ile alınan değerlerden termometrenin kendinden ısınma etkisi bulunur. Bu etki aşağıdaki denklem ile hesaplanır:

$$R_0 = R_1 - \frac{I_1^2}{I_1^2 - I_2^2} (R_1 - R_2) \quad [4]$$

Burada  $I_1$  ve  $I_2$  1 mA ve  $\sqrt{2}$  mA akım değerleri,  $R_1$  ve  $R_2$  bu akımlarda ölçülen direnç değerleridir. Kalibrasyonu yapılan termometre için bulunan kendinden ısınma değeri belirlenerek sertifikada belirtilir. Bu kalibrasyona ait düzenek şekil 1 de verilmiştir. Kaydedici ile F18 köprüsünden okunan değerlerden bir hane daha fazla okuma yapılır.

Sabit noktada ölçümler tamamlandıktan sonra kullanılan platin direnç termometresinin daldırma derinliğinin yeterli olup olmadığının testi yapılmaktadır. Termometre ilk önce 2 cm ve daha sonra 4 cm sabit nokta hücrelerinden yukarı yükseltilir ve sonunda orjinal (tam daldırma) pozisyonuna getirilip ölçüm alınır. İyi bir termometre için daldırma derinliği testindeki ölçümler arasındaki fark 1 mK'den fazla olmamalıdır. Bu işlem bittikten sonra termometre hücreden çıkartılır önce oda sıcaklığında soğutulur. Daha sonra su buz karışımında ön soğutma yapılarak suyun üçlü noktasında ölçüm yapılır.

$$W_t = \frac{R_t}{R_{0.01^\circ C}} \quad \text{denkleminde } W_t \text{ değeri hesaplanır. } R_t \text{ değeri için çinko}$$

platosunda 1 mA akımda ölçülen direnç değeri ortalaması kullanılır.

Kalibrasyon kalay donam noktasında yapılacaksa kalay donma platosu oluşturulur. Çinko sabit noktasında yapılan ölçümler tekrar edilir. Kalay hücrendeki ölçümler bittikten sonra termometre hücreden çıkartılarak önce oda sıcaklığında sonra da su buz karışımında ön soğutma yapılarak suyun üçlü noktasında ölçülür. Kalay için  $W_t$  değeri hesaplanır.  $R_t$  değeri için kalay platosunda 1 mA akımda ölçülen direnç değeri ortalaması kullanılır.

Her bir sabit nokta için sabit noktanın uzunluğuna ve termometrenin daldırma derinliğine bağlı olarak basınç düzeltmesi yapılır [2].

Tüm ölçümler bittikten sonra hesaplama işlemleri yapılır. Sabit noktalara ait  $W_t$  değerleri  $t < 0^\circ C$  için

$$W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1]^2 + \sum_{i=1}^5 c_i [\ln W(T_{90})]^{i+n} \quad [5]$$

$t \geq 0^\circ C$  için

$$W(t_{90}) - W_r(t_{90}) = a(W(t_{90}) - 1) + b(W(t_{90}) - 1)^2 + c(W(t_{90}) - 1)^3 + d[W(t_{90}) - W(660.323^\circ C)]^2 \quad [6]$$

şeklindedir.  $W_r$  değeri için her bir sabit noktanın hidrostatik basınç etkisi hesaplanıp sabit noktaya ait gerçek sıcaklık değeri bulunur. Bu değer  $t < 0^\circ C$  için

$$\ln[W_r(T_{90})] = A_0 + \sum_{i=1}^{12} A_i \left[ \frac{\ln(T_{90}/273.16K) + 1.5}{1.5} \right]^i \quad [7]$$

ve  $t \geq 0^\circ C$  için

$$W_r(t_{90}) = C_0 + \sum_{i=1}^9 C_i \left[ \frac{t_{90}/^\circ C - 481}{481} \right]^i \quad [8]$$

denklemlerinde yerine konarak  $W_r$  değeri bulunur ( $A_0, A_i, C_0$  ve  $C_i$  katsayıları ITS-90'da verilmiştir). Kalay ve çinko sabit noktaları için 6 no'lu denklem ayrı ayrı yazılır ( $0 - 420^\circ C$  arasında  $c=d=0$  alınır). Bulunan  $W_r$  değeri bu denklemde yerine konarak termometrenin  $a, b$  katsayıları bulunur.

Yapılan bu kalibrasyondaki belirsizliğin hesaplanmasında ise önemli noktalar şunlardır:

A tipi belirsizlik ; Rastgele hatalar olarak nitelendirilir. Ölçüm sırasında alınan değerlerdeki standart sapmadan bulunur.

$$s = \frac{1}{n-1} \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{ort})^2} \quad [9]$$

Burada  $n$ : ölçüm sayısı,  $x_i$  :  $i$ . ölçümdeki değer,  $x_{ort}$  : ölçüm serisinin ortalama değeridir.

B tipi belirsizlik ; Sistemik hata olarak nitelendirilir. Sistemik hatalar belli ve sabittir.

B1 : Elektriksel ölçüm belirsizliği kullanılan köprüden gelen belirsizliktir.

B2 : Köprünün standart direncinin sıcaklık kontrolünden gelen belirsizlik

B3 : Sabit nokta metalinin safsızlığından gelen belirsizlik

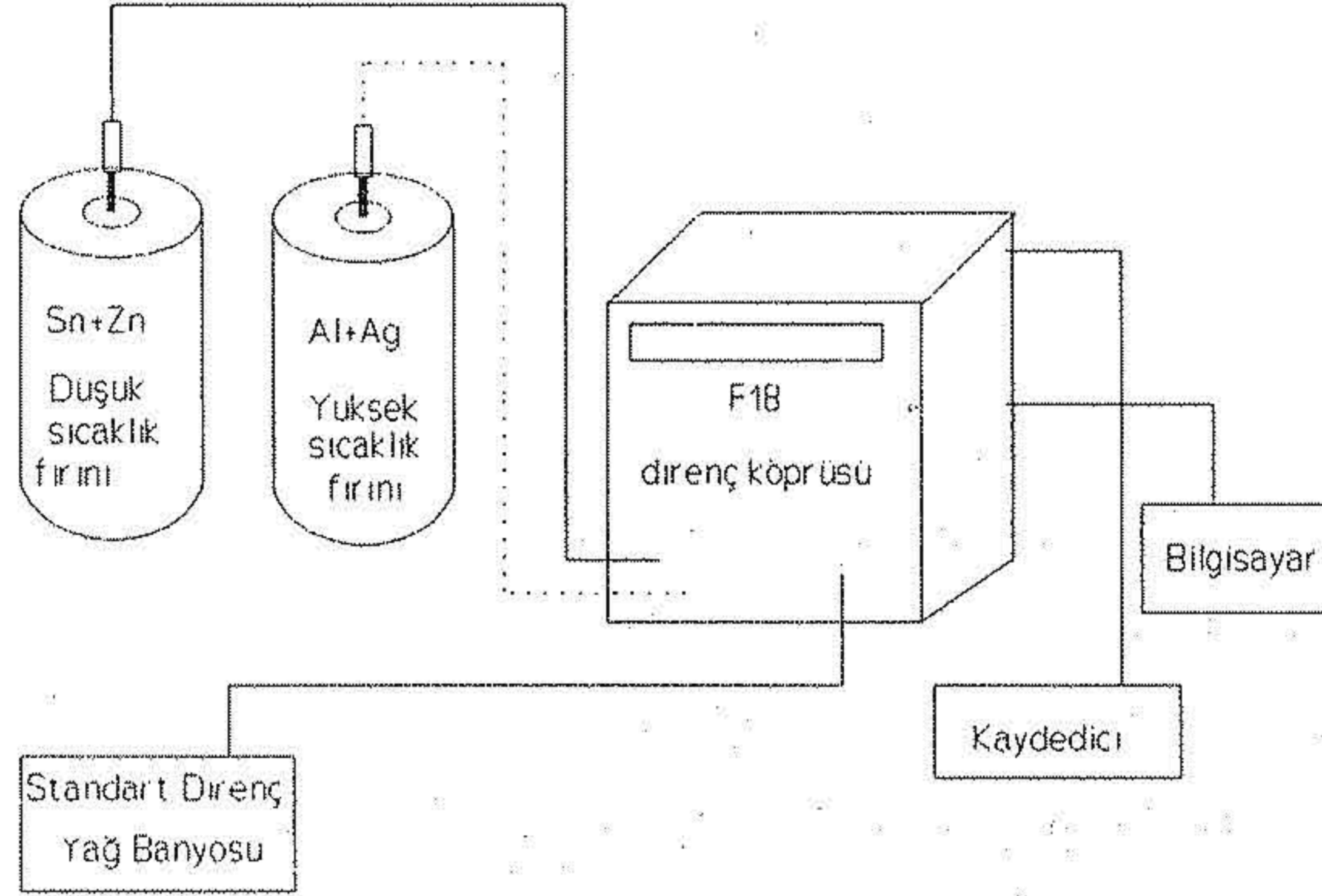
B4 : Suyun üçlü noktasındaki direnç değerinin değişimi

$$\text{Toplam B tipi belirsizlik: } \sum u_i = \sqrt{B1^2 + B2^2 + B3^2 + B4^2}$$

şeklinde hesaplanır. Eğer B tipi bileşenler dikkörtgensel dağılım şeklinde verilmiş ise her bir B tipi bileşen değeri için  $\sqrt{3}$  ile bölünmüş değerleri alınır.

Toplam belirsizlik ise  $U_c = \sqrt{s^2 + \left(\sum u_i\right)^2}$  dir.

Genişletilmiş belirsizlik  $u = kU_c$  dir. Burada k kapsam faktörü olup %95 güvenirlilik için  $k=2$  dir.



Şekil 1. Sabit noktalar ile kalibrasyon düzeneği

### Platin Direnç Termometrelerin ve Sayısal Termometrelerin Karşılaştırma Yöntemi İle Kalibrasyonu

Bu aralıktaki kalibrasyonlarda  $-50^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C}$  arasında alkol banyosu,  $5^{\circ}\text{C} - 80^{\circ}\text{C}$  arasında su banyosu,  $150^{\circ}\text{C} - 250^{\circ}\text{C}$  arasında yağ banyosu ve  $250^{\circ}\text{C} - 550^{\circ}\text{C}$  arasında tuz banyosu kullanılmaktadır. Kalibrasyonlardaki ölçümler 4 tel bağlantılı direnç termometreleri ile yapılır. Bu tip kalibrasyonlarda test termometreleri kalibrasyonda kullanılacak referans termometre ile birlikte kalibrasyon aralığına ait sıvı banyoya daldırılır. Ölçüm yapılacak sıcaklık değerleri kalibrasyonu istenilen aralıkta, ayrıca belirtilmedikçe, en az beş noktada seçilir. Eğer kalibrasyon, özellikle bazı noktalarda istenmişse o zaman belirtilen sıcaklık değerleri kalibrasyon noktaları olarak alınır. Her bir kalibrasyon noktasında en az 5 ölçüm alınmalıdır. Ölçümler köprü (hassasiyeti 0.1 mK) dengeye geldikten 5 - 10 dakika sonra alınır. Her bir ölçümde, ölçümler arasında 2 dakika beklenir. Kalibrasyon sırasında yağ banyosundaki

dirençlerin sıcaklığının kararlı ( $\pm 0.01^\circ\text{C}$ ) olması istenir. Kalibrasyon düzeneği şekil 2'de verilmiştir.

### Endüstriyel Platin Direnç Termometrelerin (Pt100) Kalibrasyonunda İzlenen Yöntem

- (a) Kalibrasyonu yapılacak platin direnç termometre (Pt100)'nin suyun üçlü noktasındaki veya buz noktasındaki direnç değeri ölçülür.
- (b) Pt100 termometre max. kalibrasyon sıcaklığının  $20^\circ\text{C}$ - $30^\circ\text{C}$  üzerindeki sıcaklığa ayarlanmış fırında 2-3 saat tavllanır.
- (c) Tavlama işleminden sonra fırından çıkartılıp soğutulan termometrenin tekrar suyun üçlü noktasındaki direnç değeri ölçülür.
- (d) İki ölçüm arasındaki fark  $10\text{ mK}$ 'den büyükse (b) adımından itibaren işlemler tekrarlanır. Fark yine  $10\text{ mK}$ 'den büyükse kalibrasyon sertifikasında bu durum belirtilir ve belirsizlik hesabında bu durum gözönüne alınır. Fark  $10\text{ mK}$ 'den küçükse ;
- (e) Kalibrasyona kalibrasyon aralığının en yüksek değerinden başlanarak ve  $0^\circ\text{C}$ 'ye doğru 5 noktada ölçümler alınır. Negatif sıcaklık değerlerinde ise en düşük değerden başlanıp  $0^\circ\text{C}$  ye doğru ölçümler alınarak kalibrasyon yapılır.
- (f) Pt100 termometre banyoya referans termometre ile aynı seviyede olacak şekilde yerleştirilir. Mümkünse metal blok içine yerleştirilir.
- (g) Ayarlanan sıcaklık değerlerinde referans termometre ve Pt100 termometrenin okuduğu değerler direnç oranı olarak aynı anda okunarak kaydedilir.
- (h) Her bir sıcaklık değeri için en az 5 okuma yapılır ve okunan değerlerin ortalamaları alınır.
- (i) Referans termometrenin direnç oranı değerleri direnç değerine çevrilir.

$$R_{ref} = X * R_{STD} \quad [10]$$

X : Kalibrasyon sıcaklığında okunan oran

$R_{STD}$  : Yağ banyosundaki standart direncin değeridir ve banyo sıcaklığına bağlıdır.

$R_{STD}$  değerinin bulunması:

$$R_{STD} = [ ( t_d - t_k ) u_r R_s ] + R_s \quad [11]$$

$R_{ref}$  : Referans termometrenin direnç değeri

$t_d$  : Standart direncin ölçüm anındaki sıcaklığı

$t_k$  : Standart direncin sertifikasında belirtilen kalibrasyon sıcaklığı

$u_r$  : Standart direncin sertifikasında belirtilen sıcaklık katsayısı

$R_s$  : Standart direncin sertifikasında belirtilen direnç değeri

(j) Referans termometrenin direnç değeri sıcaklığa çevrilir.

Referans termometrenin direnç değerinin sıcaklığa çevrilmesi :

$$W_t = \frac{R_t}{R_{0.01}} \quad [12]$$

$R_{0.01}$  : Referans termometrenin suyun üçlü noktasındaki direnç değeri

Referans termometrenin a, b katsayıları ve suyun üçlü noktasındaki direnç değeri ( $R_{0.01}$ ) termometrenin sertifikasından alınarak aşağıdaki denklemde yerine konur ve bu denklemden  $W_r$  değeri bulunur.  $t < 0^\circ\text{C}$  için

$$W_T - W_r = a [W_T - 1] + b [W_T - 1]^2 + \sum_{i=1}^5 c_i [\ln W_T]^{i+n} \quad [13]$$

$t \geq 0^\circ\text{C}$  için

$$W_t - W_r = a (W_t - 1) + b (W_t - 1)^2 + c (W_t - 1)^3 + d [W_t - W(660.323^\circ\text{C})]^2 \quad [14]$$

denklemleri kullanılır.

Bulunan  $W_r$  değeri kalibrasyon aralığına göre aşağıdaki denklemlerde yerine konarak referans termometrenin  $R_t$  değerine karşılık gelen sıcaklık değeri bulunur. ( $B_0, B_i, D_0$  ve  $D_i$  katsayıları için ITS-90'da verilen tablodan alınır.)  $t < 0^\circ\text{C}$  için

$$T_{90}/273.16\text{K} = B_0 + \sum_{i=1}^{15} B_i \left[ \frac{W_r(T_{90})^{1/6} - 0.65}{0.35} \right]^i \quad [15]$$

$t \geq 0^\circ\text{C}$  için

$$t_{90}/^\circ\text{C} = D_0 + \sum_{i=1}^9 D_i \left[ \frac{W_r - 2.64}{1.64} \right]^i \quad [16]$$

denklemleri kullanılır.

(k) Bu bulunan sıcaklık değerleri Pt 100'ün okuduğu değerler ile karşılaştırılarak bir tablo hazırlanır. Ayrıca kalibrasyon bölgesindeki sıcaklık değerlerine karşılık gelen Pt100 termometrenin direnç ve  $W_t$  değerlerini gösteren bir tablo verilir.

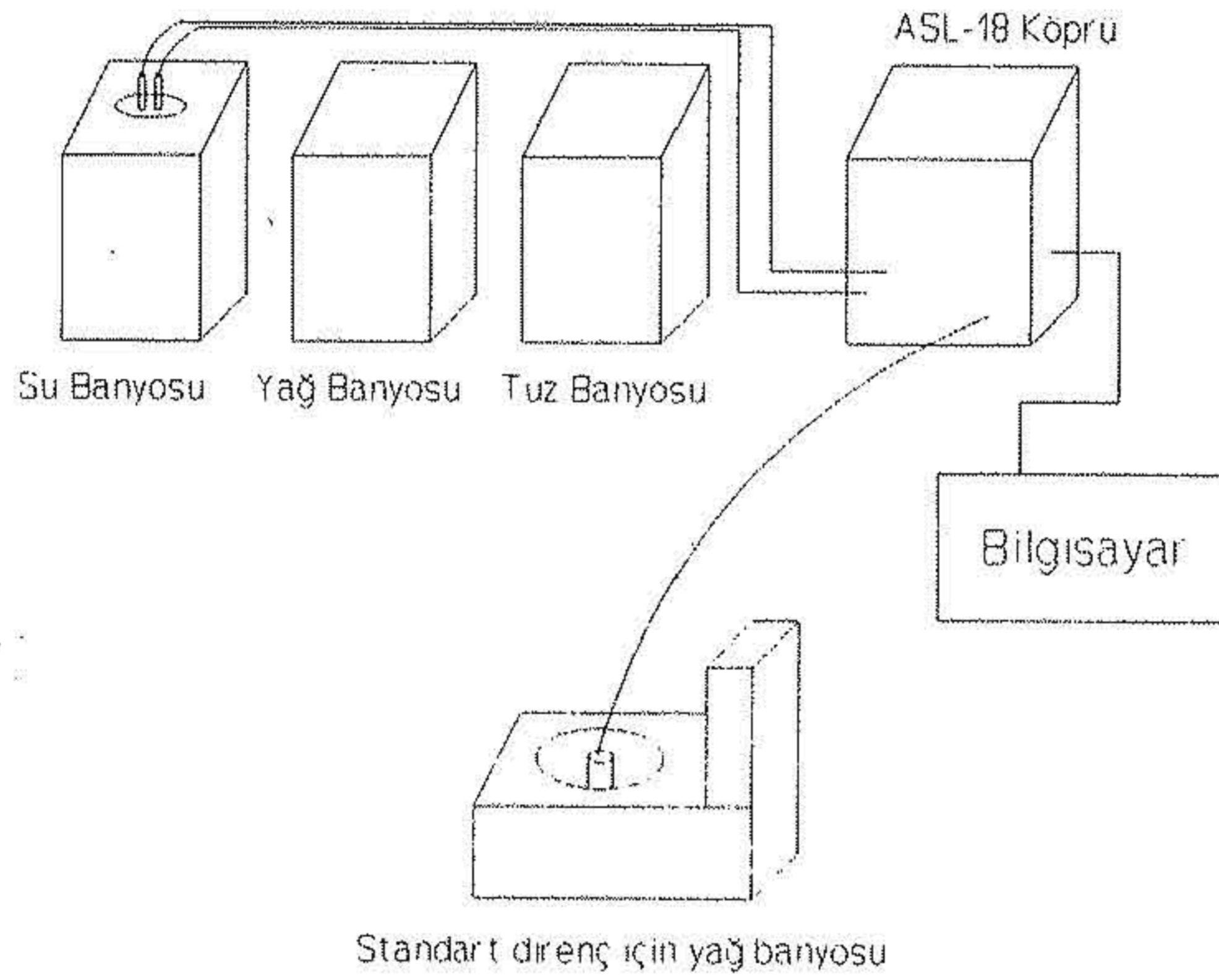


- (I) Referans termometrenin okuduğu sıcaklık değerleri ve Pt100 termometrenin bu sıcaklıklarda okuduğu direnç değerleri aşağıdaki denklemde yerine konarak A, B, C katsayıları bulunur.

$$R(t) = R(0^{\circ}\text{C}) [ 1 + A t + B t^2 + C t^3 (t - 100^{\circ}\text{C}) ] \quad [17]$$

$t \geq 0^{\circ}\text{C}$  için  $C = 0$  dır.

$R(0^{\circ}\text{C})$  değeri  $R(0^{\circ}\text{C}) = R(0.01^{\circ}\text{C}) * 0.9999602$  eşitliğinden bulunur. Hazırlanan sertifikada A, B, C katsayıları,  $R(0^{\circ}\text{C})$  ve  $R(0.01^{\circ}\text{C})$  değerleri belirtilir.



Şekil 2. Karşılaştırma yöntemi ile kalibrasyon düzeneği

### Sayısal termometrelerin kalibrasyonunda izlenecek yöntem

- Sayısal termometre ve referans termometre banyoya mümkünse metal blok içersine yerleştirilir.
- Ayarlanan sıcaklık değerlerinde referans termometrenin okuduğu direnç oranı değerleri ve bu değerlerde sayısal termometrenin okuduğu sıcaklık değerleri aynı anda okunarak kaydedilir.
- Her bir sıcaklık değeri için en az 5 ölçüm ve sonunda bu değerlerin ortalamaları alınır.
- Referans termometrenin direnç oranı değerleri direnç değerine çevrilir. (Pt100 kalibrasyonu i adımı)
- Bulunan direnç değeri sıcaklığa çevrilir. (Pt100 kalibrasyonu j adımı)

f) Bulunan bu sıcaklık değerleri sayısal termometrenin okuduğu değerler ile karşılaştırılarak aradaki fark bulunur. Bu fark ters işaretle termometrenin düzeltme değerleri olarak kaydedilir ve bir tablo hazırlanır.

Karşılaştırma metodu ile kalibrasyonda belirsizlik bileşenleri ise şunlardır:

A tipi bileşen : Rastgele hata bileşenidir. Kalibrasyon sırasında alınan ölçümlerin ortalama değerden standart sapması olarak hesaplanır.

B tipi bileşenler :

B1 : Köprünün doğruluğu

B2 : Referans termometrenin sertifikasında verilen belirsizlik

B3 : Standart direncin sertifikada verilen belirsizliği

B4 : Kullanılan banyonun kararlılığı

B5 : Kullanılan voltmetrenin doğruluğu

Toplam B tipi hata bileşeni:  $\sum u_i = \sqrt{B1^2 + B2^2 + \dots + B5^2}$

şeklinde hesaplanır. Eğer B tipi bileşenler dikdörtgensel dağılım şeklinde verilmiş ise her bir B tipi bileşen değeri için  $\sqrt{3}$  ile bölünmüş değerleri alınır.

Toplam belirsizlik ise  $U_c = \sqrt{s^2 + \left(\sum u_i\right)^2}$  dir.

Genişletilmiş belirsizlik  $u = kU_c$  dir. Burada k kapsam faktörü olup %95 güvenilirlik için  $k=2$  dir.

## Sonuç

Yapılan kalibrasyonlarda referans termometreler sabit noktalar ile kalibre edilerek ITS-90'daki gerekli şartlar ve referansın izlenebilirliği sağlanır. Referans termometreler kullanılarak yapılan karşılaştırma metodu ile kalibrasyonlarla ITS-90 sıcaklık ölçeğine izlenebilirlik sağlanır. Burada anlatılan kalibrasyon metodları UME'de izlenen yöntemi açıklamaktadır. UME'de referans termometreler kullanılarak  $-38^\circ\text{C}$  ile  $420^\circ\text{C}$  arasında kalibrasyonlar gerçekleştirilmektedir. Bu sıcaklık ölçeği yakın gelecekte  $-38^\circ\text{C}$  ile  $961^\circ\text{C}$  arasına çıkarılacaktır. Böylece endüstri tarafından kullanılan referans termometrelerin ulusal standartlara izlenebilir olarak kalibrasyonları gerçekleştirilecektir.

## **Kaynaklar**

- [1] Quinn, T.J., Preston-Thomas, H., "Supplementary Information For The International Temperature Scale of 1990", 1990.
- [2] Preston-Thomas, H., The International Temperature Scale of 1990, "Metrologia", 27,107, 1990.
- [3] Çakıroğlu, F., Aşık, A., Uğur, S., İnce, A.T., "Uluslararası Sıcaklık Ölçeğinde (ITS-90) Tanımlanan Suyun Üçlü Noktasının Değişik Metodlar Kullanılarak Oluşturulması ve Suyun Üçlü Nokta Hücrelerinin Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)'nde Yapılması", I. Ölçümbilim Kongresi, Eskişehir, 1995
- [4] Uğur, S., İnce, A.T., "Termodinamik Sıcaklık Birimi Kelvin (K) ve 1990 Uluslararası Sıcaklık Ölçeği (ITS-90)", I. Ölçümbilim Kongresi, Eskişehir, 1995