

# ISIL ÇİFTLERİN KARŞILAŞTIRMALI METODA GÖRE KALİBRASYONLARI\*

Ali Can KUYRUKLUYILDIZ - Aliye KARTAL - Ahmet T. İNCE

TÜBİTAK - Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME)

## ÖZET

UME sıcaklık laboratuvarında ısılıçiftlerin karşılaştırmalı yöntem ile kalibrasyonları gerçekleştirilmektedir. Bu kalibrasyonlar  $-40^{\circ}$  -  $+550^{\circ}\text{C}$  arasında sıvı banyolar,  $550^{\circ}\text{C}$  -  $+1100^{\circ}\text{C}$  arasında bölgeden ısıtılmalı fırınlar kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Kalibrasyonlara başlamadan önce kalibrasyon için gelen ısılıçiftlerin homojenlik testinden geçmesinin önemli olduğu tespit edilmiştir. Bunun için kalibrasyonun tavlama (1150°C'de) sonraki basamağı olarak  $+500^{\circ}\text{C}$ 'de tuz banyosunda homojenlik testi gerçekleştirilmektedir. Bu önemli basamağın yanı sıra ısılıçiftlerin kalibrasyonunda önemli olan diğer konulara bu yayında yer verilmektedir.

## 1.0 GİRİŞ

Isılıçiftler genellikle endüstriyel kullanımda geniş bir uygulama alanına sahip olan sıcaklık sensörleridirler, bu sensörler kullanımdaki basitliği, fiziksel dirençlerinin iyi olması, ucuz maliyetleri, fiziksel büyüklüklerinin küçük olması ( $-270^{\circ}\text{C}$  ile  $+1500^{\circ}\text{C}$  arası) ve uygun elektriksel çıktılarına sahip olmaları sebebiyle başlı başına tercih sebebidirler. Bu nedenle ısılıçiftler birden fazla noktadaki sıcaklık ölçümlerinde, büyük işletmelerde, değişik endüstrilerde, teknolojik ve bilimsel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

Isılıçiftler uzun bir tarihe sahiptirler. Tarihteki ilk defa Seebeck olayını anlatan dokümana 1822 yılında rastlanmıştır. Üç temel termoelektrik etkinin aralarındaki ilişkinin oluşturulması işini Thomson (Lord Kelvinden sonra) 1854 yılında gerçekleştirmiştir. 1886 yılında Le Chartier tarafından geliştirilen platin -%10 rodyum/platin ısılıçifti  $630^{\circ}\text{C}$  üzerindeki sıcaklıklarda uluslararası sıcaklık ölçeğinde ara değer sıcaklık sensörü olarak kullanılmıştır. En çok kullanılan temel metal ısılıçiftleri bu yüzyılın başlangıcında geliştirmiştir. (1)

Isılıçiftlerle ilgilenildiğinde termoelektrik olgusunun metal iletkenliğinin aynı zamanda ısı iletkenliğinin ve elektriksel iletkenliğinin temeli olduğunu bilmek gereklidir. Termoelektrik etkilerin kendilerini bağlantı noktalarında, başka bir deyişle düğüm noktalarında göstermelerine karşın bu etkiler sözü geçen bu noktaların doğasından kaynaklanan özellikler değildirler. Burada iki iletkenin bağlanması söz konusu olduğundan, temas potansiyelinde varlığından söz etmek gereklidir. Fakat bu potansiyel fark önemli ölçüde sıcaklığa bağımlı değildir.

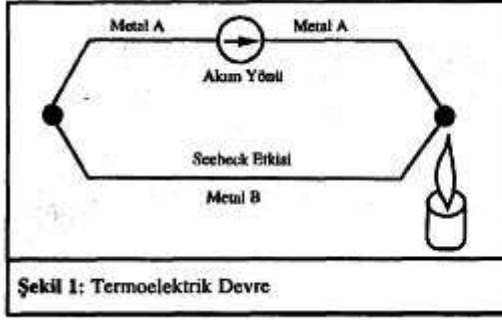
Eğer bir iletkenin bir ucu ısıtılırsa diğer ucunda da sıcaklık yükselir. Uygulanan bu sıcaklık değişim sebebi ile, ısı elektrik akımıyla soğuk uca taşınır buna termoelektrik akım denir. Bu akımın büyüklüğü termal değişimin büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Uçları yalıtılmış ısılıçiftlerde termoelektrik akım kendini elektriksel potansiyel farkı (emk) olarak gösterir (buna Seebeck etkisi denir ve bölüm 1.1'de açıklanmıştır.). Isılıçift genellikle bir elektriksel üreteç olarak da düşünülebilir. Bu yüzden uygulamadaki çıktısının ölçüm biriminde potansiyel fark, elektro motor kuvvet (emk) veya voltaj olması gereklidir. SI birim sistemine göre birimi 'Volt'tur. Bahsedilen bu emk değişik metallere yapılan ısılıçiftler için değişik büyüklüklere sahiptir. Hatta ısılıçiftin yüksek sıcaklıkta tavlama ve gerilim olmasına göre de bu emk değişim gösterir.

Kolaylıkla tahmin edileceği üzere Seebeck potansiyel farkının okunması aynı sıcaklık değişiminin uygulandığı farklı bir iletkenle devreyi tamamlamadan mümkün değildir. Seebeck katsayısının mutlak olarak ölçülmesinin uygulamada çok zor olması sebebi ile, bu değer standart başka bir maddeye göre ölçülmesi daha uygundur. Bu amaç için genellikle saf platin kullanılır. Bunun sebebi saf platinin uygulamadaki sıcaklık aralığının yeterince geniş olması ve platinin Seebeck katsayısının oldukça kararlı olmasıdır.

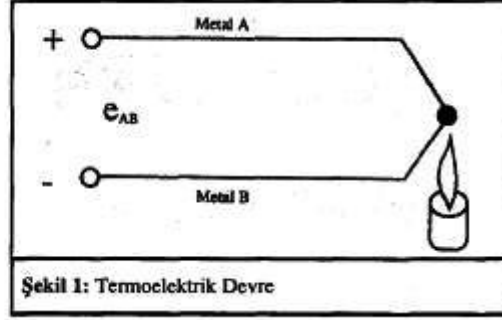
Isılıçiftin iki ucu arasında oluşan emk'nın ısılıçift boyunca uygulanan sıcaklık değişiminden kaynaklanması ve farklı iki cins metalin birbirleri ile bağlanmalarının sadece elektriksel iletkenliği sağlamak olduğu bu tip sensörlerin en önemli pratik uygulamasıdır. Isılıçifti oluşturan iletkenlerin sıcaklık değişimi uygulanan bölgelerinde kimyasal ve fiziksel olarak özdeş olmaları çok önemlidir (2).

### 1.1. Seebeck Etkisi

İki farklı metal tel her iki uçlarından birbirleri ile bağlanırsa ve bağlanan uçlarından bir tanesi ısıtılırsa ise oluşan bu termoelektrik devreden ısıtma işlemi süresince bir elektrik akımı dolaşır. Şekil 1 'de bir termoelektrik devre gösterilmiştir. Thomas Seebeck bu keşfi 1821 yılında yapmıştır (3).



Şekil 1: Termoelektrik Devre



Şekil 2: Termoelektrik Devre

Eğer termoelektrik devre ısıtılmayan bağlantı noktasında ayrılırsa, Şekil 2'de gösterildiği gibi, açık devrenin net potansiyel farkı (voltaj, elektro motor kuvvet veya emk) kullanılan metal tellerin cinsine ve ısıtılan bağlantı noktasının sıcaklığına bağlıdır. Oluşan bu emk'e Seebeck voltajı ismi verilir.

Bütün birbirinden farklı metal tel birleşimlerinde seebeck etkisi gözlemlenebilir. Bu şekilde oluşturulan metal ikililerine ısılıçift ismi verilir. Günümüzde bir çok farklı türde ısılıçift kullanılmaktadır. Bunların en yaygın olanları, K, N, J, R, S, B ve T tipleridir. Sıcaklıktaki küçük değişimler Seebeck voltajı ile doğru orantılıdır.

Termal voltajın oluşumunu serbest elektron gazı modeli ile de basit bir şekilde açıklayabiliriz. Eğer yalıtılmış bir iletken bir ucundan ısıtılırsa ısıtılan uçtaki elektronların kinetik enerjilerinde artma oluşur başka bir deyişle, ortalama elektronların hızları soğuk uçtakilere göre daha fazla olur. Bu nedenle sıcak uça enerjisi fazla olan bir kısmı elektron soğuk uca doğru hareket eder (difüzyon). Sözü geçen bu difüzyon olayı, sıcaklık değişimi olan bölgede sürekli bir elektron yoğunluğu değişimini meydana getirir. Sonuç olarak iletkenin soğuk ve sıcak uçları arasında kalan ve sıcaklık değişimi olan bölgede bir potansiyel fark meydana gelir. Potansiyel farkın büyüklüğü sıcaklık değişiminin büyüklüğü ile doğru orantılıdır buna ek olarak iletkenin tipine göre de değişim gösterir. Eğer iki farklı iletken sıcaklık değişimi olan bölge boyunca paralel bağlanırlar ise iki farklı termal voltaj veya emk değeri oluşur.

## 2.0 ISILÇİFTLERİN KARŞILAŞTIRMALI METODA GÖRE KALİBRASYONLARI

Isılıçiftlerin karşılaştırmalı metoda göre kalibrasyonlarında sabit sıcaklık banyoları veya kalibrasyon fırınları kullanılır. Isılıçiftlerin kalibrasyonları UME'de -40°C ile 1100°C arasında yapılabilmektedir. Kalibrasyon esnasında -40°C ile +550°C arasında sırası ile alkol, su, yağ ve tuz banyoları kullanılmaktadır. Kalibrasyonun daha yüksek sıcaklıkları için ise kalibrasyon fırını kullanılmaktadır. Kalibrasyonlar sırasında, -40°C ile +550°C aralığında sıvı banyolarda test ısılıçiftlerinin göstermiş oldukları emk değerleri ile referans platin direnç termometrelerinin göstermiş oldukları sıcaklık değerleri karşılaştırılmaktadır. 550°C -+1100°C sıcaklık aralığında ise referans olarak R tipi (pt-% 13 Rh/Pt) ısılıçiftler ve üç bölgeden ısıtmalı fırınlar kullanılmaktadır. Kalibrasyonlar sırasında sürekli olarak iki adet referans termometre veya referans ısılıçift kullanılır (2).

Isılıçiftlerin karşılaştırmalı metod ile kalibrasyonları üç bölgeden ısıtmalı fırınlar ile gerçekleştirilmesi, Şekil 3'te gösterilen ilgili düzenekte verilmiştir. Burada kalibrasyonu yapılan ısılıçiftin kendi referans tablosundan sapma değerlerinin (emk) sıcaklığa göre değişimleri tespit edilir. Elde edilen bu fonksiyona (genellikle 2. veya 3. derecede polinom) düzeltme veya fark fonksiyonu ismi de verilebilir. Kalibrasyon sonunda fark fonksiyonu ile referans tabloların oluşturulduğu fonksiyon toplanarak, kalibrasyon sertifikasında tablo olarak verilir (3).

### **bakınız: 10**

Kalibrasyon sırasında uygulanan işlem basamakları Şekil 4'te gösterilmiştir. Bu şemada ayrıca her bir işlem basamağı sonrasında elde edilen değerler ayrıca yer almaktadır.

### **bakınız: 11**

Isılıçift kalibrasyonlarında her bir kalibrasyon sıcaklığında en az beş ölçüm alınmalıdır ve her bir ölçüm sonrasında elde edilen değerlerin birbirine uygunlukları kontrol edilmelidir. Bunun en önemli sebeplerinden bir tanesi test ve referans ısılıçiftlerin ısıtılma ısılarına sahip olan ısılıçiftlerin aynı sıcaklık değerini aynı zaman dilimi içerisinde hissedemeyecekleri unutulmamalıdır. Test ve referans ısılıçiftleri tüm kalibrasyon süresince kalibrasyon fırınına veya sıvı banyolara aynı daldırma derinliği ile daldırılmalıdır. Isılıçiftler için 10-15 cm daldırma derinliği yeterlidir. Daldırma derinliklerinin değişmesinin sebebi ısılıçiftlerin homojen olmama olasılığındandır. Kalibrasyon sırasında kullanılan referans noktasının sıcaklığı net olarak tespit edilebilmelidir. Referans tablolar genellikle buz noktasına (0°C) göre düzenlenirler. Bu nedenle buz noktasının referans noktası olarak kullanılması hem ölçüm belirsizliği, hem de uygulamadaki basitliği sebebi ile çok yaygındır. Referans ısılıçiftlerin kalibrasyonlarında kullanılan voltmetreler 1 uV değerini doğru bir şekilde gösterebilme yeteneğine sahip olmalıdırlar. Bunun en önemli nedeni ise genellikle referans ısılıçift olarak kullanılan B, S ve R tipi ısılıçiftlerde yaklaşık 1 uV değişim 0.1°C sıcaklık değerine karşılık gelir.

## 2.1 Isılçiftlerin İçin Homojenlik Testinin Gerçekleştirilmesi ve Önemi

Isılçift telleri yüksek sıcaklıklarda sürekli kullanımlarından veya korunmalarının iyi olmayışlarından dolayı etraftaki yabancı maddelerin etkisi altında kalırlar. Bu yabancı maddeler özellikle yüksek sıcaklıklarda difüzyon yolu ile tellerin yapılarına girer. Böylece bu farklı maddelerin tel yapılarına nüfuz ettikleri tel bölgeleri kirlenmiş olur. Bu tür kirlenmiş tellerden oluşan ısılçiftlere homojen olmayan ısılçift adı verilir (4).

Şekil 5 ve 6'da gösterilen homojenlik testi düzeneği ve bu testin çıktısı bize test uygun olan ısılçiftin homojen olup olmadığı ve homojen olmayan kısımların hangi bölgelerde olduğuna ilişkin bilgiler verir. Endüstride ısılçiftler sürekli aynı daldırma derinliklerinde kullanılmazlar. Homojen olmayan Isılçiftlerin en tipik özelliği ısılçiftin emk çıktısının daldırma derinliğine bağlı olarak değişmesidir. Bu nedenle kullanıcı ısılçiftin emk veya sıcaklığa dönüştürülmüş hali olan çıktısının, daldırma derinliğine bağlı olarak ne kadar değişebileceğini bilmek zorundadır. Daldırma derinliğine bağlı olan bu değişim kalibrasyon içerisinde gerçekleştirilen homojenlik testleri sonunda belirlenir, böylece bu değişim ısılçiftin toplam belirsizliğine katılmış olur. Isılçift telleri yapısında oluşan bu kirlilikleri hiç bir zaman tel yapılarından tamamen dışarı atmak olası değildir. Bununla birlikte ısılçiftinin

tavlama yöntemi ile telin yapısındaki bu kirlilikler tel boyuna yayılarak, ısılçifti oluşturan tellerin ısılçift boyunca özdeş (aynı özellikte) veya homojen olmaları sağlanmış olur. Kısaca ısılçiftlerde tavlama işlemi homojen olmayan ısılçiftleri homojen bir hale dönüştürebilmek için kullanılır. Tavlama temiz ortamlarda yapılmalıdır. Aksi takdirde tavlama işleminin kendisi kirliliğe sebep olabilir.

**bakınız: 12**

**bakınız: 13**

Şekil 6'da 10-15 cm arasındaki (ısılçiftin B bölgesi) daldırma derinliğinde tuz banyosu sıcaklığı sabit olmasına karşın, ısılçiftin emk çıktısında veya sıcaklığında gözle görülür bir düşüş saptanmıştır. Ancak ısılçiftin D bölgesinde başka bir deyişle 40 cm üzerindeki daldırma derinliklerinde ısılçift çıktısı sabit kalmıştır. Isılçift çıktısının sabit sıcaklıktaki bu değişimi bize bu ısılçiftin homojen bir ısılçift olmadığını gösterir.

Isılçiftlerde oluşan emk (elektro motor kuvvet) (+) üzerinde oluşturduğu metalin cinsi ile ve uygulanan sıcaklık değişimi ile doğrudan ilişkilidir. Bu ilişki aşağıdaki eşitlikle gösterilebilir (4).

$$E = k\Delta T \quad (1) \text{ Bu eşitlikte;}$$

E = Metal telin sıcaklık değişimi olan bölgesinde

oluşan emk'i

k = Metal telin seebeck katsayısını

$\Delta T =$  Emk'in oluşturduğu metal tel bölgesindeki sıcaklık değişimini gösterir.

Şekil 7'de biri homojen diğeri ise homojen olmayan iki ısılçift sıcaklık değişimi olan bir bölgeye yerleştirilmişlerdir. Farklı bu iki ısılçift arasındaki bu farkı gösterebilmek için her iki ısılçifte düşey ekseninde, çizgi-nokta-çizgi biçiminde eş sıcaklık değişimi bölgelerine (S-S1, S1-S2, S2-S3, S3-S4, S4-S0) göre bölümlendirilmişlerdir. Burada ısılçiftler bu bölgeler içerisinde kalan ayrı ayrı parçalar ile birlikte incelenmeye alınmışlardır.

**bakınız: 20**

Şekil 7'de gösterilen homojen ısılçiftin A metali için seebeck katsayısı,  $\alpha_A$  metali için seebeck katsayısı ise  $\beta$  olarak belirtilmiştir. Homojen olan ısılçifte A iletkeni boyunca oluşan emk'e  $E_A$ , B iletkeni boyunca oluşan emk'e  $E_B$  ve tüm ısılçift boyunca oluşan emk'e  $E_{AB}$ 'dir.  $E_{AB} = E_A - E_B$  (2)

olarak yazılabilir.

$$E_A = \alpha (T_S - T_{S1}) + \alpha (T_{S1} - T_{S2}) + \alpha (T_{S2} - T_{S3}) + \alpha (T_{S3} - T_{S4}) + \alpha (T_{S4} - T_{S0}) \quad [3]$$

Isılçiftin S, S1, S2, S3, S4, S0 noktalarındaki sıcaklıkları yerine yazarsak,

$$E_A = \alpha (T - T_0) + \alpha (T - T_1) + \alpha (T_1 - T) + \alpha (T - T_0) + \alpha (T_0 - T_0)$$

$$E_A = \alpha (T - T_0)$$

olarak bulunabilir. [4]

Buna bağlı olarak aynı şekilde

$$E_A = \beta (T - T_0) \quad [5]$$

bulunur. Homojen ısılıçiftin üzerinde oluşan toplam emk, her iki farklı telde oluşan emk'ler toplamı olduğuna göre;

$$EAB = (\beta - \alpha) (T - T_0) \quad (6) \text{ olarak bulunabilir.}$$

Şekil 7'de gösterilen homojen olmayan ısılıçiftin A metali için seebeck katsayısı  $\beta$ , B metali için seebeck katsayısı ile  $\alpha$  olarak belirtilmiştir. Şekil 7'de gözlendiği gibi, ısılıçift boyunca seebeck katsayıları aynı olmaması, olası kirlenme veya yüksek sıcaklıklarda başka metallerin difüzyon yolu ile ısılıçifti oluşturan metal tellerin bünyesine girmeleri, bu bölgelerde seebeck katsayılarını değiştirmiştir. Kirlenmenin seviyesine göre az kirlenmiş tel bölgeleri  $\beta^*$  ve  $\alpha^*$  seebeck katsayıları ile daha çok kirlenmiş bölgeler ise  $\beta^*$  ve  $\alpha^*$  seebeck katsayıları ile tanımlanmıştır. Homojen olmayan ısılıçifte de yine A iletkeni boyunca oluşan emk'e EAİ A iletkeni için yapılan saplamaları B iletkenine de uygularsak; B iletkeni boyunca oluşan emk'e En ve tüm ısılıçift boyunca oluşan emk'e EAB ismini verirsek;  $EAB = EA - EB$

olarak yazılabilir.

$$E_A = \alpha (T_1 - T_{S1}) + \alpha^*(T_{S1} - T_{S2}) + \alpha (T_{S2} - T_{S3}) + \alpha (T_{S3} - T_{S4}) + \alpha^*(T_{S4} - T_{S0}) \quad [7]$$

Isılıçiftin S, S1, S2, S3, S4, S0 noktalarındaki sıcaklıkları yerine yazarsak,

$$E_A = \alpha (T - T_0) + \alpha^*(T - T_1) + \alpha (T_1 - T) + \alpha (T - T_0) + \alpha^*(T_0 - T_0)$$

$$E_A = \alpha^*(T - T_1) + \alpha (T_1 - T_0) \quad [8]$$

olarak bulunabilir.

Buna bağlı olarak aynı şekilde

$$E_B = \beta^*(T_1 - T_0) + \beta (T - T_1) \quad [9]$$

bulunur. Homojen olmayan ısılıçiftin üzerinde oluşan toplam emk, her iki telde oluşan emk'ler toplamı olduğuna göre;

$$E_a = (\alpha \cdot \beta) (T - T_1) + (\alpha - \beta \cdot \beta) (T_1 - T_0) \quad [10]$$

olarak bulunabilir.

Yukarıda yapılan işlemlerden de kolayca anlaşılacağı üzere, eğer homojen olmayan ısıçift telleri sıcaklık değişimi olan bölgede kalmış iseler, voltmetreten okunan değerler homojen olana göre farklı olacaktır. Bunun uygulamadaki en çarpıcı etkisi, aynı ısıçift, aynı sıcaklıkta daldırma derinliğine bağlı olarak farklı değerler gösterecektir. Isıçiftlerde görünen bu etkiyi olabildiğince azaltmak için, bu durumda olan ısıçiftleri yüksek sıcaklıklarda tavlama gereklidir. Tavlama işlemi teller üzerindeki bu kirlilikleri ortadan kaldırmaz, fakat ısıçift boyuna bu kirlilikleri yayarak teli homojenleştirir (5).

## 2.2 Isıçiftlerin Kararlılıklarının Tespit Edilmesi

Isıçiftlerin kararlılıkları kalibrasyon için yapılan ölçümler sonrasında belirlenir. Sıcaklık kalibrasyonlarında değişik tiplerdeki termometrelerin ve Isıçiftlerin, veya bunların sensörlerinin kararlılıkları demekle tekrarlanabilirlikleri anlatılmak istenir. Başka bir deyişle kararlılık bu sensörlerin aynı sıcaklık değerini bir çok kez aynı değerlerle ifade edebilmeleri yeteneğidir (3).

## 2.3 Kalibrasyon Fırınlarının Sıcaklık Profillerinin Çıkarılması

Karşılaştırmalı metoda göre kalibrasyonlarda test ve referans termometrelerinin veya Isıçiftlerin içerisinde kıyaslama yapılabilecek, homojen sıcaklık ortamlarına ihtiyaç vardır. Isıçiftlerin yüksek sıcaklıklarda kalibrasyonları kalibrasyon fırınları içerisinde gerçekleştirilmektedir. Isıçift kalibrasyonlarında fırının kullanılan bölgesindeki sıcaklık dağılımı daha homojen bir hale getirebilmek için seramik veya metal bloklar kullanılmaktadır. Karşılaştırmalı kalibrasyonlarda test ve referans Isıçiftlerin aynı sıcaklıkta sabit olan ortamlarda buldukları varsayılabilecek ölçümler alınır. Bununla birlikte hiçbir zaman kalibrasyonun yapıldığı ortam içerisindeki sıcaklık, tüm bölgelerinde aynı değerde olmaz. Kalibrasyonun içerisinde gerçekleştirildiği (örneğin fırın içerisindeki metal blok) ortamın belli bazı fırının ayar edilmiş sıcaklıklarında, sıcaklık profillerinin çıkarılması gereklidir.

Sıcaklık profilinin elde edilebilmesi için en az iki adet referans ısıçifte ihtiyaç vardır. Isıçiftler bloğun içerisinde gezdirilerek, her iki referans arasındaki sıcaklık farkları kaydedilir. Böylece bloğun her bölgesinin hakkında sıcaklık değişimi açısından bilgilere sahip olunur. Elde edilen bu bilgiler kalibrasyonda kullanılan sistemin bir belirsizliği olup kalibrasyon belirsizliğine katılır.

**bakınız: 21**

## 2.4 Kalibrasyon Belirsizliğinin Hesaplanması

UME'de gerçekleştirilen karşılaştırmalı metoduna göre ısıçiftleri kalibrasyonlarındaki kalibrasyon belirsizliğinin hesaplanması aşağıda özetlenmeye çalışılmıştır.

### A Tipi

1. A tipi belirsizlik ölçümlerinin yapılması sırasında test ısıçiftinin sabit sıcaklığa bağlı olarak göstermiş olduğu değerlerdeki değişimden kaynaklanan belirsizliktir. Ölçüm noktalarındaki en büyük standart sapma değeri alınır.  $\pm A$

### B Tipi

1. Kalibrasyonda kullanılan referans ısıçiftlerin belirsizlikleri, bu değerler doğrudan referans ısıçiftlerin kalibrasyon sertifikalarından alınır.  $\pm = Ref1, + Ref2$ . 2. Referans ısıçiftlerin zaman içerisinde oluşan emk değerlerindeki kayma göz önüne alınmalıdır. R, B ve S tipi ısıçiftler sürekli 900°C ile 1100°C arasında kullanılıyorlar ise 0°C - 0.3°C/yıl kayma gözlemlenebilir.  $\pm Dref / \sqrt{3}, \pm Dref2 - \sqrt{3}$ . Bu kayma referans ısıçiftlerin kalibrasyonunun yapıldığı sabit noktalar kullanılarak belirlenir. Dref değerleri ise bu ısıçiftlerin sertifikasında belirtilen sabit noktalardaki emk çıktılarının, kullanım anındaki aynı sabit noktalardaki emk çıktıları arasındaki farkı gösterir. 3. Kalibrasyon fırınının sıcaklık dağılımından gelen belirsizlik. Bu belirsizlik değeri fırının sıcaklık dağılımı testlerinden sonra belirlenebilir. Bu değer  $\sqrt{}$ 'e bölünerek fırının sıcaklık dağılımından gelen belirsizlik tespit edilir  $\pm Frn / \sqrt{3}$  4.

Test ısılciftinin homojenliğinden kaynaklanan ve daldırma derinliğine bağlı olarak değişim gösteren emk değerine ait belirsizlik. Bu belirsizlik değeri, homojenlik testi uygulanarak tuz banyosunda yapılır veya üç bölgeci fırının giriş kısmındaki ek ısıtıcı devre dışı bırakılabilirse burada da gerçekleştirilebilir. Bunun sebebi keskin bir sıcaklık değişimi bölgesi oluşturabilmektir. Bu değer ısılciftin tuz banyosundan dışarıya doğru 5 cm veya 10 cm çekilerek elde edilen emk değerindeki değişimdir. Elde edilen değer  $\sqrt{3}$ 'e bölünerek ısılciftin homojenlik testinden gelen belirsizlik bulunur.  $\pm H_m / \sqrt{3}$  5. Sayısal voltmetrenin emk değerini okumada yapmış olduğu hata, bu değer voltmetrenin kalibrasyon sertifikasından doğrudan alınır.  $\pm V_m$ . 6. Buz noktası belirsizliği, bu değer en kötü buz noktalarında 10 mK'ni geçmez.  $\pm 6$  mK. 7. Emk değerleri ile referans sıcaklıkların oluşturdukları noktalara eğri uydurulmasından gelen belirsizlik. Burada referans noktalardan en büyük sapma göz önüne alınmalıdır.  $\pm E_g / \sqrt{3}$

$$B^2 = \text{Ref1}^2 + \text{Ref2}^2 + \text{Dref2}^2 + \text{DRef2}^2 + (\text{Fm}/\sqrt{3})^2 + (\text{Hm}/\sqrt{3})^2 + \text{Vm}^2 + (\text{Bn}/\sqrt{3})^2 + \text{Eg} / \sqrt{3}^2$$

Toplam belirsizlik;

$$TB = k (A2 + B2)^{1/2}$$

k= 1 için %65, k= 2 için %95, k=3 için %98 (9) güvenilirlik ile elde edilir (6).

Aşağıda verilen Tablo 1 ve Tablo 2'de, UME sıcaklık laboratuvarında kalibrasyonu yapılmış N tipi bir ısılcifte ait belirsizlik hesabı sayısal örnek olarak verilmiştir.

**bakınız: 23**

**bakınız: 23**

### 3.0 SONUÇ

Bu yayında, UME sıcaklık laboratuvarına kalibrasyon için kabul edilen ısılciftlerin karşılaştırmalı metoda göre kalibrasyonlarının nasıl gerçekleştirildiği kısaca anlatıldı.

Isılciftlerin kalibrasyonlarında istenilen sıcaklık aralığına göre değişik alet ve yöntemler kullanılmaktadır. -40°C ile 550°C arasında ısılciftler sıvı banyolar ile, 550°C ile 1100°C arasında ise üç bölgeden ısıtılmalı fırınlar ile kalibrasyonlar gerçekleştirilmektedir. Sıvı banyolar ile gerçekleştirilen kalibrasyonlar, fırınlar ile yapılan kalibrasyonlara göre daha az bir belirsizlikle kalibrasyon yapılma imkanı vermektedir. Isılciftlerin kalibrasyonlarındaki kalibrasyon belirsizliğini etkileyen önemli faktörlerden bir tanesi ısılcifti oluşturan iletkenlerin homojen bir yapıya sahip olup olmadıklarıdır. Bu nedenle ısılciftlerin kalibrasyonları bittikten sonra ve önce, mutlaka homojenlik testi yapılması gerekmektedir. Toplam kalibrasyon belirsizliğinin güvenilir olarak hesaplanmasında; kullanılan sıvı banyoların belirsizliği, kullanılan voltmetrenin belirsizliği, homojenlik testi sonucunda ortaya çıkan belirsizlik ve Vb belirsizlik bileşenleri göz önüne alınmalıdır.

Kalibrasyon belirsizliği hesaplamalarında uygulanacak yol ve örnekler ile bu yayında verilmiştir. Her bir laboratuvar kalibrasyonlar esnasında kullanacağı aletler ve bulunduğu laboratuvar ortamı birbirinden farklı olacağından, belirsizlik hesaplamalarındaki bileşenlerde farklı olacaktır.

### KAYNAKLAR

1. Preston H. - Thomas, "The International Temperature Scale of 1990 /ITS-90)".
2. National Physical Laboratory (NPL) Course Notes "Techniques of Temperature measurement", December 1996
3. Kuyruklu Yıldız A.C., İnce A.T., Kartal A.; "Isılcift Eğitimi Notları", Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), 14-16 Mayıs 1997
4. Nicholas J.V. ve White D.R., "Temperatures". J Wiley and Sons, 1994
5. Isotech Journal of Thermometry. Vol. 6 No. 1 (1995)

\* Bu makale II. Ulusal Ölçübilim Kongresi, Eskişehir Ekim 1997 Bildiriler Kitabından alınmıştır.