

# ISILÇİFTLERİN KARŞILAŞTIRMALI METODA GÖRE KALİBRASYONLARI

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

## ÖZET

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

## 1.0 GİRİŞ

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

Isıçiftler uzun bir tarihe sahiptirler. Tarihteki ilk defa Seebeck olayını anlatan dökümana 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 ısıçifti  $630\text{ }^{\circ}\text{C}$  üzerindeki sıcaklıklarda uluslararası sıcaklık ölçeğinde ara değer sıcaklık sensörü olarak kullanılmıştır. En çok kullanılan temel metal ısıçiftleri bu yüzyılın başlangıcında geliştirilmiştir [1].

Isıçiftlerle ilgilenildiğinde termoelektrik olgusunun metal iletkenliğinin aynı zamanda ısı iletkenliğinin ve elektiriksel 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

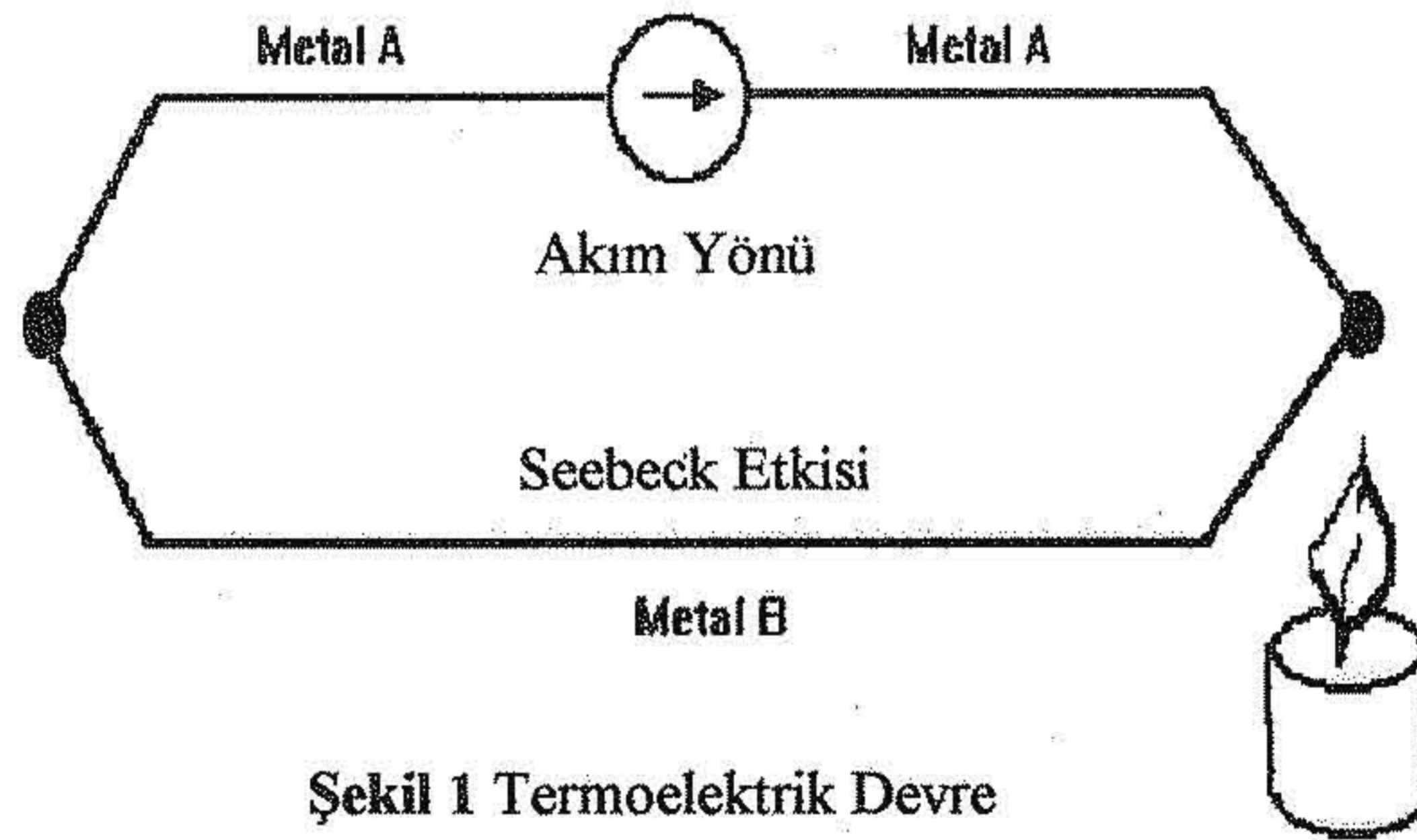
akımın büyüklüğü termal değişimin büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Uçları yalıtılmış ısıçiftlerde termoelektrik akım kendini elektriksel potansiyel farkı (emk) olarak gösterir (buna Seebeck etkisi denir ve bölüm 1.1’de açıklanmıştır). Isıçift genellikle bir elektriksel üreteç olarak da düşünülebilir. 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 ısıçiftler için değişik büyüklüklere sahiptir. Hatta ısıçiftin yüksek sıcaklıkta tavlama ve gerilme 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.

Isıçiftin iki ucu arasında oluşan emk’nın ısıçift 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. Isıçifti oluşturan iletkenlerin sıcaklık değişimi uygulanan bölgelerinde kimyasal ve fiziksel olarak özdeş olmaları çok önemlidir [2].

### 1.1 Seebeck Etkisi

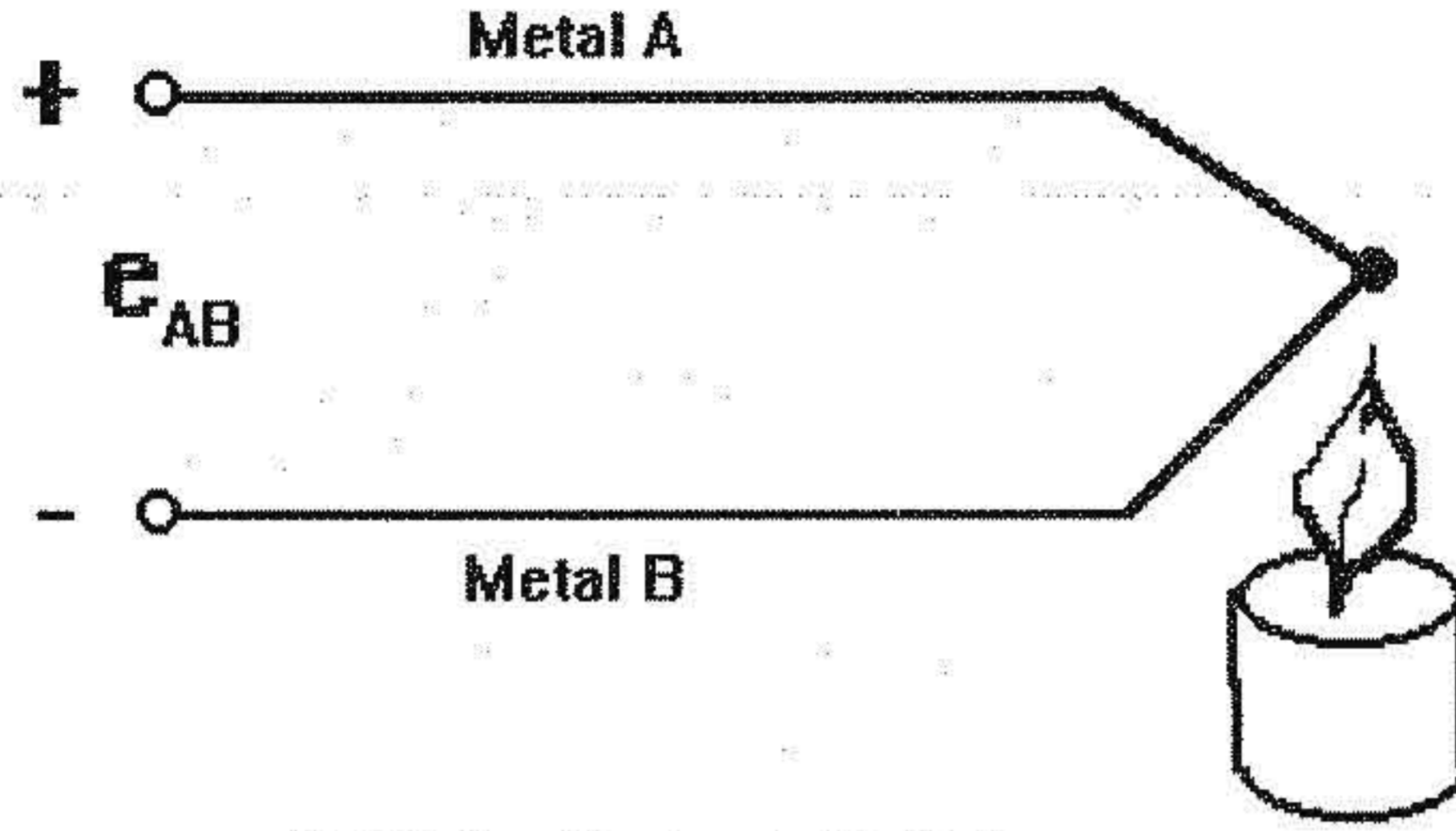
İki farklı metal tel her iki uçlarından birbirleri ile bağlanırlarsa ve bağlanan uçlarından bir tanesi ısıtılır ise oluşan bu *termoelektrik* devreden ısıtma işlemi süresince bir elektrik akımı dolaşır. Şekil 1’de bir termoelektrik devre gösterilmiştir. Thomas Seebeck bu keşfi 1821 yılında yapmıştır [3].



Şekil 1 Termoelektrik Devre

Eğer termoelektrik devre ısıtılmayan bağlantı noktasından 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 *ısıçift* ismi verilir. Günümüzde bir çok farklı türde ısıçift kullanılmaktadır. Bunların en yaygın olanları K, N, J, R, S, B ve T tipleridir. Sıcaklıktaki küçük değişimler Seebeck voltajı ile doğru orantılıdır.



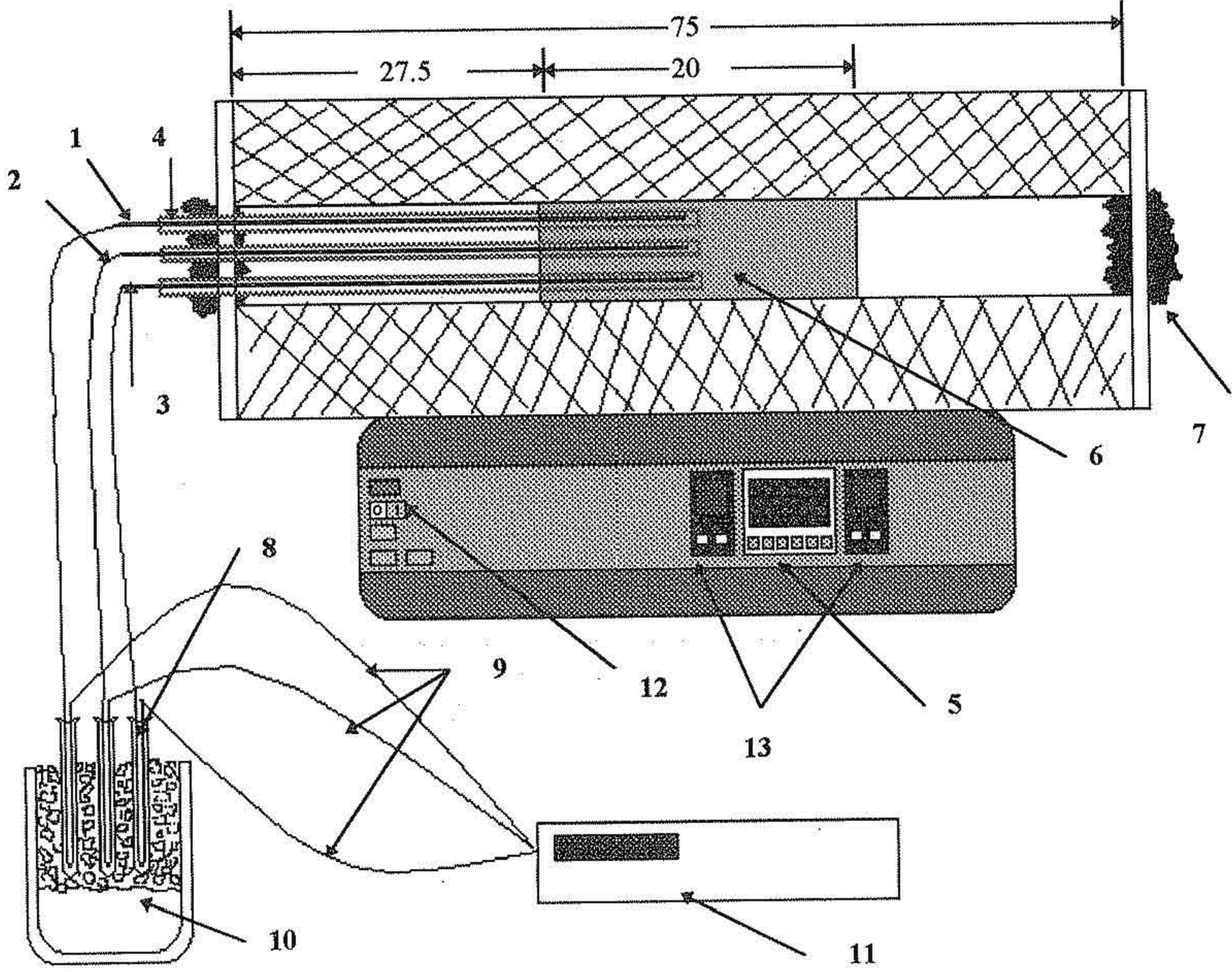
Şekil 2 Seebeck Voltajı,  $e_{AB}$

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 elektron hızları artar. Böylece sıcak uca bulunan elektronların hızları soğuk uçtakilere göre daha fazla olur. Bu nedenle sıcak uca enerjisi fazla olan bir kısım 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

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

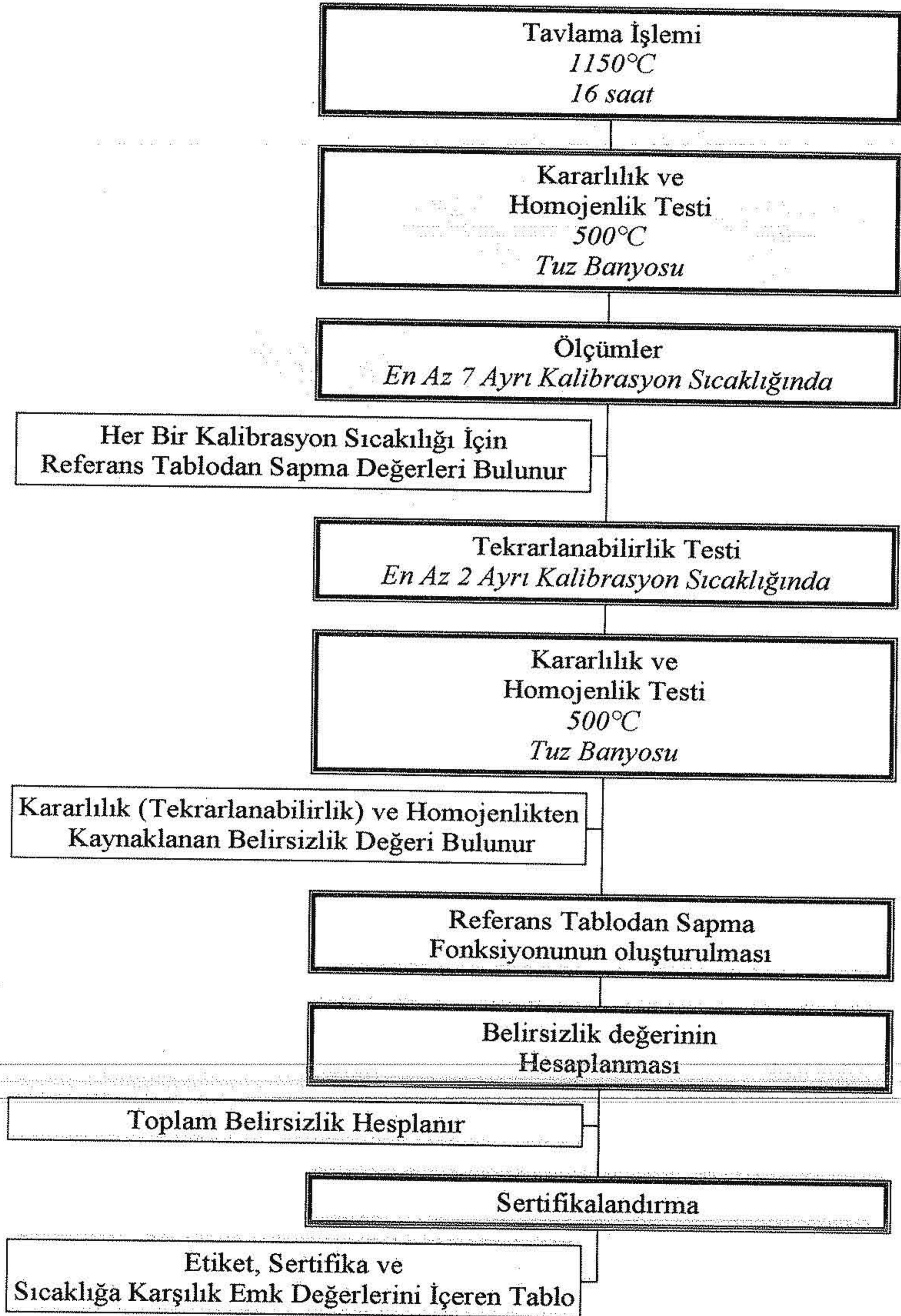
Isılçiftlerin karşılaştırmalı metod ile kalibrasyonları üç bölgeden ısıtmalı fırınlarla gerçekleştirilmesi, Şekil 3'te gösterilen ilgili düzenekte verilmiştir. Burada kalibrasyonu yapılan ısıçiftin kendi referans tablosundan sapma değerlerinin (emk) sıcaklığa göre değişimleri tespit edilir. Elde edilen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



Şekil 3 Isılçiftlerin karşılaştırmalı metoduna göre kalibrasyon düzeneği

- 1 1 nolu referans ısılcift
- 2 Test ısılcifti
- 3 2 nolu referans ısılcift
- 4 Magnezyum oksit (MgO) Seramik izolasyon tüpü
- 5 Kalibrasyon firması kontrol paneli
- 6 Nikel blok
- 7 Seramik yün (fırının uç kısımlarının izolasyonu için)
- 8 Cam tüp (soğuk bağlantı noktası izolasyonu için)
- 9 Cu bağlantı telleri
- 10 Buz noktası
- 11 Sayısal voltmetre
- 12 Kalibrasyon firması aç kapa düğmesi
- 13 Üç bölge fırın uç ısıtıcı göstergeleri

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



Şekil 4 Isılçift kalibrasyonu akış şeması

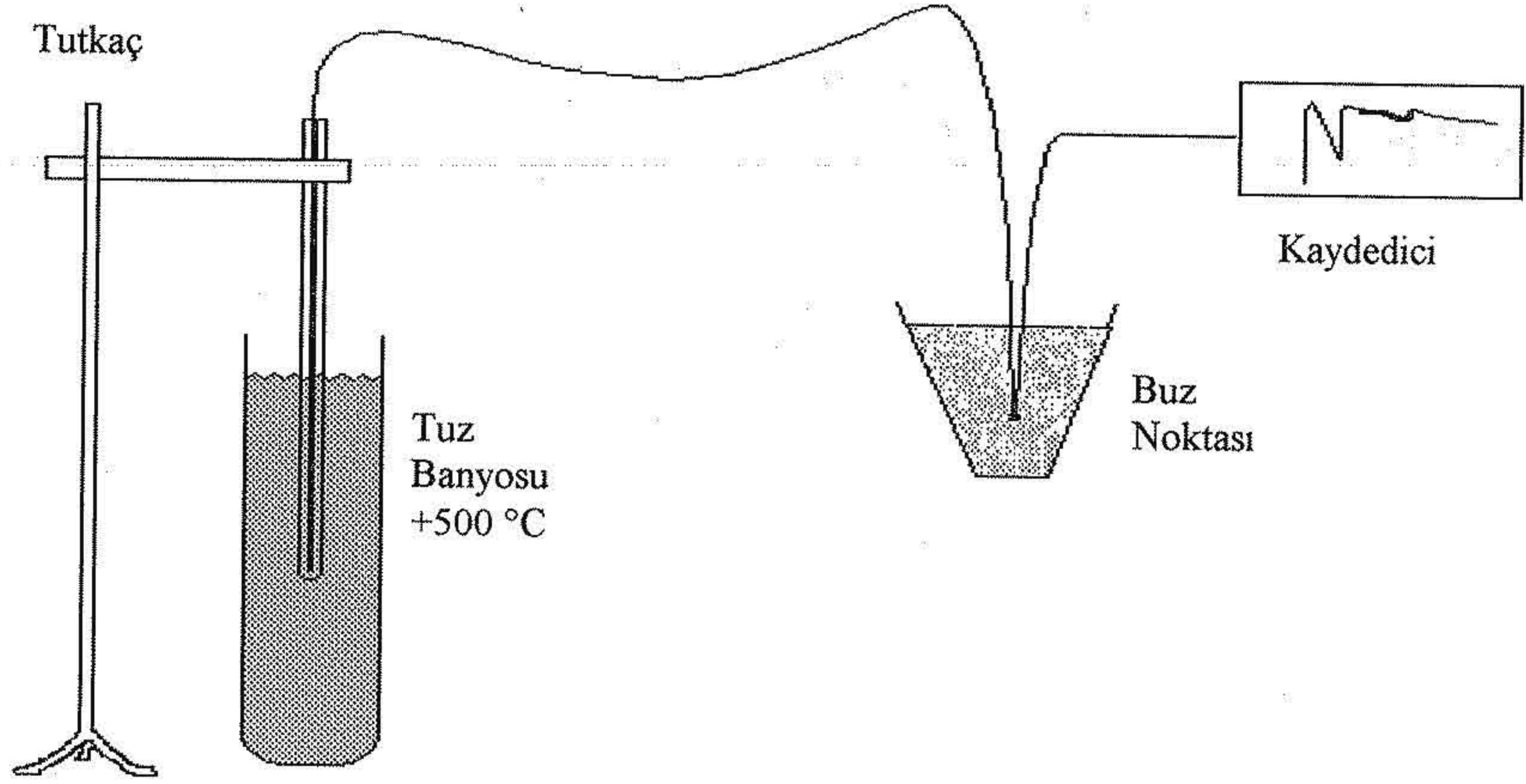
Isılçift kalibrasyonlarında her bir kalibrasyon sıcaklığında en az beş ölçüm alınmalıdır ve herbir ölçüm sonrasında elde edilen değerlerin birbirine uygunlukları kontrol edilmelidir. Bunun en önemli sebeplerinden bir tanesi test ve referans ısıçiftlerin ısınma ısılarının büyük çoğunluk ile farklı olmalarıdır. Farklı ısınma ısılarına sahip olan ısıçiftlerin aynı sıcaklık değerini aynı zaman dilimi içerisinde hissedemeyecekleri unutulmamalıdır. Test ve referans ısıçiftleri tüm kalibrasyon süresince kalibrasyon fırınına veya sıvı banyolara aynı daldırma derinliği ile daldırılmalıdırlar. Isılçiftler için 10-15 cm daldırma derinliği yeterlidir. Daldırma derinliklerinin değişmesinin sebebi ısıçiftlerin 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 ısıçiftlerin kalibrasyonlarında kullanılan voltmetreler 1  $\mu$ V değerini doğru bir şekilde gösterebilme yeteneğine sahip olmalıdırlar. Bunun en önemli nedeni ise genellikle referans ısıçift olarak kullanılan B, S ve R tipi ısıçiftlerde yaklaşık 1 $\mu$ V 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 ısıçiftlere homojen olmayan ısıçift ismi verilir [4].

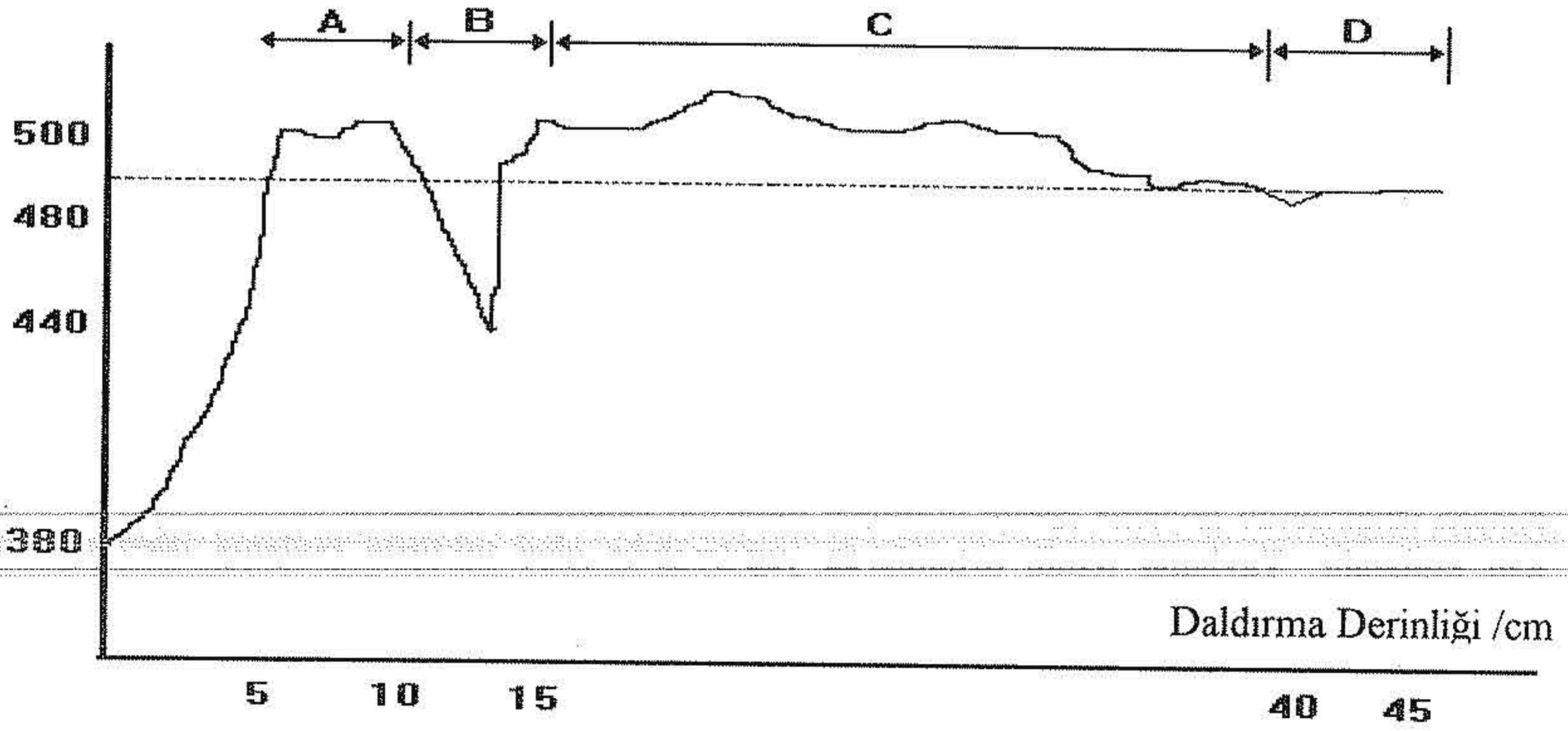
Şekil 5 ve 6'da gösterilen homojenlik testi düzeneği ve bu testin çıktısı bize test uygulanan ısıçiftin homojen olup olmadığı ve homojen olmayan kısımların hangi bölgelerinde olduğuna ilişkin bilgiler verir. Endüstride ısıçiftler sürekli aynı daldırma derinliklerinde kullanılmazlar. Homojen olmayan ısıçiftlerin en tipik özelliği ısıçiftin emk çıktısının daldırma derinliğine bağlı olarak değişmesidir. Bu nedenle kullanıcı ısıçiftin 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 ısıçiftin toplam belirsizliğine katılmış olur. Isılçift telleri yapısında oluşan bu kirlilikleri hiç bir zaman tel yapılarından tamamen dışarı atmak olası değildir. Bununla birlikte ısıçiftin tavlama yöntemi ile telin yapısındaki bu kirlilikler tel boyuna yayılarak, ısıçifti oluşturan tellerin ısıçift boyunca özdeş (aynı özellikte) veya homojen olmaları sağlanmış olur. Kısaca ısıçiftlerde tavlama işlemi homojen olmayan ısıçiftleri homojen bir hale dönüştürebilmek için kullanılır. Tavlama temiz ortamlarda yapılmalıdır aksi takdirde tavlama işleminin kendisi kirliliğe sebep olabilir.

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



Şekil 5.Homojenlik testi

Isılçiftten  
okunan  
Sıcaklık /°C



Şekil 6 Homojenlik testi çıktısı örneği

- A; Isılçiftin uç kısmından ilk 10 cm'lik bölgesi
- B; Isılçiftin uç kısmından ilk 10 cm ile 15 cm arasında kalan bölgesi
- C; Isılçiftin uç kısmından ilk 15 cm ile 40 cm arasında kalan bölgesi
- D; Isılçiftin uç kısmından ilk 40 cm ile 45 cm arasında kalan bölgesi

Isılçiftlerde oluşan emk (elektro motor kuvvet), üzerinde olduğu metalin cinsi ile ve uygulanan sıcaklık değişimi ile doğrudan ilişkilidir. Bu ilişki aşağıdaki eşitlik ile gösterilebilir[4].

$$E = k\Delta T$$

[1]

[[

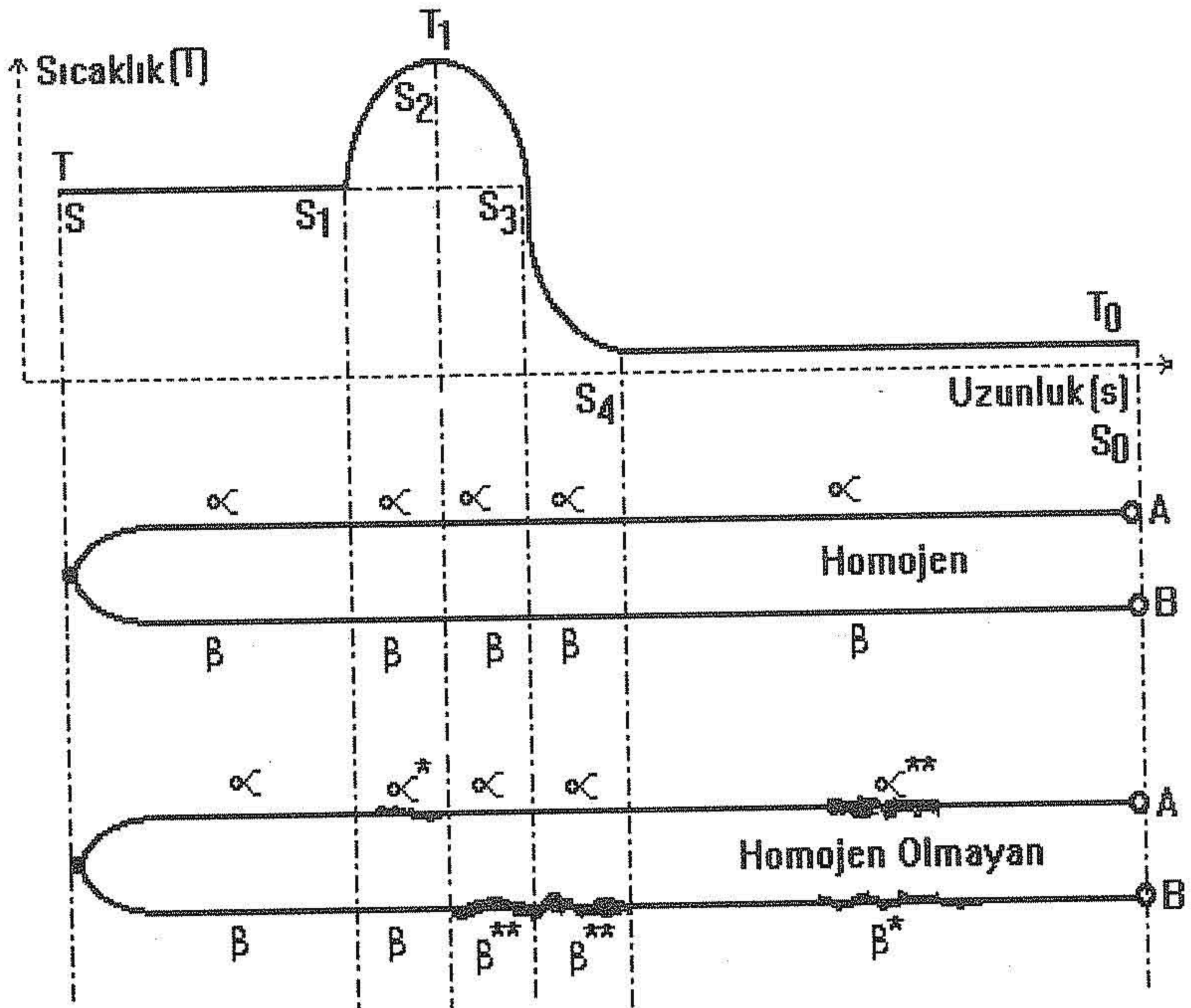
Bu eşitlikte;

E = Metal telin sıcaklık değişimi olan bölgesinde oluşan emk'i

k = Metal telin seebeck katsayısını

$\Delta T$  = Emk'in olduğu metal tel bölgesindeki sıcaklık değişimini

gösterir.



Şekil 7 Homojen ve homojen olmayan ısıçiftler

Şekil 7'de biri homojen diğeri ise homojen olmayan iki ısıçift sıcaklık değişimi olan bir bölgeye yerleştirilmişlerdir. Farklı bu iki ısıçift arasındaki bu farkı



gösterebilmek için her iki ısıçiftte düşey ekseninde, çizgi-nokta-çizgi biçiminde eş sıcaklık değişimi bölgelerine (S-S<sub>1</sub>, S<sub>1</sub>-S<sub>2</sub>, S<sub>2</sub>-S<sub>3</sub>, S<sub>3</sub>-S<sub>4</sub>, S<sub>4</sub>-S<sub>0</sub>) göre bölümlendirilmişlerdir. Burada ısıçiftler bu bölgeler içerisinde kalan ayrı ayrı parçalar ile birlikte incelemeye alınmışlardır.

Şekil 7'de gösterilen homojen ısıçiftin A metali için seebeck katsayısı  $\alpha$ , B metali için seebeck katsayısı ise  $\beta$  olarak belirtilmiştir. Homojen olan ısıçiftte A iletkeni boyunca oluşan emk'e  $E_A$ , B iletkeni boyunca oluşan emk'e  $E_B$  ve tüm ısıçift boyunca oluşan emk'e  $E_{AB}$  'dir;

$$E_{AB} = E_A - E_B \quad [2]$$

olarak yazılabilir.

$$E_A = \alpha(T_S - T_{S'1}) + \alpha(T_{S'1} - T_{S'2}) + \alpha(T_{S'2} - T_{S'3}) + \alpha(T_{S'3} - T_{S'4}) + \alpha(T_{S'4} - T_{S'0}) \quad [3]$$

Isıçiftin S, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>0</sub> noktalarının daki sıcaklıkları yerine yazarsak,

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

$$E_A = \alpha(T - T_0) \quad [4]$$

olarak bulunabilir.

Buna bağlı olarak aynı şekilde

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

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

$$E_{AB} = (\alpha - \beta)(T - T_0) \quad [6]$$

olarak bulunabilir.

Şekil 7'de gösterilen homojen olmayan ısıçiftin A metali için seebeck katsayısı  $\alpha$ , B metali için seebeck katsayısı ise  $\beta$  olarak belirtilmiştir. Şekil 7'de de gözlendiği gibi, ısıçift boyunca seebeck katsayıları aynı olmaması, olası kirlenme veya yüksek sıcaklıklarda başka metallerin difüzyon yolu ile ısıçifti oluşturan metal tellerin bünyesine girmeleri, bu bölgelerde seebeck katsayılarını değiştirmiştir. Kirlenmenin seviyesine göre az kirlenmiş tel bölgeleri  $\alpha^*$  ve  $\beta^*$  seebeck katsayıları ile daha çok kirlenmiş bölgeler ise  $\alpha^{**}$  ve  $\beta^{**}$  seebeck katsayıları ile tanımlanmıştır. Homojen olmayan ısıçiftte yine A iletkeni boyunca oluşan emk'e  $E_A$ , A iletkeni için yapılan hesaplamaları B iletkeninde uygularsak; B iletkeni boyunca oluşan emk'e  $E_B$  ve tüm ısıçift boyunca oluşan emk'e  $E_{AB}$  ismini verirsek;

$$E_{AB} = E_A - E_B$$

olarak yazılabilir.

$$E_A = \alpha(T_S - T_{S'1}) + \alpha^*(T_{S'1} - T_{S'2}) + \alpha(T_{S'2} - T_{S'3}) + \alpha(T_{S'3} - T_{S'4}) + \alpha^{**}(T_{S'4} - T_{S'0}) \quad [7]$$

Isılçiftin S, S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub>, S<sub>0</sub> noktalarının daki sıcaklıkları yerine yazarsak,

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

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

olarak bulunabilir.

Buna bağlı olarak aynı şekilde

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

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

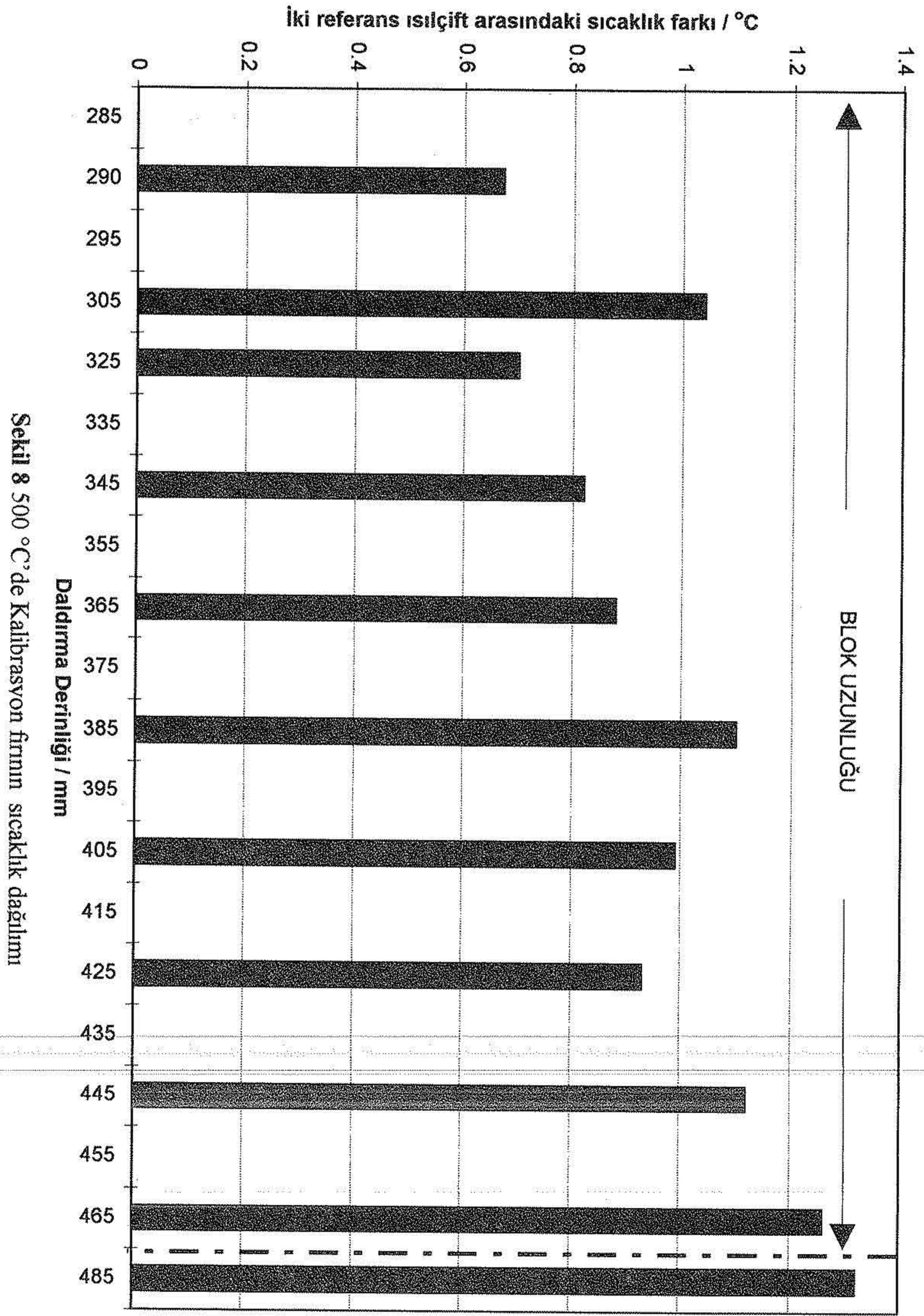
$$E_{AB} = (\alpha^* - \beta)(T - T_1) + (\alpha - \beta^{**})(T_1 - T_0) \quad [10]$$

olarak bulunabilir.

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

## 2.2 Isılçiftlerin Kararlılıklarının Tespit Edilmesi

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



Sekil 8 500 °C'de Kalibrasyon fırının sıcaklık dağılımı

### 2.3 Kalibrasyon Fırınlarnın Sıcaklık Profillerinin Çıkarılması

Karşılaştırmalı metoda göre kalibrasyonlarda test ve referans termometrelerinin veya ısıçiftlerin içerisinde kıyaslama yapılabilecek, homojen sıcaklık ortamlarına ihtiyaç vardır. Isıçiftlerin yüksek sıcaklıklarda kalibrasyonları kalibrasyon fırınları içerisinde gerçekleştirilmektedir. Isıçift kalibrasyonlarında fırının kullanılan bölgesindeki sıcaklık dağılımını daha homojen bir hale getirebilmek için seramik veya metal bloklar kullanılmaktadır. Karşılaştırmalı kalibrasyonlarda test ve referans ısıçiftlerin aynı sıcaklıkta sabit olan ortamlarda buldukları varsayıp ölçümler alınır. Bununla birlikte hiç bir 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.

### 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 ölçümlerin yapılması sırasında test ısıçiftinin sabit sıcaklığa bağlı olarak göstermiş olduğu değerlerde ki 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.  $\pm Ref1$ ,  $\pm Ref2$
2. Referans ısıçiftlerin zaman içerisinde oluşan emk değerlerindeki kayma gözönüne alınmalıdır. R, B ve S tipi ısıçiftler sürekli 900°C ile 1100°C arasında kullanılıyorlar ise 0°C- 0.3°C/yıl kayma gözlemlenebilir.  $\pm Dref1 / \sqrt{3}$ ,  $\pm DRef2 / \sqrt{3}$  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  $\sqrt{3}$ 'e bölünerek fırının sıcaklık dağılımından gelen belirsizlik tespit edilir  $\pm Frn / \sqrt{3}$ .

4. Test ısıçiftinin homojenliğinden kaynaklanan ve daldırma derinliğine bağlı olarak değişim gösteren emk değerine ait belirsizlik. Bu belirsizlik değeri, homojenlik testi uygulanarak tuz banyosunda yapılır veya üç bölgeli fırının giriş kısmındaki ek ısıtıcı devre dışı bırakılabilirse burada da gerçekleştirilebilir. Bunun sebebi keskin bir sıcaklık değişimi bölgesi oluşturabilmektir. Bu değer ısıçiftin tuz banyosundan dışarıya doğru 5 cm ve 10 cm çekilerek elde edilen emk değerindeki değişimdir. Elde edilen değer  $\sqrt{3}$  'e bölünerek ısıçiftin homojenlik testinden gelen belirsizlik bulunur  $\pm H_m / \sqrt{3}$ .

5. Sayısal voltmetrenin emk değerlerini 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 gözönüne alınmalıdır,  $\pm E_g / \sqrt{3}$ .

$$B^2 = Ref1^2 + Ref2^2 + Dref1^2 + DRef2^2 + (F_{rn}/\sqrt{3})^2 + (H_m/\sqrt{3})^2 + V_m^2 + (B_n/\sqrt{3})^2 + (E_g/\sqrt{3})^2$$

Toplam belirsizlik;

$$TB = k(A^2 + B^2)^{1/2} \text{ dir.}$$

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 ısıçifte ait belirsizlik hesabı sayısal örnek olarak verilmiştir.

**Tablo 1** Kalibrasyona gelen N tipi ısıçiftin -40 °C – 550 °C arasındaki belirsizlik hesabı

<u>Belirsizlik Tipi</u>	<u>°C</u>
<u>A Tipi</u>	
(1 Standart sapma)	0.030
<u>B Tipi</u>	
Referans termometreler	0.002
Sıvı Banyolar	0.010
Homojenlik testi	1.000
Sayısal Voltmetre	0.025
Buz noktası	0.006
Eğri uydurulması	0.075
<b>Toplam (1 Sigma)</b>	<b>1.007</b>
<b>Toplam (2 Sigma)</b>	<b>2</b>

**Tablo 2** Kalibrasyona gelen N tipi ısılciftin 550 °C – 1100 °C arasındaki belirsizlik hesabı

<u>Belirsizlik Tipi</u>	<u>°C</u>
<u>A Tipi</u>	
(1 Standart sapma)	0.030
<u>B Tipi</u>	
Referans ısılciftler	0.3
Kalibrasyon firmı	0.8
Homojenlik testi	1.000
Sayısal Voltmetre	0.025
Buz noktası	0.006
Eğri uydurulması	0.075
<b>Toplam (1 Sigma)</b>	<b>1.318</b>
<b>Toplam (2 Sigma)</b>	<b>3</b>

### 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 ısıtmalı 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 gözönüne alınmalıdır.

Kalibrasyon belirsizliği hesaplamalarında uygulanacak yol ve örnekler ile bu yayında verilmiştir. Herbir 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)", Metrologia, pp 3–10, 1990
- 2 National Physical Laboratory (NPL) Course Notes "Techniques of Temperature Measurement", December 1996
- 3 Kuyruklu Yıldız A. C., İnce A. T., Kartal A.; "Isılcift Eğitim Notları", Ulusal Metroloji Enstitüsü (UME), 14–16 Mayıs, 1997
- 4 Nicholas J. V. ve White D. R., "Traceable Temperatures", J Wiley and Sons, 1994
- 5 Isotech Journal of Thermometry, Vol. 6 No. 1 (1995)