



## TERMOÇİFT KALİBRASYONU VE SICAKLIK ÖLÇME

### (THERMOCOUPLE CALIBRATION AND TEMPERATURE MEASUREMENTS)

Seçil KOÇYİĞİT\*, Coşkun İŞÇİ\*

#### ÖZET / ABSTRACT

Bu çalışmada amaç, araştırma laboratuvarlarında ve sanayide sıcaklık ölçmek için kullanılan bir termocuftin yapılması ve bir bilgisayar programı yardımı ile kalibrasyonudur.

Sanayide ve laboratuvarlarda kullanılan sıcaklık ölçme cihazları için termocuftler yüksek fiyatlarla satılmaktadır. Bunun yerine iki farklı malzemeden (bakır, konstantan gibi) tel alınıp termocuft yapılsa oldukça ekonomik olmaktadır. Bir makara ince bakır tel ve bir makara konstantan telden, 100-150 adet termocuft yapılabilir. Bir tanesi kalibre edilerek, diğerleri de aynı eğri veya liste ile kullanılabilir. Maliyet oranı yaklaşık %1 olabilir.

Güneş enerjisi panellerinde (kolektörlerde) bazen 25-30 termocuft paralel olarak kullanılır ve bunlar çok kanallı ölçüm aletine bağlanarak aynı anda birçok farklı noktada kollektörün sıcaklığı ölçülür, kaydedilir veya (çok kanallı plotter ile) grafiği çizilir.

Ticari olarak verilen kalibrasyon eğrileri ve listeler, bazen kullanılan termocuftten farklılıklar gösterir. Araştırma laboratuvarlarında, genelde, her araştırmacı hassas ölçümler için, kendi termocuftini kalibre ederek, 0.01-0.05 °C 'lik doğruluk sağlayabilirler. Bir termocuftin uçlarında oluşan emk (potansiyel farkı veya d.c. voltaj) oldukça küçüktür ve hassas olmayan analog cihazlarla ölçülemez, ancak iyi digital cihazlarla ölçüm yapılabilir. Basit bir elektronik yükseltme devresi ile, mikrovolt düzeyindeki voltajlar 100 -1000 kat yükselttilerek milivolt mertebesine çıkarılır. Bakır ve konstantan (bir alaşım) ince tellerinden yapılmış bir termocuft, üç farklı sıcaklıkta ölçülen elektromotor kuvvet (emk) ten yararlanarak kalibre edilebilir. Termocuftin uçları arasında oluşan emk, sıcaklığın fonksiyonu olarak, bir kübik denklemle verilir. Bu kübik denklem Mathematica paket (veya diğer bir bilgisayar dilindeki) programı kullanılarak çözülür ve kalibrasyon yapılır.

*The aim of this research is that the calibration of a thermocouple used for temperature measurement in research lab and industry by means of a computer program. Commercial thermocouples bought and used in industry are quite expensive. If two spools of two different metal wires are bought and used making thermocouples, the cost of the thermocouple will be quite low. 100-150 thermocouples can be made from a pair of spools and the calibration of one of these thermocouples is enough to use for the others. The ratio of cost is about 1%.*

*For solar energy panels, sometimes 25-30 thermocouples can be used. They are placed into different point of the panels. Their ends are connected a multi channel plotters to get the continuous temperature curves from the thermocouples. The calibration lists or curves given for commercial thermocouples are sometimes varies from the same type thermocouples used in the experiment. For accurate temperature measurements, such as 0.01 °C sensitivity, the best way is to calibrate the thermocouple.*

*The electromotive force (potential difference, emf) between the ends of a thermocouple is too small to measure by some analog devices. Some sensitive digital devices can be used for direct measurements. By means of a simple amplifier circuit, emf of a few mikrovolt can be amplified 100-1000 times in order to increase to a measurable level. A thermocouple made of copper and costantan (alloy) thin wires can be calibrated by measuring three voltages at three different temperatures.*

*The emf on a thermocouple is a cubic equation in terms of temperature. This cubic expression is solved by a computer program written in Mathematica (or other high level computer language).*

#### ANAHTAR KELİMELER / KEY WORDS

Termocuft, Sıcaklık, Ölçme, Kalibrasyon  
*Thermocouples, Temperature, Measurement, Calibration*

## 1. GİRİŞ

Elektron kaybetme özellikleri (iş fonksiyonları, work function) birbirinden farklı iki metal tel birleştirilirse diğer iki ucunda bir elektro motor kuvvet (emk) oluşur. Bu olaya *termoelektrik olay* denir. Bundan yararlanarak termoçift yapılır. Bu emk, duyarlılığı yüksek bir analog veya digital voltmetre (DVM) ile ölçülerek sıcaklık bulunabilir. Bu olayın tersi de mümkündür. Uygun bir termoçiftin iki ucuna bir d.c. gerilim uygulanırsa, akımın yönüne bağlı olarak, kavşakta ısınma veya soğuma olabilir. Bu olaya da *Peltier Olayı* denir. Yalnız bunun için klasik termoçiftlerin yerine metal oksit yarıiletkenler kullanılır (Çolakoğlu vd...,1995). Termoçift yapımında seçilen metal çiftinin elektropozitiflik sıralamasında birbirinden uzak olmaları, birim sıcaklık farkı başına ortaya çıkan elektro motor kuvvetin (k, mikro volt/C) büyük olmasını sağlar. Oda sıcaklığı civarında, dar bir bölge için bu değerler Çizelge 1’de verilmiştir. Metallerin elektropozitiflik sırası şöyledir: Bi, Ni, Co, Pd, Pt, Cu, Mn, Ti, Hg, Pb, Sn, Cr, Mo, Rh, Ir, Au, Ag, Zn, W, Cd, Fe, Sb (Ertaş,1993) . Düşüm noktasında akımın yönü, elektropozitifliği küçük metalden büyük metale doğrudur. Saf metaller yerine alaşımlar kullanılabilir.

Çizelge 1. Bazı metal çiftlerinin k katsayıları

| Metal Çifti            | k ( $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ ) |
|------------------------|------------------------------------|
| Bi-Sb                  | 100                                |
| Fe-Konstantan          | 53                                 |
| Platin-Platinli radyum | 6.4                                |
| Fe-Cu                  | 11                                 |
| Demir-Pirinç           | 7                                  |
| Demir-Nikel            | 32                                 |
| Bakır-Konstantan       | 43                                 |
| Kromel-Alumel          | 41                                 |

Sanayide ve laboratuarlarda ve sıcaklık ölçme cihazlarında ticari termoçiftler yüksek fiatlarla satın alınıp kullanılmaktadır. Bunun yerine iki farklı malzemeden (bakır, demir, konstantan gibi) tel alınıp termoçift yapılırsa oldukça ekonomik olmaktadır. Yapılacak 20-30 termoçiftten bir tanesi kalibre edilerek diğerleri de aynı eğri veya listeden yararlanılarak kullanılabilir. Ticari olarak kullanılan bazı termoçiftlerin özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

Çizelge 2. Farklı tip termoçiftler ve oluşan elektromotor kuvvetler (T.C. Wires &Cables Ltd)

| Kullanılan İletkenler             | Kodu | 0°C referans ta 100°C uçlarda oluşan voltaj (mV) | Ölçme bölgesi    | Standard         |
|-----------------------------------|------|--|------------------|------------------|
| Kromel/Alumel (Ni-Cr/ Ni-Al)      | K    | 4.10   | -200°C- +1100°C  | BS 1827<br>ISA-K |
| Bakır/Konstantan                  | T    | 4.24   | -250°C- +500°C   | BS 1828<br>ISA-T |
| Demir/Konstantan                  | J    | 5.27   | +20°C- +700°C    | BS 1829<br>ISA-J |
| Kromel/Konstantan                 | E    | 6.32   | 0°C- +800°C      | -----            |
| Platinyum/ Platinyum (%13 Radyum) | Ux13 | -----  | -200°C - +1800°C | -----            |

## 2. TEORİ VE YÖNTEMLER

### 2.1. Sıcaklık ölçme yöntemleri :

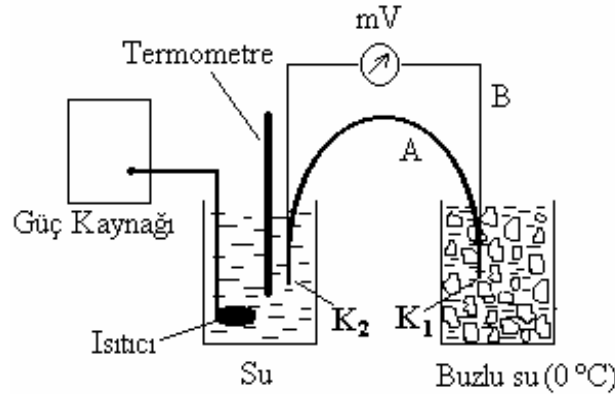
Sıcaklık ölçmek için en yaygın araç *termometredir*. Buradaki ölçme ilkesi, kullanılan iki malzemenin farklı termal genişlemidir. Piyasada, civalı, alkollü ve bi-metalik termometreler değişik amaçlar için kullanılmaktadır.

*Termistör* denilen mercimek büyüklüğündeki sensörler (algılayıcı), metal-oksit yarı iletkenlerden yapılır. Bu sensörlerin elektriksel direnci sıcaklıkla değişmektedir. Bunların direnci ölçülerek ilgili kalibrasyon grafiğinden sıcaklık bulunur.

*Termoçiftler*, yukarıda da anlatıldığı gibi hassas sıcaklık ölçülmesinde çok sık kullanılan sensörlerdir (White vd...,1973).

### 2.2. Termoçift ve ölçümler :

Bu çalışmada sıcaklık ölçme yöntemi olarak termoçift (thermocouples) incelenmiştir. Piyasada en çok kullanılan termoçift telleri; Cu- Kostantan, Fe-konstantan, Alumel- Kromel, Pt-Pt (radyum)'dur. Bunlar derece başına 40-50 mikrovoltluk emk oluştururlar. Bu değer oldukça küçük olduğu için bazen daha duyarlı bir ölçü aleti kullanılarak doğrudan ölçüm yapılır. Bazen de, bu emk (voltaj) bir yükselteç devresi ile 100-500 kat yükseltilecek daha rahat ölçülebilecek seviyeye ulaştırılır. Tipik bir termoçift devresi Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Bir termoçift düzeneği; A konstantan tel, B bakır tel

Bazı sistemlerde tek kavşak vardır ve referans oda sıcaklığıdır. Yukarıdaki sistemde ise 0 °C (su+buz karışım) referans noktasıdır. Birinci kavşak buraya konur. Diğer kavşak, sıcaklığı ölçülecek yere konur. Digital ve ticari sıcaklık ölçme cihazlarında tek kavşaklı termoçift kullanılır. Cihaz içindeki bir elektronik devre, oda sıcaklığını 0 °C ye indiren bir kompanzasyon sistemine sahiptir. Bu nedenle gerçek sıcaklık okunur. Sadece voltaj (potansiyel farkı- emk) ölçen bir cihazla, tek kavşaklı bir termoçiftle ölçüm yapılırsa, bulunan değere, oda sıcaklığının eklenmesi gerekir.

### 2.3. Termoçift kalibrasyonu :

Bakır (Cu) ve konstantan (bir alaşım) ince tellerinden yapılmış bir termoçift, üç farklı sıcaklıkta ölçülen elektromotor kuvvet (emk) ten yararlanarak kalibre edilebilir. Termoçiftin uçları arasında oluşan emk,

$$V = A T^3 + B T^2 + C T \quad (1)$$

Kübik denklemi ile verilir. Burada A,B,C sabitler; V uçlar arasındaki potansiyel farkı (emk), T de ilgili sıcaklıktır. Mathematica 2.2'de (veya FORTRAN, BASIC, PASCAL'da) yazılmış bir bilgisayar programı kalibrasyon için kullanılabilir. (1) ifadesindeki A,B ve C sabitleri aşağıdaki yöntemle bulunduktan sonra, bu denklemde yerine konur. T sıcaklığına karşı gelen emk bir bilgisayar programı ile listelenir.

#### A, B ve C sabitlerinin bulunması:

Genel olarak,  $T_1$ ,  $T_2$  ve  $T_3$  belirli sıcaklıklarına (Çizelge 3) karşı gelen  $V_1$ ,  $V_2$  ve  $V_3$  voltajları, en az 100 mikrovoltu ölçebilen hassas bir digital ölçü aleti ile ölçülür. Bu çalışmada ise olanaksızlıklar nedeni ile Çizelge 4'te verilen değerler kullanılmıştır.

$$\begin{aligned} V_1 &= A T_1^3 + B T_1^2 + C T_1 \\ V_2 &= A T_2^3 + B T_2^2 + C T_2 \\ V_3 &= A T_3^3 + B T_3^2 + C T_3 \end{aligned} \quad (2)$$

Bu üç denklemden, üç bilinmeyen A,B,C bulunabilir. Bunun için determinantlardan faydalanmak en iyi yoldur.

$$\text{Det } D_0 = \begin{vmatrix} T_1^3 & T_1^2 & T_1 \\ T_2^3 & T_2^2 & T_2 \\ T_3^3 & T_3^2 & T_3 \end{vmatrix} = T_1^3(T_2^2 T_3 - T_3^2 T_2) + T_1^2(T_2 T_3^3 - T_3 T_2^3) + T_1(T_2^3 T_3^2 - T_3^3 T_2^2)$$

$$\text{Det } D_1 = \begin{vmatrix} V_1 & T_1^2 & T_1 \\ V_2 & T_2^2 & T_2 \\ V_3 & T_3^2 & T_3 \end{vmatrix} = V_1(T_2^2 T_3 - T_3^2 T_2) + T_1^2(T_2 V_3 - T_3 V_2) + T_1(V_2 T_3^2 - T_2^2 V_3)$$

$$\text{Det } D_2 = \begin{vmatrix} T_1^3 & V_1 & T_1 \\ T_2^3 & V_2 & T_2 \\ T_3^3 & V_3 & T_3 \end{vmatrix} = T_1^3(V_2 T_3 - V_3 T_2) + V_1(T_2 T_3^3 - T_3 T_2^3) + T_1(V_3 T_2^3 - V_2 T_3^3)$$

$$\text{Det } D_3 = \begin{vmatrix} T_1^3 & T_1^2 & V_1 \\ T_2^3 & T_2^2 & V_2 \\ T_3^3 & T_3^2 & V_3 \end{vmatrix} = T_1^3(V_3 T_2^2 - V_2 T_3^2) + T_1^2(V_2 T_3^3 - V_3 T_2^3) + V_1(T_2^3 T_3^2 - T_3^3 T_2^2)$$

Bu determinantlardan A, B ve C sabitleri;

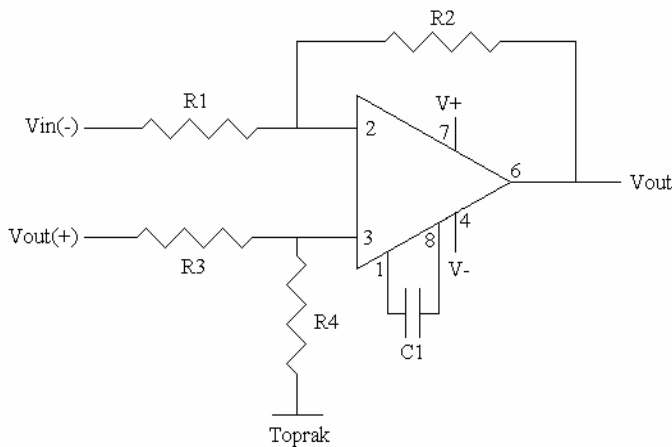
$$A = \text{Det } D_1 / \text{Det } D_0, \quad B = \text{Det } D_2 / \text{Det } D_0, \quad C = \text{Det } D_3 / \text{Det } D_0$$

Çizelge 3. Bazı belirli sıcaklıklar (K) (İşçi, 1977)

|  |        |
|--|--------|
| Alüminyumun süperiletkenlik kritik sıcaklığı | 1.18   |
| Helyum-4'ün $\lambda$ noktası                | 2.17   |
| Helyum-3'ün kaynama noktası                  | 3.19   |
| Helyum-4'ün kaynama noktası                  | 4.21   |
| Kurşunun süperiletkenlik geçiş sıcaklığı     | 7.19   |
| Neonun kaynama noktası                       | 27.10  |
| Hidrojenin kaynama noktası                   | 29.39  |
| Azotun kaynama noktası                       | 77.36  |
| Argonun kaynama noktası                      | 88.29  |
| Oksijenin kaynama noktası                    | 90.19  |
| Co <sub>2</sub> karı ve aseton karışımı      | 196.00 |
| Su buz karışımı                              | 273.16 |
| Suyun kaynama noktası                        | 373.00 |
| İndiyumun erime noktası                      | 429.63 |
| Bizmutun erime noktası                       | 544.44 |

#### 2.4. Yükseltme devresi :

Yukarda da belirtildiği gibi, bir termoçiftin uçlarında oluşan emk (potansiyel farkı veya d.c. voltaj) oldukça küçüktür. Hassas olmayan analog cihazlarla ölçülemez. Bazı iyi digital cihazlarla ölçüm yapılabilir. Aşağıda verilen basit bir elektronik yükseltme devresi ile 100-200 mikrovolt değerindeki voltajlar 100 -1000 kat yükseltilerek milivolt mertebesine çıkarılır. Yükseltmede İşlemsel yükselteçlerden (OPAMP) LM -741C, LM-308 gibi entegreler kullanılabilir (Motorola Katalog, 1995).



$R1=1k\Omega$ , Kazanç =  $R2/R1 = 100$   
 $R2=100k\Omega$ ,  $V(+)$ ,  $V(-)= 0 - 18$  volt  
 $R3=1k\Omega$ ,  $V_{out}=- (R2/R1)$   
 $R4=1k\Omega$ ,  $V_{in} = -100 V_{in}$   
 $C1=0.33$  nF,  
 $V_{in}$ , termçift giriş voltajıdır.  
 $V_{out}$ , yükseltilmiş d.c. emk dir.

Şekil 2. LM-308'li yükseltme devresi

### 3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Standart olarak verilen belirli sıcaklıkların (Çizelge 3) bölümümüzde elde edilmesinin olanaksızlığı nedeniyle  $T_1$ ,  $T_2$  ve  $T_3$  sıcaklıkları için aşağıdaki basit yol izlenmiştir.

Çift kavşaklı bakır-konstantan termoçiftin bir ucu su-buz karışımına ( $0^\circ\text{C}$ ) konur. Bir başka termos veya kaptaki suya 2. Kavşak ve hassas bir termometre (civalı veya digital) sokulur ve ölçüm ( $T_1, V_1$ ) yapılır. Sonra su ısıtılarak sıcaklığı değiştirilir ve yeni iki ölçüm ( $T_2, V_2$ ), ( $T_3, V_3$ ) alınır. Burada  $T$  sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ ) ve  $V$  emk veya voltaj (mvolt) dir.

Çizelge 4. Bakır - Konstantan termoçiftte üç farklı sıcaklıkta ölçülen emk.

| Sıcaklık ( $^\circ\text{C}$ ) | Emk (voltaj) mvolt |
|-------------------------------|--------------------|
| 0                             | 0                  |
| 30 ( $T_1$ )                  | 1.2 ( $V_1$ )      |
| 44                            | 1.8                |
| 50 ( $T_2$ )                  | 1.95 ( $V_2$ )     |
| 74                            | 3.0                |
| 90 ( $T_3$ )                  | 3.36 ( $V_3$ )     |

Termoçift denkleminde ( $T_1, T_2, T_3$ ), ( $V_1, V_2, V_3$ ) ve sıcaklık aralığı verileri girilerek Mathematica 2.2 de yazılmış bilgisayar programı çalıştırılır. Önce A, B ve C sabitleri bulunur. Sonra gerekli listeleme bir döngü ile yapılır ve grafik çizilir. Sonuçlar Çizelge 5 ve Şekil 3'te verilmiştir. Bu grafikten veya listeden, daha sonra ölçülen bir sıcaklık için emk, veya ölçülen emk için sıcaklık bulunabilir. Bu yolla, dikkatli ölçümlerde  $0.1^\circ\text{C}$ 'lik duyarlılık sağlanabilir.

Termoçift denklemi, FORTRAN, BASIC veya PASCAL programlama dillerinde 20-25 satırlık bir programla yapılabilir. MATHEMATICA (Wolfram, 1991) bu işi, daha kısa bir tarzda, doğrudan matris determinantlarını bularak, grafiğini de çizerek yapma özelliğine sahiptir.

Güneş enerjisi panellerinde (kollektörlerde) bazen 20-30 termoçift paralel olarak kullanılır ve bunlar çok kanallı ölçüm aletine bağlanarak aynı anda bir çok farklı nokta veya kollektörün sıcaklığı ölçülür, kaydedilir veya (çok kanallı plotter ile) grafiği çizilir.

Yukarda verilen (1) denkleminde program yardımı ile  $T$ ,  $0^\circ$ 'dan  $200^\circ\text{C}$  (istenen değere kadar)  $1^\circ$ 'er (veya istenen aralıkla) değiştirilerek karşı gelen  $V$ 'ler hesaplanır. Bu hesaplama sonucu; A, B ve C katsayıları,

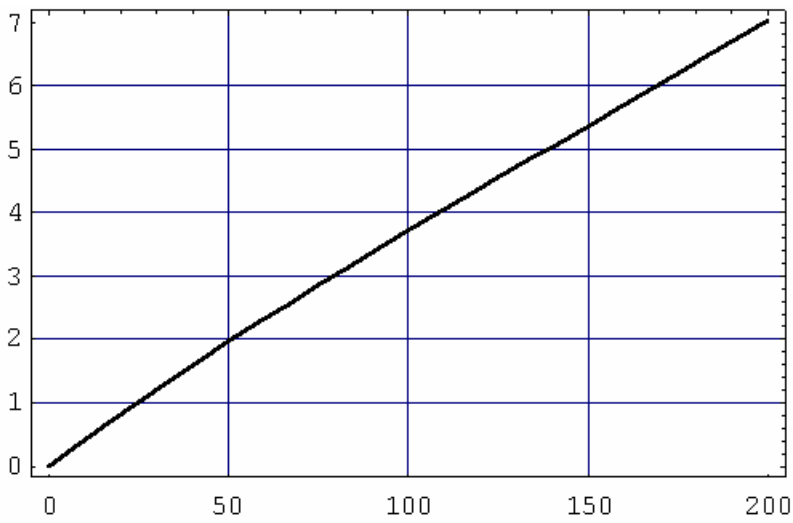
$$A = 1.39 \times 10^{-10}, \quad B = -6.11 \times 10^{-8}, \quad C = 4.17 \times 10^{-5} \text{ bulunur.}$$

Mathematica kullanılarak bir kübik denklemin katsayılarını bulmanın diğer bir yolu da eğri uyarlama (Curve fitting) yöntemidir. Deneysel veriler, programa (3 adet sıcaklık ve emk değerleri) konur ve programda ( $x, x^2, x^3$ ) cinsinden bir eğri deneysel noktalardan geçecek şekilde hesaplanır ve çizilir. Buradan elde edilen A, B, C değerleri, kübik denklem ve ilgili kısa program da aşağıda çıkarılmıştır. Bu sabitlerle, "curve fitting" yöntemi ile çizilen grafik Şekil 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5. Bir bakır konstantan termoçiftin uçlarında oluşan emk (referans 0°C'da)

| T (°C) | Emk (mV) | T (°C) | Emk (mV) |
|--------|----------|--------|----------|
| 0      | 0        | 105    | 3.87     |
| 5      | 0.21     | 110    | 4.03     |
| 10     | 0.41     | 115    | 4.20     |
| 15     | 0.61     | 120    | 4.36     |
| 20     | 0.81     | 125    | 4.53     |
| 25     | 1.01     | 130    | 4.69     |
| 30     | 1.20     | 135    | 4.86     |
| 35     | 1.39     | 140    | 5.02     |
| 40     | 1.58     | 145    | 5.19     |
| 45     | 1.77     | 150    | 5.35     |
| 50     | 1.95     | 155    | 5.51     |
| 55     | 2.13     | 160    | 5.68     |
| 60     | 2.31     | 165    | 5.84     |
| 65     | 2.49     | 170    | 6.01     |
| 70     | 2.67     | 175    | 6.17     |
| 75     | 2.84     | 180    | 6.34     |
| 80     | 3.02     | 185    | 6.50     |
| 85     | 3.19     | 190    | 6.67     |
| 90     | 3.36     | 195    | 6.84     |
| 95     | 3.53     | 200    | 7.01     |
| 100    | 3.70     |        |          |

Emk



Şekil 3. Bakır - konstantan termoçift için sıcaklık - emk grafiği

**"Curve fitting " program**

```

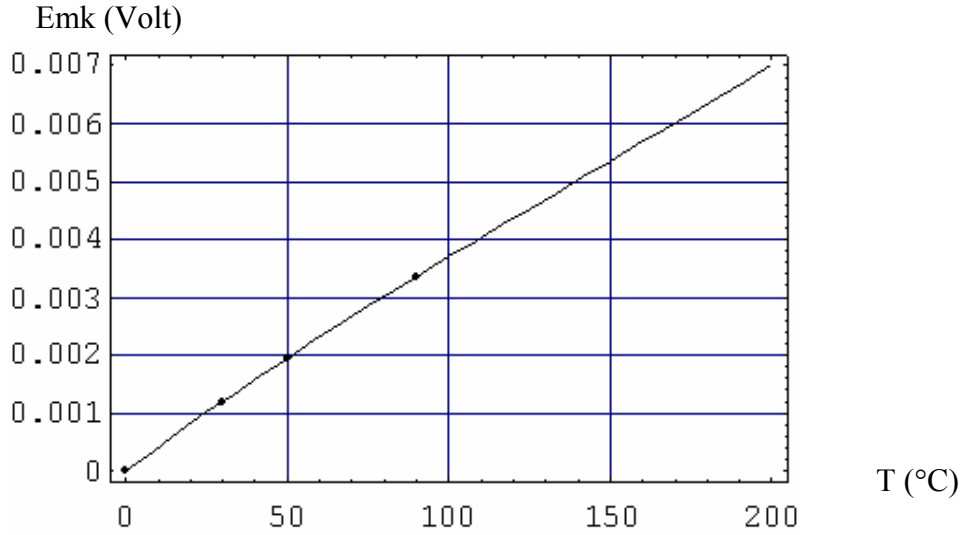
fp=List[{0,0},{30,1.2*10^-3},{50,1.95*10^-3},{90,3.36*10^-3}];
gp=ListPlot[fp,Prolog->AbsolutePointSize[4]]
Fit[fp,{x,x^2,x^3},x]
Plot[%,{x,0,200}]
Show[%,gp,Prolog->AbsolutePointSize[4],Frame->True,
GridLines->Automatic, AxesLabel->{"Sicaklik", "mvolt"}]

```

$$A= 1.3889 \times 10^{-10}, \quad B= -6.1111 \times 10^{-8}, \quad C= 4.1708 \times 10^{-5}$$

$$V = A X^3 + B X^2 + C X$$

Bu değerler, daha önce, determinant yöntemi ile elde edilenlerle çok iyi uyum içindedir.



Şekil 4. "Curve fitting" ile Mathematica da çizilen emk-sıcaklık grafiği

**KAYNAKLAR**

- Çolakoğlu, K. Editör, İşçi, C. Ve diğerleri (1995) : "Fenciler ve Mühendisler için FİZİK"; cilt:2, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Ertaş, İ. (1993) : "Denel Fizik Dersleri", Prof.Dr. İsmet, Ege Ü., Fen Fak. Yayınları, İzmir .
- Katalog, (1990) : "Wahl Temperature Instruments", California, ABD.
- White, R.M. ; Yarwood, J. (1973) : " Experimental Physics" ; Chapman and Hall, London.
- Wolfram, S. (1991) : "Mathematica" 2<sup>nd</sup> ed.; Addison-Wesley Com. Inc., NewYork..
- Katalog, (1985) : "TC Wires&Cables Limited", Uxbridge, İngiltere.
- Katalog (1995) : "Motorola Analog/interface IC Device Data", ABD.
- İşçi, C. (1977) : "Ph. D. Tezi", sayfa:107, Hull Üniversitesi, İngiltere.