

## TERMOELEKTRİK SENSÖRLER

Coşkun İŞÇİ\*

### ÖZET

Bu araştırma makalesinde, termoelektrik olay kısaca özetlendikten sonra, sanayide ve laboratuvarlarda sıcaklık ölçmek için kullanılan bir termoelektrik sensörün ( thermocouple) , bilgisayar programları ile, kalibrasyonun nasıl yapılacağı, anlatılmıştır. Ticari olarak verilen kalibrasyon eğrileri ve listeler, bazen kullanılan termoçiftin eğrilerinden farklılıklar gösterebilir. Araştırma laboratuvarlarında, genelde, her araştırmacı hassas ölçümler için, kendi termoçiftini kalibre ederek, 0.01-0.05 °C 'lik doğruluk sağlayabilirler. Piyasada kullanılan K, J, T ve E tipi termoçiftlerin özellikleri ,makalede belirtilmiştir. Makalede, Mathematica-5.0 paket programı ile iki farklı program yazılarak elde edilen sonuçlar kıyaslanmıştır. Sonuçların uyum içinde görülmüştür. Olayın ekonomik boyutu da makalede tartışılmıştır.

**Key Words:** Termoelektrik olay, Termoçift, Kalibrasyon

### 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. 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 (1,7,8). Termoelektrik olaydan yararlanarak termoçift yapılır. Bir termoçiftin uçlarında oluşan emk (potansiyel farkı veya d.c. voltaj) oldukça küçüktür. Bu değer genelde derece başına 40-50 mikrovolttur. Hassas olmayan analog cihazlarla ölçülemez, ancak iyi digital cihazlarla ölçüm yapılabilir.

Sanayide ve laboratuvarlarda kullanılan sıcaklık ölçme cihazları için termoçiftler yüksek fiyatlarla satılmaktadır. Bunun yerine iki farklı malzemeden (bakır, konstantan gibi) tel

\* Yaşar Üniversitesi, Fen – Edebiyat Fakültesi

alınıp termoçift yapılırsa oldukça ekonomik olmaktadır. Bir makara ince bakır tel ve bir makara konstantan telden, 100-150 adet termoçift 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 termoçift 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.

. Basit bir elektronik yükseltme devresi ile, mikrovolt düzeyindeki voltajlar 100 -1000 kat yükseltilerek milivolt mertebesine çıkarılır (8).

## 2. TEORİ VE YÖNTEMLER

### 2.1. Sıcaklık ölçme yöntemleri:

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

*Termistör* denilen mercimek büyüklüğündeki sensörler (algılayıcı), metal-oksit yarı iletkenlerden yapılırlar. 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 (1-8).

Bu çalışmada yalnızca termoçiftler ele alınacaktır.

### 2.2. Elektropozitiflik

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 ( 2 ) . Düğüm 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

**2.3. Termoçift Türleri** Ticari olarak kullanılan bazı termoçiftlerin özellikleri Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** Farklı tip termoçiftler ve oluşun emk ( 3-6)

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

**2.4. 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 yükseltılarak daha rahat ölçülebilecek seviyeye ulaştırılır (8).

Bazı sistemlerde tek kavşak vardır ve referans oda sıcaklığıdır. Genelde ise iki kavşak olur. 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.

## 2.5. 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 5.0 da yazılmış ve ekte verilmiş 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 (5,9).

A, B ve C sabitlerinin bulunması:

Genel olarak,  $T_1$ ,  $T_2$  ve  $T_3$  belirli sıcaklıklarına ( Çizelge 4 ) karşı gelen  $V_1$ ,  $V_2$  ve  $V_3$  voltajları, en az 10 mikrovoltu ölçebilen hassas bir digital ölçü aleti ile ölçülür. Bu çalışmada ise olanaksızlıklar nedeni ile Çizelge 4’te verilen değerler kullanılmıştır.

$$V_1 = A T_1^3 + B T_1^2 + C T_1$$

$$V_2 = A T_2^3 + B T_2^2 + C T_2$$

$$V_3 = A T_3^3 + B T_3^2 + C T_3$$

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

$$\text{Det-D0} = T_1^3(T_2^2T_3 - T_3^2T_2) + T_1^2(T_2T_3^3 - T_3T_2^3) + T_1(T_2^3T_3^2 - T_3^3T_2^2)$$

$$\text{Det-D1} = V_1(T_2^2T_3 - T_3^2T_2) + T_1^2(T_2V_3 - T_3V_2) + T_1(V_2T_3^2 - T_2^2V_3)$$

$$\text{Det-D2} = T_1^3(V_2T_3 - V_3T_2) + V_1(T_2T_3^3 - T_3T_2^3) + T_1(V_3T_2^3 - V_2T_3^3)$$

$$\text{Det-D3} = T_1^3(V_3T_2^2 - V_2T_3^2) + T_1^2(V_2T_3^3 - V_3T_2^3) + V_1(T_2^3T_3^2 - T_3^3T_2^2)$$

Bu determinantlardan A, B ve C sabitleri;

$$A = \text{Det D1} / \text{Det D0}, \quad B = \text{Det D2} / \text{Det D0}, \quad C = \text{Det D3} / \text{Det D0}$$

**Çizelge 3.** Bazı belirli sıcaklıklar

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
Đndiyumun erime noktası	429.63
Bizmutun erime noktası	544.44

### 3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Standart olarak verilen belirli sıcaklıkların (Çizelge 4) her yerde 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 (milivolt) dır.

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

Sıcaklık ( $^{\circ}\text{C}$ )	Emk ( mV)
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 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 1'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. Bu hesaplama sonucu; A, B ve C katsayıları,

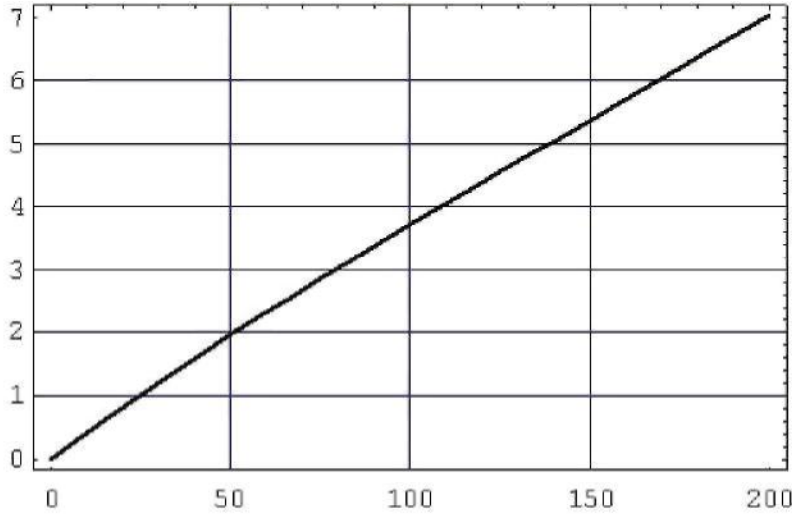
$$A= 1.3889 \times 10^{-10}, \quad B= - 6.1111 \times 10^{-8}, \quad C= 4.17083 \times 10^{-5} \text{ bulunur.}$$

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.

**Çizelge 5.** Bir bakır konstantan termoçiftin uçlarında oluşan emk (referans  $0^{\circ}\text{C}$ 'da)

T (°C)	Emk (mV)
0	0.00
5	0.20
10	0.41
15	0.61
20	0.81
25	1.00
30	1.20
35	1.39
40	1.58
45	1.77
50	1.95
55	2.13
60	2.31
65	2.49
70	2.67
75	2.84
80	3.01
85	3.18
90	3.36
95	3.53
100	3.69

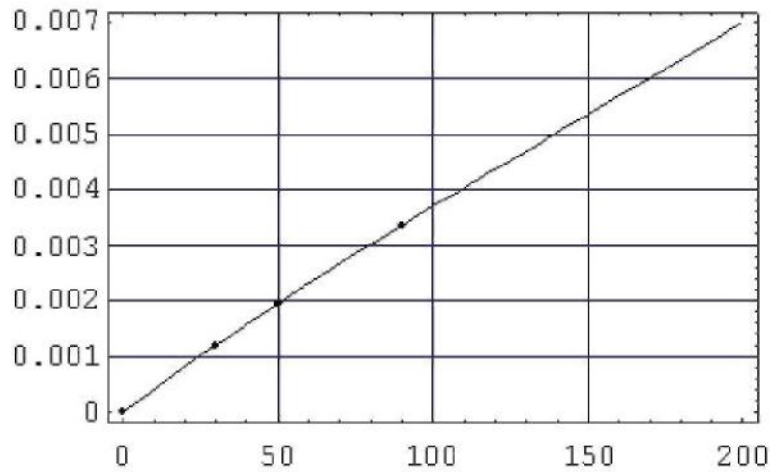
Emk (mV)



Şekil 1. Bakır - konstantan termoçift için sıcaklık - emk grafiği

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 2 'te gösterilmiştir.

Emk (Volt)



Şekil.2. "Curve fitting" ile Mathematica da çizilen emk-sıcaklık grafiği

“Curve fitting “ program ile elde edilen sonuçlar:

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



**Çizelge.6.** Üç değişkenli lineer denklem çözümü ve Curve-fitting yöntemi ile elde edilen kübik denklemin  $V = A X + B X + C X$ , A,B,C sabitleri

Yöntem	A	B	C
Lineer Denklem	$1.389 \times 10^{-1}$	$- 6.111 \times 10^{-8}$	$4.1708 \times 10^{-5}$
Curve-fitting	$1.3889 \times 10^{-1}$	$- 6.1111 \times 10^{-8}$	$4.1708 \times 10^{-5}$

Bu değerler, daha önce, determinant yöntemi ile elde edilenlerle çok iyi uyum içindedir. İlgili bilgisayar programları aşağıda verilmiştir.

**(a) Curve-fitting programı ( Mathematica-5.0 da)**

**Çizim için:**

```
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,{t^3,t^2,t},t]
Plot [%,{t,0,200}]
Show[%gp,Prolog->AbsolutePointSize[4],Frame->True,GridLines->Automatic,
AxesLabel->{"sicaklik","mV"}]
```

**Listelemek için:**

```
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,{t^3,t^2,t},t]
Do[Print[t," ",%* 1000], {t,0,100,5}]
```

**(b) Lineer denklem çözüm programı:**

```
Print[ Programın yazılım tarihi :Eylul-2007, Coşkun DŞÇD]
```

Print[" Bu program termocift kalibrasyon programidir. 3 farkli sicaklikta ölçülen voltaj değerleri girilerek A,B,C sabitlerini alttaki lineer denkeleml erden hesaplanır. Sonra bu degerlerden her sıcakliga karsi gelen emf degerleri bulunarak egri çizilir"]

T1 = 30; T2=50; T3 =90;

V1=1.2; V2=1.95;V3=3.36;

Print[" V1 = A\* T1^3 +B\* T1^2+C\*T1

V2 =A\* T2^3 +B\* T2^2+C\*T2

V3 =A\* T3^3 +B\* T3^2+C\*T3 "] D0=T1^3(T2^2 \* T3 -T3 ^2 \* T2)+T1 ^2(T2 \* T3 ^3 -T3 \* T2^3)+T1 (T3 ^2 \* T2^3 -T3 ^3 \* T2^2); D1= V1\*(T2^2\*T3-T3^2\*T2)+T1^2\*(T2\*V3-T3\*V2)+T1\*(V2\*T3^2-T2^2\*V3); D2=T1^3 \* (V2 \* T3 -V3 \* T2)+V1 \* (T2 \* T3 ^3 -T3 \* T2^3)+T1 \* (V3 \* T2^3 -V2 \* T3 ^3); D3= T1^3 \* (V3 \* T2^2-V2 \* T3 ^2)+T1^2 \* (V2 \* T3 ^3 -V3 \* T2^3)+V1 \* (T2^3 \* T3 ^2-T3^3\*T2^2); A=D1/D0; B=D2/D0 ; F=D3/D0 ; Print["A= ", A] Print["B= ", B]

Print["C= ", F] K=100;IK=1;

Do[ E1[t]=A\* t^3+B\*t^2+F\*t, {t,0,K,IK} ] Do

[E3[t]= IntegerPart[E1 [t]\*100], {t,0,K,5} ]

Print["sicaklık "," emf(mV)"]

Print[" ----- "]

Do[Print[t , " ",E3[t]\*0.01], {t,0,K,5} ]

E2[t\_] =A\* t^3+B\*t^2+F\*t; TB=Plot[E2[t], {t,0,100},Frame—

>True,GridLines—> Automatic]

## KAYNAKLAR

1. Çolakoğlu, K. Editör, Dışçi, C. Ve diğerleri (1995) : "Fenciler ve Mühendisler için FĐZĐK"; cilt:2, Palme Yayıncılık, Ankara.

2. Ertaş, Đ. (1993) : “ Denel Fizik Dersleri”, Prof.Dr. Đsmet, Ege Ü., Fen Fak. Yayınları, Đzmir.
3. Katalog, (1990) : “Wahl Temperature Instruments”, California, ABD.
4. White, R.M. ; Yarwood, J. (1973) : “ Experimental Physics” ; Chapman and Hall, London.
5. Wolfram, S. (1991) : “Mathematica” 2<sup>n</sup> ed.; Addison-Wesley Com. Inc., NewYork..
6. Katalog, (1985) : “TC Wires&Cables Limited”, Uxbridge, Đngiltere. 7. Đşçi, C. (1977) : “Ph. D. Tezi”, sayfa: 107, Hull Üniversitesi, Đngiltere.
8. Koçyiğit, S. ve Đşçi,C, (2000), , D.E.Ü.,Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt:2,Sayı: 1,13-20
9. Wellin P.R., et al.,(2005),” An Int.to Programming with Mathematica” 3 rd Ed. Cambridge University Press.