

TERMOELEKTRİK ETKİLER VE SOĞUTMA ETKİNLİĞİNİN UYGULANMASI

Hüseyin USTA Volkan KIRMACI
G.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi, 06500, Ankara, Türkiye

ÖZET

Bu makale, termoelektrik etkilerin teorik olarak incelenmesi ve termoelektrik soğutma etkisinin kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik deneysel çalışmayı kapsamaktadır. Yapılan deneysel çalışmada 40 mm x 40 mm ve 4 mm kalınlığında bir termoelektrik modül kullanılmıştır. Bu modül boyutları 50 mm x 60 mm x 50 mm olan ve dış ortamla yalıtılmış kutuya alttan yerleştirilmiştir. Kutu içerisine 125 gr su doldurulmuş, suyun soğutulması gözlenerek soğutma etkinliği ve akım ile volt arasındaki ilişki incelenmiştir.

Anahtar kelimeler: Termoelektrik, Termoelektrik soğutma, Termoelektrik modül

ABSTRACT

This paper includes examining of thermoelectrical effects in theoretical and experimental works and the widespread use of thermoelectrical cooling. In the experiment of this study, a thermoelectrical module which has dimension of 40 mm x 40 mm x 4 mm was used. This module was fitted to the bottom of the box isolated from outside and the dimension of the box is 50 mm x 60 mm x 50 mm. The box was filled with water, 125 gr and by observing the cooling of water, coefficient of performance and the relation between current and voltage were examined in the experiment.

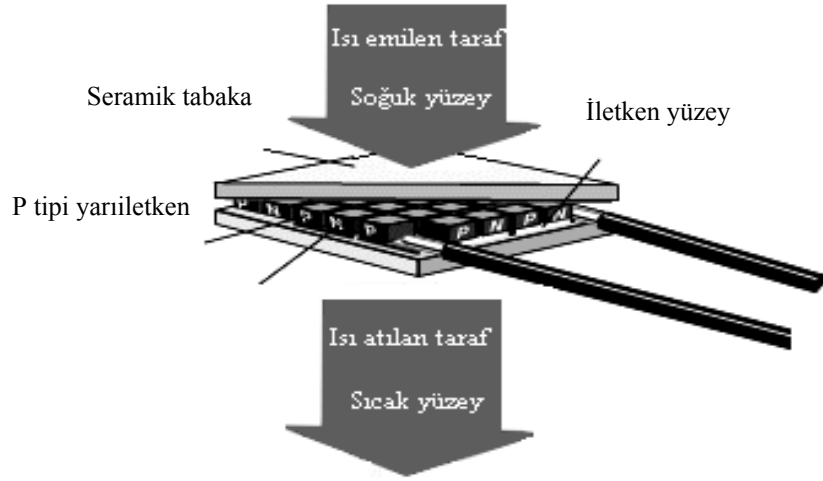
Anahtar kelime: Thermoelectrical, Thermoelectrical cooling, Thermoelectrical module

1. GİRİŞ

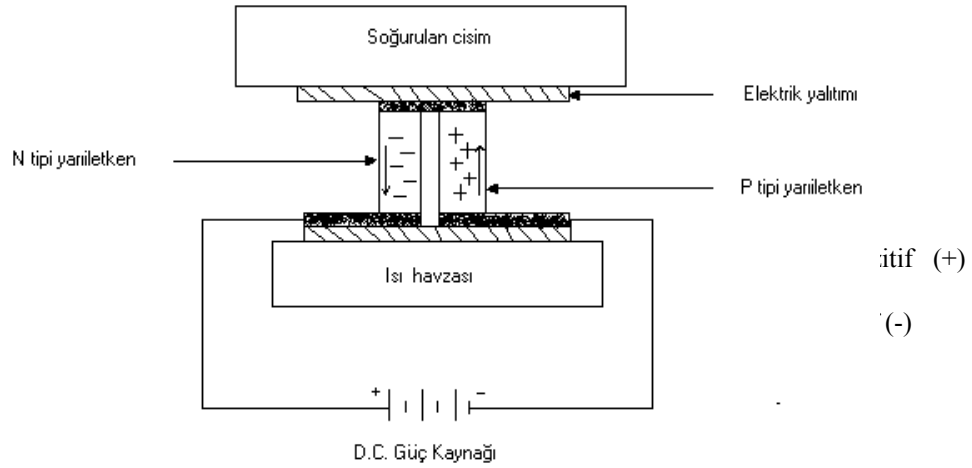
Hem ısı hem de elektriksel etkilerin bir arada bulunduğu devreye termoelektrik devre, bu devreyle çalışan bir sisteme de termoelektrik sistem adı verilir. Termoelektrik soğutma sistemi hareketli parçası olmadığından sessiz çalışmaktadır.[1]. Termoelektrik soğutma sistemde termoelektrik modül kullanılmaktadır. Termoelektrik modül n ve p tipi malzemeden oluşmaktadır. Genellikle n tipi malzeme olarak Bi_2Te_3 ve p tip malzeme olarak da $\text{Bi}_{0,1}\text{Sb}_{1,9}\text{Te}_3$ 'e temel malzemeleri kullanılmaktadır. Termoelektrik soğutucular elektriksel olarak seri, ısı olarak paralel düzenlenmiş çok sayıda termocouple 'den oluşmaktadır. Termoelektrik soğutucu modüllerin genellikle n ve p tip malzeme çiftlerinden eşit sayıda konulmasıyla üretilmektedir (şekil 1) [2].

Şekildeki yapı alanında elektrik akımının her n ve p tip malzemelerin alt ve üst tabakaları boyunca hareket etmesiyle sıcaklığın hareketine sebep olur. N tip malzeme bir elektron fazlalığına sahip (ideal bir moleküler kafes yapısı oluşturmak için ihtiyaç duyulandan fazla elektron) malzemedir. P tip malzemede ise elektron eksikliği olan (ideal bir moleküler kafes yapısı oluşturmak için gerekli olandan az elektron) bir malzemedir.

N tip malzemedeki fazla elektron ve p tip malzemedeki elektron eksikliğiyle meydana gelen boşluklar, ısı enerjisi termoelektrik modül boyunca hareket ettiren taşıyıcılardır. Şekil 2 'deki uygulanan elektrik akımının sonunu olarak hareket eden ısı ile bir yüzey de ısıtma, diğer yüzeyde soğutma oluşturmaktadır [3]. Termoelektrik soğutma sistemi, soğutma süresi boyunca hareketli parçalarının olmayışından dolayı sessiz çalışmaktadır



Şekil 1.1. Termoelektrik modülün yapısı



Şekil 1.2. Termoelektrik modül üzerindeki elektrik hareket şeması

Termoelektrik malzemelerin kalitesini karakterize eden, Z ile gösterilen ve "malzeme faktörü" olarak da isimlendirilen,

$$Z = \alpha^2 \frac{1}{k\rho} \quad (1)$$

denklemleri ile hesaplanır. Bu denklemde,
 α malzemenin Seebeck katsayısı (Volt/Kelvin),
 ρ malzemenin elektrik iletkenliği (ohm.m)
 k malzemenin termal (ısı) iletkenliğidir (W/m^0K) dir [4].

2. TERMOELEKTRİK ETKİLER

İki farklı yarıiletken malzemelerin kimyasal yöntemlerle birbirine birleştirilerek, oluşturulan devre üzerinden elektrik akımı geçirilmesiyle meydana gelen farklı sıcaklıklarda devrede aynı anda üç çeşit termoelektrik etki oluşur. Bu üç etki mucitlerin isimleri ile anılır. Bunlar; Seebeck, Peltier ve Thomsom etkileridir [5].

2.1. Seebeck Etkisi

İki farklı yarıiletken malzemelerin birbirine seri olarak birleştirilerek oluşturulan devrede, farklı sıcaklıklarda elektrik gerilimi ölçülür. Bu gerilime “ seebeck voltajı ” olarak da isimlendirilir. Devreden ölçülen gerilim, malzemelerin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ile doğru orantılıdır.

Şekil 3’de iki farklı yarıiletken malzemenin oluşturulan devrede ölçülen voltaj;

$$V = \alpha \Delta T \quad (2)$$

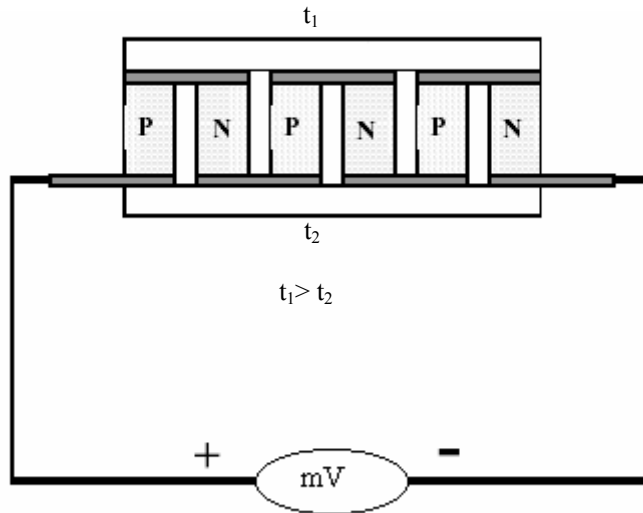
V: Devreden ölçülen Voltaj (Volt)

$\Delta T = T_2 - T_1$ Yarıiletken malzemelerin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$)

$\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$ Seebeck katsayısı veya termo emk ($\text{V} / ^{\circ}\text{C}$) dir [4].

α ’nın değeri; devreyi oluşturan malzemelerin özelliklerine bağlıdır. Örneğin bakır konstantan ’dan yapılan bir termokupl için $\alpha = 40 \mu\text{V} / ^{\circ}\text{C}$ ’dır. Yani her $1 ^{\circ}\text{C}$ sıcaklık farkı için $40 \mu\text{V}$ ’luk voltaj üretir. α ’nın değeri $100 \mu\text{V} / ^{\circ}\text{C}$ ’dan büyük olan yarıiletkenlere, termoelektrik yarıiletkenler denir.

N tipi yarıiletken için α değeri negatif, P tipi yarıiletken için α değeri ise pozitiftir. Meydana gelen seebeck etki yarıiletkenlerde jeneratör gibi, metallerde ise termokupl veya ısı sensörü gibi kullanılır .



Şekil 2.1. Seebeck voltajı ’nin ölçümü

2.2. Peltier Etkisi

1834 yılında Fransız fizikçi Jean Charles Athanasa Peltier tarafından iki farklı yarıiletken malzeme üzerinden DC akım geçirilmesi ile akımın hareket ettiği yönde ısı hareketi oluşmasıyla keşfedilmiştir. Bu olaya Peltier etkisi denilmektedir [1]. Birleştirilen iki farklı yarıiletken malzemenin oluşturulan devre üzerinden doğru akım geçtiğinde, Jolue ısı ile birlikte birleşme noktasından ısı emilirken, diğer birleşme noktasından ısı açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan ısı miktarı, devreden geçirilen doğru akımla doğru orantılıdır;

$$Q_p = \pi I \quad (3)$$

Q_p : Birim zamanda transfer edilen ısı miktarı (W),

I: Devre üzerinden geçen doğru akım (A),

π : Peltier sabiti (V) dir.

$$\pi = \alpha T \quad (4)$$

α : Seebeck katsayısı ($\text{V} / ^{\circ}\text{C}$),

T: Mutlak sıcaklık' dır.

$$Q_p = \alpha T I \quad (5)$$

Dışarıdan verilen elektriksel güç, elektronların sistem içinde hareket etmeleri için gerekli enerjiyi sağlamakta ve böylece hareketlenen elektronlar değişen enerji düzeyleri arasında ilerlerken ısı transfer etmekte, başka bir deyişle ısı taşımaktadır [6].

Dışarıdan verilen elektriksel güç artırılırsa, hareketli elektron sayısı da artacağından soğuk yüzey ile sıcak yüzey arasındaki ısı transfer miktarı da artacaktır. Eğer akım yönü ters çevrilirse, bu işlem tersine işleyecek ve sıcak yüzeyle, soğuk yüzey kendi arasında yer değiştirecektir [4].

Joule etkisi ve Fourier Etkisi' den dolayı soğuk yüzey ile sıcak yüzey arasındaki sıcaklık değişimi aynı oranda olmamaktadır. Devre kararlı hale geldiğinde soğuk yüzeyden soğurabilen ısı miktarı, $Q_p = \alpha T I$ eşitliği ile bulunmaktadır. Buna ters yöndeki istenmeyen ısı kazançları aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$Q = \alpha T_H I - \frac{1}{2} I^2 R + K \Delta T \quad (6)$$

Q: Birim zamandaki ısı kazancı (W),
 T_H : Sıcak yüzey sıcaklığı (°C),
 T_C : Soğuk yüzey sıcaklığı (°C),
 $\alpha = \alpha_2 - \alpha_1$, Seebeck katsayısı (V / °C),
 I: Devre üzerinden geçen akım şiddeti (A),
 $R = R_1 + R_2$, Elektriksel direnç, (ohm),
 $K = K_1 + K_2$, Isıl iletkenlik (W / °C),
 $\Delta T = T_H - T_C$, Sıcaklık farkı (°C) dır.

Burada kullanılan yarıiletken malzemelerin elektriksel direnci aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$R_1 = \frac{\rho_1 L_1}{A_1} \quad R_2 = \frac{\rho_2 L_2}{A_2} \quad (7)$$

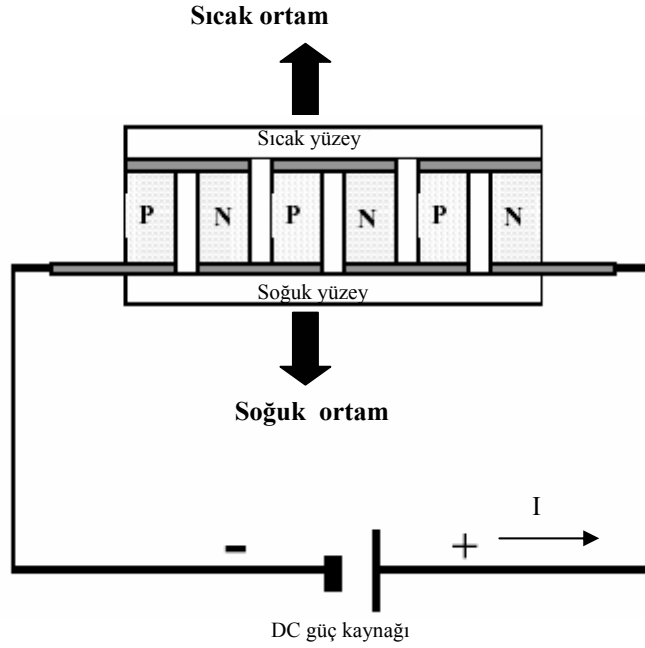
ρ : Malzemenin elektriksel iletkenliği (Ω cm),
 L: Malzemenin uzunluğu (m),
 A: Malzemenin alanı (m^2) dır.

Kullanılan yarıiletken ısıl iletkenliği ise aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$K_1 = \lambda_1 \frac{A_1}{L_1} \quad K_2 = \lambda_2 \frac{A_2}{L_2} \quad (8)$$

λ : Malzemenin iletkenlik katsayısı (W/m °C) dır [6].

Şekil 2.2 de görüldüğü gibi akımın yönüne göre birleşme noktalarının birinde ısınma, diğerinde de soğuma meydana gelmektedir.



Şekil 2.2. Peltier etkisi devresi

2.3. Thomson Etkisi

1856 yılında bulunan Thomson etkisi şöyle açıklanabilir. Akım taşıyan bir iletkenin uçları arasında sıcak farkı varsa akım yönüne göre jolue ısısına ek olarak Thomson ısısı açığa çıkmaktadır. Thomson ısısı akım şiddeti, sıcaklık farkı ve zaman doğru orantılıdır [5]. Ortaya çıkan Thomson ısısı;

$$Q_T = \tau \Delta T I \quad (9)$$

Q_T : Thomson ısısı (W),

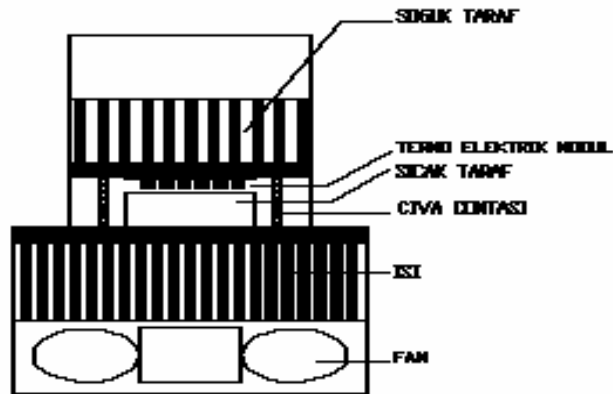
ΔT : İletkenin uçları arasındaki sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{C}$),

I : İletken üzerinden geçen akım şiddeti (A),

τ : Thomson katsayısı ($\text{V}/^{\circ}\text{C}$) dir [7].

3. DENEYSEL YÖNTEM

40mm x 40mm ve 4mm kalınlığındaki termoelektrik modül üzerine boyutları 50mm x 60mm x 50mm ölçülerinde galvanizli sacdan yapılmış ve dış ortamdan yalıtılmış bir kutu şekil 6'daki gibi montaj edilmiştir. Ayrıca termoelektrik modül'ün ısı açığa çıkan sıcak yüzeyinden ısıyı uzaklaştırma için 50mm x 50mm boyutlarında bir fan kullanılmıştır. Su sıcaklığı kutu üzerine 3mm çapında bir delik açılarak dijital termometrenin probunun su içine daldırılması ile ölçülmüştür.

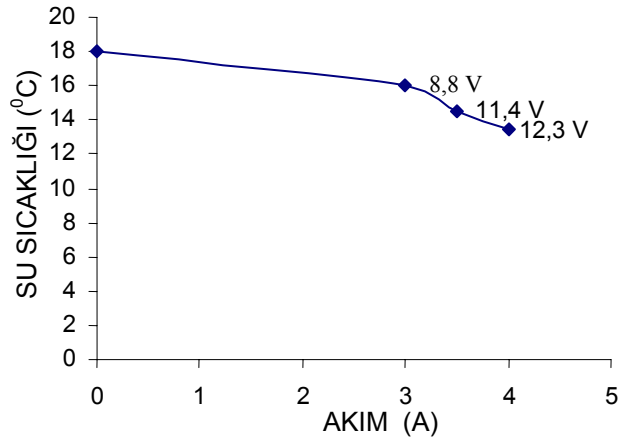


Şekil 3.1. Prototip termoelektrik soğutma sistemi

Termoelektrik modül fansız olarak 3A ile 4A akım arasında verilerek 18 °C olan suyun sıcaklığındaki değişme aşağıdaki tablo 1 de verilmiştir. 4A akım üzerinde akım verildiğinde modülün ısı çıkan yüzeyindeki sıcaklık uzaklaştırılmadığında sistem elektrik rezistansı gibi çalışmaktadır.

Tablo 3.1. Termoelektrik modülün fansız çalışmada ölçülen sonuçlar

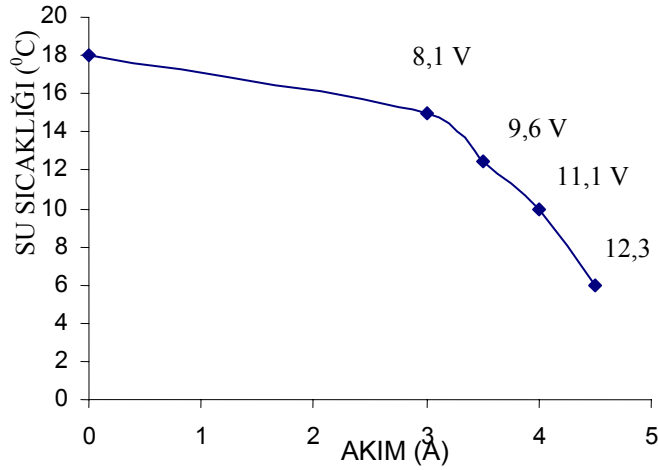
Akım (A)	Volt (V)	Su sıcaklığı °C (Tsu)	Zaman dak. (t)
0	0	18	0
3	8,8	16	3
3,5	11,4	14,5	6
4	12,3	13,5	9



Şekil 3.2. Akım su sıcaklığı ilişkisi (fansız çalışma)

Tablo 3.2 Termoelektrik modülün fansız çalışmada ölçülen sonuçlar

Akım (A)	Volt (V)	Su sıcaklığı °C (Tsu)	Zaman dak. (t)
0	0	18	0
3	8,1	15	3
3,5	9,6	12,5	6
4	11,1	10	9
4,5	12,3	6	12



Şekil 3.2. Akım su sıcaklığı ilişkisi

4. SONUÇ

Prototip olarak tasarlanan termoelektrik soğutma sistemi için uygun akım olan optimum akım bulunmuştur. Fazla akım verilmesiyle termoelektrik modül bir ısıtıcı rezistans gibi çalışmaktadır. Termoelektrik soğutma, soğutma süreci boyunca hareketli parçaların olmaması nedeni ile geleneksel buhar sıkıştırımlı kompresörlü soğutuculardan daha sessiz çalışmaktadır.

Ayrıca termoelektrik modül de açığa çıkan ısının sıcak yüzeyden, iyi bir ısı uzaklaştırıcı veya devre oluşturulup uzaklaştırılırsa, soğuk yüzey sıcaklığı daha düşük sıcaklığa ulaşacaktır. Soğutma sisteminin COP'si düşüktür ancak elektrik enerjisinin kolay sağlandığı ortamlarda kullanımı uygundur.

KAYNAKLAR

1. Yunus A. Çengel, Michael A. Boles “**Mühendislik Yaklaşımıyla TERMODİNAMİK**” s. 442, (1996).
2. A. Mzerd, F. Tchelibou, A. Sackda, ve A. Boyer, “**Bi₂ Te₃, Sb₂ Te₃ ve Bi_{0,1} Sb_{0,9} Te₃’ e dayalı olarak termal sensörlerin iyileştirilmesi, sensörler ve işleticiler** pp. 46 – 47 , (1995).
3. Sara Godfrey, Melcor Corporation “**An introduction to termoelectric coolers**” Articles september (1996).
4. FidanU., “Mikrodenetleyici kontrollü taşınabilir termoelektrik tıp kiti cihazı tasarımı ve uygulanması”, **G.Ü Fen Bil. Enst. Yüksek Lisans Tezi**, Ankara, 2000.
5. D. M. Rowe C. M. Bhandari “**Modern Thermoelectrics**” s.1-8 (1983).
6. Richard J. Buist and Paul G. Lau, “**Calculation of Thermoelectric Power Generation Performance Using Finite Element Analysis**”, Proceedings of the XVI International Conference on Thermoelectrics, August 26-29, Dresden, Germany, 1997.
7. ThomsonThomson, W., **On a mechanical theory of thermoelectric currents**, Proc.Roy.Soc.Edinburgh, 91-98, 1851