

TERMOELEKTRİK MODÜLÜN DİNAMİK ÇIKIŞ PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRMASI İÇİN YENİ BİR YÖNTEM

Raşit AHISKA

Elektronik-Bilgisayar Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500, Ankara
ahiska@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 11.09.2006; Kabul/Accepted: 13.02.2007)

ÖZET

Bu çalışmada termoelektrik modüllerin tüm çıkış parametrelerini araştırabilmek için yeni bir yöntem gerçekleştirilmiştir. Yeni yöntemin temelini çalışan bir modülün ürettiği termoemk'nın ölçülmesi oluşturur. Bu yöntemi kullanarak gerçek bir termoelektrik modülün sahip olduğu tüm dinamik parametrelerinin elde edilmesi için denklemler kurulmuştur. Bu yöntemle tıpta hastaların beyinlerinin soğutulması için tasarlanan termoelektrik kaskın yapımında kullanılan modülün yüksüz iken dinamik tüm parametreleri araştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Termoelektrik, dinamik parametre, termoelektrik modül.

NEW METHOD FOR STUDY DYNAMIC EXIT PROPERTIES OF THERMOELECTRIC MODULES

ABSTRACT

In this study a new method for searching all exit parameters of the thermoelectric module has been realized. The fundamental of the new method is measuring the thermoemf of a working module. The new method is used for deriving the equations in order to calculate all dynamic parameters of a real thermoelectric module. All dynamic parameters of the uncharged thermoelectric module, used in thermoelectric helmet designed to cool the brains of patients, are measured by the use of this new method.

Keywords: Thermoelectric, dynamic parameter, thermoelectric module.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Herhangi bir termoelektrik cihazın temelinde termoelementlerden oluşan bir modül bulunmaktadır. Bir termoelement; birbirine iletkenle seri bağlanmış n ve p tipi yarıiletkenlerden oluşur. Bunlar termoelementin negatif ve pozitif kollarıdır. Termoelementler de birbirine seri bağlanarak bir modülü oluştururlar. Bu nedenle bir termoelektrik cihazı tasarlamak için kullanılacak olan modüllerin tüm parametrelerinin önceden hesaplanması gerekir. Çünkü tasarlanacak cihaza göre modüller seçilir.

Bir yarıiletkenin mikroparametreleri ve bir modülün öz direnci, Seebeck katsayısı, ısı iletkenliği ve kalite katsayısı gibi değerleri birçok yöntemle ölçülebilmektedir [1-12]. Bu parametreleri kullanarak gerektiği takdirde bir modülün ısı çıkış

parametreleri de elde edilebilmektedir. Ancak bunlar modül çalışmaz durumda hesaplanmaktadır.

Modül çalışırken modülün içindeki yarıiletkenlerin mikroparametreleri değişmektedir. Bir modülün dinamik çıkış parametrelerinin elde edilebilmesi için modül çalışırken yarıiletkenlerin mikroparametrelerinin bulunması gerekmektedir. Modül çalışırken bu parametrelerin tayini çok zordur. Modülün dinamik mikroparametrelerini ölçmek için [13], çıkış parametreleri için ise [14] gösterilebilir. Makale [13]'te geliştirilen yöntem deneysel bir yöntem olup bir teoriyi içermemekte ve sadece modülü oluşturan yarıiletkenlerin mikroparametrelerinin ölçülmesini sağlamaktadır. Modülün çıkış ısı parametrelerinin tayini için bu yöntem yeterli değildir. Yarıiletkenlerin ve termoelektrik modülün dinamik tüm çıkış parametrelerinin ölçümünü sağlayan yeni bir yöntem

ortaya konulmuş, yöntemin teorisi açıklanmış ve ideal termoelektrik modülün araştırılmasında kullanılmıştır [14]. Bu çalışmada [14]'te geliştirilen yeni yöntemin geniş teorisi verilmiş ve termoelektrik kaskın yapımında kullanılan gerçek bir termoelektrik modülün dinamik özelliklerinin araştırılması gerçekleştirilmiştir.

2. YÖNTEM (METHOD)

Bir termoelektrik modülün soğuyan ve ısınan yüzeyindeki ısı denge denklemlerin genel şekli formül (1)'de görüldüğü gibidir [15,16].

$$Q_C = \bar{\alpha}IT_C - 0,5I^2R - K(T_H - T_C) - Q_L \quad (1)$$

$$Q_H = \bar{\alpha}IT_H + 0,5I^2R - K(T_H - T_C)$$

Burada, Q_C , watt olarak modülün soğuk yüzeyine gelen toplam ısı yükü, Q_H , watt olarak modülün ısınan yüzeyinden açığa çıkan toplam ısı miktarı, I modüle uygulanan akım şiddeti,

$$R = \left(\frac{1}{\sigma_n} + \frac{1}{\sigma_p} \right) \frac{h}{a} \quad \text{termoelementin direnci,}$$

$$K = (\lambda_n + \lambda_p) \frac{a}{h} \quad \text{termoelementin ısı iletkenlik}$$

katsayısı, α_n , σ_n , λ_n n tipi yarıiletkenin seebeck, iletkenlik, ısı iletkenliği katsayısı, α_p , σ_p , λ_p p tipi yarıiletkenin seebeck, iletkenlik, ısı iletkenliği katsayısı, h ve a yarıiletkenin yüksekliği ve kesit alanı, $\bar{\alpha} = (|\alpha_p| + |\alpha_n|)$ ise termoelementin toplam seebeck katsayısıdır. Ayrıca $(T_H - T_C) = \Delta T$ iken T_C ve T_H soğuyan ve ısınan yüzeylerin sıcaklığı, $Q_L = Q_{Rad} + Q_{Conv}$, watt olarak alınan toplam dış ısı yükü iken Q_{Rad} , watt olarak toplam radyasyon dış ısı yükü, Q_{Conv} watt olarak alınan toplam konveksiyon dış ısı yüküdür. Bir modülün tükettiği güç,

$$P = I^2R + \bar{\alpha}(T_H - T_C)I \quad \text{dır.} \quad (2)$$

Herhangi bir modülün ısı özelliklerini, Q_C 'nin yanı sıra performans katsayısı (COP) da karakterize etmektedir.

Bir modülün COP'u Q_C 'nin tüketilen P güce olan oranına denir [1].

$$COP = \frac{Q_C}{P} \quad (3)$$

Ayrıca bir modülün kalite katsayısı için aşağıdakiler yazılabilir [3]:

$$Z = \frac{\bar{\alpha}^2}{RK} \quad (4)$$

Verilen bu denklemler bir termoelektrik modülün ısı parametrelerinin hesaplanmasının temelini teşkil etmektedir [17 – 23].

Önerilen yeni yöntemin temelini de (1)-(4) eşitlikleri oluşturur. Fakat bu denklemler amaca ulaşmak için eşdeğer değişikliklere uğratılmaktadırlar. Bunun sonucunda termoelektrik modüllerin tüm ısı parametreleri sadece uygulanan I akımın ve üretilen E termoemk'sının ölçülmesiyle yapılabilmektedir.

Yüksüz çalışan bir ideal termoelektrik modül için $Q_L = 0$ iken $Q_C = 0$ olur. Sıcaklık farkı ΔT_{max} ' a ve soğuk yüzeyin sıcaklığı da T_{Cmin} eşit olacaktır. Bu durumda modülün çektiği akım I_{max} ve modülün üzerindeki voltaj V_{max} 'tır. Burada [16,19]'den

$$V_{max} = \bar{\alpha}T_H \quad (5)$$

olarak yazılır

Diğer taraftan maksimum gerilim [19]'e göre

$$V_{max} = I_{max}R + \bar{\alpha}\Delta T_{max} = I_{max}R + E_{max} \quad (6)$$

Burada

$$\bar{\alpha}\Delta T_{max} = \bar{\alpha}(T_H - T_{Cmin}) = E_{max} \quad (7) \text{ dir.}$$

Böylece

$$R = \frac{V_{max} - E_{max}}{I_{max}} \quad (8)$$

olarak bulunur.

Bu şartlar için ısı denge denklemi şu şekilde olacaktır:

$$\bar{\alpha}I_{max}T_{Cmin} - 0,5I_{max}^2R - K\Delta T_{max} = 0 \quad (9)$$

Ayrıca 7. denklemden

$$T_{Cmin} = T_H - \frac{E_{max}}{\bar{\alpha}} \quad (10)$$

olarak bulunur. Elde edilen (8). ve (10). ifadeleri 9. formülde yerine koyarsak

$$(V_{\max} - E_{\max})I_{\max} - 0,5(V_{\max} - E_{\max})I_{\max} = \left(\frac{KE_{\max}}{\bar{\alpha}}\right) \quad (11)$$

denklemini bulunur ve buradan da K

$$K = \frac{0,5\bar{\alpha}(V_{\max} - E_{\max})I_{\max}}{E_{\max}} = \frac{0,5V_{\max}(V_{\max} - E_{\max})I_{\max}}{T_H E_{\max}} \quad (12)$$

olarak yazılır.

Elde edilen (8), (12) eşitlikleri, (1)'de yerine yazılırsa ve $Q_L = 0$ kabul edilirse modülün Q_C değeri

$$Q_C = \bar{\alpha}T_C I - \frac{0,5I^2(V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - \frac{\bar{\alpha}\Delta T(V_{\max} - E_{\max})I_{\max}}{E_{\max}} \quad (13)$$

Biçiminde olur ve modülün termoemk'ası

$$E = \bar{\alpha} \Delta T = \bar{\alpha} (T_H - T_C) \quad (14)$$

olduğundan soğuk yüzeyin sıcaklığı

$$T_C = T_H - \frac{E}{\bar{\alpha}} \quad (15)$$

olur. (13) ve (15)'den Q_C bulunur,

$$Q_C = \bar{\alpha} \left(T_H - \frac{E}{\bar{\alpha}}\right) I - \frac{0,5I^2(V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - \frac{E(V_{\max} - E_{\max})I_{\max}}{E_{\max}} \quad (16)$$

Modülün ısınan yüzeyinin sıcaklığı T_H bu yüzeyden ısıyı atan ısı transfer sistemine bağlı olup genelde sabit tutulmaktadır. Çalışan gerçek bir modülün ısınan yüzeyinin sıcaklığı her zaman yaklaşık olarak ısı transfer sisteminde kullanılan maddenin sıcaklığına eşittir [17]. Modüle uygulanan akım şiddeti I ve ısı yük Q_C 'nin değerlerindeki değişimler T_H 'nin değerini çok az etkilediği için ilk yaklaşım olarak I_{\max} için kullanılan (5). formülü (16)'da kullanabiliriz. Bu durumda

$$Q_C = V_{\max} I - \frac{0,5I^2(V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - \left[I + \frac{0,5(V_{\max} - E_{\max})I_{\max}}{E_{\max}} \right] E \quad (17)$$

$$Q_H = V_{\max} I + \frac{0,5I^2(V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - \frac{0,5(V_{\max} - E_{\max})I_{\max} E}{E_{\max}}$$

şeklinde yazılabilir. Aynı şekilde modülün tükettiği gücü şöyle hesaplanabilir:

$$P = \frac{I^2(V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} + E I \quad (18)$$

Buradan modülün verimi,

$$\text{COP} = \frac{Q_C}{P} = \frac{V_{\max} I - \frac{0,5I^2(V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - \left[I + \frac{0,5(V_{\max} - E_{\max})I_{\max}}{E_{\max}} \right] E}{\frac{I^2(V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} + E I} \quad (19)$$

olur. Bunlara ek olarak modülün Z parametresi (5)., (8). ve (12). formüllere göre

$$Z = \frac{V_{\max} E_{\max}}{0,5(V_{\max} - E_{\max})^2 T_H} \quad (20)$$

şeklinde yazılabilir.

Soğuk ve sıcak yüzeylerin sıcaklıkları için (5.) ve (10.) eşitliklerine göre,

$$T_C = T_H \left(1 - \frac{E}{V_{\max}} \right) \quad (21)$$

yazılabilir. Bu ifadeye göre T_C sıcaklığını direkt ölçmeden, herhangi bir an için sadece T_H ve E 'yi ölçerek de bulabiliriz.

Elde edilen (8), (12), (13), (17) – (21) eşitlikleri, modülün çalıştığı andaki tüm parametrelerini vermektedir. Bu denklemleri kullanmak için I_{\max} , V_{\max} ve E_{\max} değerlerinin bulunması gerekmektedir. Bu değerler her bir modül için farklı olup modülün deneysel parametreleri olarak adlandırılabilirler. Ayrıca bu denklemleri kullanmak için T_C veya T_H

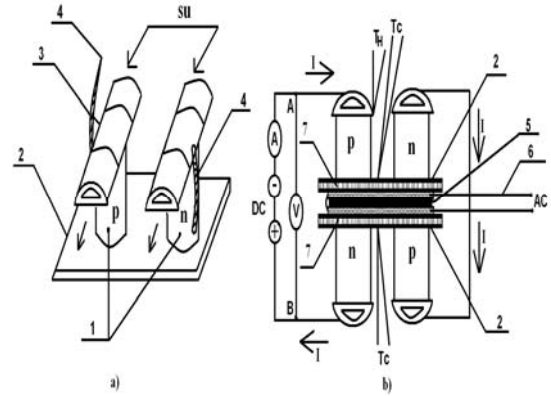
sıcaklıklardan birini doğrudan ölçmek gerekir. Burada V_{max} ve E_{max} modülü oluşturan termoelektrik yarıiletkenleri karakterize ettiği için bu parametreler yarıiletkenlerin geometrik özelliklerine bağlı değildir ve modülün makro büyüklüklerini oluştururlar [20]. Bu nicelikler çok büyük hassasiyetle kolayca ölçülebilirler.

Elde edilen (17) – (21) formülleri çalışan bir termoelementin veya bir termoelektrik modülün çıkış ısı parametrelerini ifade etmektedirler. Buradaki $Q_C = Q_C(I,E)$, $Q_H = Q_C(I,E)$, $P = P(I,E)$, $COP = COP(I,E)$, $T_C = T_C(I,E)$ fonksiyonların analitik ifadeleri uygulanan akım şiddetine ve termoelementin çalışma rejimine göre değişecektir.

3. ÖRNEK UYGULAMA (EXAMPLE PRACTISE)

Önerilen yöntemin pratik uygulaması olarak Avrupa’da incelenmiş ve Türkiye patenti alınmış Termohipoterm Tıp Cihazını oluşturan modüllerin dinamik özelliklerinin araştırılması yapılmıştır [24,25]. Cihazın termoelektrik kaskı 120 adet birbiriyle elektriksel olarak seri termal olarak ta paralel bağlanmış modüllerden oluşturulmuştur. Termohipoterm cihazın özelliklerini yeni yöntemle araştırmadan önce cihazda kullanılan modüllerin özellikleri araştırılmıştır. Bunun için dört adet modülden oluşan ve Şekil 1’deki şemada gösterilen özel bir ölçüm seti geliştirilmiştir. Deney setini oluşturan 4 adet modüller birbiriyle elektriksel olarak seri termal olarak ta paralel bağlanmıştır. Modüllerin soğuk yüzeyleri yüz yüze olup aralarında ısı yüklerini oluşturan bir ısıtıcı bulunmaktadır. Modüllerin soğuk yüzeyleri ile ısıtıcının arasına elektriği geçirmeyen silikon ısı transfer compaunt macunu konulmuştur. Bu macun modülleri elektriksel olarak ısıtıcıdan yalıtılmaktadır. Bununla beraber buradan gelen ısıyı homojen olarak dağıtmak için ince bakır levhalar kullanılmıştır. Soğuk ve sıcak yüzeyin sıcaklığını ölçmek için bakır levhalara K tipi termokuplları lehimlenmiştir. Bu sıcaklıkları doğrudan ölçmek için çift termokuplu CIE 307 model dijital termometre kullanılmıştır. Termoelektrik modüllere uygulanan akım Fluke 380 model multimetre ile ölçülmüştür. Aynı modelde ikinci multimetre modüller üzerindeki gerilimi ve bunların ürettiği termoemk’ayı ölçmek için kullanılmıştır. Ayrıca modülleri çalıştırmak için DC 0 – 50A’lık bir güç kaynağı kullanılırken ısıtıcıyı çalıştırmak için AC 0 – 50V’luk bir varyayak kullanılmıştır. Modüllerin ısınan yüzeylerini soğutmak için paralel seri olarak birbirleriyle bağlanmış boru kanallardan geçen sudan faydalanılmıştır. Su üstteki modüllerin borularına paralel girip alttakilerden paralel olarak çıkmaktadır. Şekil 1’deki düzeneği kullanarak modüllerin dinamik özelliklerinin araştırması önce yüksüz daha sonra ısıtıcıyı çalıştırarak yüklü yapılmaktadır.

Burada Şekil 1.a) tek bir modülün yapısını Şekil 1. b) ise 4 modülden oluşan deney setini göstermektedir. Ayrıca 1 – p ve n-tipi yarıiletkenler, 2 – bakır levalardan yapılmış modüllerin soğuk yüzeyleri, 3 - bakır borulardan yapılmış modüllerin sıcak yüzeyleri, 4 - modülün gerilim girişi için kullanılan çok telli bakır kabloyu, 5 – üzerine ısıtıcı telinin sarıldığı mikadan yapılmış levha, 6 - ısı yükü oluşturmak için ısıtıcının çıkışlarını, 7 – ısıyı homojen dağıtan ince bakır levhayı, T_C ve T_H - soğuk yüzeyin ve sıcak yüzeyin sıcaklığını ölçmek için bakır levhaya lehimlenmiş K tipi termokuplları, A ve V – ampermetre ve voltmetreyi göstermektedir.



Şekil 1. Modül araştırma setinin kesiti (Profile of the research set for the module)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (SYMPTOMS AND DISCUSSION)

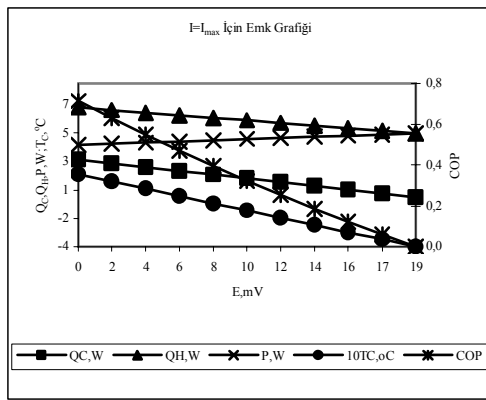
Deney kısmına geçmeden önce elde edilen (17) – (21) formüllerin analizi yapılmıştır. Bunun için deneyde kullanılan ve kolları $K = 36.10^{-3} \text{ W / } ^\circ\text{C}$, $Z = 1,8.10^{-3} / ^\circ\text{C}$, $\bar{\alpha} = 380 \mu\text{V / } ^\circ\text{C}$, ve $\rho = (1/900)\text{cm}\Omega$ 'e eşit mikroparametrelere sahip yarıiletkenlerden yapılmış, boyutları $h = 0,4 \text{ cm}$, $a = 0,5 \text{ cm}^2$ ve $R = 2\rho h/A = 0,00222\Omega$ olan tek bir termoelementi ele alalım. Modülün parametrelerini hesaplamadan önce T_{Cmin} rejiminde termoelementin V_{max} , E_{max} ve I_{max} gibi çıkış parametreleri elde edilir. İdeal bir modül için $Q_C = 0$ ve $I = I_{max}$ olduğunda $T_C = T_{Cmin}$ olur. Ayrıca [19]'e göre

$$T_{Cmin} = \frac{\sqrt{1 + 2ZT_H} - 1}{Z} \quad (23)$$

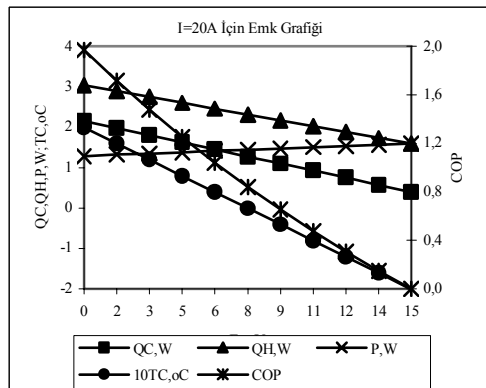
Modüllerin sıcak yüzeyindeki sıcaklık 16°C veya $T_H = 273 + 16 = 289\text{K}$ olduğundan $T_{Cmin} = 238\text{K}$ veya -35°C olur. Buradan $\Delta T_{max} = 51$ olarak bulunur. Bu durumda (5), (7), (8), (12) ve (20)'e göre $V_{max} = \bar{\alpha} T_H = 0,10982\text{V}$, $E_{max} = \bar{\alpha} \Delta T_{max} = 0,01938\text{V}$, $I_{max} = (V_{max} - E_{max}) / R = 40,7 \text{ A}$, $K = 36.10^{-3} \text{ W / } ^\circ\text{C}$

$^{\circ}\text{C}$ ve $Z = 1,8 \cdot 10^{-3} / ^{\circ}\text{C}$ olarak elde edilir. Ayrıca (21)'e göre $T_{\text{Cmin}} = 238\text{K}$ veya -35°C iken $\Delta T_{\text{max}} = 51$ olur ve $Q_{\text{Cmax}} = 2,63\text{W}$ olarak bulunur. Buradan; kullanılan yarıiletkenlerin K ve Z değeriyle hesaplanan değerler aynı olduğu gibi iki farklı yöntemle hesaplanan T_{Cmin} ve ΔT_{max} değerleri de aynı olmuştur.

Yeni yöntemin temeli oluşturan (17) – (21) denklemleri kullanarak farklı rejimlerde ve farklı akımlarda çalışan ideal tek termoelement için elde edilen ısıl parametrelerinin emk'ya göre değişim grafikleri Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmiştir. Burada örnek olarak $I = I_{\text{max}} = 40,7\text{A}$ ve $I = 20\text{A}$ için grafikler verilmiştir.



Şekil 2. $I=I_{\text{max}}$ için ideal termoelementin ısıl parametrelerinin emk'ya göre değişimi (The alteration of thermal parameters of an ideal thermoelement to thermoemf while $I=I_{\text{max}}$)



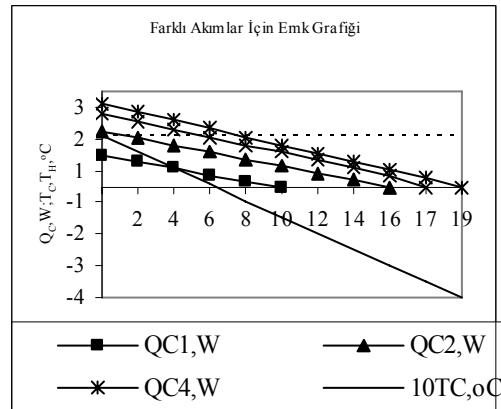
Şekil 3. $I=20\text{A}$ için ideal termoelementin ısıl parametrelerinin emk'ya göre değişimi (The alteration of thermal parameters of an ideal thermoelement to thermoemf while $I=20\text{A}$)

İki şekilde de $E = 0$ ekseninde bulunan değerler termoelementin Q_{Cmax} rejimini ifade ederken $E = E_{\text{max}}$ ekseninde bulunan değerler $T_{\text{C}} = T_{\text{Cmin}}$ rejimine ait değerleri göstermektedir. Görüldüğü gibi Q_{Cmax} rejiminde $E = 0$, $Q_{\text{C}} = Q_{\text{Cmax}}$, $Q_{\text{H}} = Q_{\text{Hmax}}$, $P = P_{\text{min}}$, $\text{COP} = \text{COP}_{\text{max}}$ ve $T_{\text{C}} = T_{\text{H}}$ iken, T_{Cmin} rejiminde $E = E_{\text{max}}$, $Q_{\text{C}} = 0$, $Q_{\text{H}} = Q_{\text{Hmin}}$, $P = P_{\text{max}}$, $\text{COP} = 0$, $T_{\text{C}} =$

T_{Cmin} ve $Q_{\text{Hmin}} = P_{\text{max}}$ dır. Ayrıca grafiklerden de görüldüğü gibi akım şiddeti azaldığında COP'n değeri artmaktadır. Tabii ki, buradaki sonuçlar sadece örnek olarak seçilen akımları için değil tüm akımları içinde geçerlidir.

Şekil 4'de $I = 10\text{A}$, 20A , 30A ve $I = I_{\text{max}} = 40,7\text{A}$ için $Q_{\text{C}} = Q_{\text{C}}(E)$, $T_{\text{C}} = T_{\text{C}}(E)$ fonksiyonların grafikleri gösterilmiştir.

Şekil 4'te görüldüğü gibi T_{Cmin} rejiminde ($Q_{\text{C}} = 0$ ve $E = E_{\text{max}}$ olduğunda) $Q_{\text{C}}(E)$ grafiklerin E eksenine keşiştiği noktalar 10A , 20A , 30A ve $40,7\text{A}$ 'deki modülün ürettiği E_{max} değerini vermektedir. Aynı şekilde Q_{Cmax} rejiminde ($E = 0$, $T_{\text{C}} = T_{\text{H}}$ olduğunda) $Q_{\text{C}}(E)$ grafiklerin Q_{C} eksenine keşiştiği noktalar 10A , 20A , 30A ve $40,7\text{A}$ 'deki modülün üretebileceği maksimum soğutma gücü olan Q_{Cmax} değerini göstermektedir.

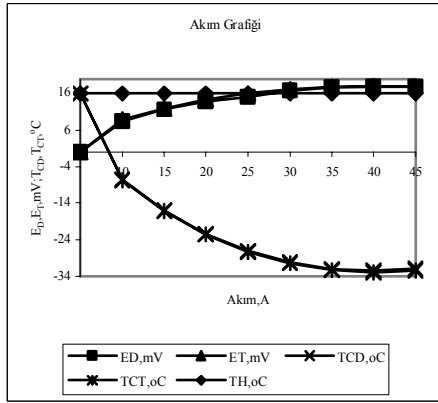


Şekil 4. İdeal termoelement için ısıl yük ve T_{C} 'nin emk'ya göre değişimi (The alteration of thermal load and T_{C} to thermoemf for an ideal thermoelement)

Ayrıca Şekil 4'teki $Q_{\text{C}}(E)$ ve $T_{\text{C}}(E)$ grafiklerin lineer olması bu grafiklerden veya analitik formüllerinden faydalanarak herhangi bir akımda çalışan bir modülün ürettiği emk'yi ölçerek modüle gelen ısıl yükü ve soğuyan yüzeyinin sıcaklığı ölçülebilmektedir. Benzer şekilde $Q_{\text{H}} = Q_{\text{H}}(E)$, $P = P(E)$ ve $\text{COP} = \text{COP}(E)$ lineer fonksiyonlarını kullanarak çalışan bir modülün tüm parametreleri elde edilebilir.

Araştırma 21°C oda sıcaklığında yapılmıştır. Deneyler modül yüksüzken yapılmıştır. Bunun için modüllerin üzerine pamuk konularak tam ısıl yalıtım sağlanmıştır. Modülün özellikleri sadece $T_{\text{H}} = 16^{\circ}\text{C}$ rejiminde incelenmiştir. Böylece modülün ısınan yüzeyindeki sıcaklık 16°C sabit tutulmuştur. Bunun için Şekil 1'de gösterilen borulardan deney süresince devamlı çeşme suyu akıtılmıştır. Buradaki sıcaklık T_{H} termokupla kontrol edilmiştir. Modülün I_{max} , V_{max} ve E_{max} değerini bulmak amacıyla farklı akımlar

uygulanarak soğuyan yüzeyin T_{Cmin} değerleri tespit edilmiştir. Bu sıcaklıklar Şekil 1’de gösterilen T_C termokupla ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre $T_{Cmin} = -32^{\circ}C$, tek modül için $I_{max} = 40A$, $V_{max} = 0,107V$ ve $E_{max} = 0,018V$ olarak ölçülmüştür. Modüllerin ürettiği E_{max} değerini bulmak için sisteme uygulanan maksimum gerilim kesilmiş ve o andaki voltaj kayıt edilmiştir. Eğer (21)’e göre T_{Cmin} hesaplırsak $T_{Cmin} = -33^{\circ}C$ olarak bulunur. Görüldüğü gibi (23)’e göre hesaplanan değer (21)’e göre hesaplanan değerden sadece $2^{\circ}C$ fazla olup direk ölçülen değerden sadece $1^{\circ}C$ azdır. Bunların nedenini ölçümlerin hassasiyetine ve modülün yalıtımının tam olmamasına bağlayabiliriz. Ancak sıcaklıklardaki bu farklılıklar kabul edilebilir değerlerdedirler ve bunları daha hassas ölçümlerle ve daha iyi bir yalıtımla ortadan kaldırılması mümkündür. Modülün farklı akımlarda direk ölçülen, E ve T_C gibi çıkış parametreleri geliştirilen modellerle hesaplanan değerlerle kıyaslamak için $Q_C = 0$ kabul ederek (23) ve (21)’deki formüller kullanılmıştır. Sonuçlar Şekil 5’de gösterilmiştir.



Şekil 5. Deneysel ve teorik çıkış parametreleri akıma göre değişimi (The variation of theoretical and experimental external parameters to the current)

Şekil 5’deki deneysel (D indisli değerler) ve teorik (T indisli değerler) sonuçların birbirine yakın olması modülün özelliklerinin geliştirilen modellerle incelemesini sağlamıştır. Ayrıca deneysel sonuçların az da olsa teorik sonuçlardan düşük çıkmasına neden olarak deney esnasında termoelektrik modülün tam olarak izole edilmemesi gösterilebilir. Başka bir deyişle yalıtıma rağmen modüle gelen toplam ısı yük sıfırdan farklı olduğu söylenebilir. Buna karşın geliştirilen yeni yöntem bu yükün bile ölçülebilmesini sağlamaktadır. Deneysel olarak elde edilen $I_{max} = 40A$, $V_{max} = 0,107V$ ve $E_{max} = 0,018V$ değerlerini kullanarak önce gereken formüller oluşturulmuş ve daha sonra çıkış parametreleri hesaplanmıştır. Aşağıda hesaplanan formüller ve elde edilen sonuçlar Tablo 1’de gösterilmiştir.

Burada

$$Q_C = 0,107I - 0,0011I^2 - (I + 98,89)E \quad (24)$$

$$Q_H = 0,107I + 0,0011I^2 - 98,89E$$

$$P = 0,0022I^2 + E I \quad (25)$$

$$COP = \frac{Q_C}{P} = \frac{0,107I - 0,0011I^2 - (I + 98,89)E}{0,0022I^2 + E I} \quad (26)$$

$$T_C = 289(1 - 9,35E) \quad (27)$$

ve

$$E = \frac{0,107I - 0,0011I^2}{(I + 98,89)} \quad (28)$$

olarak alınmıştır.

Tablo 1. Modülün ısı yükünün akıma göre hesaplanması

I, A	E_D, mV	Q_C, W	P, W	COP	Q_H, W
0	0,0	0	0	0	0
10	8,5	0,03	0,3	0,096	0,3
15	11,6	0,04	0,7	0,054	0,7
20	13,8	0,06	1,2	0,051	1,2
25	15,0	0,13	1,8	0,074	1,9
30	16,8	0,05	2,5	0,022	2,5
35	17,7	0,03	3,3	0,008	3,3
40	18,0	0,02	4,2	0,005	4,3
45	17,9	0,01	5,3	0,002	5,3

Tüm akımlarda $Q_C = 0$ olması gerekirken Tablo 1’de de görüldüğü gibi $Q_C \neq 0$ olmuştur. Bu modülün yalıtılmasına rağmen dışardan bir miktar ısı yükün gelmesinden dolayı olabilir. Farklı akımlardaki bu yükün değeri de Tablo 1’de gösterilmiştir. Böylece deneyde kullanılan termoelektrik modül için elde edilen (24) – (28)’deki denklemleri kullanarak herhangi bir akım için modülün tüm parametrelerini kolayca bulabilir.

Ayrıca deneyde ölçülen I_{max} , E_{max} ve V_{max} değerleri kullanarak (8), (12), (20) ve (21)’den modülün R, K, Z ve Q_{Cmax} gibi büyüklüklerin dinamik parametreleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre $R = 0,0022\Omega$, $K = 36,6 \cdot 10^{-3} W / ^{\circ}C$, $Z = 1,68 \cdot 10^{-3} / ^{\circ}C$ ve $Q_{Cmax} = 1,78W$ olmuştur.

Tek bir ideal termoelementen gerçek termoelemente veya termoelektrik modüle veya termoelektrik sistem ve cihazlara geçirildiğinde kullanılan lehimler, modülerin yapısal özellikleri ve üretim süreçlerindeki teknolojik faktörleri, ideal termoelement için öngörülen parametrelerinde bir düşüşe neden olmaktadır [18]. Buna ek olarak çalışan modüle etki eden iç mekanizmaların ortaya çıkması da parametreleri düşürecektir. Burada öne çıkan en önemli parametre Z 'dir. Deneyde elde edilen Z 'nin teorik değerinden daha küçük çıkmasını bu nedenlerle açıklanabilir. Ancak deneysel ve teorik değerlerin birbirine yakın olması termoelektrik kaskın yapımında kullanılan modülün iyi olduğunu göstermektedir.

5. SONUÇ (RESULTS)

Bu çalışmada gerçek bir termoelektrik modülün veya bir termoelektrik cihazın tüm dinamik parametrelerinin ölçülmesini sağlayan yeni yöntem geliştirilmiştir. Yeni yöntemi kullanarak çalışan gerçek bir termoelektrik modülün tüm parametrelerinin hesaplanması için özel denklemler kurulmuştur. Yeni yöntemin örnek uygulaması olarak termoelektrik kaskı oluşturan modüllerin incelemesi seçilmiştir. Sadece termoemk ve akım ölçülerek yüksüz çalışan modülün tüm parametreleri elde edilmiştir. Yeni yöntemle hesaplanan sıcaklıklarla direkt sıcaklıklar çok yakın çıkmıştır. Ayrıca klasik ve yeni yöntemle hesaplanan tüm parametreler de birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Geliştirilen yeni yöntem, çok pratik ve etkin bir yöntemdir. Çünkü yeni yöntemle bir modülün dinamik ısı ve elektriksel özelliklerini araştırmak için çalışan modülün çektiği I akımı, uçlarında düşen V gerilimi, ürettiği E 'nin ve herhangi bir yüzeyindeki sıcaklığının ölçülmesi yeterlidir. Maliyet bakımından bu yöntemin çok uygun olduğu tartışılmazdır. Bu üç büyüklüğün ölçülmesi mevcut olan ölçüm tekniklerle çok kolay ve çok büyük bir hassasiyetle yapılabilir. Ayrıca elde edilen formüller çalışan bir modülün dinamik parametrelerini karakterize etmekle birlikte modülerin ve bu modüllerden yapılan cihazların üretiminde kullanılan yapısal yöntemlerin ve malzemelerin kalitesinin bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu çalışma BAP projesi olarak Gazi Üniversitesince desteklenmektedir. Proje No: 07 / 2006 -07

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Harman T. C., 1958, Special Techniques for measurement of thermoelectric properties, **J. Appl. Phys.**, vol 29, pp 1373-1379.

2. Heylen A. E. D., Figure of Merit determination of Thermoelectric Modules, **Energy Conversion**, vol 15, pp 65-70, 1975.
3. Buist R J, 1995 Methodology for testing thermoelectric materials and devices **CRC Handbook of Thermoelectrics** ed D M Rowe (Florida: CRC Pres. Inc) pp 189-209.
4. Gao Min, Rowe D M, "2001 A novel principle allowing rapid and accurate measurement of a dimensionless thermoelectric figure of merit", **Measurement of Science and Technology**, vol 12, pp 1261-1262.
5. Summasekera G U, "Grigorian L, Eklund P C, 2000 Low-Temperature thermoelectrical power measurement using analogue subtraction", **Measurement of Science and Technology**, vol 11, pp 273-277.
6. Goldsmid H J, 1986 A simple technique for determining the Seebeck coefficient of thermoelectric materials **Journal of Physics E: Scientific Instruments**, vol 19, pp 921-922
7. Waclawek W and Zabkowska M, 1981 Apparatus for the measurement of thermoelectrical properties **Journal of Physics E: Scientific Instruments**, vol 14, pp 618-620.
8. Crueq A and Degols L, 1972 A new method for the measurement of the thermoelectric power of sintered semiconductors **Journal of Physics E: Scientific Instruments**, vol 5, pp 81-83.
9. Buist R J 1992 **11th International Conference on Thermoelectric** (October 7-8, Arlington TX USA) p 57.
10. Xuan X C, 2003 Investigation of thermal contact effect on thermoelectric coolers **Energy conversion and management**, vol 44, pp 399-410.
11. Gao Min and Rowe D M 2000 Energy Convers.Mgmt. Improved model for calculating the coefficient of performance of a Peltier module **Energy conversion and management**, vol 41, pp 163-171.
12. Xuan X C, Ng K C, Yap C, Chua HT, "2002 A general model for studying effects of interface layers on thermoelectric devices performance", **International Journal of Heat and Mass Transfer**, vol 45, pp 5159-5170.
13. Daniel Mitrani, "José Antonio Tomé, Jordi Salazar, Methodology for Extracting Thermoelectric Module Parameters", **IEEE Transactions On Instrumentation And Measurement**, Vol. 54, No. 4, 2005, pp. 1548 - 1552.
14. Ahıska R., The study of thermoemf effect on exit parameters of thermoelectric modules, International Conference "Fizika – 2005", 7-9 June, Baku, Azerbaijan, 33, 144-148, 2005.

15. Ioffe A F, 1960 Polucenie holoda **Poluprovodnikovie Termolementı** ed P V Gultef (Moskov: Moskov Pres.) pp 56-64.
16. Kin-ichi U, 1995 Commercial Peltier Modules **CRC Handbook of Thermoelectrics** ed D M Rowe (Florida: CRC Pres. Inc) p 621-631.
17. Svetkov Y N etc.1972 Sudavie Thermoelectricitks Ahlajdayuşıye Ustroystva Leningrad Pres.
18. Pokorni E G etc 1969 Rascot Thermoelectricitks Ahlajdayuşıye Ustroystva Leningrad Pres.
19. Vayner A P 1976 Kaskatniye Thermoelektricheskie Istochniki Holoda ed I M Volkava (Moskov: Moskov Pres.) pp 6-18.
20. Melcor Katalog 2002 Thermoelectric Coolers 1040 Spruce Street Trenton NJ 08648 USA, <http://www.melcor.com> homepage of Melcor, USA.
21. Marlow Katalog 2001 Thermoelectric Design Guide 10451 Vista Park Road Dallas Texas 75238-1645 USA, <http://www.marlow.com> homepage of Marlow, USA.
22. Nadiregil, S., M., Esnek Termoelektrik Tıp Cihazların Tasarımı, Yapılması ve Isıl Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, **Azerbaycan Bilimler Akademisi Fizik Enstitüsü**, 1980.
23. Huang B J, Chin C J, Duang C L, 2000 A design method of thermoelectric cooler **International Journal of Refrigeration** vol 23, pp 208-218.
24. Ahıska R 1993, Organizmayı Sıcaklıkla Etkilemek İçin Termoelektrik Cihazı, **EP Patent** No: 26708 Turkey.
25. Kapıdere M, Ahıska R and Guler I **BIYOMUT 2002 National Meeting on Biomedikal** Engin. (May 31- June 1, İstanbul, Turkey) p 209.