



Üç ayrıık ölçüme dayalı parabol algoritması ile termoelektrik modülün I_{max} , V_{max} ve E_{max} parametrelerinin belirlenmesi

Serkan Dışlitaş^{1*}, Raşit Ahıska²

¹Hitit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 19030, Çorum, Türkiye

²Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 06500, Ankara, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Üç ayrıık ölçüme dayalı termoelektrik parabol algoritması
- Parabol algoritması ile termoelektrik modül parametrelerinin belirlenmesi
- Yeni parabol algoritmasının termoelektrik performans analiz sistemine (TEPAS) uyarlanması

Makale Bilgileri

Geliş: 24.10.2015

Kabul: 12.05.2016

DOI:

10.17341/gummfd.61874

Anahtar Kelimeler:

Termoelektrik modül,
parabol algoritması,
test sistemi

ÖZET

Termoelektrik (TE) modüllerin performansının belirlenmesi amacıyla çeşitli metotlar geliştirilmiştir. Bunlardan biri de Ahıska vd. tarafından geliştirilen sıcaklık, akım ve gerilim gibi kolaylıkla ölçülebilir parametreleri temel alan metottur. Bu metoda göre; TE modülün ısı ve elektriksel performansını belirlemek için öncelikle I_{max} , V_{max} ve E_{max} parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Klasik olarak TE modülün bu parametrelerini belirlemek için çok sayıda ölçüm yapılması gerekmektedir ve ayrıca her ölçümde ısı dengenin sağlanması beklendiğinden bu yöntem aşırı zaman almaktadır. Bu çalışmada; TE modül ve sistemlerin I_{max} , V_{max} ve E_{max} parametrelerinin daha hızlı bir şekilde belirlenmesi için üç ayrıık ölçüm ve parabol hesaplarına dayanan yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen yeni parabol algoritması, önceden geliştirilmiş olan Termoelektrik Performans Analiz Sistemi (TEPAS)'ne uyarlanmıştır. Yeni parabol algoritmasını temel alan test sisteminin performansının belirlenmesi amacıyla, Melcor CP1.4-127-10 model TE modül kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Geliştirilen yeni parabol algoritması yöntemi ile elde edilen parametrelerin klasik yöntemle göre bağıl hata payları ΔT_{max} için %0,3, I_{max} için %1, V_{max} için %0,8 ve E_{max} için %2,9 olarak bulunmuştur. Sonuç olarak; TE modül ve sistemlerin I_{max} , V_{max} ve E_{max} parametrelerinin parabol algoritmasına dayanan yeni yöntemle kısa sürede ve doğru olarak elde edilebileceği anlaşılmıştır.

Determination of the parameters I_{max} , V_{max} and E_{max} of thermoelectric module using parabola algorithm based on three discrete measurements

H I G H L I G H T S

- Thermoelectric parabola algorithm based on three discrete measurements.
- Determination of the thermoelectric module parameters using parabola algorithm
- Adaptation of new parabola algorithm to thermoelectric performance analysis system (TEPAS)

Article Info

Received: 24.10.2015

Accepted: 12.05.2016

DOI:

10.17341/gummfd.61874

Keywords:

Thermoelectric module,
parabola algorithm,
test system

ABSTRACT

Different methods have been developed for determining the performances of thermoelectric (TE) modules. One of them is a method, developed by Ahıska et al., based on certain parameters measured easily such as temperature, current and voltage. According to this method, in order to determine the performance of a thermal and electrical of TE module, firstly it is necessary to determine the parameters I_{max} , V_{max} and E_{max} . For this purpose, a large number of measurements are used in the determination of the parameters of TE module conventionally. Therefore, this procedure requires extensive time to obtain the expected thermal stability. In this study, a new algorithm is developed based on parabola calculations in order to determine the parameters I_{max} , V_{max} and E_{max} of TE modules and systems by less measurement in shorter time. The new parabolic algorithm was adapted to thermoelectric performance analysis system (TEPAS) that was developed previously. In order to determine the performance of the test system based on the new parabolic algorithm, experimental studies were made using Melcor CP1.4-127-10 model. Relative error rates of obtained parameters using new parabola algorithm with respect to classical method are ΔT_{max} to 0.3%, I_{max} to 1%, V_{max} to 0.8% and E_{max} to 2.9%. As a result; it is understood that the parameters I_{max} , V_{max} and E_{max} of TE module can be obtained correctly and in a shorter time using this new method based on parabola algorithm.

* Sorumlu Yazar/Corresponding author: serkandislitas@hitit.edu.tr / Tel: +90 364 223 0800 - 3452

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Termoelektrik (TE) sistemlerin temelinde soğutma ve elektrik üretimi amaçlı olarak kullanılan TE modüller yer almaktadır. TE modüller iki seramik tabaka arasında elektriksel olarak birbirine seri, ısıl olarak birbirine paralel olacak şekilde bağlantılı P ve N tipi yarıiletkenlerinden oluşmaktadır. TE modül ve sistemler bilim ve mühendisliğin birçok alanında kullanılmaktadır. TE sistemler, genel olarak TE modül katalog verileri ve performans eğrileri dikkate alınarak tasarlanmaktadır. Yıllardır TE modül ve sistemlerin performans analizinin yapılmasına yönelik klasik metotları kullanan çeşitli sistemler geliştirilmiştir. Harman 1958 yılında, TE madde özelliklerinin ölçülmesi için özel teknikler geliştirmiştir [1]. Goldsmid 1986 yılında, TE maddelerin Seebeck katsayılarının belirlenmesi için hızlı potansiyometrik ölçüme dayalı basit bir teknik geliştirmiştir [2]. Buist 1995 yılındaki çalışmasında, TE madde ve aygıtlara yönelik Transient test yöntemi üzerinde durmuştur [3]. Min ve Rowe, 2001 yılındaki çalışmalarında TE kalite katsayısının (Z - figure of merit) hızlı ve doğru olarak ölçülmesine yönelik yeni bir yöntem geliştirmiştir [4]. Cheng ve arkadaşları, 2014 yılında otomobil egzozlarındaki atık ısıdan elektrik üretimine yönelik Bi₂Te₃ tabanlı TE modülün performans tahmini ve testi üzerine bir çalışma yapmıştır [5]. Zu-Guo Shen ve arkadaşları 2015 yılında halka şeklindeki termokuplun performans analizi üzerine teorik bir çalışma yapmıştır [6]. Shen ve arkadaşları, 2015 yılındaki çalışmalarında TE ürünlerin tasarlanması için gerçek çalışma şartlarına uygun TE modülün seçimi için yeni bir yöntemi ele almıştır [7]. Gerçek bir TE modülün çalışma esnasındaki ısıl ve elektriksel çıkış parametrelerinin belirlenmesi ve bu parametrelere etki eden faktörlerin araştırılabilmesi, hem bilimsel çalışmalar açısından hem de TE sistemlerin tasarlanıp test edilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Ancak temeli geleneksel yöntemlere dayanan test sistemleri bu konuda yetersiz kalmaktadır. Bu ihtiyaçtan dolayı, Ahıska vd. tarafından sıcaklık, akım ve gerilim gibi kolaylıkla ölçülebilir parametrelere dayanan bir yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemde TE modülün Q_C, T_C, COP, P, Z, K, R çıkış parametrelerinin belirlenebilmesi için hem I_{max}, V_{max} ve E_{max} parametre değerlerinin hem de T_C veya T_H sıcaklıklardan birinin doğrudan ölçülmesi gerekmektedir. Bu yöntemde göre; formüllerde klasik yöntemde kullanılan TE yarıiletkenin k ısıl iletkenlik, α Seebeck katsayısı, ρ öz direnç gibi parametrelerin yerine I_{max}, V_{max} ve E_{max} deneysel parametreler kullanılmaktadır. TE modülün performansını etkileyecek iç ve dış bütün faktörlerin toplam etkileri çalışır durumdaki modülden doğrudan ölçülerek elde edilen V_{max}, I_{max} ve E_{max} parametrelerinin kullanılmasına dayanan bu yöntemle otomatik olarak hesaba katılmaktadır [8, 9]. Çalışan gerçek bir TE modülün I_{max}, V_{max} ve E_{max} parametrelerinin bulunabilmesi için; belirlenen aralık ve artışta TE modüle uygulanan I ve V giriş parametresine bağlı olarak ΔT ve E değişimlerinin ölçülmesi gerekmektedir. Elde edilen ölçümler sonucunda maksimum ΔT değerinin elde edildiği

I, V ve E ölçümleri TE modülün I_{max}, V_{max} ve E_{max} parametreleri olarak belirlenmektedir. Bu şekilde parametrelerin belirlenmesi işleminde her ölçüm esnasında sistemde ısıl dengenin sağlanması beklenmektedir. Soğutma ve çevresel faktörler nedeniyle özellikle yüksek akımlarda ısıl dengenin sağlanmasının zorlaşması sebebiyle ölçüm işlemleri uzun zaman almaktadır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Parabol Hesabı (Parabola Calculation)

Eş. 1'de görülen ikinci dereceden bir değişkenli (kuadratik) fonksiyonun grafiğinin gösterdiği eğriye parabol adı verilmektedir. Eğer a < 0 ise parabolün bir tane tepe noktası vardır ve ayrıca aşağı doğru X eksenini iki farklı noktada kesen kolları mevcuttur. Bu şekildeki parabol ters parabol olarak adlandırılmaktadır. Ters parabolün tepe noktasının koordinatları veren T(r, k) ise Eş. 2'den yararlanılarak elde edilebilmektedir. Üç noktasının koordinatları bilinen parabolün a, b ve c katsayıları ise Eş. 3'te ifade edilen Cramer yöntemiyle hesaplanabilmektedir [10, 11].

$$f(x) = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

$$r = -\frac{b}{2a} \quad k = \frac{4ac - b^2}{4a} \quad (2)$$

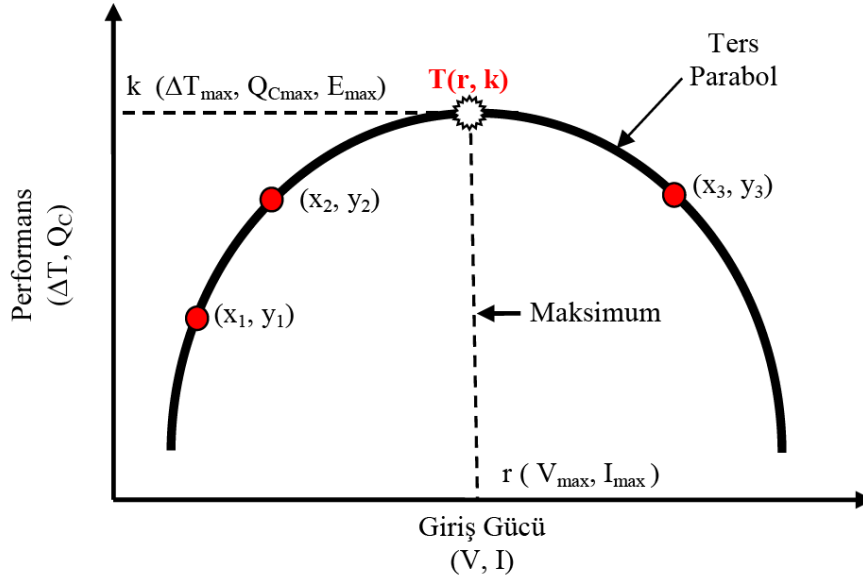
$$\begin{cases} y_1 = ax_1^2 + bx_1 + c \\ y_2 = ax_2^2 + bx_2 + c \\ y_3 = ax_3^2 + bx_3 + c \end{cases} \quad \begin{bmatrix} x_1^2 & x_1 & 1 \\ x_2^2 & x_2 & 1 \\ x_3^2 & x_3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} x_1^2 & x_1 & 1 \\ x_2^2 & x_2 & 1 \\ x_3^2 & x_3 & 1 \end{vmatrix} \quad (3)$$

$$a = \frac{\begin{vmatrix} y_1 & x_1 & 1 \\ y_2 & x_2 & 1 \\ y_3 & x_3 & 1 \end{vmatrix}}{\Delta} \quad b = \frac{\begin{vmatrix} x_1^2 & y_1 & 1 \\ x_2^2 & y_2 & 1 \\ x_3^2 & y_3 & 1 \end{vmatrix}}{\Delta} \quad c = \frac{\begin{vmatrix} x_1^2 & x_1 & y_1 \\ x_2^2 & x_2 & y_2 \\ x_3^2 & x_3 & y_3 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

2.2. Yeni Parabol Algoritması (The New Parabola Algorithm)

TE modüller için DC giriş parametrelerine bağlı olarak ΔT ve Q_C çıkış performans eğrileri Şekil 1'de görüldüğü gibi ters parabol şeklindedir. Bu parabol eğrisi her TE modül için farklıdır. TE modül T_{Cmin} rejiminde (Q_L = Q_C = 0) iken karakteristik akım değeri (I_{max}) için maksimum sıcaklık farkı (ΔT_{max}) elde edilmektedir. Bu durumda TE modülün soğuk yüzeyinden birim zamanda soğurulan maksimum ısıl yük (Q_{Cmax}) değerine ulaşılmaktadır. Ayrıca TE modül uçlarındaki gerilim V_{max} ve ürettiği termoelektrik E_{max} olarak



Şekil 1. TE modülün giriş gücüne bağlı performans değişimi (The performance change versus the input power of TE module)

ifade edilmektedir. TE modüle uygulanan akım değeri I_{max} 'ın üstüne çıktıkça, Joule ısısı Peltier ısısına göre daha çok artmakta ve soğutma etkisi azalmaktadır. Uygulanan akım, I_{max} 'ın 2 katına çıkması durumunda ise; Joule ısısı Peltier ısısına denk olacağından ΔT değeri düşerek 0 olmakta ve soğutma işlemi gerçekleşmemektedir [8, 9].

TE modülün performans eğrisinin ve I_{max} , V_{max} ve E_{max} parametrelerinin daha hızlı bir şekilde belirlenmesi için üç ayrı ölçüm ve parabol hesaplarına dayanan yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen yeni parabol algoritmasına göre TE modülün I_{max} , V_{max} ve E_{max} parametrelerinin belirlenmesinde giriş gücüne (V, I) bağlı olarak ΔT veya E çıkış performansının maksimum değerinin bulunması büyük önem taşımaktadır. Geliştirilen yeni parabol algoritmasına yönelik akış şeması Şekil 2'de görülmektedir. Yeni parabol algoritmasına göre; test akımı, sıcaklık dengesi vb. test kriterleri operatörden alınarak test işlemine başlanmaktadır. Öncelikle soğutma sisteminin çalışması kontrol edilmektedir ve normal çalışması süresince test işleminin devam edilmesine izin verilmektedir. TE modülün performans eğrisinin çıkarılması ve tepe noktasının belirlenmesi amacıyla, TE modüle uygulanacak üç farklı akım değeri için ısı dengesi sağlandığı andaki $\Delta T, I, V$ ve E değerlerinin ölçülmesi gerekmektedir. Bu amaçla test kriterleri ile belirlenen aralık ve artışta uygulanan ayrı üç test akımı (I) için TE modülün ısınan (T_H) ve soğuyan (T_C) yüzey sıcaklıkları belirlenen t_p periyodunda sürekli ölçülmektedir. Sıcaklık dengesinin sağlandığı andaki sıcaklık farkı (ΔT) için, öncelikle TE modül gerilim (V) ve akım (I) değerleri ölçülmektedir. Sonrasında TE modüle uygulanan akım kısa bir süre kesilerek, TE modül uçlarındaki termoemk (E) gerilim değeri ölçülmektedir. Bu işlemler ayarlar bölümünde belirlenen aralık ve artışta TE modüle enerji verilerek

toplam üç kez tekrar edilmektedir. Böylelikle birinci ölçümde ($I_1, V_1, \Delta T_1, E_1$), ikinci ölçümde ($I_2, V_2, \Delta T_2, E_2$) ve üçüncü ölçümde ise ($I_3, V_3, \Delta T_3, E_3$) verileri elde edilmektedir. Geliştirilen algoritmaya göre ölçme işlemleri tamamlandıktan sonra TE modülün I_{max} , V_{max} ve E_{max} parametre değerleri belirlenmektedir. Bu amaçla Eş. 4'ten yararlanılarak $\Delta T(I)$, $\Delta T(V)$, $E(I)$ ve $E(V)$ fonksiyonlarına göre ilgili denklemlerden 3 nokta koordinatı bilinen parabolün eğrisi (TE modülün Performans Eğrisi) elde edilmekte ve bu eğrinin tepe noktası hesaplanmaktadır. Bu sayede TE modülün performans eğrisinde tepe noktası koordinatlarına karşılık gelen ΔT_{max} , I_{max} , V_{max} ve E_{max} parametreleri belirlenmiş olmaktadır.

$$\Delta T(I) = a_1 I^2 + b_1 I + c_1 \quad I_{max} = -\frac{b_1}{2a_1} \quad \Delta T_{max} = \frac{4a_1 c_1 - b_1^2}{4a_1}$$

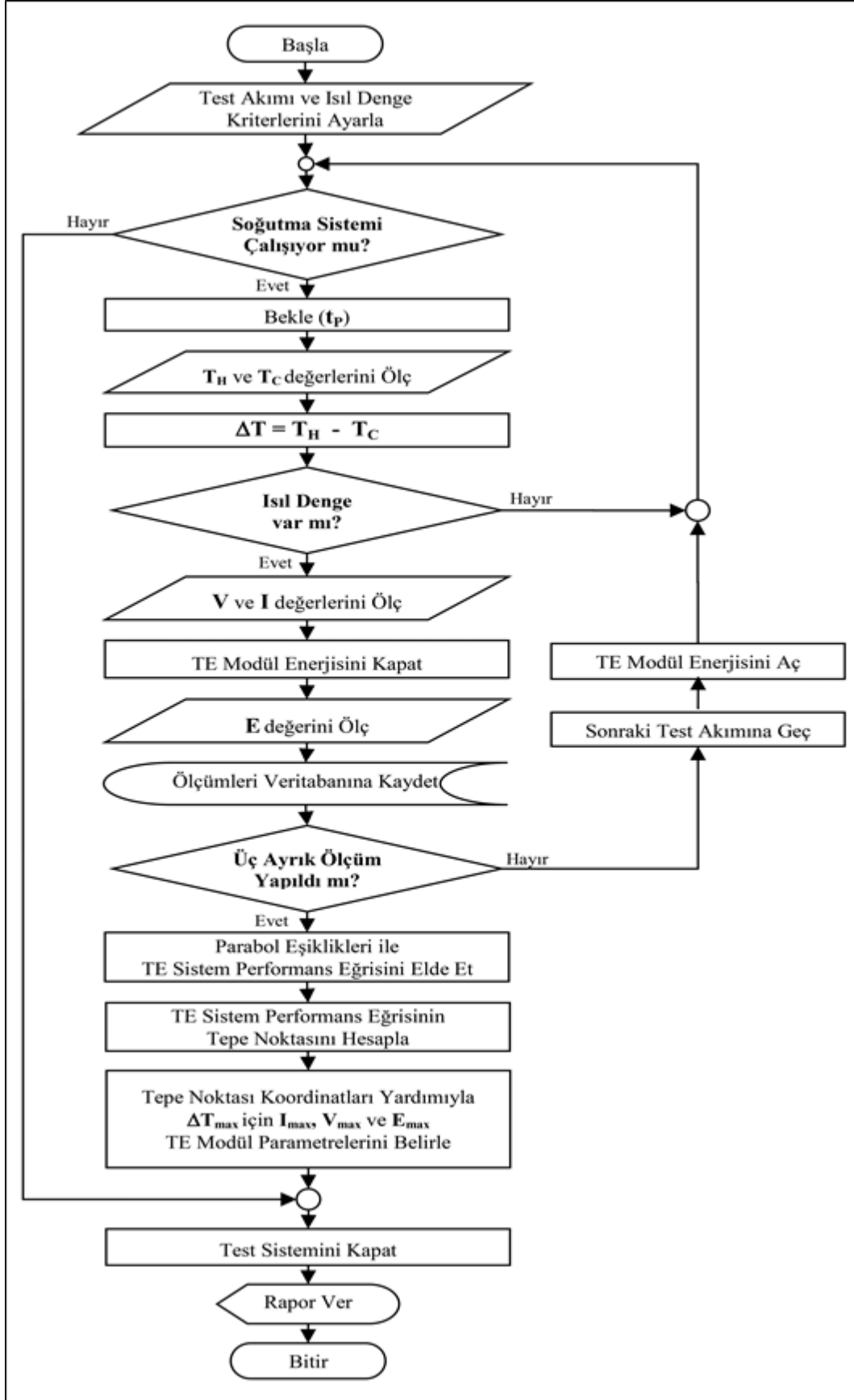
$$\Delta T(V) = a_2 V^2 + b_2 V + c_2 \quad V_{max} = -\frac{b_2}{2a_2}$$

$$\Delta T_{max} = \frac{4a_2 c_2 - b_2^2}{4a_2} \quad (4)$$

$$E(I) = a_3 I^2 + b_3 I + c_3 \quad I_{max} = -\frac{b_3}{2a_3} \quad E_{max} = \frac{4a_3 c_3 - b_3^2}{4a_3}$$

$$E(V) = a_4 V^2 + b_4 V + c_4 \quad V_{max} = -\frac{b_4}{2a_4}$$

$$E_{max} = \frac{4a_4 c_4 - b_4^2}{4a_4}$$



Şekil 2. Parabol Hesaplamaları ile TE Modül Parametrelerinin belirlenmesine yönelik akış şeması
(Flow chart to determine TE module parameters by parabolic calculation)

3. TASARLANAN SİSTEM (DESIGNED SYSTEM)

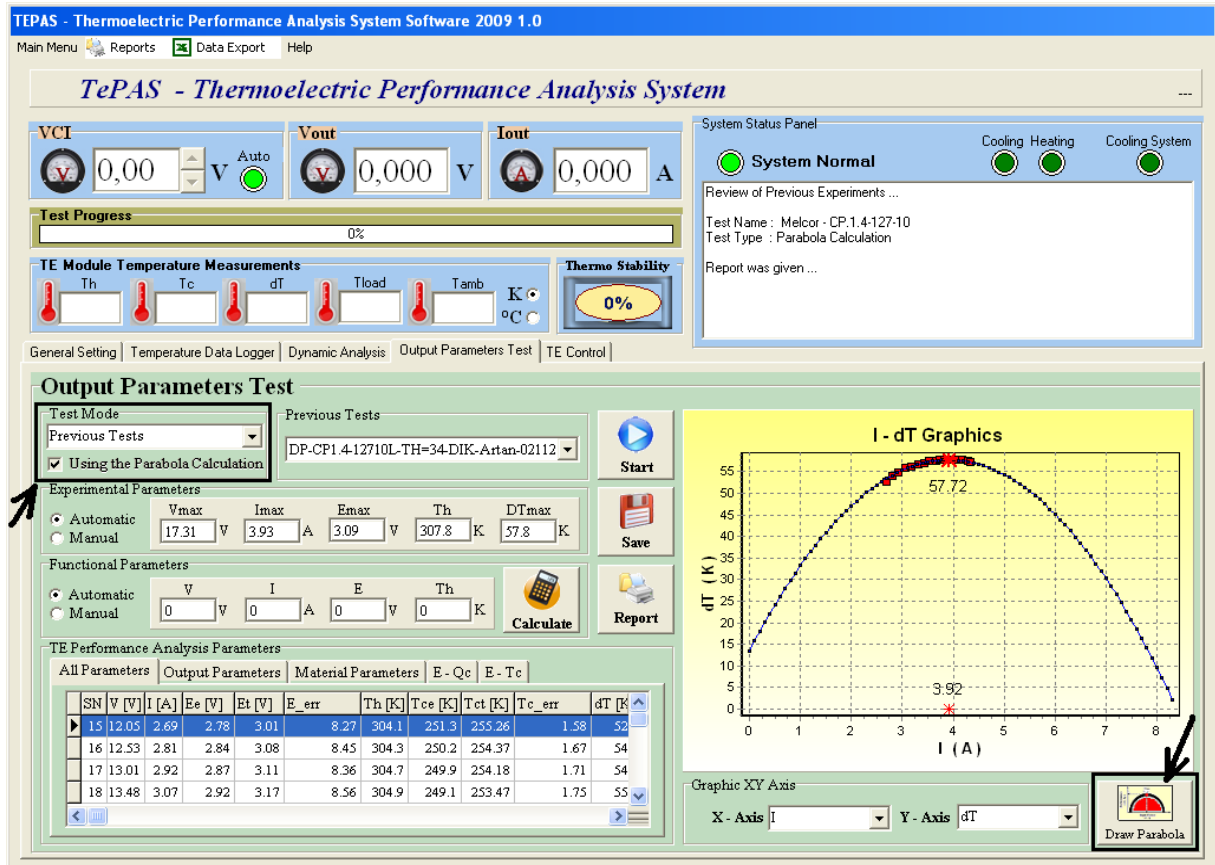
Çalışan gerçek TE modül ve sistemlerin parametrelerinin belirlenmesi ve performans analizi için Şekil 3'te görülen bilgisayar kontrollü TEPAS kullanılmıştır. Geliştirilen yeni parabol algoritmasına göre test işlemlerinin yapılabilmesi amacıyla TEPAS yazılımı üzerinde gerekli düzenlemeler yapılmıştır. TEPAS ile TE modül akım, gerilim ve sıcaklıklarını doğrudan ölçmek mümkündür. Test edilecek TE modülün enerjisi TEPAS tarafından sağlandığından dolayı, TE modülün akım ve gerilimi sistem içerisindeki SMPS üzerinden ölçülmektedir.

TEPAS'ta ölçüm verilerinin bilgisayara transferi ve kontrol sinyalleri için USB tabanlı DA&C modüller kullanılmıştır. TEPAS tarafından ölçülebilen TE modül parametreleri Tablo 1'de görülmektedir [12]. TEPAS yazılımı sayesinde; test ayarları, ölçümler, veritabanı kayıtları, hesaplama,

karar ve kontrol işlemleri geliştirilen algoritmaya göre yapılmaktadır. Geliştirilen sistem yazılımına yönelik örnek bir ekran Şekil 4'te görülmektedir. Test sisteminde, TE modülün parametrelerin elde edilmesi işleminde Parabol algoritmasının iki farklı kullanımı söz konusudur. Birinci kullanım şeklinde, Parabol algoritmasından yararlanılarak sadece üç nokta ölçümü ile TE modülün performans eğrisinin ve tepe noktasının hesaplanarak elde edilmesi mümkün olmaktadır. Bu amaçla TEPAS yazılımının Test Modunda T_{Cmin} Rejiminde (Yüksüz) geçerli olacak şekilde kullanıma açılan 'Using the Parabola Calculation' seçeneği kullanılmaktadır. İkinci kullanım şeklinde ise; normal klasik ölçümler sonrasında 'Draw Parabola' butonuna basılmak suretiyle elde edilen ölçümlerden yararlanılarak da parabol çizimi yapılabilmektedir. Bu sayede ölçümler ile elde edilen eğri ile parabol denklemleri ile elde edilen eğrinin ve tepe noktası koordinatlarının bir karşılaştırılmasının yapılması mümkün olmaktadır.



Şekil 3. Bilgisayar kontrollü TEPAS (Computer-controlled TEPAS)



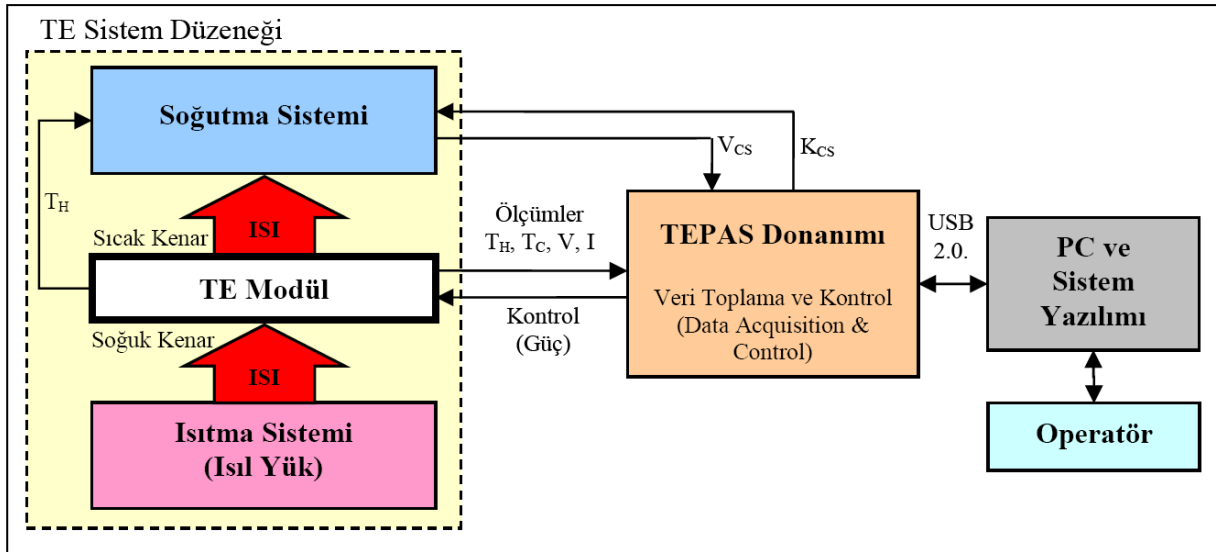
Şekil 4. Geliştirilen Sistem Yazılımı için örnek bir ekran (An example screenshot for the developed system software)

Tablo 1. TEPAS ile ölçülen parametreler (Parameters measured with TEPAS)

Doğrudan Ölçülen Parametreler	Sembol	Birim	Ölçüm Aralığı	Doğruluk
Sıcaklık	$T (T_C, T_H)$	K	238...343	0,1 K
TE Modül Akımı	I	A	0...30	0,01 A
TE Modül Gerilimi	V	V	0...24	0,01 V
Termoemk	E	V	0...24	0,01 V
Dolaylı Ölçülen (Hesaplanan) Parametreler				
Sıcaklık Farkı	ΔT	K	0...100	0,1 K
Maksimum Sıcaklık Farkı	ΔT_{max}	K	0...100	
Akım (ΔT_{max} iken)	I_{max}	A	0...30	
Gerilim (ΔT_{max} iken)	V_{max}	V	0...24	
Termoemk (ΔT_{max} iken)	E_{max}	V	0...24	



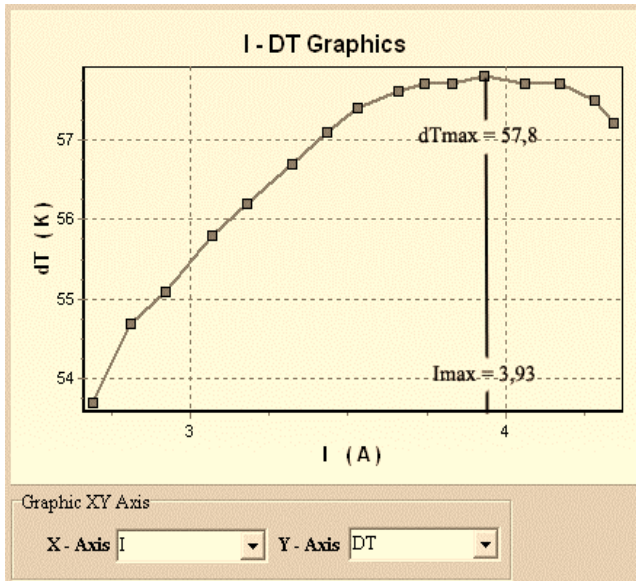
Şekil 5. Deneysel düzeneğin genel görünümü (The general view of experimental setup)



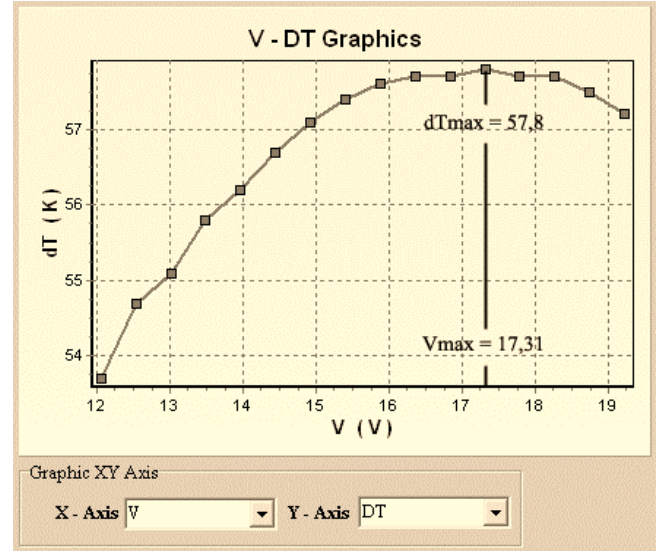
Şekil 6. Deneysel düzeneğin bağlantısı (The general block diagram of experimental setup)

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

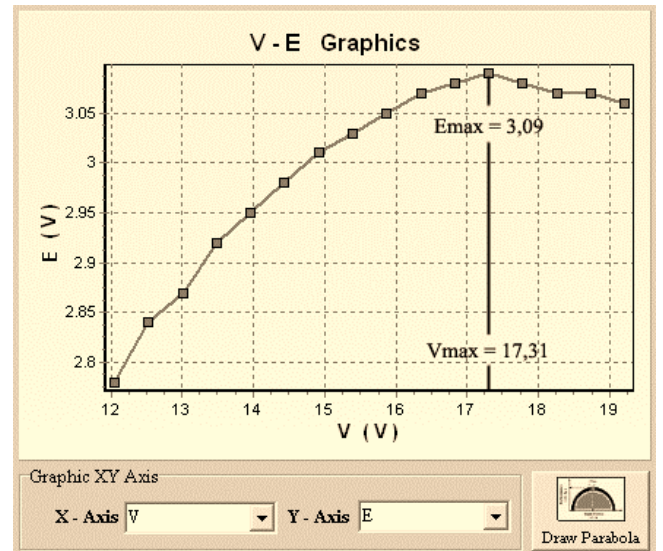
Yeni parabol algoritmasına dayanan test sisteminin performansını belirlemek amacıyla Melcor CP1.4-127-10 model TE modül kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır [13]. Deneysel çalışmalar için Şekil 5'te görülen TE performans analiz sistemi deney düzeneği oluşturulmuştur. Deney düzeneği genel bağlantı şeması ise Şekil 6'da görülmektedir. Çalışma kapsamında parabol hesabı yardımıyla sadece üç ölçüm yapılarak elde edilen TE modülün V_{max} , I_{max} ve E_{max} parametre değerleri ile klasik yöntemle tamamen ölçümler yapılarak elde edilen parametre değerleri karşılaştırılmıştır. TE modülün V_{max} , I_{max} ve E_{max} parametrelerinin belirlenmesi amacıyla T_{Cmin} rejiminde TE modül yüksüz iken deneyler yapılmıştır. Bu nedenle TE sistem düzeneğinde ısıtma sistemi devre dışı bırakılarak sisteme herhangi bir ısı yük uygulanmamıştır. Çalışmanın ilk bölümünde öncelikle klasik çok sayıda ölçüm yöntemi kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Klasik çok sayıda ölçüm yöntemine göre, T_{Cmin} rejiminde TE modülün I ve V'ye bağlı ΔT ve E değişimleri Şekil 7-9'da görülmektedir. Test işleminde ilk aşama olarak belirlenen aralıktaki tüm değerler için gerekli ölçüm işlemleri yapılmıştır. Sonraki aşamada ise gerçekleştirilen ölçümler içerisinde en büyük ΔT değerinin elde edildiği değerler tespit edilerek TE modülün V_{max} , I_{max} ve E_{max} parametreleri olarak belirlenmiştir. Bu deneysel çalışmada TE modüle uygulanan akım 3,93 A iken ΔT maksimum (57,8 K) olarak ölçülmüştür. Bu durumda CP1.4-127-10 model standart TE modülün klasik ölçüm yöntemine göre parametreleri; $\Delta T_{max} = 57,8$ K iken $I_{max} = 3,93$ A, $V_{max} = 17,31$ V ve $E_{max} = 3,09$ V olarak belirlenmiştir.



Şekil 7. T_{Cmin} rejiminde klasik çok sayıda ölçüm yöntemiyle elde edilen ΔT 'nin I'ya göre değişimi ve deneysel parametreler (I_{max} , ΔT_{max})
(According to classical method which based on a large number of measurement, the changes of ΔT with respect to I in the T_{Cmin} regime and experimental parameters (I_{max} , ΔT_{max}))



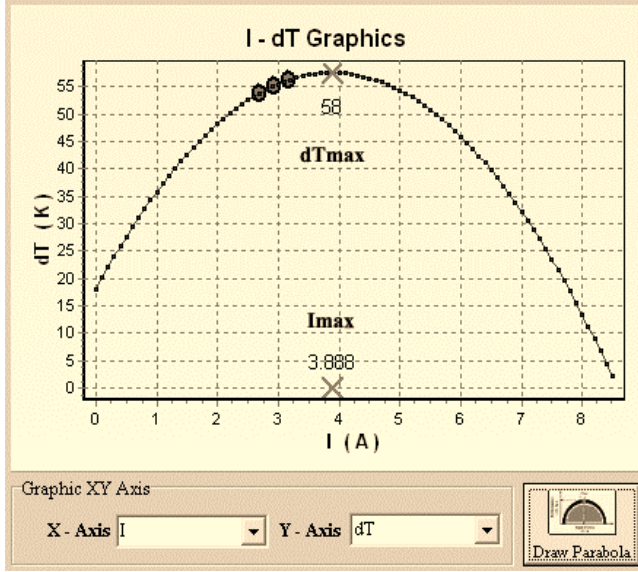
Şekil 8. T_{Cmin} rejiminde klasik çok sayıda ölçüm yöntemiyle elde edilen ΔT 'nin V'ye göre değişimi ve deneysel parametreler (V_{max} , ΔT_{max})
(According to classical method which based on a large number of measurement, the changes of ΔT with respect to V in the T_{Cmin} regime and experimental parameters (V_{max} , ΔT_{max}))



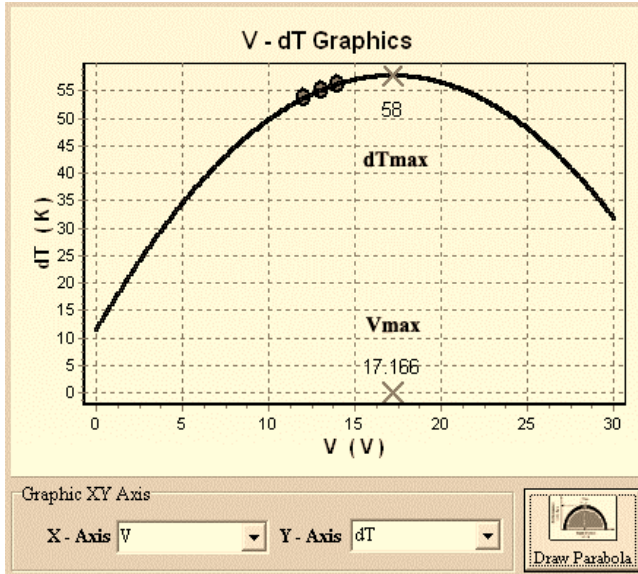
Şekil 9. T_{Cmin} rejiminde klasik çok sayıda ölçüm yöntemiyle elde edilen E'nin V'ye göre değişimi ve deneysel parametreler (V_{max} , E_{max})
(According to classical method which based on a large number of measurement, the changes of ΔT with respect to E in the T_{Cmin} regime and experimental parameters (E_{max} , ΔT_{max}))

Çalışmanın ikinci bölümünde parabol algoritması kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Parabol algoritmasına dayanan yeni yöntemle göre, öncelikle T_{Cmin} rejiminde TE modüle toplam üç farklı akım uygulanarak ölçümler yapılmıştır. Ölçümler sonrasında, yazılım üzerinden parabol hesaplamalarından yararlanılarak TE modülün çıkış eğrileri ve I_{max} , V_{max} ve ΔT_{max} parametre değerleri elde edilmiştir (Şekil 10-12). Yeni geliştirilen parabol algoritması yöntemine göre, CP1.4-127-10 model

standart TE modülün parametreleri; $\Delta T_{\max} = 58$ K iken $I_{\max} = 3,89$ A, $V_{\max} = 17,17$ V ve $E_{\max} = 3,00$ V olarak belirlenmiştir.



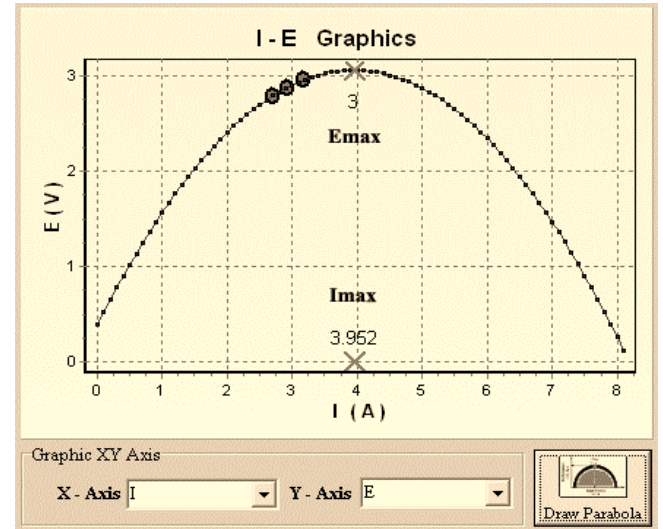
Şekil 10. T_{Cmin} rejimde parabol algoritması yöntemiyle üç ayrı ölçümle elde edilen $\Delta T(I)$ fonksiyonu ve deneysel parametreler (I_{\max} ve ΔT_{\max})
(According to new parabolic algorithm method which based on only three discrete measurement, the changes of ΔT with respect to I in the T_{Cmin} regime and experimental parameters (I_{\max} , ΔT_{\max}))



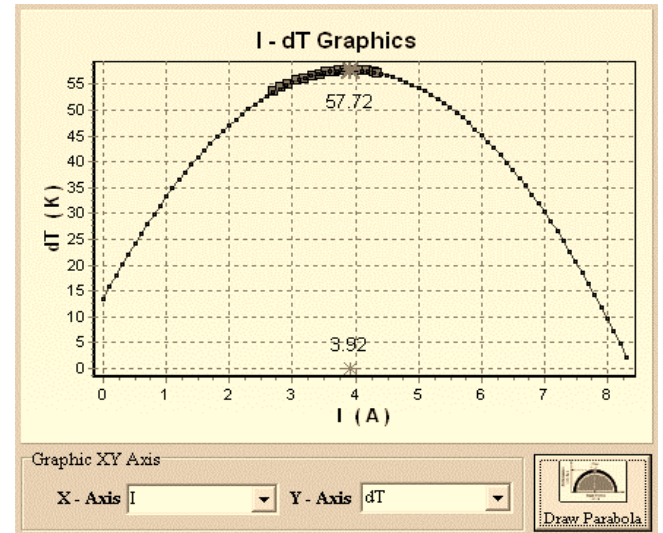
Şekil 11. T_{Cmin} rejimde parabol algoritması yöntemiyle üç ayrı ölçümle elde edilen $\Delta T(V)$ fonksiyonu ve deneysel parametreler (V_{\max} ve ΔT_{\max})
(According to new parabolic algorithm method which based on only three discrete measurement, the changes of ΔT with respect to V in the T_{Cmin} regime and experimental parameters (V_{\max} , ΔT_{\max}))

Çalışmanın üçüncü bölümünde klasik çok sayıda ölçüm yöntemine göre elde edilen ölçümler üzerinde, üçlü kombinasyonlara göre parabol hesaplamaları yapılmıştır. Parabol hesapları ile elde edilen sonuçların ortalaması

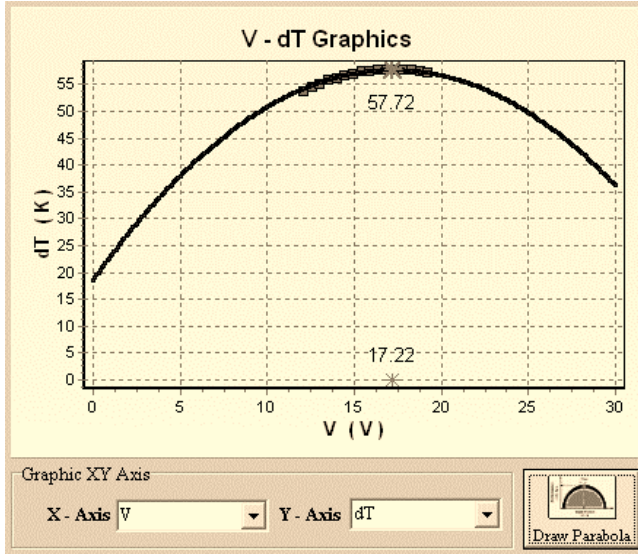
alınarak $\Delta T(I)$ fonksiyonunun eğrisi elde edilmiştir. Şekil 13 ve Şekil 14'te görüldüğü gibi ölçümler ve bu ölçümler kullanılarak elde edilen parabol eğrileri örtüşmektedir. Çalışmalar sonucunda, CP1.4-127-10 model TE modül için yeni parabol algoritması yöntemi kullanılarak elde edilen parametrelerin, klasik çok sayıda ölçme ve üretici katalog verileri ile karşılaştırılması Tablo 2'de görülmektedir. Burada klasik ölçüm yöntemi ve parabol algoritması yöntemi ile elde edilen parametrelerin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Geliştirilen yeni parabol algoritması yöntemi ile elde edilen parametrelerin klasik yöntemle göre bağlı hata payları ΔT_{\max} için %0,3, I_{\max} için %1, V_{\max} için %0,8 ve E_{\max} için %2,9 olarak bulunmuştur.



Şekil 12. T_{Cmin} rejimde parabol algoritması yöntemiyle üç ayrı ölçümle elde edilen $E(I)$ fonksiyonu ve deneysel parametreler (I_{\max} ve E_{\max})
(According to new parabolic algorithm method which based on only three discrete measurement, the changes of E with respect to I in the T_{Cmin} regime, and experimental parameters (I_{\max} , E_{\max}))



Şekil 13. Klasik yöntem ölçümleri üzerinde parabol hesapları ile elde edilen ortalama $\Delta T(I)$ fonksiyon eğrisi
(The average $\Delta T(I)$ curve obtained by using parabolic calculations over the measurements of classical method)



Şekil 14. Klasik yöntem ölçümleri üzerinde parabol hesapları ile elde edilen ortalama $\Delta T(V)$ fonksiyon eğrisi (The average $\Delta T(V)$ curve obtained by using parabolic calculations over the measurements of classical method)

Tablo 2. Yeni parabol algoritması ve diğer yöntemlerle elde edilen CP1.4-127-10 model TE modülün parametrelerin karşılaştırılması (Comparison the CP1.4-127-10 model TE module parameters obtained by using new parabolic algorithm with other methods)

Metot	I_{max} (A)	V_{max} (V)	E_{max} (V)	ΔT_{max} (K)
Yeni Parabol Algoritması	3,89	17,17	3,00	58,0
Klasik Ölçme Yöntemi	3,93	17,31	3,09	57,8
Üretici Katalog Verileri	3,9	15,40	---	68

Deneysel çalışmalar ile elde edilen değerler, TE modülün gerçek şartlardaki çalışma değerleri olmaktadır. Bu durum deneysel sonuçlar ile teorik olarak elde edilen üretici katalog değerleri arasındaki farklılığın sebebini oluşturmaktadır. TE modülün gerçek ortamda tam olarak izole edilememesi nedeniyle kayıplar oluşabilmektedir. Bu nedenle yalıtıma rağmen modüle gelen toplam ısı yükünün sıfırdan farklı olduğu söylenebilir. Bu şekilde geliştirilen yeni yöntem ile bu ısı yükünün bile ölçülmesi sağlanmış olmaktadır.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, TE modül ve sistemlerin hem ΔT çıkış performans eğrisinin elde edilmesi hem de I_{max} , V_{max} ve E_{max} parametrelerinin daha az ölçüm ve kısa süre sürede belirlenmesi için üç ayrı ölçüm ve parabol hesaplarına dayanan yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Çalışma kapsamında geliştirilen yeni parabol algoritması TEPAS'a uyarlanmış ve test sisteminin performansını belirlemek için Melcor CP1.4-127-10 model TE modül kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; parabol hesaplarına dayanan yeni algoritma kullanılarak elde edilen parametre değerlerinin, klasik çok sayıda ölçümle elde edilen parametre değerlerine çok yakın olduğu

görülmüştür. TEPAS'la ölçülen I_{max} için hata payı %1, V_{max} için %0,8 ve E_{max} için %2,9 olarak bulunmuştur. Geliştirilen parabol algoritması sayesinde, ölçüm sayısı en aza indirildiğinden dolayı test süresi klasik yöntemle göre oldukça kısadır. Klasik yöntemle bir saat kadar sürebilen test işlemi, parabol algoritmasına dayanan yeni yöntemle yaklaşık 5-10 dakika içerisinde yapılabilmektedir. Sonuç olarak geliştirilen parabol algoritmasına sahip TEPAS'ın kullanılması, TE modüllerin hem bilimsel araştırmalarında hem de seri üretimindeki kalite kontrolünde maliyetin düşürülmesine ve zaman tasarrufuna büyük katkı sağlayacaktır.

6. SEMBOLLER (SYMBOLS)

E	TE modül tarafından üretilen termoemk (V)
E_{max}	($\Delta T = \Delta T_{max}$) iken TE modül tarafından üretilen Termoemk (V)
I	TE modül akımı (A)
I_{max}	($\Delta T = \Delta T_{max}$) iken TE modül akımı (A)
K	TE modül ısı iletkenliği ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
P	TE modül güç tüketimi (W)
Q_C	TE modülün soğuk yüzeyinden birim zamanda soğurulan ısı yük (W)
Q_H	TE modülün sıcak yüzeyinden birim zamanda açığa çıkan ısı yük (W)
Q_L	TE modüle birim zamanda uygulanan harici ısı yük (W)
Q_{Cmax}	($I=I_{max}$ ve $\Delta T=0$) iken TE modülün soğuk yüzeyinden birim zamanda soğurulan maksimum ısı yük (W)
R	TE modül direnci (Ohm)
T_C	TE modül soğuk yüzey sıcaklığı (K)
T_H	TE modül sıcak yüzey sıcaklığı (K)
V	TE modül gerilimi (V)
V_{max}	($\Delta T = \Delta T_{max}$) iken TE modül gerilimi (V)
Z	TE modül kalite katsayısı (K^{-1})
ΔT	TE modül yüzeylerarası sıcaklık farkı (K)
ΔT_{max}	($Q_L = Q_C = 0$) iken maksimum TE modül yüzeylerarası sıcaklık farkı (K)
k	TE yarıiletkenin ısı iletkenliği ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
α	TE yarıiletkenin Seebeck katsayısı ($V.K^{-1}$)
ρ	TE yarıiletkenin özdirenci (Ohm.cm)

Kısaltmalar (Abbreviations)

COP	Performans Katsayısı
DA&C	Veri Toplama ve Kontrol
DC	Doğru Akım
SMPS	Anahtarlama Modlu Güç Kaynağı
TE	Termoelektrik
TEPAS	Termoelektrik Performans Analiz Sistemi
USB	Evrensel Seri Veriyolu

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma TÜBİTAK'ın Proje No: 1507 / 7150014 ve NATO Public Diplomacy Division in the framework of "Science for Peace" (NATO.NUKR.SFPP 984536) projesi kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Harman T.C., Special techniques for measurement of thermoelectric properties, *Journal of Applied Physics*, 29, 1373-1382, 1958.
2. Goldsmid H.J., A simple technique for determining the seebeck coefficient of thermoelectric materials, *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 19 (11), 921-923, 1986.
3. Buist R.J., Methodology for testing thermoelectric materials and devices, *CRC handbook of thermoelectrics*, Chapter 18, Editor: Rowe, D.M., CRC Press. Inc., Florida, A.B.D, 189-209, 1995.
4. Min G., Rowe D.M., A novel principle allowing rapid and accurate measurement of a dimensionless thermoelectric figure of merit, *Measurement Science and Technology*, 12 (8), 1261-1262, 2001.
5. Cheng F., Hong Y., Zhong W., Zhu C., Performance prediction and test of a Bi₂Te₃-based thermoelectric module for waste heat recovery, *Journal of Thermal Analysis & Calorimetry*, 118 (3), 1781-1788, 2014.
6. Shen Z.G., Wu S.Y., Xiao L., Theoretical analysis on the performance of annular thermoelectric couple, *Energy Conversion and Management*, 89, 244-250, 2015.
7. Shen L., Chen H., Xiao F., Wang S., The practical performance forecast and analysis of thermoelectric module from macro to micro, *Energy Conversion and Management*, 100, 23-29, 2015.
8. Ahıska R., Ahıska K., New method for investigation of parameters of real thermoelectric modules, *Energy Conversion and Management*, 51, 338-383, 2010.
9. Ahıska R., Ahıska G., Ahıska K., Analysis of a new method for measurement of parameters of real thermoelectric module employed in medical cooler for renal hypothermia, *Instrumentation Science & Technology*, 37, 102-125, 2009.
10. Marsden J., Weinstein A., *Calculus Unlimited*, Benjamin/Cummings, California, USA, 10-12, 1981.
11. Anton H., Rorres C., *Elementary Linear Algebra Applications: Applications Version*, 11th Edition, Wiley Global Education, New York, USA, 2013.
12. Ahıska R., Dişlitaş S., Computer controlled test system for measuring the parameters of the real thermoelectric module, *Energy Conversion and Management*, 52, 27-36, 2011.
13. Melcor Corporation. CP series TECs: CP1.4-127-10 thermoelectric cooler datasheet. <http://akizukidenshi.com/download/ds/melcore/cp.pdf>. Access Date October 12, 2016.