

Termoelektrik Modülün Dinamik Çıkış Parametrelerinin Elde Edilmesi İçin Yeni Bir Algoritma

A New Algorithm for Obtaining Dynamic Output Parameters of Thermoelectric Module

Serkan Dişlitaş¹, Raşit Ahıska², Hilmi Yanmaz¹

¹Meslek Yüksekokulu

Hitit Üniversitesi

serkandislitas@hitit.edu.tr, hilmiyanmaz@hitit.edu.tr

²Elektronik Bilgisayar Eğitimi/Teknik Eğitim Fakültesi

Gazi Üniversitesi

ahiska@gazi.edu.tr

Özet

Termoelektrik (TE) modüllerin performanslarının belirlenmesi amacıyla değişik yöntemler geliştirilmiştir. Ancak bu yöntemlerin temeli statik parametrelere dayandığı için, TE modüllerin performans hesaplamaları ve değerlendirmeleri hatalı olmaktadır. Bu çalışmada, TE sistemlerin dinamik ısı ve elektriksel çıkış parametrelerinin elde edilmesine yönelik olarak geliştirilmiş yeni bir yöntemi temel alan yazılım ve donanımdan oluşan bilgisayar kontrollü TE performans analiz sistemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada I_{max} , V_{max} ve E_{max} deneysel parametreler ile Q_c , COP, P, Z, K, R dinamik çıkış parametrelerinin elde edilmesine yönelik algoritmalar geliştirilmiş ve sistem donanımı test edilmiştir. Sistemin donanımı USB tabanlı çok fonksiyonlu DA&C modülü ile sisteme yönelik sıcaklık, akım ve gerilim ölçümleri ve sistem kontrolü amaçlı uygunlaştırıcı devrelerden oluşmaktadır. Sistem yazılımı Delphi görsel programlama dili ile geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem sayesinde, TE modül veya sistemlere yönelik ölçümlerin hassas bir şekilde yapılması, dinamik çıkış parametrelerinin belirlenerek raporlanması işlemleri hızlı, güvenilir ve kolay bir şekilde yapılabilmektedir.

Abstract

Several methods have been developed to determine the performances thermoelectric (TE) modules. However, for these methods based on static parameters, TE modules' performance calculations and evaluations are misleading. In this study, a computer controlled TE performance analyzing system consisting of software and hardware based on a new method developed to obtain dynamic output parameters of TE systems has been realized. In addition, algorithms are developed to acquire dynamic output parameters Q_c , COP, P, Z, K, R and experimental parameters I_{max} , V_{max} ve E_{max} , and hardware of the system has been realized. The hardware comprises USB based DA&C module and special circuits for

controlling the system and measurement of temperature, current and voltage of the system. The software of the system has been developed in Delphi visual programming language. With the system developed, it will be easy, reliable and fast to take measurements of TE modules and systems sensitively and to determine and report the dynamic output parameters.

1. Giriş

TE modüllerin performanslarının belirlenebilmesine yönelik pratik ve hızlı test sistemlerinin geliştirilmesi için değişik yöntemler ile bu yöntemleri temel alan aygıtlar ve bilgisayar yazılımları geliştirilmiştir. Geleneksel birçok yöntemle yarıiletkenlerin mikroparametreleri ile TE modüllerin α Seebeck katsayısı, ρ öz direnç, K termal iletkenliği, Z kalite katsayısı değerleri ölçülebilmektedir. Bu parametrelerden yararlanarak bir TE modülün termal parametreleri (verim, üretilen soğuk enerji miktarı, modülün termal iletkenliği) de hesaplanabilmektedir. Ancak elde edilen parametreler bir modülün gerçek şartlardaki dinamik parametreleri olmadığından, bu yöntemlerle çalışan bir TE modülün çıkış parametrelerinin değerlendirilmesi hatalara yol açabilmektedir. Çünkü çalışma esnasında TE modülü oluşturan yarıiletkenlerin mikroparametreleri değişmektedir. Ancak TE modül çalışırken bu parametrelerin belirlenmesi işlemi çok zordur. Bunlara ilaveten gerçek bir modülün yapısal ve teknolojik faktörlerinin hesaba katılmaması kullanılan yöntemleri yetersiz kılmaktadır [1-3].

Bu sorunları çözmek amacıyla, gerçek bir TE modül ya da sistemin çalışma anındaki elektriksel ve termal tüm dinamik çıkış parametrelerinin ölçülüp belirlenebilmesi ve ayrıca bunları etkileyen iç ve dış faktörlerin katkılarının araştırılması amacıyla sıcaklık, akım ve gerilim gibi kolaylıkla ölçülebilir makroparametrelere dayanan yeni bir yöntem geliştirilmiştir [1-3]. Geliştirilen yeni yöntemin temelini geleneksel yöntemler için kullanılan denklemlerin eşdeğer eşitliklere uğratılması ve sadece çalışan modülün çektiği akım (I), uçlarında düşen gerilim (V), ürettiği termoelektrik (E) ve

herhangi bir yüzeyindeki sıcaklık (T_H ya da T_C) değerinin ölçülmesi oluşturmaktadır.

Bu çalışmada, geliştirilen yeni yöntemin uygulanabilmesi için yazılım ve donanımdan oluşan, bilgisayar kontrollü, USB tabanlı ve taşınabilir TE performans analiz sistemi üzerinde durulmuştur. Test sistemine yönelik donanım gerçekleştirilerek gerekli algoritma ve sistem yazılımı geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistem sayesinde, TE modüllere yönelik bu ölçüm ve araştırmaların yapılabilmesi, hem bilimsel çalışmalar açısından hem de tasarlanacak yeni TE sistemler açısından büyük önem taşımaktadır.

1. Termoelektrik Modülün Dinamik Çıkış Parametrelerinin Bulunması

TE modüllerin performansı, uygulanan DC akım ve gerilim giriş parametresine bağlı olarak yüzeyler arasında elde edilebilecek ΔT maksimum sıcaklık farkı veya TE modülün soğuk yüzeyinden emilen maksimum ısı yükü (Q_C - Soğutma Gücü) olarak tanımlanabilir. Aynı zamanda TE modülün performansı, onun ısı pompalama kapasitesi olarak da ifade edilebilir. TE modül ve sistemlerin performansını belirleyen Q_C , P , COP , K , R , Z gibi dinamik çıkış parametreleri vardır.

Yüksüz çalışan ideal TE modül için toplam ısı yükü $Q_L = 0$ iken $Q_C = 0$ olmaktadır. Ayrıca sıcaklık farkı ΔT_{max} 'a ve soğuk yüzeyin sıcaklığı da T_{Cmin} 'e eşit olmaktadır. Bu durumda TE modülün çektiği akım I_{max} , üzerindeki gerilim V_{max} ve ürettiği termoemk E_{max} 'tır. Geliştirilen yeni yöntemde göre elde edilen eşitlikler, Eşitlik 1- 9' da görülmektedir [1-3].

TE modülün elektriksel direnci (R);

$$R = \frac{V_{max} - E_{max}}{I_{max}} \quad (1)$$

Isıl iletkenlik katsayısı (K);

$$K = \frac{0,5V_{max}(V_{max} - E_{max})I_{max}}{T_H E_{max}} \quad (2)$$

TE modülün soğuk yüzeyine gelen toplam ısı yükü (Q_C);

$$Q_C = V_{max} I - \frac{0,5I^2(V_{max} - E_{max})}{I_{max}} - \left[I + \frac{0,5(V_{max} - E_{max})I_{max}}{E_{max}} \right] E \quad (3)$$

TE modülün ısınan yüzeyinden açığa çıkan toplam ısı miktarı (Q_H);

$$Q_H = V_{max} I + \frac{0,5I^2(V_{max} - E_{max})}{I_{max}} - \frac{0,5(V_{max} - E_{max})I_{max} E}{E_{max}} \quad (4)$$

TE modülün tükettiği güç (P);

$$P = \frac{I^2(V_{max} - E_{max})}{I_{max}} + EI \quad (5)$$

TE modülün verimi yani performans katsayısı (COP);

$$COP = \frac{Q_C}{P} \quad (6)$$

TE modülün kalite katsayısı (Z - Figure of Merit);

$$Z = \frac{V_{max} E_{max}}{0,5(V_{max} - E_{max})^2 T_H} \quad (7)$$

TE modülün soğuk yüzeyindeki sıcaklık (T_C);

$$T_C = T_H \left(I - \frac{E}{V_{max}} \right) \quad (8)$$

TE modülün sıcak yüzeyindeki sıcaklık (T_H);

$$T_H = \frac{T_C}{\left(I - \frac{E}{V_{max}} \right)} \quad (9)$$

TE modülün termoemk (E) değeri;

$$E = V_{max} \left(I - \frac{T_C}{T_H} \right) \quad (10)$$

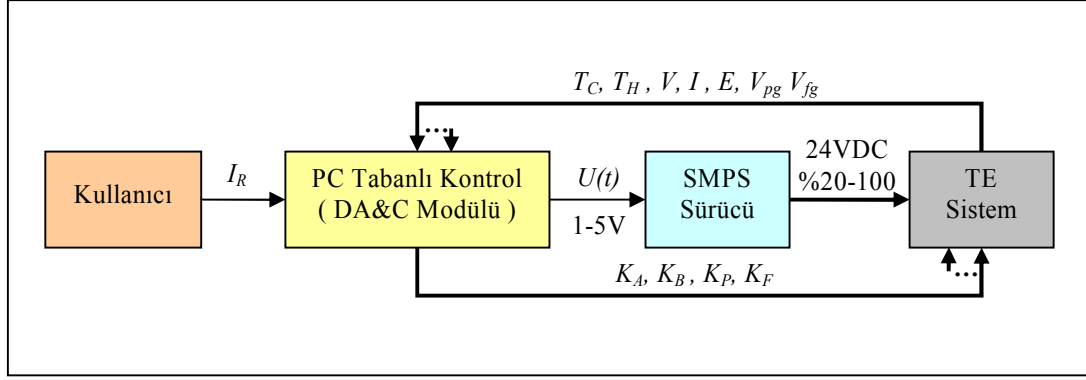
olarak ifade edilebilmektedir.

Bu eşitlikleri kullanmak için deneysel parametre olarak adlandırılabilen I_{max} , V_{max} ve E_{max} değerleri ile T_C veya T_H sıcaklıklardan birinin doğrudan ölçülmesi gerekmektedir. Burada V_{max} ve E_{max} TE modülü oluşturan TE yarıiletkenleri karakterize ettiği için, bu parametreler yarıiletkenlerin geometrik özelliklerine bağlı değildir ve modülün makro büyüklüklerini oluştururlar. Bu eşitlikler çalışan bir modülün dinamik parametrelerini karakterize etmekle birlikte, TE modüllerin ve bu modüllerden yapılan cihazların üretiminde kullanılan yapısal yöntemlerin ve malzemelerin kalitesinin bir göstergesi olarak değerlendirilebilmektedirler [1-3].

2. Tasarlanan Sistem

3.1. Donanım

Geliştirilen bilgisayar kontrollü TE performans analiz sistemine yönelik kapalı çevrim genel kontrol blok şeması Şekil 1'de görülmektedir. Sistemde TE modüle uygulanan akımın yönü ve şiddeti bilgisayar kontrollü olarak düzenlenerek istenen seviyede ısıtma veya soğutma kolaylıkla sağlanabilmektedir.



Şekil 1: TE performans analiz sistemi kapalı çevrim genel kontrol döngüsü

Belirlenen referans akım (I_R) değerine göre bilgisayar kontrollü olarak DA&C modülü üzerinden elde edilen 1 - 5 V DC gerilim, SMPS'nin kontrol girişine (VCI) verilmektedir. Böylelikle 24V DC çıkışı %20 - 100 arasında doğrusal oransal olarak ayarlanan SMPS ile TE sistem K_A ve K_B kutup değişim sinyallerine de bağlı olarak iki yönlü sürülebilir. TE sistemde yapılan ölçümler ile modülün yüzey sıcaklıkları (T_H ve T_C), çektiği akım (I), üzerinde düşen gerilim (V), enerjisi kesildiği andaki termoemk (E) gerilimi ile DC pals şeklindeki fan ve pompa geribesleme (V_{pg} ve V_{fg}) gerilimleri bilgisayar kontrollü olarak USB DA&C modülü üzerinden alınarak veritabanına kaydedilmekte ve gerekli kontrol sinyalleri üretilmektedir.

Sistemin donanım kısmında temel olarak 16 bit çözünürlüğe sahip USB - 4718 Termokupl girişli ve USB - 4716 USB tabanlı çok fonksiyonlu veri toplama ve kontrol (Multifunction DAQ) modülleri ile sisteme yönelik sıcaklık, akım ve gerilim ölçüm-kontrol amaçlı uygunlaştırıcı devreler yer almaktadır [4].

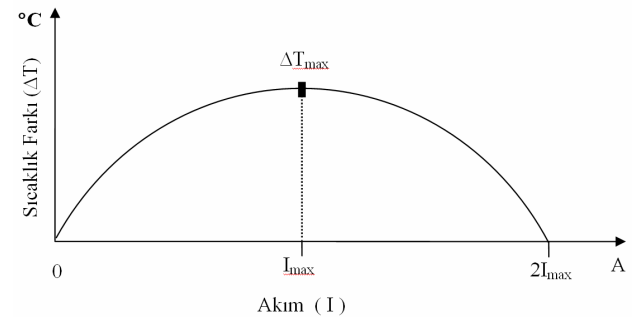
TE modüle enerji uygulanırken çekilen akım (I) ve uçlarındaki gerilim (V) ile enerjinin kesildiği andaki modül uçlarındaki termoemk (E) değerinin ölçümünün yapılması ve TE modülün iki yönlü sürülmesi amacıyla ölçüm ve kontrol birimi geliştirilmiştir.

Tasarlanan sistemde, H-Bridge yöntemiyle bağlı TE modül iki yönlü sürülerek ısı transferinin de iki yönlü yapılması sağlanmakta, dolayısıyla da hem soğutma hem de ısıtma modunda çalışma elde edilebilmektedir. Ayrıca ölçümlerin hassasiyeti ve güvenilirliği açısından, E Termoemk değerinin ölçülmesi esnasında TE modülün güç kaynağından tamamıyla ayrılması işlemi de yapılmaktadır. Sistemde TE modüle yönelik sıcaklık ölçümlerinde sadece termokupl, akım ölçümünde Akım İzleme Modülü ve gerilim ölçümünde de basit bir gerilim uygunlaştırıcı devre kullanılmıştır. TE modül uçlarındaki 0 - 30V DC gerilim uygunlaştırılarak, elde edilen 0 - 10V DC gerilim sırasıyla USB - 4716 DA&C modülünün 16 bit çözünürlükteki analog girişlerine verilmektedir. Sistemde TE modülün sürülmesi amacıyla, MainWell SCP 800 - 24 model 1 - 5V DC harici kontrol girişi ile çıkış gerilimi % 20 - 100 arasında doğrusal oransal olarak ayarlanabilen, 24 VDC 33A 800W gücünde verimi % 88, regülasyonu % ± 0.5 olan Anahtarlama Modlu Güç Kaynağı

(SMPS–Switched Mode Power Supply) kullanılmaktadır [5]. Sıcaklık ölçümünde DA&C modülü ile - 100 °C ile +400 °C giriş aralığında, ± 1 °C doğrulukta, $\pm 1,5$ °C maksimum hatada ölçüm yapabilen, küçük yapılı ve ucu kaynaklı (nokta uçlu) T tipi termokupllar kullanılmaktadır [4]. Ayrıca K, J, S, E vb. diğer termokupllar için destek verilmektedir. Test sistemi gereği TE modüller 30A' e kadar akım çekebileceğinden, böyle yüksek değerlerdeki akımların ölçülebilmesi amacıyla sistemde WeidMüller marka WAS2 CMA 40/50/60A model Hall-Effect metoduyla çalışan Akım İzleme Modülü kullanılmıştır. Akım İzleme Modülünün temelinde, akımın geçtiği iletken etrafında meydana getirdiği manyetik alan şiddetinin akım ya da gerilim bilgisine çevrilmesini sağlayan Hall-Effect sensörü yer almaktadır [6].

3.2. Algoritma

TE modüle uygulanan akım değeri artırdıkça elde edilecek sıcaklık farkı (ΔT) da öncelikle artarak belirli bir değer (I_{max}) için maksimum (ΔT_{max}) olmakta ve sonrasında da yeniden azalarak 0' a kadar düşmektedir (Şekil 2). TE modüle karakteristik akım (I_{max}) değeri uygulandığında ise sıcaklık farkı maksimum (ΔT_{max}) değeri almaktadır. TE modüle uygulanan akım değeri, karakteristik değerin 2 katına çıkması durumunda ise ΔT_{max} değeri yaklaşık 0 olmaktadır. ΔT_{max} değerinin maksimum olduğu durumdaki I_{max} , V_{max} ve E_{max} değerleri TE modülün deneysel parametreleri olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 2: TE modül akım – sıcaklık farkı ilişkisi

TE modüllerin performansının analiz edilmesi işlemi; TE modüle ait sıcaklık, akım ve gerilim değerlerinin sürekli ölçülerek I_{max} , V_{max} ve E_{max} deneysel parametrelerin

belirlenmesi ve sonrasında da bu deneysel parametreler yardımıyla Q_c , COP , P , Z , K , R dinamik çıkış parametrelerinin hesaplanması olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Burada;

- Q_c : Birim zamanda üretilen soğuk enerji miktarı (W) - Soğutma Gücü
 COP : TE modül performans katsayısı - (Verim)
 P : TE modülün tükettiği güç (W)
 Z : TE Modül Kalite Katsayısı (K^{-1})
 K : TE modülün Termal İletkenliği ($W \cdot K^{-1}$)
 R : TE modülün Elektriksel Direnci (Ω)

olarak ifade edilmektedir.

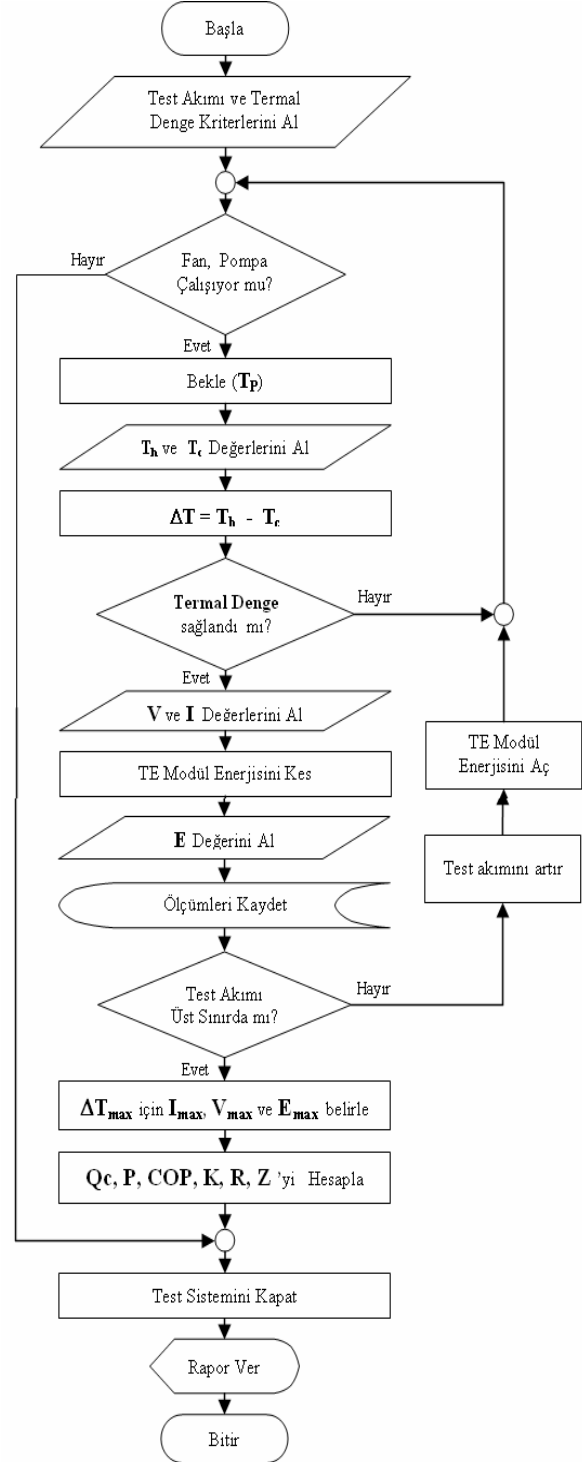
Geliştirilen yeni yöntemle ilgili olarak, TE modülün E termoemk değerinin ölçülmesi işlemi, termal dengenin sağlanması durumunda gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen yazılım ile T_H ve T_C sıcaklıklarına bağlı olarak termal dengenin sağlandığının belirlenmesi; sadece ΔT - Sıcaklık Farkı, sadece T_H - Sıcak Yüzey Sıcaklığı ve hem ΔT hem de T_H sıcaklığı parametreleri dikkate alınarak üç ayrı şekilde yapılabilmektedir. ΔT sıcaklık farkına bağlı olarak termal dengenin belirlenmesi işlemi; hem dış etkenlerden daha az etkilenmesi hem de daha çabuk kararlı hale gelmesi nedeniyle daha uygundur.

Şekil 3'teki akış şemasında görüldüğü gibi TE modüllerin dinamik çıkış parametrelerinin ve deneysel parametrelerinin belirlenebilmesine yönelik bir algoritma geliştirilmiştir. Bu akış şemasının temelinde belirlenen akım aralığında TE modüle değişik akımların uygulanması ve her uygulanan akım için ayrı ayrı termal dengenin sağlandığı andaki sıcaklık, akım ve gerilim ölçümlerinin yapılması yer almaktadır. TE modüle ait I_{max} , V_{max} ve E_{max} deneysel parametrelerin belirlenmesi amacıyla, belirlenen aralık ve artışta uygulanan her bir akım için modülün sıcak (T_H) ve soğuk (T_C) yüzey sıcaklıkları ölçülmektedir. Termal denge sağlandığı andaki sıcaklık farkı (ΔT) için öncelikle TE modül uçlarındaki gerilim (V) ve TE modülün çektiği akım (I) değerleri ölçülmekte, sonrasında da TE modül tarafından üretilen termoemk (E) değerinin belirlenmesi amacıyla, TE modüle uygulanan akım kısa bir süre kesilerek, TE modül uçlarındaki gerilim değeri ölçülmektedir. Bu sayede elde edilen ölçüm sonuçlarına göre maksimum sıcaklık farkı (ΔT_{max}) için I_{max} , V_{max} ve E_{max} deneysel parametre değerleri belirlenmiş olacaktır. Veritabanına kaydedilen her I - Test Akımı değeri için elde edilen ölçümler ve deneysel parametrelerden yararlanılarak TE modülün Q_c , P , COP , K , R , Z dinamik çıkış parametreleri hesaplanmaktadır. Gerçekleştirilen performans analizine yönelik rapor oluşturularak deney bitirilmektedir.

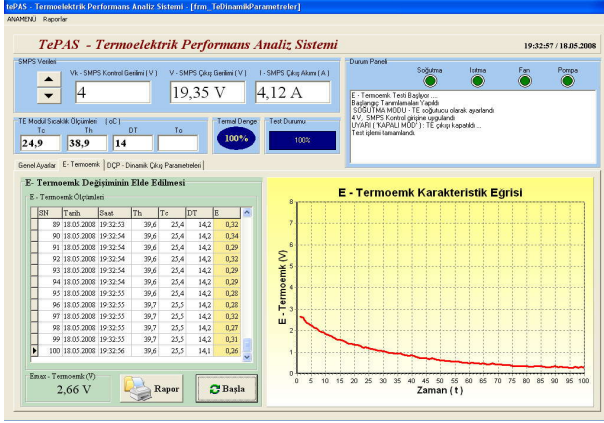
3.3. Sistem Yazılımı

TE performans analiz sisteminde kontrol bilgisayar tabanlı olarak yapıldığından sistem yazılımı büyük önem taşımaktadır. Sistem yazılımı, performans analizinin manuel veya otomatik yapılmasına yönelik kullanıcı arayüzü ve kontrol yazılımından oluşmaktadır. Şekil 4'te geliştirilen yazılıma yönelik test ekran görüntüsü görülmektedir. Kullanıcı Arayüzü; test ayarlarının yapılması, kullanıcı ile etkileşimin kurulması, tanımlamalara ilişkin verilerin sisteme alınması, elde edilen ölçüm ve kontrol verilerinin görüntülenmesi, sonuçların raporlanıp yazdırılması gibi bölümlerden oluşmaktadır.

Kontrol yazılımı, kullanıcı arayüzü ile sistem donanımı arasında yer alarak performans analizinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Kontrol yazılımı sayesinde geliştirilen algoritmalara bağlı olarak ölçme, veritabanına kaydetme, hesaplama, karar ve kontrol işlemleri gerçekleştirilmektedir.

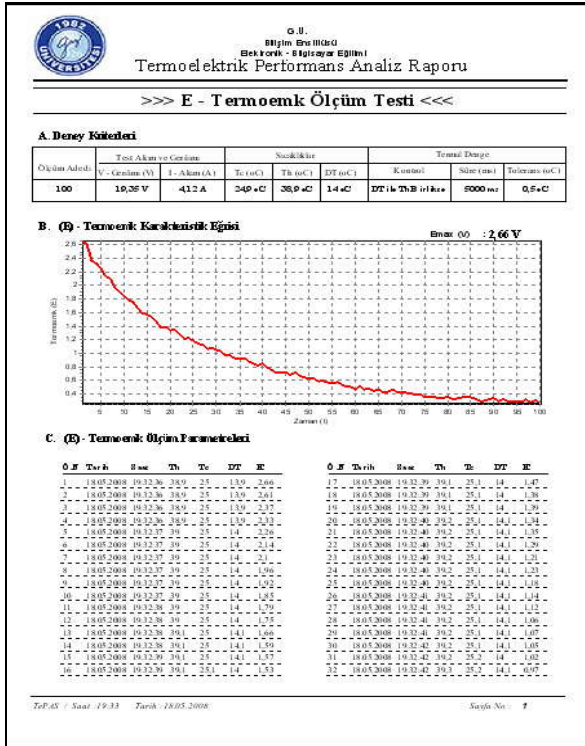


Şekil 3: Dinamik çıkış parametrelerinin ve deneysel parametrelerin elde edilmesi akış şeması



Şekil 4: Test ekran görüntüsü

Sisteme yönelik kontrol ve arayüz yazılımı Delphi görsel programlama yazılım geliştirme aracı kullanılarak geliştirilmiş ve animasyonla desteklenmiştir. USB tabanlı DA&C modülleri için üretici firma tarafından sunulan ActiveX (Ocx) denetimlerine ilişkin özellik, olay ve metodlar kullanılarak sistem donanımı ile haberleşmenin kurulması, ölçümler ve kontrol işlemleri kolaylıkla yapılabilmektedir. Sisteme yönelik konfigürasyon bilgileri ile birlikte ölçüm, hesaplama ve kontrol verilerinin organize edilerek tutulması amacıyla ilişkisel veritabanı modeli kullanılmaktadır. Veritabanına SQL sorgularıyla erişim sağlanarak ilgili tabloların oluşturulup düzenlenmesi, performans analizine yönelik istatistiksel verilerin elde edilmesi ile birlikte grafik destekli ayrıntılı rapor formlarının oluşturulması (Şekil 5) ve yazdırılması mümkün olmaktadır [7].



Şekil 5: TE Performans Analiz raporu ekran görüntüsü

Geliştirilen yazılımsal kalibrasyon özelliği sayesinde, sistem istenildiğinde ölçüm ve kontrol amaçlı olarak yeniden kalibre edilebilmektedir. Ayrıca sıcaklık ölçmelerinde T, K, J gibi çeşitli termokupullar için destek verilmektedir.

4. Sonuçlar

Hem bilimsel çalışmalar açısından hem de TE sistemlerin tasarlanması ve test edilmesi açısından, dinamik ısı ve elektriksel çıkış parametrelerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, gerçek TE modül ve sistemlerin çalışma anındaki dinamik ısı ve elektriksel çıkış parametrelerinin araştırılabilmesi ve performans analizlerinin yapılabilmesi amacıyla sıcaklık, akım ve gerilim gibi kolaylıkla ölçülebilen makroparametrelere dayanan yeni yöntemi [1-3] temel alan yazılım ve donanımdan oluşan bilgisayarda kontrollü bir test sistemi üzerinde durulmuştur. Çalışmada I_{max} , V_{max} ve E_{max} deneysel parametreler ile Q_c , T_c , COP , P , Z , K , R dinamik çıkış parametrelerinin elde edilmesine yönelik algoritmalar geliştirilerek sistem donanım ve yazılımı gerçekleştirilmiştir.

Tasarlanan ve gerçekleştirilen sistemin performansının belirlenmesi amacıyla Melcor firmasına ait CP 1.0 - 127 - 05L model TE modül kullanılarak yüklü ve yüksüz durumda deneysel çalışmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar üretici firmanın belirtilen model için sunduğu katalogta yer alan karakteristik özellikler ile karşılaştırılmıştır [8].

Yapılan ön testler neticesinde bilgisayar tabanlı olarak DA&C modülü üzerinden - 100 °C ~ 400 °C arası sıcaklık, 0 ~ 30 A akım ve 0 ~ 30 V gerilim ölçme ve bunlara bağlı kontrol işlemlerinin 0,05 hassasiyetle yapılabileceği anlaşılmıştır. Deneysel sonuçlar dikkate alındığında, tasarlanan ve gerçekleştirilen TE performans analiz sisteminin pratik, hızlı ve güvenilir bir sistem olduğu anlaşılmaktadır. Bu sayede TE sistemlerin kısa bir sürede test edilerek performanslarının değerlendirilmesi mümkün olmaktadır.

5. Kaynaklar

- [1] Ahıska R., "The study of thermoelectric effect on exit parameters of thermoelectric modules", *International Conference "Fizika - 2005"*, 7 - 9 June, Baku, Azerbaijan, 33, 144-148, 2005.
- [2] Ahıska R., "Termoelektrik modülün dinamik çıkış parametrelerinin araştırılması için yeni bir yöntem", *G.Ü. Müh. - Mimarlık Fak. Dergisi*, (Baskıda), 2007.
- [3] Ahıska, R. "New Method for Investigation of Dynamic Parameters of Thermoelectric Modules" *Doğa-Tr., Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, Vol.15 No.1, 51 - 65, 2007.
- [4] İnternet : Advantech USB DAQ Modules User Manuel <http://www.advantech.com/products> (Erişim: 2008).
- [5] Mean Well, SCP-800 Series DataSheet , 2004.
- [6] İnternet : Weidmüller WAS2 CMA 40/50/60A WAVEControl Current-Monitoring Module User Manuel, <http://www.weidmuller.com> (Erişim: 2008).
- [7] Dişlitaş, S., *Veritabanı Yönetim Sistemleri*, ISBN : 978 - 9944 - 0992 - 0 - 2, Özkan Mat., Ankara, 2007.
- [8] İnternet: Melcor Homepage, <http://www.melcor.com>, (Erişim: 2008).