

**BİLGİSAYAR KONTROLLÜ  
TERMOELEKTRİK PERFORMANS ANALİZ SİSTEMİ**

**Serkan DIŞLITAŞ**

**DOKTORA TEZİ  
ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2009**

**ANKARA**

Serkan DİŞLİTAŞ tarafından hazırlanan BİLGİSAYAR KONTROLLÜ TERMOELEKTRİK PERFORMANS ANALİZ SİSTEMİ adlı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Raşit AHISKA

Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Elektronik - Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. İnan GÜLER

Üye : Prof. Dr. Raşit AHISKA

Üye : Doç. Dr. M. Ali AKÇAYOL

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hamit ERDEM

Üye : Yrd. Doç. Dr. Uğur FİDAN

Tarih : ...../...../.....

Bu Tez, Gazi Üniversitesi Bilişim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

**TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Serkan DİŞLİTAŞ

**BİLGİSAYAR KONTROLLÜ  
TERMOELEKTRİK PERFORMANS ANALİZ SİSTEMİ  
(Doktora Tezi)**

**Serkan DIŞLITAŞ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ**

**Aralık 2009**

**ÖZET**

Bu tez çalışmasında; termoelektrik (TE) modül ve sistemlerin performans analizlerinin yapılabilmesi amacıyla bilgisayar kontrollü yeni bir TE performans analiz sistemi (TEPAS) tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. TEPAS'ın temelini; TE modülün çektiği akım, uçlarında düşen gerilim, ürettiği termoemk ve herhangi bir yüzeyindeki sıcaklık değerinin ölçülmesi prensibine dayanan yeni bir yöntem oluşturmaktadır. Geleneksel yöntemler yarıiletkenlerin parametrelerini sabit kabul etmekte veya sadece sıcaklık değişimlerini öngörmektedir. Bu sebeple, TE modüllerin performans hesaplamaları ve değerlendirmeleri hatalı olmaktadır. Buna karşılık; TE modülün performansını etkileyecek iç ve dış bütün faktörlerin toplam etkileri, çalışır durumdaki modülden doğrudan ölçülerek elde edilen deneysel parametrelerinin kullanılmasına dayanan yeni yöntemle otomatik olarak hesaba katılmaktadır. TEPAS donanımının temelini başta USB tabanlı çok fonksiyonlu veri toplama ve kontrol (DA&C) modülü olmak üzere sisteme yönelik sıcaklık, akım ve gerilim ölçümleri ile sistem kontrolü amaçlı uygunlaştırıcı devreler oluşturmaktadır. Bilgisayar kontrollü olarak ölçüm değerleri DA&C modülü üzerinden alınarak veritabanına kaydedilmekte ve gerekli kontrol sinyalleri üretilmektedir. Sistemde anahtarlama modlu güç kaynağının (SMPS) 24 V çıkışı bilgisayar kontrollü olarak %20-100 arasında ayarlanabilmektedir. Bu sayede, H-Köprü yöntemiyle bağlı TE modülün istenen

güçte ve iki yönlü olarak sürülmesi mümkün olmaktadır. Çalışmada sıcaklık dengesinin, deneysel parametrelerin ve çıkış parametrelerinin elde edilmesine yönelik çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Sistemin kontrol ve arayüz yazılımı Delphi görsel programlama dili ile geliştirilmiştir. TEPAS'ın performansının belirlenmesi amacıyla; Melcor CP1.0-127-05 model standart TE modül kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca TEPAS ile Ar-Ge'de geliştirilen prototip TE soğutma sistemi ve Rat Termohipoterm cihazının da performans analizleri yapılmıştır. TEPAS'a yönelik elde edilen deneysel sonuçlar, TE modül ve sistemlerin parametrelerinin belirlenmesi işlemlerinin pratik, hızlı ve güvenilir bir şekilde yapılabileceğini göstermiştir.

**Bilim Kodu** : 702.3.006  
**Anahtar Kelimeler** : Termoelektrik Modül, Ölçüm, Test, Bilgisayarlı Kontrol, Algoritma, Yazılım.  
**Sayfa Adedi** : 140  
**Tez Yöneticisi** : Prof. Dr. Raşit AHISKA

**COMPUTER CONTROLLED  
THERMOELECTRIC PERFORMANCE ANALYSIS SYSTEM**

**(Ph. D. Thesis)**

**Serkan DIŞLITAŞ**

**GAZİ UNIVERSITY  
INSTITUTE OF INFORMATICS**

**December 2009**

**ABSTRACT**

**In this thesis, a new with computer controlled thermoelectric performance analysis system (TEPAS) has been designed and developed in order to analyze performances of thermoelectric (TE) modules and systems. The fundamental of TEPAS is established on a new method based on the measurements of current pulled by TE module, voltage across the terminals of it, thermoemf it produces and temperature on any surface of it. Traditional method assumes parameters of semiconductors either constant or only temperature dependent. That's why; calculation and evaluation of performance of TE modules are misleading. On the other hand, with utilization of experimental parameters attained via direct measurements on an operating module enables the new method to take into account the total effects of all internal and external factors over the module. The basis of hardware of TEPAS is constituted with the multifunctional USB based data acquisition and control module (DA&C) as well as the adjustment circuitries for temperature, current and voltage measurements and for the system control. Under computer-control measurements are stored on the database via DA&C module and necessary control signals are generated. In the system, 24V output of SMPS can be adjusted within 20% to 100% range with computer control. Hence, via H-Bridge method, it is possible to drive TE at a desired power in both of the directions. In this study, various algorithms are developed to acquire temperature balance, experimental parameters and output**

parameters. The control and user-interface of the system is developed in Delphi Visual environment. So as to determine the performance of TEPAS, a standard TE module of MELCOR CP1.0-12705L has been utilized in the experimental studies. Furthermore, with a prototype of TE cooling system and Rat Hypothermia System developed in R&D Laboratory are analyzed in performance aspect with TEPAS. The experimental results attained show that with TEPAS, determination of parameters of TE systems and modules can be achieved easily, fast and in reliance.

**Science Code** : 702.3.006  
**Key Words** : Thermoelectric Module, Measurement, Test,  
Computerized Control, Algoritm, Software.  
**Pages** : 140  
**Thesis Manager** : Prof. Dr. Raşit AHISKA

## TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca ilgi ve bilimsel katkılarıyla beni yönlendiren tez danışmanım Prof. Dr. Raşit AHISKA'ya, tez izlememde yer alan çok değerli hocalarım Prof. Dr. İnan GÜLER ve Yrd. Doç. Dr. Hamit ERDEM'e teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca kıymetli desteklerini esirgemeyerek çalıőmalarıma katkı sağlayan mesai arkadaşım Öğr. Gör. Hilmi YANMAZ'a, emeği geçen tüm arkadaşlarıma ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme teőekkürü bir borç bilirim.



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xv
RESİMLERİN LİSTESİ.....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	xx
1. GİRİŞ .....	1
2. TERMOELEKTRİK SİSTEMLER .....	6
2.1. Elektrik, Termoelektrik Etkiler ve Termoelektrik Elemanlar .....	6
2.1.1. Joule etkisi .....	6
2.1.2. Termoelektrik etkiler .....	6
2.2. Termoelement ve Termoelektrik Modül .....	9
2.2.1. Termoelektrik yarıiletkenler ve elde edilme yöntemleri.....	9
2.2.2. Termoelement .....	11
2.2.3. Termoelektrik modül .....	13
2.2.4. Termoelektrik modülün avantajları ve uygulama alanları .....	15
2.3. Termoelektrik Modülün Soğutucu Olarak Kullanılması.....	16
2.4. Termoelektrik Modülün Jeneratör Olarak Kullanılması .....	17

**Sayfa**

3. TERMOELEKTRİK YARIİLETKEN VE MODÜL PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLME YÖNTEMLERİ .....	18
3.1. Termoelektrik Yarıiletkenlerin Parametreleri .....	18
3.2. Termoelektrik Modülün Performansı .....	18
3.3. Klasik yöntem .....	21
3.4. İdealize Yöntem .....	26
3.5. Yeni Yöntem .....	27
4. TASARLANAN SİSTEM .....	36
4.1. Sistemin Genel Yapısı .....	36
4.2. Donanım .....	40
4.2.1. Veri toplama ve kontrol (DA&C) modülü .....	40
4.2.2. SMPS - Anahtarlama modlu güç kaynağı .....	42
4.2.3. TE modül ölçüm ve kontrol birimi .....	44
4.2.4. TE sistem düzeneği .....	49
4.3. Algoritma .....	52
4.3.1. Sıcaklık dengesinin $\Delta T$ 'ye bağlı olarak belirlenmesi algoritması .....	54
4.3.2. TE modül akımının kontrol edilmesine yönelik algoritma .....	55
4.3.3. Termoemk değişim deneyi algoritması .....	57
4.3.4. TE modülün deneysel ve çıkış parametrelerinin belirlenmesi algoritması .....	58
4.3.5. Parabol hesaplamaları ile TE modül deneysel parametrelerinin bulunması .....	60
4.4. Sistem Yazılımı .....	63
4.4.1. Ana ekran .....	65

	<b>Sayfa</b>
4.4.2. ‘DA&C Modül Testi’ ekranı .....	66
4.4.3. ‘TE Performans Analizi’ ekranı .....	66
4.4.4. Raporlama işlemleri .....	77
4.4.5. Yardımlar .....	79
<b>5. TASARLANAN SİSTEMİN PERFORMANS ANALİZİ .....</b>	<b>80</b>
5.1. Ölçme ve Kalibrasyon.....	80
5.1.1. DA&C modül kalibrasyonu .....	82
5.1.2. Akım ölçüm kalibrasyonu .....	84
5.1.3. Gerilim ölçüm kalibrasyonu.....	85
5.1.4. Sıcaklık ölçüm kalibrasyonu .....	86
5.1.5. SMPS kalibrasyonu.....	87
5.2. Deneysel Çalışma.....	88
5.2.1. Yazılım başlangıç ayarlarının yapılması.....	90
5.2.2. Deneysel parametrelerin elde edilmesi .....	91
5.2.3. Çıkış parametrelerinin elde edilmesi .....	94
5.2.4. TE modülün dinamik analizi .....	101
5.2.5. TE modülün materyal parametrelerinin belirlenmesi .....	103
5.2.6. Akımın artan veya azalan yönde TE modüle uygulanmasına bağlı değişimlerin incelenmesi .....	106
5.2.7. Test sistemi ile elde edilen parametrelerin TE modülün katalog verileri ile karşılaştırılması .....	107
<b>6. UYGULAMALAR .....</b>	<b>109</b>
6.1. TE Soğutma Sisteminin Performans Analizi .....	109
6.2. Rat Termohipoterm Sisteminin Performans Analizi.....	113

**Sayfa**

6.3. TE Modül ve TE Sistem Parametrelerinin Karşılaştırılması.....	117
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	119
KAYNAKLAR.....	124
EKLER.....	132
EK-1. Akım İzleme Modülü Katalog Bilgileri .....	133
EK-2. USB DA&C Modülleri Katalog Bilgileri .....	134
EK-3. SCP 800-64 Model SMPS Katalog Bilgileri .....	136
ÖZGEÇMİŞ .....	139

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1. TE yarıiletken ve modüllere yönelik parametreler .....	20
Çizelge 4.1. Bilgisayar kontrollü TEPAS'ın genel karakteristik özellikleri .....	38
Çizelge 4.2. TEPAS ile ölçülen parametreler .....	39
Çizelge 4.3. Veri toplama ve kontrol modülü kanal düzeni .....	41
Çizelge 4.4. TE modül çalışma modu düzenleri .....	46
Çizelge 4.5. USB-4718 DA&C modülünün termokupl tipine bağlı ölçüm aralıkları, doğrulukları ve maksimum hataları .....	49
Çizelge 5.1. USB-4716 DA&C modül analog giriş-çıkış ölçümleri .....	83
Çizelge 5.2. Akım ölçüm kalibrasyonuna yönelik elde edilen sonuçlar .....	84
Çizelge 5.3. Gerilim ölçüm kalibrasyonuna yönelik elde edilen sonuçlar .....	85
Çizelge 5.4. Sıcaklık ölçüm kalibrasyonuna yönelik elde edilen sonuçlar .....	86
Çizelge 5.5. SMPS yüksüz ölçüm sonuçları .....	87
Çizelge 5.6. SMPS yüklü (5 $\Omega$ ) ölçüm sonuçları .....	88
Çizelge 5.7. $T_{Cmin}$ rejimde, çalışan gerçek yüksüz Melcor CP1.0-127-05 model Standart TE modülün çıkış parametrelerinin akıma göre değişimi.....	92
Çizelge 5.8. Ölçme ve parabol hesabı ile elde edilen deneysel parametreler .....	94
Çizelge 5.9. $Q_{Cmax}$ rejimde, çalışan gerçek yüklü Melcor CP1.0-127-05 model standart TE modülün çıkış parametrelerinin akıma göre değişimi .....	96
Çizelge 5.10. $I_{max}$ rejimde, çalışan gerçek yüklü Melcor CP1.0-127-05 model standart TE modülün çıkış parametrelerinin $Q_L$ ısı yüküne göre değişimi .....	98
Çizelge 5.11. TE modül materyal parametrelerinin sıcaklığa bağlı değişimi.....	104
Çizelge 5.12. Akımın artan - azalan yönde uygulanmasına bağlı olarak Melcor CP1.4-127-10 model TE modül için elde edilen deneysel parametreler.....	107

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 5.13. Melcor CP1.0-127-05 model TE modülün $T_H = 25$ °C'de üretici ve sistem ile elde edilen performans parametreleri .....	108
Çizelge 6.1. $T_{Cmin}$ rejimde prototip TE soğutma sisteminin çıkış parametrelerinin akıma göre değişimi .....	110
Çizelge 6.2. $T_{Cmin}$ rejimde, Rat termohipoterm sisteminin çıkış parametrelerinin akım ve gerilime göre değişimi .....	115
Çizelge 6.3. TE modül ve TE sistem parametrelerinin karşılaştırılması .....	118

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Seebeck etkisini açıklayan TE devre. ....	7
Şekil 2.2. Peltier etkisini açıklayan TE devre .....	8
Şekil 2.3. Thomson etkisini açıklayan TE devre. ....	9
Şekil 2.4. Termoelementin temel yapısı .....	12
Şekil 2.5. Termoelementin soğuyan levhasında akıma bağlı ısı değişimleri .....	13
Şekil 2.6. TE modülün yapısı.....	14
Şekil 2.7. Çeşitli yapı ve özelliklerde TE modüller .....	14
Şekil 2.8. Soğutucu modunda TE modül .....	16
Şekil 2.9. Jeneratör modunda TE modül.....	17
Şekil 3.1. TE modül giriş ve çıkış parametreleri .....	19
Şekil 3.2. TE modüle uygulanan basamak akım darbesi ve TE modül uçlarında görülen transient gerilimi .....	25
Şekil 4.1. TE performans analiz sistemi kapalı çevrim genel kontrol döngüsü .....	37
Şekil 4.2. Bilgisayar kontrollü TEPAS'ın genel blok şeması .....	40
Şekil 4.3. USB DA&C modüllerin test sistemine yönelik kanal düzenleri .....	42
Şekil 4.4. SMPS'nin sisteme yönelik bağlantısı .....	43
Şekil 4.5. SCP 800-24 SMPS çıkışının harici kontrol girişine bağlı olarak oransal değişimi .....	44
Şekil 4.6. TE modülün ölçüm ve kontrol amaçlı bağlantısı .....	45
Şekil 4.7. Akım izleme modülü şematik devre diyagramı .....	47
Şekil 4.8. TE sistem deney düzeneği .....	50

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.9. Soğutma sistemi kapalı çevrim genel kontrol döngüsü .....	51
Şekil 4.10. TE modülde giriş gücüne bağlı olarak performans değişimi .....	52
Şekil 4.11. Sıcaklık dengesinin $\Delta T$ 'ye bağlı olarak belirlenmesi akış şeması .....	55
Şekil 4.12. TE modül akımının kontrol edilmesine yönelik akış şeması .....	56
Şekil 4.13. Termoemk değişiminin elde edilmesine yönelik akış şeması .....	57
Şekil 4.14. TE modülün deneysel ve çıkış parametrelerinin elde edilmesi akış şeması .....	59
Şekil 4.15. Performans eğrisinde tepe noktası koordinatının belirlenmesi.....	61
Şekil 4.16. Sistem yazılımı genel blok şeması .....	63
Şekil 4.17. ActiveDAQPro ActiveX denetimleri .....	64
Şekil 4.18. Sistem veritabanı .....	65
Şekil 4.19. TE performans analizi deneyine yönelik elde edilen çeşitli parametreler .....	71
Şekil 4.20. Deneysel parametrelerin belirlenmesi .....	72
Şekil 4.21. Fonksiyonel parametrelerin belirlenmesi .....	72
Şekil 4.22. Eksen seçimlerine bağlı olarak çeşitli grafikler .....	73
Şekil 4.23. Veritabanı (a) deney kayıt ve (b) geçmiş testleri çağırma işlemleri .....	73
Şekil 4.24. $T_{Cmin}$ rejimi için parabol kullanım seçeneği .....	74
Şekil 4.25. Parabol hesabı ve ölçümler ile elde edilen deneysel parametreler .....	75
Şekil 4.26. Termoemk değerinin $\Delta T$ 'ye bağlı değişimi .....	76
Şekil 4.27. Termoemk değerinin zamana bağlı değişimi .....	76
Şekil 5.1. TE Performans analiz sistemi deney düzeneği .....	89
Şekil 5.2. $T_{Cmin}$ rejimde $\Delta T$ 'nin I'ya göre değişimi .....	93



<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.3. $T_{Cmin}$ rejimde $\Delta T$ 'nin $V$ 'ye göre değişimi .....	93
Şekil 5.4. CP1.0-12705 model TE modülün deneysel parametreleri.....	93
Şekil 5.5. Yeni yöntemeye göre $Q_{Cmax}$ rejimde $Q_C$ ve COP'un $I$ 'ya göre değişimi .....	95
Şekil 5.6. Yeni yöntemeye göre $I_{max}$ rejimde $Q_C$ ve COP'un $\Delta T$ 'ye göre değişimi .....	99
Şekil 5.7. $I_{max}$ rejimde $T_C$ sıcaklığının $E$ 'ye göre değişimi .....	99
Şekil 5.8. $I_{max}$ rejimde $Q_C$ ısı yüklerinin $E$ 'ye göre değişimi .....	100
Şekil 5.9. $I_{max}$ rejimde $Z$ 'nin $T_H$ 'ye göre değişimi .....	100
Şekil 5.10. $I_{max}$ rejimde $Z$ 'nin $E$ 'ye göre değişimi .....	101
Şekil 5.11. TE modül sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi .....	102
Şekil 5.12. TE modülde $\Delta T$ sıcaklık farkına bağlı termoemk değişimi .....	102
Şekil 5.13. TE modülde zamana bağlı termoemk değişimi .....	103
Şekil 5.14. TE modülün $\alpha$ materyal parametresinin $T_{avg}$ değerine bağlı değişimi ..	104
Şekil 5.15. TE modülün $\rho$ materyal parametresinin $T_{avg}$ değerine bağlı değişimi...	105
Şekil 5.16. TE modülün $k$ materyal parametresinin $T_{avg}$ değerine bağlı değişimi...	105
Şekil 5.17. TE modülün $z$ materyal parametresinin $T_{avg}$ değerine bağlı değişimi...	106
Şekil 5.18. Akımın artan-azalan yönde uygulanmasına bağlı $\Delta T$ değişimleri.....	107
Şekil 6.1. TE soğutma sisteminin akım ve gerilime bağlı sıcaklık değişimleri .....	110
Şekil 6.2. TE soğutma sisteminin deneysel parametreleri .....	111
Şekil 6.3. TE soğutma sisteminin $Q_{Cmax}$ rejimdeki (a) $Q_C$ ve (b) COP'un $I$ 'ya göre değişimi .....	111
Şekil 6.4. TE soğutma sisteminin $I_{max}$ rejimde (a) $Q_C$ ve (b) COP'un $\Delta T$ 'ye göre değişimi .....	111
Şekil 6.5. Prototip TE soğutma sisteminin çeşitli akımlar için zaman bağlı (a) $T_H$ (b) $\Delta T$ sıcaklık değişimleri.....	112

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 6.6. Prototip TE soğutma sisteminin çeşitli akımlar için soğutma hızları .....	113
Şekil 6.7. Rat termohipoterm sistemi.....	114
Şekil 6.8. Rat termohipoterm sisteminin akım ve gerilime bağlı sıcaklık değişimleri .....	115
Şekil 6.9. Rat termohipoterm sisteminin deneysel parametreleri .....	116
Şekil 6.10. Rat termohipoterm sisteminin çeşitli akımlar için zamana bağlı (a) $T_C$ ve (b) $\Delta T$ sıcaklık değişimleri .....	116
Şekil 6.11. Rat termohipoterm sisteminin çeşitli akımlar için soğutma hızları .....	117

## RESİMLERİN LİSTESİ

<b>Resim</b>	<b>Sayfa</b>
Resim 4.1. Bilgisayar kontrollü TEPAS'ın görünümü .....	36
Resim 4.2. Kontrol ve arayüz yazılımı ana ekran görüntüsü .....	65
Resim 4.3. 'DA&C Modül Testi' ekran görüntüsü .....	66
Resim 4.4. 'Genel Ayarlar' ekran görüntüsü .....	68
Resim 4.5. 'Çıkış Parametreleri Testi' ekran görüntüsü.....	70
Resim 4.6. 'Dinamik Analiz' ekran görüntüsü .....	75
Resim 4.7. Deney sonucuna yönelik rapor formu ekran görüntüsü.....	78
Resim 4.8. Deney verilerinin Excel ortamına aktarımı .....	78
Resim 4.9. Yardıma yönelik ana ekran görünümü .....	79
Resim 5.1. 'TE Performans Analizi' ekranı.....	90
Resim 5.2. 'Çıkış Parametreleri Testi' ekranı.....	91
Resim 6.1. TE soğutma sistemi performans analizinin TEPAS ile yapılmasına yönelik deney düzeneği .....	109
Resim 6.2. Rat termohipoterm sistemi performans analizinin TEPAS ile yapılmasına yönelik deney düzeneği .....	114

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamalar ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
<b>a</b>	Alan
<b>°C</b>	Santigrad derece
<b>COP</b>	Performans katsayısı
<b>E</b>	TE modül tarafından üretilen termoemk
<b>E<sub>max</sub></b>	Termoemk ( $\Delta T = \Delta T_{max}$ iken)
<b>G</b>	Geometrik faktör
<b>h</b>	Yükseklik
<b>I</b>	TE modül akımı
<b>I<sub>max</sub></b>	TE modül akımı ( $\Delta T = \Delta T_{max}$ iken)
<b>K</b>	TE modül termal iletkenliği
<b>K</b>	Kelvin derece
<b>P</b>	TE modül güç tüketimi
<b>Q<sub>C</sub></b>	TE modülün soğuk yüzeyinden soğurulan ısı yükü
<b>Q<sub>Cmax</sub></b>	Soğurulan maksimum ısı yükü ( $I=I_{max}$ ve $\Delta T=0$ iken)
<b>Q<sub>conv</sub></b>	Konveksiyon dış ısı yükü
<b>Q<sub>H</sub></b>	TE modülün sıcak yüzeyinden açığa çıkan ısı yükü
<b>Q<sub>j</sub></b>	Joule ısı gücü
<b>Q<sub>L</sub></b>	Dış ısı yükü
<b>Q<sub>p</sub></b>	Peltier ısı gücü
<b>Q<sub>rad</sub></b>	Radyasyon dış ısı yükü
<b>Q<sub>T</sub></b>	Thomson ısı
<b>R</b>	TE modül direnci
<b>T</b>	Mutlak sıcaklık
<b>T<sub>amb</sub></b>	Ortam sıcaklığı

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$T_{avg}$	TE modül yüzeylerarası ortalama sıcaklığı $(T_H+T_C)/2$
$T_C$	TE modül soğuk yüzey sıcaklığı
$T_H$	TE modül sıcak yüzey sıcaklığı
$T_{load}$	Yük sıcaklığı
$V$	TE modül gerilimi
$V_{max}$	TE modül gerilimi ( $\Delta T = \Delta T_{max}$ iken)
$\Delta T$	TE modül yüzeylerarası sıcaklık farkı
$\Delta T_{max}$	Maksimum sıcaklık farkı ( $Q_L=Q_C=0$ iken)
$\Delta V$	Potansiyel farkı
$Z$	TE modülün kalite katsayısı
$k$	Yarıiletkenin termal iletkenlik katsayısı
$\alpha$	Yarıiletken Seebeck katsayısı
$\rho$	Yarıiletkenin özdirenci
$\pi$	Yarıiletken Peltier katsayısı
$\sigma$	Stefan Boltsman sabiti
$\tau$	Zaman sabiti

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
<b>CJC</b>	Soğuk Nokta Kompanzasyonu
<b>DA&amp;C</b>	Veri Toplama ve Kontrol
<b>EMK</b>	Elektromotor Kuvveti
<b>SMPS</b>	Anahtarlama Modlu Güç Kaynağı
<b>SQL</b>	Yapısal Sorgulama Dili
<b>TE</b>	Termoelektrik
<b>TEPAS</b>	Termoelektrik Performans Analiz Sistemi
<b>USB</b>	Evrensel Seri Veriyolu
<b>VTKS</b>	Veri Toplama ve Kontrol Sistemi

## 1. GİRİŞ

Yarıiletken teknolojileri birçok teknolojinin temelini oluşturmaktadır ve bu konuda dünyada geniş çapta çalışmalar yapılmaktadır. Çevre ve enerji sorunlarının arttığı günümüzde TE yarıiletkenler ve bunlara bağlı teknolojilerin önemi artmaktadır. Bu açıdan sessiz, güvenilir, basit yapılı ve uzun ömürlü olmalarının yanı sıra DC gerilim ile çalışmaları, sıcaklık kontrollerinin kolaylıkla yapılabilmesi, bakım gerektirmemeleri gibi birçok avantaja sahip çevre dostu termoelektrik (TE) modüllere olan ilgi gün geçtikçe artmaktadır. Hem soğutma-ısıtma hem de elektrik enerjisi üretimi amaçlı olarak kullanılabilen TE modüllerin uygulama alanları başta askeri, uzay, tıp, bilimsel çalışmalar olmak üzere hızla yaygınlaşmakta ve TE ürünlere yönelik piyasanın ekonomik hacmi büyümektedir. Bu piyasanın büyümesi modüllerin tasarlanması ve doğru seçilmesine bağlıdır. TE sistemlerin temelinde termoelementlerden oluşan TE modüller yer almaktadır. TE modüller iki seramik tabaka arasında elektriksel olarak birbirine seri, termal olarak birbirine paralel olacak şekilde bağlantılı P ve N tipi yarıiletkenlerinden oluşmaktadır. TE sistemlerin ısı transferlerinin yüksek, güç tüketimlerinin düşük ve ekonomik olmaları istenmektedir. TE sistemlerin seçimi ve tasarımı, TE modüllerin katalog verilerindeki performans eğrileri dikkate alınarak yapılmaktadır. TE modüllerin performansı, uygulanan DC akım giriş parametresine bağlı olarak yüzeyler arasında elde edilebilecek maksimum sıcaklık farkı ( $\Delta T_{max}$ ) veya TE modülün soğuk yüzeyinden soğurulan maksimum ısı yükü ( $Q_C$  - Soğutma Gücü) olarak tanımlanabilir. Aynı zamanda TE modülün performansı, onun ısı pompalama kapasitesi olarak da ifade edilebilir [1-7].

Hem bilimsel çalışmalar açısından hem de TE sistemlerin tasarlanıp test edilmesi açısından; çalışan gerçek bir TE modülün ısıl ve elektriksel çıkış parametrelerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Bu açıdan araştırmacı ve üreticilerin çözmesi gereken temel problem, modülün gerçek şartlardaki parametrelerinin hızlı, doğru ve güvenilir bir şekilde elde edilmesidir. Bu nedenle TE modüllerin performanslarının belirlenebilmesine yönelik klasik hale gelmiş yöntemler, bu yöntemleri temel alan cihazlar ve bilgisayar yazılımları geliştirilmiştir [8-17]. Geleneksel yöntemler yarıiletkenlerin parametrelerini sabit kabul etmekte veya sadece sıcaklık

değişimlerini öngörmektedir. TE modülün çıkış parametrelerinin hesabı, üretici katalog verilerinden alınan yarıiletken parametreleri kullanılarak yapılmaktadır. Ancak çalışma esnasında TE modülü oluşturan yarıiletkenlerin termal iletkenlik ( $k$ ), Seebeck katsayısı ( $\alpha$ ), öz direnç ( $\rho$ ) ve kalite katsayısı ( $z$ ) parametreleri değişmektedir. Bunun nedeni;  $\alpha$ ,  $\rho$ ,  $k$ ,  $z$  gibi parametrelerin sadece sıcaklığa göre değil, aynı zamanda yarıiletkenin geometrik boyutlarına ve modülün yapısal özelliklerine bağlı olarak da değişebilmesidir. Üstelik; TE modül çalışırken bu parametreler değişim gösterdiğinden, belirlenmeleri işlemi çok zordur. Ayrıca gerçek bir TE modülün üretimine yönelik yapısal ve teknolojik faktörlerinin hesaba katılmaması kullanılan yöntemleri yetersiz kılmaktadır. Çünkü TE modülün yapımında kullanılan yarıiletkenler ile birlikte iletken bağlayıcılar, lehimleme teknikleri ve paketleme işlemleri de performansı büyük ölçüde etkileyen faktörlerdir. Bu nedenlerden dolayı geleneksel yöntemlerle çalışan cihazlar temel problemi çözmektedir ve çalışır durumdaki TE modülün performans hesaplamaları ve çıkış parametrelerinin değerlendirilmesi hatalara yol açabilmektedir. Bu açıdan pratik, etkin ve maliyeti daha düşük bir yöntemin ortaya çıkarılması hem teori hem de uygulama açısından büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla gerçek bir TE modülün çalışma anındaki çıkış parametrelerinin belirlenebilmesi ve ayrıca bu parametreleri etkileyen iç ve dış faktörlerin katkılarının araştırılabilmesi için; AHISKA tarafından sıcaklık, akım ve gerilim gibi kolaylıkla ölçülebilir parametrelere dayanan yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Yeni yöntemin teorik altyapısı oluşturulduktan sonra, geleneksel yöntemlerle ayrıntılı bir şekilde karşılaştırılmaları yapılmış ve yeni yöntemin daha hassas olduğu kanıtlanarak üstünlüğü gösterilmiştir. Teorik ve deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bilimsel bulgular ulusal ve uluslararası dergilerde yayınlanarak literatürde önemli bir yer almıştır. Çalışır durumdaki TE modülün ürettiği termoemk ( $E$ ) değerinin ölçümüne dayanan yeni yöntemin geliştirilmesi ve kullanılmasıyla temel problem büyük ölçüde çözülmüştür [18-26].

Geliştirilen yeni yöntemin temelini sadece çalışan modülün çektiği akım ( $I$ ), uçlarında düşen gerilim ( $V$ ), ürettiği termoemk ( $E$ ) ve herhangi bir yüzeyindeki sıcaklık ( $T_H$  ya da  $T_C$ ) değerinin ölçülmesi işlemi ile bu parametreleri içeren yeni eşitlikler oluşturmaktadır. Bu eşitliklerin kullanılabilmesi için de  $I_{max}$ ,  $V_{max}$  ve  $E_{max}$

deneysel parametre değerlerinin önceden ölçümler yardımıyla belirlenmesi gerekmektedir. TE modülün performansını etkileyecek iç ve dış bütün faktörlerin toplam etkileri çalışır durumdaki modülden doğrudan ölçülerek elde edilen  $V_{max}$ ,  $I_{max}$  ve  $E_{max}$  deneysel parametrelerinin kullanılmasına dayanan yeni yöntemle otomatik olarak hesaba katılmaktadır [18-26].

Isı sıcaklık farkı ya da basınç farkıyla iletilen bir enerji çeşidi olup, Termodinamiğin II. Kanununa göre normal şartlarda yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan daha düşük sıcaklıktaki bir ortama kendiliğinden iletilmektedir. Ancak yine Termodinamiğin II. Kanununa göre sisteme dışarıdan uygulanan bir enerji ile ısının düşük sıcaklıktaki bir ortamdan alınarak daha yüksek sıcaklıktaki bir ortama verilmesi de mümkün olmaktadır. Gerçekleştirilen bu işleme soğutma, bu prensibe göre çalışan cihazlara da soğutucu veya başka bir ifade ile ısı pompası adı verilmektedir. Isı geçişi katı, sıvı ve gazlarda maddenin molekülleri arasındaki etkileşim sonucu iletim (kondüksiyon) yoluyla; katı bir yüzey ile onun temas ettiği akışkan arasında taşınım (konveksiyon) yoluyla ve ayrıca maddenin elektron düzeninde olan değişmeler sonucunda yayılan elektromanyetik dalgalar veya fotonlar aracılığıyla ışıınım (radyasyon) yoluyla olmak üzere üç türlü gerçekleşebilmektedir. Isının iletim yoluyla geçtiği ortamlardaki sıcaklıkların zamanla sabit kalması hali 'Sabit Rejim', zamanla değişmesi hali ise 'Değişken Rejim' olarak adlandırılmaktadır. Soğuk, bir nesnenin sıcaklığını bilinen başka bir sıcaklıkla karşılaştırarak göreceli olarak yapılan bir tanımdır. Sıcaklık ise, atomların sahip oldukları kinetik enerjilerinin bir ifadesi olup, atom hareketleri hızlandıkça sıcaklık da artmaktadır [27, 28].

Gelişen teknoloji ile birlikte bilgisayar sistemleri daha güçlü ve daha hızlı bir yapıya kavuşmuştur. Bununla birlikte bilgisayar arabirim bağlantıları da daha hızlı, hassas ve güvenilir bir hale gelmiştir. Ayrıca yazılım geliştirme araçlarının sunduğu görsel ve grafik tabanlı programlama yetenekleri sayesinde de daha kullanışlı, göze hoş gelen kullanıcı dostu arayüzler oluşturulabilmektedir. Bu özelliklerinden dolayı günümüzde sistemlerin izlenmesi ve kontrol edilmesi amacıyla bilgisayar tabanlı Veri Toplama ve Kontrol Sistemleri (VTKS)'nin önemi artmakta ve kullanımları hızla yaygınlaşmaktadır. Bilgisayar tabanlı olarak ölçme, kontrol, analiz ve depolama



işlemlerinin geliştirilen yazılımlar sayesinde istenilen özellik ve çeşitlilikte yapılması ve bu sayede değerlendirme sürecinin iyileştirilmesi mümkün olmaktadır. TE sistemlere yönelik yapılan araştırmalarda da çok yönlü, pratik kullanıma dayalı ve kullanıcı dostu gelişmiş bilgisayar yazılımlarına ihtiyaç duyulmakta ve buna paralel olarak da kullanımları hızla yaygınlaşmaktadır [29-35].

Veri toplama, fiziksel büyüklüklerin bir bilgisayar tarafından işlenmesi, analiz edilmesi ve depolanması amacıyla; ölçülerek sayısal formatta elektrik sinyallerine dönüştürülmesi sürecidir. Kontrol ise, sistem donanımından gelen sayısal kontrol sinyallerinin, hareketlendirici cihaz (actuator) ya da röle gibi kontrol cihazları tarafından kullanılmak üzere, bir sinyal biçimine toplandığı süreçtir. Veri elde etme, izleme, kontrol, analiz ve depolama fonksiyonlarına sahip VTKS'lerin temel elemanları arasında; algılayıcılar (sensör) ve güç dönüştürücüler (transducer), sinyal şartlandırıcılar, Veri Toplama ve Kontrol (DA&C) donanımı, bilgisayar, işletim sistemi ve uygulama yazılımı yer almaktadır. DA&C donanımları hem dahili olarak bilgisayarın genişleme yuvalarına takılabilen kartlar şeklinde hem de harici olarak bilgisayarın USB (Evrensel Seri Veriyolu), seri, paralel vb. bağlantı noktalarına bağlanacak şekilde modüler yapıda tasarlanabilmektedirler [36-40].

VTKS'ler için büyük öneme sahip yazılım, temelde sürücü ve uygulama yazılımından oluşmaktadır. Sürücü yazılımı DA&C donanımına özgü olup, donanımın işletim sistemi tarafından anlaşılır hale gelmesine yönelik komut kümesinden oluşmaktadır. Bu sayede alt düzey programlama bilgisine gerek kalmadan, uygulama yazılımlarının geliştirilmesi daha kolay bir hale gelmektedir. Sürücü yazılımları genellikle ilgili üretici tarafından hazırlanarak kullanıma sunulurken, uygulama yazılımları ise temelde kullanıcı arayüzü niteliğindedir. Uygulama yazılımları hem temel işlevleri yerine getirecek şekilde üretici tarafından, hem de isteğe özel olarak tasarımcı tarafından geliştirilebilmektedir.

Bu çalışmada; geliştirilen yeni yöntemin uygulanabilmesi amacıyla yazılım ve donanımdan oluşan taşınabilir bilgisayar kontrollü Termoelektrik Performans Analiz Sistemi (TEPAS) tasarlanmış, gerçekleştirilmiş ve test edilmiştir. Sistem

donanımının temelinde USB tabanlı 16 bit çözünürlükte analog giriş-çıkış, termokupl giriş ve sayısal giriş-çıkışlara sahip çok fonksiyonlu DA&C modülleri kullanılarak gerekli olan verilerin toplanması ve sisteme yönelik kontrol işlemleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada sıcaklık dengesinin belirlenmesinin yanında deneysel ve çıkış parametrelerinin elde edilmesine yönelik olmak üzere çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Gerçekleştirilen sistemde ölçme ve kontrol işlemi bilgisayar tabanlı olarak yapıldığından sistem yazılımı büyük önem taşımaktadır. Sisteme yönelik kontrol ve arayüz yazılımı; Delphi görsel programlama yazılım geliştirme aracı kullanılarak kullanımı kolay, etkili ve açık bir grafik arayüze sahip kullanıcı dostu olacak şekilde geliştirilmiş ve animasyonla desteklenmiştir. Tasarlanan ve gerçekleştirilen sistemin performansının belirlenmesi amacıyla Melcor CP1.0-127-05 model standart TE modül [41] kullanılarak, yüklü ve yüksüz durumda deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca uygulamaya yönelik olarak Ar-Ge laboratuvarında gerçekleştirilen prototip TE soğutma sistemi ve Rat Termohipoterm cihazının da TEPAS ile performans analizi yapılmıştır.

Bu tez çalışması yedi bölümden oluşmaktadır. Tezin ikinci bölümünde; TE olaylar, TE yarıiletkenler, TE modüller ve TE sistemler incelenmiştir. Tezin üçüncü bölümünde, TE yarıiletkenlerin ve modüllerin parametrelerinin elde edilmesine yönelik geleneksel yöntemler ve geliştirilen yeni yöntem üzerinde durulmuştur. Tezin dördüncü bölümünde, tasarlanan ve gerçekleştirilen bilgisayar kontrollü TEPAS ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Tezin beşinci bölümünde, gerçekleştirilen sistemin performans analizi yapılmıştır. Tezin altıncı bölümünde, prototip olarak geliştirilen TE soğutma sistemi ve Rat Termohipoterm cihazının TEPAS ile performans analizleri yapılmıştır. Tezin sonuç bölümünde; tasarlanan sistemin genel bir değerlendirilmesi yapılarak kullanılabilirliği, avantajları ve geliştirilebilirliği hakkında bilgiler verilmiştir.

## 2.TERMOELEKTRİK SİSTEMLER

### 2.1. Elektrik, Termoelektrik Etkiler ve Termoelektrik Elemanlar

Uygulama açısından büyük öneme sahip olan maddenin elektriksel özelliklerini Joule ve TE etkiler karakterize etmektedir [7, 42].

#### 2.1.1. Joule etkisi

James Prescott Joule'un isminin verildiği ve elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşümünü ifade eden kanununa göre; bir iletkenin ısısı, direnci ve içinden geçen akımın karesiyle orantılı olarak artar. Bir elektrik devresinde birim zamanda ortaya çıkan Joule ısısı miktarı Watt olarak;

$$Q_j = I^2 \cdot R \quad (2.1)$$

şeklinde ifade edilir [42].

#### 2.1.2. Termoelektrik etkiler

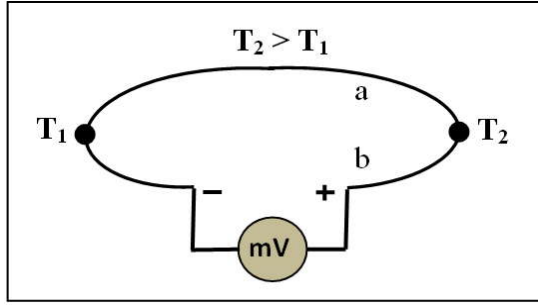
TE etki, ısı enerjisi ile elektrik enerjisinin birbirlerine doğrudan dönüşümü olarak tanımlanır. TE etki, İngiliz fizikçi James P. Joule'un tanımladığı geri dönüşümü olmayan elektrik-ısı dönüşümü ile tersine çevrilebilir Seebeck, Peltier ve Thomson etkilerini kapsamaktadır. Seebeck etkisi 1821 yılında Alman Fizikçi Thomas Johann Seebeck, Peltier etkisi 1834 yılında Jean Charles Athanese Peltier, Thomson etkisi ise 1856 yılında William Thomson (Lord Kelvin) tarafından keşfedilmiş ve adları bu olaylara verilmiştir. Peltier etkisi TE soğutucuların, Seebeck etkisi ise TE jeneratörlerin temelini oluşturmaktadır. Thomson etkisi düşük etkili olduğundan genellikle göz ardı edilmektedir. Isı ve elektriksel etkilerin bir arada bulunduğu devreye TE devre, TE devre prensibine göre çalışan sistemlere de TE sistem adı verilmektedir [42].

### Seebeck etkisi

Alman fizikçi Thomas Johann Seebeck 1821 yılında, farklı metallere yapılmış iki iletkenin uçları birleştirilerek oluşturulan ve termokupl olarak adlandırılan kapalı bir TE devrede; iletkenlerin birleşim noktaları arasında oluşturulan sıcaklık farkıyla doğru orantılı bir gerilim meydana geldiğini bulmuştur. Seebeck etkisinin anlatıldığı TE seri devre Şekil 2.1’de görülmektedir. a ve b gibi farklı iletkenler kullanılarak oluşturulan bu seri devrede, iletkenlerin birleşim noktalarına birbirinden farklı  $T_1$  ve  $T_2$  sıcaklıkları uygulandığında iletken uçlarında bir potansiyel farkı meydana gelmektedir.  $\Delta T$  sıcaklık farkıyla doğru orantılı olarak meydana gelen bu potansiyel fark ( $\Delta V$ );

$$\Delta V = \alpha \cdot \Delta T \quad (2.2)$$

eşitliği ile ifade edilir. Burada  $\alpha$ , Seebeck katsayısı (termoemk) olup birimi  $V / K$ ’ dir. Seebeck etkisinin, TE yarıiletkenlerde jeneratör olarak, metallere ise ısı ölçümü (termokupl) olarak kullanıldığı iki önemli ana uygulaması vardır [42, 43].



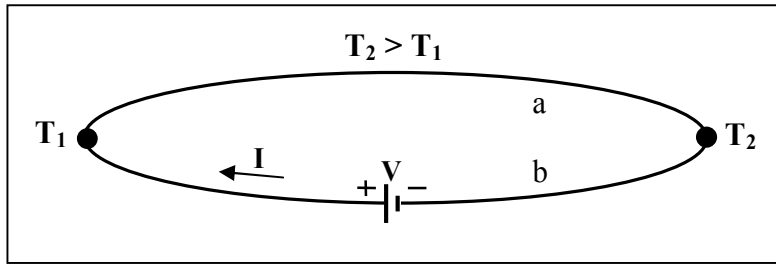
Şekil 2.1. Seebeck etkisini açıklayan TE devre

### Peltier etkisi

Fransız fizikçi Jean Charles Athanese Peltier 1834’te Seebeck etkisinin tersi durumda olan Peltier etkisini keşfetmiştir. Peltier etkisini açıklayan TE devre Şekil 2.2’de görülmektedir. Eğer termokupl içerisinde bir DC akım geçerse, Joule Isısı ile birlikte akım yönüne bağlı olarak temas noktalarının birinden ısı emilirken (soğutma) diğer temas noktasından ısı açığa çıkmaktadır (ısıtma). Joule ısısından farklı olarak

ortaya çıkan bu ısıya Peltier Isısı denir. Açığa çıkan ısı miktarı, uygulanan akım şiddetiyle doğru orantılıdır ve yönü akım yönünün değiştirilmesi ile değişir. Birim zamanda üretilen Peltier Isısı Watt olarak Eş. 2.3 ile ifade edilir. Burada  $\pi$ , Peltier katsayısıdır [42, 43].

$$Q_p = \pi.I \quad (2.3)$$



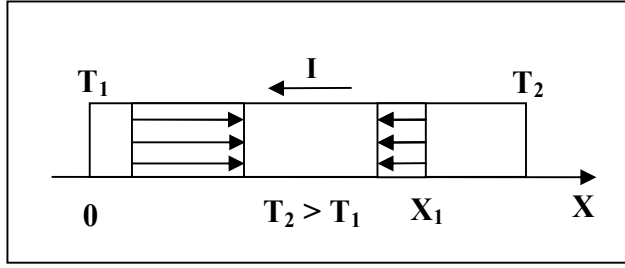
Şekil 2.2. Peltier etkisini açıklayan TE devre

### Thomson etkisi

İskoç bilim adamı William Thomson (Lort Kelvin), 1856 yılında termoemk ( $\alpha$ ) ve Peltier katsayısı ( $\pi$ ) arasında,

$$\alpha = \frac{\pi}{T.(^{\circ}\text{K})} \quad (2.4)$$

eşitliğini ifade etmiştir. Ayrıca kendi ismini taşıyan ve 1867'de Leru tarafından deneysel olarak kanıtlanan Thomson etkisinin hipotezini öne sürmüştür. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi, akım taşıyan bir iletkenin herhangi iki noktası arasında bir sıcaklık farkı varsa, akım yönüne göre iletkende Joule ısısına ek olarak Thomson ısısı ( ) açığa çıkmaktadır.



Şekil 2.3. Thomson etkisini açıklayan TE devre

Birim zamanda ortaya çıkan Thomson ısısı,

$$Q_T = I \cdot \alpha \cdot \Delta T = I \cdot \alpha_T \cdot (T_2 - T_1) \quad (2.5)$$

şeklinde akım şiddeti ( $I$ ) ve sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) ile doğru orantılı olarak ifade edilir. İki farklı metalden oluşan bir devre için Thomson termoemk değerleri arasındaki ilişki ise;

$$\alpha_T = (\alpha_{Ta} - \alpha_{Tb}) \frac{T_2 - T_1}{T_2} \quad (2.6)$$

olarak ifade edilmektedir. Burada  $\alpha_T$  Thomson etkisi ile meydana gelen termoemk miktarıdır.  $\alpha_{Ta}$  ve  $\alpha_{Tb}$  ise farklı maddelerden oluşan devreyi ifade etmek için kullanılmaktadır. TE etkilerin oluştuğu devrelerde Thomson etkisini yok etmek amacıyla  $\alpha_T$  değerleri eşit olan malzemeler seçilmelidir [42, 43].

## 2.2. Termoelement ve Termoelektrik Modül

### 2.2.1. Termoelektrik yarıiletkenler ve elde edime yöntemleri

Yarıiletkenlerin elde edilmesi, özelliklerinin araştırılması, çeşitli cihaz ve sistemlere uyarlanarak sanayiye kazandırılmasına kadar uzanan birçok teknolojiyi içeren yarıiletken teknolojileri üzerinde dünyada geniş çapta araştırmalar yapılmaktadır [7, 43, 44].

Maddeler elektrik iletimine göre iletken, yarıiletken ve yalıtkan olmak üzere üçe ayrılırlar. Elektrik akımını oluşturan yük taşıyıcıları; elektrolitlerde iyonlar, metallerde elektronlar, yarıiletkenlerde ise elektron ve deliklerdir. N tipi yarıiletkenlerde negatif yük taşıyıcıları (elektronlar), P tipi yarıiletkenlerde ise pozitif yük taşıyıcıları (delikler) çoğunluktadır. Sahip oldukları serbest elektrik yükleri sayesinde elektrik akımını iyi ileten maddelere iletken, serbest elektrik yüklerine sahip olmayan ve bu nedenle elektrik akımını iletmeyen maddelere ise yalıtkan veya dielektrik adı verilir. Yarıiletkenler ise; iletkenlik özelliği iletken ve yalıtkan arasında bulunan maddelerdir [1, 43-47].

İyi bir TE yarıiletkende aranan özellikler şu şekilde sıralanabilir [48] :

- Gereken gerilimi sağlamak için yüksek Seebeck katsayısına ( $\alpha$ ) sahip olmalıdır.
- İstenmeyen Joule ısısını ( $Joule, I^2R$ ) azaltmak için çok iyi elektriksel iletkenliğe ( $\sigma$ ) sahip olmalıdır.
- Isı kayıplarının azaltılması için düşük ısı iletkenliğe ( $k$ ) sahip olmalıdır.

Seebeck katsayısının değeri madde cinsine göre değişmektedir. Seebeck katsayısı metallerde  $50 \mu V/K$ 'den küçük, yarıiletkenlerde ise  $200 - 300 \mu V/K$  arasındadır. Örneğin bakır konstantandan yapılmış T tipi termokupl için Seebeck katsayısı ( $\alpha$ )  $40 \mu V/K$  değerindedir. Seebeck katsayısı ( $\alpha$ ),  $100 \mu V/K$ 'den büyük yarıiletkenlere TE yarıiletken adı verilmektedir. TE özelliği yüksek yarıiletkenlere Bizmut (Bi), Antimon (Sb), Selenyum (Se) ve Telleryum (Te) örnek olarak gösterilebilir. Ayrıca  $Bi_2Te_3$ ,  $Bi_2Se_3$ ,  $Sb_2Te_3$  vb. bileşimler ile  $Bi_2Te_3+Bi_2Se_3$ ,  $Sb_2Te_3+Bi_2Te_3$  gibi alaşımların da TE özelliği oldukça yüksektir. Dünyada soğutucu ve jeneratörlerin üretiminde genellikle Seebeck katsayısı  $200-240 \mu V/K$  arasında değişen  $Bi_2Te_3+Bi_2Se_3$  ve  $Sb_2Te_3+Bi_2Te_3$  gibi alaşımlar kullanılmaktadırlar. Seebeck katsayısının işareti yarıiletkenlerin tipine göre değişmektedir. Elektron fazlalığı olan N tipi TE yarıiletken negatif Seebeck katsayılı iken, elektron eksikliği olan P tipi TE yarıiletken ise pozitif Seebeck katsayılıdır [7, 43-47].

TE yarıiletkenlerin üretilmesine yönelik araştırmalardaki temel amaç, yüksek Z parametresine sahip alaşımların elde edilmesi olmuştur. Bu nedenle TE

yarıiletkenlerin elde edilmesine yönelik birçok yöntem geliştirilmiştir. Ancak bu işlem için genellikle Bölge Eritme ve Presleme Yöntemi kullanılmaktadır.

Bölge Eritme Yöntemi (Travelling Heater Method, THM) ile TE yarıiletken üretiminde; öncelikle N tipi yarıiletkenler için %80  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  + %20  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  bileşimi, P tipi yarıiletkenler için ise %74  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  + %26  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  bileşimi kum şeklinde kuvarz tüplerin içine konularak basınç  $1,3 \times 10^{-6} \text{ atm} = 0,133 \text{ Pa}$ 'ya kadar basınç düşürülür ve tüplerin açık kalan uçları kaynak yapılarak kapatılır. Bu aşamadan sonra tüpler bölge eritme makinesine monte edilir ve elektrik rezistans ısıtıcıyla bölge bölge eritilmektedir. Bölge eritme makinesinde ısıtıcı çok düşük hızla yukarı aşağı hareket ederek, tüpteki tüm maddenin erimesi sağlanır. Bu yöntemde N tipi yarıiletkenlerin erime sıcaklığı  $706 \text{ }^\circ\text{C}$  iken P tipi yarıiletkenlerin ise  $711 \text{ }^\circ\text{C}$ 'dir. Kuvarz tüplerin iç çapına göre elde edilen alaşımların kesitleri değişebilmekle birlikte, genelde kesiti 8 mm olan yarıiletkenler üretilmektedir [44, 45].

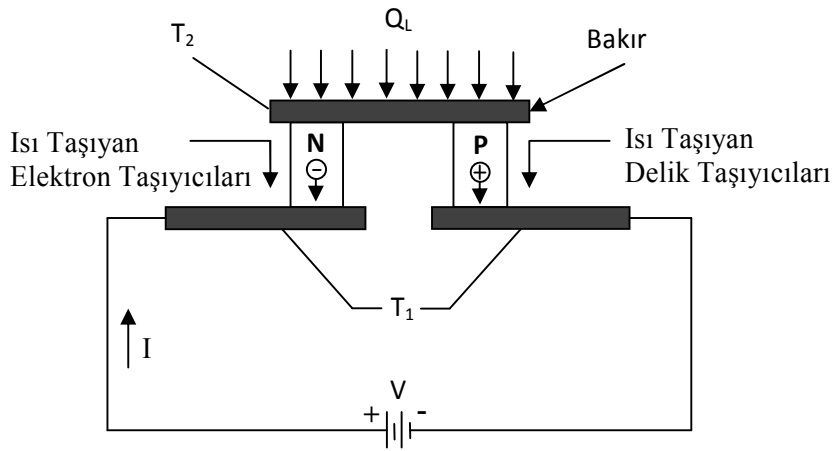
TE yarıiletkenlerin elde edilmesinde kullanılan bir diğer önemli yöntem olan Presleme Yöntemi ise toz metalurji tekniğine dayanmaktadır. Bu yöntemde etrafı ısıtıcıyla sarılarak oluşturulmuş düz prizma şeklindeki kalıbın içine toz haline getirilmiş N tipi yarıiletken için %80  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  + %20  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ 'den oluşan, P tipi yarıiletken için %74  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  + %26  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ 'den oluşan bir karışım konulur. Kalıp  $400 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar ısıtılarak presle  $7 \text{ atm} = 7 \times 10^5 \text{ Pa}$  basınca tabi tutulur. Kalıbın boyutlarına göre üretilen yarıiletkenlerin çapları değişmekle birlikte, genelde kesiti kare şeklinde ve alanı  $7 \times 7 = 49 \text{ mm}^2$  olan P ve N tipi kristaller elde edilmektedir [44, 45].

### 2.2.2. Termoelement

Herhangi bir TE devre veya sistemin temelinde, ısı pompası olarak çalışan bir TE modül (Peltier Soğutucu) yer almaktadır. TE modülün temelini ise elektriksel yönden seri termal yönden paralel olarak bağlantılı termoelementler oluşturmaktadır. Şekil 2.4'te temel yapısı görülen bir termoelement, N ve P tipi yarıiletkenlerin birbirine iletkenler yardımıyla elektriksel yönden seri bağlanmasıyla oluşmaktadır. Eğer termoelemente bir DC akım uygulanırsa; yük taşıyıcıları enerji seviyesi düşük olan



üstteki bakırdan yarıiletkene geçerler ve böylelikle de üstteki bakırın sıcaklığı düşer. Alttaki bakıra gelince; yüksek enerji seviyesinden düşük enerji seviyesine geçen yük taşıyıcıları sahip oldukları fazla enerjiyi alttaki iletkene aktararak onun ısınmasına neden olurlar. Bu geçiş sırasında soğuyan yüzeyden emilen ısı, ısınan yüzeye transfer edilir. Böylelikle soğuyan yüzeyin sıcaklığı düşerken, ısınan yüzeyin sıcaklığı da artacaktır. Termoelemente uygulanan DC akım yönü değiştirildiğinde ise; soğuyan yüzey ısınmaya, ısınan yüzey de soğumaya başlar [42].

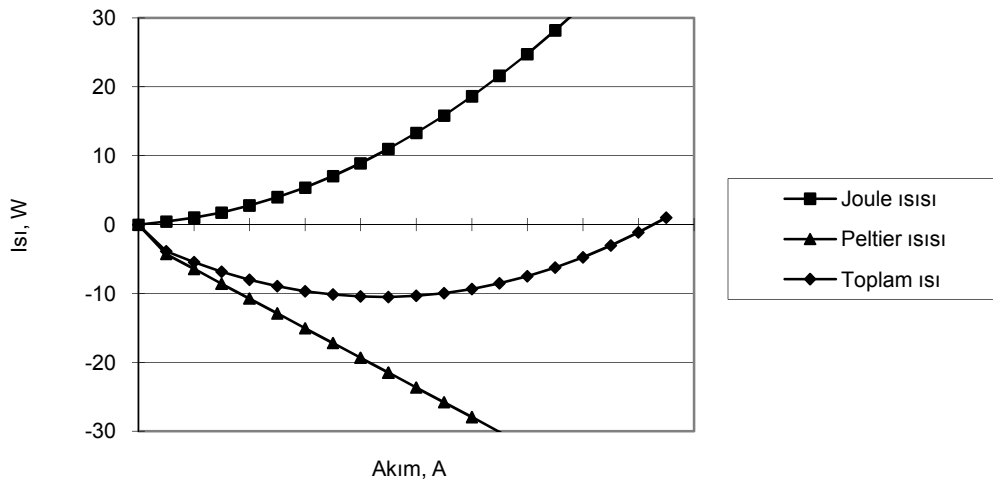


Şekil 2.4. Termoelementin temel yapısı

Eğer termoelementin ısınan yüzeyindeki ısı, bir ısı transfer sistemi ile alınıp  $T_1$  sıcaklığı sabitlenirse; devreye uygulanan  $I$  akımına bağlı olarak soğuyan yüzey sıcaklığı da belli bir  $T_2$  değerine kadar düşer. Termoelemente uygulanan  $I$  akımı sabit tutulduğunda ise;  $T_2$  ısınan yüzey sıcaklığı, soğuyan yüzeyden gelen ve emilen ısı yüküne bağlı olarak değişir. Bu ısı yükü; öncelikle dış ortam ile ısınan levhadan ısı iletim yoluyla soğuyan levhaya gelen ısıdan ve termoelement devresinde  $I$  akım şiddetine bağlı olarak açığa çıkan Joule ısısından oluşmaktadır [42, 43].

Şekil 2.5'te verilen grafikte; bir termoelementin soğuyan levhasına düşen Joule ve Peltier ısıları ile bu ısıların toplamının akım şiddetine göre değişimleri görülmektedir. Termoelementte toplam ısının minimum olduğu akım şiddetine maksimum akım ( $I_{max}$ ) denir. Bir termoelemente uygulanan akım  $I_{max}$  iken, soğuyan levha sıcaklığı minimum olur.  $I_{max}$  değeri TE yarıiletkenlerin kalitesine, boyutlarına ve yapısal

özelliklerine göre değişmektedir. Uygulanan akım ( $I > I_{max}$ ) olması durumunda; Joule ısısı Peltier ısısına oranla daha fazla artacağından soğutma etkisi azalır. Uygulanan akım ( $I = 2I_{max}$ ) olduğunda; Peltier ısısı Joule ısısını dengeler ve soğutma işlemi gerçekleşmez. Uygulanan akım ( $I > 2I_{max}$ ) olduğunda ise; Joule ısısı Peltier ısısından daha fazla olacağından termal denge bozulur. Böylelikle termoelement bir rezistans gibi davranarak ısınır ve soğutma özelliğini kaybeder [7, 42, 43].

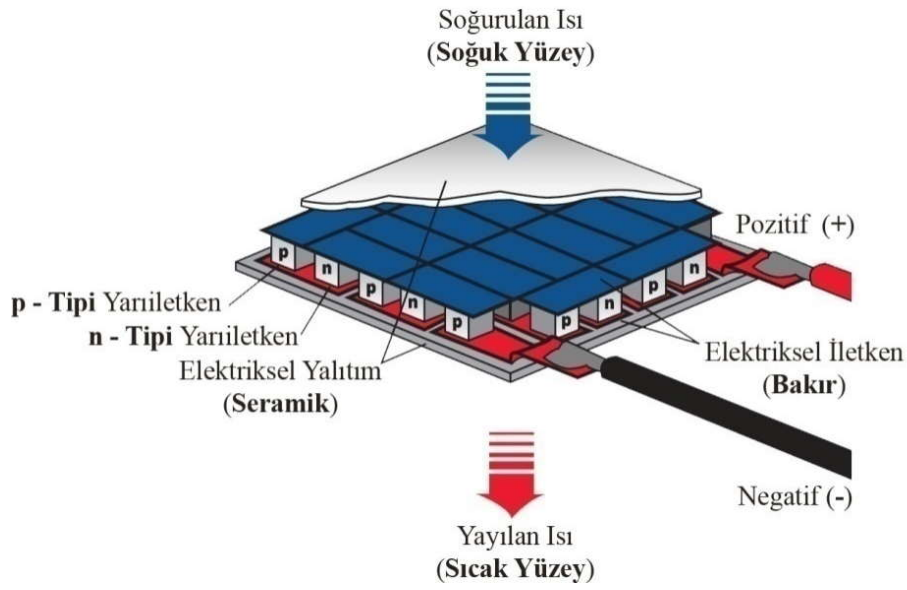


Şekil 2.5. Termoelementin soğuyan levhasında akıma bağlı ısı değişimleri

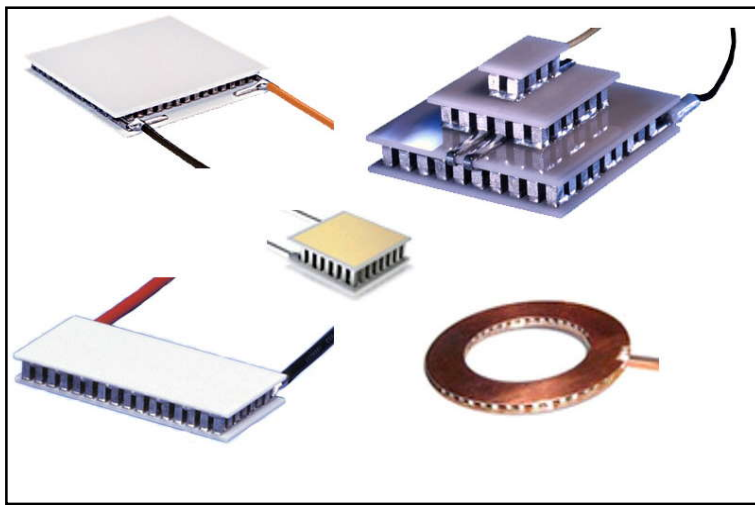
### 2.2.3. Termoelektrik modül

TE modüllerin temelinde elektriksel yönden seri termal yönden paralel bağlantılı N ve P tipi yarıiletkenlerin oluşturduğu termoelementler yer almaktadır. Termoelementler seramik iki plaka arasına yine aynı şekilde elektriksel yönden seri, termal yönden paralel olacak şekilde paketlenmişlerdir. Şekil 2.6'da temel yapısı görülen bu pakete TE modül adı verilmektedir. TE modüllerin paketlenmesinde seramik plakalar; mekanik gerilim, elektriksel direnç ve termal iletkenlik arasında en iyi uyumu sağladığından endüstri standardı olmuştur. Seramiğin dış yüzeyleri, dış dünya ve TE modül arasında termal arabirim olarak kullanılmaktadır [49]. Üretim aşamasında n sayıda termoelementin bir araya getirilmesiyle değişik yapı ve büyüklüklerde TE modüller elde edilmektedir (Şekil 2.7). Uygulamalarda tek bir modül, birkaç modül kaskat veya paralel bağlanarak kullanılabilir. Kaskat bağlantıda

modüller üst üste yerleştirilerek aynı güçte daha fazla  $\Delta T$  elde edilmektedir. Isı transfer yönüne dikkat edilerek TE modüllerin yan yana yerleştirildiği paralel bağlantıda ise aynı  $\Delta T$  ile daha fazla soğutma gücü elde edilmektedir. TE modülün maksimum akım ( $I_{max}$ ) şiddetinin değeri TE yarıiletkenlerin kalitesine, boyutlarına ve imalat özelliklerine göre değişmektedir [43, 46, 50].



Şekil 2.6. TE modülün yapısı [40]



Şekil 2.7. Çeşitli yapı ve özelliklerde TE modüller

#### 2.2.4. Termoelektrik modülün avantajları ve uygulama alanları

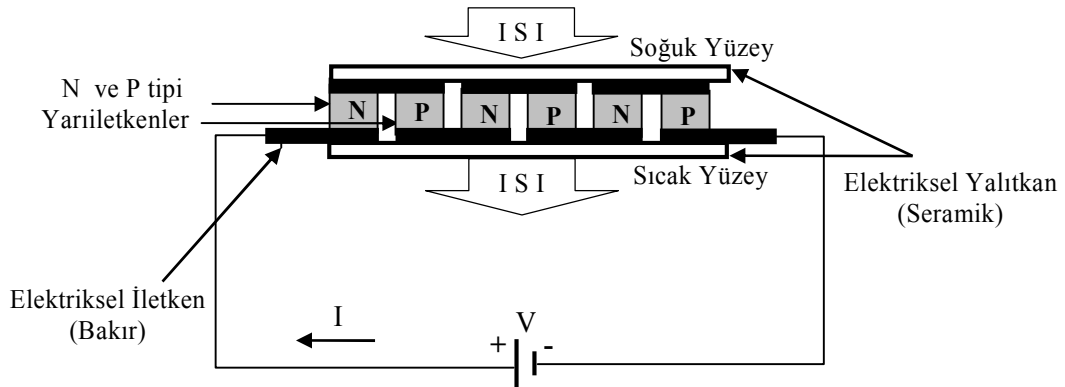
Soğutma, ısıtma ve elektrik enerjisi üretimi amacıyla kullanılabilen TE modüllerin sahip oldukları avantajlar şu şekilde sıralanabilir [46-57]:

- Küçük, hafif ve basit yapıdadırlar.
- Hareketli parçaları olmadığından sessiz, sarsıntısız ve güvenilir bir şekilde çalışırlar.
- Herhangi bir yönde çalışabilirler.
- Ortalama ömürleri 200 000 saat kadardır (> 22 yıl). Montaj edildikten sonra uzun süre bakım gerektirmezler.
- Sıcaklık kontrolleri hassasiyeti yüksek ve etkin bir şekilde kolaylıkla yapılabilmektedir.
- Elektriksel ve elektromanyetik gürültüleri minimum seviyededir.
- Yerçekimi ve titreşimden etkilenmezler.
- TE modüller DC akım ile çalışırlar.
- Uygulanan akım yönü değiştirilerek, modüldeki ısınma ve soğuma yüzeyleri yer değiştirilebilir.
- Rejime girme süresi kısadır.
- Seebeck etkisinden yararlanılarak elektrik enerjisi üretimi amaçlı kullanılabilirler.
- Çevreye zararlı etkileri yoktur.

TE modüller sahip oldukları bu özellikler sayesinde başta askeri, uzay, tıp, bilimsel çalışmalar ve tüketici ürünleri olmak üzere birçok alanda soğutma, ısıtma ve jeneratör olarak rahatlıkla kullanılabilmektedir. TE modüllerin ulaşım araçlarında, ilaç muhafazalarında ve elektrik donanımlarında soğutucu olarak; klima gibi hem ısıtıcı hem de soğutucu olarak ve hatta sıcaklık farkının elde edilebildiği deniz, çöl, uzay gibi şebeke gerilimi olmayan yerlerde Seebeck etkisinden yararlanılarak elektrik enerjisi üretimi amaçlı olarak kullanıldığı birçok uygulama mevcuttur [51-54].

### 2.3. Termoelektrik Modülün Soğutucu Olarak Kullanılması

Şekil 2.8’de TE modülün soğutucu modunda kullanıldığı TE devre görülmektedir. TE modülde Peltier etkisi ile oluşan ısı transferi sonucunda yüzeylerden biri soğumakta, diğeri ısınmaktadır. TE modülün uygun kutbuna DC akımın uygulanmasıyla üst tabakadan alt tabakaya doğru ısı pompalanacak ve sonuçta üst yüzey soğuyacaktır. Peltier etkisiyle ısı soğuyan yüzeyden alınarak ısınan yüzeye transfer edilmektedir. Eğer TE modüle uygulanan DC akım yönü değiştirilirse; bu işlem tersine işleyecek ve dolayısıyla TE modülün soğuyan ve ısınan yüzeyleri de kendi arasında yer değiştirmiş olacaktır. TE modüle uygulanan enerji tamamen kesildiğinde ise; ısı hızlı bir şekilde sıcaklık dengesi sağlanıncaya kadar yine TE modül üzerinden ters yönde transfer edilmektedir.



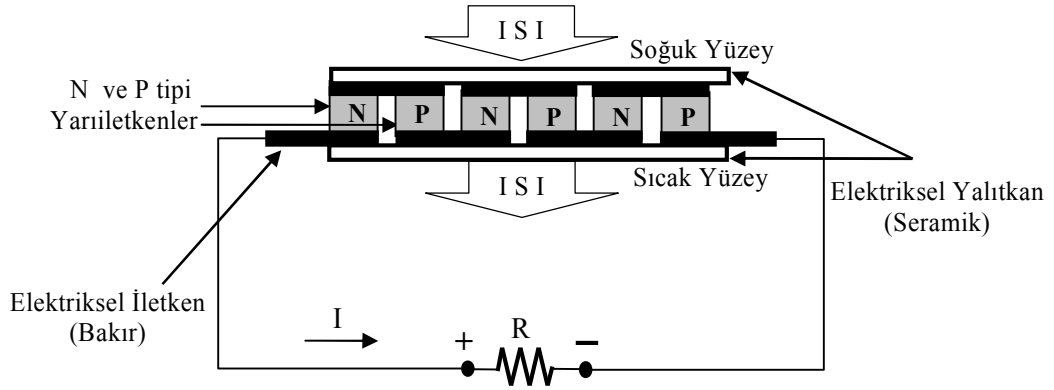
Şekil 2.8. Soğutucu modunda TE modül

Sonuç olarak, TE modülün uçlarına uygulanan DC akım yönü ve şiddetine bağlı olarak kolaylıkla ısıtma veya soğutma yapılabilmektedir. Bu sayede TE modüller; hem hızlı soğutma-ısıtma istenildiğinde yüksek ısı pompalama kapasitesi modunda hem de istenen sıcaklık elde edildiğinde minimum güç tüketimi (yüksek COP) ile düşük ısı pompalama kapasitesi modunda olmak üzere iki farklı moda çalıştırılabilmektedirler. Eğer TE modül açık-kapalı modunda işletilirse; sıcak kenarda genleşme ve soğuk kenarda da büzülme meydana gelerek TE modüldeki stresi artırmaktadır. Bu durum da TE modülün güvenilirliğini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, TE modüldeki ısı sızıntısının ve stresin en aza

indirilmesi amacıyla PID (Oransal - İntegral - Türev) tekniğiyle çalışan bir sıcaklık kontrolünün kullanılması TE modülün çalışması açısından daha uygun olmaktadır [6, 7, 42, 43, 46, 47, 56-62].

#### 2.4. Termoelektrik Modülün Jeneratör Olarak Kullanılması

TE modüller, Seebeck etkisinin kullanılmasıyla jeneratör olarak çalışabilmektedirler. Şekil 2.9'da TE modülün jeneratör modunda kullanıldığı TE devre görülmektedir. TE devrede DC kaynak yerine yük konulması ve yüzeyler arasında sıcaklık farkının oluşturulmasıyla TE güç jeneratörü yapılabilmektedir. Elektrik enerjisi, ısı transferine bağlı olarak TE yarıiletkenler boyunca elektriksel yük taşıyıcıların hareketinden üretilmektedir. TE modülün yüzeyleri arasında bir sıcaklık farkı oluşturulduğunda; Termodinamiğin II. Kanunu gereğince ısı sıcak yüzeyden soğuk yüzeye doğru transfer edilecek ve bu durumda TE modül uçlarında bir DC gerilim düşümü olacaktır [55, 63-67].



Şekil 2.9. Jeneratör modunda TE modül

### 3. TERMOELEKTRİK YARIİLETKEN VE MODÜL PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLME YÖNTEMLERİ

#### 3.1. Termoelektrik Yarıiletkenlerin Parametreleri

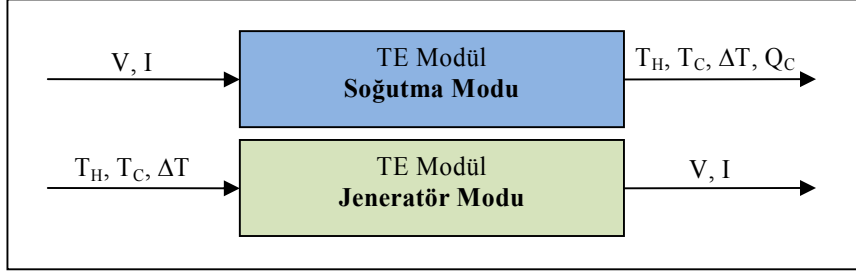
Hem teorik araştırmalar açısından hem de deneysel araştırmalar açısından TE yarıiletkenlerin  $\alpha$ ,  $\rho$ ,  $k$  ve  $z$  parametrelerinin ölçülmesi büyük önem taşımaktadır. Bu parametreler TE modül ve sistemlerin kalitesini belirlemektedir. TE yarıiletkenlerle üretilen modüllerin ve bu modülleri kullanarak geliştirilen TE sistemlerin verimi  $z$  parametresine bağlıdır. TE verim olarak adlandırılan  $z$  parametre değeri ne kadar büyükse, TE yarıiletkenin performansı da o kadar iyi olmaktadır. Bu nedenle  $z$  parametresini belirleyen tüm parametrelerin ölçülmesi gerekmektedir. TE yarıiletkenlerin temel parametreleri sıcaklığa göre değişmektedir. Bu değişimlerin araştırılması yarıiletkenlerin temel araştırmalarını oluşturmaktadır. TE modül ve sistemlerin çeşitli sıcaklık ortamlarında çalışması gerektiğinden bu parametrelerin sıcaklığa bağlı değişimlerinin araştırılması da büyük önem taşımaktadır [43, 68].

Sıcaklığa bağlı iletkenlik metallerde doğrusal olarak değişirken yarıiletkenlerde ise bu değişim doğrusal değildir. TE yarıiletkene DC akım uygulandığında meydana gelen termoemk geriliminden dolayı iletkenlik değişmektedir. Bu nedenle AC uygulayarak ölçümlerin yapılması daha uygun olmaktadır. Ancak Joule ısısından dolayı AC akımda bile TE yarıiletkenlerin iç direnci değişmektedir. Bu nedenle direnç ölçmede Ohm Kanunu doğrudan kullanılamamaktadır [43].

#### 3.2. Termoelektrik Modülün Performansı

TE modüller yapıları gereği hem soğutma hem de jeneratör modunda çalışabilmektedirler. Soğutma modunda TE modüller için giriş parametresi akım ( $I$ ) ve gerilim ( $V$ ) iken çıkış parametresi ısınan yüzey ( $T_H$ ) ve soğuyan yüzey ( $T_C$ ) arasındaki sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) olmaktadır. Jeneratör modunda ise giriş parametresi  $\Delta T = T_H - T_C$  iken çıkış parametresi  $I$  ve  $V$ 'dir (Şekil 3.1). TE modüllerin performansı uygulanan giriş parametresine ( $V$  ve  $I$ ) bağlı olarak yüzeyler arasında elde edilebilecek maksimum sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) veya TE modülün soğuk yüzeyinden

emilen maksimum ısı yükü ( $Q_C$  - Soğutma Gücü) olarak tanımlanabilir. TE modülün performansı aynı zamanda onun ısı pompalama kapasitesi olarak da ifade edilebilmektedir.



Şekil 3.1. TE modül giriş ve çıkış parametreleri

TE modülün yüzeyleri arasında elde edilecek sıcaklık farkının belirlenmesinde uygulanan akım, ısınan yüzey sıcaklığı ve soğuyan yüzeye etki eden ısı yük miktarı büyük rol oynamaktadır. TE modülün ürettiği termoemk ise sıcaklık farkıyla orantılı olarak artmaktadır. TE modül performansını etkileyen en önemli faktör uygulanan akım şiddeti miktarıdır. Ayrıca TE modülün performansının belirlenmesinde  $T_H$  değerinin de doğrudan etkisi bulunmaktadır. Çünkü TE modülün  $T_H$  değerindeki artış TE modülde 'iç ısı yük' etkisi meydana getirdiğinden buna bağlı olarak  $T_C$  değeri de yükselmektedir.  $T_H$  değerini, çevre sıcaklığı ve ısı transfer sisteminin performansı belirlemektedir. Bu nedenle TE sistemlerde, ısı transfer sistemleri kullanılarak  $T_H$  değeri düşürülmekte ve bu sayede de TE modüllerin soğutma performansları artırılabilir. Bu nedenlerden dolayı TE modüllerin seçiminde  $T_H$ ,  $T_C$ ,  $\Delta T$  ve  $Q_C$  parametrelerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır [1-26].

Teknolojik olarak ticari TE jeneratörler, TE soğutuculara göre genelde azdır. TE soğutucular küçük sıcaklık farklarında, maksimum COP (Coefficient of Performance - Performans katsayısı) ya da soğutma verimine sahiptirler. Buna karşılık jeneratörler büyük sıcaklık farklarında maksimum verime sahiptirler. TE jeneratörlerin yüksek işletim sıcaklıkları sonucunda, PbTe ve SiGe alaşımları gibi farklı maddeler ve tipik soğutuculara göre farklı derleme teknolojilerine ihtiyaç duyulmaktadır [66].



TE modüllerin performans ve çalışma şartlarını belirleyen çeşitli parametreler mevcuttur. TE yarıiletken ve modüllere yönelik parametreler Çizelge 3.1’de özetlenmiştir. TE modüle uygulanan DC akım parametresine bağlı olarak  $Q_C$ ,  $T_C$ ,  $P$ ,  $COP$ ,  $K$ ,  $R$ ,  $Z$  çıkış parametreleri ile  $V_{max}$ ,  $I_{max}$  ve  $E_{max}$  olarak adlandırılan deneysel parametreleri mevcuttur.

Çizelge 3.1. TE yarıiletken ve modüllere yönelik parametreler

Simge	Birim	Açıklama
$T_H$	K	TE modül sıcak yüzey sıcaklığı
$T_C$	K	TE modül soğuk yüzey sıcaklığı
$\Delta T$	K	TE modül yüzeylerarası sıcaklık farkı ( $\Delta T = T_H - T_C$ )
$P$	W	TE modülün tükettiği güç
$Q_C$	W	TE modülün soğuk yüzeyinden soğurulan toplam ısıl yük
$Q_H$	W	TE modülün sıcak yüzeyinde açığa çıkan toplam ısı miktarı
$Q_L$	W	Birim zamanda TE modüle gelen toplam ısıl yük
COP		TE modül Performans Katsayısı
$Z$	$K^{-1}$	TE modülün kalite katsayısı (Figure-of-merit)
$K$	$W.K^{-1}$	TE modülün toplam termal iletkenliği
$R$	Ohm	TE modül elektriksel direnci
$\Delta T_{max}$	K	TE modülde elde edilebilecek maksimum sıcaklık farkı ( $I = I_{max}$ ve $Q_C = 0$ iken)
$T_{Cmin}$	K	TE modül soğuk yüzey sıcaklığı ( $I = I_{max}$ ve $Q_C = 0$ iken)
$I_{max}$	A	TE modülün çektiği akım ( $\Delta T_{max}$ iken)
$V_{max}$	V	TE modül gerilimi ( $\Delta T_{max}$ iken)
$E_{max}$	V	TE modülün ürettiği termoemk ( $\Delta T_{max}$ iken)
$Q_{Cmax}$	W	TE modülün maksimum soğutma kapasitesi ( $I = I_{max}$ ve $\Delta T = 0$ iken)
$k$	$W.cm^{-1}.K^{-1}$	TE yarıiletkenin termal iletkenliği
$\alpha$	$V.K^{-1}$	TE yarıiletkenin Seebeck katsayısı
$\rho$	Ohm.cm	TE yarıiletkenin öz direnci
$z$	$K^{-1}$	TE yarıiletken kalite katsayısı

TE modüllerin performans analizlerinin yapılması ve parametrelerinin elde edilmesi amacıyla klasik hale gelmiş çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Ayrıca bu yöntemlerin iyileştirilmesi amacıyla Melcor tarafından geliştirilen yöntemler de mevcuttur [41]. Ancak bu yöntemler yarıiletkenlerin parametrelerini sabit kabul etmekte veya sadece sıcaklık değişimlerini öngörmektedir. Bu nedenle; bu yöntemlerle, çalışır durumdaki TE modülün performans hesaplamaları ve çıkış parametrelerinin değerlendirilmesi hatalara yol açabilmektedir. Çalışır haldeki bir modülün çıkış parametrelerinin elde edilmesi için modül çalışırken yarıiletkenlerin parametrelerinin bulunması gerekir. Ancak çalışan bir modülün içindeki yarıiletkenlerin parametrelerinin bulunması çok zordur.

### 3.3. Klasik yöntem

İdeal modülü model olarak klasik hale gelmiş ölçüm ve test yönteminin temelini;

$$Q_C = \alpha \cdot I \cdot T_C - 0,5 \cdot I^2 \cdot R - K \cdot (T_H - T_C) - Q_L$$

$$Q_H = \alpha \cdot I \cdot T_H + 0,5 \cdot I^2 \cdot R - K \cdot (T_H - T_C)$$

$$R = \left( \frac{1}{\sigma_n} + \frac{1}{\sigma_p} \right) \frac{h}{a}$$

$$K = \lambda_n + \lambda_p \cdot \frac{a}{h}$$

(3.1)

$$P = I^2 \cdot R + \alpha \cdot (T_H - T_C) \cdot I$$

$$COP = \frac{Q_C}{P}$$

$$Z = \frac{\alpha^2}{R \cdot K}$$

eşitlikleri oluşturmaktadır. Burada  $Q_C$  modülün soğuyan yüzeyinden soğurulan toplam ısı yükü (Watt),  $Q_H$  modülün ısınan yüzeyinde açığa çıkan toplam ısı miktarı (Watt), modüle uygulanan akım şiddeti (A),  $R$  termoelementin direnci ( $\Omega$ ),  $K$  modülün termal iletkenlik katsayısı ( $W \cdot K^{-1}$ )'dir.  $\alpha_n$ ,  $\sigma_n$ ,  $\lambda_n$  n tipi yarıiletkenin  $\alpha_p$ ,  $\sigma_p$ ,  $\lambda_p$  ise p tipi yarıiletkenin seebeck, iletkenlik, ısı iletkenliği katsayısı, h yarıiletkenin

yüksekliği,  $a$  kesit alanı,  $\alpha = (\alpha_p + \alpha_n)$  ise termoelementin toplam seebeck katsayısıdır.  $\Delta T = T_H - T_C$  yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı,  $T_C$  soğuyan yüzeyin sıcaklığı,  $T_H$  ise ısınan yüzeyin sıcaklığıdır.  $Q_L = Q_{rad} + Q_{conv}$  watt olarak alınan toplam dış ısı yükü,  $Q_{rad}$  watt olarak toplam radyasyon dış ısı yükü,  $Q_{conv}$  watt olarak toplam konveksiyon dış ısı yüküdür.  $P$  TE modülün tükettiği güç (Watt), COP TE modülün ısı performans katsayısı ve son olarak da  $Z$  kalite katsayısı (figure-of-merit) değerini ifade etmektedir [8-17].

Elde edilen bu denklemler bir TE modül ya da sistemin ısı parametrelerinin hesaplanmasının temelini oluşturmaktadır. Bu formülleri kullanarak yapılan hesaplamalar %20'lere varan çok büyük hatalara yol açmaktadır. Çünkü elde edilen parametreler çalışır haldeki bir modülün gerçek şartlardaki parametreleri değildir. Çalışan bir modülün çıkış parametrelerinin bu yöntemle göre değerlendirilmesi daha abartılı olup gerçek değerlerden farklıdır. Bunun nedeni  $\alpha$ ,  $\rho$ ,  $k$  ve  $z$  gibi parametrelerin sadece sıcaklığa göre değil aynı zamanda yarıiletkenin yüksekliğine göre de değişebilmesidir. Buna ilaveten bu formüllerde gerçek bir modülün yapısal ve teknolojik faktörlerinin hesaba katılmamış olması kullanılan yöntemi yetersiz kılmaktadır [18-26].

Klasik yöntemle göre TE yarıiletkenlerin parametrelerinin belirlenmesi Harman yöntemine dayanmaktadır [8]. Harman yönteminin çeşitli uygulamaları mevcuttur [45]. 1960'lı yılların başında bir TE yarıiletkenin AC direncini ve  $Z$  değerini doğrudan ölçmek için Harman tarafından yeni bir yöntem geliştirilmiştir. Ancak o zamanki şartlarda kullanılan elektronik ve mekanik ölçüm sistemlerinin yeterince gelişmiş olmaması nedeniyle doğruluğu ve tekrarlanabilirliği yeterli düzeyde olmamıştır [68, 69].

TE modüllere uygulanan bir başka test yöntemi de soğuk-sıcak dönüşüm testidir. Bu test yöntemi üreticiye göre değişmekle birlikte temelde aynı prensibe dayanmaktadır. Çoğunlukla TE modül iki soğutucu arasına yerleştirilerek 5-10 dakika gibi kısa sürelerle TE modüle güç uygulanır. Test sisteminde yer alan otomatik anahtar ile TE modüle uygulanan güç ters çevrilerek dönüşüm işlemi gerçekleştirilir.

Gerçekleştirilen dönüşümleri saymak amacıyla da sistemde bir sayıcı kullanılmıştır. Bu test sırasında TE modüle soğutma modunda 12 V DC gerilim 5 dakika süreyle uygulanarak yaklaşık  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklık değeri, ters yönde ısıtma modunda ise 5 V DC gerilim 5 dakika süreyle uygulanarak yaklaşık  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklık değeri elde edilmiştir. Bu test TE modülün güvenilirliğinin test edilmesinde oldukça iyi bir yöntemdir [70].

TE modüllere uygulanan bir diğer test yöntemi ise yüksek sıcaklık testidir. TE modülü termal olarak giren bu test fırınlama testi olarak da bilinir. Bu testte kullanılacak TE modüller, standart olarak sürekli çalışmada  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta çalışan modüllerdir. TE modül yüksek sıcaklıktaki ortama konulmadan önce TE modülün AC direnci ve Z değeri ölçülür. Yüksek sıcaklık testinden sonra TE modülün AC direncindeki herhangi bir artış veya Z değerindeki düşüş TE modülün kalitesiz olduğunu göstermektedir. Test edilecek TE modül fırınına yerleştirilerek  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat bekletilir ve sonrasında fırından çıkartılır. TE modülün sıcaklığı oda sıcaklığına düştüğünde AC direnci ve Z değeri ölçülür. Bu işlem  $160\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de sırasıyla 72 saat ve 168 saat için aynen tekrarlanmaktadır [70].

TE modüllere yönelik bir diğer test de, TE Technology firması tarafından geliştirilen termal darbe testidir. Termal darbe testi, TE modüller üzerindeki lehim birleşme noktalarının sağlamlığının test edilmesi amacıyla uygulanmaktadır. Bu test yönteminde TE modüllerin bütün lehim birleşimlerine kısa süreli AC darbeler uygulanmaktadır. Bu işlem yetersiz lehim birleşme noktalarında ısı meydana getirmektedir. Birleşme noktasının direncinden kaynaklanan bu ısı, termal bir kağıdın TE modülün her iki yüzeyine de yerleştirilmesiyle gözlenebilmektedir. TE modüldeki herhangi bir aşırı ısı artışı termal kağıdın o bölgesinin yanmasıyla belirlenebilmektedir. Bu test işlemi her TE modüle uygulanabilmekte ve sonucu birkaç dakikada elde edilebilmektedir [71].

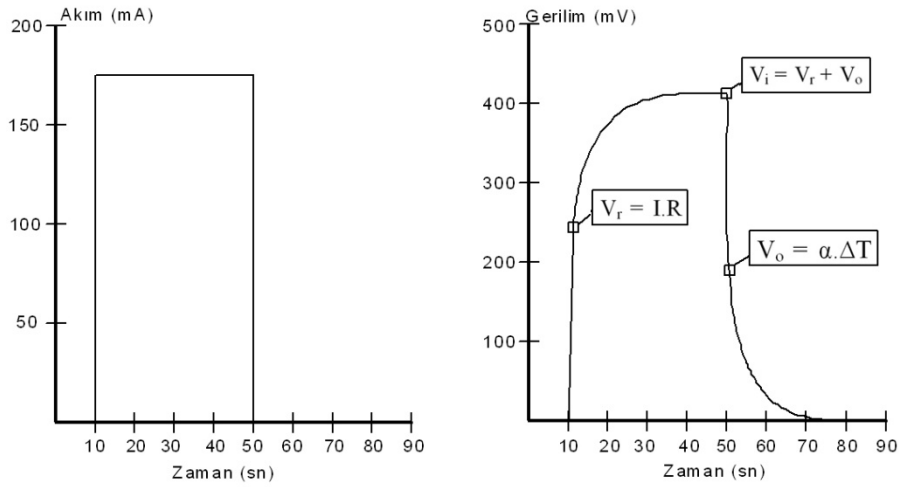
1992 yılında Buist, TE materyal ve elementlerin kinetik özelliklerinin test edilmesi amacıyla Harman tarafından geliştirilen yöntemle aynı temele dayanan ancak tekrarlanabilirlik ve doğrulukta daha iyi olan yeni bir yöntem geliştirmiştir [17]. Bu

test yönteminde; yüksek çözünürlüklü, yüksek hızlı analog-dijital dönüştürücü (ADC) içeren bir kartın bilgisayar genişleme yuvasına takılmasıyla bilgisayar özel bir dijital voltmetreye dönüştürülmüştür. Böylelikle voltmetrenin kademe kontrolü, elektronik filtreleme, ani darbe voltajı ölçümü gibi değişik fonksiyonlarının tamamı bilgisayar tarafından kontrol edilebilmiştir. Bu özellikler sayesinde hızlı transient gerilim ölçümü, yüksek çözünürlüklü darbe gerilimi ölçümü, doğruluk, kararlılık ve tekrarlanabilirlik sağlanmıştır [17, 72].

Transient test yöntemini anlamak için bir TE elemanın temel etkilerinin gözden geçirilmesi uygun olacaktır. Bir TE elemana bir I akımı uygulandığında TE modül uçlarında bir V gerilim düşümü meydana gelmektedir. Eğer ohm kanunu tek olgu olarak kabul edilseydi ortaya çıkan gerilim, uygulanan akımla doğru orantılı olurdu. Bu durumda orantı sabitesi ise R elektrik direnci olurdu. Ayrıca bir TE eleman ohm kanununu takip etmez ve TE elemana karşılık gelen gerilim  $V_i = V_r + V_o$  şeklinde olur. Burada  $V_r = I.R$  ve  $V_o = \alpha.\Delta T$  olarak ifade edilebilir. İlk bakışta, akım çok düşük tutulduğunda muhtemelen yüzeyler arasında bir  $\Delta T$  sıcaklık farkı meydana gelmeyeceği ve  $V_o$  değerinin edilebileceği düşünülebilir. Bu kesinlikle söz konusu değildir. Gerçekte  $V_o$  terimi orantı olarak küçük akımlarda daha büyük olacaktır. Üstelik I ve  $V_r$  sıfır olsa bile  $V_o$  kolay kolay sıfır olamayacaktır [17].

TE modüle yönelik  $V_i$ , I ve  $\Delta T$  değerleri kolaylıkla ölçülebilmesine rağmen;  $V_o$  ve  $V_r$  değerlerinin birbirinden ayrılması kolay değildir. Harman metodu [68], bu iki değeri bir mekanik kesici kullanan çift kutuplu bir kare AC akım oluşturarak ayırmaktadır. Her bir yarım saykıl süresince meydana gelen anlık ölü band ve elektrik kontaktlarının açılıp kapanması esnasında ortaya çıkan gürültüyü de içeren bu deneysel düzenele ilgili birtakım problemler mevcuttur. Daha karmaşık elektronik anahtarlamalar kullanılarak yıllardır bir takım iyileştirmeler yapılmasına rağmen kesin ölçümlerle ilgili hala temel problemler mevcuttur. Bu problemin çözümü için  $V_r$  yerine  $V_o$ 'nun ölçülmesidir. Akım kesildikten sonra son derece hızlı bir şekilde ölçülen gerilim  $V_o$  olur. Bu süreyi uzatmak için TE elemana geniş termal kütlelerin bağlanması çözüm oluşturmaktadır. Buist tarafından geliştirilen Transient test yöntemi ise,  $V_o$ 'nun kesin bir şekilde belirlenmesini sağlamıştır [17].

Transient test yöntemine göre; TE modüle bir akım uygulandığında, TE modül uçlarında görülen gerilim Şekil 3.2’de görüldüğü gibi olmaktadır. Gerilim aniden  $V_r$  değerine ve zaman içerisinde  $V_i = V_r + V_o$  değerine yükselir. Akım kesildiğinde ise gerilim aniden  $V_o$  değerine düşmektedir. Donanımın önemli bir yönü elde edilen akım dalga formunun, aşırı şekilde temiz yani herhangi bir anormal veya sivri uç içermemesidir [17].



Şekil 3.2. TE modüle uygulanan basamak akım darbesi ve TE modül uçlarında görülen transient gerilimi [17]

Yukarıda anlatılan klasik yöntemlerle TE modülü oluşturan yarıiletkenlerin  $\alpha$ ,  $\rho$ ,  $k$  ve  $z$  parametre değerleri ölçülebilmektedir. Bir yarıiletkenin TE parametrelerinin ölçülmesi çok önemli olmakla beraber, uygulama açısından bunların ölçülmesi yeterli değildir. Çünkü TE yarıiletkenler kullanılarak yapılan modüllerin parametreleri kadar ısı parametreleri de önem taşımaktadır. Bir TE modülün ısı parametrelerini ise birim zamanda soğuk yüzeyden soğurulan enerji miktarı yani soğutma gücü ( $Q_C$ ), tükettiği güç ( $P$ ) ve performans katsayısı ( $COP$ ) oluşturmaktadır. Bu parametrelerin bulunması için yarıiletken parametrelerin ölçülmesi gerekmektedir. Bu durumda, TE modülün parametrelerin ölçülmesi, ısı parametrelerinin elde edilmesi işleminde bir araç olarak kullanılmaktadır. Ancak yarıiletkenin parametreleri ile ısı parametrelerinin hesaplanması işlemi sadece TE

modül çalışmazken yapılabilmektedir. Yani bu yöntemle bir modülün sadece statik ısı parametreleri tespit edilebilmektedir. Bu nedenle de bu yöntemlere bağlı olarak çalışan bir TE modülün ısı parametrelerinin elde edilmesi ve değerlendirilmesi hatalara yol açabilmektedir. Bu açıdan TE modülün çalışma anındaki çıkış parametrelerinin elde edilmesine yönelik yeni yaklaşımlara ihtiyaç duyulmaktadır [41, 73].

### 3.4. İdealize Yöntem

Melcor tarafından idealize modül model alınarak geliştirilen ve halen kullanılmakta olan bu yöntemin temelini Eş. 3.2. oluşturmaktadır. İdealize yöntemde  $\alpha$ ,  $\rho$  ve  $k$  katsayılarının sıcaklığa göre değişimi hesaba katılmaktadır [41].

$$\begin{aligned}
 Q_C &= 2N \left( \alpha I T_C - \frac{I^2 \rho}{2G} - k \Delta T G \right) \\
 Q_H &= 2N \left( \alpha I T_H + \frac{I^2 \rho}{2G} - k \Delta T G \right) \\
 P &= 2N \left( \frac{I^2 \rho}{G} + \alpha I \Delta T \right) \\
 I_{\max} &= \frac{kG}{\alpha(\sqrt{1+2zT_H} - 1)} \\
 V_{\max} &= 2N \left( \frac{I\rho}{G} + \alpha \Delta T \right) \\
 \Delta T_{\max} &= T_H - \frac{\sqrt{1+2zT_H} - 1}{z} \\
 \eta &= \frac{T}{\Delta T} \left( \frac{\sqrt{1+2zT} - 1}{\sqrt{1+2zT} + 1} \right)^{\frac{1}{2}} = \text{COP}
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Burada  $G = a / h$  termoelementin geometrik faktörünü,  $N$  ise TE modülü oluşturan termoelement sayısını ifade etmektedir.  $\alpha = \alpha_n = \alpha_p$ ,  $\rho = \rho_n = \rho_p$ ,  $k = k_n = k_p$ ,  $z = z_n = z_p$  ve  $T = T_{\text{avg}} = (T_H + T_C) / 2$ 'dir. Burada  $T$  bir termoelement kolunun (sütun) ortalama sıcaklığıdır. TE yarıiletkenin  $\alpha$ ,  $\rho$ ,  $k$  ve  $z$  katsayılarının ortalama sıcaklığa bağlı değişim fonksiyonları ise;

$$\alpha = \left[ \alpha_0 + \alpha_1 T + \alpha_2 (T)^2 \right] 10^{-9} \quad \frac{V}{K}$$

$$\alpha_0 = 22224; \quad \alpha_1 = 930,6; \quad \alpha_2 = -0,9905$$

$$\rho = \left[ \rho_0 + \rho_1 T + \rho_2 (T)^2 \right] 10^{-8} \quad \Omega \text{ cm}$$

$$\rho_0 = 5112; \quad \rho_1 = 63,4; \quad \rho_2 = 0,6279$$

$$k = \left[ k_0 + k_1 T + k_2 (T)^2 \right] 10^{-6} \quad \frac{W}{\text{cm K}} \quad (3.3)$$

$$k_0 = 62605; \quad k_1 = -277,7; \quad k_2 = 0,4131$$

$$z = \frac{\alpha^2}{\rho k}$$

$$R = \frac{2 \rho N}{G}$$

şeklinde ifade edilmektedir [41].

### 3.5. Yeni Yöntem

TE modüllerin çıkış parametrelerinin elde edilmesine yönelik olarak; AHISKA tarafından geliştirilmiş olan yeni yöntemin temelini, geleneksel yöntemler için Eş. 3.1'de kullanılan denklemlerin eşdeğer eşitliklere uğratılması ve sadece çalışan modülün çektiği akım (I), uçlarında düşen gerilim (V), ürettiği termoemk (E) ve herhangi bir yüzeyindeki sıcaklık ( $T_H$  ya da  $T_C$ ) değerinin ölçülmesi oluşturmaktadır. TE modülün performansını etkileyecek iç ve dış bütün faktörlerin toplam etkileri deneysel parametre olarak adlandırılan  $V_{\max}$ ,  $I_{\max}$  ve  $E_{\max}$  değerlerinin kullanılmasına dayanan yeni yöntemle otomatik olarak hesaba katılmaktadır. Çünkü deneysel parametreler TE modülün çalışması esnasında doğrudan ölçülerek elde edilmektedir [26].



Bilindiği gibi yüksüz çalışan bir ideal TE modül için; toplam ısı yük  $Q_L = 0$  iken, birim zamanda üretilen soğuk enerji miktarı  $Q_C = 0$  olmaktadır. Bu durumda soğuyan yüzeyin sıcaklığı  $T_{Cmin}$ , yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı  $\Delta T_{max}$  olmaktadır. Aynı zamanda TE modülün çektiği akım  $I_{max}$ , uçlarında düşen gerilim  $V_{max}$  ve ürettiği termoemk değeri de  $E_{max}$  olarak ifade edilmektedir.

TE modül uçlarında düşen maksimum gerilim [74, 75];

$$V_{max} = \alpha \cdot T_H \quad (3.4)$$

$$V_{max} = I_{max} \cdot R + \alpha \cdot \Delta T_{max} = I_{max} \cdot R + E_{max}$$

olmak üzere iki şekilde ifade edilebilmektedir. Burada;

$$\alpha \cdot \Delta T_{max} = \alpha \cdot (T_H - T_{Cmin}) = E_{max} \quad (3.5)$$

olur. Böylelikle, TE modülün elektriksel direnci (R) ohm olarak Eş. 3.6 ile ifade edilebilir.

$$R = \frac{V_{max} - E_{max}}{I_{max}} \quad (3.6)$$

Bu şartlar için ısı denge denklemi, Eş. 3.7'deki gibi yazılabilir.

$$\alpha \cdot I_{max} \cdot T_{Cmin} - 0,5 \cdot I_{max}^2 \cdot R - K \cdot \Delta T_{max} = 0 \quad (3.7)$$

Ayrıca Eş. 3.5 kullanılarak,

$$T_{Cmin} = T_H - \frac{E_{max}}{\alpha} \quad (3.8)$$

olarak bulunur. Elde edilen Eş. 3.6 ve Eş. 3.8 ifadeleri Eş. 3.7'de yerine konulursa,

$$(V_{max} - E_{max}) \cdot I_{max} - 0,5 \cdot (V_{max} - E_{max}) \cdot I_{max} = \left( \frac{K \cdot E_{max}}{\alpha} \right) \quad (3.9)$$

denklemini bulunur. TE modülün termal iletkenlik katsayısı (K) değeri  $W \cdot K^{-1}$  olarak;

$$K = \frac{0,5 \cdot \alpha \cdot (V_{\max} - E_{\max}) \cdot I_{\max}}{E_{\max}} = \frac{0,5 \cdot V_{\max} (V_{\max} - E_{\max}) \cdot I_{\max}}{T_H \cdot E_{\max}} \quad (3.10)$$

şeklinde yazılabilir. Elde edilen Eş. 3.6 ve Eş. 3.10, Eş. 3.1'de yerine yazılırsa ve  $Q_L = 0$  kabul edilirse modülün  $Q_C$  değeri Eş. 3.11'deki gibi elde edilir.

$$Q_C = \alpha \cdot I \cdot T_C - \frac{0,5 \cdot I^2 (V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - \frac{\alpha \cdot \Delta T (V_{\max} - E_{\max}) \cdot I_{\max}}{E_{\max}} \quad (3.11)$$

TE modülün termoemk değeri Eş. 3.12 ile verildiğinden soğuyan yüzey sıcaklığı Eş. 3.13'teki gibi elde edilir.

$$E = \alpha \cdot \Delta T = \alpha \cdot (T_H - T_C) \quad (3.12)$$

$$T_C = T_H - \frac{E}{\alpha} \quad (3.13)$$

Eş. 3.11 ve Eş. 3.13'ten  $Q_C$ ,

$$Q_C = \alpha \cdot (T_H - \frac{E}{\alpha}) \cdot I - \frac{0,5 \cdot I^2 \cdot (V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - \frac{E \cdot (V_{\max} - E_{\max}) \cdot I_{\max}}{E_{\max}} \quad (3.14)$$

olarak bulunur. Bilindiği gibi modülün ısınan yüzeyinin sıcaklığı ( $T_H$ ), bu yüzeyden ısıyı atan ısı transfer sistemine bağlıdır ve genelde sabit tutulmaktadır. Çalışan gerçek bir TE modülün ısınan yüzeyinin sıcaklığı, daima yaklaşık olarak ısı transfer sisteminde kullanılan maddenin sıcaklığına eşittir. TE modüle uygulanan akım şiddeti ( $I$ ) ile ısı yük ( $Q_C$ ) değerindeki değişimler  $T_H$ 'nin değerini çok az etkilediği için, ilk yaklaşım olarak  $I_{\max}$  için kullanılan Eş. 3.4, Eş. 3.14'te kullanılabilir. Bu durumda TE modülün soğuk yüzeyine gelen toplam ısı yükü ( $Q_C$ ) watt olarak;

$$Q_C = V_{\max} \cdot I - \frac{0,5 \cdot I^2 \cdot (V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - (I + \frac{0,5 \cdot (V_{\max} - E_{\max}) \cdot I_{\max}}{E_{\max}}) \cdot E \quad (3.15)$$

TE modülün ısınan yüzeyinde açığa çıkan toplam ısı ( $Q_H$ ) watt olarak;

$$Q_H = V_{\max} \cdot I + \frac{0,5 \cdot I^2 \cdot (V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - \left( \frac{0,5 \cdot (V_{\max} - E_{\max}) \cdot I_{\max}}{E_{\max}} \right) \cdot E \quad (3.16)$$

şeklinde yazılabilir. Aynı şekilde TE modülün tükettiği güç (P) watt olarak Eş. 3.17 ile ifade edilir.

$$P = \frac{I^2 \cdot (V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} + E \cdot I \quad (3.17)$$

TE modülün verimi yani performans katsayısı (COP) Eş. 3.18'deki gibi elde edilir.

$$COP = \frac{Q_C}{P} \quad (3.18)$$

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

Bunlara ilaveten Eş. 3.4, Eş. 3.6 ve Eş. 3.10'a göre TE modülün kalite katsayısı (Z - Figure of Merit) değeri  $K^{-1}$  olarak;

$$Z = \frac{V_{\max} \cdot E_{\max}}{0,5 \cdot (V_{\max} - E_{\max})^2 \cdot T_H} \quad (3.19)$$

şeklinde yazılabilir. Bilindiği gibi bir TE modülün herhangi bir yüzeyindeki sıcaklığın ölçülmesi, özellikle modül bir sistemin parçası olup kapalı bir konumda bulunuyorsa çok zordur. Bunun için her bir yüzeyin üzerine termokuplun konulması ve çıkışlarının dışarıya çıkarılması gerekmektedir. Fakat TE modülün ısınan yüzeyi dışarıda olduğu için bu yüzeyin T sıcaklığı kolayca ölçülebilir.

Eş. 3.4 ve Eş. 3.8'e göre, TE modülün soğuyan yüzey sıcaklık ( $T_C$ ) değeri K olarak;

$$T_C = T_H \left( 1 - \frac{E}{V_{\max}} \right) \quad (3.20)$$

yazılabilir. Bu ifadeye göre  $T_C$  sıcaklığı doğrudan ölçülmeden, sadece  $T_H$  ve  $E$  değeri ölçülerek de bulunabilir. Aynı denklemden  $T_C$  ve  $E$  değerleri yardımıyla TE modülün ısınan yüzeyindeki sıcaklık ( $T_H$ ) değeri  $K$  olarak;

$$T_H = \frac{T_C}{\left(1 - \frac{E}{V_{\max}}\right)} \quad (3.21)$$

TE modülün termoemk ( $E$ ) değerinin farklı akımlardaki  $Q_C$  değerine göre değişimi ise volt olarak;

$$E = \frac{V_{\max} \cdot I - \frac{0,5 \cdot I^2 \cdot (V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - Q_C}{I + \frac{0,5 \cdot (V_{\max} - E_{\max}) \cdot I_{\max}}{E_{\max}}} \quad (3.22)$$

formülü ile ifade edilebilmektedir.

Elde edilen Eş. 3.6, Eş. 3.10, Eş. 3.11 ve Eş. 3.15 – Eş. 3.22 çalışma anında TE modüle ait tüm parametreleri vermektedir. Bu formüllere göre klasik yöntemlerde kullanılan TE yarıiletkenin  $\alpha$ ,  $\rho$ ,  $k$  ve  $z$  parametrelerin yerine  $I_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $E_{\max}$  deneysel parametreler kullanılmıştır. Bu eşitliklerin kullanılabilmesi için hem her modül için farklı olan  $I_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $E_{\max}$  deneysel parametre değerlerinin hem de  $T_C$  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 değildirler ve modülün makro büyüklüklerini oluşturmaktadırlar. Bu nicelikler çok büyük hassasiyetle kolayca ölçülebilirler. Elde edilen bu eşitlikler çalışan gerçek bir modülün parametrelerini karakterize etmektedirler. Ayrıca bu eşitlikler TE modül ve sistemlerin üretiminde kullanılan yapısal yöntemlerin ve malzemelerin kalitesinin bir göstergesi olarak da değerlendirilebilirler [18-26].

Elde edilen Eş. 3.15 – Eş. 3.20 çalışan bir termoelementin veya bir TE modülün çıkış ısı parametrelerini ifade etmektedir. Bu eşitliklerde yer alan  $Q_C = Q_C(I, E)$ ,  $Q_H = Q_H(I, E)$ ,  $P = P(I, E)$ ,  $COP = COP(I, E)$ ,  $T_C = T_C(I, E)$  fonksiyonlarının analitik

ifadeleri, uygulanan akım şiddetine ve termoelementin çalışma rejimine göre değişim göstermektedir. Bu durumları,  $T_{Cmin}$  ve  $Q_{Cmax}$  rejimlerinde olmak üzere uygulanan akım  $I = I_{max}$  ve  $I < I_{max}$  için 4 farklı şekilde inceleyebiliriz [18-26]:

$I = I_{max}$  iken  $T_C = T_{Cmin}$  rejiminde;  $Q_C = 0$  ve  $E = E_{max}$  olduğundan, TE modülün çıkış ısı parametreleri Eş. 3.23'teki gibi elde edilir.

$$Q_C = 0$$

$$Q_H = V_{max} I_{max}$$

$$P = V_{max} I_{max}$$

(3.23)

$$COP = 0$$

$$T_{Cmin} = T_H \left( 1 - \frac{E_{max}}{V_{max}} \right)$$

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

$I = I_{max}$  iken  $Q_{Cmax}$  rejimde;  $T_C = T_H$  ve  $\Delta T = 0$  yani  $E = \alpha \Delta T = 0$  olduğundan, TE modülün çıkış ısı parametreleri Eş. 3.24'teki gibi elde edilir.

$$Q_{Cmax} = 0,5 I_{max} (V_{max} + E_{max})$$

$$Q_{Hmax} = 0,5 I_{max} (3V_{max} - E_{max})$$

$$P_{min} = I_{max} (V_{max} - E_{max})$$

(3.24)

$$COP_{max} = 0,5 + \frac{E_{max}}{V_{max} - E_{max}} = \frac{V_{max}}{V_{max} - E_{max}} - 0,5$$

$$T_C = T_H$$

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

$I < I_{\max}$  iken  $T_C = T_{C\min}$  rejiminde, TE modülün çıkış ısı parametreleri Eş. 3.25'teki gibi elde edilir. Burada  $I_{\max}$ 'tan küçük her bir akım için modül  $T_{C\min}$  sağladığında üreteceği maksimum bir termoemk  $E_{\max}^I$  olarak gösterilmiştir.

$$Q_C = 0$$

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

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

$$COP = 0$$

(3.25)

$$T_{C\min}^I = T_H \left( 1 - \frac{E_{\max}^I}{V_{\max}} \right)$$

$$Z = \frac{V_{\max} E_{\max}}{0,5(V_{\max} - E_{\max})^2 T_H} = \frac{E_{\max} E_{\max}^I}{0,5(V_{\max} - E_{\max})^2 \Delta T}$$

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

$I < I_{\max}$  iken  $Q_{C\max}$  rejimde; TE modülün çıkış ısı parametreleri Eş. 3.26'daki gibi elde edilir.

$$Q_{C\max}^I = V_{\max} I - \frac{0,5I^2(V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}}$$

(3.26)

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

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

$$\text{COP} = \frac{V_{\max} I_{\max}}{I(V_{\max} - E_{\max})} - 0,5 \quad (3.26)$$

$$T_C = T_H$$

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

$Q_{C_{\max}}$  rejiminde;  $I < I_{\max}$  iken elde edilen COP değeri,  $I = I_{\max}$  iken elde edilenden daha büyüktür ve teoride  $I \rightarrow 0$  gittiğinde  $\text{COP} \rightarrow \infty$  gitmektedir. Ayrıca yine  $Q_{C_{\max}}$  rejiminde her bir akım için bir  $Q_{C_{\max}}^I$  değeri söz konusudur. Eş. 3.23 – Eş. 3.26 incelendiğinde ise Z değerinin TE modülün çalışma rejimlerine bakılmaksızın hep aynı kaldığı görülmektedir.

TE yarıiletkenin  $\alpha$ ,  $\rho$ ,  $k$  ve  $z$  parametrelerinin, yeni yöntemin temelini oluşturan  $V_{\max}$ ,  $I_{\max}$  ve  $E_{\max}$  deneysel parametrelerine bağlı olarak basit bir şekilde ölçülmesi mümkündür. Bu doğrultuda Eş. 3.2 ve Eş. 3.3'teki ifadelerden yararlanılarak;

$$V_{\min} = \frac{2 \cdot N \cdot I_{\max} \cdot \rho}{G} \quad (3.27)$$

$$E_{\max} = 2 \cdot N \cdot \alpha \cdot T_{\max} \quad (3.28)$$

olarak elde edilmiştir. Ayrıca TE yarıiletkenin Seebeck katsayısı ( $\alpha$ ) V/K olarak;

$$\alpha = \frac{V_{\max}}{2 \cdot N \cdot T_H} \quad (3.29)$$

TE yarıiletkenin termal iletkenliği ( $k$ ) W/(Cm.K) olarak;

$$k = \frac{0,5 \cdot I_{\max} \cdot V_{\min} \cdot V_{\max}}{2 \cdot N \cdot G \cdot E_{\max} \cdot T_H} \quad (3.30)$$

TE yarıiletkenin kalite katsayısı ( $z$ )  $K^{-1}$  olarak;

$$z = \frac{E_{\max} \cdot V_{\max}}{0,5 \cdot V_{\min}^2 \cdot T_H} \quad (3.31)$$

TE yarıiletkenin elektriksel iletkenliği ( $\rho$ )  $\Omega \cdot \text{cm}$  olarak;

$$\rho = \frac{G \cdot V_{\min}}{2 \cdot N \cdot I_{\max}} \quad (3.32)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir. Burada TE modülü karakterize eden  $V_{\max}$ ,  $I_{\max}$  ve  $E_{\max}$  deneysel parametrelerin doğrudan yarıiletkenin durumunu belirleyen  $\alpha$ ,  $\rho$ ,  $k$  ve  $z$  parametrelerinin fonksiyonel özelliklerine bağlı olduğu görülmektedir [18-26].



## 4. TASARLANAN SİSTEM

### 4.1. Sistemin Genel Yapısı

TE modül ve sistemlerin çalışma anındaki parametrelerinin elde edilmesi ve performans analizlerinin yapılması amacıyla donanım ve yazılımdan oluşan bilgisayar kontrollü TEPAS tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Resim 4.1’de TEPAS’ın iç ve dış görünümüne ait fotoğraflar görülmektedir. Sistem üzerinde TE modül güç çıkışı, termokupl girişler, bilgisayar bağlantısı için USB portlar, soğutma sistemi kontrolü amaçlı bağlantılar ile birlikte sistemin 220V besleme girişi ve açma-kapama anahtarı bulunmaktadır.

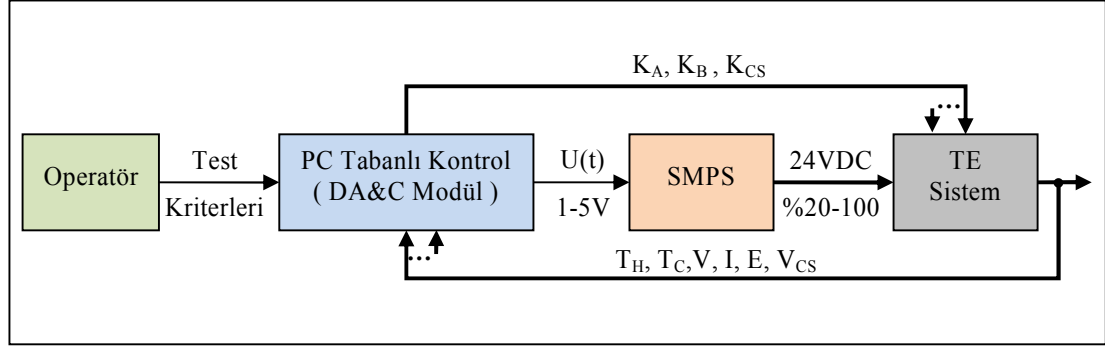


Resim 4.1. Bilgisayar kontrollü TEPAS’ın görünümü

TEPAS sayesinde TE modül ve sistemlere yönelik akım, gerilim ve 8 kanal sıcaklık ölçümünün yapılması mümkün olmaktadır. Test edilecek TE modülün enerjilenmesi TEPAS tarafından yapıldığından, TE modülün çektiği akım ve üzerinde düşen gerilim ölçümleri sistem içerisinde yer alan Anahtarlama Modlu Güç Kaynağı (SMPS–Switched Mode Power Supply) çıkışından yapılmaktadır. Sıcaklık ölçümleri ise TE modülün bulunduğu ortamdan termokupllar yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Ölçüm verilerinin toplanarak bilgisayara aktarılması ve yazılım yardımıyla elde edilen kontrol sinyallerinin sisteme uygulanması amacıyla USB bağlantılı DA&C modüller kullanılmaktadır.

Tasarımı gerçekleştirilen TEPAS’a yönelik bilgisayar tabanlı çok değişkenli kapalı çevrim kontrol blok şeması Şekil 4.1’de görülmektedir. TE sistemde ölçümler yapılarak; modülün yüzey sıcaklıkları ( $T_H$  ve  $T_C$ ), çektiği akım (I), üzerinde düşen

gerilim (V), enerjisi kesildiği anda üretilen termoemk (E) gerilimi ile soğutma sistemi geri besleme DC pals gerilimi ( $V_{CS}$ ) değerleri bilgisayar kontrollü olarak USB DA&C modülü üzerinden alınarak veritabanına kaydedilmekte ve gerekli kontrol sinyalleri üretilmektedir.



Şekil 4.1. TE performans analiz sistemi kapalı çevrim genel kontrol döngüsü

Sistemde operatörün belirlediği test kriterlerine göre bilgisayar kontrollü olarak DA&C modülü üzerinden elde edilen 1-5 V DC gerilim, SMPS'nin harici gerilim kontrol girişine (VCI) uygulanmaktadır. Bu sayede 24 V DC çıkışı %20-100 arasında doğrusal oransal olarak ayarlanan SMPS ile TE sistem  $K_A$  ve  $K_B$  kutup değişim sinyallerine de bağlı olarak H - Köprü yöntemiyle istenen güçte iki yönlü sürülebilmektedir. Bu sayede TE modüle uygulanan akımın yönü ve şiddeti bilgisayar kontrollü olarak düzenlenerek istenen seviyede ısıtma veya soğutma kolaylıkla yapılabilmektedir.

TEPAS'ın genel karakteristik özellikleri Çizelge 4.1'de verilmektedir. Çizelge 4.2'de ise TE modüllerin TEPAS ile ölçülebilecek parametreleri özetlenmiştir.

Çizelge 4.1. Bilgisayar kontrollü TEPAS'ın genel karakteristik özellikleri

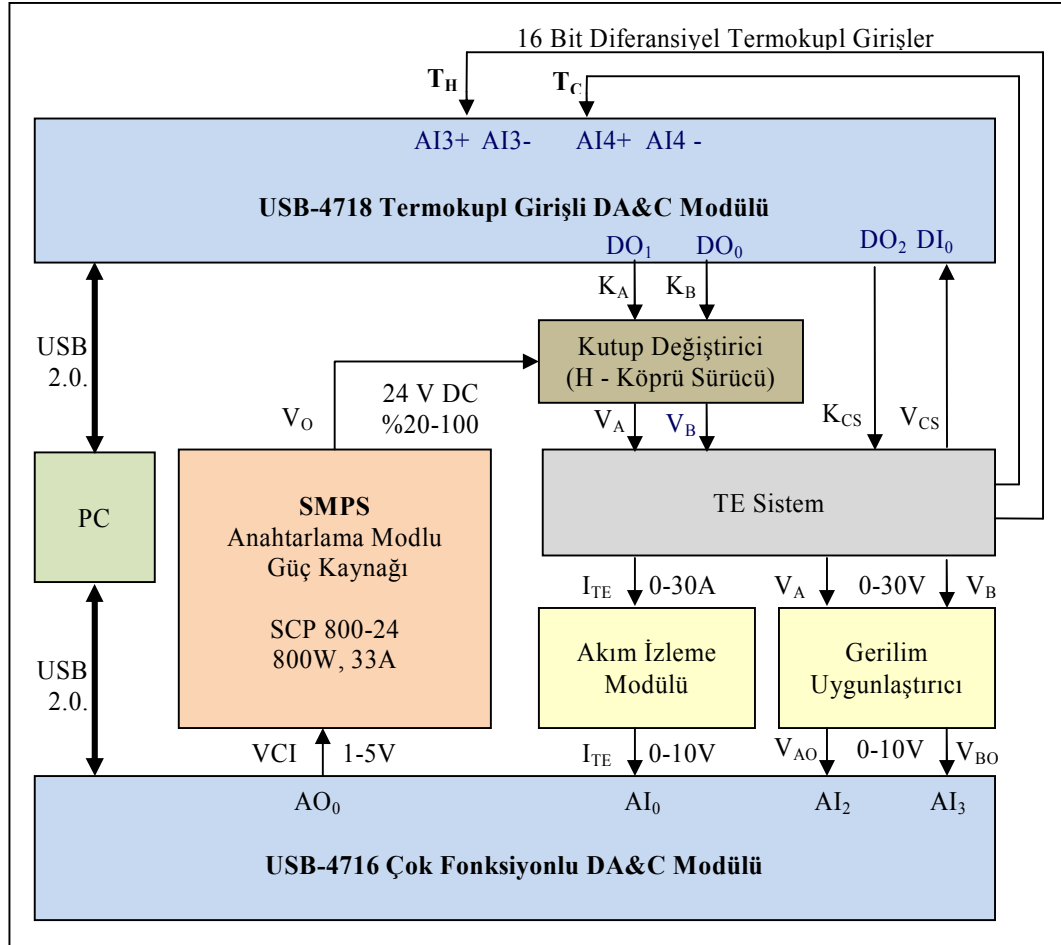
<b>Karakteristik</b>	<b>Özellik</b>
Uygulama Alanı	TE modül ve sistemler (TE cihazlar)
Test Yöntemi	Akım, gerilim ve sıcaklık ölçümüne dayalı AHISKA yöntemi
Deneyleler	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Deneysel parametrelerin belirlenmesi testi</li> <li>• Çıkış parametreleri testi</li> <li>• Yarıiletken parametrelerinin belirlenmesi testi</li> <li>• Dinamik analiz testi</li> <li>• 8 kanal sıcaklık datalogger</li> </ul>
TE Çalışma Modu	Soğutma - Isıtma
Sıcaklık Dengesinin Belirlenmesi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>T_H</math></li> <li>• <math>\Delta T</math></li> <li>• <math>T_H</math> ve <math>\Delta T</math> birlikte</li> </ul>
AC Gerilim	$\cong 220V$
Elektrik Güç Tüketimi	$< 1000W$
Ağırlık	5 Kg
Ebat	40x30x17 cm
Ölçme	Akım, Gerilim ve Sıcaklık
TE modül sürme gücü	24 V, 33 A, $\cong 800 W$ (Çıkış %20-100 aralığında yazılım ile ayarlanabilir)
Bilgisayar Haberleşmesi	USB 2.0

Çizelge 4.2. TEPAS ile ölçülen parametreler

<b>Doğrudan Ölçülen Parametreler</b>	<b>Simge</b>	<b>Birim</b>	<b>Ölçüm Aralığı</b>	<b>Doğruluk</b>
Sıcaklık	$T(T_C, T_H)$	K	-35 ... +70	$\pm 0,1$ K
Sıcaklık farkı	$\Delta T_{max}$	K	0...100	$\pm 0,1$ K
TE modülün çektiği akım	I	A	0...10	$\pm 0,01$ A
TE modül uçlarında düşen gerilim	V	V	0...24	$\pm 0,01$ V
TE modülün ürettiği termoemk gerilimi	E	V	0...24	$\pm 0,01$ V
<b>Dolaylı Ölçülen Parametreler</b>				
TE modülün soğuk yüzeyinden soğurulan ısı yükü	$Q_C$	W	0...100	
TE modülün sıcak yüzeyinden açığa çıkan ısı yükü	$Q_H$	W	0...100	
TE modül elektrik gücü	P	W	0...50	
TE modülün verimi (Performans Katsayısı)	COP		0-1	
TE modülün elektriksel direnci	R	$\Omega$	0...100	
TE modülün ısıl iletkenliği	K	W/K	0...10	
TE modül kalite katsayısı (Figure-of-Merit)	Z	1/K	$(1...5) \times 10^{-3}$	
Yarıiletkenin Seebeck katsayısı	$\alpha$	V/K	$(1...5) \times 10^{-4}$	
Yarıiletkenin öz direnci	$\rho$	$\Omega \cdot \text{cm}$	$(1...5) \times 10^{-3}$	
Yarıiletkenin termal iletkenlik katsayısı	k	W/(cm.K)	$(1...5) \times 10^{-2}$	
Yarıiletkenin kalite katsayısı	z	1/K	$(1...5) \times 10^{-3}$	

## 4.2. Donanım

TEPAS donanımının temeli USB tabanlı DA&C modüller, SMPS, ölçüm ve kontrol birimi ile TE sistemden oluşmaktadır. Şekil 4.2’de TEPAS’ın genel blok şeması görülmektedir.



Şekil 4.2. Bilgisayar kontrollü TEPAS’ın genel blok şeması

### 4.2.1. Veri toplama ve kontrol (DA&C) modülü

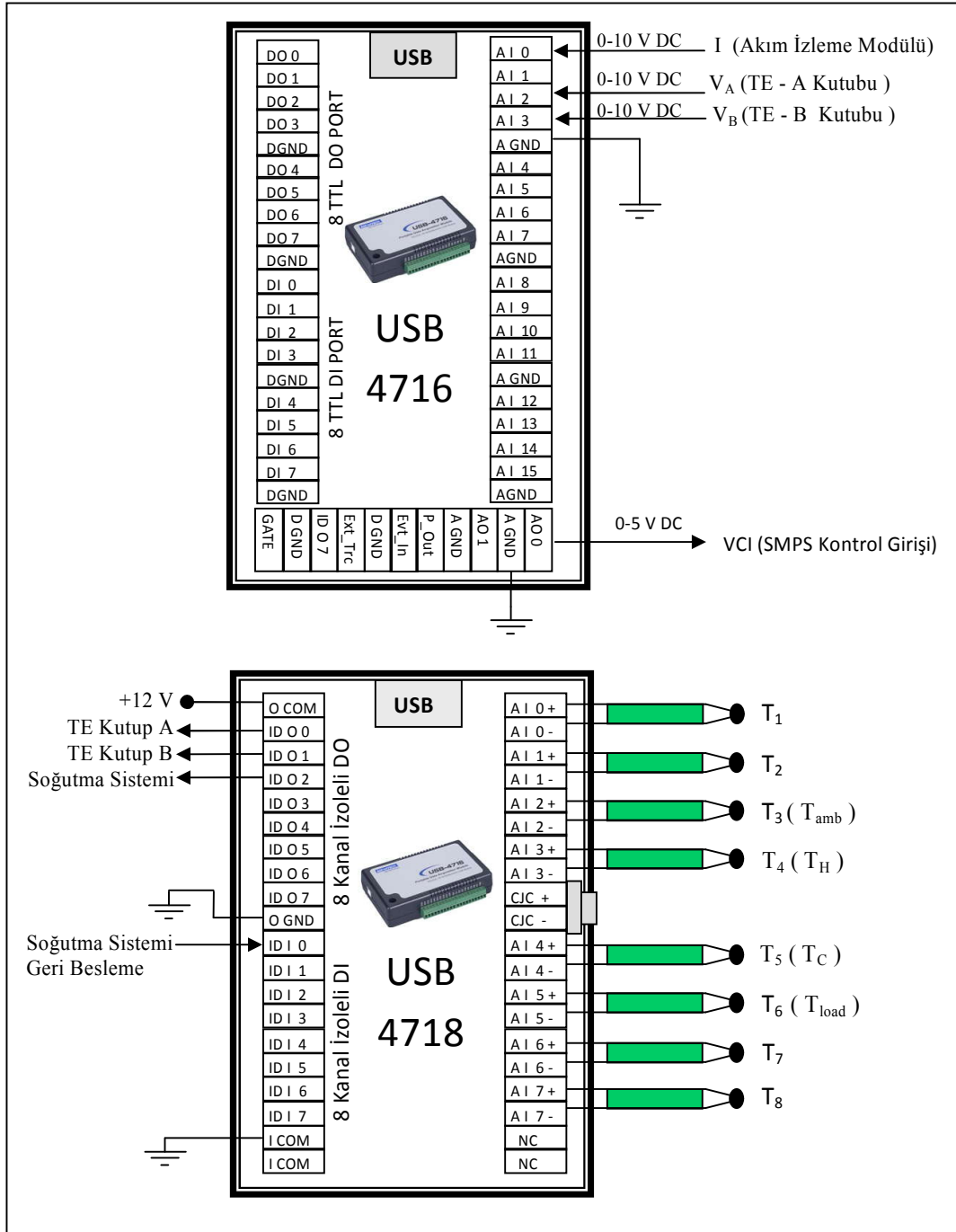
Sistemde performans analizinin yapılması amacıyla akım, gerilim ve sıcaklığa yönelik ölçme ve kontrol amaçlı verilerin bilgisayar ortamına alınması gerekmektedir. Bu amaçla adı geçen veriler; DA&C modül üzerinden sayısal formata dönüştürülerek bilgisayar tarafından anlaşılır hale getirilmektedir. Çizelge 4.3’te DA&C modülüne yönelik kanal düzeni görülmektedir.

Sistem donanımının temelinde, USB tabanlı Advantech USB - 4718 Termokupl girişli ve USB – 4716 çok fonksiyonlu analog giriş-çıkışlı DA&C modüller yer almaktadır. USB-4718 DA&C modül; çözünürlüğü 16 bit olan 8 diferansiyel termokupl girişe sahip olup T, J, K vb. termokupllar için destek vermektedir. USB-4716 DA&C modül; çözünürlüğü 16 bit, örnekleme hızı 200 kS/sn olan 16 Single-Ended / 8 Diferansiyel analog girişe ve maksimum güncelleme oranı 2kS/sn olan 2 adet analog çıkışa sahiptir. Analog giriş-çıkış aralıkları yazılımla ayarlanabilmektedir.

Şekil 4.3'te DA&C modüllerin test sistemine yönelik kanal düzenleri görülmektedir. Tasarlanan sistemde USB-4718 model termokupl girişli DA&C modül, özellikle sıcaklık ölçümünün yapılması amacıyla kullanılmaktadır. USB-4718, sahip olduğu izolasyonlu 16 dijital giriş-çıkış portu ile SMPS çıkış akım yönünün değiştirilmesi, soğutma sisteminin açılıp kapatılması ( $K_{CS}$ ) ile geri besleme sinyalinin ( $V_{CS}$ ) alınmasına yönelik çeşitli kontrol sinyallerinin düzenlenmesinde de kullanılmaktadır. Sistemde hem TE modül akım ve gerilim değerlerinin ölçülmesi hem de SMPS çıkışının ayarlanması amacıyla analog giriş ve çıkışlara sahip USB-4716 model DA&C modül kullanılmaktadır. USB 4718 ve USB 4716 DA&C modüllere yönelik katalog bilgileri Ek-2'de verilmiştir [76, 77].

Çizelge 4.3. Veri toplama ve kontrol modülü kanal düzeni

Kullanım Alanı	Kanal Türü	Adet
Sıcaklık ölçümleri ( $T_1 .. T_8$ )	16 Bit Termokupl Giriş	8
Akım ölçümü (I)	16 Bit Analog Giriş	1
Gerilim ölçümü (V)	16 Bit Analog Giriş	2
SPMS sürülmesi (1-5V)	16 Bit Analog Çıkış	1
Soğutma Sistemi Kontrol sinyali	Dijital Çıkış	1
TE Modül Kutup Değişimi ( $K_A, K_B$ )	Dijital Çıkış	2
Soğutma Sistemi geribesleme sinyali	Dijital Giriş	1



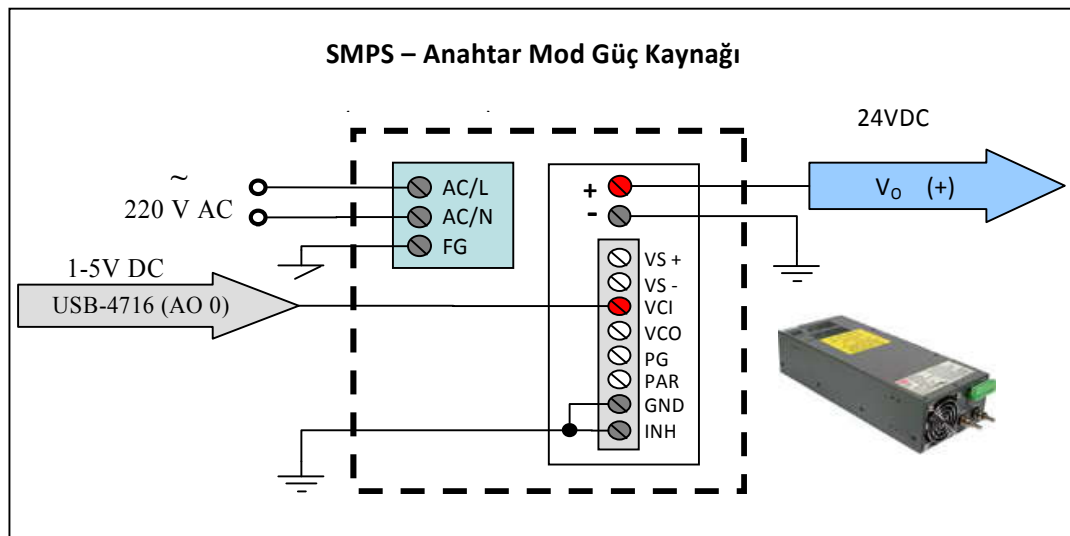
Şekil 4.3. USB DA&C modüllerin test sistemine yönelik kanal düzenleri

#### 4.2.2. SMPS - Anahtarlama modlu güç kaynağı

Test işlemi gereği TE modüllere belirlenen aralıkta çeşitli akımların uygulanması gerekmektedir. Ayrıca TE sistemlerin performansları açısından besleme geriliminin

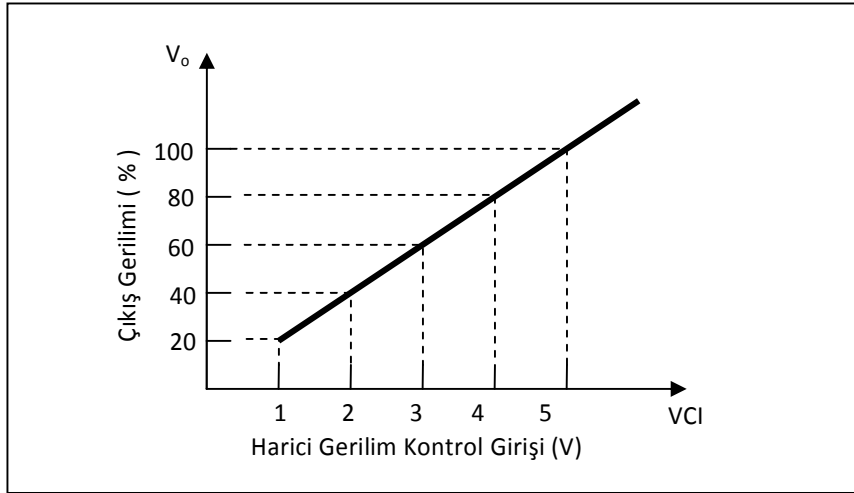
kalitesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle çıkış gerilimi kolaylıkla kontrol edilebilen, ayarlanabilir ve yüksek güçlü, verimi yüksek, dalgalanma ve regülasyonu düşük olan küçük boyutlu besleme sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır [78, 79].

Test sistemlerinde TE modülün sürülmesi amacıyla, MainWell SCP 800-24 model 1-5 V DC harici gerilim kontrol girişi (VCI) ile çıkış gerilimi %20-100 arasında doğrusal oransal olarak ayarlanabilen, 24 V DC 33 A 800 W gücünde verimi %88, regülasyonu %  $\pm 0.5$  olan SMPS kullanılmaktadır. SCP 800-24 SMPS'nin dahili olarak kısa devre, aşırı akım, aşırı ısınma, aşırı yük korumaları mevcuttur. Şekil 4.4'te SMPS'nin sisteme yönelik bağlantısı görülmektedir. Tasarlanan sistemde, bilgisayar kontrollü olarak USB-4716 DA&C modülün AO0 çıkışından elde edilen 1-5 V DC arası gerilim, SMPS'nin harici gerilim kontrol girişine (VCI) verilmektedir. Bu sayede SMPS'nin 24 V DC çıkış gerilimi %20-100 arasında doğrusal oransal olarak ayarlanarak, TE modülün istenen güçte sürülmesi sağlanabilmektedir. Şekil 4.5'te SMPS'nin harici kontrol girişine bağlı olarak çıkışın değişimi görülmektedir. SMPS'nin çıkışının yetkilenmesi amacıyla INH (Inhibit) ucu GND'ye bağlanmıştır. Tasarlanan sistemde kullanılan SMPS güç kaynağının katalog bilgileri Ek-3'te verilmiştir [80].



Şekil 4.4. SMPS'nin sisteme yönelik bağlantısı



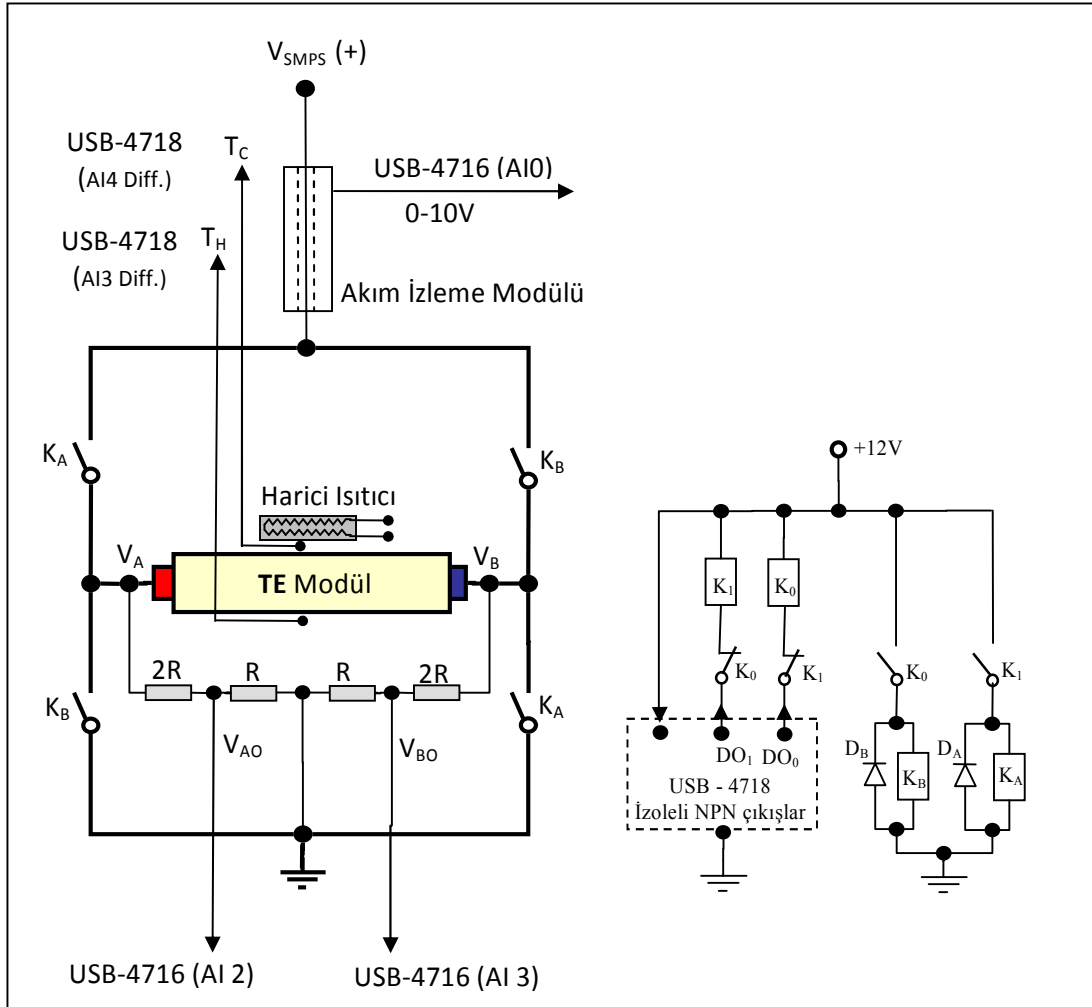


Şekil 4.5. SCP 800-24 model SMPS çıkışının harici gerilim kontrol girişine bağlı olarak oransal değişimi

#### 4.2.3. TE modül ölçüm ve kontrol birimi

Hem TE modüle yönelik akım, gerilim ve sıcaklık ölçümlerinin yapılabilmesi hem de H - Köprü yöntemiyle TE modülün iki yönlü sürülebilmesi amacıyla Şekil 4.6'da görülen ölçüm ve kontrol birimi geliştirilmiştir. Bu birim sayesinde 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, termoemk (E) değerinin ölçülmesi esnasında; TE modül güç kaynağından tamamıyla ayrılmaktadır.

Ölçüm birimi yardımıyla 0-30 A akım, 0-30 V gerilim ölçümü yapmak mümkün olmaktadır. Ancak sistemde kullanılan SMPS maksimum 24 V çıkış verebildiği için gerilim ölçümü 0-24 V aralığında yapılabilmektedir. Sistemde sıcaklık, akım ve gerilim ölçümlerine yönelik sinyaller USB tabanlı DA&C modüller ile bilgisayar ortamına alınmaktadır. TE modüle yönelik sıcaklık ölçümlerinde sadece termokupl, akım ölçümünde akım izleme modülü [80] ve gerilim ölçümünde de basit bir gerilim uygunlaştırıcı devre kullanılmıştır. TE modül uçlarındaki 0-30 V DC gerilim uygunlaştırılarak, soğutma ve ısıtma moduna göre ayrı ayrı olmak üzere  $V_{AO}$  ve  $V_{BO}$  uçlarında elde edilen 0-10 V DC gerilim USB-4716 DA&C modülün sırasıyla 16 bit çözünürlükteki AI2 ve AI3 analog girişlerine verilmektedir.



Şekil 4.6. TE modülün ölçüm ve kontrol amaçlı bağlantısı

TE modülün çalışma modunun belirlenmesi amacıyla, USB-4718 DA&C modülün DO0 ve DO1 izoleli dijital çıkışları kullanılmaktadır. Bu çıkışlar sistemde  $K_A$  ve  $K_B$  anahtarlarını kontrol etmektedirler. Çizelge 4.4'te USB-4718 DA&C modülünün dijital çıkışlarının durumuna göre TE modülün çalışma modunun değişimi görülmektedir. USB-4718 DA&C modülünün dijital çıkışlarının ikisi birden '0' yapıldığında (TE modülün termoemk değerinin ölçülebilmesi için) TE modül enerjisi tamamen kesilirken, birbirinden farklı çıkış durumlarında soğutma veya ısıtma yapılmaktadır. Sistemde kısa devre koruması amacıyla her iki çıkışın '1' verilmesi de engellenmektedir. Ayrıca  $K_A$  ve  $K_B$  röle bobinlerinin sisteme olan olumsuz manyetik etkilerini ortadan kaldırmak ve depo ettikleri enerjiyi boşaltabilmeleri için  $D_A$  ve  $D_B$  baypas diyotları kullanılmıştır.

Çizelge 4.4. TE modül çalışma modu düzenleri

USB 4718 DA&C Modülü Dijital Çıktıları		Çalışma Modu
DO 1 ( $K_A$ )	DO 0 ( $K_B$ )	
0	0	Kapalı
0	1	Isıtma
1	0	Soğutma
1	1	Kullanılmıyor

### Gerilim ölçme

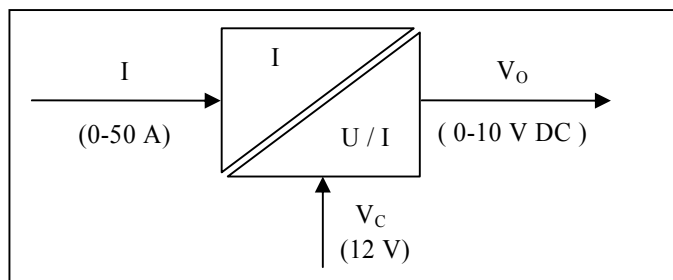
Test sistemi gereği TE modüle güç uygulanırken uçlarında düşen gerilim (V) ile güç kaynağından ayrıldığı anda ürettiği termoemk (E) değerinin ölçülmesi gerekmektedir. Bu amaçla oluşturulan gerilim bölücü devre ile soğutma ve ısıtma moduna göre ayrı ayrı olmak üzere elde edilen  $V_{AO}$  ve  $V_{BO}$  gerilimleri USB-4716 DA&C modülünün 16 bit çözünürlükte ve 0-10 V giriş aralığına ayarlı AI2 ve AI3 analog girişlerine uygulanmaktadır.

TE modülün çalışma anındaki geriliminin ölçülmesi durumunda;  $K_A$  veya  $K_B$  anahtarlarından sadece biri kapalı durumda olmaktadır. Test işlemi soğutma modunda yapıldığından sadece  $K_A$  anahtarı kapalı duruma getirilmektedir ve bu nedenle TE modülün çalışma anındaki gerilimi sadece 3R üzerine düşmektedir. Bu nedenle de R üzerine düşen  $V_{AO}$  geriliminin, DA&C modülü ile elde edildikten sonra yazılımsal olarak 3 katı alınmaktadır.

TE modülün ürettiği termoemk (E) değerinin ölçülmesi için TE modülün güç kaynağından tamamıyla ayrılması gereklidir. Bu işlem ölçümün hassasiyeti ve güvenilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. Bu amaçla H-Köprü devresinde hem  $K_A$  hem de  $K_B$  anahtarları açık duruma getirilerek, TE modülün tamamıyla SMPS'den ayrılması sağlanmaktadır. Bu durumda TE modülün ürettiği termoemk 6R üzerine düşmektedir. Bu nedenle de R üzerine düşen  $V_{AO}$  geriliminin, DA&C modülü ile elde edildikten sonra yazılımsal olarak 6 katı alınmaktadır.

### Akım ölçme

Test sistemi gereği TE modüller 30A'ye kadar akım çekebileceklerdir. Böyle yüksek değerdeki akımların ölçülebilmesi ve yükleme etkisinin olmamasından dolayı sistemde WeidMüller marka WAS2 CMA 40/50/60A model Hall-Effect metoduyla çalışan akım izleme modülü kullanılmıştır. Akım izleme modülünün temelinde, akımın geçtiği iletken etrafında meydana getirdiği manyetik alan şiddetinin akım ya da gerilim bilgisine çevrilmesini sağlayan Hall-Effect sensörü yer almaktadır. Akım izleme modülünün giriş ve çıkış aralıkları, üzerinde bulunan DIP anahtarlar yardımıyla ayarlanabilmektedir ve herhangi bir kalibrasyon gerektirmemektedir. Akım izleme modülü ile 40/50/60A AC veya DC akım ölçmek ve karşılığında seçime bağlı olarak 0..10V / 0..20mA / 4..20mA analog çıkış almak mümkün olmaktadır (Şekil 4.7). Akım izleme modülünün giriş aralığı 0-50 A, çıkış aralığı ise 0-10 V olarak ayarlanmıştır ve besleme olarak 12 V DC gerilim bağlanmıştır. TE modülün çektiği akıma yönelik olarak; akım izleme modülünden elde edilen 0-10 V gerilim USB-4716 DA&C modülünün 16 bit çözünürlükteki AI0 analog girişine verilmektedir. Bu nedenle akımı ifade eden bu değer, DA&C modül ile elde edildikten sonra yazılımsal olarak 5 katı alınmaktadır. Tasarlanan sistemde kullanılan akım izleme modülüne yönelik katalog bilgileri Ek-1'de verilmiştir [81].



Şekil 4.7. Akım izleme modülü şematik devre diyagramı

### Sıcaklık ölçme

Test sisteminde özellikle TE modülün ısınan ( $T_H$ ) ve soğuyan ( $T_C$ ) yüzey sıcaklıklarının ölçülmesi büyük önem taşımaktadır. Sistemde USB-4718 termokupl

girişli DA&C modül ile 16 bit çözünürlükte 8 kanal sıcaklık ölçümünün yapılması mümkün olmaktadır.

Termokupl uygulamalarında, sıcak nokta ve soğuk nokta arasındaki gerilim farkından yararlanılarak sıcaklık ölçümü yapılmaktadır. Termokuplların 0 °C ortam sıcaklığında ölçüm yapması gerekmesine rağmen bu durum pratikte mümkün olmamaktadır. Termokuplların DA&C modülüne olan klemens bağlantısından dolayı meydana gelen gerilim farkı hataya yol açmaktadır ve ayrıca termokuplların gövde sıcaklıklarının da ölçüme dahil olması gerekmektedir. Bu nedenden dolayı meydana gelen hatanın giderilmesi amacıyla, termokupl tipi ve bağlantı noktası sıcaklığından yararlanılarak CJC (Cold Junction Compensation – Soğuk nokta kompanzasyonu) işlemi yapılır. Soğuk nokta kompanzasyonu, bağlantı noktası 0 °C'ye denk düşecek şekilde, hesaplanan hata gerilimini ölçülen değerden çıkartır. DA&C modülün sıcaklığı dahili bir sensörden ölçülür. Bağlantıdan kaynaklanan bu hata düzeltildikten sonra modüle yönelik özel yönetim yazılımı ile otomatik olarak, gerilimi doğrusal olarak sıcaklık bilgisine dönüştürür. Tüm bu düzeltmeler sonucunda, program yardımıyla modülden okunan değer gerçek sıcaklık bilgisini ifade etmektedir [21, 77, 82, 83].

Sıcaklık ölçümlerine yönelik doğrusallaştırma ve CJC işlemi, termokupl girişli USB-4718 DA&C modül tarafından dahili olarak yapılmaktadır. USB-4718 DA&C modülü katalog verilerine göre; CJC sensörünün yerleşimine bağlı olarak, kanal ölçümlerinde maksimum 1°C fark olabilmektedir. Bu nedenle CJC sensörü USB-4718 DAQ modülün termokupl girişlerinin orta noktasına yerleştirilmiş bulunmaktadır. TE performans analizi için kritik olan  $T_H$  ve  $T_C$  sıcaklık ölçümleri için CJC sensörünün hemen iki yanı ( $T_4$  ve  $T_5$ ) kullanılmıştır [77].

USB-4718 termokupl girişli DA&C modülün destek verdiği termokupllar için ölçüm aralıkları, doğrulukları ve yapılabilecek maksimum hataları üretici katalog bilgilerine göre Çizelge 4.5'te verilmektedir. Sıcaklık ölçümlerinde küçük boyutlu ve kullanımlarının yaygın olması ve ayrıca katalog verilerine göre ölçüm sıcaklık aralıklarının sisteme yönelik olarak kullanımının uygun olması nedeniyle T tipi (ya da K tipi) nokta uçlu termokupllar kullanılmaktadır. T tipi termokupllar, DA&C

modül katalog verilerine göre  $-100^{\circ}\text{C}$  ile  $+400^{\circ}\text{C}$  giriş aralığında,  $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$  maksimum hatayla ölçüm yapabilmektedir. Ayrıca sistemde T tipi termokuplun yanı sıra K, J, S, E vb. diğer termokupllar için de destek verilmektedir [77].

Çizelge 4.5. USB-4718 DA&C modülün termokupl tipine bağlı ölçüm aralıkları, doğrulukları ve maksimum hataları

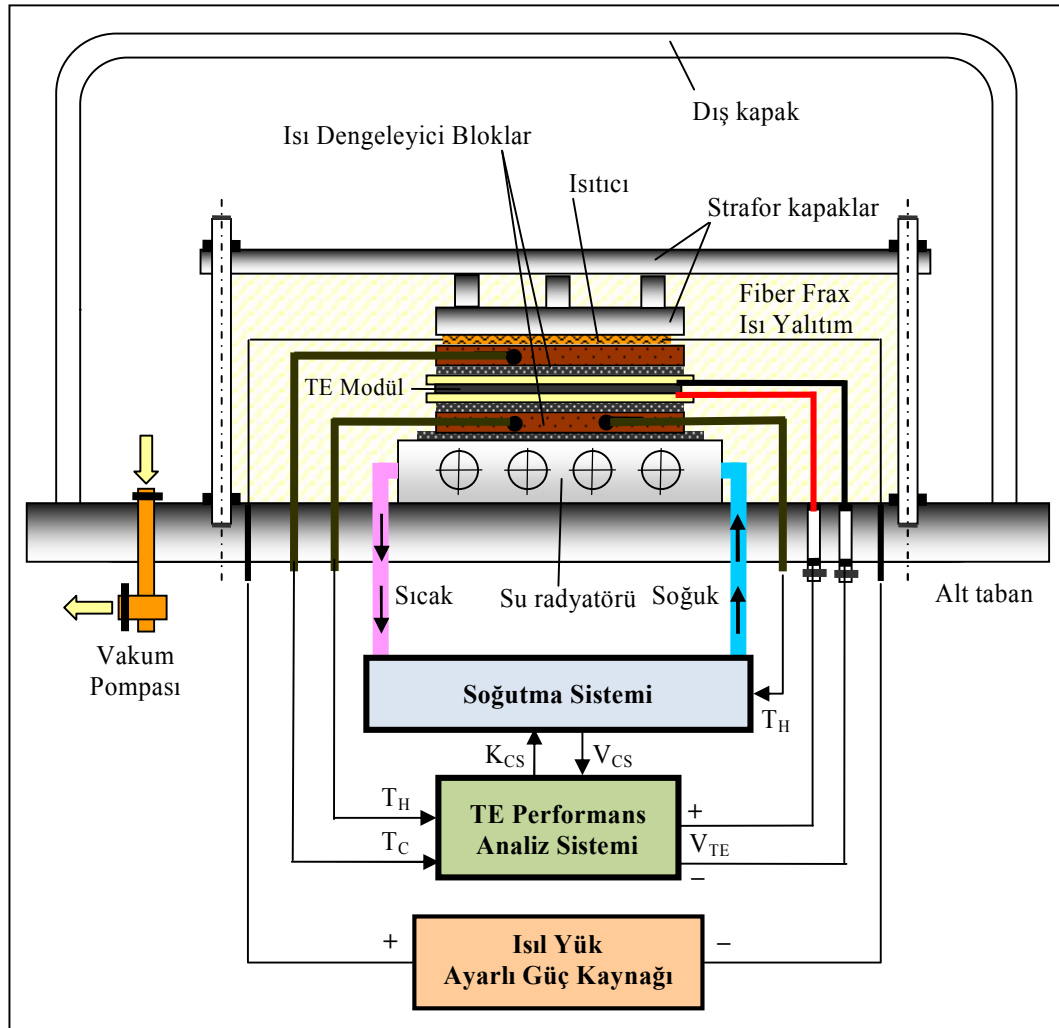
Termokupl Tipi	Ölçüm Aralığı	Doğruluk	Maksimum Hata
J	0 ~ 760°C	$\pm 1,0^{\circ}\text{C}$	$\pm 1,5^{\circ}\text{C}$
K	0 ~ 1370°C	$\pm 1,0^{\circ}\text{C}$	$\pm 1,5^{\circ}\text{C}$
T	-100 ~ 400°C	$\pm 1,0^{\circ}\text{C}$	$\pm 1,5^{\circ}\text{C}$
E	0 ~ 1000°C	$\pm 1,0^{\circ}\text{C}$	$\pm 1,5^{\circ}\text{C}$
R	500 ~ 1750°C	$\pm 1,2^{\circ}\text{C}$	$\pm 2,5^{\circ}\text{C}$
S	500 ~ 1750°C	$\pm 1,2^{\circ}\text{C}$	$\pm 2,5^{\circ}\text{C}$
B	500 ~ 1800°C	$\pm 2,0^{\circ}\text{C}$	$\pm 3,0^{\circ}\text{C}$

#### 4.2.4. TE sistem düzeneği

Gerçekleştirilen TE performans analiz sistemi ile deneysel çalışmalar yapmak ve gerçek TE modüllerin test edilmesi amacıyla özel bir TE sistem düzeneği oluşturulmuştur. Bu düzenek TE modül düzeneği, soğutma sistemi ve ısıtma sistemi olmak üzere 3 ayrı bölümden oluşmaktadır. Şekil 4.8’de TE sistem düzeneğinin temel yapısı ve TE performans analiz sistemine olan bağlantısı görülmektedir.

Oluşturulan düzenekte, TE modülün sıcak ve soğuk her iki yüzeyine 4x4 cm boyutunda ve 0,5 cm kalınlığında bakırdan ısı dengeleyici blok yerleştirilmiştir. Modül yüzeyindeki  $T_H$  ve  $T_C$  sıcaklıklarını ölçmek amacıyla; ısı dengeleyici blokların içerisine delik açılarak T tipi termokupllar yerleştirilmiştir. Yüzeyler arasında termal macun sürülerek ısı iletiminin maksimum olması sağlanmıştır. TE modülün soğuk yüzeyine çeşitli ısı yükler uygulayabilmek amacıyla bir ısıtıcı yerleştirilmiştir. Denede kullanılan ısıtıcı, kalınlığı 0,2 mm olan 4x4 cm’lik iki mika levha arasına yine aynı boyutlarda ve üzerine çapı 0,2 mm olan krom tel sarılmış levhanın konularak epoksiyle yapıştırılmasıyla yapılmıştır. Isıtıcıdan modüle gelen ısının kayıplarını minimum kılmak için ısıtıcının modülle temasta olmayan üst

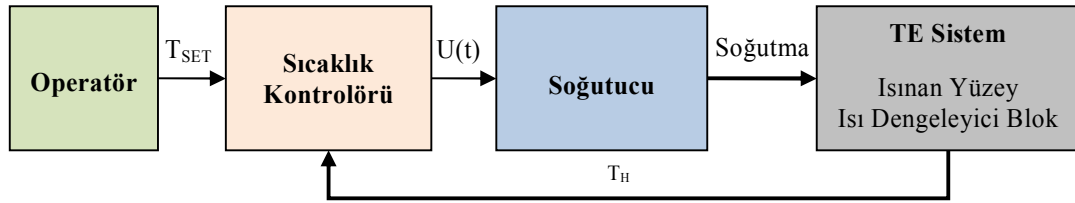
yüzeji Fiber Frax ısı yalıtım malzemesi kullanılarak iyice kapatılmıştır. Oluşturulan düzenek bir tabana tutturulmuş ve üzeri bir kapakla kapatılmıştır. TE modülün sıcak yüzey sıcaklığını ( $T_H$ ) sabit tutmak ve ısının uzaklaştırılması amacıyla soğutma sistemi yardımıyla elde edilen soğuk su radyatörden dolaştırılmaktadır. TE modül ve ısıtıcının elektrik kabloları ile  $T_H$  ve  $T_C$  sıcaklıklarını ölçmeye yönelik termokupolların serbest uçları özel olarak içerden dışarıya çıkarılmıştır. Deney düzeneğine bağlanan vakum pompası yardımıyla, kapak içerisinde  $10^{-4}$  Torr'luk bir vakum oluşabilmektedir.



Şekil 4.8. TE sistem deney düzeneği

TE modüllerin performans karakteristiklerinin belirlenmesi işlemi,  $T_H$  – sıcak yüzey sıcaklığının belirlenen referans değerinde sabit tutulması ve soğuk yüzeye çeşitli ısı

yüklerin uygulanmasıyla gerçekleştirilmektedir. Bu amaçla geliştirilen TE sistem düzeneğinde, hem soğutma hem de ısıtma yapabilme özelliği mevcuttur. TE modülün soğuk yüzeyine ısıtma sistemi yardımıyla uygulanan ısı yükler neticesinde, TE modülden soğurulan ısı sıcak yüzeyden dışarı atılmaktadır. TE sistem donanımında, TE modülün sıcak yüzey yüzeyindeki ısının uzaklaştırılması ve böylelikle yüzeylerarası sıcaklık farkının artırılması amacıyla bir ısı transfer sistemi gereklidir. Bu amaçla özel bir soğutma sistemi geliştirilerek test edilen TE modülün sıcak yüzey sıcaklığının ( $T_H$ ) istenen bir referans değerinde kalması amaçlanmıştır. Geliştirilen soğutma sisteminin kapalı çevrim kontrol blok şeması Şekil 4.9'da görülmektedir. Soğutma sisteminin temelinde sudan havaya ısı transferi olmak üzere TE soğutmalı su devir-daim sistemi yer almaktadır.



Şekil 4.9. Soğutma sistemi kapalı çevrim genel kontrol döngüsü

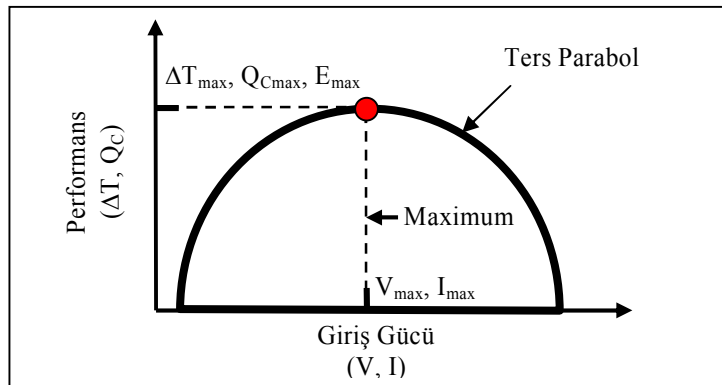
Soğutma sisteminde, sıcaklık kontrolörü ile ayarlanan referans sıcaklık değerine bağlı olarak, su devir daim sisteminde yer alan pompa, fan ve TE modüllerin çalışması kontrol edilmektedir. Soğutma sisteminde yer alan TE modüllerde ısı sızıntısını minimum yapmak için sabit bir gerilim sürekli olarak uygulanmaktadır. Test edilen TE modülün ısınan yüzeyiyle temas halinde olan ısı dengeleyici blok içerisine gömülen T tipi termokupl ile mevcut sıcaklık ( $T_H$ ) bilgisi alınarak kontrolöre verilmekte ve gerekli kontrol sinyalleri üretilmektedir. Bilgisayar kontrollü olarak CS'nin çalıştırılıp durdurulması ( $K_{CS}$ ) ve ayrıca normal çalışıp çalışmamasına yönelik geri besleme sinyalinin ( $V_{CS}$ ) alınması amacıyla gerekli DA&C bağlantıları yapılmıştır. Sistemde  $K_{CS}$  soğutma sistemi rölesinin kontrolü amaçlı olarak USB-4718 DA&C modülün DO2 izoleli dijital çıkışı ve  $V_{CS}$  geri besleme sinyalinin alınması amacıyla da USB-4718 DA&C modülün DI0 izoleli dijital girişi kullanılmıştır.



TE sistem düzeneğinde, TE modülün soğuk yüzeyine çeşitli ısı yükleri uygulayabilmek amacıyla, bu yüzeye bir ısıtıcı yerleştirilmiştir. Isıtıcıya güç sağlamak amacıyla da 0-30 V, 0-5 A ayarlı güç kaynağı ve Lutron DW-6090 model güç analizörü kullanılmaktadır. Bu sayede TE modülün soğuk yüzeyine uygulanan ısı yük miktarı deneysel yöntemle, ısıtıcıya uygulanan akım ve gerilimden Watt olarak hesaplanabilmektedir.

### 4.3. Algoritma

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi; TE modüle uygulanan DC akım ( $I$ ) parametresine bağlı olarak, yüzeyler arasında meydana gelen sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) değişimi ters parabol şeklindedir. Herhangi bir TE modüle uygulanan DC akım değeri artırıldıkça yüzeyler arasında elde edilen sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) da artmaktadır. TE modül  $T_{Cmin}$  rejiminde ( $Q_L = Q_C = 0$ ) iken uygulanan karakteristik akım değeri ( $I_{max}$ ) için ise maksimum sıcaklık farkı ( $\Delta T_{max}$ ) elde edilmektedir. Bu durumda TE modülde maksimum ısı pompalama kapasitesine ( $Q_{Cmax}$ ) ulaşılır.  $\Delta T_{max}$  elde edildiği andaki ölçüm değerleri, TE modülün deneysel parametreleri ( $I_{max}$ ,  $V_{max}$  ve  $E_{max}$ ) olarak adlandırılmaktadır. TE modüle uygulanan akım değeri  $I_{max}$ 'ın üstüne çıktıkça Joule ısısı Peltier ısısına göre daha çok artar ve soğutma etkisi azalır. Uygulanan akım, karakteristik değerinin iki katına çıkması durumunda ise; Joule ısısı Peltier ısısına denk olacağından  $\Delta T$  değeri düşerek 0 olur ve böylelikle soğutma işlemi gerçekleşmez. Bu şartlar altında da  $Q_C$  ve  $E$  değerleri de sıfır olmaktadır [7, 42, 43].



Şekil 4.10. TE modülde giriş gücüne bağlı olarak performans değişimi

Yeni yonteme göre TE modülün çıkış parametrelerinin elde edilmesi işlemi iki aşamadan oluşmaktadır :

Aşama I.  $T_{Cmin}$  rejimde;  $I_{max}$ ,  $V_{max}$  ve  $E_{max}$  deneysel parametrelerin belirlenmesi

Aşama II.  $Q_{Cmax}$  ve  $I_{max}$  rejimde; ölçümler, deneysel parametreler ve eşitliklerden yararlanılarak  $Q_C$ ,  $T_C$ , COP, P, Z, K, R ıkış parametrelerinin hesaplanması

Geliştirilen yeni yonteme bağlı olarak, TE modülün termoemk (E) değerinin ölçülmesi işlemi, sıcaklık dengesinin sağlanarak sabit rejime girilmesi durumunda gerçekleştirilmektedir. Sabit rejimin belirlenmesi amacıyla sıcaklıkların sürekli ölçülmesi ve buna bağlı olarak  $T_H$ ,  $T_C$  ve  $\Delta T$  değerlerine yönelik sıcaklık dengesinin sağlanıp sağlanmadığının kontrol edilmesi gerekmektedir. Geliştirilen yazılım ile  $T_H$  ve  $T_C$  sıcaklıklarına bağlı olarak sıcaklık dengesinin sağlandığının belirlenmesi işlemi;

- Sadece  $\Delta T$ ,
- Sadece  $T_H$ ,
- Hem  $\Delta T$  hem de  $T_H$

parametreleri dikkate alınarak üç ayrı Şekilde yapılabilir.  $T_H$  sıcak yüzey sıcaklığının dış ortamlardan etkilenmeyen bir Şekilde llmesi gereklidir.  $\Delta T$  sıcaklık farkına bağlı olarak sıcaklık dengesinin belirlenmesi işlemi; hem dış etkenlerden daha az etkilenmesi hem de daha çabuk kararlı hale gelmesi nedeniyle daha uygun olmaktadır.

TE modülün soğuk yüzeyine bir  $Q_L$  yükü uygulandığında; modül, performansına bağlı olarak soğuk yüzeyden bu ısıyı soğurarak sıcak yüzeye transfer edecektir. Soğuk yüzeyden soğurulan bu ısı  $Q_C$  (soğutma gücü) olarak adlandırılmaktadır. Mevcut alışma rejiminde, TE modülde  $\Delta T=0$  olması durumunda  $Q_C = Q_L$  olacaktır. Bu durumda TE modülün soğuk yüzeyine uygulanan termal yükün ( $Q_L$ ) tamamı modül üzerinden transfer edilerek sıcak yüzeyde açığa çıkacaktır. Böylelikle TE modüle harici olarak uygulanan  $Q_L$  değerinden,  $Q_C$  değeri belirlenmiş olmaktadır.

TE modül için  $I_{max}$ ,  $V_{max}$  ve  $E_{max}$  deneysel parametrelerden ve yeni yöntemin eşitliklerinden yararlanılarak istenilen bir giriş gücü ve ortamına bağlı olarak  $Q_C$ ,  $T_C$ , COP, P, Z, K çıkış performans değerleri hesaplanmaktadır.

Çalışmada sıcaklık dengesinin, deneysel parametrelerin ( $I_{max}$ ,  $V_{max}$  ve  $E_{max}$ ) ve çıkış parametrelerinin ( $Q_C$ ,  $T_C$ , COP, P, Z, K, R ) elde edilmesine yönelik çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir.

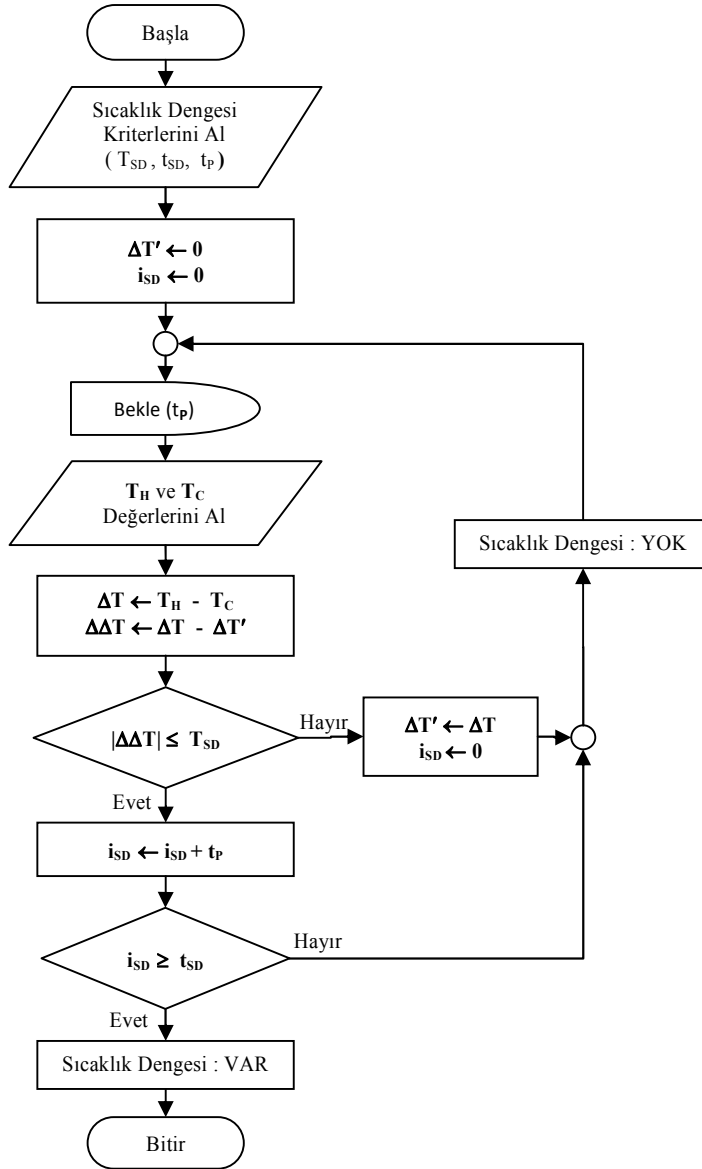
#### 4.3.1. Sıcaklık dengesinin $\Delta T$ 'ye bağlı olarak belirlenmesi algoritması

Şekil 4.11'deki akış şemasında görüldüğü gibi;  $\Delta T$  – sıcaklık farkına bağlı olarak sıcaklık dengesinin sağlandığının belirlenebilmesine yönelik bir algoritma geliştirilmiştir. Sıcaklık dengesinin belirlenebilmesinin temelinde; TE sisteme yönelik ısınan ve soğuyan yüzey sıcaklıklarının sürekli ölçülmesi ve hesaplanarak elde edilen  $\Delta T$  değerinin istenen tolerans ve sürede değişmeden kalarak sabit rejimin belirlenebilmesi işlemi yer almaktadır.

Öncelikle seçime bağlı olarak sıcaklık dengesi süresi ( $t_{SD}$ ), sıcaklık dengesi toleransı ( $T_{SD}$ ), ve ölçüm periyodu ( $t_p$ ) değerleri operatörden alınmaktadır. Bu sayede sıcaklık dengesinin ne kadar süre ve toleransta kabul edileceği belirlenmiş olmaktadır. Başlangıç değerleri belirlendikten sonra, ölçüm periyoduna bağlı sıcaklık dengesi çevrimine girilmektedir. Burada  $\Delta T'$  başlangıç,  $\Delta T$  son ölçülen yüzeylerarası sıcaklık farkıdır.  $\Delta\Delta T$  ise  $\Delta T'$  ve  $\Delta T$  arasındaki farkı ifade etmektedir.

Sıcaklık dengesi çevrimi içerisinde öncelikle  $T_H$  sıcak ve  $T_C$  soğuk yüzey sıcaklık değerleri ölçülerek  $\Delta T$  ve  $\Delta\Delta T$  değerleri hesaplanmaktadır.  $\Delta\Delta T$  değeri,  $T_{SD}$  değerinden büyük olduğu sürece sıcaklık dengesi sağlanamadığından öncelikle  $\Delta T'$  için yeni değer  $\Delta T$  olarak belirlenmekte ve sonrasında sıcaklık dengesi süresi indis ( $i_{SD}$ ) değeri sıfır yapılarak yeni ölçüm için çevrim başına dönülmektedir.  $\Delta\Delta T$  değeri,  $T_{SD}$  değerinden küçük-eşit olduğunda ise  $i_{SD}$  değeri  $t_p$  ölçüm periyodu kadar artırılmaktadır.  $i_{SD}$  değeri,  $t_{SD}$  değerinden küçük olduğu sürece sistemde sıcaklık dengesinin sağlanmadığı anlaşılmakta ve yeni ölçüm için çevrim başına

dönülmektedir.  $i_{SD}$  değeri,  $t_{SD}$  değerinden büyük-eşit olduğunda ise çevrim bitirilerek sıcaklık dengesinin sağlandığı anlaşılmaktadır.



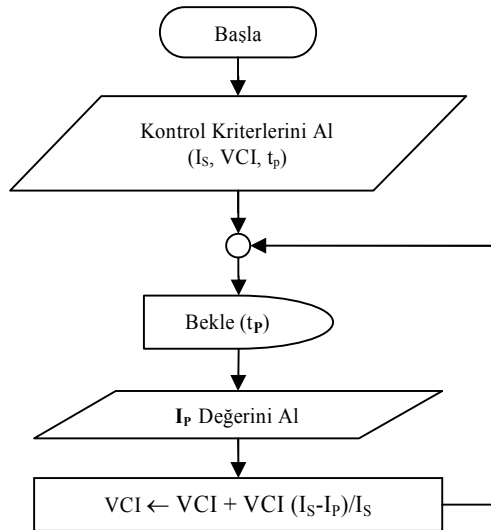
Şekil 4.11. Sıcaklık dengesinin  $\Delta T'$ 'ye bağlı olarak belirlenmesi akış şeması

#### 4.3.2. TE modül akımının kontrol edilmesine yönelik algoritma

Test sisteminde akım kontrolü,  $I_{max}$  rejimi ve dinamik analize yönelik deneysel çalışmalar için gerekli olmaktadır.  $T_{Cmin}$  rejiminde deneysel parametrelerin,  $Q_{Cmax}$  rejiminde ise çıkış parametrelerinin elde edilmesi işlemlerinde, sistemin daha kısa

sürede sıcaklık dengesinin sağlanarak kararlı hale gelmesi durumu söz konusu olduğundan akım kontrolü yapılmamaktadır. Çünkü sistemde sıcaklık farkına bağlı olarak termoemk (E) değişiminden dolayı, TE modülün V ve I değerleri de değişmektedir. Bu nedenle sıcaklık dengesi sağlanıncaya kadar, SMPS ile TE modüle uygulanan giriş gücü üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmamaktadır.

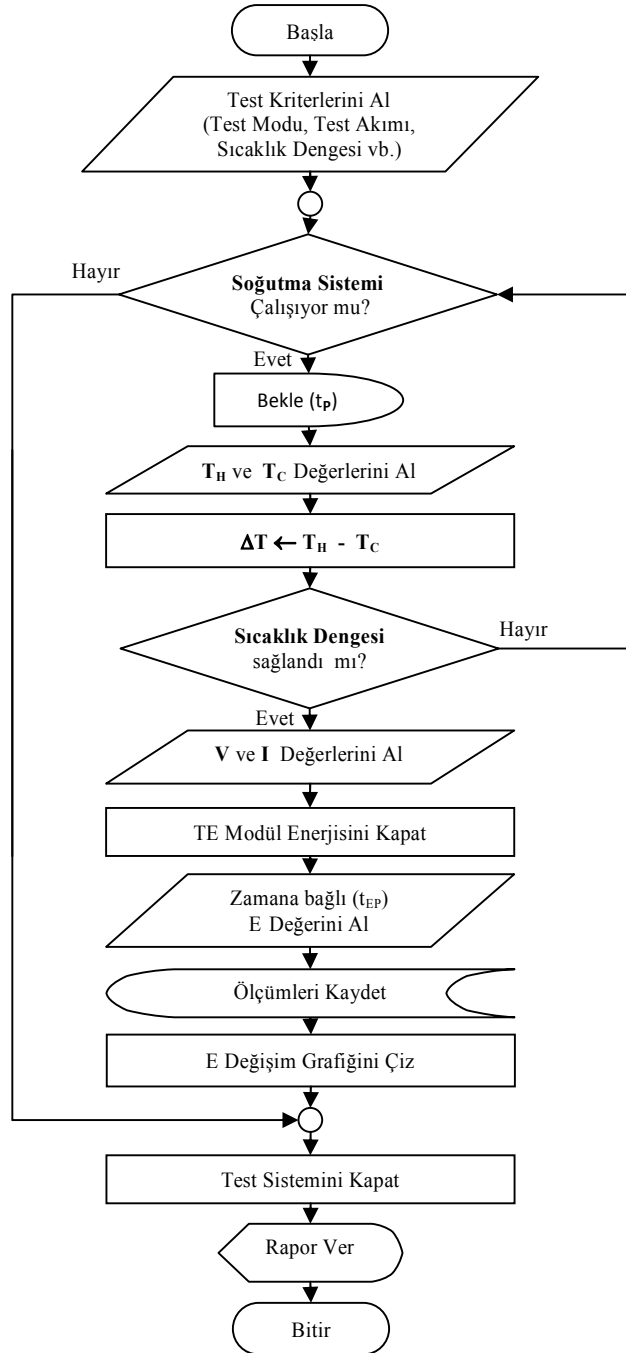
TE modülün sürülmesinde, harici gerilim kontrol girişine (VCI) göre çıkışı doğrusal oransal olarak ayarlanabilen SMPS kullanılmaktadır. Bu nedenle TE modül akımının kontrol edilmesi, SMPS'nin VCI değerinin ayarlanmasıyla gerçekleştirilmektedir. Şekil 4.12'deki akış şemasında görüldüğü gibi, TE modül akımının kontrol edilmesine yönelik bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmada öncelikle istenen akım ( $I_S$ ), ölçüm periyodu ( $t_p$ ) ve VCI için başlangıç kriterleri alınarak akım kontrolüne başlanmaktadır. Belirlenen  $t_p$  periyodunda; ölçülen TE modül akımı ( $I_p$ ) ve hesaplanan hata değerine bağlı olarak düzeltme yapılarak, VCI'nın yeni değeri belirlenmektedir. Bu sayede SMPS'nin çıkışına bağlı olarak VCI'nın artırılıp azaltılmasıyla akım kontrolü yapılmaktadır.



Şekil 4.12. TE modül akımının kontrol edilmesine yönelik akış şeması

### 4.3.3. Termoemk değişim deneyi algoritması

Şekil 4.13'teki akış şemasında görüldüğü gibi, TE modüllerin termoemk (E) değerlerinin zamana bağlı değişiminin elde edilebilmesi için bir algoritma geliştirilmiştir.

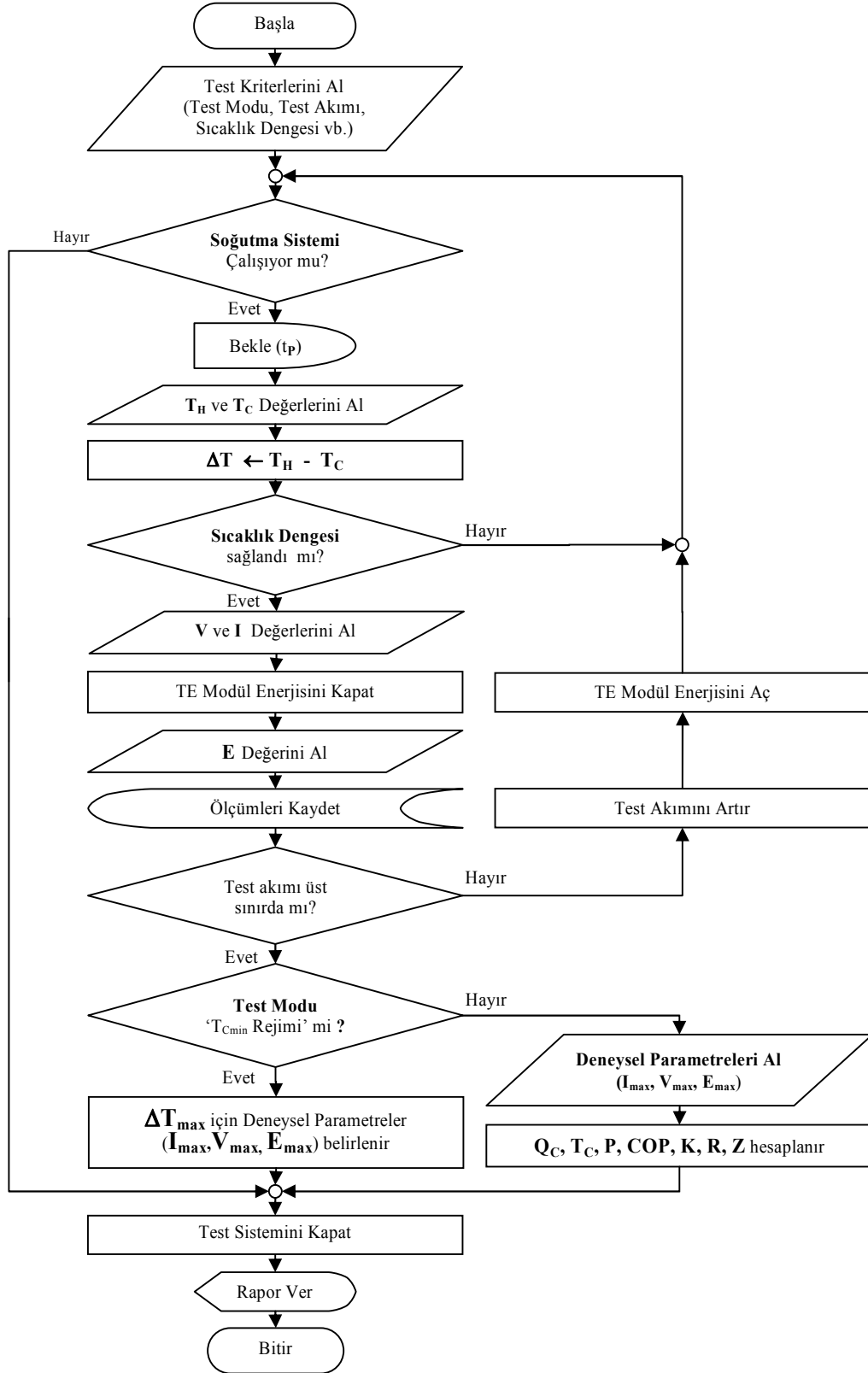


Şekil 4.13. Termoemk değişiminin elde edilmesine yönelik akış şeması

Geliştirilen algoritmaya göre; test modu, test akımı, sıcaklık dengesi v.b. test kriterleri operatörden alınarak test işlemine başlanmaktadır. Öncelikle soğutma sisteminin çalışması kontrol edilmektedir ve normal çalışması süresince test işleminin devam edilmesine izin verilmektedir. Soğutma sistemi çalıştığı sürece TE modülün ısınan ( $T_H$ ) ve soğuyan ( $T_C$ ) yüzey sıcaklıkları belirlenen  $t_p$  periyodunda sürekli ölçülerek, sıcaklık dengesinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilmektedir. Sıcaklık dengesi sağlandığı anda TE modül enerjisi kesilerek termoemk ölçüm periyoduna ( $t_{EP}$ ) bağlı modül uçlarındaki termoemk (E) gerilim değerleri ölçülmektedir. Elde edilen ölçüm sonuçları veritabanına kaydedilmekte ve zamana bağlı termoemk (E) değişim grafiği çizilmektedir. Gerçekleştirilen termoemk (E) ölçümüne yönelik rapor oluşturularak deney bitirilmektedir.

#### **4.3.4. TE modülün deneysel ve çıkış parametrelerinin belirlenmesi algoritması**

Şekil 4.14'teki akış şemasında görüldüğü gibi, TE modüllerin deneysel ve çıkış parametrelerinin belirlenebilmesine yönelik yeni bir algoritma geliştirilmiştir. Geliştirilen algoritmaya göre; test modu, test akımı, sıcaklık dengesi v.b. test kriterleri operatörden alınarak test işlemine başlanmaktadır. Öncelikle soğutma sisteminin çalışması kontrol edilmektedir ve normal çalışması süresince test işleminin devam edilmesine izin verilmektedir. Test kriterleri ile belirlenen aralık ve artışta uygulanan her test akımı (I) için modülün ısınan ( $T_H$ ) ve soğuyan ( $T_C$ ) yüzey sıcaklıkları belirlenen  $t_p$  periyodunda sürekli ölçülmektedir. Sıcaklık dengesi sağlandığı andaki sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) 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 artışa bağlı olmak üzere TE modüle enerji verilerek tekrar edilmektedir.



Şekil 4.14. TE modülün deneysel ve çıkış parametrelerinin elde edilmesi akış şeması



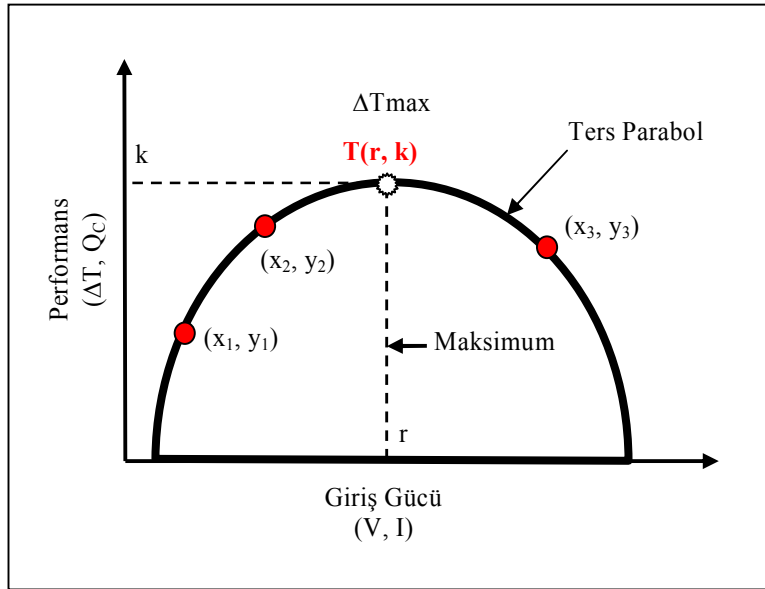
Ölçme işlemleri tamamlandıktan sonra; testin başlangıç kriterlerinde operatörün belirlediği test modu durumuna göre deneysel parametreler veya çıkış parametrelerinin belirlenmesi işlemine geçilmektedir. Test modu, deneysel parametreler ( $T_{Cmin}$  Rejimi) olarak seçilmişse; elde edilen ölçüm sonuçlarına göre maksimum sıcaklık farkı ( $\Delta T_{max}$ ) için  $I_{max}$ ,  $V_{max}$  ve  $E_{max}$  deneysel parametre değerleri belirlenmektedir. Test modu, çıkış parametreleri ( $Q_{Cmax}$  ve  $I_{max}$  Rejimi) olarak seçildiğinde ise; veritabanına kaydedilen her I test akımı için elde edilen ölçümler, otomatik veya manuel olarak belirlenebilen deneysel parametreler ve yeni yöntemin eşitliklerinden yararlanılarak; TE modülün  $Q_C$ ,  $T_C$ , P, COP, K, R, Z çıkış parametreleri hesaplanmaktadır. Son aşamada ise gerçekleştirilen performans analizine yönelik rapor oluşturularak deney bitirilmektedir.

$T_{Cmin}$  rejiminde deneysel parametreler TE modül yüksüz iken belirlendiğinden ısıtma sistemi devre dışı bırakılarak herhangi bir ısı yük uygulanmamaktadır. Uygulanan her akım için sıcaklık dengesinin sağlanması durumu gözlemlenmektedir.  $Q_{max}$  rejiminde gerçek yüklü modülün çıkış parametrelerinin akıma göre değişimi elde edilmektedir. Bu nedenle TE modüle uygulanan her I akımı için;  $\Delta T = 0$  olacak şekilde sıcaklık dengesinin elde edilmesini sağlayacak bir ısı yük, ısıtma sistemi ile TE modüle uygulanmaktadır.  $I_{max}$  rejiminde ise gerçek yüklü modülün çıkış parametrelerinin  $Q_L$  ısı yüküne bağlı değişimi elde edilmektedir. Bu nedenle TE modüle uygulanan akım  $I_{max}$  iken; ısıtma sistemi ile TE modüle uygulanan her  $Q_L$  ısı yük için sıcaklık dengesinin sağlanması durumu gözlemlenmektedir.

#### **4.3.5. Parabol hesaplamaları ile TE modül deneysel parametrelerinin bulunması**

TE modüller için DC akım giriş parametrelerine bağlı  $\Delta T$ ,  $Q_C$  çıkış parametrelerinin elde edilmesine yönelik performans eğrileri Şekil 4.15'te görüldüğü gibi ters parabol şeklindedir. Bu parabol eğrisi her TE modül için farklıdır.  $I_{max}$ ,  $V_{max}$  ve  $E_{max}$  deneysel parametrelerinin belirlenmesinde  $\Delta T$ 'ye bağlı tepe noktasının (maksimum koordinatın) bulunması büyük önem taşımaktadır. Parabol denklemlerinden yararlanılarak sadece 3 nokta ölçümü ile TE modülün performans eğrisinin ve tepe noktasının matematiksel olarak elde edilmesi de mümkün olmaktadır. Böylelikle

hem daha az sayıda ölçümle tepe noktasının bulunması sağlanmış olmakta hem de istenirse ölçümler yardımıyla elde edilen parabol eğrisi ve tepe noktası ile mukayese etme imkanı sağlanmış olmaktadır.



Şekil 4.15. Performans eğrisinde tepe noktası koordinatının belirlenmesi

Eş. 4.1'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. 4.2'den yararlanılarak elde edilebilmektedir [84].

$$f(x) = ax^2 + bx + c \quad (4.1)$$

$$r = -\frac{b}{2a} \quad (4.2)$$

$$k = \frac{4ac - b^2}{4a}$$

Üç noktasının koordinatları bilinen parabolün a, b ve c katsayıları;

$$y_1 = ax_1^2 + bx_1 + c$$

$$y_2 = ax_2^2 + bx_2 + c$$

$$y_3 = ax_3^2 + bx_3 + c$$

$$\begin{bmatrix} x_1^2 & x_1 & 1 \\ x_2^2 & x_2 & 1 \\ x_3^2 & x_3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

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

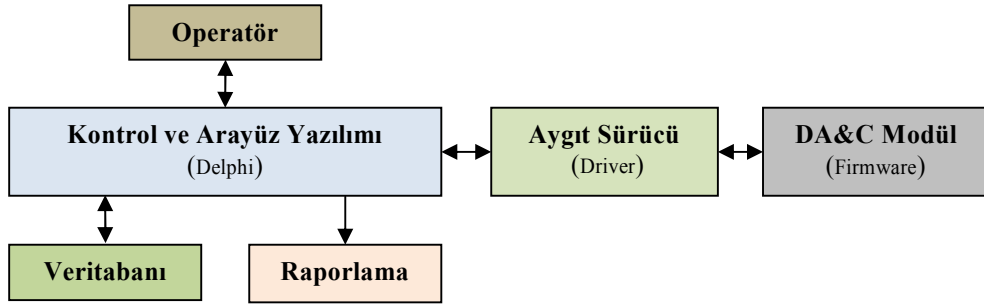
$$a = \frac{\begin{vmatrix} y_1 & x_1 & 1 \\ y_2 & x_2 & 1 \\ y_3 & x_3 & 1 \end{vmatrix}}{\Delta} \quad b = \frac{\begin{vmatrix} x_1^2 & y_1 & 1 \\ x_2^2 & y_2 & 1 \\ x_3^2 & y_3 & 1 \end{vmatrix}}{\Delta} \quad c = \frac{\begin{vmatrix} x_1^2 & x_1 & y_1 \\ x_2^2 & x_2 & y_2 \\ x_3^2 & x_3 & y_3 \end{vmatrix}}{\Delta}$$

eşitlikleri kullanılarak Cramer yöntemiyle hesaplanabilmektedir [85].

TE modülün performans eğrisinde tepe noktasının belirlenmesi amacıyla; belirli aralıkta çok sayıda akım uygulayarak elde edilen  $\Delta T$  değerleri içerisinde maksimum olanın belirlenmesi gerekmektedir. Burada parabol denklemlerinden yararlanılarak sadece 3 nokta için akıma bağlı  $\Delta T$  değerlerinin bulunması ile tepe noktası belirlenebilmektedir. Bu amaçla 3 nokta ölçüm değerleri ile Eş. 4.3'ten yararlanılarak parabolün a, b ve c katsayıları elde edilmekte ve sonrasında Eş. 4.2'den yararlanılarak da parabolün tepe noktasının koordinatları bulunabilmektedir. Bu sayede parabol denklemlerinden yararlanılarak daha az sayıda ölçüme bağlı olarak TE modülün performans eğrisinde tepe noktası yani  $\Delta T_{\max}$  değerini veren  $I_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $E_{\max}$  deneysel parametreleri belirlenmiş olmaktadır.

#### 4.4. Sistem Yazılımı

Geliştirilen TEPAS'ta ölçme ve kontrol işlemi bilgisayar tabanlı olarak yapıldığından sistem yazılımı büyük önem taşımaktadır. Sistem yazılımına ait genel blok şema Şekil 4.16'da görülmektedir.

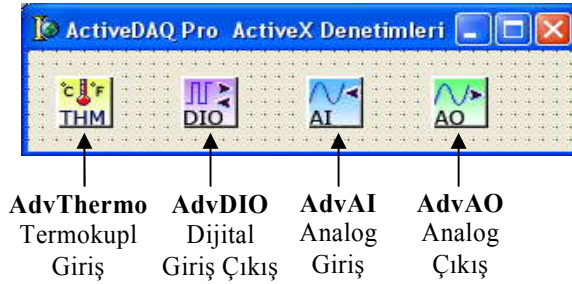


Şekil 4.16. Sistem yazılımı genel blok şeması

Sistem yazılımı, performans analizinin manuel veya otomatik yapılmasına yönelik kullanıcı arayüzü ve kontrol yazılımından oluşmaktadır. Sisteme yönelik kontrol ve arayüz yazılımı, Delphi görsel programlama yazılım geliştirme aracı kullanılarak kullanımı kolay, etkili ve açık bir grafik arayüze sahip kullanıcı dostu olacak şekilde geliştirilmiş ve animasyonla desteklenmiştir. Sistem yazılımı; veri giriş ve raporlama ekranları, hata yakalama kodları ve ayrıca yardım ekranları ile desteklenmiştir. 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 sayesinde ise geliştirilen algoritmalara bağlı olarak ölçme, veritabanına kaydetme, hesaplama, karar ve kontrol işlemleri gerçekleştirilmektedir. Ayrıca yazılım içerisinde yeni yöntemlere yönelik formüller, fonksiyonel altyordamlar halinde kodlanarak kütüphane oluşturulmuştur [86, 87].

Hem sıcaklık, akım ve gerilim değerlerinin ölçülmesi hem de gerekli kontrol işlemleri için USB tabanlı DA&C modüllerin analog giriş-çıkış, dijital giriş-çıkış ve termokupl giriş kanalları kullanılmaktadır. DA&C donanımının bilgisayar işletim sistemine tanıtılması amacıyla donanıma yönelik aygıt sürücülerinden

yararlanılmaktadır. Yazılımda sistem donanımı ile haberleşmenin kurulması, gerekli ölçüm ve kontrol işlemlerinin yapılması amacıyla; USB tabanlı DA&C modülleri için üretici firma tarafından sunulan ActiveX denetimlerine ilişkin özellik, olay ve metotlardan yararlanılmıştır (Şekil 4.17) [76, 77, 88].



Şekil 4.17. ActiveDAQPro ActiveX denetimleri

Sisteme yönelik konfigürasyon bilgilerinin yanı sıra ölçüm, hesaplama ve kontrol verilerinin organize edilerek tutulması amacıyla ilişkisel veri modeli (RDM - Relational Data Model) kullanılmaktadır. Arayüz yazılımına gömülü yapısal sorgulama dili (SQL - Structured Query Language) sorgularıyla veritabanına erişim sağlanarak ilgili tablolar oluşturulup düzenlenebilmekte ve performans analizine yönelik istatistiksel veriler elde edilerek gerekli incelemeler yapılabilmektedir. Ayrıca SQL sorgularıyla deneylerin kaydedilmesi, silinmesi ve çağırılması da mümkün olmaktadır [89, 90].

Geliştirilen sistem yazılımı sayesinde, test işlemine yönelik elde edilen akım, gerilim ve sıcaklık verilerinden oluşan ölçüm verileri ve ilgili parametreler kullanıcı tarafından belirlenen periyot ile gerçek zamanlı olarak veritabanına kaydedilmektedir. Sistem veritabanına yönelik gösterim Şekil 4.18'de görülmektedir. Sistem veritabanı ayarlar tablosu, dinamik analiz deney tabloları, deneysel ve çıkış parametreleri deney tabloları ve ayrıca datalogger deney tablolarından oluşmaktadır. Ayarlar tablosunda özellikle deneysel çalışmalara yönelik başlangıç tanımlamalarını içeren alanlar yer almaktadır. Dinamik analiz ile deneysel ve çıkış parametreleri deney tablosu ise gerçekleştirilen deneyler sonucu ölçme ve hesaplama ile elde

edilen verilere yönelik alanları içermektedir. Datalogger deney tablosunda ise zamana bağlı 8 kanal sıcaklık ölçümleri yer almaktadır.



Şekil 4.18. Sistem veritabanı

#### 4.4.1. Ana Ekran

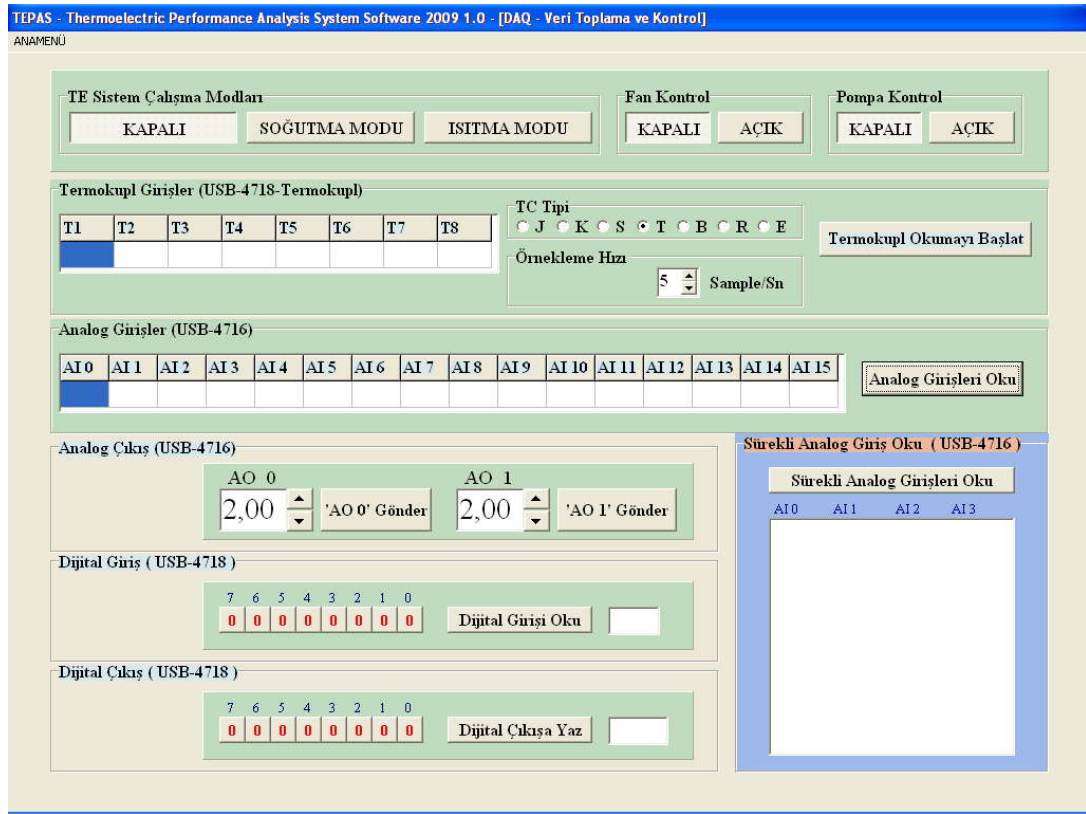
Sistem yazılımının ‘Ana Ekran’ görüntüsü Resim 4.2’de görülmektedir. Yazılım ‘TE Performans Analizi’, ‘DA&C Modül Testi’ ve ‘Yardım’ ekranlarından oluşmaktadır. İlgili ekranlara menü veya butonlardan yararlanarak ulaşmak mümkün olmaktadır.



Resim 4.2. Kontrol ve arayüz yazılımı ana ekran görüntüsü

#### 4.4.2. 'DA&C Modül Testi' ekranı

'DA&C Modül Testi' ekranında (Resim 4.3), USB-4716 ve USB-4718 DA&C modülleri ile haberleşme sağlanarak termokupl girişlerin, analog giriş-çıkışların ve dijital giriş-çıkışların çalışma durumları test edilebilmektedir. USB-4718 DA&C modülünün termokupl girişlerinde her kanal için saniyede 10 örnek almak mümkün olmaktadır. USB-4718 DA&C modülün izoleli dijital giriş-çıkışları üzerinden veri transferi yapılabilmektedir. USB-4716 DA&C modül ile 2 adet analog çıkış ve 16 adet analog giriş için 16 bit örnekleme yapmak mümkün olmaktadır.



Resim 4.3. DA&C modül testi ekran görüntüsü

#### 4.4.3. 'TE Performans Analizi' ekranı

Yazılımın 'TE Performans Analizi' ekranında; SMPS akım ve gerilim verileri, TE modül sıcaklık ölçümleri, sıcaklık dengesi, test durumu ve durum paneli alanları ile birlikte test işlemine yönelik 'Genel Ayarlar', 'Dinamik Analiz', 'Çıkış Parametreleri

Testi' ve 'Datalogger' sekmeleri yer almaktadır. Belirlenen kriterlere bağılı olarak testin başlatılması, sıcaklık dengesinin sağlanıp sağlanamadığının belirlenmesi, gerekli ölçüm ve kontrol verilerinin düzenlenmesi ve son olarak testin bitirilmesi işlemleri otomatik olarak yapılabilmektedir. Ölçülen sıcaklıkların, isteğe bağılı olarak K veya °C cinsinden izlenmesi mümkün olmaktadır. 'Durum Paneli' kısmında gerekli uyarı ve bilgi mesajları verilmektedir. Sıcaklık dengesi ve testin genel durumu progress bar ile takip edilebilmektedir. Ayrıca TE sistemin çalışma modu ve soğutma sisteminin çalışma durumu LED göstergeler yardımıyla izlenebilmektedir. Gerekliğinde bu LED göstergeler üzerinde klik yapılarak, soğutma-ısıtma çalışma modu değiştirilebilmektedir. Benzer şekilde soğutma sisteminin çalışıp çalışmaması da kontrol edilebilmektedir.

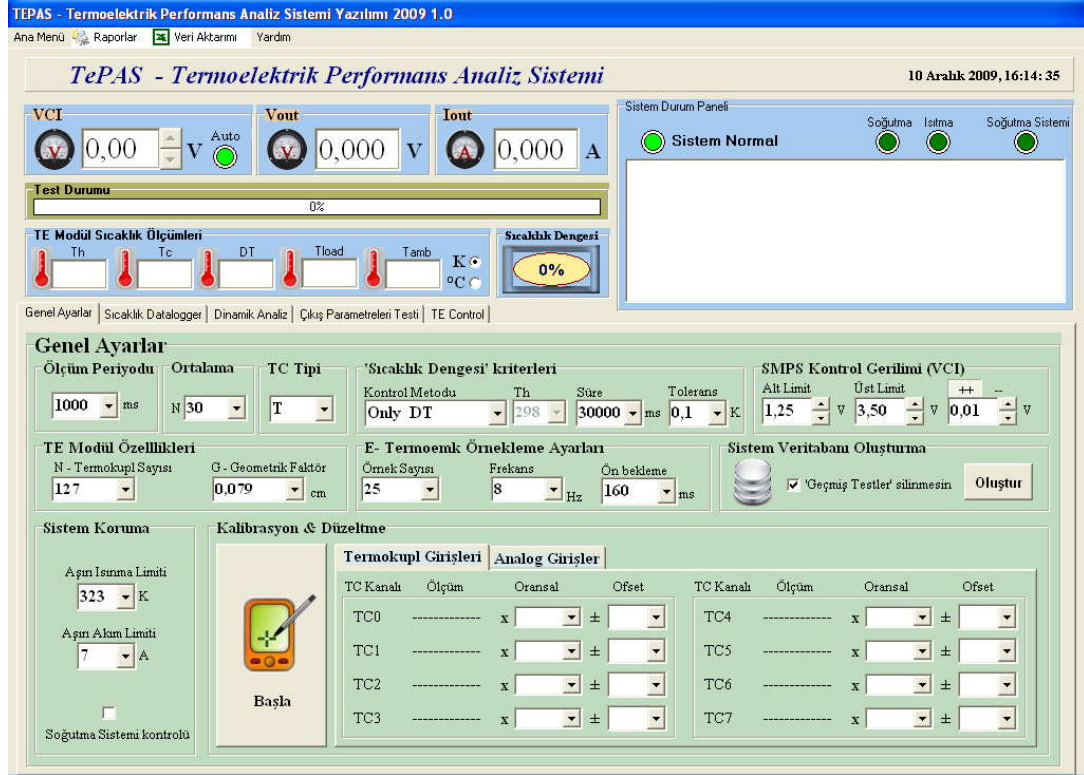
#### 'Genel Ayarlar' sekmesi

Gerçekleştirilecek testlere yönelik başlangıç kriterlerinin belirlenmesi işlemleri 'Genel Ayarlar' sekmesinde yapılmaktadır. 'Genel Ayarlar' için örnek bir ekran Resim 4.4'te görülmektedir. Bu ekranda test işlemlerine yönelik olmak üzere ölçme, sıcaklık dengesi, sistem koruma, SMPS, kalibrasyon vb. işlemleri içeren çeşitli başlangıç ayarları yapılabilmektedir. Bu ekranda ölçüm periyodu milisaniye (ms) olarak açılır listeden seçilerek istenen bir değere ayarlanabilmektedir. TE modüle uygulanacak SMPS harici kontrol gerilimi (VCI) için alt sınır, üst sınır ve artış/azalış değerleri belirlenebilmektedir. Ayrıca bu bölümde TE modüle artan veya azalan yönde akım uygulamasına yönelik gerekli seçim yapılabilmektedir. Bunlara ilaveten TE modülün materyal parametrelerinin elde edilmesi amacıyla hesaplamalarda kullanılmak üzere geometrik faktörü (G) ve termokupl sayısı (N) da yine bu ekranda belirlenebilmektedir.

'Genel Ayarlar' sekmesinin sıcaklık dengesi kriterleri bölümünde; kontrol yöntemi, kararlılık süresi ve toleransı belirlenebilmektedir. Sıcaklık dengesinin sağlandığının kabul edilebilmesi için sabit rejime girilerek belirlenen süre ve toleransta sıcaklık değişiminin sabit kalması gerekmektedir. Sıcaklık dengesine yönelik kontrol yöntemi alanında; 'Sadece DT', 'Sadece T<sub>H</sub>' ve 'DT ve T<sub>H</sub> birlikte' seçimlerinin yapılması mümkün olmaktadır. Sıcaklık ölçmelerinde T, K, J gibi çeşitli termokuplların



kullanılabilmesi amacıyla yazılımda gerekli altyapı oluşturulmuştur. Bu sayede ‘TC Tipi’ alanında istenen termokupl tipi seçilerek gerekli sıcaklık ölçümleri yapılabilmektedir.



Resim 4.4. ‘Genel Ayarlar’ ekran görüntüsü

Yazılımda çalışma şartlarından veya kullanıcı tanımlamalarından kaynaklanacak aşırı ısınma ve aşırı akıma yönelik koruma özelliği geliştirilmiştir. Sistemde belirlenerek veritabanına kaydedilen üst sınır değerleri aşıldığında, koruma moduna geçilerek alarm verilmektedir. Ayrıca TE modülde açığa çıkan ısının sistemden uzaklaştırılması amacıyla kullanılan soğutma sisteminin çalışıp çalışmama durumunun kontrolünün yapılması ve eğer çalışıyorlarsa test işlemine devam edilmesi durumu sağlanabilmektedir. Eğer ‘Soğutma Sistemi Kontrolü’ seçeneği seçili ise; deneylerde öncelikle soğutma sisteminin çalışması kontrol edilmektedir ve normal çalışması süresince test işleminin devam edilmesine izin verilmektedir.

Kalibrasyon işlemi sonucunda, deneysel çalışmalardaki ölçme ve kontrol işlemlerine yönelik doğruluğun düzeltilmesi amacıyla analog/termokupl kanallar için, sisteme yazılımsal olarak ofset ve oransal düzeltme özelliği de kazandırılmıştır. Bu sayede istenildiğinde termokupl ve analog girişler için ofset ve oransal olarak düzeltme işlemleri de yapılabilmektedir. Ayrıca yine bu ekranda, işlem onayına bağlı olarak sistem veritabanının yeniden oluşturulması mümkün olmaktadır.

#### ‘Çıkış Parametreleri Testi’ sekmesi

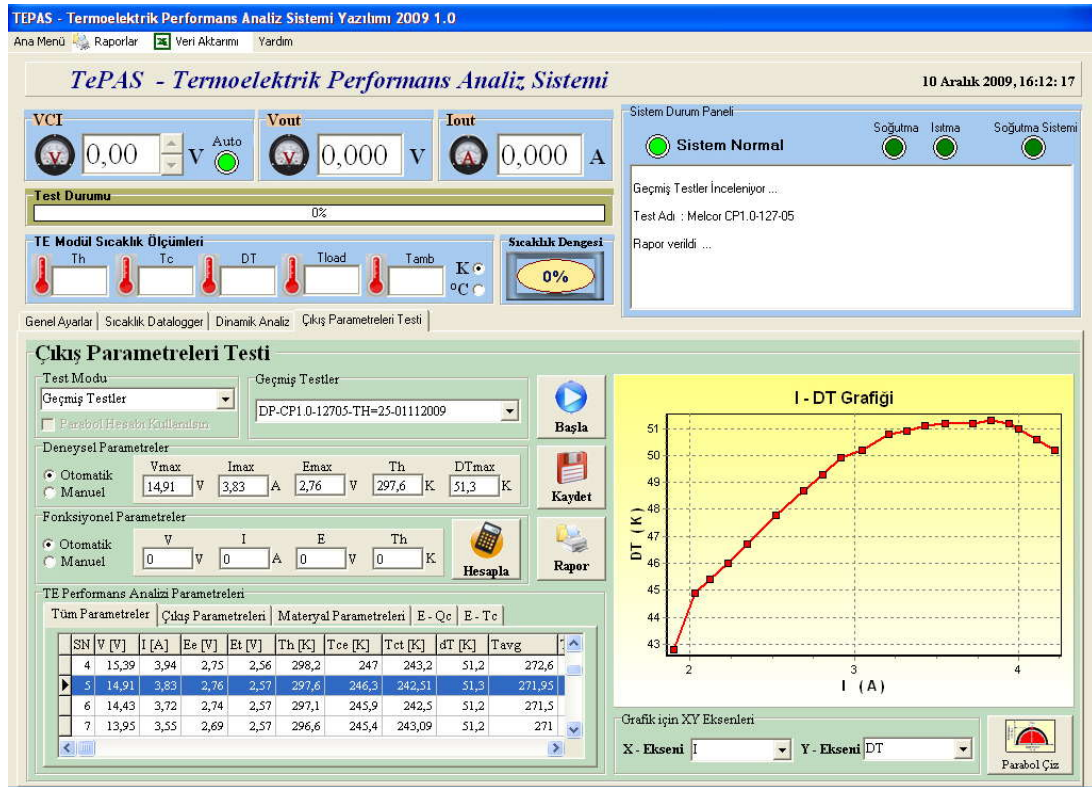
‘Çıkış Parametreleri Testi’ için örnek bir ekran Resim 4.5’te görülmektedir. Bu ekran kullanılarak, TE modüllere yönelik yüklü ve yüksüz durumda deneyler yapılabilmektedir. Test Modu;

- $T_{Cmin}$  Rejimi (Yüksüz),
- $Q_{Cmax}$  Rejimi (Yüklü),
- $I_{max}$  Rejimi (Yüklü),
- Geçmiş Testler

olmak üzere 4 ayrı seçeneğe sahiptir. Test modu seçimine bağlı olarak; ‘ $T_{Cmin}$  Rejimi’nde deneysel parametrelerin ölçümler yardımıyla belirlenmesi, ‘ $Q_{Cmax}$  Rejimi’nde akıma bağlı çıkış parametrelerinin hesaplanması ve ‘ $I_{max}$  Rejimi’nde uygulanan çeşitli  $Q_L$  yükler için çıkış parametrelerinin hesaplanması mümkün olmaktadır. Ayrıca ‘Geçmiş Testler’ seçimi ile daha önce gerçekleştirilen test verileri çağrılarak gerekli incelemeler yapılabilmektedir.

‘Çıkış Parametreleri Testi’ sekmesinde Test modu ‘ $T_{Cmin}$  Rejimi (Yüksüz)’ olarak seçildiğinde; TE modülün deneysel parametreleri gerçekleştirilen ölçümlerden yararlanılarak belirlenmektedir. Bu test modunda TE modülün soğuk yüzeyine herhangi bir ısı yük uygulanmamaktadır. Bu durumda  $Q_L = Q_C = 0$  olduğundan aynı zamanda  $T_C = T_{Cmin}$  olmaktadır. Test modu ‘ $Q_{Cmax}$  Rejimi (Yüklü)’ veya ‘ $I_{max}$  Rejimi (Yüklü)’ olarak seçildiğinde ise; gerekli ölçümler yapılarak çıkış parametrelerinin hesaplanması işlemleri gerçekleştirilmektedir. ‘ $Q_{Cmax}$  Rejimi (Yüklü)’ test modunda gerçek yüklü modülün çıkış ısı parametrelerinin akıma göre değişimi elde

edilmektedir. Bu amaçla  $\Delta T = 0$  olacak şekilde TE modülün soğuk yüzeyine bir termal yük ( $Q_L$ ) uygulanmaktadır. Bu durumda  $Q_L = Q_C$  olacağından, deneysel olarak  $Q_C$  değeri de belirlenmiş olmaktadır. Bu sayede deneysel ( $Q_{ce}$ ) ve yeni yöntemle ( $Q_{ct}$ ) elde edilen  $Q_C$  değerlerinin karşılaştırılması da mümkün olmaktadır. ' $I_{max}$  Rejimi (Yüklü)' test modunda ise giriş gücü  $I_{max}$  iken gerçek yüklü modülün çıkış ısı parametrelerinin  $Q_C$ 'ye göre değişimi elde edilmektedir.



Resim 4.5. 'Çıkış Parametreleri Testi' ekran görüntüsü

Sistem yazılımının 'Çıkış Parametreleri Testi' sekmesinde; test modu, deneysel parametreler ve fonksiyonel parametreler seçimleri ile birlikte 'Genel Ayarlar' sekmesinde belirlenen kriterlere bağlı olarak 'Başla' butonuna basılmasıyla birlikte test işlemi başlatılmaktadır. Fonksiyonel parametreler 'Manuel' olarak seçildiğinde, kullanıcı tarafından girilecek E, I ve  $T_H$  değerleri için 'Hesapla' butonuna basılarak çıkış parametreleri hesaplanabilmektedir. Fonksiyonel parametreler 'Otomatik' olarak seçildiğinde ise; TE test sistemine belirlenen aralık ve artış değerlerine bağlı olarak DC gerilimler uygulanmaktadır. Uygulanan her gerilim için TE modül  $T_H$ ,  $T_C$ ,

I, V değerleri belirlenen periyotta sürekli ölçülmektedir. Sıcaklık dengesi sağlandığı andaki V, I,  $T_H$ ,  $T_C$  ve  $\Delta T$  değerleri ile o anlık uygulanan enerjinin kesilmesiyle ölçülen E değeri veritabanına kaydedilmektedir. Bu şekilde belirlenen aralıktaki tüm değerler için gerekli ölçüm işlemleri tekrarlanmaktadır.

Test kriterlerinde test modu ' $T_{Cmin}$  Rejimi (Yüksüz)' olarak seçilmiş ise, doğrudan deneysel parametrelerin belirlenmesi işlemine geçilmektedir. Bu amaçla test süresince elde edilen ölçüm verilerine bağlı olarak en yüksek sıcaklık farkı ( $\Delta T_{max}$ ) için; V, I ve E değerleri sırasıyla TE modülün  $V_{max}$ ,  $I_{max}$  ve  $E_{max}$  deneysel parametreler olarak belirlenmektedir.

Test kriterlerinde test modu ' $Q_{Cmax}$  Rejimi (Yüklü)' veya ' $I_{max}$  Rejimi (Yüklü)' olarak seçildiğinde ise; TE modülün çıkış parametrelerinin hesaplanması durumu söz konusudur. TE modülün  $Q_C$ ,  $T_C$ , P, COP, K, R, Z çıkış parametreleri; deneysel parametreler ve test süresince veritabanına alınan ölçümlerden yararlanılarak ilgili formüllerde yerine konulmak suretiyle hesaplanmaktadır. Şekil 4.19'da gerçekleştirilen TE performans analizi deneyine yönelik elde edilen çeşitli parametreler görülmektedir.

TE Performans Analizi Parametreleri											
Tüm Parametreler		Çıkış Parametreleri				Materyal Parametreleri		E - $Q_c$		E - $T_c$	
SN	V [V]	I [A]	$T_h$ [K]	$T_{ce}$ [K]	$dT$ [K]	$E_e$ [V]	$Q_{ce}$ [W]	P [W]	$COP_e$	Z [1/K x E-3]	
1	15,25	3,83	299,6	248,4	51,2	2,76	0	57,11	0	1,8609	
2	15,23	3,83	299,9	257,7	42,2	2,33	5	55,46	0,09	1,859	
3	15,1	3,83	300,2	266,7	33,5	1,96	10,01	54,04	0,17	1,8572	
4	15,07	3,83	300,7	275,9	24,8	1,61	15,05	52,7	0,26	1,8541	

Şekil 4.19. TE performans analizi deneyine yönelik elde edilen çeşitli parametreler

Test işlemlerinde deneysel parametreler manuel veya otomatik olarak belirlenebilmektedir (Şekil 4.20). Deneysel parametreler 'Manuel' olarak seçildiğinde, ilgili alanların kullanıcı tarafından girilmek zorunluluğu vardır. Deneysel parametreler 'Otomatik' olarak seçildiğinde ise; ölçüm sonuçlarından

yararlanılarak sıcaklık farkının maksimum olduğu  $\Delta T_{\max}$  değeri için elde edilen V, I ve E değerleri belirlenir. Bu değerler TE modülün  $V_{\max}$ ,  $I_{\max}$  ve  $E_{\max}$  deneysel parametreleri olarak tayin edilebilmektedir.

Deneysel Parametreler

Otomatik  Manuel

Vmax V Imax A Emax V Th K DTmax K

Şekil 4.20. Deneysel parametrelerin belirlenmesi

Test işlemlerinde fonksiyonel parametreler 'Manuel' olarak seçildiğinde kullanıcı tarafından girilecek E, I ve  $T_H$  değerleri için 'Hesapla' butonuna basılarak çıkış parametreleri hesaplanabilmektedir (Şekil 4.21).

Fonksiyonel Parametreler

Otomatik  Manuel

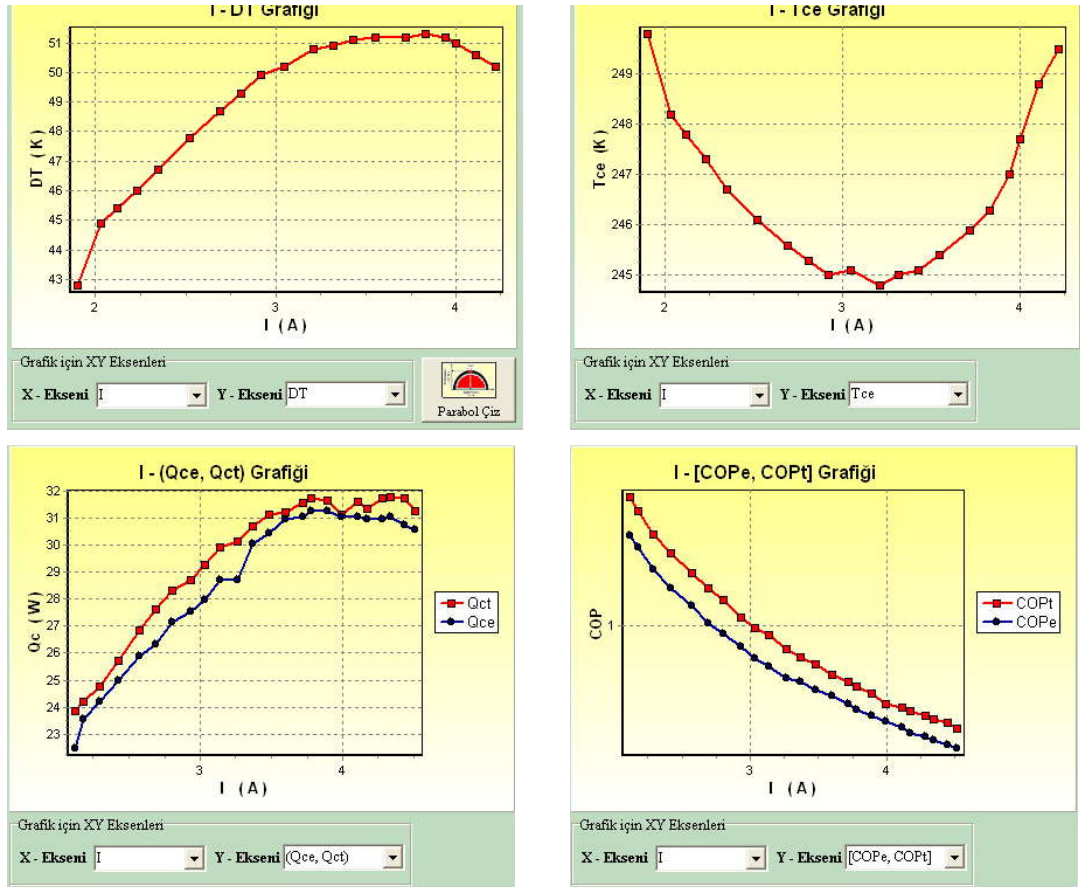
V I E Th

0 V 0 A 0 V 0 K

Hesapla

Şekil 4.21. Fonksiyonel parametrelerin belirlenmesi

'Çıkış Parametreleri Testi' ekranında, TE analiz sonuçlarına yönelik çeşitli ilişkilendirmeler için grafik gösterimler incelenebilmektedir. Bu amaçla X ve Y ekseninde isteğe bağlı I, V, E,  $T_C$ ,  $T_H$ ,  $\Delta T$ ,  $Q_C$ , COP, Z, K, R vb. çeşitli parametre seçimleri yapılmak suretiyle istenilen değişim grafikleri elde edilebilmektedir (Şekil 4.22).

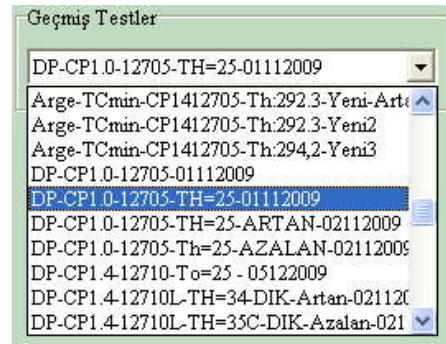


Şekil 4.22. Eksen seçimlerine bağlı olarak çeşitli grafikler

Test işlemlerine yönelik elde edilen sonuçlar istenildiği takdirde, sistem veritabanına kalıcı olarak kaydedilebilmekte ve önceki deneyler çağrılarak gerekli incelemelerin yapılması mümkün olabilmektedir (Şekil 4.23).



(a)

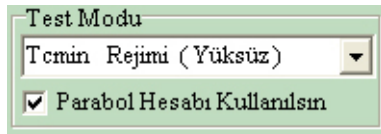


(b)

Şekil 4.23. Veritabanı (a) deney kayıt ve (b) geçmiş testleri çağırma işlemleri

### Deneysel parametrelerin parabol hesabı ile belirlenmesi

Deneysel parametrelerin belirlenmesinde parabol denklemlerinden yararlanmak amacıyla yazılımda gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Bu amaçla Şekil 4.24'te görüldüğü gibi 'T<sub>Cmin</sub> Rejimi'nde geçerli olacak şekilde kullanıma açılan 'Parabol Hesabını Kullan' seçeneği mevcuttur.

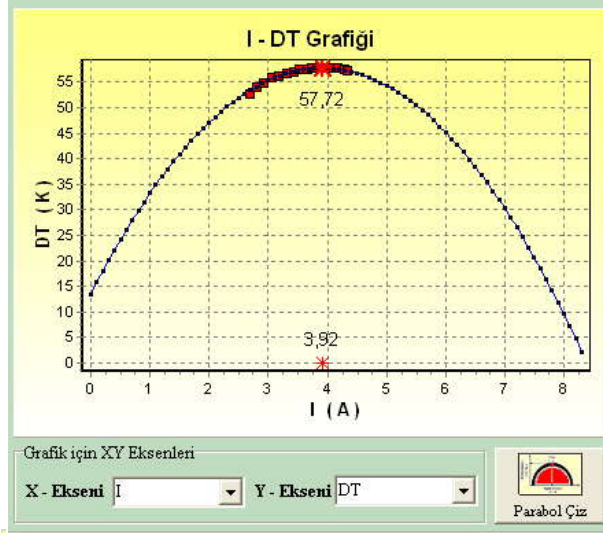


Şekil 4.24. T<sub>Cmin</sub> rejimi için parabol kullanım seçeneği

Test modu 'T<sub>Cmin</sub> Rejimi' olarak seçildiğinde deneysel parametrelerin belirlenmesi deneyi yapılmaktadır. Bu rejimde 'Parabol Hesabı Kullanılsın' seçeneği onaylı durumda değilse; doğrudan belirlenen aralık ve artışta her değer için ölçüm yapılmaktadır. Bu seçenek onaylanmış ise; deneysel parametrelerin belirlenmesinde parabol denklemlerinden yararlanılmaktadır. Öncelikle operatörün belirlediği ölçüm aralığının başlangıç, bitiş ve orta noktası olmak üzere toplam 3 adet ölçüm yapılmaktadır. Uygulanan her DC akım ile bu akımlara bağlı olarak elde edilen  $\Delta T$  değerlerin oluşturduğu 3 nokta koordinatı ve parabol denklemlerinden yararlanılarak tepe noktası koordinatları bulunmaktadır (Bkz. Eş. 4.1 – Eş. 4.3). Bu sayede giriş gücüne bağlı olarak maksimum çıkış parametresi değerleri kabaca bulunmuş olmaktadır. Bu hesaplamadan sonra ise; kabaca elde edilen tepe noktasını içine alacak daha dar bir alanda ve daha hassas olarak ölçümler yinelenabilmektedir. Bu sayede deneysel parametreleri daha az ölçüm yaparak daha kısa sürede bulmak mümkün olmaktadır.

Parabol hesaplarından normal ölçümler sonrasında da yararlanmak mümkün olmaktadır. Grafiklerin elde edildiği bölümde giriş parametresi I ve V, çıkış parametresi  $\Delta T$ ,  $Q_C$  ve E olması durumunda aktif olan 'Parabol Çiz' 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

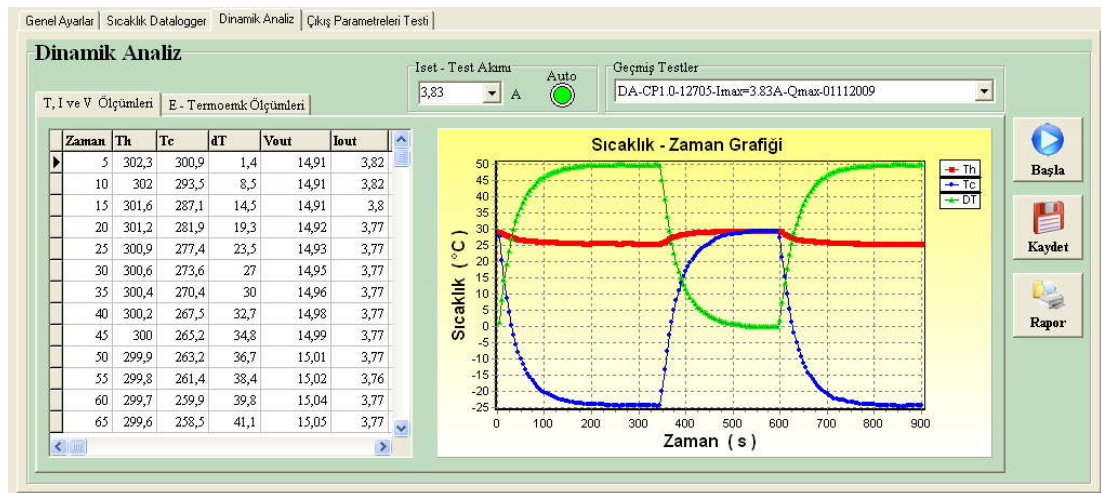
mümkün olmaktadır. Şekil 4.25'te görüldüğü gibi; giriş parametresi I, çıkış parametresi  $\Delta T$  iken ölçümlere yönelik ve hesaplama yöntemiyle elde edilen parabol çizimleri birbirleriyle örtüşmektedir.



Şekil 4.25. Parabol hesabı ve ölçümler ile elde edilen deneysel parametreler

'Dinamik Analiz' sekmesi

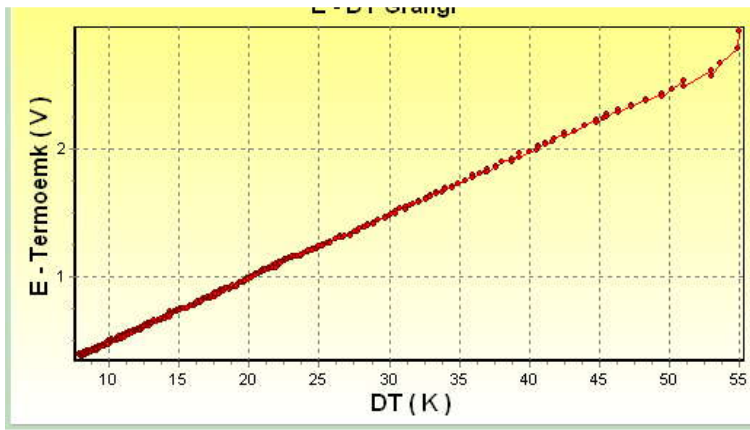
'Dinamik Analiz' sekmesine yönelik bir ekran görüntüsü Resim 4.6'da görülmektedir. Bu ekranda TE modüllere yönelik zamana bağlı sıcaklık ve termoemk değişimleri incelenebilmektedir.



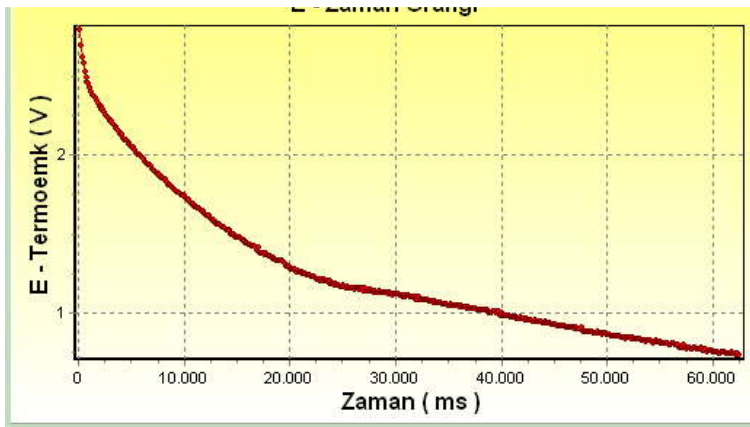
Resim 4.6. 'Dinamik Analiz' ekran görüntüsü



'Dinamik Analiz' ekranında TE modüle uygulanan herhangi bir akım için zamana bağlı olarak sıcaklık dengesi sağlanıncaya kadar sıcaklık, akım ve gerilim ölçümleri yapılarak  $T_H$ ,  $T_C$ ,  $\Delta T$ ,  $V$  ve  $I$  değerlerinin değişimi incelenebilmektedir. Ayrıca sıcaklık dengesinin sağlanmasının ardından TE modüle uygulanan akımın otomatik veya manuel olarak kesilmesiyle birlikte termoemk değerinin  $\Delta T$ 'ye (Şekil 4.26) ve zamana (Şekil 4.27) bağlı değişimlerinin incelenmesi de mümkün olmaktadır. TE modüle uygulanan akımın kesilmesiyle birlikte yüzeyler arasındaki sıcaklık farkının zamana bağlı olarak azaldığı görülmektedir. TE modülün ürettiği termoemk gerilim değeri ise sıcaklık farkıyla orantılı olduğundan, sıcaklık farkı azaldıkça 0 V'a doğru gitmektedir.



Şekil 4.26. Termoemk değerinin  $\Delta T$ 'ye bağlı değişimi



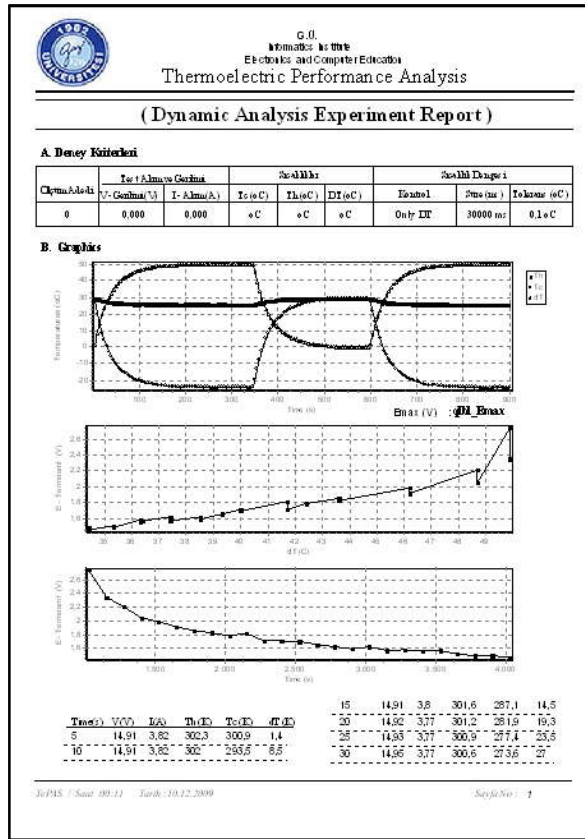
Şekil 4.27. Termoemk değerinin zamana bağlı değişimi

#### 4.4.4. Raporlama İşlemleri

Geliştirilen raporlama birimi sayesinde; gerçekleştirilen performans analizine yönelik deney kriterleri, ölçüm parametreleri ve karakteristik eğrilerin yer aldığı grafik destekli ayrıntılı rapor formlarının oluşturulması ve yazdırılması mümkün olmaktadır. Elde edilen ölçüm ve sonuçlar hem tablolar halinde hem de gerçek zamanlı grafikler üzerinden eşzamanlı olarak izlenebilmektedir. İstenen X ve Y seçimine bağlı olarak (Akıma bağlı COP, sıcaklık farkına bağlı termoemk v.b.) değişik ilişkilendirmelere dayanan grafiklerin elde edilmesi de mümkün olmaktadır.

Raporlama biriminde analize yönelik ölçüm, kontrol ve hesaplama ile elde edilen veriler grafik destekli olarak ekran ve yazıcıya verilebilmektedir. Yazılımda dinamik analiz, çıkış parametreleri ve datalogger uygulamalarına yönelik olmak üzere üç ayrı rapor formu düzenlenmektedir. Resim 4.7’de dinamik analiz sonucuna yönelik örnek bir rapor formu görülmektedir. TE performans analiz raporunda; gerçekleştirilen deney için ölçüm adedi, uygulanan test gerilimi ve akımı, sıcaklık dengesine yönelik kontrol şekli, süresi ve toleransı ile  $T_H$ ,  $T_C$ ,  $\Delta T$  değerleri ‘Deney Kriterleri’ başlığı altında verilmektedir. Deneye yönelik elde edilen ölçüm verilerine bağlı olarak ilgili grafikler çizilmektedir. Ayrıca ölçüm ve hesaplamalarla elde edilen çıkış parametreleri de tablo halinde raporda verilmektedir.

Gerçekleştirilen deneylere yönelik elde edilen verilerin alınarak değişik amaçlar ve grafik çizimleri için kullanılabilmesi amacıyla; yazılımda dış ortamlara veri aktarımının yapılması da mümkün olmaktadır. Bu amaçla yazılımın ana menüsünde yer alan ‘Veri Aktarımı’ seçeneğinin altında yer alan dinamik analiz, çıkış parametreleri ve datalogger deneyi verilerine yönelik alt menülerinden biri kullanılmak suretiyle istenen deney verileri Excel elektronik tablolama ortamına aktarılabilir (Resim 4.8).



Resim 4.7. Deneysel sonucuna yönelik rapor formu ekran görüntüsü

Kitap2 - Microsoft Excel

Calibri 11

TEPAS - TERMOELEKTRİK PERFORMANS ANALİZİ

ÇIKIŞ PARAMETRELERİ DENEY RAPORU

**DENEY BİLGİLERİ**

Tarih	31.12.2009	TE MODÜL DENEYSEL PARAMETRELERİ	Th_max(K)	297,6	TE MODULE MATERIAL PARAMETERS	G - Geometry Factor (m)	0,079
Saat	18:57:06		DTmax(K)	51,3		N - Number of Thermocouple	127
Test Modu	Imax Rejlimi		Vmax (V)	14,91			
Test Adı	Imax-CP1.0-12705-Imax=3.83A-01112009		Imax (A)	3,83			
			Emax (V)	2,76			

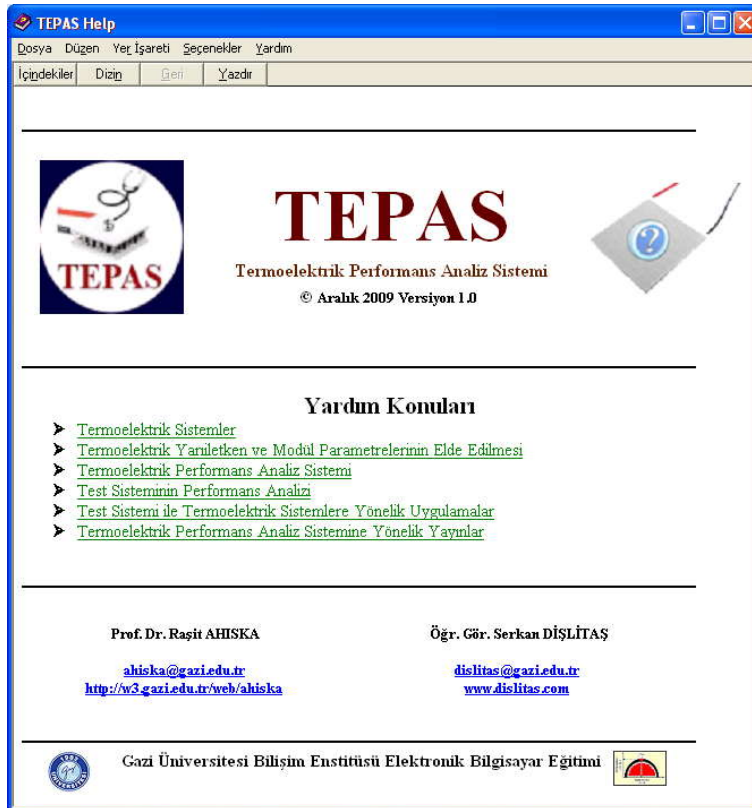
**TE MODÜL ÇIKIŞ PARAMETRELERİ**

S.N.	V (V)	I (A)	Ee (V)	Et (V)	Tce (K)	Tct (K)	Th (K)	DT (K)	Tload (K)	Tamb (K)	Qce (W)	Qct (W)	Qh (W)	Pe (W)	Pp (W)	COPE	COPT	Z (1/K)
1	15,25	3,83	2,76	2,55	248,4	244,14	299,6	51,2	298,4	297	0	0	57,11	58,41	57,11	0	0	1,8609
2	15,23	3,83	2,33	2,1	257,7	253,03	299,9	42,2	298	296,7	5	5,27	60,73	58,33	55,46	0,09	0,1	1,859
3	15,1	3,83	1,96	1,66	266,7	260,74	300,2	33,5	297,9	297,1	10,01	9,81	63,85	57,83	54,04	0,17	0,18	1,8572
4	15,07	3,83	1,61	1,23	275,9	268,23	300,7	24,8	297,8	296,9	15,05	14,1	66,8	57,72	52,7	0,26	0,27	1,8541
5	15,04	3,82	1,15	0,79	285,5	278,25	301,5	16	297,8	297,2	20	19,72	70,41	57,45	50,68	0,35	0,39	1,8492
6	14,94	3,82	0,81	0,34	295,1	285,5	301,9	6,9	297,7	297,1	25,03	23,89	73,27	57,07	49,39	0,44	0,48	1,8467
7	14,88	3,83	0,42	0	302,7	293,98	302,5	-0,1	298,1	297,4	31,75	28,69	76,83	56,99	48,14	0,56	0,6	1,8431

Resim 4.8. Deneysel verilerinin Excel ortamına aktarımı

#### 4.4.5. Yardımlar

Geliştirilen yazılımda kullanıcı etkileşimine bağlı olarak destek amaçlı yardımlar, genel anlamda veya o anki çalışma ortamına göre verilebilmektedir. Ana ekrandaki düğmeden veya menülerdeki yardım seçeneğinden Resim 4.9’da görüldüğü gibi yazılıma yönelik ana yardım ekranına ulaşılabilmektedir. Burada yazılımın tanıtımı ve kullanımına yönelik grafik destekli açıklamalar yer almaktadır. ‘Ana Yardım’ ekranındaki menü kullanılarak veya anahtar kelimeler yardımıyla ilgili bölüme yönelik yardıma ulaşılabilmektedir. İstenildiğinde yazılımın çalışılan bölümünde F1 fonksiyon tuşuna basılması suretiyle de sadece ilgili bölüme yönelik yardım pencerelerine ulaşmak mümkün olmaktadır. Ayrıca yazılımın kullanım kolaylığı açısından; simgeler üzerine fare imleci ile gelindiğinde, o simgenin hangi amaçla kullanıldığı açılan metin kutuları şeklinde gösterilmektedir.



Resim 4.9. Yardıma yönelik ana ekran görünümü

## 5. TASARLANAN SİSTEMİN PERFORMANS ANALİZİ

Geliştirilen sistemin temelinde, ölçmeye dayalı yeni bir yöntem yer almaktadır. Bu yöntemde sıcaklık, akım ve gerilim değerleri ölçülerek elde edilen veriler matematiksel formüllere uygulanmaktadır. Bu açıdan ölçme sisteminin kalitesinin belirlenmesinde kullanılan doğruluk, hassasiyet, ölçüm hatası, düzeltme, kalibrasyon vb. faktörlerin sistem performansı üzerinde büyük etkisi vardır [91-93].

Gerçekleştirilen sistemin performans analizinin yapılması amacıyla; öncelikle sistemin ölçüm kalibrasyonu yapılarak karakteristik özellikleri çıkarılmıştır. Kalibrasyon işleminden sonra da gerçek TE modül kullanılarak yüklü ve yüksüz durumda deneysel çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca elde edilen performans sonuçları ile üretici katalog verileri karşılaştırılarak sistemin değerlendirilmesi yapılmıştır.

### 5.1. Ölçme ve Kalibrasyon

Ölçme, bir büyüklüğün kendi cinsinden bilinen ve birim olarak kabul edilen büyüklükle karşılaştırılması işlemidir. Yapılan her ölçümde, ne kadar dikkatli olunursa olunsun, ne kadar güçlü cihazlar kullanılırsa kullanılsın az da olsa bir miktar hata mutlaka vardır. Ancak hatanın bilinmesi ölçme sonucunun anlamını artırır. Hata normalden rastgele sapma olarak ifade edilmektedir. Başka bir deyişle hata, ölçülen değer ile gerçek değer arasındaki farktır. Hatanın ifade edilmesi geleneklere, şahsi seçimlere veya duruma en uygun hangisinin olduğu gibi koşullara bağlı olarak mutlak hata (örneğin  $10 \pm 0,1$  A) veya bağıl hata (örneğin  $10 \pm \%1$  A) şeklinde olabilmektedir. Mutlak hata ve bağıl hata sırasıyla Eş. 5.1 ve Eş. 5.2'de görüldüğü gibi ifade edilmektedir [91-93].

$$\text{Mutlak Hata} = | \text{Ölçülen Değer} - \text{Gerçek Değer} | \quad (5.1)$$

$$\text{Bağıl Hata} = \left| \frac{\text{Ölçülen Değer} - \text{Gerçek Değer}}{\text{Gerçek Değer}} \right| \cdot 100 \quad (5.2)$$

Ölçmedeki en büyük parametrelerden birisi de doğruluk ifadesidir. Doğruluk, ölçülen değerlerin gerçek değere ne kadar yakın olduğunu ve ölçümün hatalardan ne kadar

arındırılmış olduğunu gösterir. Doğruluk; mutlak hata, bağıl hata ve bağıl doğruluk tanımları ile ifade edilebilmektedir ve ölçüm aralığına bağlı olarak yapılabilecek en büyük hatayı ifade etmektedir [91-93].

Gerçekleştirilen sistemde ölçüm hatalarının azaltılarak doğruluğun iyileştirilmesi amacıyla test işlemlerine yönelik yapılan ölçümler tekrarlanarak, yazılımsal olarak ortalama alma yöntemi kullanılmıştır (Eş. 5.3). Ortalamaya giren ölçüm adedi arttıkça elde edilen ortalama değer gerçek değere o kadar yakın olmaktadır. Gerçekleştirilen sistemde ortalamaya girecek ölçüm adedi yazılım arayüzü kullanılarak kullanıcı tarafından belirlenebilmektedir [91-93].

$$\bar{M} = \frac{\sum_{i=1}^N M_i}{N} \quad (5.3)$$

Ölçme işlemlerinde aritmetik ortalamadan yararlanılarak Eş. 5.4'te görülen standart sapma hesaplanabilmektedir. Standart sapma değeri küçüldükçe elde edilen ortalama değer gerçek ortalama değere yaklaşmaktadır. Benzer şekilde ortalama sapma değeri küçüldükçe ölçme sisteminin hassaslığı o derece artmaktadır. Standart sapmadan yararlanılarak Eşit 5.5'teki gibi bir düzeltme faktörü elde edilir ve ölçüm sonucu Eş. 5.6'da görüldüğü gibi ifade edilir [91-93].

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_i - \bar{M})^2}{N}} \quad (5.4)$$

$$\sigma_{\bar{m}} = \frac{\sigma_m}{\sqrt{N}} \quad (5.5)$$

$$M = \bar{M} \pm \sigma_{\bar{m}} \quad (5.6)$$

Ölçümün kalitesini belirleyen önemli hususlardan birisi de ölçüm sisteminin ölçüme etkisinin en az olmasıdır. Ölçü aletleri devreye bağlandığında bir yüklemeye etkisi yapmaktadır. Bu açıdan yüklemeye etkisinin en aza indirilmesi amacıyla, voltmetrelerin giriş dirençlerinin mümkün oldukça yüksek, ampermetrelerin giriş dirençlerinin mümkün oldukça küçük olması istenir. Sistemde kullanılan DA&C

modüllerin analog kanallarının giriş empedansının 20 M $\Omega$  olması ve gerilim ölçümünün de 10 K $\Omega$  direnç üzerinden yapılması nedeniyle yükleme etkisi ihmal edilmektedir [91-93].

Veri toplama ve kontrol uygulamalarında doğruluğun korunması amacıyla ölçüm sistemi ve kalibrasyon işlemi büyük önem taşımaktadır. Kalibrasyon işlemi sayesinde; belirlenmiş koşullar altında ve ölçüm standartlarına uygun olarak ölçme sisteminin gösterdiği sonuçlar, doğruluğundan emin olunan ölçüm sistemi sonuçları ile karşılaştırılır ve bu sayede ölçme sisteminin doğruluğunun ölçülmesi, hataların belirlenmesi ve sonuçta da raporlanması işlemleri gerçekleştirilir. Kalibrasyon işlemi sonrasında hataların yok edilmesi amacıyla sistem üzerinde gerekli düzeltmeler yapılarak, gerçek değere en yakın ölçümlerin elde edilmesi sağlanmış olur [93].

Tasarlanan sistemde akım, gerilim ve sıcaklık ölçümlerine yönelik olarak, temelde DA&C modülleri [76, 77] ve akım izleme modülü [81] kullanılmaktadır. Sistemde kullanılan DA&C modüllerine yönelik olarak termokupl giriş, analog giriş-çıkış kanalları ile birlikte sisteme yönelik genel akım, gerilim ve sıcaklık ölçüm kalibrasyonları yapılmıştır. İyi bir kalibrasyon işlemi için; standart referans gerilimi sağlamak için yüksek doğruluklu bir gerilim kaynağına ihtiyaç duyulmaktadır. Kalibrasyon işlemleri için, Fluke 725 model çok fonksiyonlu kalibrasyon cihazı kullanılmıştır.

Gerçekleştirilen sistemin yapılan testleri sonucunda; bilgisayar tabanlı olarak DA&C modül üzerinden 0~24 V gerilim, 0~10 A akım ve -35 °C ~ 70 °C arası sıcaklık ölçümüne yönelik sırasıyla  $\pm 0,01$  V,  $\pm 0,01$  A ve  $\pm 0,1$  °C maksimum ölçme hatasının olduğu anlaşılmıştır.

### **5.1.1. DA&C modül kalibrasyonu**

USB-4716 ve USB-4718 DA&C modüllerinin birim bazında kalibrasyon işlemleri, üretici firma tarafından sunulan Advantech Device Manager yazılımı sayesinde kolaylıkla yapılabilmektedir. Termokupl girişlere sahip USB-4718 için sadece bir kanalın (AI0) kalibrasyonunun yapılması sonucunda, diğer tüm kanallar otomatik

olarak kalibre edilmektedir. USB-4718'in analog giriş kanallarının kalibrasyonu için hem gerilim hem de akım giriş kalibrasyonunun yapılması daha uygun olmaktadır. Ayrıca bu yazılım ile CJC ofset ayarı işlemleri yapılmaktadır. USB-4716 DA&C modülünün analog giriş-çıkış kanalları ile USB-4718 DA&C modülünün termokupl girişleri için kalibrasyon ayarları yapılmıştır. Analog giriş/çıkışı kalibre etmeden önce, DA&C modülünün kararlı çalıştığından emin olunması amacıyla DA&C modül enerjisinin en az 15 dakika öncesinden verilmesi gerekir [76, 77].

Fluke 725 çok fonksiyonlu kalibratör kullanılarak birim bazında USB-4716 DA&C modülünün analog giriş ve çıkışlarının kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibratör ölçüm moduna alınarak, USB-4716 DA&C modülünün analog çıkışına bağlanmıştır. Geliştirilen yazılım ile USB-4716 DA&C modülünün çıkışına gönderilen 0,00 – 5,00 V arası değerler aynı şekilde kalibratör cihazından okunmuştur. Sonraki aşamada kalibratör kaynak moduna alınarak, DA&C modülünün analog girişine bağlanmıştır. Kalibratör ile sağlanan 0,00 – 5,00 V arası değerler, yine aynı şekilde geliştirilen yazılım ile okunmuştur. USB-4716 DA&C modülünün kalibrasyonuna yönelik ölçümler Çizelge 5.1'de görülmektedir.

Çizelge 5.1. USB-4716 DA&C modül analog giriş-çıkış ölçümleri

Analog Çıkış		Analog Giriş	
Yazılım ile Analog Çıkışa Gönderilen Gerilim (V)	Fluke 725 Kalibratör ile Ölçülen Gerilim (V)	Fluke 725 Kalibratör ile Sağlanan Kaynak Gerilim (V)	Yazılım ile Analog Girişten Okunan Gerilim (V)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,50	0,50	0,50	0,50
1,00	1,00	1,00	1,00
1,50	1,50	1,50	1,50
2,00	2,00	2,00	2,00
2,50	2,50	2,50	2,50
3,00	3,00	3,00	3,00
3,50	3,50	3,50	3,50
4,00	4,00	4,00	4,00
4,50	4,50	4,50	4,50
5,00	5,00	5,00	5,00



### 5.1.2. Akım ölçüm kalibrasyonu

TE modülün çektiği akımın ölçülmesi amacıyla, sistemde USB-4716 DA&C modülünün analog giriş aralığı yazılımsal olarak 0-10 V olarak ayarlanmıştır. Akım izleme modülü ise giriş aralığı 0-50 A, çıkış aralığı ise 0-10 V olarak ayarlanmıştır. Bu nedenle akım izleme modülü ile elde edilen değer yazılımsal olarak 5 katı alınarak gerçek ölçülen değer elde edilmektedir (Çizelge 5.2). Kalibrasyon sonucunda akım ölçmenin  $\pm 0,01$  A doğrulukta yapılabileceği anlaşılmıştır.

Çizelge 5.2. Akım ölçüm kalibrasyonuna yönelik elde edilen sonuçlar

TEPAS Ölçüm (A)	Fluke 725 Kalibratör Ölçüm (x5) (A)	Mutlak Hata (A)	Bağıl Hata (%)	TEPAS Ölçüm (A)	Fluke 725 Kalibratör Ölçüm (x5) (A)	Mutlak Hata (A)	Bağıl Hata (%)
0,780	0,785	0,005	0,637	3,140	3,135	0,005	0,159
1,220	1,220	0,000	0,000	3,150	3,140	0,010	0,318
1,330	1,340	0,010	0,746	3,250	3,245	0,005	0,154
1,340	1,335	0,005	0,375	3,260	3,250	0,010	0,308
1,490	1,495	0,005	0,334	3,410	3,410	0,000	0,000
1,500	1,505	0,005	0,332	3,420	3,415	0,005	0,146
1,660	1,655	0,005	0,302	3,530	3,520	0,010	0,284
1,670	1,665	0,005	0,300	3,580	3,575	0,005	0,140
1,820	1,820	0,000	0,000	3,690	3,680	0,010	0,272
1,830	1,825	0,005	0,274	3,800	3,800	0,000	0,000
2,040	2,040	0,000	0,000	3,850	3,850	0,000	0,000
2,050	2,045	0,005	0,244	3,910	3,905	0,005	0,128
2,220	2,210	0,010	0,452	3,960	3,955	0,005	0,126
2,260	2,260	0,000	0,000	4,020	4,015	0,005	0,125
2,380	2,375	0,005	0,211	4,130	4,125	0,005	0,121
2,430	2,420	0,010	0,413	4,240	4,230	0,010	0,236
2,540	2,535	0,005	0,197	4,300	4,290	0,010	0,233
2,700	2,700	0,000	0,000	4,350	4,340	0,010	0,230
2,710	2,705	0,005	0,185	4,410	4,400	0,010	0,227
2,810	2,805	0,005	0,178	4,520	4,510	0,010	0,222
2,820	2,810	0,010	0,356	4,620	4,615	0,005	0,108
2,980	2,975	0,005	0,168	4,680	4,675	0,005	0,107

### 5.1.3. Gerilim ölçüm kalibrasyonu

Test sisteminde TE modül geriliminin ölçülmesi amacıyla gerilim bölücü devre oluşturulmuştur (Bkz. Şekil 4.7). USB-4716 DA&C modülünün ilgili analog girişi yazılımsal olarak 0-10 V giriş aralığına ayarlanmıştır. Sisteme yönelik 0-30 V ölçüm yapabilmek amacıyla, DA&C modülünün analog girişinden elde edilen gerilim değerinin yazılımsal olarak 3 (termoemk ölçümünde 6) katı alınarak gerçek ölçülen değer elde edilmektedir (Çizelge 5.3). Kalibrasyon sonucunda gerilim ölçmenin  $\pm 0,01$  V doğrulukta yapılabileceği anlaşılmıştır.

Çizelge 5.3. Gerilim ölçüm kalibrasyonuna yönelik elde edilen sonuçlar

TEPAS Ölçüm (V)	Fluke 725 Kalibratör (V)	Mutlak Hata (V)	Bağlı Hata (%)	TEPAS Ölçüm (V)	Fluke 725 Kalibratör (V)	Mutlak Hata (V)	Bağlı Hata (%)
4,883	4,876	0,007	0,144	14,449	14,452	0,003	0,021
5,361	5,357	0,004	0,075	14,928	14,930	0,002	0,013
5,840	5,837	0,003	0,051	15,406	15,409	0,003	0,019
6,318	6,316	0,002	0,032	15,884	15,887	0,003	0,019
6,796	6,796	0,000	0,000	16,363	16,365	0,002	0,012
7,275	7,270	0,005	0,069	16,845	16,844	0,001	0,006
7,753	7,755	0,002	0,026	17,321	17,323	0,002	0,012
8,231	8,234	0,003	0,036	17,799	17,811	0,012	0,067
8,709	8,713	0,004	0,046	18,275	18,278	0,003	0,016
9,188	9,192	0,004	0,044	18,754	18,758	0,004	0,021
9,676	9,671	0,005	0,052	19,232	19,236	0,004	0,021
10,154	10,150	0,004	0,039	19,704	19,713	0,009	0,046
10,623	10,621	0,002	0,019	20,191	20,194	0,003	0,015
11,111	11,108	0,003	0,027	20,663	20,669	0,006	0,029
11,589	11,586	0,003	0,026	21,143	21,148	0,005	0,024
12,068	12,064	0,004	0,033	21,623	21,628	0,005	0,023
12,536	12,539	0,003	0,024	22,102	22,106	0,004	0,018
13,014	13,017	0,003	0,023	22,578	22,582	0,004	0,018
13,493	13,496	0,003	0,022	23,055	23,059	0,004	0,017
13,971	13,975	0,004	0,029	23,534	23,539	0,005	0,021

#### 5.1.4. Sıcaklık ölçüm kalibrasyonu

USB-4718 DA&C modül termokupl girişli olduğundan sıcaklık ölçümlerine yönelik soğuk nokta kompanzasyonları ve doğrusallaştırma otomatik olarak yapılmaktadır. Bu nedenle CJC sensörü USB-4718 DA&C modülün termokupl girişlerinin orta noktasına yerleştirilmiş bulunmaktadır. TE performans analizi için kritik olan  $T_H$  ve  $T_C$  sıcaklık ölçümleri için CJC sensörünün hemen iki yanını olan  $T_4$  ve  $T_5$  kanalları kullanılmıştır. Sisteme yönelik sıcaklık ölçümleri için elde edilen veriler Çizelge 5.4'te görülmektedir. Kalibrasyon sonucunda sıcaklık ölçmenin  $\pm 0,1$  °C doğrulukta yapılabileceği anlaşılmıştır.

Çizelge 5.4. Sıcaklık ölçüm kalibrasyonuna yönelik elde edilen sonuçlar

TEPAS Sistem (°C)	Fluke 725 Kalibratör (°C)	Mutlak Hata (°C)	Bağıl Hata (%)
70,0	70,1	0,1	0,14
65,0	65,1	0,1	0,15
60,0	59,9	0,1	0,17
55,0	55,0	0,0	0,00
50,0	50,1	0,1	0,20
45,0	45,1	0,1	0,22
40,0	40,1	0,1	0,25
35,0	35,0	0,0	0,00
30,0	30,1	0,1	0,33
25,0	25,1	0,1	0,40
20,0	19,9	0,1	0,50
15,0	15,0	0,0	0,00
10,0	10,0	0,0	0,00
0,0	0,0	0,0	0,00
-5,0	-5,1	0,1	1,96
-10,0	-10,1	0,1	0,99
-15,0	-14,9	0,1	0,67
-20,0	-20,0	0,0	0,00
-25,0	-24,9	0,1	0,40
-30,0	-30,1	0,1	0,33
-35,0	-34,9	0,1	0,29

### 5.1.5. SMPS kalibrasyonu

SCP 800-24 model SMPS yüklü ( $5\Omega$ ) ve yüksüz olarak test edilmiştir. Ölçüm ve kontrol verileri hem kalibratör ile hem de geliştirilen yazılım ile DA&C modülü üzerinden elde edilmiştir. Kalibrasyona yönelik elde edilen sonuçlar Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6'da özetlenmiştir.

Çizelge 5.5. SMPS yüksüz ölçüm sonuçları

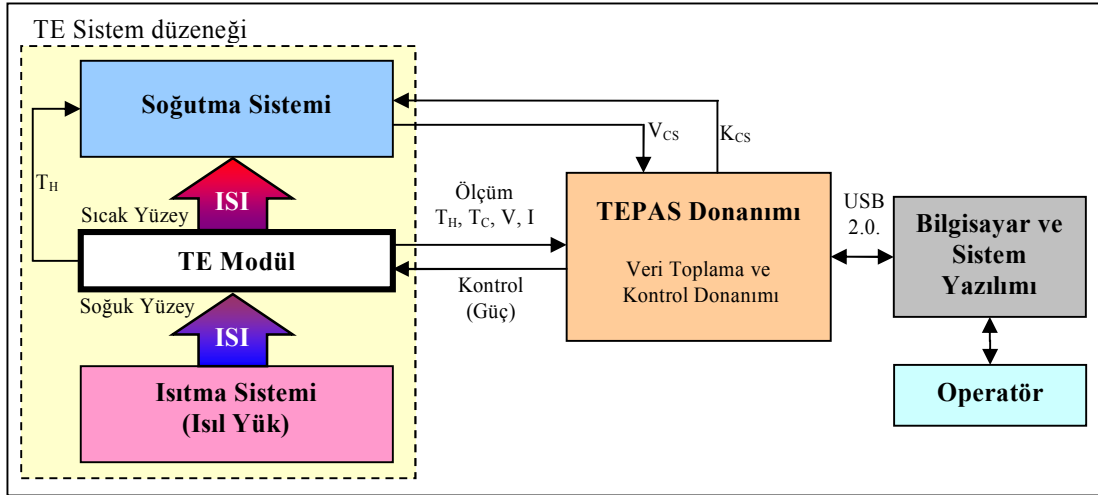
SMPS Giriş	SMPS Çıkış		
TEPAS Yazılım (V)	TEPAS Yazılım (x3) (V)	Fluke 725 Kalibratör (V)	Mutlak Hata (V)
1,00	4,902249	4,900	0,0022
1,25	6,104631	6,100	0,0046
1,50	7,307013	7,305	0,0020
1,75	8,512386	8,505	0,0074
2,00	9,714768	9,710	0,0048
2,25	10,91715	10,910	0,0071
2,50	12,119532	12,112	0,0075
2,75	13,318923	13,318	0,0009
3,00	14,521305	14,515	0,0063
3,25	15,73266	15,720	0,0127
3,50	16,926069	16,920	0,0061
3,75	18,128451	18,121	0,0075
4,00	19,330833	19,321	0,0098
4,25	20,551161	20,540	0,0112
4,50	21,732606	21,723	0,0096
4,75	22,934988	22,927	0,0080
5,00	24,164289	24,150	0,0143

Çizelge 5.6. SMPS yüklü (5  $\Omega$ ) ölçüm sonuçları

SMPS Giriş	SMPS Çıkış			TE Modül Akımı		
TEPAS Yazılım (V)	TEPAS Yazılım (x3) (V)	Fluke 725 Kalibratör (V)	Mutlak Hata (V)	TEPAS Yazılım (x5) (V)	Fluke 725 Kalibratör (x5) A.İ.M. çıkışı (V)	Mutlak Hata (V)
1,00	4,822	4,878	0,056	0,192	0,191	0,001
1,25	6,028	6,073	0,045	0,244	0,236	0,008
1,50	7,231	7,268	0,037	0,295	0,293	0,002
1,75	8,437	8,467	0,03	0,347	0,338	0,009
2,00	9,673	9,699	0,026	0,403	0,395	0,008
2,25	10,882	10,899	0,017	0,438	0,429	0,009
2,50	12,046	12,057	0,011	0,493	0,485	0,008
2,75	13,288	13,295	0,007	0,544	0,542	0,002
3,00	14,491	14,493	0,002	0,601	0,599	0,002
3,25	15,700	15,656	0,044	0,645	0,644	0,001
3,50	16,900	16,848	0,052	0,699	0,69	0,009
3,75	18,103	18,082	0,021	0,749	0,746	0,003
4,00	19,303	19,277	0,026	0,805	0,803	0,002
4,25	20,500	20,468	0,032	0,853	0,848	0,005
4,50	21,700	21,664	0,036	0,903	0,894	0,009
4,75	22,903	22,857	0,046	0,955	0,951	0,004
5,00	24,094	24,048	0,046	0,999	0,996	0,003

## 5.2. Deneysel Çalışma

Tasarlanan ve gerçekleştirilen sistemin performans analizinin yapılması amacıyla; Melcor CP1.0-127-05 model standart TE modül kullanılarak 18 °C – 20 °C oda sıcaklığında  $T_{Cmin}$ ,  $Q_{Cmax}$  ve  $I_{max}$  rejimleri olmak üzere yüklü ve yüksüz durumda deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla Şekil 5.1’de görüldüğü gibi; TE performans analiz sistemi deney düzeneği oluşturularak deneylere yönelik yazılım başlangıç ayarları yapılmıştır.



(a)



(b)

Şekil 5.1. TE Performans analiz sistemi deney düzeneği a) Genel bağlantı şeması  
b) Genel görünüm

Deneysel çalışmada yazılım başlangıç ayarlarının yapılmasının ardından  $V_{max}$ ,  $I_{max}$  ve  $E_{max}$  deneysel parametrelerin belirlenmesi amacıyla  $T_{Cmin}$  rejiminde TE modül yüksüz iken deneyler yapılmıştır. Sonraki aşamada ise;  $Q_{Cmax}$  rejiminde  $Q_C = f(I)$  fonksiyonu,  $I_{max}$  rejiminde ise  $\Delta T = f(Q_C)$  fonksiyonu değişimi elde edilmiştir ve yeni yöntemle bağlı formüller kullanılarak TE modülün çıkış parametreleri ( $Q_C$ ,  $T_C$ ,  $P$ ,  $COP$ ,  $K$ ,  $R$ ,  $Z$ ) hesaplanmıştır. Ayrıca TE modül sıcaklıklarının ve üretilen termomik değerinin zamana bağlı değişimleri incelenmiştir. Ölçüm ve hesaplama ile elde edilen verilere ait çizelgeler oluşturulmuş ve bunlara bağlı olarak değişim grafikleri çizilmiştir.

### 5.2.1. Yazılım başlangıç ayarlarının yapılması

Sistem yazılımında Resim 5.1’de görülen ‘TE Performans Analizi’ ekranına geçilerek; ‘Genel Ayarlar’ sekmesinde deneye yönelik başlangıç kriterleri belirlenmiştir:

- Ölçüm periyodu 1 000 ms olarak seçilmiştir.
- Sıcaklık dengesi kriterleri bölümünde; kontrol şekli ‘Sadece  $\Delta T$ ’, kararlılık süresi 20 000 ms ve tolerans 0,1 K olarak belirlenmiştir.
- TE modüle uygulanacak SMPS gerilim kontrol girişi (VCI) için; alt sınır 1,5 V, üst sınır 3,8 V ve artış değeri 0,1 V yapılmıştır.
- Sıcaklık ölçümleri için T tipi termokupl seçimi yapılmıştır.
- Sistemde aşırı akım ve aşırı ısınma koruması amacıyla; üst sıcaklık değeri 323 K, maksimum akım değeri ise 7A olarak ayarlanmıştır.

The screenshot shows the TePAS software interface with the following details:

- Top Bar:** TEPAS - Termoelektrik Performans Analiz Sistemi Yazılımı 2009 1.0. Navigation: Ana Menü, Raporlar, Veri Aktarımı, Yardım. Date: 12 Aralık 2009, 13:12: 21.
- Control Panels:** VCI (0,00 V), Vout (0,000 V), Iout (0,000 A). Test Durumu: 0%. Sıcaklık Dengesi: 0%.
- Genel Ayarlar (General Settings):**
  - Ölçüm Periyodu: 1000 ms
  - Ortalama: N 50
  - TC Tipi: T
  - 'Sıcaklık Dengesi' kriterleri: Kontrol Metodu: Sadece DT, Th: 298, Süre: 30000 ms, Tolerans: 0,1 K
  - SMPS Kontrol Gerilimi (VCI): Alt Limit: 1,5 V, Üst Limit: 3,8 V, Artış: 0,1 V
  - TE Modül Özellikleri: N - Termokupl Sayısı: 127, G - Geometrik Faktör: 0,079 cm
  - E- Termoelektrik Örnekleme Ayarları: Örnekleme Sayısı: 25, Frekans: 8 Hz, Ön bekleme: 160 ms
  - Sistem Veritabanı Oluşturma:  Geçmiş Testler silinmesin, Oluştur
  - Sistem Koruma: Aşırı Isınma Limiti: 323 K, Aşırı Akım Limiti: 7 A,  Soğutma Sistemi kontrolü
  - Kalibrasyon & Düzeltme:
  - Termokupl Girişleri:

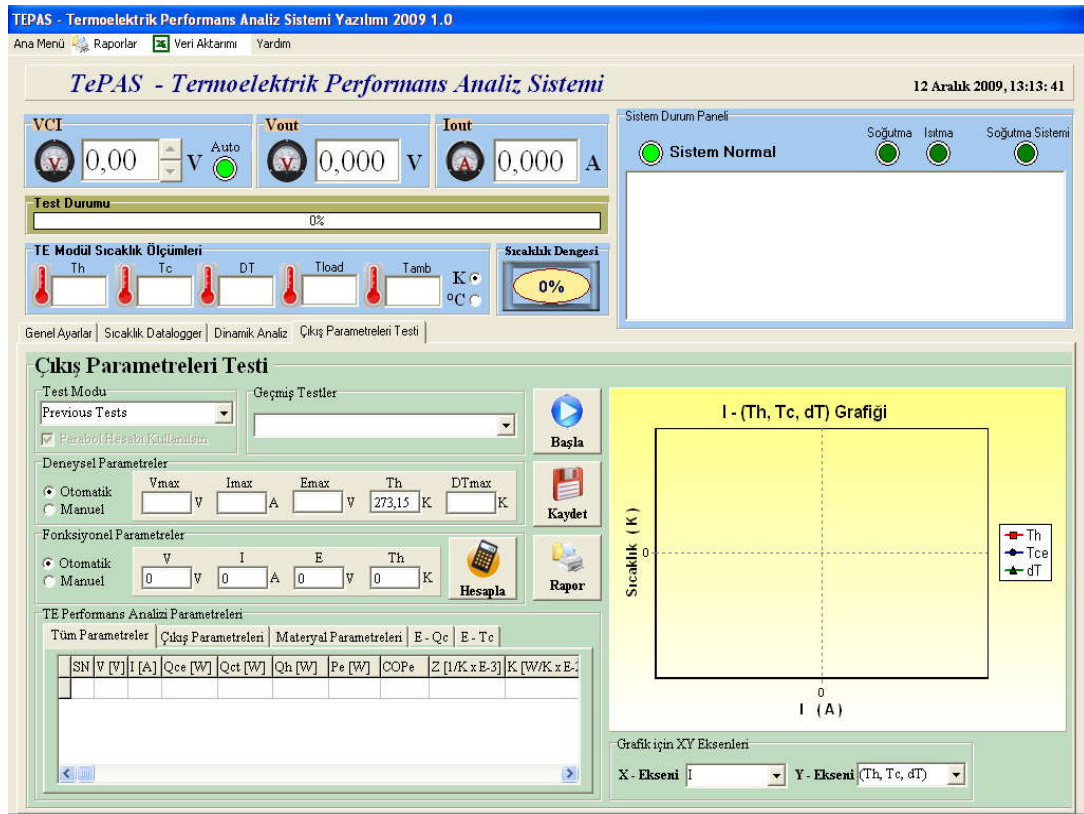
TC Kanalı	Ölçüm	Oransal	Ofset	TC Kanalı	Ölçüm	Oransal	Ofset
TC0	x	±		TC4	x	±	
TC1	x	±		TC5	x	±	
TC2	x	±		TC6	x	±	
TC3	x	±		TC7	x	±	

Resim 5.1. ‘TE Performans Analizi’ ekranı

Deneysel çalışmalar için TE modüle güç uygulamadan önce soğutma sistemi devreye alınarak ısınan yüzey sıcaklık ( $T_H$ ) değerinin düşürülmesi sağlanmıştır.

### 5.2.2. Deneysel parametrelerin elde edilmesi

TE modülün deneysel parametrelerinin elde edilmesi işlemi,  $T_{Cmin}$  rejiminde TE modül yüksüz iken yapılmaktadır. Bu amaçla öncelikle sistem yazılımında ‘Çıkış Parametreleri Testi’ ekranına geçilir (Resim 5.2) ve test modu ‘ $T_{Cmin}$  Rejimi’ olarak seçilir. Bu çalışmada  $Q_C = 0$  olması gerektiğinden TE modüle herhangi bir  $Q_L$  ısı yük uygulanmamıştır. Bu nedenle ısıtıcı kapalı duruma alınmıştır. Bu ayarlardan sonra Başlat butonuna basılarak test işlemi başlatılmıştır.



Resim 5.2. ‘Çıkış Parametreleri Testi’ ekranı

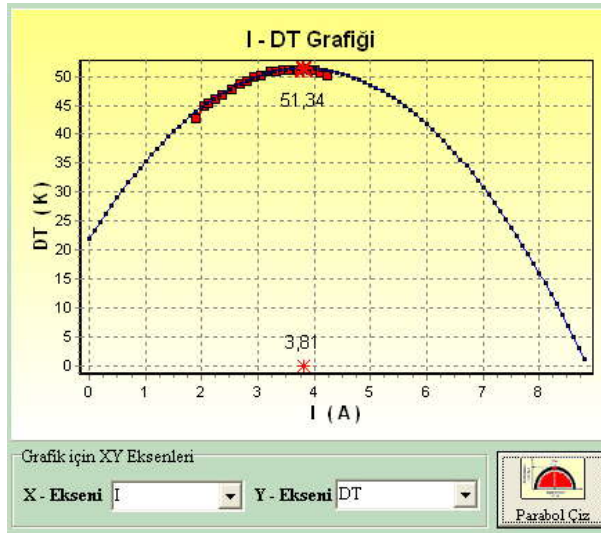
TE test sistemine belirlenen aralık ve artış değerlerine bağlı olarak DC gerilimler uygulanmıştır. Uygulanan her gerilim için TE modül  $T_H$ ,  $T_C$ ,  $I$  ve  $V$  değerleri belirlenen periyotta sürekli ölçülmüştür. Sıcaklık dengesi sağlandığı andaki değerler



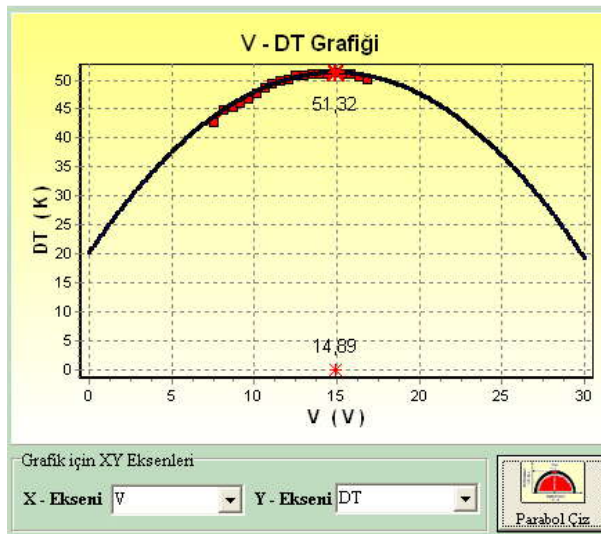
ve o anlık uygulanan enerjinin kesilmesiyle ölçülen E değerleri veritabanına kaydedilmiştir. Gerçek yüksüz TE modülün çalışma esnasındaki V,  $\Delta T$ , E,  $T_C$  ve  $T_H$  çıkış parametrelerinin akıma bağlı olarak değişimi elde edilmiştir (Çizelge 5.7).  $T_{Cmin}$  rejiminde TE modülün akıma ve gerilime bağlı  $\Delta T$  değişimi sırasıyla Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te görülmektedir. Belirlenen aralıktaki tüm değerler için gerekli ölçüm işlemleri tamamlandıktan sonra  $I_{max}$ ,  $V_{max}$ ,  $E_{max}$ ,  $\Delta T_{max}$ , ve  $T_H$  gibi karakteristikler tespit edilerek TE modülün deneysel parametreleri belirlenmiştir (Şekil 5.4). Ayrıca yazılımda parabol hesabıyla da çıkış eğrileri ve  $I_{max}$ ,  $V_{max}$  ve  $\Delta T_{max}$  deneysel parametre değerleri elde edilmiştir (Bkz. Şekil 5.2 ve Şekil 5.3). Ölçümler ve parabol hesabı ile elde edilen deneysel parametrelerin birbirine yakın olduğu Çizelge 5.8'de görülmektedir.

Çizelge 5.7.  $T_{Cmin}$  rejimde, çalışan gerçek yüksüz Melcor CP1.0-12705 model standart TE modülün çıkış parametrelerinin akıma göre değişimi

<b>I (A)</b>	<b>V (V)</b>	<b><math>T_H</math> (K)</b>	<b><math>T_C</math> (K)</b>	<b><math>\Delta T</math> (K)</b>	<b>E (V)</b>
1,90	7,55	292,6	249,8	42,8	2,04
2,03	8,12	292,9	248,4	44,4	2,12
2,12	8,72	293,2	247,8	45,4	2,21
2,23	9,17	293,3	247,3	46,0	2,27
2,35	9,65	293,4	246,7	46,7	2,32
2,52	10,13	293,9	246,1	47,8	2,38
2,69	10,61	294,3	245,6	48,7	2,43
2,81	11,09	294,6	245,3	49,3	2,48
2,92	11,56	294,9	245,0	49,9	2,52
3,05	12,04	295,3	245,1	50,2	2,56
3,21	12,52	295,6	244,8	50,8	2,65
3,32	13,00	295,9	245,0	50,9	2,67
3,43	13,47	296,2	245,1	51,1	2,67
3,55	13,95	296,6	245,4	51,2	2,69
3,72	14,43	297,1	245,9	51,2	2,74
3,83	14,91	297,6	246,3	51,3	2,76
3,94	15,39	298,2	247,0	51,2	2,75
4,00	15,86	298,7	247,7	51,0	2,72
4,11	16,35	299,4	248,8	50,6	2,71
4,22	16,83	299,7	249,5	50,2	2,68



Şekil 5.2.  $T_{Cmin}$  rejimde  $\Delta T$ 'nin  $I$ 'ya göre değişimi



Şekil 5.3.  $T_{Cmin}$  rejimde  $\Delta T$ 'nin  $V$ 'ye göre değişimi

Deneysel Parametreler					
<input checked="" type="radio"/> Otomatik	Vmax	Imax	Emax	Th	DTmax
<input type="radio"/> Manuel	14,91 V	3,83 A	2,76 V	297,6 K	51,3 K

Şekil 5.4. CP1.0-127-05 model TE modülün deneysel parametreleri

Çizelge 5.8. Ölçme ve parabol hesabı ile elde edilen deneysel parametreler

Yöntem	$I_{max}$ (A)	$V_{max}$ (V)	$E_{max}$ (V)	$\Delta T_{max}$ (K)
Deneysel Ölçme	3,83	14,91	2,76	51,3
Parabol Hesabı	3,81	14,89	2,77	51,34

Gerçekleştirilen bu deneyde gerçek modülün çalışma şartlarındaki sonuçlarını elde etmek için  $T_H$  sabit tutulmamıştır. Ölçümlerden görüldüğü gibi, akım (I) maksimuma ulaşana kadar modülün üzerindeki gerilim (V), termoemk (E) ve sıcak yüzey sıcaklığı ( $T_H$ ) artarken; soğuk yüzey sıcaklığı ( $T_C$ ) azalmıştır (Bkz. Çizelge 5.7). Yüzeylearası sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) ise artarak  $I = 3,83$  A’de maksimum ( $I_{max}$ ) değere ulaşmıştır. TE modüle uygulanan akım 3,83 A iken,  $T_H = 297,6$  K,  $T_C = 246,3$  K ve  $\Delta T = 51,3$  K olarak ölçülmüş ve bu durumda deneysel parametreler  $I_{max} = 3,83$  A,  $V_{max} = 14,91$  V,  $E_{max} = 2,76$  V olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ‘TCmin-CP1.0-12507’ adı verilerek Kaydet butonuna basılmak suretiyle sistem veritabanına kalıcı olarak kaydedilmiştir.

### 5.2.3. Çıkış parametrelerinin elde edilmesi

Deneysel parametreleri belirlenen TE modüller için  $Q_{Cmax}$  ve  $I_{max}$  rejimi olmak üzere iki ayrı rejimde çalışmaların incelenmesi ve çıkış parametrelerinin belirlenmesi mümkündür.

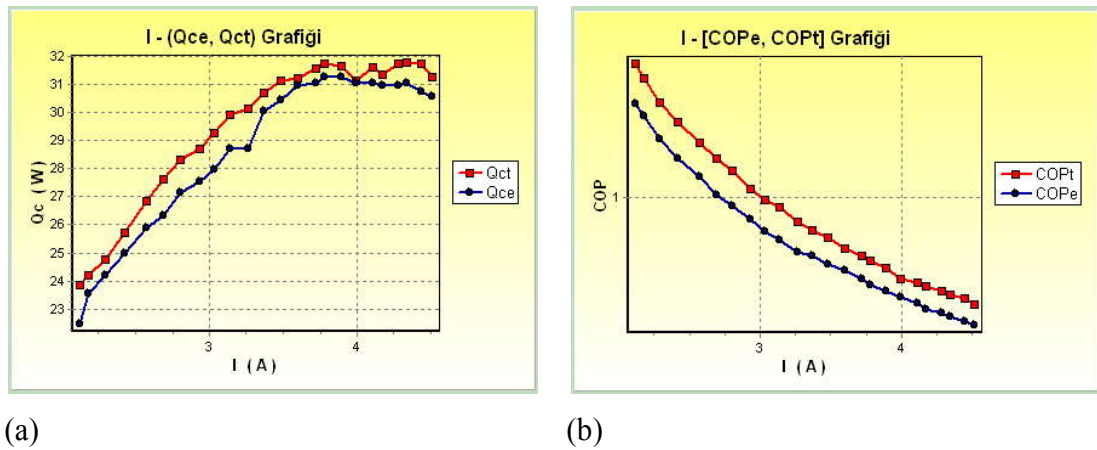
#### $Q_{Cmax}$ rejiminde TE modülün çıkış parametrelerinin belirlenmesi deneyi

Bu deneyde;  $Q_{Cmax}$  rejimde iken gerçek yüklü TE modülün  $Q_C$ ,  $T_C$ , P, COP, K, R, Z çıkış parametrelerinin akıma göre değişimi elde edilmiştir. Sistem yazılımının ‘TE Performans Analizi’ ekranının ‘Çıkış Parametreleri Testi’ sekmesinde öncelikle, test modu ‘ $Q_{Cmax}$  Rejimi’ olarak seçilmiştir. ‘Geçmiş Testler’ alanından önceden gerçekleştirilmiş olan testlerden ‘TCmin-CP1.0-12705’ seçilerek, çıkış parametrelerinin hesaplanmasında kullanılacak olan deneysel parametre değerlerinin belirlenmesi sağlanmıştır (Bkz. Şekil 5.4). Bu ayarlar yapıldıktan sonra Başlat

butonuna basılmasıyla birlikte TE test sistemine belirlenen aralık ve artış değerlerine bağlı olarak DC gerilimler uygulanmıştır. Uygulanan her gerilim için TE modül  $T_H$ ,  $T_C$ ,  $I$ ,  $V$  ve  $E$  değerleri belirlenen periyotta sürekli olarak ölçülmüştür.  $Q_{Cmax}$ 'ın elde edilebilmesi amacıyla, uygulanan her akım için  $\Delta T=0$  oluncaya kadar ısıtıcı gücü ayarlanmıştır. Bu sayede ısıtıcıdan uygulanan gücün tamamının TE modülden transfer edilmesi sağlanmıştır. Sıcaklık dengesi sağlandığı andaki değerler ve o anlık uygulanan enerjinin kesilmesiyle ölçülen  $E$  değerleri veritabanına kaydedilmiştir.

Ölçüm işlemlerinin tamamlanmasının ardından, deneysel parametreler ve veritabanına alınan ölçümlerden yararlanılarak ilgili formüllerde yerine konulmak suretiyle TE modülün çıkış parametreleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.9). Elde edilen sonuçlar 'QCmax-CP1.0-12705' adı verilerek 'Kaydet' butonuna basılmak suretiyle sistem veritabanına kalıcı olarak kaydedilmiştir.

Gerçekleştirilen TE performans analiz testi sonuçlarına yönelik çeşitli ilişkilendirmeler için grafik gösterimler elde edilerek deneysel ve teorik olarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır (Şekil 5.6).



Şekil 5.5. Yeni yöntemle göre  $Q_{Cmax}$  rejiminde (a)  $Q_C$  ve (b) COP'un  $I$ 'ya göre değişimi

Çizelge 5.9.  $Q_{Cmax}$  rejimde, çalışan gerçek yüklü Melcor CP1.0-127-05 model standart TE modülün çıkış parametrelerinin akıma göre değişimi

S.N.	V (V)	I (A)	Ee (V)	Et (V)	Tce (K)	Tct (K)	Th (K)	DT (K)	Tload (K)	Tamb (K)	Qcc (W)	Qct (W)	Qh (W)	Pe (W)	Pp (W)	COPe	COPt	Z (1/K)	K (W/K)	R (Ohm)
0	7,26	2,12	0,06	0	295,5	294,3	295,5	0	296,8	296,1	22,47	23,85	38,23	15,39	14,38	1,46	1,66	1,8867	0,4254	3,4
1	7,74	2,18	0,07	0,01	295,8	294,5	295,9	0,1	297	295,6	23,54	24,22	39,45	16,87	15,23	1,4	1,59	1,8842	0,4248	3,52
2	8,22	2,29	0,1	0,01	296,3	294,4	296,4	0,1	297	295,9	24,2	24,75	41,62	18,82	16,86	1,29	1,47	1,881	0,4241	3,55
3	8,7	2,42	0,1	0,01	296,5	294,6	296,6	0,1	297,2	296,3	24,98	25,71	44,53	21,05	18,82	1,19	1,37	1,8797	0,4238	3,55
4	9,17	2,57	0,09	0	297,1	295,2	297	-0,1	297,2	296,2	25,88	26,85	48,04	23,57	21,18	1,1	1,27	1,8772	0,4232	3,53
5	9,65	2,69	0,09	0	297,5	295,6	297,4	-0,1	297,4	296,3	26,34	27,63	50,83	25,96	23,2	1,01	1,19	1,8747	0,4226	3,55
6	10,1	2,8	0,09	0	297,7	295,9	297,7	0	297,5	296,5	27,15	28,3	53,42	28,36	25,12	0,96	1,13	1,8728	0,4222	3,59
7	10,6	2,93	0,12	0	298,1	295,8	298,2	0,1	297,5	296,5	27,54	28,71	56,29	31,09	27,59	0,89	1,04	1,8696	0,4215	3,58
8	11,1	3,03	0,12	0	298,5	296,2	298,6	0,1	297,6	296,5	27,96	29,24	58,73	33,6	29,49	0,83	0,99	1,8671	0,4209	3,62
9	11,6	3,14	0,11	0	299,1	296,9	299,1	0	297,8	296,6	28,68	29,91	61,53	36,3	31,62	0,79	0,95	1,864	0,4202	3,65
10	12	3,26	0,14	0	299,4	296,7	299,5	0,1	297,9	296,4	28,68	30,11	64,28	39,25	34,17	0,73	0,88	1,8615	0,4197	3,65
11	12,5	3,37	0,13	0	300	297,3	299,9	-0,1	297,9	296,7	30,02	30,7	67,16	42,19	36,47	0,71	0,84	1,859	0,4191	3,68
12	13	3,48	0,13	0	300,5	297,8	300,4	-0,1	297,9	296,8	30,45	31,13	70	45,24	38,87	0,67	0,8	1,8559	0,4184	3,7
13	13,5	3,6	0,16	0	300,9	297,6	300,8	0	298	296,9	30,95	31,19	72,88	48,53	41,69	0,64	0,75	1,8535	0,4179	3,7
14	14	3,72	0,16	0	301,4	298,1	301,3	0	298,2	296,9	31,02	31,57	76,07	51,89	44,5	0,6	0,71	1,8504	0,4172	3,71
15	14,4	3,78	0,16	0	301,9	298,6	301,8	0	298,2	296,9	31,25	31,74	77,67	54,55	45,93	0,57	0,69	1,8473	0,4165	3,78
16	14,9	3,89	0,19	0	302,5	298,5	302,3	-0,1	298,2	297	31,25	31,66	80,4	58	48,74	0,54	0,65	1,8443	0,4158	3,78
17	15,4	3,99	0,25	0	302,9	297,6	302,7	-0,1	298,2	296,9	31,05	31,13	82,64	61,41	51,5	0,51	0,6	1,8418	0,4152	3,79
18	15,9	4,11	0,23	0	303,2	298,5	303,2	0	298,2	296,9	31,05	31,6	86,13	65,18	54,53	0,48	0,58	1,8388	0,4146	3,8
19	16,3	4,17	0,26	0	303,9	298,4	303,7	-0,1	298,5	297,5	30,95	31,32	87,56	68,14	56,25	0,45	0,56	1,8358	0,4139	3,86
20	16,8	4,28	0,24	0	304,1	299,3	304,2	0,1	298,4	297,4	30,95	31,71	90,85	71,99	59,14	0,43	0,54	1,8328	0,4132	3,87
21	17,3	4,34	0,24	0	304,9	300	304,9	0	298,2	297,2	31,05	31,77	92,56	75,08	60,79	0,41	0,52	1,8285	0,4122	3,93
22	17,8	4,44	0,25	0	305,3	300,3	305,4	0,1	298,3	297,4	30,75	31,71	95,36	78,94	63,65	0,39	0,5	1,8256	0,4116	3,95
23	18,3	4,51	0,29	0	305,9	300	305,9	0	298,2	297,3	30,55	31,23	97,06	82,35	65,83	0,37	0,47	1,8226	0,4109	3,98

### I<sub>max</sub> rejiminde TE modülün çıkış parametrelerinin belirlenmesi deneyi

Bu deneyde, I<sub>max</sub> rejimde iken gerçek yüklü TE modülün Q<sub>C</sub>, T<sub>C</sub>, P, COP, K, R, Z çıkış parametrelerinin Q<sub>L</sub> ısı yüküne bağlı değişimi elde edilmiştir. Sistem yazılımının 'TE Performans Analizi' ekranının 'Çıkış Parametreleri Testi' sekmesinde öncelikle, test modu 'I<sub>max</sub> Rejimi' olarak seçilmiştir. 'Geçmiş Testler alanından, önceden gerçekleştirilmiş olan testlerden 'TCmin-CP1.0-12705' seçilerek çıkış parametrelerinin hesaplanmasında kullanılacak deneysel parametre değerlerinin belirlenmesi sağlanmıştır (Bkz. Şekil 5.4). Bu deneyde SMPS VCI gerilimi otomatik olarak I<sub>max</sub> için ayarlanmıştır. Bu ayarlar yapıldıktan sonra Başla butonuna basılarak test işlemi başlatılmıştır.

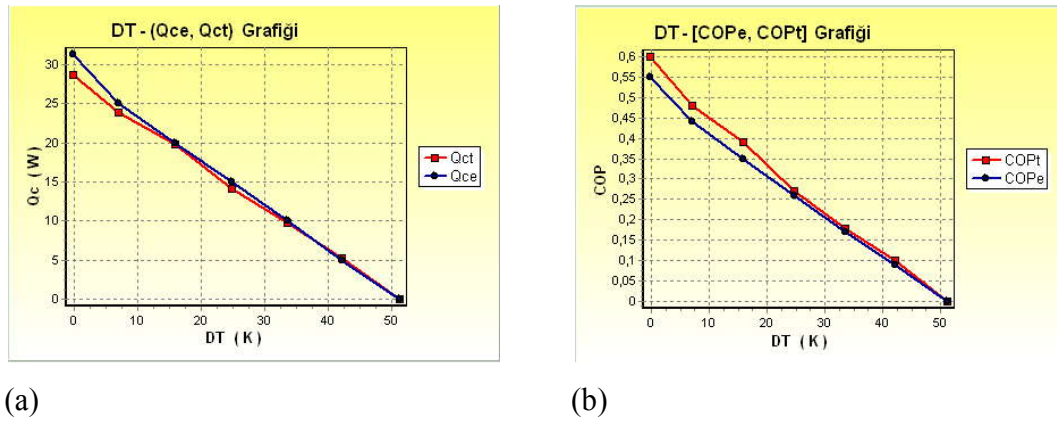
Isıtma sistemi ile TE modülün soğuyan yüzeyine 0-32 W arası çeşitli Q<sub>L</sub> ısı yükleri uygulanmıştır. Bu sayede yük durumuna göre sıcaklıkların değişimi ve soğutma performans durumu incelenmiştir. Uygulanan her Q<sub>L</sub> ısı yükü için TE modül T<sub>H</sub>, T<sub>C</sub>, I ve V değerleri belirlenen periyotta sürekli olarak ölçülmüştür. Sıcaklık dengesi sağlandığı andaki değerler ve o anlık uygulanan enerjinin kesilmesiyle ölçülen E değerleri veritabanına kaydedilmiştir.

Deneysel parametreler ve veritabanına alınan ölçümlerden yararlanılarak ilgili formüllerde yerine konulmak suretiyle TE modülün çıkış parametreleri hesaplanmıştır (Çizelge 5.10). Elde edilen sonuçlar 'Imax-CP1.0-12705' adı verilerek 'Kaydet' butonuna basılmak suretiyle sistem veritabanına kalıcı olarak kaydedilmiştir.

Çizelge 5.10.  $I_{max}$  rejimde, çalışan gerçek yüklü Melcor CP1.0-127-05 model standart TE modülün çıkış parametrelerinin  $Q_L$  ısı yüküne göre değişimi

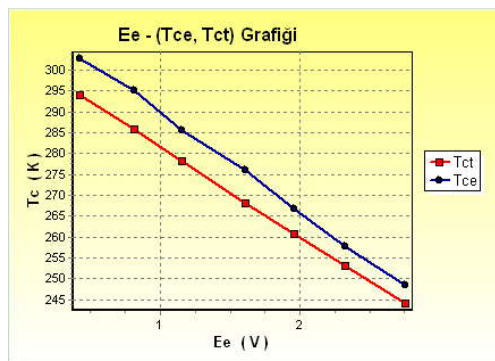
S.N.	V (V)	I (A)	E <sub>e</sub> (V)	E <sub>t</sub> (V)	T <sub>ce</sub> (K)	T <sub>ct</sub> (K)	T <sub>h</sub> (K)	D/T (K)	T <sub>load</sub> (K)	T <sub>amb</sub> (K)	Q <sub>ce</sub> (W)	Q <sub>ct</sub> (W)	Q <sub>h</sub> (W)	P <sub>e</sub> (W)	P <sub>p</sub> (W)	CO <sub>Pe</sub>	CO <sub>Pt</sub>	Z (1/K)	K (W/K)	R (Ohm)
1	15,3	3,83	2,76	2,55	248,4	244,1	299,6	51,2	298,4	297	0	0	57,11	58,41	57,11	0	0	1,8609	0,4195	3,26
2	15,2	3,83	2,33	2,1	257,7	253	299,9	42,2	298	296,7	5	5,27	60,73	58,33	55,46	0,09	0,1	1,859	0,4191	3,37
3	15,1	3,83	1,96	1,66	266,7	260,7	300,2	33,5	297,9	297,1	10,01	9,81	63,85	57,83	54,04	0,17	0,18	1,8572	0,4187	3,43
4	15,1	3,83	1,61	1,23	275,9	268,2	300,7	24,8	297,8	296,9	15,05	14,1	66,8	57,72	52,7	0,26	0,27	1,8541	0,418	3,51
5	15	3,82	1,15	0,79	285,5	278,3	301,5	16	297,8	297,2	20	19,72	70,41	57,45	50,68	0,35	0,39	1,8492	0,4169	3,64
6	14,9	3,82	0,81	0,34	295,1	285,5	301,9	6,9	297,7	297,1	25,03	23,89	73,27	57,07	49,39	0,44	0,48	1,8467	0,4163	3,7
7	14,9	3,83	0,42	0	302,7	294	302,5	-0,1	298,1	297,4	31,75	28,69	76,83	56,99	48,14	0,56	0,6	1,8431	0,4155	3,78

Gerçekleştirilen TE performans analiz testi sonuçlarına yönelik çeşitli ilişkilendirmeler için grafik gösterimler elde edilerek; deneysel ve teorik olarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.  $I_{max}$  rejimdeki gerçek yüklü modülün  $Q_C$  ve COP çıkış ısıl parametrelerinin  $\Delta T$ 'ye göre değişimleri Şekil 5.6'da görüldüğü gibi elde edilmiştir.



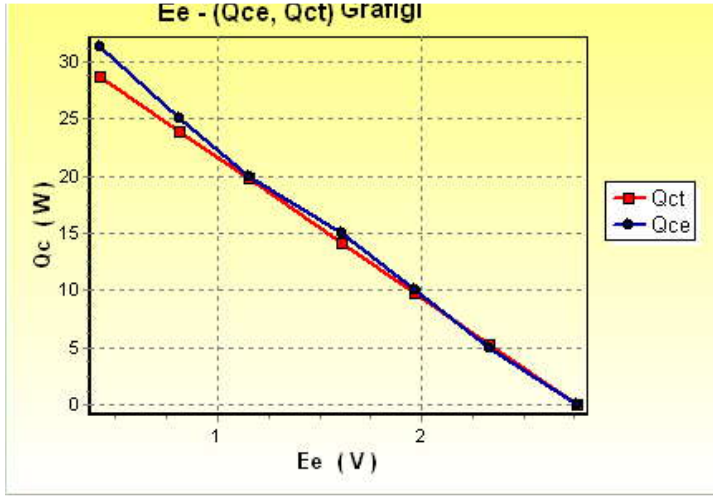
Şekil 5.6. Yeni yöntemle göre  $I_{max}$  rejimde (a)  $Q_C$  ve (b) COP'un  $\Delta T$ 'ye göre değişimi

$I_{max}$  rejimde iken, deneysel olarak doğrudan ölçülen ( $T_{CE}$ ) ve yeni yöntemle göre hesaplanan ( $T_{CT}$ ) sıcaklık değerlerinin  $E$ 'ye göre değişimlerinin birbirine çok yakın olduğu Şekil 5.7'de görülmektedir. Benzer şekilde  $I_{max}$  rejimde iken, deneysel olarak doğrudan ölçülen ( $Q_{CE}$ ) ve yeni yöntemle göre hesaplanan ( $Q_{CT}$ ) ısıl yüklerin  $E$ 'ye göre değişimlerinin birbirlerine yakın olduğu Şekil 5.8'de görülmektedir.



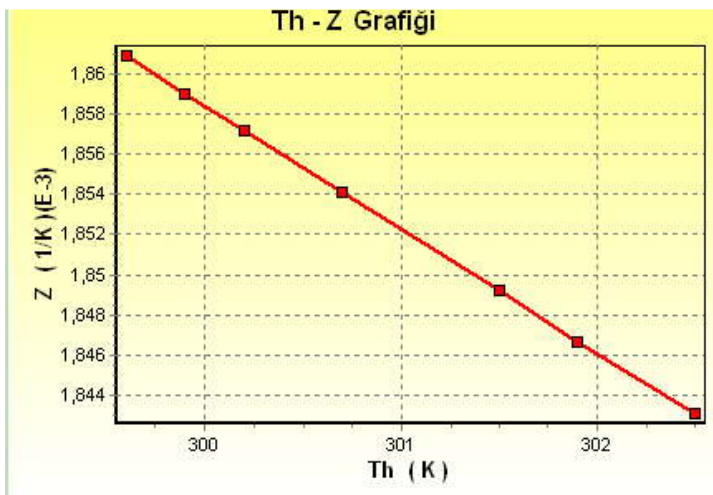
Şekil 5.7.  $I_{max}$  rejimde  $T_C$  sıcaklığının  $E$ 'ye göre değişimi



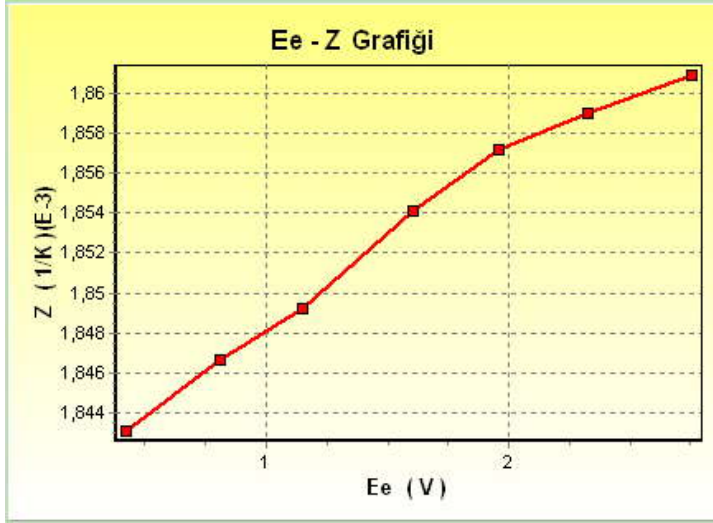


Şekil 5.8.  $I_{max}$  rejimde  $Q_C$  ısı yüklerinin  $E$ 'ye göre değişimi

Çalışan gerçek bir modülde, yarıiletkenin  $Z$  parametresinin sıcaklık arttıkça azalması gerekmektedir. Şekil 5.9'da  $I_{max}$  rejimde iken, gerçek modül için yeni yöntemle göre  $Z$ 'nin  $T_H$  sıcaklığına bağlı değişimi görülmektedir. Ölçülen  $T_H$  sıcaklık aralığında; yeni yöntemle göre hesaplanan sonuçlar bu bağlantıyı doğru yansıtmaktadır. Çalışan gerçek bir modülde, yarıiletkenin  $Z$  parametresinin de yeni yöntemle kolayca ölçülebileceğini Şekil 5.10'daki grafik açıkça göstermektedir.



Şekil 5.9.  $I_{max}$  rejiminde  $Z$ 'nin  $T_H$ 'ye göre değişimi

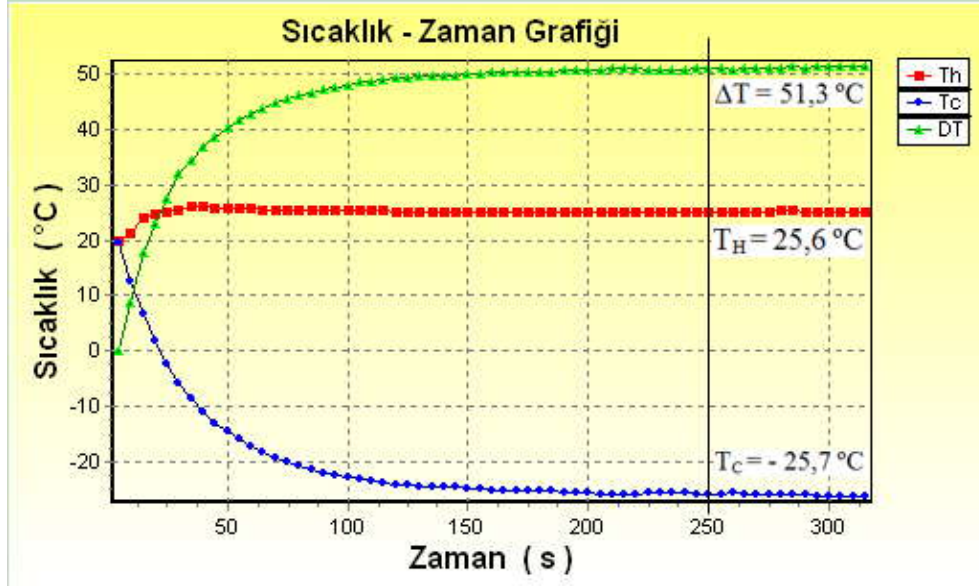


Şekil 5.10.  $I_{\max}$  rejimde  $Z$ 'nin  $E$ 'ye göre değişimi

Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.10'daki grafiklere bakıldığında  $T_C$ ,  $Q_C$  ve  $Z$ 'nin  $E$ 'ye göre neredeyse lineer değiştiği görülmektedir. Bu da gösteriyor ki; gerçek bir TE modülün bütün parametreleri,  $E$ 'yi temel alan yeni yöntemle çok büyük hassasiyetle ve kolaylıkla belirlenebilmektedir.

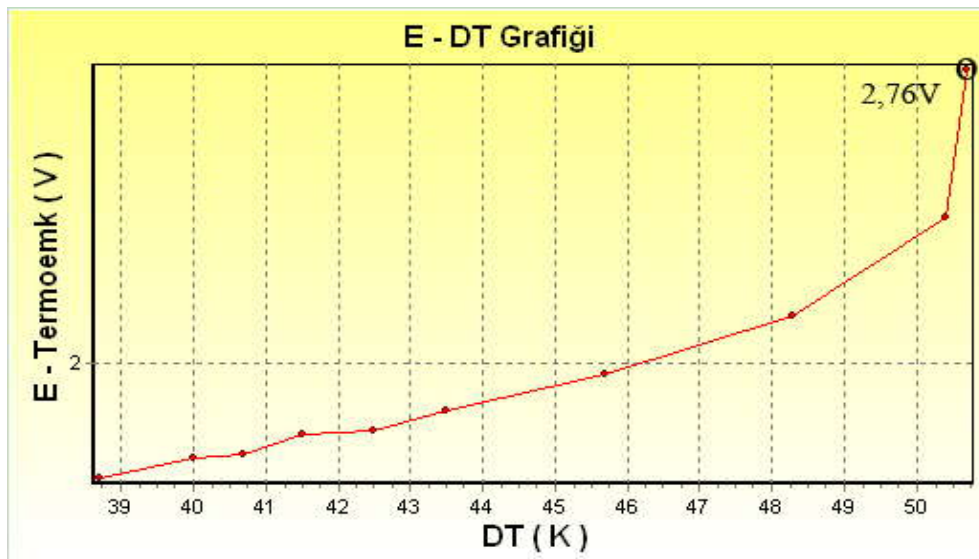
#### 5.2.4. TE modülün dinamik analizi

Bu deneysel çalışmada, öncelikle TE modüle güç verilerek sıcaklıkların ve sonrasında da gücün kesilmesiyle birlikte termoemk değerinin zamana bağlı değişimi incelenmiştir. İlk olarak TE modüle gücün uygulanmasıyla birlikte yüzeyler arasında sıcaklık farkı oluşmaya başlamış ve belirli bir süre sonunda sıcaklık dengesi sağlanarak bu sıcaklık farkı sabit bir değerde kalmıştır. Deneysel çalışmada ortam sıcaklığı  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$  iken, TE modüle  $I_{\max} = 3,83\text{ A}$  uygulanmış ve 250 sn sonra sıcaklıklar  $T_H = 25,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $T_C = -25,7\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve  $\Delta T = 51,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  olduğunda sıcaklık dengesine ulaşılarak maksimum soğutmaya geçildiği görülmüştür (Şekil 5.11).

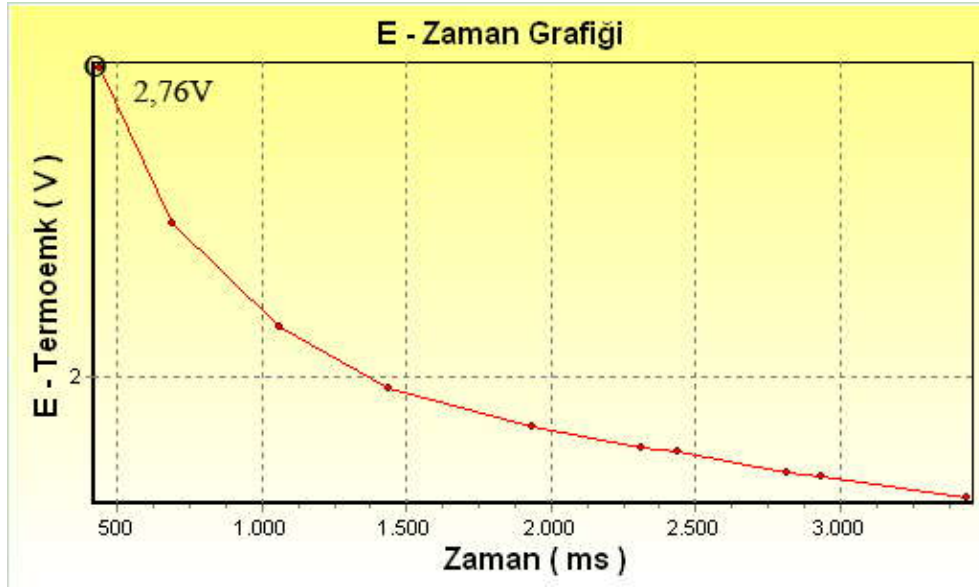


Şekil 5.11. TE modül sıcaklıklarının zamana bağlı değişimi

TE modülde üretilen termoemk değerinin zamana ve sıcaklık farkına bağlı olarak değişiminin elde edilmesi amacıyla; TE modülde sıcaklık dengesi kurulduğu anda verilen güç kesilerek zamana bağlı sıcaklık ve termoemk gerilim değerleri veritabanına kaydedilmiştir. Şekil 5.12’de  $\Delta T$  sıcaklık farkına bağlı olarak termoemk değişimi görülmektedir. TE modüle uygulanan gücün kesilmesiyle birlikte, zamana bağlı termoemk değişimi ise Şekil 5.13’te görülmektedir.



Şekil 5.12. TE modülde  $\Delta T$  sıcaklık farkına bağlı termoemk değişimi



Şekil 5.13. TE modülde zamana bağlı termoemk değişimi

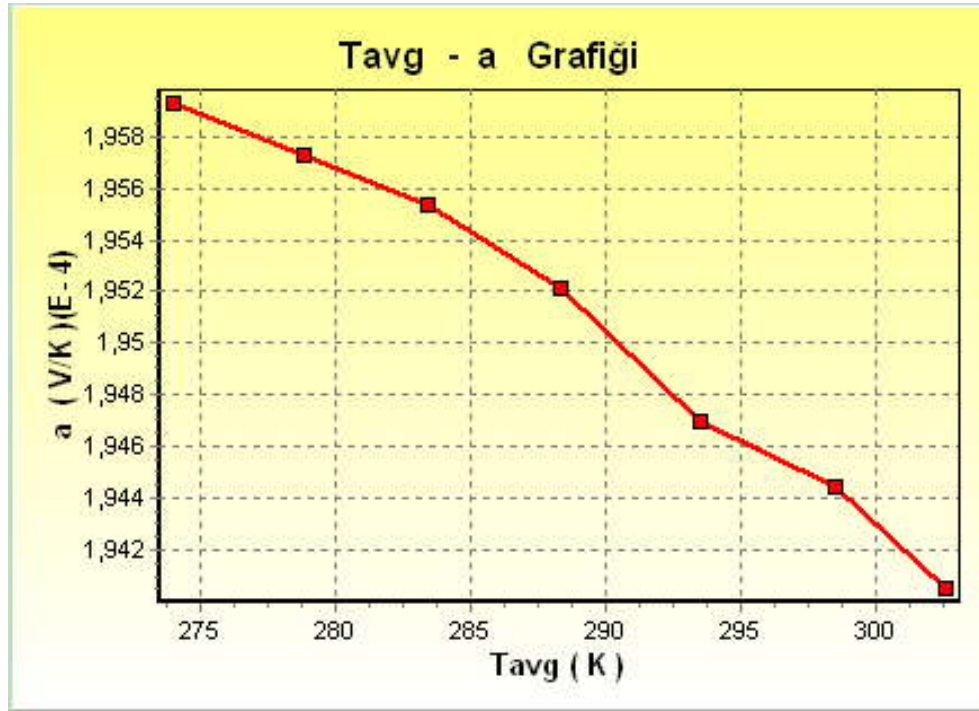
### 5.2.5. TE modülün materyal parametrelerinin belirlenmesi

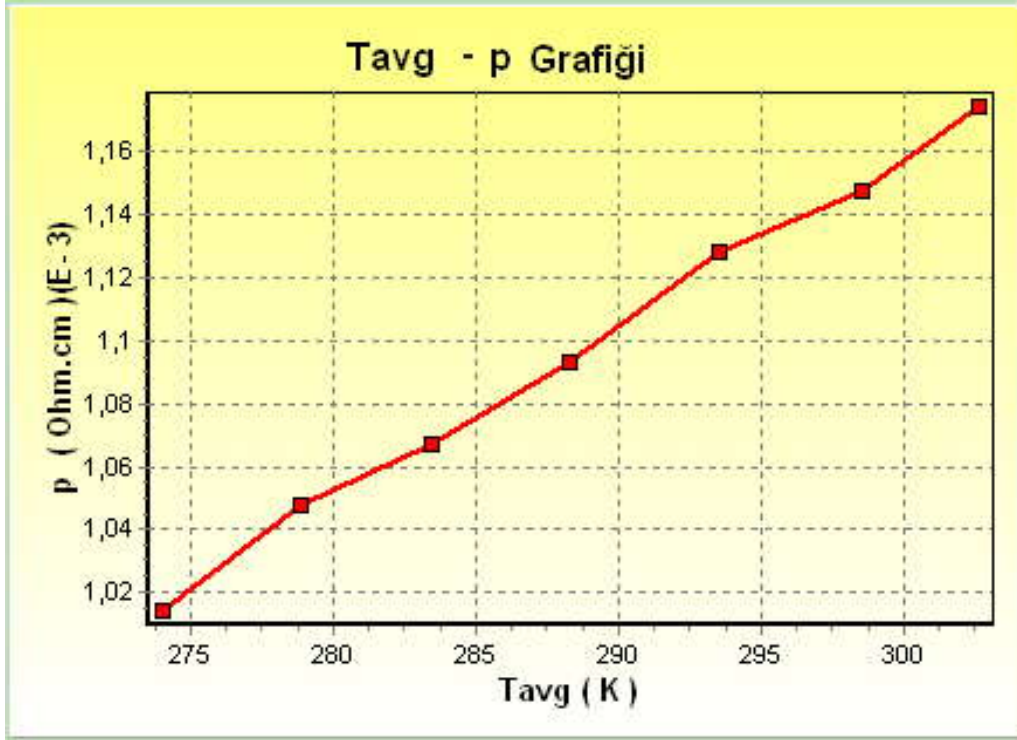
Deneysel parametreler ve ölçümlerden yararlanılarak yeni yönetime yönelik hesaplamalar (Bkz. Eş. 3.29 - Eş. 3.32) yoluyla TE modülün  $\alpha$ ,  $\rho$ ,  $k$  ve  $z$  materyal parametrelerinin elde edilmesi mümkündür. Materyal parametrelerin belirlenmesi amacıyla yazılımın başlangıç ayarlarında ilave olarak; TE modülün içerdiği termoelement sayısı ( $N$ ) 127, geometrik faktör ( $G$ ) ise 0,0786 cm olarak ayarlanmıştır.

Gerçekleştirilen deney sonucunda;  $I_{max}$  rejimde TE modülün  $\alpha$ ,  $\rho$ ,  $k$  ve  $z$  materyal parametrelerinin sıcaklığa göre değişimi Çizelge 5.11'deki gibi elde edilmiştir. Şekil 5.14 – Şekil 5.17'de ise TE modülün materyal parametrelerinin yüzeylerarası ortalama sıcaklık ( $T_{avg}$ ) değerine bağlı değişimi görülmektedir.

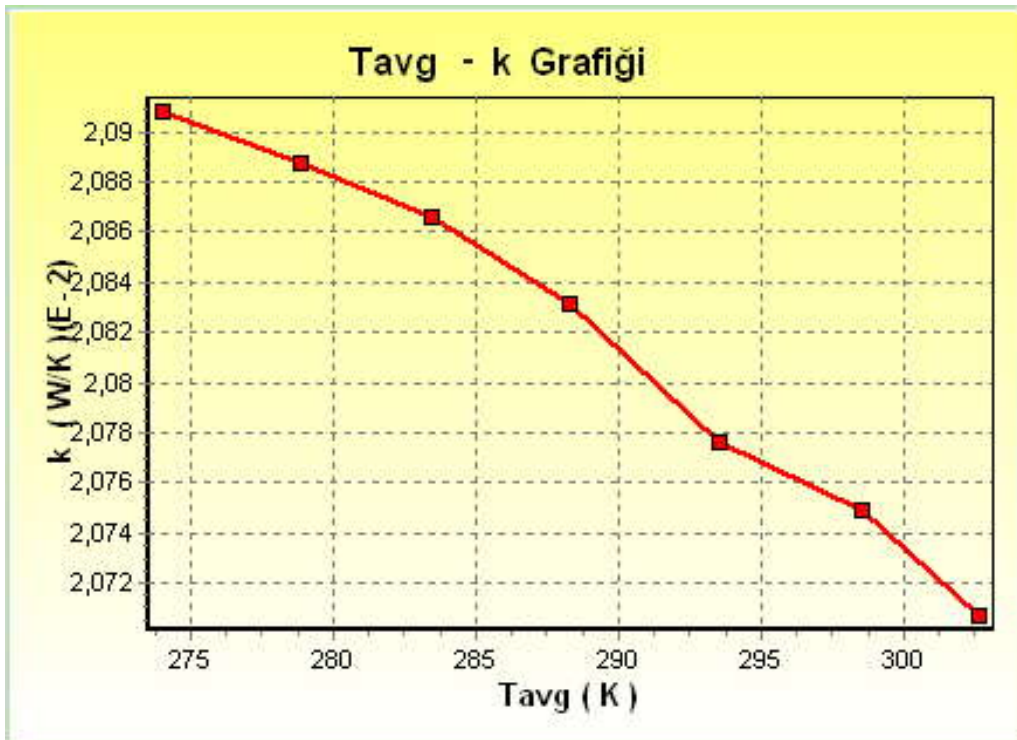
Çizelge 5.11. TE modülün materyal parametrelerinin sıcaklığa bağlı değişimi

S.N.	T <sub>H</sub> (K)	T <sub>C</sub> (K)	T <sub>avg</sub> (K)	ΔT (K)	α (V/K)(10 <sup>-4</sup> )	ρ (Ω cm)(10 <sup>-3</sup> )	k (W/K)(10 <sup>-2</sup> )	z (1/K)(10 <sup>-3</sup> )
1	299,6	248,4	246,27	51,2	1,9593	1,0143	2,0908	1,8609
2	299,9	257,7	255,37	42,2	1,9573	1,0476	2,0887	1,859
3	300,2	266,7	263,72	33,5	1,9554	1,0671	2,0866	1,8572
4	300,7	275,9	272,07	24,8	1,9521	1,0930	2,0831	1,8541
5	301,5	285,5	281,88	16,0	1,9470	1,1280	2,0776	1,8492
6	301,9	295,1	290,30	6,9	1,9444	1,1475	2,0749	1,8467
7	302,5	302,7	298,34	-0,1	1,9405	1,1743	2,0707	1,8431

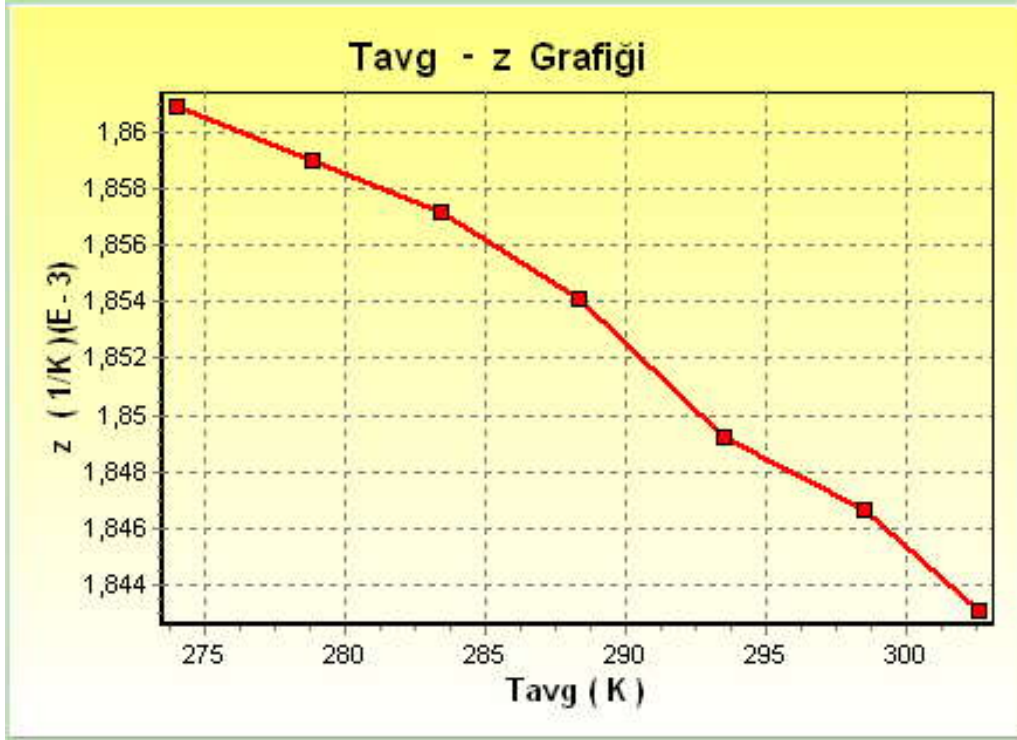
Şekil 5.14. TE modülün α materyal parametresinin T<sub>avg</sub> değerine bağlı değişimi



Şekil 5.15. TE modülün  $\rho$  materyal parametresinin  $T_{avg}$  değerine bağlı değişimi



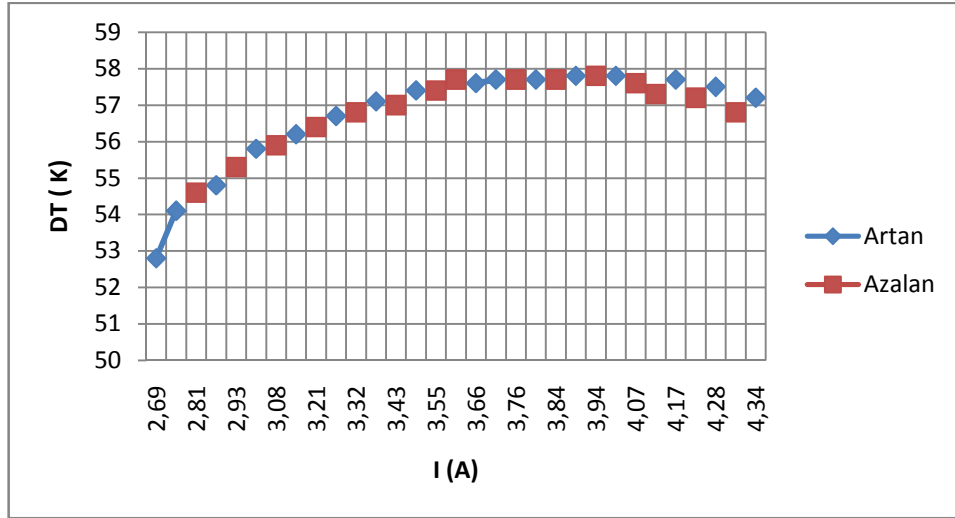
Şekil 5.16. TE modülün k materyal parametresinin  $T_{avg}$  değerine bağlı değişimi



Şekil 5.17. TE modülün z materyal parametresinin  $T_{avg}$  değerine bağlı değişimi

### 5.2.6. Akımın artan veya azalan yönde TE modüle uygulanmasına bağlı değişimlerin incelenmesi

Deneysel parametrelerin belirlenmesi amacıyla TE modüle belirlenen aralık ve adımda çeşitli akımların uygulanması gerekmektedir. Çalışmada TE modüle hem artan hem de azalan yönde olmak üzere, iki türlü akım uygulanarak deneysel çalışmalar yapılmıştır. Şekil 5.18’de artan ve azalan olarak uygulanan akıma bağlı sıcaklık farkı değişimi verilmiştir. Çizelge 5.12’de ise akımın artan ve azalan yönde uygulanmasına bağlı olarak elde edilen deneysel parametreler görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre mutlak histeresiz hatası 0,01 olarak hesaplanmış ve sıcaklık ölçüm hatasından 10 kat daha küçük olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla da TEPAS ile yapılacak test işlemlerine yönelik ölçümlerde, histeresiz hatasının ihmal edilebilirliği görülmüştür.



Şekil 5.18. Akımın artan-azalan yönde uygulanmasına bağlı  $\Delta T$  değişimleri

Çizelge 5.12. Akımın artan-azalan yönde uygulanmasına bağlı olarak CP1.4-127-10 model TE modül için elde edilen deneysel parametreler

Akım Yönü	Deneysel Parametreler ( $T_H = 35^\circ\text{C}$ 'de CP1.4-127-10 model modül için )				
	$I_{\max}$ (A)	$V_{\max}$ (V)	$E_{\max}$ (V)	$\Delta T_{\max}$ ( $^\circ\text{C}$ )	$T_H$ (K)
Artan	3,93	17,31	3,09	57,8	307,8
Azalan	3,94	17,32	3,11	57,8	307,9

### 5.2.7. Test sistemi ile elde edilen parametrelerin TE modül katalog verileri ile karşılaştırılması

Çalışma esnasında gerçek yüksüz TE modülün  $V$ ,  $\Delta T$ ,  $E$  ve  $T_H$  çıkış parametrelerinin  $I$  akımına bağlı olarak değişimi elde edilmiştir. Bu deneysel sonuçlara göre  $I_{\max}$ ,  $V_{\max}$ ,  $E_{\max}$ ,  $\Delta T_{\max}$ ,  $T_H$  ve  $T_C$  gibi karakteristikler tespit edilmiştir. Bu deneyde gerçek modülün çalışma şartlarındaki sonuçlarını elde etmek için  $T_H$  sabit tutulmamıştır.

TE modüle uygulanan akım 3,83 A iken sıcaklık farkı maksimum ( $51,3^\circ\text{C}$ ) olarak ölçülmüştür. Bu durumda teste tabi tutulan CP1.0-127-05 model standart TE modülün deneysel parametreleri;  $\Delta T_{\max} = 51,3^\circ\text{C}$  iken  $I_{\max} = 3,83\text{ A}$ ,  $V_{\max} = 14,91\text{ V}$



ve  $E_{\max} = 2,76$  V olarak belirlenmiştir. Elde edilen performans sonuçları, üreticinin katalog verileri ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 5.13).

Çizelge 5.13. CP1.0-127-05 model TE modülün  $T_H = 25$  °C'de üretici ve sistem ile elde edilen performans parametreleri

Özellik	CP1.0-127-05	
	TEPAS	Üretici Kataloğu
$\Delta T_{\max}$ ( °C )	51,30	67,00
$I_{\max}$ ( A )	3,83	3,90
$V_{\max}$ ( V )	14,91	15,40
$E_{\max}$ ( V )	2,76	-
$Q_{C\max}$ ( W )	31,75	33,40
$R$ ( $\Omega$ )	3,17	3,36

TE modülde  $T_H$  sıcaklık değeri arttıkça  $I_{\max}$  haricindeki diğer parametreler de otomatik olarak artmaktadır. TE modül için en iyi performansın elde edildiği  $I_{\max}$  değeri ise;  $T_H$  sıcaklığı ne olursa olsun her zaman sabit kalmaktadır. TE modülde  $T_H$  sıcaklık değeri arttıkça,  $\Delta T$  değeri ve buna bağlı olarak üretilen termoemk (E) değeri artmaktadır. Bu durumda  $I_{\max}$ 'ın elde edilebilmesi için TE modüle uygulanan V gerilim değerinin de artırılması gerekecektir. Yapılan çalışmada deneysel sonuçların az da olsa teorik sonuçlardan farklı olmasının nedeni olarak; test sisteminin tam deney koşullarında yapılamaması ve termoelektrik modülün tam olarak izole edilmemesi nedeniyle oluşan kayıplar gösterilebilir. Yalıtıma rağmen modüle gelen toplam ısıl yükün sıfırdan farklı olduğu söylenebilir. Bu şekilde geliştirilen yeni yöntem ile bu ısıl yükün bile ölçülmesi sağlanmış olmaktadır. Ancak test sistemi ile elde edilen bu değerler, onun gerçek şartlardaki çalışma değerleri olmaktadır.

## 6. UYGULAMALAR

Gerçekleştirilen bilgisayar kontrollü TEPAS ile Ar-Ge laboratuvarında gerçekleştirilen prototip TE soğutma sistemi ve Rat Termohipoterm sisteminin çalışma anındaki parametreleri elde edilerek performans analizleri yapılmıştır. TE sistemlerin performanslarını gösteren çeşitli çizelge ve grafikler elde edilmiştir.

### 6.1. TE Soğutma Sisteminin Performans Analizi

Bu uygulamada Ar-Ge'de Melcor CP1.4-127-10 model TE modül [41] kullanılarak geliştirilen prototip TE soğutma sisteminin TEPAS ile performans analizi yapılmıştır. Bu amaçla Resim 6.1'de görülen deney düzeneği oluşturulmuştur.



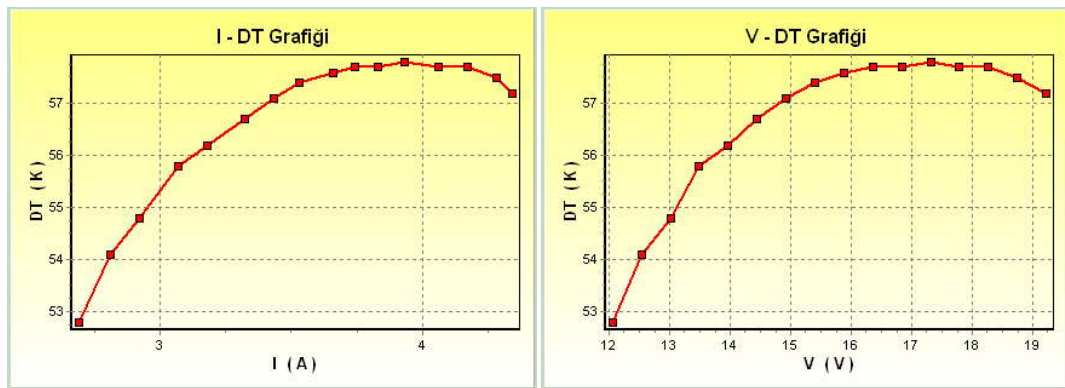
Resim 6.1. TE soğutma sistemi performans analizinin TEPAS ile yapılmasına yönelik deney düzeneği

TE soğutma sisteminin deneysel parametrelerinin elde edilmesi amacıyla; Memmert ICP 400 model 0 - 60 °C arası ayarlı soğutmalı inkübatör kullanılarak 25 °C ortam sıcaklığında ve  $T_{Cmin}$  rejimde yüksüz iken sisteme çeşitli akımlar uygulanmış ve Çizelge 6.1'deki gibi akım ve gerilime bağlı sıcaklık değişimleri elde edilerek grafikleri çizilmiştir (Şekil 6.1). TE soğutma sistemine uygulanan akım 3,93 A iken en yüksek sıcaklık farkı 57,8 °C olarak elde edilmiş ve deneysel parametreler Şekil 6.2'de görüldüğü gibi  $T_H = 34,7 \text{ °C} = 307,8 \text{ K}$  için  $V_{max} = 17,31 \text{ V}$ ,  $I_{max} = 3,93 \text{ A}$  ve  $E_{max} = 3,09 \text{ V}$  olarak bulunmuştur. TE soğutma sisteminin  $Q_{Cmax}$  rejimde akıma bağlı

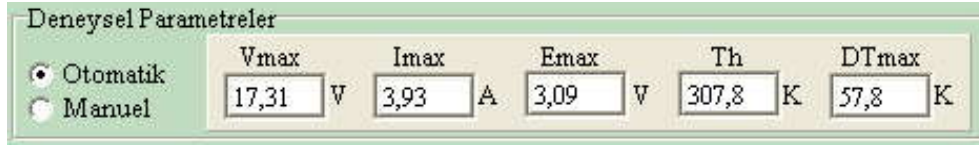
$Q_C$  ve COP çıkış parametreleri değişimi Şekil 6.3'te,  $I_{max}$  rejimde  $\Delta T$ 'ye bağlı  $Q_C$  ve COP çıkış parametreleri değişimi ise Şekil 6.4'te görülmektedir.

Çizelge 6.1.  $T_{Cmin}$  rejimde prototip TE soğutma sisteminin çıkış parametrelerinin akıma göre değişimi

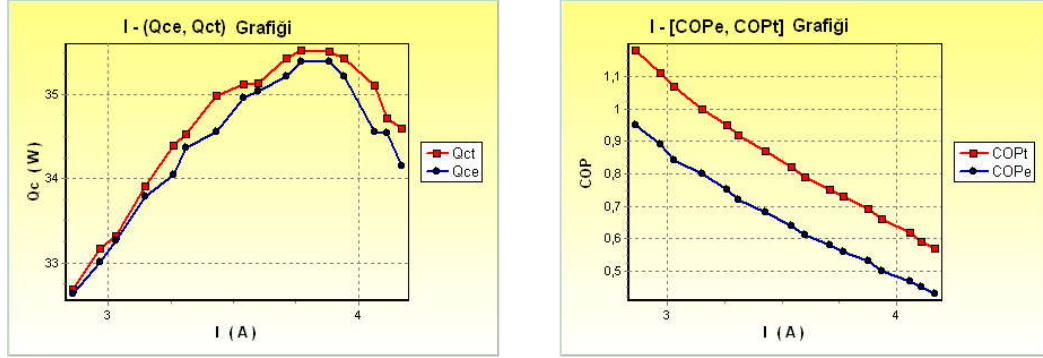
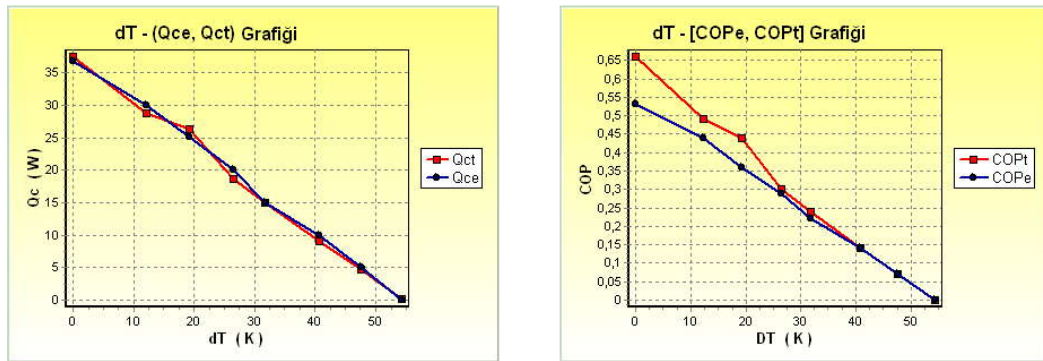
S.N.	I (A)	V (V)	$T_H$ (K)	$T_C$ (K)	$\Delta T$ (K)	E (V)
1	2,69	12,05	304,1	251,3	52,8	2,78
2	2,81	12,53	304,3	250,2	54,1	2,84
3	2,92	13,01	304,7	249,9	54,8	2,87
4	3,07	13,48	304,9	249,1	55,8	2,92
5	3,18	13,96	305,3	249,1	56,2	2,95
6	3,32	14,44	305,6	248,9	56,7	2,98
7	3,43	14,92	306,1	249	57,1	3,01
8	3,53	15,4	306,4	249	57,4	3,03
9	3,66	15,87	306,8	249,2	57,6	3,05
10	3,74	16,35	307,1	249,4	57,7	3,06
11	3,83	16,83	307,5	249,8	57,7	3,07
12	3,93	17,31	307,8	250	57,8	3,09
13	4,06	17,78	308,4	250,7	57,7	3,12
14	4,17	18,26	308,7	251	57,7	3,11
15	4,28	18,74	309,1	251,6	57,5	3,10
16	4,34	19,21	309,5	252,3	57,2	3,09



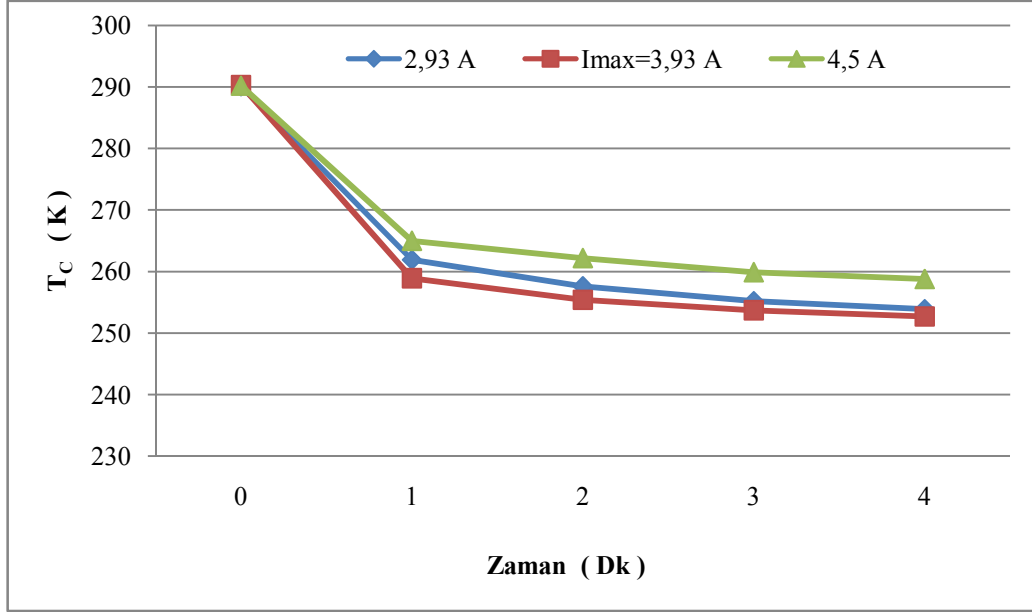
Şekil 6.1. TE soğutma sisteminin akım ve gerilime bağlı sıcaklık değişimleri



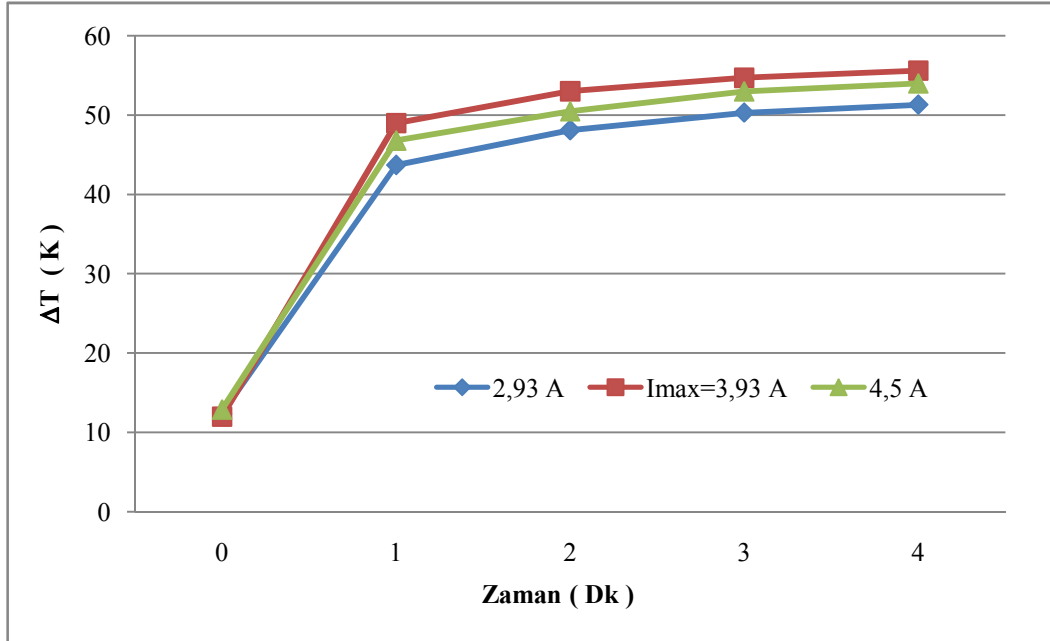
Şekil 6.2. TE soğutma sisteminin deneysel parametreleri

Şekil 6.3. TE soğutma sisteminin  $Q_{Cmax}$  rejimdeki (a)  $Q_C$  ve (b) COP'un  $I$ 'ya göre değişimiŞekil 6.4. TE soğutma sisteminin  $I_{max}$  rejimde (a)  $Q_C$  ve (b) COP'un  $\Delta T$ 'ye göre değişimi

Deneysel çalışmada, prototip TE soğutma sisteminin  $I_{max}$  ve çeşitli akım değerleri için zamana bağlı sıcaklık değişimleri incelenerek, dinamik analizi yapılmıştır. Farklı akımlar için; zamana bağlı  $T_C$  ve  $\Delta T$  değişim grafikleri Şekil 6.5'de, ilk 4 dakika için hesaplanan ortalama soğutma hızları ise Şekil 6.6'daki gibi elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Rat termohipoterm sistemine uygulanan akım  $I_{max} = 3,93$  A iken soğutmanın en iyi olduğu görülmektedir.

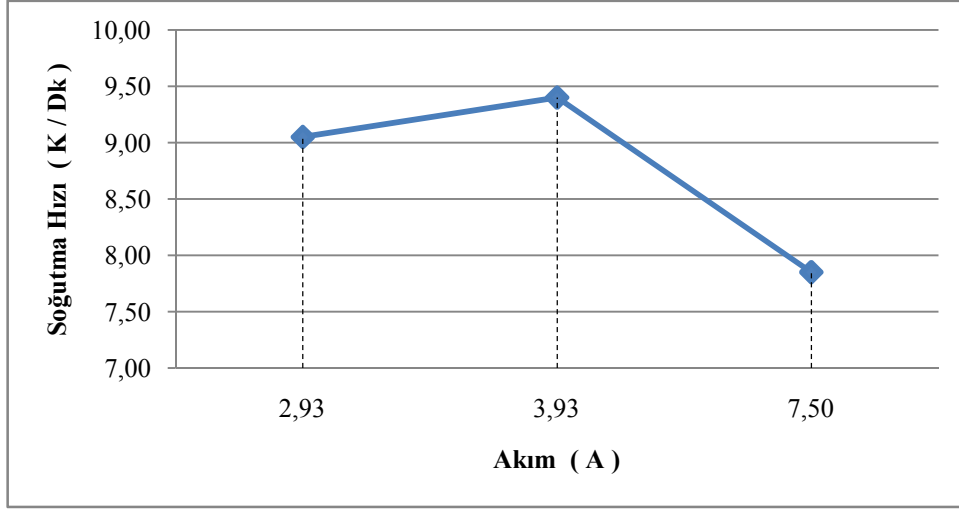


(a)



(b)

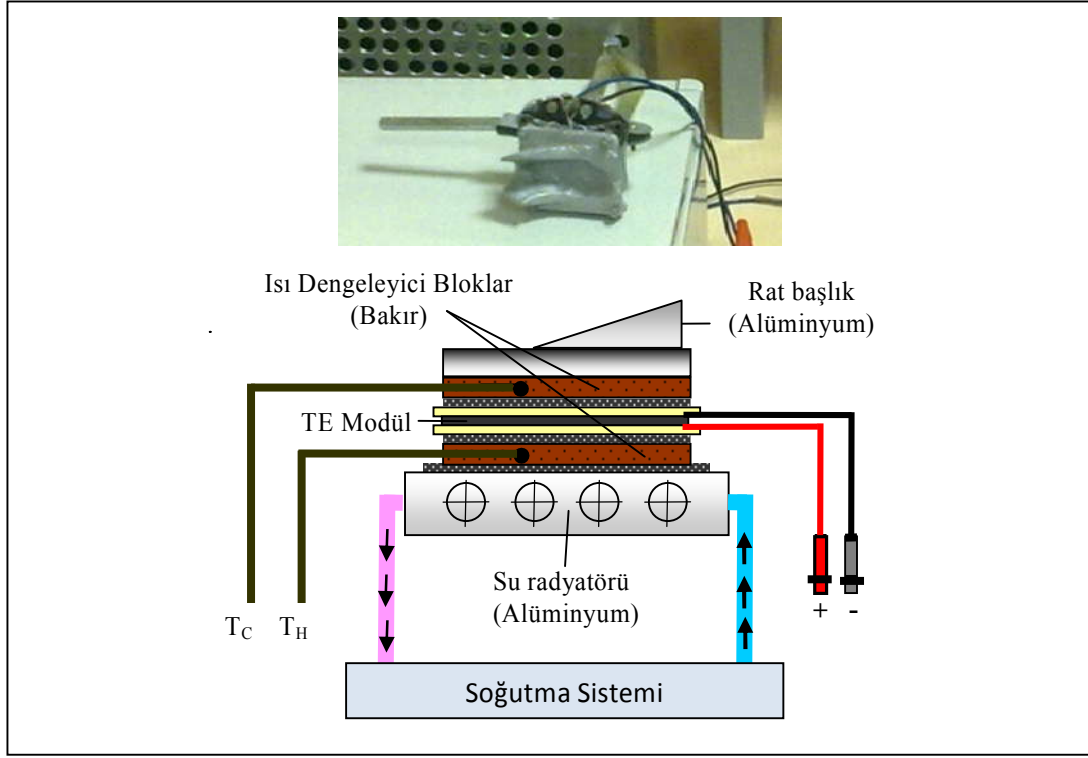
Şekil 6.5. Prototip TE soğutma sisteminin çeşitli akımlar için zamana bağlı (a)  $T_C$  ve (b)  $\Delta T$  sıcaklık değişimleri



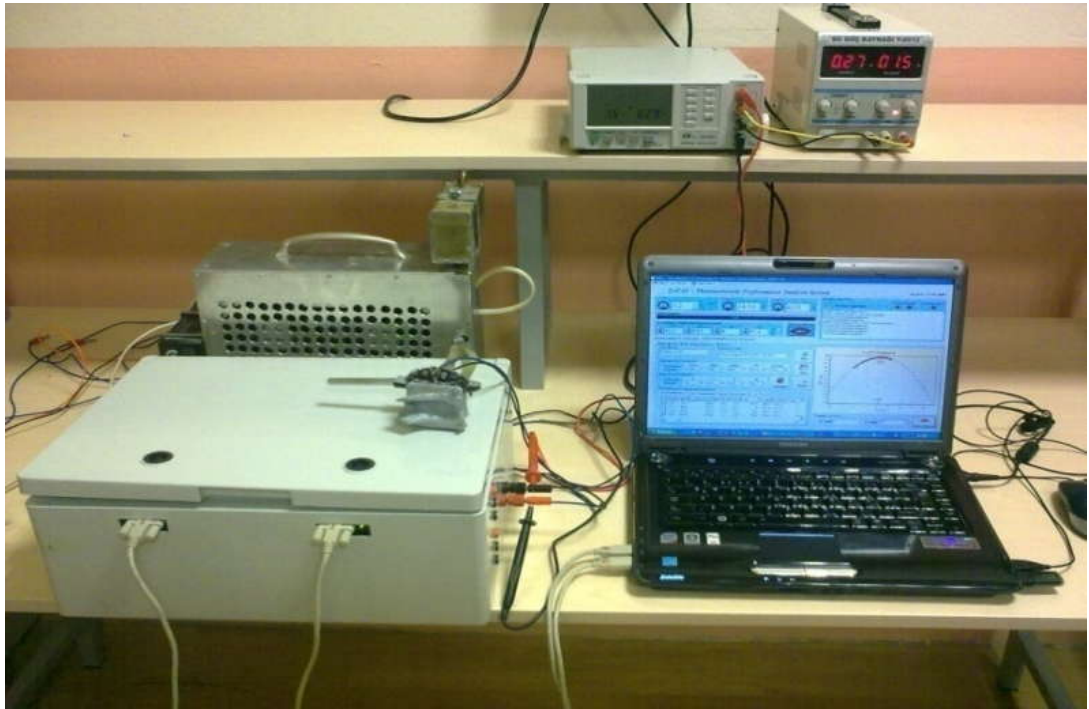
Şekil 6.6. Prototip TE soğutma sisteminin çeşitli akımlar için soğutma hızları

## 6.2. Rat Termohipoterm Sisteminin Performans Analizi

Günümüzde beyin travmalarına yönelik tedavide özellikle hiçbir komplikasyon meydana getirmeyen lokal Serebral Hipotermiya yöntemi üzerinde çeşitli araştırmalar yapılmaktadır [94]. Bu yöntemde beyin sıcaklığının 20-30 °C'ye kadar düşürülmesi sağlanmaktadır. Bu sayede komplikasyon oluşmamakta ve travma sonrası oluşan ölümcül etkilerden korunulmuş olunmaktadır. Bu amaçla Gazi Üniversitesi Ar-Ge laboratuvarlarında lokal Serebral Hipotermiya yöntemi ile beyin korumasına yönelik HB model TEC1-7105 model TE modül [53] kullanılarak Rat termohipoterm sistemi geliştirilmiştir. Şekil 6.7'de Rat termohipoterm sisteminin fotoğrafı ve kesit görünümü verilmiştir. Bu uygulamada TEPAS ile Rat termohipoterm sisteminin performans analizinin yapılabilmesi amacıyla Resim 6.2'de görülen deney düzeneği oluşturulmuştur.



Şekil 6.7. Rat Termohipoterm sistemi

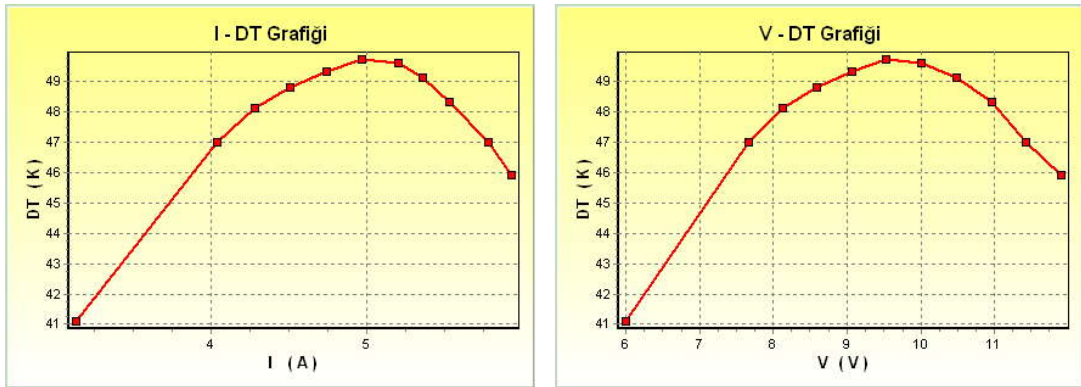


Resim 6.2. Rat Termohipoterm sistemi performans analizinin TEPAS ile yapılmasına yönelik deney düzeneği

Rat termohipoterm sisteminin deneysel parametrelerinin elde edilmesi amacıyla  $T_{Cmin}$  rejimde yüksüz iken sisteme çeşitli akımlar uygulanmış ve Çizelge 6.2'deki gibi akım ve gerilime bağlı sıcaklık değişimleri elde edilerek grafikleri çizilmiştir (Şekil 6.8). Rat termohipoterm sistemine uygulanan akım 4,97 A iken en yüksek sıcaklık farkı 49,7 °C olarak elde edilmiş ve deneysel parametreler Şekil 6.9'da görüldüğü gibi  $T_H = 38,7 \text{ °C} = 311,8 \text{ K}$  için  $V_{max} = 9,53 \text{ V}$ ,  $I_{max} = 4,97 \text{ V}$  ve  $E_{max} = 1,68 \text{ V}$  olarak bulunmuştur.

Çizelge 6.2.  $T_{Cmin}$  rejimde, Rat termohipoterm sisteminin çıkış parametrelerinin akım ve gerilime göre değişimi

I (A)	V (V)	$T_H$ (K)	$T_C$ (K)	$\Delta T$ (K)	E (V)
3,13	6,00	304,8	263,7	41,1	1,28
4,04	7,66	307,7	260,7	47,0	1,52
4,28	8,13	308,6	260,5	48,1	1,50
4,51	8,59	309,4	260,6	48,8	1,62
4,74	9,07	310,6	261,3	49,3	1,66
4,97	9,53	311,8	262,1	49,7	1,68
5,20	10,01	313,0	263,4	49,6	1,73
5,36	10,49	314,3	265,2	49,1	1,75
5,53	10,96	315,4	267,1	48,3	1,74
5,78	11,43	316,2	269,2	47,0	1,77
5,93	11,9	317,1	271,2	45,9	1,81



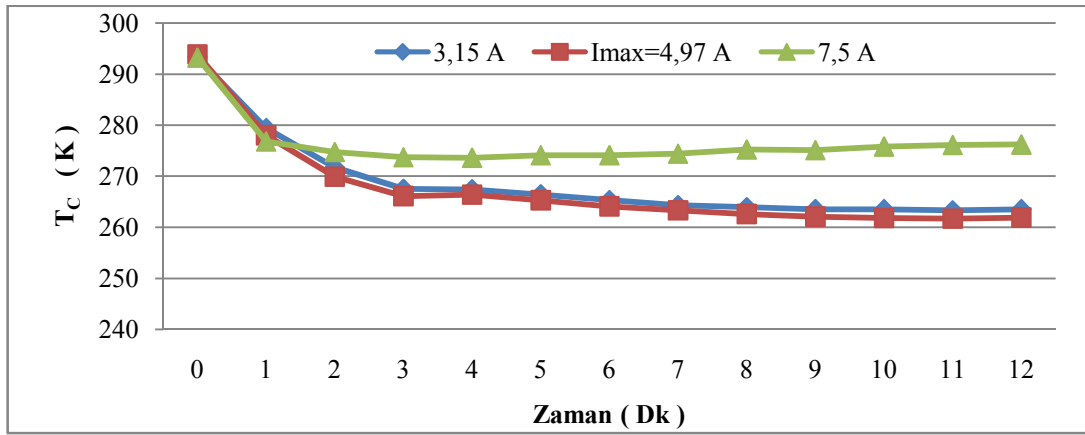
Şekil 6.8. Rat termohipoterm sisteminin akım ve gerilime bağlı sıcaklık değişimleri



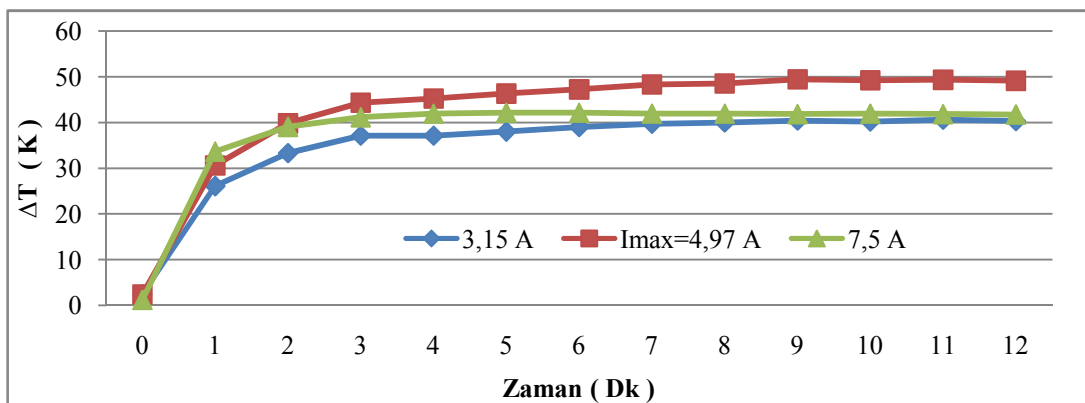
Deneysel Parametreler					
<input checked="" type="radio"/> Otomatik	V <sub>max</sub>	I <sub>max</sub>	E <sub>max</sub>	Th	DT <sub>max</sub>
<input type="radio"/> Manuel	9,53 V	4,97 A	1,68 V	311,8 K	49,7 K

Şekil 6.9. Rat termohipoterm sisteminin deneysel parametreleri

Deneysel çalışmada, zamana bağlı sıcaklık değişimlerinin incelenmesi amacıyla Rat termohipoterm sisteminin dinamik analizi yapılmıştır. Bu amaçla Rat termohipoterm sistemi soğutma modunda çalıştırılarak  $I_{max}$  ve çeşitli akım değerleri için zamana bağlı sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Farklı akımlar için; zamana bağlı  $T_C$  ve  $\Delta T$  değişim grafikleri Şekil 6.10'da görülmektedir.



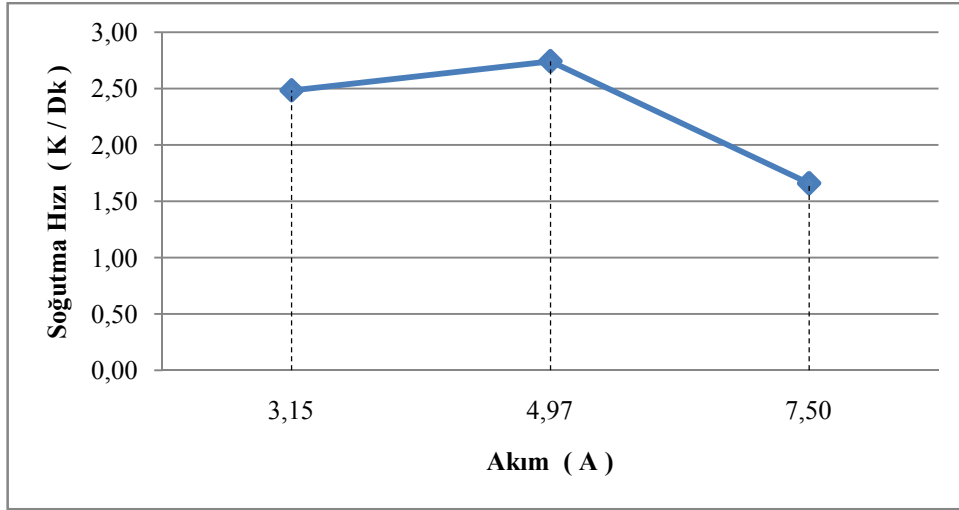
(a)



(b)

Şekil 6.10. Rat termohipoterm sisteminin çeşitli akımlar için zamana bağlı (a)  $T_C$  ve (b)  $\Delta T$  sıcaklık değişimleri

Çalışmada ayrıca Rat termohipoterm sistemine uygulanan çeşitli akımlar için, sıcaklık dengesinin elde edildiği ilk 12 dakikadaki hesaplanan ortalama soğutma hızları Şekil 6.11'deki gibi elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Rat termohipoterm sistemine uygulanan akım  $I_{\max} = 4,97$  A iken soğutmanın en iyi olduğu görülmektedir. Gerçekleştirilen deneyde 12 dakika sonra sıcaklık dengesi sağlanmış ve  $T_C$  soğuyan yüzey sıcaklığı  $21,65$  °C'den  $-11,25$  °C'ye kadar düşmüştür. Bu durumda  $T_H = 38,85$  °C,  $T_C = -10,85$  °C ve  $\Delta T = 49,7$  °C olarak tespit edilmiştir.



Şekil 6.11. Rat termohipoterm sisteminin çeşitli akımlar için soğutma hızları

### 6.3. TE Modül ve TE Sistem Parametrelerinin Karşılaştırılması

Rat Termohipoterm ve TE soğutma sisteminin TEPAS ile elde edilen parametreleri, bu sistemlerde kullanılan sırasıyla CP1.4-127-10 ve TEC1-12705 model TE modüllerin üretici katalog verileri ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 6.3). Burada görülüyor ki; TE modüllerin gerçek çalışma şartlarında parametreleri değişmektedir. Bu değişim; TE sistemin tasarımı ve yalıtımı, ısı transfer sisteminin performansı ve ayrıca TE modülün yarıiletken parametrelerinin gerçek şartlarda farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 6.3. TE modül ile TE sistem parametrelerinin karşılaştırılması

Özellik	TE Soğutma Sistemi (CP1.4-127-10)		RAT Termohipoterm Sistemi (TEC1-12705)	
	TEPAS	Üretici Kataloğu	TEPAS	Üretici Kataloğu
$\Delta T_{\max}$ ( °C )	57,8	68	49,7	66
$I_{\max}$ ( A )	3,93	3,9	4,97	5,3
$V_{\max}$ ( V )	17,31	15,40	9,53	14,2
$E_{\max}$ ( V )	3,09	-	1,68	-
$Q_{C\max}$ ( W )	31,5	33,40	37,5	43
$R$ ( $\Omega$ )	3,45	3,44	1,58	2,40

## 7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, gerçek TE modül ve sistemlerin çalışma anındaki ısı ve elektriksel çıkış parametrelerinin araştırılabilmesi ve performans analizlerinin yapılabilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda TE modülün çektiği akım (I), uçlarında düşen gerilim (V), ürettiği termoemk (E) ve herhangi bir yüzeyindeki sıcaklık ( $T_H$  veya  $T_C$ ) gibi kolaylıkla ölçülebilen parametrelere dayalı AHISKA'nın yeni yöntemini [18-26] temel alan yazılım ve donanımdan oluşan bilgisayar kontrollü bir test sistemi tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.

Sistem donanımı temelde USB tabanlı çok fonksiyonlu DA&C modülü olmak üzere sisteme yönelik akım, gerilim ve sıcaklık ölçümleri ile sistem kontrolü amaçlı uygunlaştırıcı devrelerden oluşmaktadır. Tasarımda 16 bit çözünürlüğe sahip USB-4718 termokupl girişli ve USB-4716 çok fonksiyonlu DA&C modüller kullanılarak ölçüm ve kontrol verilerinin düzenlenmesi sağlanmıştır. Test sisteminde TE modül H-Köprü yöntemi kullanılarak iki yönlü sürülerek soğutma ve ısıtma modunda çalışması sağlanmıştır. TE modüle güç sağlamak amacıyla da MainWell SCP 800-24 model 1-5 V DC harici gerilim kontrol girişi ile çıkış gerilimi % 20-100 arasında ayarlanabilen, 24 V DC 33 A 800 W gücünde verimi % 88, regülasyonu %  $\pm 0,5$  olan SMPS kullanılmıştır.

Tez çalışmasında; TE modül ve sistemlerin ısı ve elektriksel çıkış parametrelerinin elde edilmesini sağlayan yeni yöntemin bilgisayar kontrollü TEPAS'ta kullanılabilmesi için gerekli çeşitli algoritmalar geliştirilmiştir. Bu algoritmalar sayesinde;

- Sıcaklık dengesinin belirlenmesi,
- TE modülün deneysel ve çıkış parametrelerin elde edilmesi,
- TE modüllerin termoemk (E) değerlerinin elde edilmesi,
- TE modül akımının kontrol edilmesi

işlemlerinin yapılması mümkün olmaktadır. Bu algoritmalar temel alınarak, herhangi bir yazılım geliştirme ortamında TE modül ve sistemlerin performans analizinin yapılmasına yönelik yazılımlar kolaylıkla geliştirilebilir.

Geliştirilen yeni yönteme bağlı olarak, TE modülün termoemk değerinin ölçülmesi işlemi, sıcaklık dengesinin sağlanması durumunda gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen yazılım ile  $T_H$  ve  $T_C$  sıcaklıklarına bağlı olarak sıcaklık dengesinin sağlandığının belirlenmesi işlemi;

- Sadece  $\Delta T$ ,
- Sadece  $T_H$ ,
- Hem  $\Delta T$  hem de  $T_H$

parametreleri dikkate alınarak üç ayrı şekilde yapılabilmektedir.

Test sisteminde, Parabol denklemlerinden yararlanılarak iki farklı yöntemde olmak üzere deneysel parametrelerin elde edilmesi mümkündür. Birinci kullanım şeklinde, Parabol denklemlerinden yararlanılarak sadece 3 nokta ölçümü ile TE modülün performans eğrisinin ve tepe noktasının matematiksel olarak elde edilmesi de mümkün olmaktadır. İkinci kullanım şeklinde ise; normal ölçümler sonrasında ‘Parabol Çiz’ 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.

Geliştirilen TEPAS’ta ölçme ve kontrol işlemi bilgisayar tabanlı olarak yapıldığından sistem yazılımı büyük önem taşımaktadır. Sistem yazılımı, performans analizinin manuel veya otomatik yapılmasına yönelik kullanıcı arayüzü ve kontrol yazılımından oluşmaktadır. Sisteme yönelik kontrol ve arayüz yazılımı, Delphi görsel programlama yazılım geliştirme aracı kullanılarak kullanımı kolay, etkili ve açık bir grafik arayüze sahip kullanıcı dostu olacak şekilde geliştirilmiş ve animasyonla desteklenmiştir. Ayrıca yazılım içerisinde yeni yönteme yönelik formüller, fonksiyonel altyordamlar halinde kodlanarak kütüphane oluşturulmuştur [86, 87].

Hem sıcaklık, akım ve gerilim değerlerinin ölçülmesi hem de gerekli kontrol işlemleri için USB tabanlı DA&C modüllerinin analog giriş-çıkış, dijital giriş-çıkış ve termokupl giriş kanalları kullanılmaktadır. Yazılımda sistem donanımı ile haberleşmenin kurulması, gerekli ölçüm ve kontrol işlemlerinin yapılması amacıyla; USB tabanlı DA&C modülleri için üretici firma tarafından sunulan ActiveX denetimlerine ilişkin özellik, olay ve metotlardan yararlanılmıştır [76, 77, 88].

Sisteme yönelik konfigürasyon bilgilerinin yanı sıra ölçüm, hesaplama ve kontrol verilerinin organize edilerek tutulması amacıyla ilişkisel veri modeli (RDM-Relational Data Model) kullanılmıştır. Arayüz yazılımına gömülü SQL sorgularıyla veritabanına erişim sağlanarak ilgili tablolar oluşturulup düzenlenebilmekte ve performans analizine yönelik istatistiksel veriler elde edilerek gerekli incelemeler yapılabilmektedir. Ayrıca SQL sorgularıyla deneylerin kaydedilmesi, silinmesi ve çağırılması da mümkün olmaktadır. Geliştirilen sistem yazılımı sayesinde, konfigürasyon bilgilerinin yanı sıra test işlemine yönelik DA&C modülü üzerinden alınarak elde edilen akım, gerilim ve sıcaklık verilerinden oluşan ölçüm verileri ve ilgili parametreler kullanıcı tarafından belirlenen periyot ile gerçek zamanlı olarak veritabanına kaydedilmektedir [89, 90].

TE modüllere yönelik performans analiz işleminin manuel veya otomatik olarak yapılması sağlanmıştır. İstenildiğinde manuel olarak girilen karakteristik değerler için hesaplamalar yapmak mümkün olmaktadır. Ayrıca ölçümlere yönelik eşzamanlı ve eşzamansız grafiklerin elde edilmesi sağlanmıştır. İstenen X ve Y seçimine bağlı olarak değişik ilişkilendirmelere dayanan grafiklerin elde edilmesi mümkün olmaktadır. Yazılım sayesinde, gerçekleştirilen test işlemlerine yönelik olarak incelemelerin yapılması, grafik destekli raporların oluşturulması ve istenildiğinde deney verilerinin Excel ortamına aktarılması mümkün olmaktadır.

TE modüller için belirli çalışma kriterleri mevcuttur. Bunların içinde en önemlileri çalışma sıcaklığı, akım ve gerilim değerleridir. Bu amaçla sistemde yazılımsal olarak; çalışma şartlarından veya kullanıcı tanımlamalarından kaynaklanacak aşırı ısınma ve aşırı akıma yönelik koruma özelliği geliştirilmiştir. Ayrıca TE modülde açığa çıkan ısının sistemden uzaklaştırılması amacıyla kullanılan soğutma sisteminin

çalışıp çalışmama durumunun kontrolünün yapılması ve eğer çalışıyorlarsa test işlemine devam edilmesi durumu sağlanabilmektedir.

Sıcaklık ölçmelerinde T, K, J gibi çeşitli termokuplların kullanılabilmesi amacıyla, yazılımda gerekli altyapı oluşturulmuştur. Ayrıca ölçülen sıcaklıkların kullanıcı seçimine bağlı olarak K veya °C biriminde gösterilmesi de mümkün kılınmıştır.

TE modüllerin yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkının maksimum olması gerektiğinden, aralarındaki boşluklar ısı yalıtımına tabi tutulmuştur. Bu durumda ısıtıcı bloktan gelen ısı, sadece TE modüller üzerinde yayılabilmektedir. Ayrıca TE modüllerin ısıtıcı blok ve soğutucu blok yüzeylerine termal temaslarını pekiştirmek için temas yüzeyleri arasına ısı iletim pastası sürülmüştür.

Geliştirilen sistemin temelinde, ölçmeye dayalı yeni bir yöntem yer almaktadır. Bu yöntemde sıcaklık, akım ve gerilim değerleri ölçülerek elde edilen veriler matematiksel formüllere uygulanmaktadır. Bu açıdan doğruluğun korunması amacıyla ölçüm sistemi ve kalibrasyon işlemi büyük önem taşımaktadır. Tasarlanan ve gerçekleştirilen sistemin kalibrasyonu amacıyla, ölçülen değerler Fluke 725 model çok fonksiyonlu kalibrasyon cihazı ile elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sisteme ayrıca yazılımsal olarak kalibrasyon özelliği de kazandırılmıştır. Bu sayede istenen analog/termokupl kanal için hem ofset hem de oransal olarak düzeltme yapılabilmektedir. Ayrıca ölçme işlemlerine yönelik güvenilirlik için; ölçümler tekrarlanarak, ortalama alma yöntemi kullanılmıştır. Bu amaçla yazılımın ayarlar bölümünde ortalamaya girecek ölçüm adedinin kullanıcı tarafından belirlenebilmesi özelliği geliştirilmiştir. Bilgisayar kontrollü TEPAS'ın gerçekleştirilen performans testleri sonucunda; bilgisayar tabanlı olarak DA&C modül üzerinden 0~24 V gerilim, 0~10 A akım ve -35 °C ~ 70 °C arası sıcaklık ölçümünün sırasıyla  $\pm 0,01$  V,  $\pm 0,01$  A ve  $\pm 0,1$  °C doğrulukta yapılabileceği anlaşılmıştır.

Tasarlanan ve gerçekleştirilen sistemin performansının belirlenmesi amacıyla mevcut karakteristikleri bilinen Melcor CP1.0-127-05, CP1.4-127-10 ve HB TEC1-12705 model standart TE modüller kullanılarak deneysel çalışmalar yapılmıştır [40, 53]. CP1.0-127-05 model TE modülün 18 °C – 20 °C oda sıcaklığında  $T_{Cmin}$ ,  $Q_{Cmax}$  ve

$I_{max}$  rejimlerinde tüm çıkış parametreleri elde edilmiştir. Test sisteminden elde edilen sonuçlar ile TE modülün katalog verilerinin birbiriyle uyduğu görülmüştür. İkinci uygulamada CP1.4-127-10 model TE modül içeren soğutma sisteminin, üçüncü uygulamada ise TEC1-12705 model TE modülün kullanıldığı Rat Termohipoterm sisteminin TEPAS ile performans analizleri yapılmıştır. Üç farklı TE modül için elde edilen çıkış parametrelerinin, katalog parametrelerine yakın değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Farklılıkların sebebi TE modüllerin gerçek çalışma şartlarında parametrelerinin değişmesidir. Bu değişim; TE sistemin tasarımı ve yalıtımı, ısı transfer sisteminin performansı ve ayrıca TE modülün yarıiletken parametrelerinin gerçek şartlarda farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır.

Gerçekleştirilen performans analiz sistemi ileriye dönük olarak geliştirilebilir. Sistemde yüklü ölçümler yapabilmek amacıyla TE modülün soğuk yüzeyine ısıtıcı yerleştirilmiştir. Isıtıcıya manuel olarak dışarıdan uygulanan güç ile TE modüle çeşitli ısı yüklerinin uygulanması sağlanmaktadır. Bu açıdan sistemde ısıtıcı kontrolünün de sistem içerisine alınarak yazılım ile yapılması, sistemin pratikliğini arttıracak ve test işlemlerinin daha kolay ve hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi sağlanabilecektir. Sistemde kullanılan SMPS çıkışının %20'nin altına indirilmesine yönelik çalışmalar ile TE modüle daha düşük gerilimlerin uygulanabilmesi sağlanabilecek, dolayısıyla da daha düşük güçteki TE modüllerin testinin yapılabilmesi mümkün olabilecektir. Ayrıca sistem yazılımının dinamik analiz bölümünde ilave değişikliklerin yapılmasıyla; TE modüllerin zaman sabitinin ( $\tau$ ) doğrudan ölçülmesi, teorik olarak hesaplanması ve gerekli incelemelerin yapılması mümkün olabilecektir.

Sonuç olarak; gerçekleştirilen yeni sistemde deneysel ve teorik olarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve yeni yöntemin uygulanabilirliği ortaya çıkarılmıştır. TE performans analiz sistemi sayesinde, TE modül ve sistemlere yönelik çalışma anındaki gerçek çıkış parametrelerinin TE yarıiletkenin materyal parametrelerine gerek kalmadan belirlenmesi işlemlerinin pratik, hızlı ve güvenilir bir şekilde yapılabileceği anlaşılmıştır.



## KAYNAKLAR

1. Ioffe, A. F., “Semiconductor Thermoelements”, *Moskov Press*, 10-30 (1960).
2. Anatyshuk, L. I., “Thermoelements and Thermoelectric Devices”, *Kiev Press*, 151-159 (1979).
3. Rowe, D. M., “CRC Handbook of Thermoelectrics”, *CRC Press*, 143-189 (1995).
4. Sharp, J., Goldsmid, H. J., Nolas, G., Goldsmid, J., “Principles of thermoelectric: basics and new materials development”, *Springer Series in Materials Science*, 300-315 (2001).
5. Kraftmakher, Y., “Simple experiments with a thermoelectric module”, *European Journal of Physics*, 26 : 959-967 (2005).
6. Riffat, S. B., Ma, X., “Thermoelectrics: a review of present and potential applications”, *Applied Thermal Engineering*, 23(8): 913–935 (2003).
7. Ahıska, R., Güler, N. F., Savaş, Y., “Termoelektrik soğutucusunun özelliklerinin araştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 2 (3): 89-94 (1999).
8. Harman, T. C., “Special techniques for measurement of thermoelectric properties”, *J. Appl. Phys.*, 29 : 1373-1379 (1958).
9. Ioffe, A. F., “Polucenie holoda poluprovodnikovie termoelementi”, Ed.: Gulteif, P. V., *Moskov Pres.*, Moskov, 56-64 (1960).
10. Heylen, A. E. D., “Figure of merit determination of thermoelectric modules”, *Energy Conversion*, 15 : 65-70 (1975).
11. Buist, R. J., “Methodology for Testing Thermoelectric Materials and Devices”, CRC Handbook of Thermoelectrics, Ed.: Rowe, D. M., *CRC Pres. Inc*, Florida, 189-209 (1995).
12. Min, G., Rowe, D. M., “A novel principle allowing rapid and accurate measurement of a dimensionless thermoelectric figure of merit”, *Meas. Sci. Technol.*, 12 : 1261-1262 (2001).
13. Summasekera, G. U., Grigorian, L. and Eklund, P. C., “Low-temperature thermoelectrical power measurement using analogue subtraction”, *Meas. Sci. Technol.*, 11 : 273-277 (2000).
14. Goldsmid, H. J., “A simple technique for determining the seebeck coefficient of thermoelectric materials”, *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 19 : 921-922 (1986).

15. Waclawek, W., Zabkowska, M., "Apparatus for the measurement of thermoelectrical properties", *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 14 : 18-620 (1981).
16. Crueq, A., Degols, L., "A new method for the measurement of the thermoelectric power of sintered semiconductors", *Journal of Physics E: Scientific Instruments*, 5 : 81-83 (1972).
17. Buist, R. J., "A new method for testing thermoelectric materials and devices", *11th International Conference on Thermoelectrics*, Texas, (1992).
18. Ahıska, R., Ahıska, K., "New method for investigation of parameters of real thermoelectric modules", *Energy Conversion and Management*, 51 : 338-345 (2010).
19. R. Ahıska, G. Ahıska, K. Ahıska, "Analysis of a new method for measurement of parameters of real thermoelectric module employed in medical cooler for renal hypothermia", *Instrumentation Science & Technology*, 37 (1) : 102-123 (2009).
20. Ahıska, R., "Comparing analysis of a new method for measurement of parameters of real thermoelectric modules", *XIII International Forum on Thermoelectricity*, Ukraine, 28-36 (2009).
21. R. Ahıska, "The study of thermoemf effect on exit parameters of thermoelectric modules", *International Conference "Fizika – 2005"*, Azerbaijan, 144-148 (2005).
22. Ahıska, R., "New method for studying parameters of a thermopile", *Journal of Thermoelectricity*, 3 : 71-82 (2008).
23. Ahıska, R., "New method for investigation of dynamic parameters of thermoelectric modules", *Turk J Elec Engin*, 15 (1) : 51-65 (2007).
24. Ahıska, R., "New method for study dynamic exit properties of thermoelectric modules", *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, 22 (4) : 709-716 (2007).
25. Ahıska, R., Ciylan, B., Savaş., Y., Güler, İ., "Standart termoelektrik modülün Z parametresinin ölçülmesi için yeni yöntem ve yeni sistem", *Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 19 (4) : 467-473 (2004).
26. Dişlitaş, S., Ahıska, R., Yanmaz, H., "Termoelektrik modülün dinamik çıkış parametrelerinin elde edilmesi için yeni bir algortma", *ELECO'2008 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, 471-475 (2008).

27. Çengel, Y. A., Boles, M. A., “Thermodynamics: An Engineering Approach 5<sup>th</sup> Ed.”, Çev. Ed.: Pınarbaşı, A., **McGraw-Hill**, 60-62, 279-295(2008).
28. Dağsöz, A. K., “Isı Geçişi Isı Transferi 4. Baskı”, **META Basım Yayım**, İstanbul, 1 (1990).
29. Internet : RMT Ltd. “TEC Expert DX8020 Model User Guide Moscow 2005” <http://www.rmtltd.ru/manuals/DX8020%20Manual%20r1.00.pdf> (2009).
30. Internet : Melcor Ltd. “AZTEC - A Thermoelectric Design/Selection Guide” <http://www.melcor.com> (2009).
31. Riffat, S. B., Xiaoli, M., Wilson, R., “Performance simulation and experimental testing of a novel thermoelectric heat pump system”, **Applied Thermal Engineering**, 26 : 494-501 (2006).
32. Lineykin, S., Yaakov, S., B., “Modeling and analysing of thermoelectric modules”, **IEEE Transactions on Industrial Applications**, 43 (2) : 2019-2023 (2007).
33. Salimi, M., “Termoelektrik sistemlerin analiz programı”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2001).
34. Astrain, D., Vian, J., G., Albizua, J., “Computational model for refrigerators based on Peltier effect application”, **Applied Thermal Engineering**, 25 : 3149–3162 (2005).
35. Riffat, S., B., Xiaoli, M., Wilson R, “Optimum selection (design) of thermoelectric modules for large capacity heat pump applications”, **International Journal of Energy Research**, 28 : 1231-1242 (2004).
36. Park, J., Mackay, S., “Practical Data Acquisition for Instrumentation and Control Systems”, **Elsevier: Butterworth-Heinemann**, 1- 75 (2003).
37. Kuo, B. C., “Otomatik Kontrol Sistemleri”, Çev. Ed. : Bir, A., **Literatür:Yayıcılık**, İstanbul, 1-20 (2006).
38. Yarman, F. T., Erten, Y. M., “Bilgisayar Sistemleri”, **Akademik Yayıncılık**, Ankara, 1-150 (2000).
39. Schleicher, M., Blasinger, F., “Control Engineering : A guide for beginners”, **Jumo**, Germany, 9-66 (2000).
40. Boztepe, M., “Labview programı ile veri toplama, veri işleme ve veri izlemenin e-öğrenme olarak hazırlanması”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 24-59 (2005).

41. Internet : Melcor Corporation Ltd. “Thermoelectric Coolers (TECs)”  
<http://www.melcor.com/tec.html> (2009).
42. Kapıdere, M., “Mikrodenetleyici kontrollü termohipoterm tıp cihazı tasarımı ve gerçekleştirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 14-26 (2005).
43. Fidan, U., “Mikrodenetleyici kontrollü taşınabilir termoelektrik tıp kiti cihazı tasarımı ve uygulaması”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-60 (2000).
44. Ökten, E., “Mikrodenetleyicili sıcaklık ve hız kontrollü termoelektrik yarıiletken üretim sistemi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 3-35 (2007).
45. Ahıska, R., Güler, E., Acar, S. and Kasap, M., “Thermoelectric characterization of N-type (Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub>)Se<sub>3</sub> semiconductors in a temperature range 11-373 K”, *G.U. Journal of Science*, 18 (3) : 481-487 (2005).
46. Usta, H., Kırmacı, V., “Termoelektrik etkiler ve soğutma etkinliğinin uygulanması”, *Teknoloji Dergisi*, 5 (3-4) : 65-71 (2002).
47. Boztepe, M., “Güneş pilleri ile çalışan peltier elemanlı bir soğutucu sistemin geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, 1-35 (1995).
48. Möröydor, E., “Sb<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> ve Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> içerikli bileşenlerin termoelektrik, yapısal ve mikroyapısal özelliklerinin incelenmesi”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 18-36 (2005).
49. Internet : Tellurex Corporation Ltd. “An Introduction to Thermoelectrics”  
<http://www.tellurex.com/cthermo.html> (2009).
50. Gravier, C. L., “Thermoelectric characterization of Bi<sub>2</sub>T<sub>2,55</sub>Se<sub>0,45</sub> solid solutions”, *Y.Phys. Chem. Solids*, 59(1) :13-20 (1997).
51. Internet : Ferrotech Corporation Ltd. “Thermoelectric Modules”  
<http://www.ferrotec.com/technology/thermoelectric> (2009).
52. Internet : TE Technology “Peltier-Thermoelectric-Cooler-Modules”  
<http://www.tetech.com/Peltier-Thermoelectric-Cooler-Modules.html> (2009).
53. Internet : HB Electronic. “Peltier Thermoelectric Cooling Modules”  
<http://www.hebeiltd.com.cn/?p=peltier.module> (2009).
54. Internet : RMT Corporation Ltd. “Download Technical Documentation”  
<http://www.rmtltd.ru/download.htm> (2009).

55. Dişlitaş, S., “Mikrodenetleyici kontrollü jeotermal termoelektrik jeneratör tasarımı ve uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 10-65 (2002).
56. Dikmen, E., “Termoelektrik soğutucuların çalışma kriterlerine etki eden faktörlerin ve endüstrideki kullanım alanlarının tespiti”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 1-45 (2002).
57. Güler, N., F., Ahıska, R., “Design and testing of a microprocessor-controlled portable thermoelectric medical cooling kit”, *Applied Thermal Engineering*, 22 (11) : 1271-1276 (2002).
58. Kapıdere, M., Ahıska, R., Güler, İ., “A new microcontroller based human brain hypothermia system”, *Journal of Medical Systems*, 29 (5) : 501-512 (2005).
59. Ahıska, R., Fidan, U., Dişlitaş, S., “Farklı sıcaklık kontrol sistemlerinin termoelektrik tıp kitinin performansına etkisi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 23(2) : 441-447 (2008).
60. Dişlitaş, S., Ahıska, R., “Çok fonksiyonlu termoelektrik buzdolabının absorb buzdolabı ile enerji tüketimi açısından karşılaştırılması”, *YEKS'2005 - Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları / Enerji Yönetimi Sempozyumu*, Kayseri, 315-322 (2005).
61. Çakır, H., “Güneş piliyle elde edilen elektrik enerjisinin termoelektrik soğutmada kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 41-63 (2006).
62. Min, G., Rowe, D., M., “Experimental evaluation of prototype thermoelectric domestic-refrigerators”, *Applied Energy*, 83 (2) : 133–152 (2006).
63. Ahıska, R., Dişlitaş, S., “Microcontroller based thermoelectric generator application”, *G. U. Journal of Science*, 19(2) : 1-7 (2006).
64. Dişlitaş, S., Ahıska, R., “Microcontroller controlled geothermal thermoelectric generator”, *3rd International Advanced Technologies Symposium*, Ankara, 142-154 (2003).
65. Stevens, J. W., “Optimized thermal design of small  $\Delta T$  thermoelectric generators”, *34<sup>th</sup> Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*, Vancouver, (1999).
66. Burke, E. J., Buist, R. J., “Thermoelectric coolers as power generators”, *18<sup>th</sup> Intersociety Energy Conversion Engineering Conference*, Florida, (1983).

67. Buist, R. J., Lau, P. G., “Thermoelectric power generator design and selection from TE cooling module specifications”, *XVI. International Conference on Thermoelectrics*, Germany, 551-554 (1997).
68. Harman, T. C., “Special techniques for measurement of thermoelectric properties”, *J. Apply. Phy.*, 29: 1373-1374 (1958).
69. Nagy, M. J., “The effectiveness of water vapor sealing agents when used in application with thermoelectric cooling modules”, *Procedures of the XIII. International Conference on Thermoelectrics*, Kansas City, (1994).
70. Ritzer, T. M., Lau, G. P., Bogard, A. D., “A critical evaluation of today’s thermoelectric modules”, *16th International Conference on Thermoelectrics*, Germany, (1997).
71. Ritzer, T., “Quick method for determining the reliability of a thermoelectric module via pulse testing”, *18th International Conference on Thermoelectrics*, Germany, (1999).
72. Buist, R. J., Roman, S. J., “Development of a burst voltage measurement system for high-resolution contact resistance test of thermoelectric heterojunctions”, *XIII. International Conference on Thermoelectrics*, Kansas City, (1994).
73. Kolenko, E. A., “Termoelektriçeskiye ohlajdayüşiye pribori”, *Moskov Press*, 25-35 (1967).
74. Kin-ichi, U., “Commercial Peltier Modules” CRC Handbook of Thermoelectrics, Ed. : Rowe, D. M., *CRC Pres. Inc*, Florida, 621-631 (1995).
75. Vayner, A., “Kaskatniye Termoelektricheskie Istochniki Holoda”, *Moskov Press*, 42-59 (1976).
76. Internet : Advantech “USB-4716 Multi-Function DAQ Module User Manuel” [http://www.advantech.com/products/USB-4716/mod\\_1-2MLJLR.aspx](http://www.advantech.com/products/USB-4716/mod_1-2MLJLR.aspx) (2009).
77. Internet : Advantech “USB-4718 Thermocouple DAQ Module User Manuel” [http://www.advantech.com/products/USB-4718/mod\\_1-2MLJM8.aspx](http://www.advantech.com/products/USB-4718/mod_1-2MLJM8.aspx) (2009).
78. Ahıska, R., Savaş, Y., Işık, H., “Mikrodenetleyici ile SMPS’in çıkış geriliminin sıcaklığa bağlı olarak değiştirilmesi”, *Politeknik Dergisi*, 5 (1) : 51-57 (2002).

79. Ahıska, R., Savaş, Y., Işık, H., “Mikrodenetleyicili SMPS ve kontrol sisteminin termoelektrik uygulamaları”, *Politeknik Dergisi*, 5 (1) : 59-68 (2002).
80. Internet : Meal Well “SCP-800 Series DataSheet 2004”, <http://www.fastltd.net/tr/GucKaynaklari/Yuksekgucler.asp> (2009).
81. Internet : Weidmüller “WAS2 CMA 40/50/60A WAVEControl Current-Monitoring Module User Manuel” <http://www.weidmuller.com> (2009).
82. Nau, M., “Electrical Temperature Measurement with thermocouples and resistance thermometers 10th expanded edition”, *Jumo*, Germany, 1-30 (2002).
83. Gürdal, O., “Algılayıcılar ve Dönüştürücüler”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 429-454 (2000).
84. Ertuğrul, İ., “Temel Matematik 5. Baskı”, *Ekin Basın Yayın Dağıtım*, Bursa, 168-173 (2008).
85. Sabuncuoğlu, A., “Lineer Cebir 3. Baskı”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, 142-143 (2008).
86. Internet: Delphi Türk, Türkçe Delphi Kaynak Sitesi, <http://www.delphiturk.com> (2009).
87. Sarıdoğan, E., “Yazılım Mühendisliği”, *Papatya Yay.*, İstanbul, 169-269 (2004).
88. Internet : Advantech “Advantech Device Driver Manuel” <http://www.advantech.com/eAutomation> (2009).
89. Dişlitaş, S., “Veritabanı Yönetim Sistemleri”, *Özkan Mat.-Gaz.*, Ankara, 15-49, 197-230 (2007).
90. Türkoğlu, T., “Delphi Programcılığı ve SQL”, *Özbay Ofset Mat.*, Ankara, 17-24 (2002).
91. Güler, İ., “Biyomedikal Enstrümantasyon Ders Notları”, Ankara, 19-116 (2008).
92. Alacacı, M., “Elektrik-Elektronik Ölçme Tekniği ve İş Güvenliği”, *Color Ofset*, İskenderun, 43-60 (2009).
93. Ersoy, H., “Kalibrasyon nedir? Yararları ve dikkat edilmesi gereken hususlar”, *Standard Dergisi*, 48 (569) : 62-63 (2009).

94. Ahıska, R., Demirel, H. and Erkal, B., "Post traumatic protection of brain in rats using rat thermohypotherm device", *G.U. Journal of Science*, 17 (4) : 29-38 (2004).



**EKLER**

## EK-1. Akım İzleme Modülü Katalog Bilgileri (Weidmüller WAS2 CMA)

## Current Monitoring

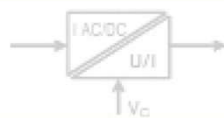
## WAVECONTROL

- Input and output range adjustable by DIP switch
- No calibration required
- Cross-connectable voltage supply via cross-connectors
- True TRMS value measurements
- Hall sensor measurement method

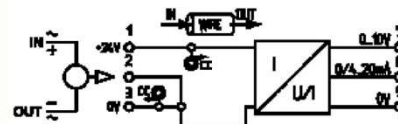
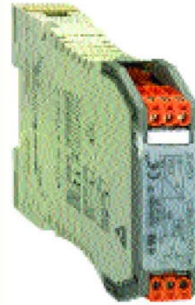
## Approvals:



## Schematic circuit diagram

WAS2 CMA  
WAZ2 CMA

40/50/60A ac/dc  
selectable with  
analog output  
0 ... 20 mA/  
4 ... 20 mA/  
0 ... 10 V



## Ordering data

Screw connection

Tension clamp connection

## Technical data\*

## Input

Input current

Input frequency

Accuracy

## Measuring principle

Connection type

## Pass through diameter

Measurement circuit voltage

## Maximum measuring circuit

## Output

Current/voltage selectable

## Output voltage

Offset voltage

Load resistance

Output signal limit

Output current

Offset current

Load resistance

Status LED

## Temperature coefficient

Response time (10 ... 90%)

Coordination of insulation according to DIN EN 50178, 04/98 (safe separation)

Rated voltage

Rated surge voltage

Overvoltage category

Contamination class

Clearance and creepage distance

Test voltage

## General Data

## Supply

Supply voltage

Power consumption at rated voltage

Reverse polarity protection

## Operating temperature range

Storage/transport

Factory setting

Dimensions L/H/W

Weight

Approvals

\* T<sub>U</sub> = 23 °C single module

## Type

WAS2 CMA 40/50/60A uc

WAZ2 CMA 40/50/60A uc

## Part No.

8513330000

8526590000

40/50/60A uc selectable (without additional adjustment)

0 Hz - 2 kHz (True RMS to DC Converter)

1% (0Hz - 1KHz) Crest factor 3 FSR

2% (0Hz - 2KHz) Crest factor 5 FSR

Contact-free current monitoring using Hall sensor

Push-through connection

(Please notice push through direction by DC measurement)

8 mm

400 Vac, higher voltages dependent

on wire insulation

dependent on wire cross-section

0 ... 10 V

0 ... 20 mA

4 ... 20 mA

0 ... 10V

max. 0.08 V

≥ 1 kΩ

approx. 13 V and. 24 mA

0/4 ... 20 mA

max. 150 μA

≤ 600 Ω

green LED

ON → OK; blinks → signal out of range; OFF → Error

≤ 650 ppm/K

type 700 ms

300 V

6 kV

III

2

≥ 5.5 mm

4 kV eff

21.6 Vdc...24 Vdc...26.4 Vdc

50 mA at I<sub>out</sub> = 20 mA

yes

0 ... 50°C

-20 ... +70°C

0 ... 50 A uc; 4 ... 20 mA

92.4 / 112.4 / 22.5 mm (3.63 / 4.42 / 0.88 in.)

150 g (0.33 in.)

CE, cULus

## EK-2. USB DA&amp;C Modülleri Katalog Bilgileri

# USB-4716

## 200 kS/s, 16-bit Multifunction USB Module



### Features

- Supports USB 2.0
- Portable
- Bus-powered
- 16 analog input channels
- 16-bit resolution AI
- Sampling rate up to 200 kS/s
- 8DI/8DO, 2 AO and 1 32-bit counter (USB-4716L w/o AO)
- Wiring terminal on modules
- Suitable for DIN-rail mounting
- Lockable USB cable for rigid connection

### Introduction

The USB-4700 series consists of true Plug & Play data acquisition devices. No more opening up your computer chassis to install boards—just plug in the module, then get the data. It's easy and efficient. USB-4716 offers 16SE/8Diff. inputs with 16-bit resolution, up to 200 kS/s throughput, 16 digital I/O lines and 1 user counter, and 16-bit analog outputs.

Reliable and rugged enough for industrial applications, yet inexpensive enough for home projects, the USB-4716 is the perfect way to add measurement and control capability to any USB capable computer. The USB-4716 is fully USB Plug & Play and easy to use. It obtains all required power from the USB port, so no external power connection is ever required.

### Specifications

#### Analog Input

- **Channels** 16 single-ended/ 8differential (SW programmable)
- **Resolution** 16 bits
- **Max. Sampling Rate\*** 200 kS/s max. (For USB 2.0)
- **FIFO Size** 1024 samples
- **Overvoltage Protection** 30 Vp-p
- **Input Impedance** Off: 100 M $\Omega$ /10 pF, On: 100 M $\Omega$ /100 pF
- **Sampling Modes** Software, onboard programmable pacer, or external
- **Input Range** (V, software programmable)

Bipolar	$\pm 10$	$\pm 5$	$\pm 2.5$	$\pm 1.25$	$\pm 0.625$
Accuracy (% of FSR $\pm 1$ LSB)	0.15	0.03	0.03	0.05	0.1

#### \*Note:

The sampling rate and throughput depends on the computer hardware architecture and software environment. The rates may vary due to programming language, code efficiency, CPU utilization and other factors.

#### Analog Output

- **Channels** 2
- **Resolution** 16 bits
- **Output Rate** Static update
- **Output Range** (V, software programmable)

Internal Reference	Unipolar	0 – 5, 0 – 10
	Bipolar	$\pm 5$ V, $\pm 10$ V

- **Slew Rate** 0.125 V/ $\mu$ s
- **Driving Capability** 5 mA
- **Output Impedance** 0.1  $\Omega$  max.
- **Operation Mode** Single output
- **Accuracy** Relative:  $\pm 1$  LSB

#### Digital Input

- **Channels** 8
- **Compatibility** 3.3 V/5 V/TTL
- **Input Voltage** Logic 0: 0.8 V max.  
Logic 1: 2.0 V min.

#### Digital Output

- **Channels** 8
- **Compatibility** 3.3 V/TTL
- **Output Voltage** Logic 0: 0.4 V max.  
Logic 1: 2.4 V min.
- **Output Capability** Sink: 4 mA (sink)  
Source: 4 mA (source)

#### Event Counter

- **Channels** 1
- **Compatibility** 3.3 V/5 V/TTL
- **Max. Input Frequency** 0.1–1K while using FAI; 0.1–10K while using SWAI

#### General

- **Bus Type** USB V2.0
- **I/O Connector** On board screw terminal
- **Dimensions (L x W x H)** 132 x 80 x 32 mm
- **Power Consumption** Typical +5 V @ 340 mA  
Max.: +5 V @ 440 mA
- **Operating Temperature** 0 – 60° C (32 – 158° F) (refer to IEC 68-2-1, 2)
- **Storing Temperature** -20 – 85° C (-4 – 158° F)
- **Operating Humidity** 5 – 85% RH non-condensing (refer to IEC 68-1, -2, -3)
- **Storage Humidity** 5 – 95% RH non-condensing (refer to IEC 68-1, -2, -3)

### Ordering Information

- **USB-4716** 200 kS/s, 16-bit Multifunction USB Module, one 1.8 m USB 2.0 cable included

## EK-2. (Devam) USB DA&amp;C Modülleri Katalog Bilgileri

# USB-4718

## 8-ch Thermocouple Input USB Module



### Features

- Supports USB 2.0
- Support voltage, current, and thermocouple inputs
- Bus-powered
- 8 thermocouple input channels
- 2,500 V<sub>DC</sub> isolation
- Support 4 ~ 20 mA current output
- Wiring terminal on modules
- 8-ch isolated DI and 8-ch isolated DO
- Suitable for DIN-rail mounting
- Lockable USB cable for rigid connection

### Introduction

The USB-4700 series consists of true Plug & Play data acquisition devices. No more opening up your computer chassis to install boards—just plug in the module, then get the data. It's easy and efficient. USB-4718 offers 8 thermocouple inputs with 16-bit resolution, up to 0.1% input range accuracy, or 4 ~ 20 mA inputs.

Reliable and rugged enough for industrial applications, yet inexpensive enough for home projects, the USB-4718 is the perfect way to add measurement and control capability to any USB capable computer. The USB-4718 is fully USB plug and play and easy to use. It obtains all required power from the USB port, so no external power connection is ever required.

### Specifications

#### Analog Input

- **Accuracy** ±0.1% for voltage input
- **Bandwidth** 13.1 Hz @ 50 Hz,  
15.72 Hz @ 60 Hz
- **Channels** Eight differential
- **Ch. Independent Conf.** Yes
- **CMR @ 50/60 Hz** 92 dB min.
- **Resolution** 16 bits
- **Input Impedance** 20 M $\Omega$
- **Input Range** 0 ~ 15 mV, 0 ~ 50 mV, 0 ~ 100 mV, 0 ~ 500 mV,  
0 ~ 1 V, 0 ~ 2.5 V, 0 ~ 20 mA, 4 ~ 20 mA
- **Input Types** Thermocouple, mV, V, mA
- **Sampling Rate** 10 samples/sec. (total)
- **Span Drift** ±25 ppm/ $^{\circ}$ C
- **T/C Type and Temperature Ranges**

<b>J</b>	0 ~ 760 $^{\circ}$ C	<b>R</b>	500 ~ 1750 $^{\circ}$ C
<b>K</b>	0 ~ 1370 $^{\circ}$ C	<b>S</b>	500 ~ 1750 $^{\circ}$ C
<b>T</b>	-100 ~ 400 $^{\circ}$ C	<b>B</b>	500 ~ 1800 $^{\circ}$ C
<b>E</b>	0 ~ 1000 $^{\circ}$ C		

- **TVS/ESD Protection** Built-in
- **Zero Drift** ±3  $\mu$ V/ $^{\circ}$ C

#### Isolated Digital Input

- **Channels** 8
- **Input Voltage** Logic 0: 2 V max.  
Logic 1: 5 V min. (30 V max.)
- **Isolation Protection** 2,500 V<sub>DC</sub>
- **Opto-Isolator Response** 25  $\mu$ s

#### Isolated Digital Output

- **Channels** 8
- **Output Type** Sink (NPN)
- **Isolation Protection** 2,500 V<sub>DC</sub>
- **Output Voltage** 5 ~ 30 V<sub>DC</sub>, 1.1 A max/total
- **Sink Current** 200 mA max./channel
- **Opto-isolator Response** 25  $\mu$ s

#### General

- **Bus Type** USB 2.0
- **I/O Connector** Onboard screw terminal
- **Dimensions (L x W x H)** 132 x 80 x 32 mm
- **Power Consumption** 100 mA @ 5 V
- **Power Input** 5 V from USB line
- **Watchdog Timer** 1.6 sec. (system)
- **Operating Temperature** 0 ~ 60 $^{\circ}$  C (32 ~ 140 $^{\circ}$  F) (refer to IEC 68-2-1, 2)
- **Storing Temperature** -20 ~ 70 $^{\circ}$  C (-4 ~ 158 $^{\circ}$  F)
- **Storing Humidity** 5 ~ 95% RH non-condensing (refer to IEC 68-2-3)

### Ordering Information

- **USB-4718** 8-ch Thermocouple Input USB Module, one 1.8 m USB 2.0 cable included

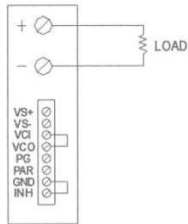
EK-3. SCP 800-64 Model SMPS Katalog Bilgileri



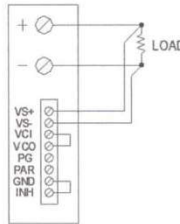
800W Parallel Type With PFC Function

SCP-800 series

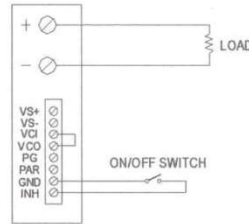
Control terminal instruction manual



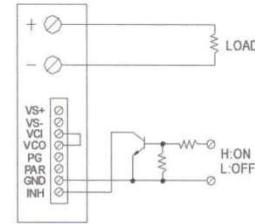
USING INTERNAL VOLTAGE CONTROL



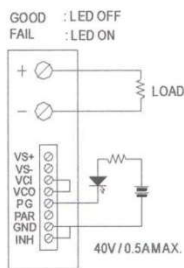
REMOTE SENSING



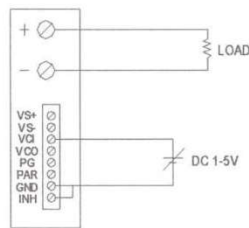
ON/OFF CONTROL BY SWITCH



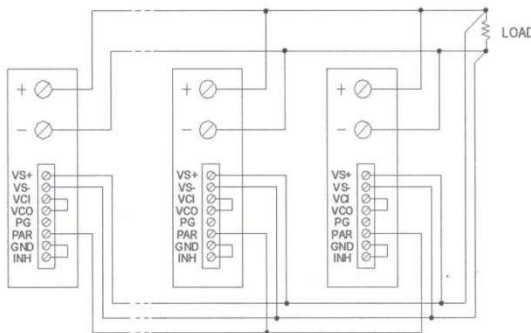
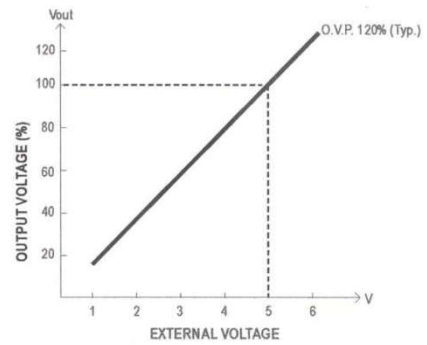
ON/OFF CONTROL BY TRANSISTOR



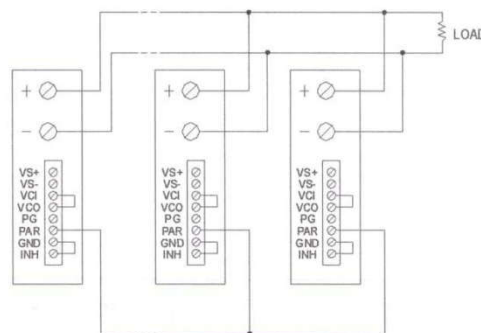
POWER GOOD SIGNAL



OUTPUT VOLTAGE ADJUST WITH DC 1-5V



PARALLEL OPERATION WITH REMOTE SENSING



PARALLEL OPERATION WITHOUT REMOTE SENSING

## EK-3. (Devam) SCP 800-64 Model SMPS Katalog Bilgileri



800W Parallel Type With PFC Function

**SCP-800** series

## ■ Features :

- AC 180~260VAC input
- PF> 0.98@ 230VAC
- Protections: Short circuit/ Overload/ Over voltage/ Over temperature
- Built in remote sense function
- Built-in remote ON-OFF control
- Power good signal
- With parallel function(N+1)
- Can adjust from 20~100% output voltage by external control 1-5V
- Forced air cooling by built-in DC fan
- 3 years warranty



## SPECIFICATION

ORDER NO.	SCP-800-09	SCP-800-12	SCP-800-15	SCP-800-24	SCP-800-48	
OUTPUT	SAFETY MODEL NO.	800S-P009	800S-P012	800S-P015	800S-P024	800S-P048
	DC VOLTAGE	9V	12V	15V	24V	48V
	RATED CURRENT	88A	66A	53A	33A	16A
	CURRENT RANGE	0 ~ 88A	0 ~ 66A	0 ~ 53A	0 ~ 33A	0 ~ 16A
	RATED POWER	792W	792W	795W	792W	768W
	RIPPLE & NOISE (max.) Note.2	90mVp-p	120mVp-p	150mVp-p	240mVp-p	480mVp-p
	VOLTAGE ADJ. RANGE	±5.0% Typical adjustment by potentiometer 20% ~ 100% adjustment by 1 ~ 5VDC external control				
	VOLTAGE TOLERANCE Note.3	±1.5%	±1.0%	±1.0%	±1.0%	±1.0%
	LINE REGULATION	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
	LOAD REGULATION	±1.0%	±0.5%	±0.5%	±0.5%	±0.5%
SETUP, RISE, HOLD TIME	800ms, 400ms, 12ms at full load					
INPUT	VOLTAGE RANGE	180~260VAC 260~370VDC see the derating curve				
	FREQUENCY RANGE	47~63Hz				
	POWER FACTOR	>0.98 / 230VAC				
	EFFICIENCY (Typ.)	83%	84%	85%	88%	89%
	AC CURRENT	4.5A / 230VAC				
	INRUSH CURRENT (max.)	60A / 230VAC				
	LEAKAGE CURRENT(max.)	3.5mA / 240VAC				
PROTECTION	OVER LOAD Note.4	105~115% rated output power Protection type : Current limiting, delay shut down o/p voltage, re-power on to recover				
	OVER VOLTAGE	110 ~ 135% Follow to output set up point Protection type : Shut down o/p voltage, re-power on to recover				
	OVER TEMPERATURE	>100°C / measure by heat sink, near transformer Protection type : Shut down o/p voltage, re-power on to recover				
ENVIRONMENT	WORKING TEMP.	-20 ~ +65°C (Refer to output load derating curve)				
	WORKING HUMIDITY	20 ~ 90% RH non-condensing				
	STORAGE TEMP., HUMIDITY	-20 ~ +85°C 10~95% RH				
	TEMP. COEFFICIENT	±0.04% / °C (0 ~ 50°C)				
SAFETY & EMC (Note. 5)	VIBRATION	10 ~ 200Hz, 2G 10min./1cycle, 60min. each along X, Y, Z axes				
	SAFETY STANDARDS	UL60950, TUV EN60950 Approved				
	WITHSTAND VOLTAGE	I/P-O/P:3KVAC I/P-FG:1.5KVAC				
	ISOLATION RESISTANCE	I/P-O/P, I/P-FG:100M Ohms / 500VDC				
	EMI CONDUCTION & RADIATION	Compliance to EN55022 (CISPR22) class A				
	HARMONIC CURRENT	Compliance to EN61000-3-2,3				
	EMS IMMUNITY	Compliance to EN61000-4-2,3,4,5,6,8,11, Light industry level, criteria A				
OTHERS	POWER GOOD SIGNAL	Open collector of NPN transistor				
	SPECIAL FUNCTION	DC Voltage Adj., remote sensing, remote control, parallel operation(refer to control terminal instruction manual)				
	COOLING	By fan, >20% load or >50°C fan on				
	MTBF	74.9K hrs min. MIL-HDBK-217F(25°C)				
	DIMENSION	290*120*68mm (L*W*H)				
PACKING	2.3kg; 8pcs / 20kg / CARTON					
NOTE	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. All parameters NOT specially mentioned are measured at 230VAC input, rated load and 25°C of ambient temperature.</li> <li>2. Ripple &amp; noise are measured at 20MHz of bandwidth by using a 12" twisted pair-wire terminated with a 0.1uf &amp; 47uf parallel capacitor.</li> <li>3. Tolerance : includes set up tolerance, line regulation and load regulation.</li> <li>4. Current limiting 3 times(1.5s,3.0s,5.0s)Then intelligent auto recovery before shut down</li> <li>5. The power supply is considered a component which will be installed into a final equipment. The final equipment must be re-confirmed that it still meets EMC directives.</li> </ol>					

EK-3. (Devam) SCP 800-64 Model SMPS Katalog Bilgileri



800W Parallel Type With PFC Function

**SCP-800** series

**Mechanical Specification** Unit:mm

The drawing shows the top and bottom views of the SMPS. The top view includes dimensions for the AC input terminal block (9.2, 11, 18.5, 41.0, 10.0, 190.0, 10.0, 39.0, 30.0), the main body (15.0, 38.0), and the DC output terminal block (68.0, 120.0). It also shows the location of the #6-32-4 M3(NUT)X3H-4 screws and the CN1 control terminal block. The bottom view shows the AC INPUT terminal block (9.0, 251.0, 30.0), the DC OUTPUT terminal block (14.0, 89.0, 17.0), and the M3(NUT) 3H-4 screws with an AIR FLOW arrow. The M6.0 screws are 26.5mm long.

Pin No.	Assignment
1	AC/L
2	AC/N
3	FG $\perp$

Pin No.	Assignment	Pin No.	Assignment	Mating With
1	VS+	5	PG	Dinkle 51SDB-08P or equivalent
2	VS-	6	PAR	
3	VCI	7	GND	
4	VCO	8	INH	

**Derating Curve**

The first graph shows the load percentage derating curve. The load is 100% from -20°C to 50°C, then derates linearly to 50% at 65°C, and drops to 0% at 70°C.

The second graph shows the output power derating curve at Ta=25°C. The output power increases linearly from approximately 250W at 90VAC to 800W at 170VAC, and remains constant at 800W up to 260VAC.

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : DIŞLITAŞ, Serkan  
 Uyruğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 04.12.1971, Ankara  
 Medeni Hali : Evli  
 Telefon : 0 (364) 223 08 00  
 Faks : 0 (364) 223 08 06  
 E-Posta : [serkandislitas@hitit.edu.tr](mailto:serkandislitas@hitit.edu.tr), [dislitas@gazi.edu.tr](mailto:dislitas@gazi.edu.tr)

### Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniv. Elektronik-Bilgisayar Eğitimi	2002
Lisans	Gazi Üniv. Elektronik-Bilgisayar Eğitimi	1995
Lise	Abidinpaşa Teknik Lisesi	1990

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-	Hitit Üniversitesi	Müdür Yardımcısı
2006-	Hitit Üniversitesi	Öğr. Gör.
1996-2006	Gazi Üniversitesi	Öğr. Gör.
1995-1996	Çorum Atatürk Lisesi	Öğretmen

### Yabancı Dil

İngilizce

### Yayınlar

- Ahıska, R., Fidan, U., Dişlitaş, S., “The Influence of the Different Temperature Control Systems on the Thermoelectric Medicine Kit's Performance”, *J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ.*, 23(2): 441-447 (2008).
- Ahıska, R., Dişlitaş, S., “Microcontroller Based Thermoelectric Generator Application”, *G.U. Journal of Science*, 19(2): 1-7 (2006).
- Dişlitaş, S., Ahıska, R., Yanmaz, H., “Termoelektrik Modülün Dinamik Çıkış Parametrelerinin Elde Edilmesi İçin Yeni Bir Algoritma”, *ELECO'2008 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, 471-475 (2008).
- Dişlitaş, S., Ahıska, R., “Çok Fonksiyonlu Termoelektrik Buzdolabının Absorb Buzdolabı İle Enerji Tüketimi Açısından Karşılaştırılması”, *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları / Enerji Yönetimi Sempozyumu*, Kayseri, 315-322 (2005).



5. Dişlitaş, S., Ahıska, R., “Microcontroller Controlled Geothermal Thermoelectric Generator”, *3<sup>rd</sup> International Advanced Technologies Symposium*, Ankara, 142-154 (2003).
6. Dişlitaş, S., Ahıska, R., “Jeotermal Termoelektrik Jeneratör”, *Yeni ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Kayseri, 305-312 (2003).
7. Dişlitaş, S., Ahıska, R., Yanmaz, H., “Ahşap Ambalaj Malzemelerindeki Zararlı Organizmaların Yok Edilmesinde Bilgisayar Destekli Isıl İşlem Uygulaması”, *ELECO'2006 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, 369-373 (2006).
8. Dişlitaş, S., Ahıska, R., Yanmaz, H., “Beton Karakteristik Basınç Dayanım Testinin Bilgisayar Kontrollü Olarak Yapılması”, *Bilgi Teknolojileri Kongresi IV - Akademik Bilişim 2006*, Denizli, 298-302 (2006).
9. Ozulu, İ., M., Tombuş, F.E., Coşar, M., Dişlitaş, S., “Hitit Uygarlığı Arkeolojik Alanlarındaki Bulgulara Yönelik Web Arayüzlü Veritabanı Uygulaması : ArkeoVT”, *VII. International Congress of Hittitology*, Çorum, (2008).
10. Çırak, Ö., Dişlitaş, S., Işık, M.F., Coşar, M., "İşletmelerde Elektronik Ticaret Kullanımının Önündeki Engeller ve Çözüm Önerileri", *AİK - VII. Anadolu İşletmecilik Kongresi*, Çorum, 359-366 (2008).
11. Çağlar, İ., Dişlitaş, S., Coşar, M., Işık, M.F., Çırak, Ö., "Üniversite-Sanayi İşbirliğiyle Gerçekleştirilen E-Ticaret Projesinin Çorum Organize Sanayisine Katkılarının Değerlendirilmesi: Bir Örnek Çalışma", *USİS 2007 - Üniversite Sanayi İşbirliği Sempozyumu*, Sakarya, 280-287 (2007).
12. Çağlar, İ., Dişlitaş, S., Coşar, M., “Meslek Yüksekokullarında Bilgisayar Teknolojisi Kullanım Yoğunluğunun Verimliliğe Etkisi”, *1<sup>st</sup> International Vocational And Technical Education Technologies Congress*, İstanbul, 174-181 (2005).

### **Kitaplar**

1. Dişlitaş, S., “Veritabanı Yönetim Sistemleri”, *Özkan Mat.-Gaz.*, Ankara, (2007).
2. Çırak, Ö., Dişlitaş, S., Işık, M. F., Coşar, M., “XT-Commerce ile E-Ticaret Uygulamaları”, Ed.: Çağlar, İ., *Zafer Ofset*, Çorum, (2007).

### **Hobiler**

Bilgisayar Teknolojileri, Gezi – İnceleme, Futbol.