

# Yeni Nesil Buz Makinesinin Termoelektrik Modülünün TEPASLA Araştırılması / Investigation of Thermoelectric Module of Next Generation Ice Machine with TEPAS

Raşit AHISKA<sup>1</sup>, Günay ÖMER<sup>2</sup>, Büşra SAYIN<sup>\*1</sup>

<sup>1</sup>Gazi University, Faculty of Science, Department of Physics, Ankara, Turkey

<sup>2</sup>Ankara Medipol University, Vocational School of Health Services, Radiotherapy Program, Ankara, Turkey

## Makale Bilgisi

Research article  
Received: 20/10/2023  
Revision: 10/12/2023  
Accepted: 19/12/2023

## Anahtar Kelimeler

Yeni buz makinesi  
Termoelektrik modül  
TEPAS

## Article Info

Araştırma makalesi  
Başvuru: 20/10/2023  
Düzeltilme: 10/12/2023  
Kabul: 19/12/2023

## Keywords

New ice machine  
Thermoelectric module  
TEPAS

## Grafik Özet (Graphical/Tabular Abstract)

TEBM'de buz yapma sürelerini test etmek için buz haznesine 10 gr su konulmuştur ve buz yapma süreleri sırasıyla 2, 3, 4, 5 A uygulanarak ölçülmüştür. Elde edilen bulgular Şekil A'da gösterilmektedir. 10 g su 4,83 dakikada buza dönüşürken,  $Q_c$  5,20 A akımda 56,8 W olarak ölçülmüştür. Ölçümler 24 °C ortam sıcaklığında yapılmıştır. / In order to test ice making times in TEIM, 10 g of water was in the ice chamber and ice making times were measured by applying 2, 3, 4, 5 A respectively. The findings obtained are shown in Figure A. 10 g of water turned into ice in 4.83 minutes while the  $Q_c$  was measured as 56.8 W at a current of 5.20 A. The measurements were made at an ambient temperature of 24 °C.

I(A)	V(V)	$Q_c$ (W)	t(min)
2.1	5.95	33.1	8.3
2.9	9.1	44.8	6.13
4	11.7	54.3	5.05
5.2	15.1	56.8	4.83

Şekil A. Deneysel veriler / Figure A. Experimental data

## Önemli noktalar (Highlights)

- Yeşil teknoloji / Green technology
- Termoelektrik soğutucu / Thermoelectric cooling
- Enerji ve su tasarrufu / Electricity and water saving

**Amaç (Aim):** Bu çalışmada dünyada ilk kez TES Termoelektrik Ltd. Şti. tarafından üretilen Türk patentli (Patent No: 2014-14588) termoelektrik buz makinesinin parametrelerinin iyileştirilmesine yönelik araştırma yapılmıştır. / In this study, research was carried out to improve the parameters of the Turkish patented (Patent No: 2014-14588) thermoelectric ice machine, which was produced for the first time in the world by TES Thermoelectric Ltd.

**Özgünlük (Originality):** Çalışmanın özgün yönü kullanılan termoelektrik buz makinesinin patentli olmasının yanı sıra bu ürünün parametrelerinin incelenmesi için geliştirilen yeni yöntem ve TEPAS'ın kullanılmış olması gösterilebilir. / The unique aspect of the study is that the thermoelectric ice machine used is patented, as well as the new method and TEPAS developed to examine the parameters of this product.

**Bulgular (Results):** Elde edilen deneysel sonuçların hata sınırları dahilinde teorik hesaplama sonuçlarıyla aynı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada yeni ölçüm yöntemiyle çalışan TEPAS sisteminin yüksek performansı gözlemlenmiştir. / It has been determined that the experimental results obtained are the same as the theoretical calculation results within the error limits. Also, the high performance of the TEPAS system operating with the new measurement method was observed in this study.

**Sonuç (Conclusion):** Dünya çapında patenti ve altın madalyası bulunan bu buluş, yalnızca çevre, enerji ve su sorunlarını çözmedi. Aynı zamanda insanın buz tüketimi ve üretimine yönelik yeni bir konsept ve çözüm önerisi ortaya koymuştur. / This invention, which has a worldwide patent and a gold medal, has not only solved the environmental, energy and water problems. At the same time, it has introduced a new concept and solution proposal for human ice consumption and production.



## Yeni Nesil Buz Makinesinin Termoelektrik Modülünün TEPASLA Araştırılması

Raşit AHISKA<sup>1</sup>, Günay ÖMER<sup>2</sup>, Büşra SAYIN\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, Fizik Bölümü, 06500, Yenimahalle, Ankara, Türkiye

<sup>2</sup>Ankara Medipol Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, 06050, Radyoterapi Programı, Ankara, Türkiye

### Makale Bilgisi

Research article  
Received: 20/10/2023  
Revision: 10/12/2023  
Accepted: 19/12/2023

### Anahtar Kelimeler

Yeni buz makinesi  
Termoelektrik modül  
TEPAS

### Öz

Çevre kirliliği, temiz içme suyunun ve enerjinin yetersizliği günümüzün en önemli sorunlardır. Artan nüfus ile beraber enerji ve temiz içme suyu ihtiyacı da artmıştır. Bunun yanında artan endüstrileşme sonucu meydana gelen atıklarla çevre kirliliği de artmaktadır. Isıtma, soğutma ve enerji üretme alanlarına çözüm getirecek teknolojilerden biri termoelektrik (TE) teknolojisidir. Ayrıca çevre kirliliğine yol açmaması termoelektrik teknolojileri öne çıkarmaktadır. Termoelektrik soğutma sanayisini oluşturan buz makinelerinin parametrelerinin iyileştirilmesi konusundaki çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Bu tip araştırmalar için buz makinelerinin özelliklerinin incelenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada dünyada ilk kez TES Termoelektrik Ltd. Şirketinde üretilen Türk patentli (Patent No:2014-14588) termoelektrik buz makinesinin parametrelerini iyileştirmek amacıyla araştırmalar yapılmıştır. Bunun için elektrik ve su tasarruflu, çevre dostu ve ısı borulu termoelektrik buz makinesinin (TEBM) deneysel olarak bütün parametreleri incelenmiştir. Dünyada patenti altın madalya almış olan bu buluş, sadece çevre, enerji ve su sorunlarını çözmemiş aynı zamanda insanoğlunun buz tüketimi ve üretimi konusunda yeni bir kavram alanı ve çözüm önerisi getirmiştir. Elde edilen deneysel sonuçların hata sınırları içinde teorik hesaplama sonuçlarıyla aynı olduğu tespit edilmiştir.

## Investigation of Thermoelectric Module of Next Generation Ice Machine with TEPAS

### Article Info

Araştırma makalesi  
Başvuru: 20/10/2023  
Düzeltilme: 10/12/2023  
Kabul: 19/12/2023

### Keywords

New ice machine  
Thermoelectric module  
TEPAS

### Abstract

Environmental pollution, inadequacy of clean drinking water and energy are the most important problems of our time. With the increasing population, the need for energy and clean drinking water has also increased. In addition, environmental pollution is increasing with the wastes generated as a result of increasing industrialization. Thermoelectric (TE) technology is one of the technologies that will bring solutions to the fields of heating, cooling and energy production. In addition, the fact that it does not cause environmental pollution brings thermoelectric technologies to the fore. Studies on improving the parameters of ice machines that make up the thermoelectric cooling industry are increasing day by day. For this type of research, it is necessary to examine the characteristics of ice machines. In this study, TES Thermoelectric Ltd. for the first time in the world. Research has been carried out to improve the parameters of the Turkish patented (Patent No: 2014-14588) thermoelectric ice machine produced in the company. For this, all parameters of the thermoelectric ice machine (TEIM), which is electricity and water efficient, environmentally friendly and with heat pipe, were examined experimentally. This invention, whose patent has received a gold medal in the world, not only solved the environmental, energy and water problems, but also brought a new concept area and solution proposal for the ice consumption and production of human beings. It has been determined that the experimental results obtained are the same as the theoretical calculation results within the error limits.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çağımızın en önemli problemlerinin bazıları enerji, temiz içme suyu ve çevre kirliliğidir. Nüfus ve

sanayileşmedeki artış enerji ve temiz içme suyu ihtiyacını gün geçtikçe artırmaktadır. Enerji üretmenin yanı sıra ısıtma, soğutma amaçlı da kullanılan termoelektrik (TE) teknolojisi bu

sorunlara çözüm olacaktır [1]. Termoelektrik teknolojinin soğutma alanı ile buz yapan buz makinelerinin parametrelerinin iyileştirilmesi üzerine yapılan çalışmalar çoğalmaktadır [2]. Dünyada ilk kez TES Termoelektrik Ltd. Şirketinde üretilen Türk patentli (Patent No:2014-14588) termoelektrik buz makinesinin parametrelerini iyileştirmek amacıyla araştırmalar yapılmıştır [3]. Yapılan çalışmalarda elektrik ve su tasarruflu, çevre dostu ve ısı borulu termoelektrik buz makinesinin (TEBM) deneysel olarak bütün parametreleri incelenmiştir. Dünyada patenti, altın madalya almış olan bu buluş sadece çevre, enerji ve su sorunlarını çözmeyip buz üretimi konusunda yeni bir kavram ve çözüm önerisi getirmiştir [2-5]. TEBM'nin araştırılması TES Ltd. Şirketinde geliştirilen TEPAS (Termoelektrik Performans Analiz Sistemi) cihazıyla yapılmıştır [6]. Teorik hesaplama

sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırıldığında hata sınırları içinde aynı olduğu gözlemlenmiştir.

Çevre kirliliği günümüzün en önemli sorunuyken, su ve enerji günümüzün en önemli ihtiyaçlarıdır. 1980 yılından beri her yıl su kullanımı %1 artmaktadır. Bu durum sürdürülebilir değildir. Küresel su ihtiyacının 2050 yılına kadar mevcut durumdan %20 ile %30 oranında artması öngörülmektedir [3]. Bunlar göz önünde bulundurulduğunda su tasarrufu kaçınılmazdır. Bu çalışmada, "ihtiyacın kadar buz yap hayatı (suyu) israf etme" sloganından hareketle enerji ve su tasarruflu, ısı borulu termoelektrik buz makinesi tasarımı ve uygulaması yapıldı. Tasarım ile istenildiğinde otomatik olarak buz yapan tam otomatik bir sistem geliştirildi ve patenti alındı [5-7].



Şekil 1. TEBM' nin yapısı ve genel görüntüsü (Structure and overview of the TEIM )

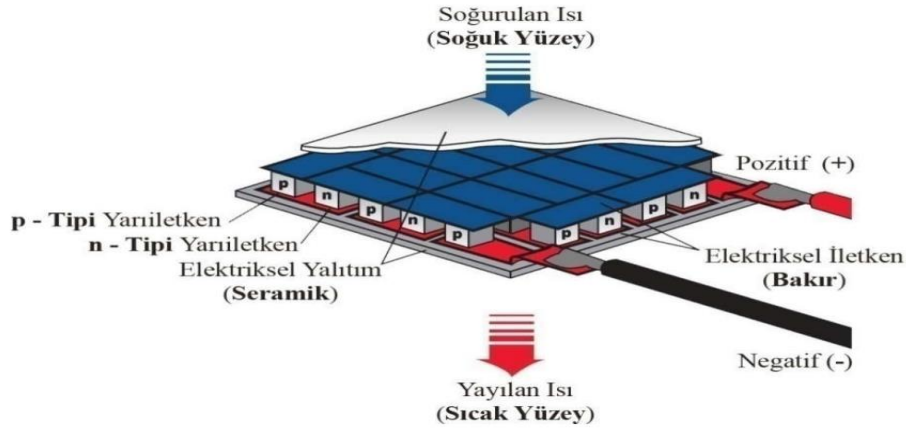
## 2. MATERYAL VE METOD (MATERIALS AND METHODS)

Bu çalışmada Cenevre-2018 46. Uluslararası Buluşlar Fuarında bir Büyük Altın ve 3 ülke Altın Madalya alan TR2014-14588 numaralı patente göre tasarlanmış ve üretilmiş [5]. Masaüstü Termoelektrik Buz Makinesinin tüm termoelektrik parametreleri TEPAS' la araştırılmıştır. Şekil 1'de gösterilen TEBM' nin yapısına bakıldığında cihazın bir kasa, bir adet termoelektrik soğutucu blok (su kap, termoelektrik modül, fanlı ısı borulu ısı transfer sistemi), bir adet DC güç kaynağı, bir adet elektronik su vanası ve cihazı akıllı kılan özel

yazılımla donatılmış, otomatik buz yapan bir adet özel yapım elektronik kontrol sisteminden oluştuğu görülmektedir. Bu çalışmada cihazın sadece termoelektrik özellikleri değil aynı zamanda cihazda kullanılan ısı borulu ısı transfer sistemi ve DC güç kaynağı incelenmiştir [5-7]. Bu çalışmada termoelektrik modülün ve buz makinesinin termoelektrik özellikleri, yeni yöntem ve test cihazı olan TEPAS ile araştırıldı. Termal yönden paralel, elektriksel yönden seri bağlı N ve P tipi yarı iletkenlerden oluşan termoelementler TE modülleri meydana getirmektedir. Termoelementlerde benzer şekilde paketlenmişlerdir.

TE modülün yapısı Şekil 2’ de gösterilmiştir. Birden fazla termoelementin birleştirilmesiyle farklı boyut ve yapıda üretilen TE modüller Şekil 3’ te gösterilmiştir. TE modül tarafından çekilen en

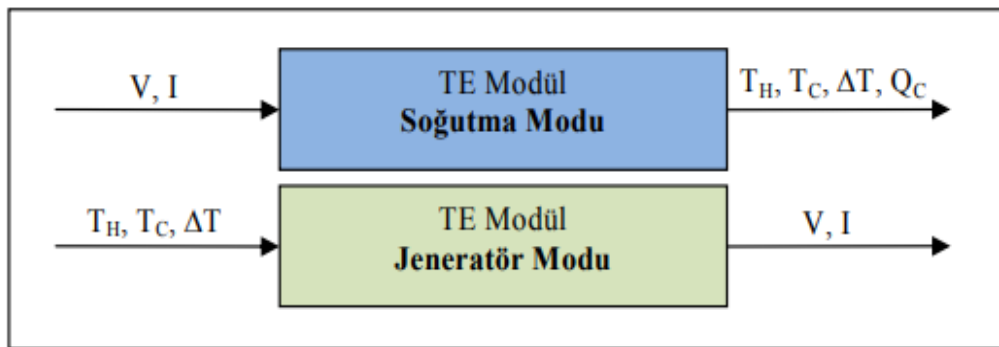
büyük akım ( $I_{max}$ ) şiddetinin değeri TE yarı iletkenlerin kalitesine, imalat özelliklerine ve büyüklüklerine göre değişmektedir.



Şekil 2. TE modülün yapısı. (Structure of the TE module.)



Şekil 3. Farklı boyut, özellik ve yapıdaki TE modüller. (TE modules of different sizes, features and structures.)



Şekil 4. TE modül giriş ve çıkış parametreleri. (TE module input and output parameters.)

TE modüller hem soğutucu hem de jeneratör olarak çalışabilirler. TE modüller soğutma modunda çalıştığında giriş parametresi gerilim (V) ve akım (I) olurken çıkış parametresi ısınan yüzey ( $T_H$ ) ve soğuyan yüzey ( $T_C$ ) arasındaki sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) olmaktadır. Jeneratör modunda ise giriş ve çıkış

parametreleri soğutma modundakinin tam tersi olmaktadır (Şekil 4). Soğutucu olarak çalışan TE modüllerin çektiği akım ve gerilim değerleri sayesinde elde edilen sıcaklık farkındaki artış modüllerin performansını artıracaktır. Yani yüzeyler arasındaki sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) veya TE

modülün soğuk yüzeyinden emilen en büyük ısı yükü ( $Q_C$ - Soğutma Gücü) TE modülün performansı olarak tanımlanabilir. TE modülün performansı ısı pompalama kapasitesi olarak da ifade edilebilmektedir.

Uygulanan akım, ısınan yüzey sıcaklığı ve soğuyan yüzeye etki eden ısı yük miktarı TE modülde oluşacak sıcaklık farkının belirlenmesinde çok önemlidir. Sıcaklık farkı TE modülün ürettiği termoemk ile doğru orantılıdır. Uygulanan akımın şiddeti TE modül performansı üzerinde büyük rol oynamaktadır. Çevredeki sıcaklık ve transfer edilen ısı performansına bağlı olan  $T_H$  değeri yükseldiğinde TE modülde 'iç ısı yük' etkisi oluşur. Bu etki  $T_C$  değerini de arttıracaktır. TE

modüllerin soğutma kapasitelerinin artırılabilmesi için  $T_H$  değeri düşük tutulmalıdır. Bu da TE sistemlerde, ısı transfer sistemlerinin kullanılmasıyla mümkün olabilmektedir.

$T_H$ ,  $T_C$ ,  $\Delta T$  ve  $Q_C$  parametreleri TE modüller için oldukça önemlidir. TE yarıiletken ve modüller için TEPAS ile ölçülebilen parametreler Tablo 1' de verilmiştir. TE modüle uygulanan DC akım parametresine bağlı olarak  $Q_C$ ,  $Q_H$ ,  $T_C$ ,  $T_H$ ,  $P$ ,  $COP$ ,  $K$ ,  $R$ ,  $Z$  çıkış parametreleri ile  $V_{max}$ ,  $I_{max}$  ve  $E_{max}$  olarak adlandırılan deneysel parametreleri mevcuttur [6]. TEPAS'ın çalışma prensiplerini oluşturan yeni yöntemin teorisi R. Ahıska tarafından geliştirilmiştir [4-12]. Bu çalışmada teorik hesaplamalar yeni yonteme göre yapılmıştır.

**Tablo 1.** TEPAS'la ölçülebilen parametreler. (Parameters that can be measured with TEPAS.)

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

Yeni yöntemin temelini oluşturan formüller aşağıda verilmiştir. Test edilen buz makinesinde tek bir 4x4 cm'lik termoelektrik modül kullandığından modülün parametreleri buz makinesinin parametrelerini oluşturmaktadır. Buna göre modülün Watt olarak  $Q_C$  ve  $Q_H$

$$Q_C = V_{\max} I - \frac{0,5I^2(V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - \left[ I + \frac{0,5(V_{\max} - E_{\max})I_{\max}}{E_{\max}} \right] E \quad (1)$$

$$Q_H = V_{\max} I + \frac{0,5I^2(V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - \frac{0,5(V_{\max} - E_{\max})I_{\max}}{E_{\max}} E \quad (1)$$

Eş. 1 ile bulunabilirler.

Modülün tükettiği güç Eş. 2 ile hesaplanabilir:

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

Buradan modülün verimi,

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

Eş. 3 ile bulunabilir. Bunlara ek olarak modülün Z parametresi

$$Z = \frac{V_{\max} E_{\max}}{0,5(V_{\max} - E_{\max})^2 T_H} \quad (4)$$

Eş. 4 ile yazılabilir.

Buz makinesine kullanılan modülün herhangi bir yüzeyindeki sıcaklığın ölçülmesi, termokupların TE modülün üzerine konulması ve çıkışlarının da dışarıya çıkarılması ile yapılabilir. Bu ölçüm oldukça zordur. Ne var ki modülün sıcak yüzeyinin sıcaklığı  $T_H$ 'nin ölçülmesi dışarda olduğundan oldukça kolaydır.

Modülün yüzeylerindeki soğuk ve sıcak yüzeylerin sıcaklıkları  $T_C$  ve  $T_H$  için yeni teoriye göre,

$$T_C = T_H \left( 1 - \frac{E}{V_{\max}} \right) \quad (5)$$

$$T_H = \frac{T_C}{\left( 1 - \frac{E}{V_{\max}} \right)} \quad (6)$$

eşitlikleri yazılabilir. Doğrudan ölçülmesi zor olan  $T_C$  sıcaklığının,  $T_H$  ve  $E$  değerlerinin ölçülmesi ile bulunabilir olduğunu Şekil 5 göstermektedir. Aynı denklemde  $T_H$  tek bırakılarak Eş. 6 elde edilir. Burada da  $T_C$  ve  $E$  (değerlerini kullanarak  $T_H$  bulunabilir.

Termoemk  $E$ 'nin değişik akımlardaki  $Q_C$ 'ye göre değişimi ise Eşitlik 7 ile ifade edilecektir:

$$E = \frac{V_{\max} I - \frac{0,5I^2(V_{\max} - E_{\max})}{I_{\max}} - Q_C}{I + \frac{0,5(V_{\max} - E_{\max})I_{\max}}{E_{\max}}} \quad (7)$$

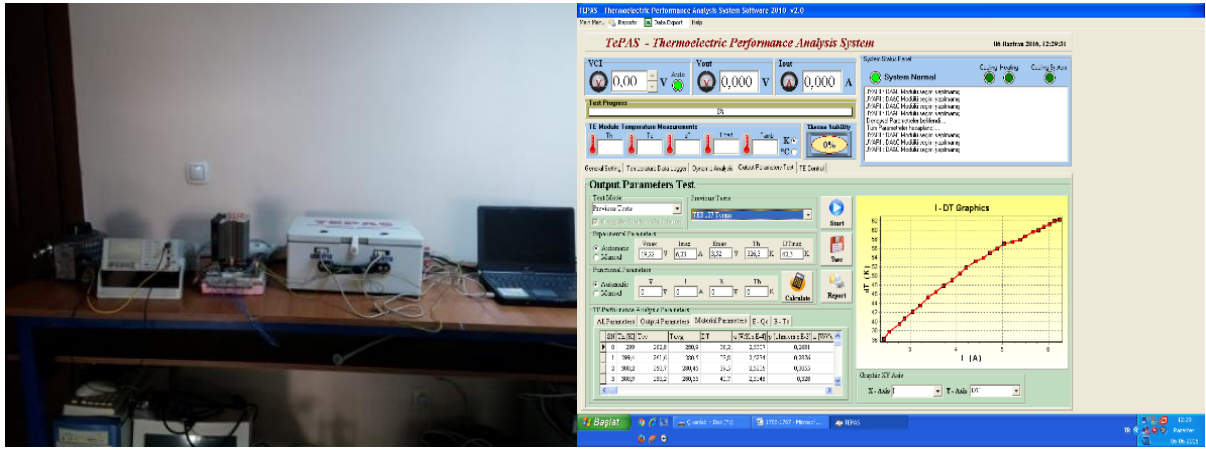
Elde edilen (1)-(7) eşitlikleri, çalışan modülün o andaki tüm parametrelerini (3) vermektir. Eşitliklerin hesaplanabilmesi adına farklı modüller için farklılık gösteren  $I_{\max}$ ,  $V_{\max}$  ve  $E_{\max}$  değerleri bulunmalıdır. Bu nedenle bu parametrelere modülün deneysel parametreleri denebilir.  $T_C$  veya  $T_H$  sıcaklıklarından yalnız birinin ölçülmesi de eşitliklerin kullanımı için gereklidir. TE modüldeki yarı iletkenlerin geometrik özelliklerine bağlı olmayan  $V_{\max}$  ve  $E_{\max}$ , modülün makro büyüklükleri olarak adlandırılır. Bu nicelikler oldukça kolay bir şekilde ve büyük hassasiyetle ölçülebilirler. Sonuç olarak çalışan modül tarafından çekilen  $I$  akımının, modülün uçlarına düşen  $V$  geriliminin, modülün ürettiği termoemk  $E$ 'nin ve herhangi bir yüzeyindeki sıcaklığının ölçülmesi, modülün dinamik ısı ve elektriksel özelliklerinin araştırılması için kafidir. Bunlara ek olarak bu formüller, modüllerin malzemelerinin kalitesinin ölçüsü olabilecektir. Bununla birlikte ölçümler kolay ve hassas yapılabilirler. Bu yöntemin maliyet bakımından düşük olduğu tartışılmazdır [13-15].

### 3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Çalışmalarımızda ölçüm için kullanılan TEPAS'ın iç ve dış görünümünün bilgisayar alıntısı Şekil 5'te verilmiştir. Termoelektrik buz makinesinin veya makinesinin termoelektrik bloğunun testi için Şekil 6'daki düzenek kuruldu.



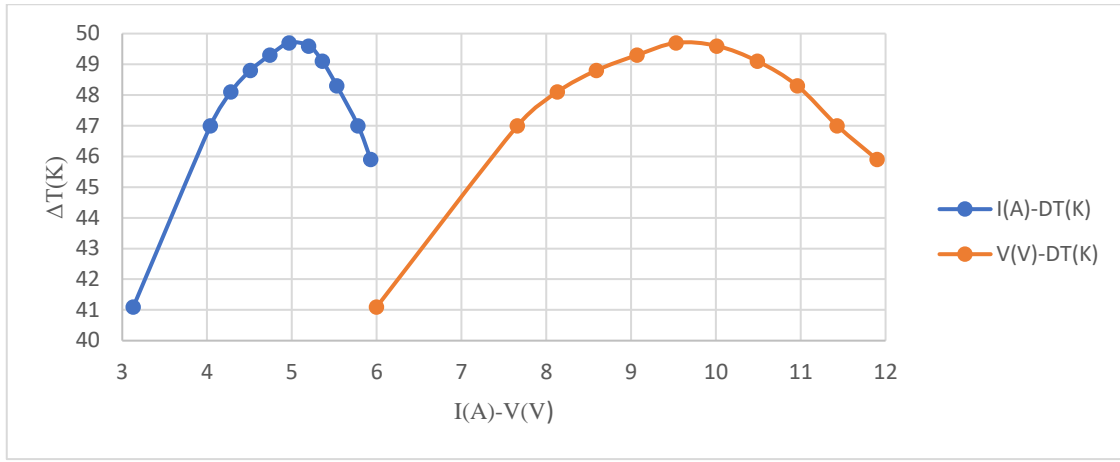
Şekil 5. TEPAS'ın görünümü (TEPAS's view)



Şekil 6. TEBM veya TE bloğun TEPAS' lı test düzeneği (Test setup of TEIM or TE block with TEPAS)

Tablo 2.  $T_{Cmin}$  rejiminde, termoelektrik bloğun çıkış parametrelerinin akım ve gerilime göre değişimi (Variation of output parameters of thermoelectric block according to current and voltage in  $T_{Cmin}$  regime)

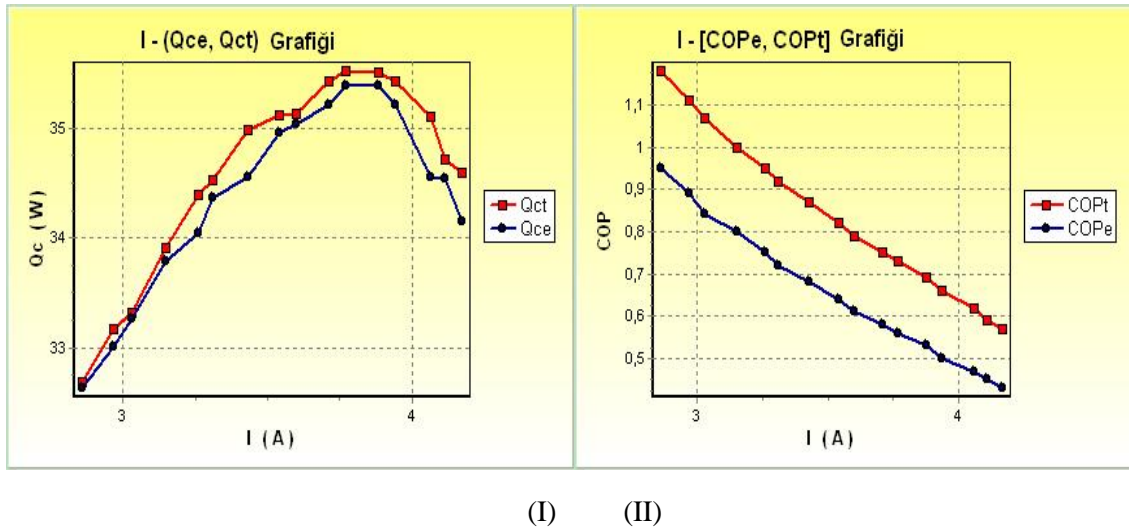
I (A)	V (V)	$T_H$ (K)	$T_C$ (K)	$\Delta T$ (K)	E (V)
3,13	6,00	304,8	263,7	41,1	1,28
4,04	7,66	307,7	260,7	47,0	1,52
4,28	8,13	308,6	260,5	48,1	1,50
4,51	8,59	309,4	260,6	48,8	1,62
4,74	9,07	310,6	261,3	49,3	1,66
4,97	9,53	311,8	262,1	49,7	1,68
5,20	10,01	313,0	263,4	49,6	1,73
5,36	10,49	314,3	265,2	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 7. TEBM veya TE bloğun akım ve gerilime bağlı sıcaklık değişimleri (Temperature changes of TEIM or TE block depending on current and voltage)

TEPAS ile yapılan ölçümlerde modülün parametreleri  $\Delta T_{max}=62,3$  °C,  $I_{max} = 6,23$  A,  $V_{max} = 19,22$  V,  $E_{max} = 3,52$  V,  $P = I_{max} * V_{max} = 120$  W

olarak ölçülmüştür. TEPAS ile elde edilen birçok verilerden birkaç örnek sonuçlar Tablo 2 ve Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 8. TEBM veya TE bloğun  $Q_{Cmax}$  rejimdeki (I)  $Q_C$  ve (II) COP'un  $I$ 'ya göre değişimi (Change of (I)  $Q_C$  and (II) COP of TEIM or TE block in  $Q_{Cmax}$  regimen compared to  $I$ )

Tablo 3. TE modül ile TE sistem parametrelerinin karşılaştırılması (Comparison between TE module and TE system parameters)

Özellik	TEBM (CP1.4-127-10)		TEBM (TEC1-12705)	
	TEPAS	Üretici Kataloğu	TEPAS	Üretici Kataloğu
$\Delta T_{max}$ (°C)	57,6	68	49,6	66
$I_{max}$ (A)	3,92	3,9	4,99	5,3
$V_{max}$ (V)	17,32	15,40	9,53	14,2

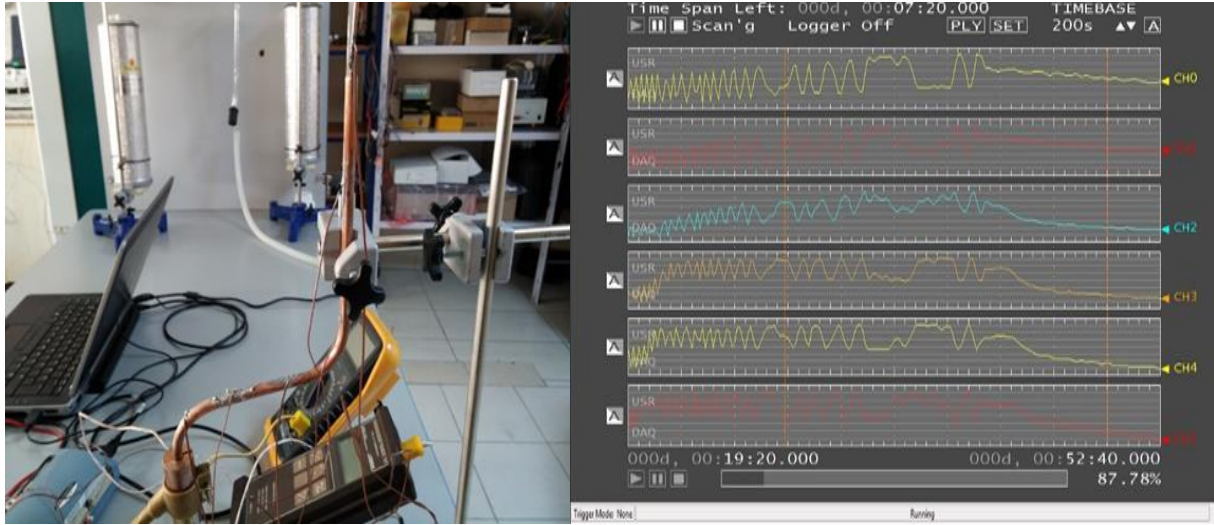


$E_{max}(V)$	3,09	-	1,68	-
$Q_{Cmax}(W)$	31,6	33,40	37,8	43
$R(\Omega)$	3,46	3,44	1,59	2,40

TEPAS ile yapılan ölçümlerden elde edilen verilerin bilgisayar alıntısı Şekil 8’de verilmiştir [16]. Burada  $Q_{Ce}$  deneysel  $Q_{Ct}$  teorik sonuçları ifade etmektedir. Bu iki değer birbirine çok yakın olduğundan TEPAS’ın en fazla %5’lik bir hataya ölçüm yaptığı görülmüştür. Aynı sonuç TEBM’de kullanılan sırasıyla CP1.4-127-10 ve TEC1-12705 model TE modülleri TEBM’ de kullanılmıştır. Bu modüllerin TEPAS ile elde edilen parametreleri ile Bu çalışmada termoelektrik buz makinesinin termoelektrik modülden sonra en önemli elemanı olan ısı borulu ısı transfer sistemi araştırıldı. TEBM’ de kullanılan modülün  $Q_{Cmax} = 50 W$  ve  $Q_H = 100 W$  olduğuna göre Şekil 1’de gösterilen fanlı ısı borulu sistem her biri 20 W olan 6 adet paralel bağlı ısı borulardan üretilmiştir. Bu sistemin toplam

üretici katalog verileri karşılaştırılmıştır (Tablo 3). Tablo 3’ de görüldüğü üzere çalışan TE modüllerin parametreleri farklıdır. TE sistemin tasarımı, yalıtımı, ısı transfer sisteminin performansı bu farklılığın oluşum sebeplerindedir. Bu farkın bir diğer sebebi ise TE modülün yapısındaki termoelektrik yarı iletkenlerin özelliklerinin, çalışma durumunda farklılık göstermesidir [6].

ısı atma kapasitesi 120 W olup TEBM’ de kullanılan modülün yüzeyler arasında meydana getirdiği sıcaklık farkı en az 50 °C olarak ölçülmüştür. Bu değer çevre sıcaklığı 25 °C iken tespit edilmiştir. Şekil 9’da tek bir ısı borunun test düzeneği ve özel sıcaklık ölçüm sistemiyle elde edilen sonuçların bilgisayar alıntısı verilmiştir.



Şekil 9. TEBM kullanılan ısı boru test düzeneği (Heat pipe test mechanism used in TEBM)

Burada ısı borunun ortalama ısı direnç  $R=(T_5-T_1)/P(W)=1,42$  °C/W olarak bulunmuştur. Ayrıca bu çalışmada termoelektrik buz makinesinin termoelektrik modül ve ısı borulu ısı transfer sistemden sonra en önemli elemanı SMPS DC güç

kaynağı incelenmiştir. TEBM’de kullanılan Proline 2420 Battery Changer 24 VDC- 20 A güç kaynağının parametrelerini ölçmek için Şekil 10’daki düzenek kullanılmıştır.



**Şekil 10.** *TEBM kullanılan güç kaynağı (TEIM used power supply)*

Burada DC Wattmetre ile yapılan ölçümlerde; 4,90 A- 13,8 V- 66,5 W- 0,7 Wh- 1,3 Vh-12,98 Vm-0,07 Ah- 75,4 Wp değerleri ölçülmüştür. Buna göre TEBM' de kullanılan termoelektrik modülün aldığı

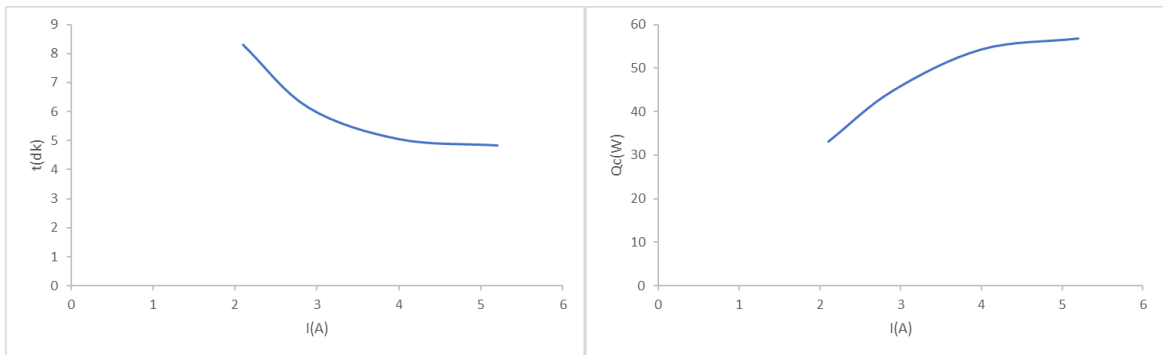
güç 66,5 W iken TEBM'nin tükettiği toplam güç 80 W' ı geçmemiştir. Bu sonuçlar TEBM'nin ne kadar enerji tasarruflu olduğunu göstermektedir.

TEBM' de buz yapma sürelerini test etmek için 10 g su buz haznesinde iken sırası ile 2, 3, 4, 5 A uygulanarak buz yapma süreleri ölçüldü. Elde

edilen ölçümler Tablo 4'de gösterildi. Akıma bağlı  $Q_c$  ve  $t$  süreleri grafik olarak Şekil 10'da gösterildi.

**Tablo 4.** *Deneysel veriler (experimental data)*

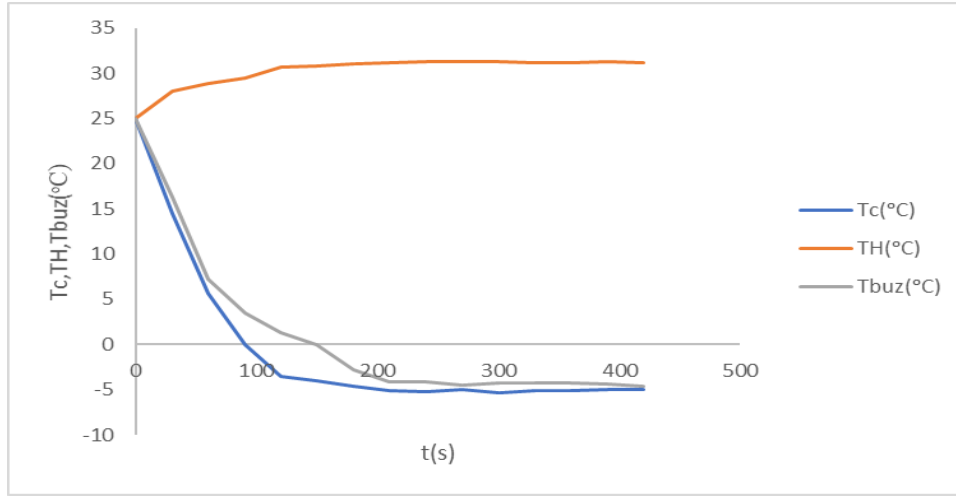
I (A)	V (V)	$Q_c$ (W)	t (dk)
2,2	5,95	33,2	8,3
2,9	9,1	44,8	6,13
4	11,7	54,3	5,05
5,2	15,1	56,8	4,83



**Şekil 11.** *I- $Q_c$  ve I-t grafikleri (I- $Q_c$  and I-t graphics)*

Grafikler incelendiğinde 5,2 A akımda  $Q_C=56,8$  W olarak ölçülürken 4,83 dakikada 10 g suyun buz haline geldiği görüldü. Ölçümler 24 °C çevre sıcaklığında yapıldı. Akım değeri arttıkça  $Q_C$

değerleri artarken buz yapma süreleri azalmaktadır. Ayrıca Şekil 12’de  $T_C$ ,  $T_H$  ve  $T_{buz}$  (buzun sıcaklığı) zaman grafikleri verilmiştir.



Şekil 12.  $T_C$ ,  $T_H$  ve  $T_{buz}$  zaman grafikleri. ( $T_C$ ,  $T_H$  and  $T_{ice}$  time graphics)

Ayrıca TEBM' nin buz üretimini gösteren resim Şekil 13'te verilmiştir [17].



Şekil 13. TEBM ürettiği buzlar [17]. (The ice produced by TEIM [17].)

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Isıtma, soğutma ve enerji üretme amaçlı termoelektrik (TE) teknolojisi artan temiz içme suyu ve enerji ihtiyaçlarının giderilmesinde çözüm olacaktır. Çevreye dost olmasının yanında, su ve enerji tasarrufu sağlaması TE teknolojileri öne çıkarmaktadır. Dünyada termoelektrik soğutma sanayisini oluşturan buz makinelerinin parametrelerinin iyileştirilmesi üzerine yapılan

çalışmalar artmaktadır. Çalışmamızda dünyada ilk kez TES Termoelektrik Ltd. Şirketinde üretilen Türk patentli (Patent No:2014-14588) termoelektrik buz makinesinin parametrelerini iyileştirmek amacıyla araştırmalar yapılmıştır. Bunun için, elektrik ve su tasarruflu, çevre dostu, ısı borulu termoelektrik buz makinesinin (TEBM) deneysel olarak bütün parametreleri ileri teknoloji ve inovatif

ürün olan TEPAS ile incelenmiştir. Dünyada patenti, altın madalya almış olan bu buluş sadece çevre, enerji ve su sorunlarını çözmüştür. Aynı zamanda insanoğlunun buz tüketimi ve üretimi konusunda yeni bir kavram ve çözüm önerisi getirmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar hata sınırları içinde teorik hesaplama sonuçlarıyla aynı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca bu çalışmada yeni ölçüm yöntemiyle çalışan TEPAS sisteminin yüksek performansı görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre TEBM, bir bardak içeceği soğutmak için gerekli olan 10 g buz en fazla 5 dakikada yapmaktadır. Bu surede makinenin harcadığı elektrik enerji sadece  $15,1 \text{ V} \times 5,2 \text{ A} = 0,075 \text{ kW}$  olmuştur. Oda sıcaklığında (ortalama  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) bulunan 10 g suyu 5 dakikada buza dönüştürmek için suya  $49,12 \text{ W}$ 'lık bir ısıl yük aktarmak gerekmektedir. Buna göre TEBM' de özel modül seçilmiş ve yüklü iken soğutma kapasitesi  $56,8 \text{ W}$  olmuştur. TEBM' de dünyada ilk kez termoelektrik teknolojiyle ısı boru (heat pipe) teknolojisi bir araya

getirilmiştir. Termoelektrik modülün ısınan yüzeyini soğutmak (oda sıcaklığında tutmak) için özel ısı borulu soğutma sistemi yapılmıştır ve test edilmiş. Buzu hızla yapabilmek için her biri  $20 \text{ W}$ 'lık ısıl gücü atabilen içi özel işlenmiş bakır borulara özel şekil verilerek toplam 6 borudan oluşan özel bir ısı transfer sistemi üretilmiştir. TEBM' de kullanılan fanlı ısı borulu ısı transfer sisteminin gücü  $120 \text{ W}$  olup modülde medya getirdiği sıcaklık farkı  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  olmuştur. TEBM' de kullanılan özel SMPS DC güç kaynağının, amaca uygun yüksek verimli ve yüksek güvenilirlikte olması sağlanmıştır. Buz makinesini akıllı, daha verimli ve elektrik tasarruflu kılmak için TEBM' de PID özel sıcaklık kontrol sistemi kullanılmıştır. Bu kontrol sistemini akıllı kılmak için ise TEBM' de ATMEGA328 tabanlı özel bir yazılım geliştirilmiştir. Sonuç olarak teori ile deneysel çalışmalar arasındaki ortalama hata payı soğutma performansı üzerinde yapılan hesaplamalarda dört akım değeri için %2,4 olarak hesaplandı.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu çalışma Gazi Üniversitesi BAP projesi kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: FYL/2023-8540

This study was supported by Gazi University BAP project.  
Project No.: FYL/2023-8540

#### ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazarı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

The author of this article declares that the materials and methods they use in their work do not require ethical committee approval and/or legal-specific permission.

#### ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

There is no conflict of interest in this study.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

[1] Günay Ömer (2023). Earth Air Thermoelectric Generators, GU J Sci, Part C, 11(3), 804-812.

[2] A. Rodríguez, J.G. Vián, D. Astrain, (2009). Development and experimental validation of a computational model in order to simulate ice cube production in a thermoelectric ice-maker. Applied Thermal Engineering 29, 2961–2969.

[3] Ye Liu, Xueli Wang, Xiao Liu, Jianlin Yu, Hongkui Ma, (2022). Experimental research on a semiconductor freezer utilizing two-stage thermoelectric modules. Energy Conversion and Management 274, 1-10.

[4] Yan-Wei Gao, Shi Cong-Linga, Wang Xiao-Dong, (2019). Numerical analysis for transient supercooling effect of pulse current shapes on a two-stage thermoelectric cooler. Applied Thermal Engineering ng 163, 1-10.

[5] R. Ahıska, (2014). Patent No: TR 2014-14588.

[6] S. Dislitas, (2009). Bilgisayar Kontrollü Termoelektrik Performans Analiz Sistemi, Doktora Tezi, Ankara.

[7] Yavuz H., Omer G. (2022). Heat Pipe Thermoelectric Ice Machine Design: For Water and Energy Saving, Emerging Materials Research 35 (4), 3-15.

[8] Ahıska, R., Ahıska, K., (2010). New method for investigation of parameters of real thermoelectric modules, Energy Conversion and Management, 51, 338-345.

[9] R. Ahıska, G. Ahıska, K. Ahıska, (2009). 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.

- [10] Ahıska, R., (2009). Comparing analysis of a new method for measurement of parameters of real thermoelectric modules, XIII International Forum on Thermoelectricity, Ukraine, 28-36.
- [11] R. Ahıska, (2005). The study of thermoemf effect on exit parameters of thermoelectric modules, International Conference Fizika, Azerbaijan, 144-148.
- [12] Ahıska, R., (2008). New method for studying parameters of a thermopile, Journal of Thermoelectricity, 3, 71-82.
- [13] Ahıska, R., (2007). New method for investigation of dynamic parameters of thermoelectric modules, Turk J Elec Engin, 15 (1), 51-65.
- [14] Ahıska, R., (2007). New method for study dynamic exit properties of thermoelectric modules, J. Fac. Eng. Arch. Gazi Univ., 22 (4), 709-716.
- [15] Ahıska, R., and et. (2004). Standart termoelektrik modülün Z parametresinin ölçülmesi için yeni yöntem ve yeni sistem, Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 19 (4), 467-473.
- [16] Ahıska R, Dislitas S, Omer G, (2012). A new method and computer-controlled system for measuring the time constant of real thermoelectric modules. Energy Conversion and Management, 53, 314-321.
- [17] TES Ltd, (2023). Web: [testthermoelectric.com](http://testthermoelectric.com), Ankara.