



NWSA-Engineering Sciences
ISSN: 1306-3111/1308-7231
NWSA ID: 2015.10.3.1A0357

Status : Original Study
Received: February 2015
Accepted: July 2015

E-Journal of New World Sciences Academy

Emrah Deniz

Karabük University, edeniz@karabuk.edu.tr, Karabük-Turkey

Berat Burak Kavak

Karabük University, kavakburak@hotmail.com, Karabük-Turkey

Kamil Arslan

Karabük University, kamilarслан@karabuk.edu.tr, Karabük-Turkey

<http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2015.10.3.1A0357>

**SERİ BAĞLI ARDIŞIK TERMOELEKTRİK SOĞUTUCULARIN SOĞUTMA
PERFORMANSLARININ DENEYSSEL İNCELENMESİ**

ÖZET

Çalışmada, seri bağlı termoelektrik (TE) modüllerinin performans değerleri deneysel olarak incelenmiştir. Seri olarak bağlanmış modüller 5V ile 15V gerilim değerleri aralığında, her gerilim değeri için hava ve su soğutmalı biçimde çalıştırılmıştır. 5V değerinde hava soğutmalı deneyde ulaşılan soğutma performans değeri (COP) 0.57 iken 15 V'ta bu değer 0.35 olmaktadır. Su soğutmalı sistemde ise, 5V gerilimde COP değeri 0.12 ve 15 V gerilimde 0.14 olarak tespit edilmiştir. Deneysel sonuçların tamamı göz önünde bulundurulduğunda, hava ve su soğutmalı sistemlerde soğutma kapasitesi değerleri uygulanan elektriksel gücün artışına bağlı olarak artış gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca, aynı şartlar altındaki sistemlerin tepki hızlarında farklılıklar ortaya çıktığı gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: İki Kademeli Termoelektrik Soğutucu,
Seri Bağlı, COP, Soğutma Kapasitesi.

**EXPERIMENTAL STUDY ON COOLING PERFORMANCE OF SERIAL-CONNECTED
CASCADE-TYPE THERMOELECTRIC COOLERS**

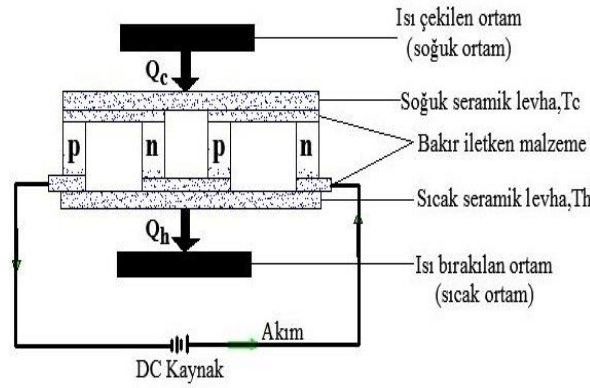
ABSTRACT

In the study, performance values of thermoelectric (TE) modules with connected serially have been studied experimentally. Serial-connected thermoelectric modules have been run in the voltage range of 5V to 15V, and under air-cooled and water-cooled conditions. While the coefficient of performance value (COP) of thermoelectric modules under air-cooled condition is 0.57 for the voltage range of 5V, this value is 0.35 for the voltage range of 15V. In the water-cooled condition, the COP values of the thermoelectric modules are 0.12 and 0.14 for the voltage range of 5V and 15V, respectively. Considering all of the experimental results, it was obtained that the cooling capacity values for air- and water-cooled system increased depending on increasing of the electrical power applied on the system. Also, it was observed that the differences in the response rate under the same conditions.

Keywords: Two-stage thermoelectric Cooler, Serial-connected,
COP, Cooling Capacity

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

TE modüller; iki farklı metalden oluşan, birleşme noktaları farklı sıcaklıklarda bulunan kapalı bir devreden oluşmaktadır [1]. TE soğutucular, bazen TE modül veya "Peltier soğutucusu" diye de adlandırılabilirler. TE soğutucular küçük bir ısı pompası gibi çalışan yarı iletkenlerdir. Bir doğru akım kaynağından sağlanan küçük bir gerilim sayesinde ısı, modülün bir ucundan diğerine doğru hareket eder. Böylece modülün bir yüzeyi ısınırken, diğer yüzeyi eş zamanlı olarak soğumaya başlar. Bu olay, doğru akım kaynağının artı ve eksi kutuplarının yer değiştirmesiyle tersine çevrilebilir. Bir termoelektrik modül, kullanım amacına göre ısıtıcı veya soğutucu olarak kullanılabilir. Çoğu termoelektrik soğutucu modül, yüzey alanı başına 3-6 W/cm²'lik bir ısı aktarımı yapabilir [2]. Şekil 1'de bir termoelektrik modülün kesit görüntüsü ve çalışma prensibi şematik olarak görülmektedir [3].



Şekil 1. Termoelektrik modüllerin kesit görünümü [3]

(Figure 1. Cross-sectional-view of thermoelectric modules [3])

TE soğutucular genellikle küçük hacimlerin soğutulması uygulamalarında güvenilir, sessiz ve düzgün çalışan, çevre dostu sistemlerdir. Ayrıca, sıcaklık kontrolünün önemli olduğu çalışmalar için oldukça uygundur. TE soğutucuların kullanımının önündeki en önemli engel ise, COP değerlerinin kompresörlü soğutma sistemlerinden oldukça düşük olması ve pahalı olmalarıdır. Bunun yanında günümüzde teknolojiye gelişmelerle birlikte TE modül fiyatlarında zamanla düşüşler olmaktadır.

X.C. Xuan, K.C. Ng ve diğerleri, elektriksel olarak seri, paralel ve ayrıık olarak bağlanmış, iki katlı TE soğutucuları üç farklı maksimum sıcaklık farkına göre analiz etmişlerdir. Analizler, tüm iki katlı TE soğutucular için önemli olan bir "r" oranına göre yapılmıştır. "r" oranı TE modül katları arasındaki termokupl sayılarının oranını belirtmektedir. Çalışmada, maksimum sıcaklık farkı ilk ve son yapılandırılarda tek katlı TE soğutucuda daha yüksek olduğundan kriyojenik uygulamalarda TE soğutucu olarak teşvik edilebileceği sonucuna ulaşmışlardır. "r" değerinin sonsuza yaklaştığı durum için maksimum sıcaklık farkını sınırlayıcı kapalı formüller ortaya koymuşlardır. Ayrıca, iki katlı TE soğutucunun polar karakteristiklerini alternatif elektrik akımları uygulayarak tartışmışlardır [4]. Wang ve diğerleri, ilk defa iki aşamalı TE modüllerin elektriksel olarak sırasıyla seri, paralel ve ayrıık bağlı üç çeşit performansını optimize etmek için üç boyutlu multi-fizik modelini kullanmıştır. En iyi duruma gelmeleri için iki katlı TE modül 30 TE eleman kullanılarak yapılmıştır. En uygun soğutma kapasitesi, COP ve maksimum sıcaklık farkına ulaşmak için sayı oranı ve akım oranı

değerleri araştırılmıştır. İki katlı TE modüllerin performanslarını tahmin etmek için sıcaklığa bağlı malzeme özelliklerinin son derece önemli olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca, TE öge sayısının soğutma kapasitesi ve COP değerini geliştirmek için yüzey alanı üzerinde daha fazla olması gerektiği ve optimal sayı oranının 1.73 ile 2.33 dizi yapılandırması için uygun olduğu tespit edilmiştir [5]. Yavuz ve diğerleri, 1.5 litre hacmindeki hazne içerisine 1 kg su doldurarak, 40x40x3.8mm boyutunda TEC-12706 kodlu termoelektrik modülün sıcak yüzeyindeki ısıyı üç farklı hava debisi ile soğutarak sistem performansına etkilerini incelemiştir. Yüksek hava debisinin, TE modülün soğutma kapasitesini arttırmasına rağmen daha fazla fan gücü harcanmasına neden olduğundan sistemin COP değerini düşürdüğü sonucuna varmışlardır [6]. Erel ve diğerleri, TE dönüştürme elemanlarından oluşan bir peltier dizininin kullanımıyla güneş enerjisinden elektrik enerjisinin elde edilmesini hedefleyen iki farklı jeneratör tipi kullanmışlardır. Isıtma işlemi güneş enerjisinden sağlanırken, soğutma işleminde ise, akışkan olarak su ve hava kullanılmıştır. Yapılan deneylerde hava soğutmalı sistemin su soğutmalı sisteme göre daha verimli olduğu gözlenmiş ve bu durumun kullanılan iki farklı yöntemin özelliğinden kaynaklandığı sonucu savunulmuştur [7].

Usta ve Kırmacı, TE etkileri teorik olarak inceleyen ve termoelektrik soğutma etkisi kullanımının yaygınlaştırılmasına yönelik deneysel bir çalışma yapmışlardır. Yapılan deneysel çalışmada, 40x40x4mm boyutlarında bir termoelektrik modül, boyutları 50x60x50mm olan ve dış ortama yalıtılmış bir kutuya alttan yerleştirilmiştir. Kutu içerisine 125 gr su doldurulmuş, suyun soğutulması gözlenerek soğutma etkinliği ve akım ile gerilim arasındaki ilişki incelenmiştir. TE modülde açığa çıkan ısının sıcak yüzeyden ne kadar hızlı uzaklaştırılırsa, soğuk yüzey sıcaklığının daha da düşük sıcaklıklara ulaşacağı ve soğutma sistemi COP değerinin düşük olmasından dolayı ancak elektrik enerjisinin kolay temin edilebileceği yerlerde kullanımının uygun olduğu sonucuna varmışlardır [8].

Cheng ve Shih, iki kademeli TE soğutucuların soğutma kapasitelerini ve COP değerlerini en üst seviyeye çıkartabilmek amacıyla genetik algoritmaya (GA) dayalı bir metot sunmuşlardır. Yeni matematik modelleme ile sıcaklığa bağlı malzeme özellikleri ve temas ile ısı yayılım direnç etkilerinin dahil edildiği yeni bir model ile ilgilenerken GA'dan elde ettikleri optimal verileri öncelikle analitik yöntemlerle elde edilen veriler ile karşılaştırarak doğrulamışlardır. GA hesaplama sürecinde, arama işlemleri hızlı bir şekilde gerçekleştirildiği ve optimal parametrelerin zorlanmadan bulunduğu rapor edilmiştir [9].

Yapılan bu çalışmada ise, literatürdeki çalışmalar ışığında bir araç tipi soğutma kabininin ardışık seri bağlı TE modül sistemi kullanılarak hava ve su soğutmalı uygulamalarda farklı elektriksel yükler altındaki performans değerleri laboratuvar şartlarında incelenmiştir. Elde edilen veriler teorik çerçevede değerlendirilerek her iki soğutma yönteminin ve farklı elektriksel yüklerin seri bağlı TE soğutma sistemlerinin performanslarına etkilerinin karşılaştırması yapılmıştır.

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Çok katmanlı TE soğutucular ısı kaynağı ve ısının atıldığı yüzey arasındaki sıcaklık farklarının tek kademeli TE soğutuculara göre daha yüksek olmasını sağlamaktadırlar [10]. Bununla birlikte çok kademeli TE modüller birbirleri ile elektriksel olarak seri, paralel ve ayrıık biçimde bağlanabilmektedirler. Yapılan çalışma, çok katmanlı TE soğutucuların hem COP ve soğutma kapasitesi özelliklerini hem de

birbirleri ile elektriksel olarak seri bağlı oldukları durumda sergiledikleri özellikleri çeşitli şartlar altında incelemeyi hedeflemektedir.

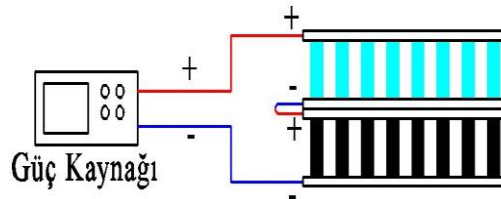
3. MATEYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Çalışmalar, Karabük Üniversitesi laboratuvarlarında hazırlanan deneysel sistem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler, TE modüllere 5V ile 15V gerilim değerleri aralığında, her gerilim değeri için ayrı ayrı hava ve su soğutma uygulaması yapılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde soğutma kabini olarak araç tipi bir soğutucu kullanılmış, 40x40x4,2mm boyutlarında TEC1-12703DFKY07-04 model iki adet termoelektrik modül ve hava soğutmalı sistemde soğutma için 100x160x35mm boyutlarında bir alüminyum plaka kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan TE modüllerin teknik özellikleri Tablo 1'de verilmiş olup, " α " Seebeck katsayısını, " ρ " elektriksel direnci, " k " ısı iletkenliği, " N " termoelektrik çift sayısını, " G " şekil faktörünü, " V " gerilimi, " I " akımı, " R " termoelektrik direnci, " Z " kalite katsayısını ifade etmektedir. Su soğutmalı sistem için ise, Thermaltake firmasının 760E model sulu soğutma sistemi tercih edilmiştir. Güç kaynağı olarak GWINSTEK GPD 3303S DC güç kaynağı kullanılmıştır. Hazırlanan sistemde tüm sıcaklık ölçümleri ise, ± 0.1 °C hassasiyete sahip nikel krom-nikel (K tipi) ısı çiftleri kullanılarak yapılmıştır. Sıcaklık verileri Advantech marka "Adam 4018" veri dönüştürücü aracılığıyla bilgisayar ortamına aktarılarak ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

Tablo 1. TE modülün teknik özellikleri
(Table 1. Technical properties of TE moduls)

$\alpha = 2.02 \times 10^4$ [V/K]	$V = 15.40$ [V]
$\rho = 1.01 \times 10^{-3}$ [Ωcm]	$I = 3.9$ [A]
$k = 1.51 \times 10^{-2}$ [W/mK]	$R = 3.44$ [Ω]
$N = 127$	$Z = 2.68 \times 10^{-3}$ [K^{-1}]
$G = 0.077$ [Alan/Uzunluk]	$Q_{\max} = 33$ W

Su soğutmalı sistem, hava soğutmalı sistemlerde karşılaşılan en önemli problemlerden olan TE modül sıcak yüzey ısısının uzaklaştırılmasına alternatif olarak tasarlanmıştır. Çalışmalarda kullanılan ardışık bağlı TE modüllerin seri olarak bağlanması şematik olarak Şekil 2'de görülmektedir.



Şekil 2. Ardışık seri bağlanmış modül şematik görünümü
(Figure 2. Schematic view of serial-connected cascade modules)

Şekil 2'de deney düzeneğinde yer alan termoelektrik modüllerin seri bağlanabilmesi için alt katta bulunan modülün + ucu ile üst katta bulunan modülün - ucu birleştirilmiştir. Açıkta kalan diğer uçlarında güç kaynağına bağlanması ile modüller seri olarak bağlı hale getirilmiştir. Farklı şartlarda yapılan her deney 1.5 saatlik süre zarfında her 5 dakikada bir veri alınarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde modüllerin alt yüzey (T_c) ve üst yüzey sıcaklıkları (T_h), kabin iç sıcaklığı (T_{ic}), ortam sıcaklığı (T_{ort}), kabin içinde bulunan

fan giriş (T_{afg}) ve çıkış sıcaklıkları ($T_{afç}$) ve hava soğutmalı sistem için sıcak yüzey ısısını uzaklaştırmada kullanılan fanın çıkış sıcaklığı (T_{fan}) kayıt altına alınmıştır. Şekil 3'te hava soğutmalı uygulamaların gerçekleştirildiği deney düzeneği görülmektedir.



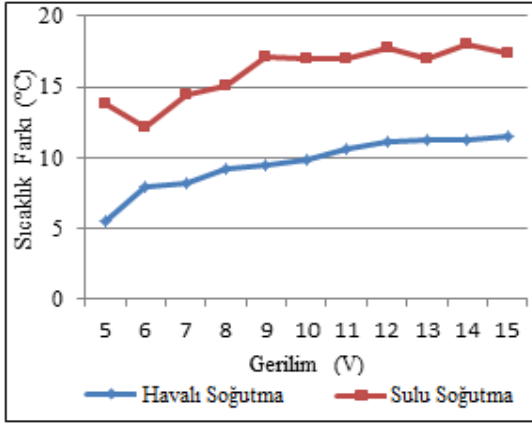
1. TE modüller
2. Fan
3. Kanatçıklı Alüminyum Plaka
4. Soğutma Kabini
5. Veri Kaydedici
6. Güç Kaynağı
7. Bilgisayar

Şekil 3. Hava soğutmalı deney sistemi
(Figure 3. The air-cooled experimental system)

4. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

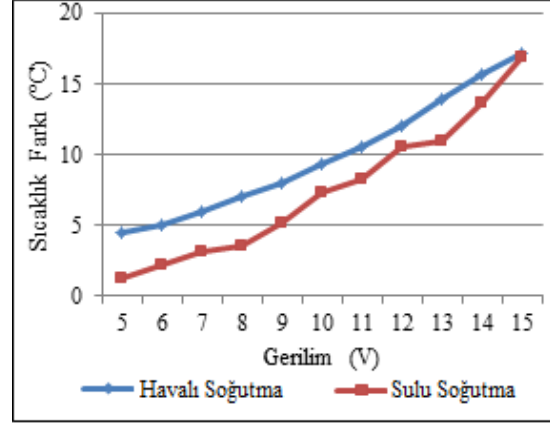
Gerçekleştirilen bu çalışmada ardışık olarak tasarlanmış ve seri bağlanmış TE soğutma deney düzeneğinde deneysel incelenmeler gerçekleştirilmiştir. İlk olarak hava soğutmalı sistemde deneyler gerçekleştirilmiş, çıkan sonuçlar değerlendirildikten sonra sıcak yüzeydeki ısının daha etkin bir uzaklaştırma yöntemiyle atılmasıyla iyi sonuçların alınacağı düşünülmüştür. Bu düşünceye bağlı olarak su soğutmalı bir sistem tasarlanarak hava soğutmalı sistemde gerçekleştirilen deneyler aynı şartlar altında gerçekleştirilmiştir.

Deneylerde ölçülen sıcaklıklar gerilim değerlerine bağlı olarak Şekil 4, 5 ve 6'da ortam sıcaklığı ile TE soğutucunun sırası ile alt ve üst yüzey sıcaklıklarındaki ve kabin içi sıcaklıklarındaki değişimler gösterilmiştir. Ortam sıcaklığı ile TE modül üst yüzey sıcaklık farklarını veren Şekil 5'te sulu soğutma sisteminin daha etkin biçimde sıcak yüzeyden ısıyı uzaklaştırabildiği ancak hava soğutmalı sistemin yetersiz kaldığı görülmektedir. Bu durum, su soğutmalı sistemde ortam sıcaklığı ile TE modül alt yüzey sıcaklık farkının hava soğutmalı sistemden daha fazla olmasına ve bunun bir etkisi olarak ta soğutucu kabin iç sıcaklığının daha fazla düşmesine sebep olmuştur.



Şekil 4. TE soğutucularının alt yüzey sıcaklıklarının karşılaştırılması

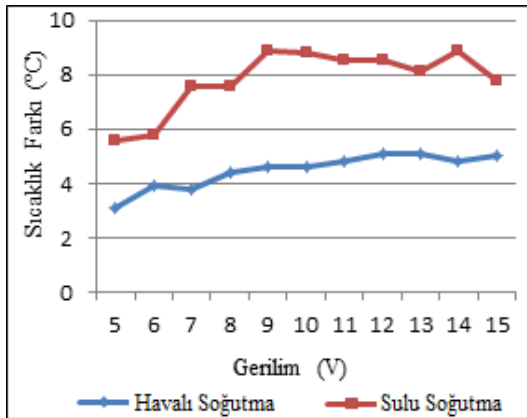
(Figure 4. A comparison of the lower surface temperatures of the TE cooler)



Şekil 5. TE soğutucularının üst yüzey sıcaklıklarının karşılaştırılması

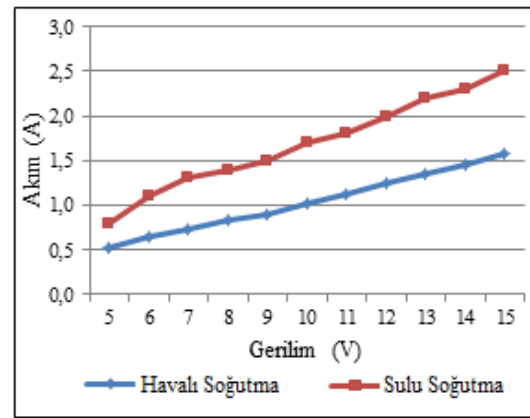
(Figure 5. A comparison of the top surface temperatures of the TE cooler)

Hava ve su soğutmalı sistemlerde sıcak yüzeyden ısının uzaklaştırılması amacıyla fan ve sulu soğutma sistemi kullanılmıştır. TE modüllerin tükettiği elektrik gücüne ek olarak bu sistemler tarafından da enerji tüketilmekte ve Şekil 7'de her iki sistem tarafından tüketilen gerilim değerine bağlı akım değerleri gösterilmiştir. Şekilde, su soğutmalı sistemin aynı gerilim değerleri için hava soğutmalı sistemden daha fazla akım çektiği görülmektedir. Şekil 8'de görüldüğü gibi su soğutmalı sistem kullanıldığında TE modüllerin soğutma kapasitesi artmaktadır. Ancak, tüketilen enerji miktarının hava soğutmalı sistemlerden daha fazla olmasından dolayı COP değerleri düşmektedir. Bir başka deyişle hava soğutmalı sistem soğutma kapasitesinin düşük olmasına rağmen enerji tüketim miktarının da düşük olmasından dolayı, su soğutmalı sisteme göre daha yüksek COP değerleri elde edilmesine yardımcı olmuştur. Bu durum Şekil 9'da açıkça görülmektedir.



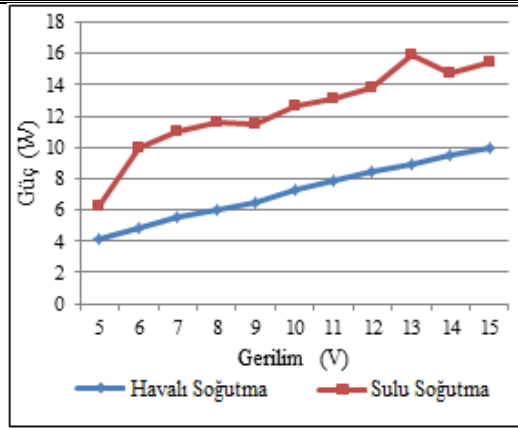
Şekil 6. Sistemlerin soğutma kabini iç sıcaklıklarının karşılaştırılması

(Figure 6. A comparison of the internal temperatures of the cooling cabinet of the systems)

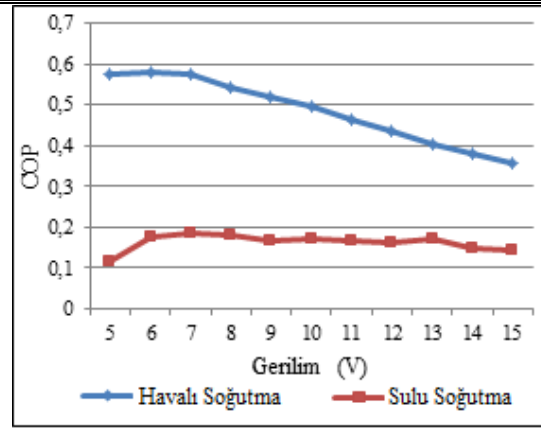


Şekil 7. Sistemlerin akım değerlerinin karşılaştırılması

(Figure 7. A comparison of the current values of the systems)



Şekil 8. Sistemlerin soğutma kapasitelerinin (güçlerinin) karşılaştırılması
(Figure 8. A comparison of the cooling capacities of the systems)



Şekil 9. Sistemlerin COP değerlerini karşılaştırması
(Figure 9. A comparison of the COP values of the systems)

Şekil 9'da su soğutmalı TE soğutucu kullanılan sistemin enerji tüketiminin yüksek olmasından dolayı COP değerinin oldukça düşük oranlarda değişim gösterdiği, hava soğutmalı sistemde ise fan gücünün düşük enerji tüketimi sebebiyle COP değerinin TE modül tarafından tüketilen enerji miktarına bağlı değiştiği ve soğutma kapasitesinin düşük olmasına rağmen COP değerinin yüksek çıktığı görülmektedir. Bu durum, TE modüllerden ısıyı uzaklaştırmak amacıyla kullanılacak sistemlerin mümkün olduğunca düşük enerji tüketim oranına sahip olması veya doğal taşınım yoluyla verimli ısı uzaklaştırabilme özelliğinde dizayn edilmesinin daha yüksek COP değerlerine ulaşılmasına yardımcı olacağını göstermektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Yapılan deneyler sonucunda hava soğutmalı sistemde COP değeri en yüksek 0.57 olurken (maks. soğutma kapasitesi 5.1 W) su soğutmalı sistemde ise, en yüksek 0.18 olarak (maks. soğutma kapasitesi 8.9 W) bulunmuştur. Bu durum su soğutmalı sistemin giriş enerjisinin fazla olması ve elde edilen soğutma gücünün bu enerji girdisine paralel olarak aynı oranda artış göstermemiş olmasından kaynaklanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre ardışık bağlanmış sistemlerde su soğutmalı seri bağlı TE soğutma sisteminin daha fazla enerji girdisine ihtiyaç duyulmasından dolayı tercih edilebilir olmadığı ancak soğutma kapasitesinin yüksek olmasından dolayı tercih edilebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Bununla birlikte termoelektrik soğutucuların;

- Elektrik enerjisinin bol miktarda ve uygun fiyatlı temin edildiği,
- Hassas sıcaklık kontrolünün gerekli olduğu,
- Yerçekimi etkisinden dolayı diğer soğutma türlerinin kullanılmadığı,
- Uzun ömürlü sisteme gereksinim duyulduğu,
- Sessiz çalışan sisteme ihtiyaç duyulduğu şartlar altında kullanımları uygun olacaktır.

Bu durumların dışındaki birçok şart altında ise, diğer soğutma türleri daha üstün özellikleriyle ön plana çıkacaklardır. Yapılacak yeni çalışmalarda ise, TE soğutucuların kullanımlarının uygun olduğu

Yeni çalışma alanları belirlenerek kullanımlarının yaygınlaştırılması sağlanabilir. Bununla birlikte, sistem soğutma güçlerinin arttırılmasının yanında COP değerlerinin de iyileştirilmesini sağlayabilecek yeni çalışmaların yapılması uygun olacaktır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Riffat, S.B. and Qiu, G., (2004). Comparative Investigation of Thermoelectric Air-Conditioners Versus Vapour Compression and Absorption Air-Conditioners, *Thermal Engineering*, 24: 1979-1993.
2. Gao, M. and Rowe, D.M., (2005). Experimental Evaluation of Prototype Thermoelectric Domestic Refrigerators, *Applied Energy*, 83(2): 1-20.
3. Bulut, H., (2005). Termoelektrik Soğutma Sistemleri, Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Soğutma Dünyası Dergisi, 31:9-16
4. Xuan, X.C., Ng, K.C., Yap, C., and Chua, H.T., (2002). The Maximum Temperature Difference and Polar Characteristic of Two-Stage Thermoelectric Coolers, *Cryogenics*, 42:273-278.
5. Wang, X., Wang, Q., and Xu, J., (2014). Performance Analysis of Two-Stage Tecs (Thermoelectric Coolers) Using A Three-Dimensional Heat-Electricity Coupled Model, *Energy*, 65: 419-429.
6. Yavuz, C., Özkaymak, M. ve Kaya, M., (2010). Termoelektrik Modüllü Su Soğutucusunda Farklı Hava Debilerinin Sistem Performansına Etkileri, *e-Journal of New World Sciences Academy*, 5:2, 1306-3111.
7. Erel, Ş., Akdaş, M. Ve Tugay, M., (2010). Güneş Enerjisiyle Çalışan Bir Termoelektrik Jeneratörde Sıcaklık Faktörünün Etkisi, *Int. J. Eng. Research & Development*, 2:7-10.
8. Usta, H. Ve Kırmacı V., (2002). Termoelektrik Etkiler ve Soğutma Etkinliğinin Uygulanması, *Teknoloji*, 3-4:65-71.
9. Cheng, Y. and Shih, C., (2006). Maximizing the Cooling Capacity and COP of Two-Stage Thermoelectric Coolers through Genetic Algorithm, *Applied Thermal Engineering*, 26:937-947.
10. Karimi G., Culham J.R., and Kazerouni V., (2011). Performance Analysis of Multi-Stage Thermoelectric Coolers, *International Journal of Refrigeration*, 34:2129-2135.