Termoelektrik (Peltier) Soğutma Sistemleri

Halil ATALAY, Prof. Dr. Ali GÜNGÖR
ali.gungor@ege.edu.tr
Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Bornova, İzmir

***54. sayımızda yayınlanan yazının devamıdır.**

Peltier soğutma oranını arttırmak ve sıcak tabakadan soğuk tabakaya doğru olan Fourier ısı iletimini azaltmak için yüksek Seebeck katsayısı, düşük termal iletkenlik ve düşük elektriksel dirence sahip termoelektrik metaller geliştirilmiştir. Örneğin, metal alaşımları, yüksek termal ve elektriksel iletkenlikleri ile bilinirler. Fakat, bu metal alaşımlarının Seebeck katsayıları düşüktür. Bu nedenle, bu metal alaşımları termoelektrik soğutma sistemleri için uygun değildir. Diğer taraftan, eksantrik yarı iletken alaşımların, düşük termal iletkenlik değerlerinde elektriksel iletkenliği verdiği bilinmektedir. Bu yarı iletken metal alaşımları, geniş bir Seebeck katsayısı ve dar bir bant boşluğu aralığı sergilemektedir. Bu yarı iletken alaşımlar çinko-antimuan, indiyum-antimuan, kurşun tellür, bizmut tellür, silikon germanyum (SiGe) ince-film mikro-üretim için uygun termoelektrik metal alaşımlarıdır. Özellikle SiGe, bu sistemlerde yaygın olarak kullanılmakta ve düşük sıcaklıklarda (<300^{0}C) kullanılan kimyasal buhar tortusu dibe çökmektedir. n tipi ve p tipi termoelektrik element çifti, kimyasal maddeler, hızlı termal veya lazerle sertleştirme yolu ile aktif hale getirildikten sonra, iyon ile işlenerek katkı maddesi ile zenginleştirilir.

Hem jeneratörler hem de soğutucular için en son performans değerlerine sahip termoeletrik metaller geliştirilmektedir. *Z* (Şekil Faktörü) değerleri, cihazların yapımında kullanılan metallerin termal iletkenliğini belirlemede etkilidir. Yüksek *Z* değerleri ile düşük termal iletkenlik değerlerinin bir arada olduğu metaller vardır. Toplam termal iletkenlik ($\lambda_{top.}$), termal iletkenlik (λ_L) ile elektronik termal iletkenliğin (λ_E) toplamına eşittir.

$$\lambda_{top.} = \lambda_L + \lambda_E \qquad (64)$$

Burada, her metal için minimum termal iletkenlik değerinin ($\lambda_{min.}$) olduğuna dikkat çekmek gerekir. Bu değerlerin metallerin dalga boyuna eşittir. ($\lambda_{min.}$) değeri, silikon-germanyum termoelektrik soğutucuların performans değeri Slock ve Hussain tarafından kanıtlanmıştır. Buna göre, mümkün olan maksimum *ZT* değeri, bu sistemde kullanılan metaller için en yüksek değer *ZT*=1.00- 1050 K' dir.

En iyi soğutucu metaller Bi- Sb karışım kristalleri ve modifiye edilmiş Bi_2Te_3'dür. Bi_2Te_3 alaşımında *Z x T*>=1'dir ve sıcaklık 77 K - 300 K arasındadır. *Z x T*=1 değerini aştığı takdirde sıcaklık değeri 300 K'in üzerine çıkabilmektedir. Düşük sıcaklık performansları Bi-Sb karışımı kristallerinden elde edilir.

SnTe, Bi_2Te_3 ve Sb_2Te_3 alaşımlarının termoelektrik ölçümleri 1910 yılında Haken tarafından yapılmıştır. Haken, Seebeck katsayısını 690 V/K olarak bulmuştur. Yüksek Seebeck katsayılarının B, Si ve Ge metalllerinden elde edildiği Uno, Wick ve Bidwell tarafından keşfedilmiştir. İlk termoelektrik ölçümler, 1822 yılında Seebeck tarafından PbS ve ZnSb alaşımları ile yapılmıştır.

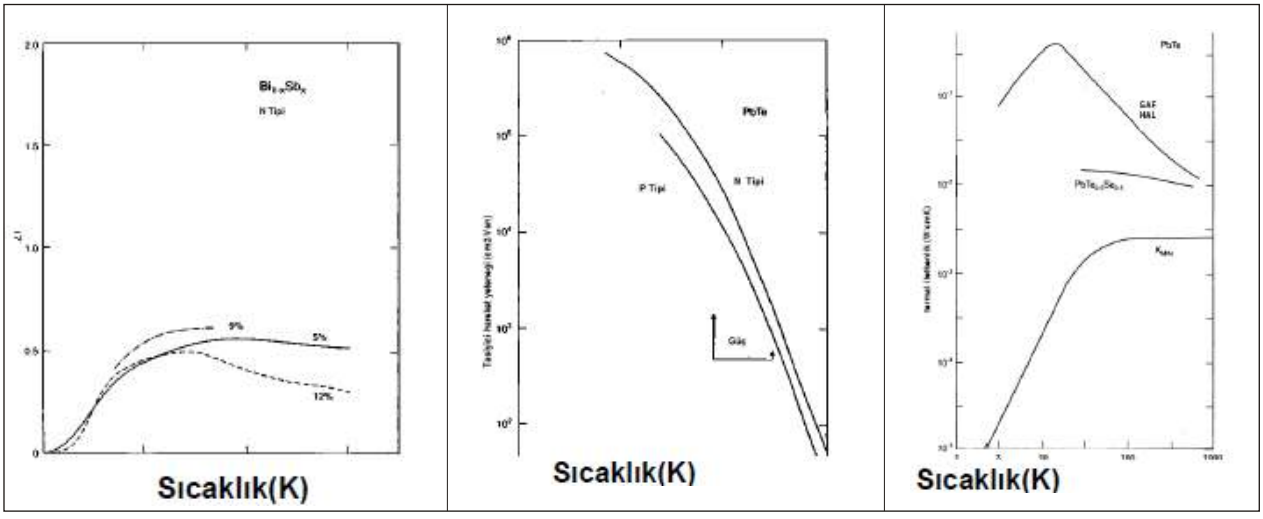
Modern termoelektrik jeneratörler ve soğutucular 1940 yılından sonra Laffe tarafından geliştirilmiştir. Laffe, Haken' in çalışmalarından yola çıkarak özel seçilmiş karışım kristallerini keşfetmiştir.

Bi_2Te_3, PbTe veya Ge kristalleri için Z değeri şu şekilde ifade edilir:

$$Z = \lambda_L + \lambda_E \qquad (65)$$

λ_L :Termal iletkenlik ve λ_E :Elektriksel iletkenlik 'tir.

Z değeri alaşım içeriğinin artması ile artış göstermektedir. Örneğin, Si-Ge termoelektrik soğutucu metallerinde silikon içinde optimum %20-30 Ge mol artış yoğunluğu vardır. Bu metallerin hiçbirinin *ZT* değeri Bi_2Te_3 alaşımının *ZT* değerinden yüksek değildir. Yeni geliştirilen metallerde *ZT* değeri 4 olarak görülmektedir. Sıcaklık değeri ise 77-300 K arasındadır. Gerçek metallerden yola çıkılarak gerçekleştirilen bu modül yaklaşımı üzerinde yapılan araştırmada elementlerin elektronegatif değerinin temeli belirlenir. PbTe'ye benzeyen bir termoelektrik metal varsayımında *T*>=300 K' den yüksek bir sıcaklık kullanımında $\lambda_{min.}$=2,6x10^{-3} W/cm K değerini alır. Şekil 8'de bazı termoelektrik metaller ile ilgili grafikler gösterilmektedir.



Şekil 8. Termoelektrik Metaller ile İlgili Grafikler [8]

TERMOELEKTRİK SOĞUTUCU MODÜLLERİ

Burada iki çeşit termoelektrik soğutucu modülünden bahsedeceğiz.

Bunlar: Tek katlı modül ve çok katlı modüllerdir.

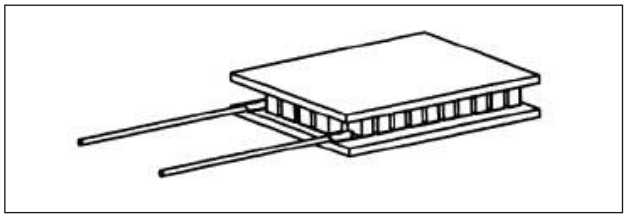
TEK KATLI MODÜLLER

Tek katlı modül, şekil 9'da gösterilen birkaç termoelemanın termal olarak paralel ve elektriksel olarak seri bağlandığı ve işletme voltajının arttığı bir modeldir. Bu termoeleman'lar, bakır gibi elektrik iletkenliği iyi olan metallerle bağlanırlar. Bu iletkenler, soğutma esnasında elektriksel olarak cihazdan ayrılmalıdır. Yine de, metaldeki elektriksel ayırımda, iletken ve soğutucu alet arasındaki sıcaklık farkının ve metaldeki termal iletkenliğin minimum olması gerekir. Şekil 9'da gösterilen modülde, modül yüzeyi üzerinde seramik bir tabaka vardır. Alüminyum seramikler, tipik olarak elektriksel ayırım ve termal bağlantı ihtiyacını sağlarlar. Berilyum oksit seramikler ise çok katlı soğutucular gibi maximum ısı transferinin istendiği yerlerde kullanılabilmektedirler.

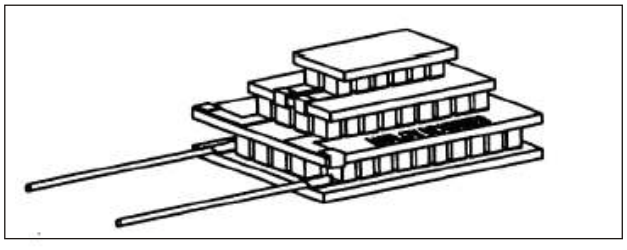
Tek katlı modüllerde yarı iletken metaldeki sınırlama Z şekil faktörü ile ilgilidir. Tek katlı modülde uygulanan güç miktarına rağmen, soğutma sıcaklığı bizmut, tellirium gibi metaller ile zenginleştirilebilir. Burada, sıcak tarafta oluşan sıcaklık 27^{0}C ve havada termal olmayan bölümde yaklaşık sıcaklık değeri -34^{0}C ve boşlukta -47^{0}C'dir.

ÇOK KATLI MODÜL

İstenilen sıcaklık farkı, tek katlı modül ile elde edilemiyorsa çok katlı modüllere gereksinim duyulur. Şekil 10'da çok katlı bir modül gösterilmektedir. Çok katlı modüller, tek katlı modüllerin yatay bir yüzeyde üst üste yığılması ile oluşur. Tipik olarak, çok katlı bir modül piramit şekline sahiptir. Bu yüzden, topaklar birbirine bir dizi şeklinde bağlandığı zaman, üst aşama daima alt aşamadan daha fazla topak sayısına sahiptir. İlave edilen aşamalarda soğutma sıcaklığı oluşturabilmek için bir modül eklenir. Pratikte, aşama sayısı 8-10 arasında değişir. 8 aşamalı modül ile soğuk taraftaki sıcaklık -139^{0}C olurken, sıcak taraftaki sıcaklık 53^{0}C olmaktadır.



Şekil 9. Tek Katlı Modül [5]

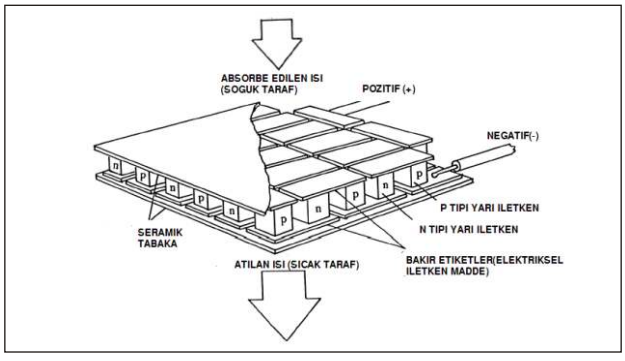


Şekil 10. Çok Katlı Modül [5]

TİCARİ PELTIER MODÜLLERİ VE MAX. PERFORMANS PARAMETRELERİ

TEK KATLI PELTIER MODÜLÜ

Bir termoelektrik modül n tipi ve p tipi yarı iletken metallerden oluşur. Bu yarı iletken metaller seri ve paralel halde bağlanır. n tipi yarı iletken metaller çok sayıda elektrondan ve p tipi yarı iletken metaller çok sayıda boşluktan oluşur. Termoelektrik modüllerde ısı transferi ilkesi Peltier etkisi olarak açıklanabilir. Şekil 11'de tek katlı bir Peltier modülü gösterilmektedir. Bu sistemin avantajlarından biri seramik tabakalarda termal dirence sahip olmasıdır. Ayrıca, bu sistemin bakımı kolaydır ve kirliliği azalttıkları için çevreye dost bir sistem olduğunu söyleyebiliriz. Termoelektrik bir modül (0,1^{0}C içinde) sıcaklık kontrolü ile benzer cihazlarda ısıtma ve soğutma hareketi sağlayabilirler. Aynı zamanda alt çevre sıcaklığından düşük soğutma sıcaklıklarına (-80^{0}C) kadar geniş sıcaklık aralıklarında çalışabilirler. Diğer taraftan, dezavantajı olarak mekanik kırılganlığa sahip olması ve ihtiyaç duydukları elektriksel yalıtkanlığı gösterebiliriz.



Şekil 11. Tek Katlı Peltier Modül [6]

Termoelektrik çift, n ve p yarı iletken metallerinden oluşur. Termoelektrik soğutma için bizmut, tellerium, selenium ve antimon gibi alaşımlar kullanılmaktadır. Bu alaşımlar yeterli miktarda p tipi elektron ve aşırı fazla miktarda n tipi elektron ile ağırca koyu bir sıvı oluştururlar. Bu koyu sıvı, termoelektrik soğutucunun üretilmesini ve yüksek performansa sahip olmasını sağlar.

Maximum Performans Parametreleri

Burada dört maksimum performans parametresi mevcuttur. Bunlar:

I_m-DC akım (amper)
ΔT_m- Maksimum bağlantı sıcaklıkları farkı(bu sistem için 67-70 K arasındadır.)
$Q_{c\text{-}max.}$- Maksimum soğutucu gücü(Watt)
$V_{max.}$- Maksimum voltaj değeri (Volt)

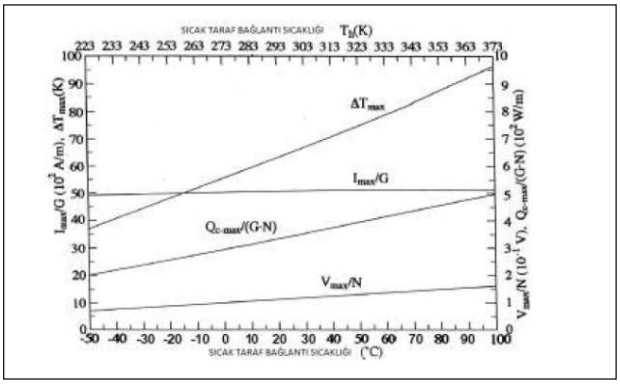
$$((\Delta T_m)_{max.})_{th}=67(K)+0,4\,x\,(T_h-300) \quad (66)$$

$$(Q_{c\text{-}max})_{th}=(Q_{c\text{-}max.})_{300K}+2.0\,x\,(T_h-300) \quad (67)$$

$$(V_{max.})_{th}=(V_{max.})_{300K}+0.0007\,x\,(T_h-300) \quad (68)$$

bağıntıları ile hesaplanırlar.

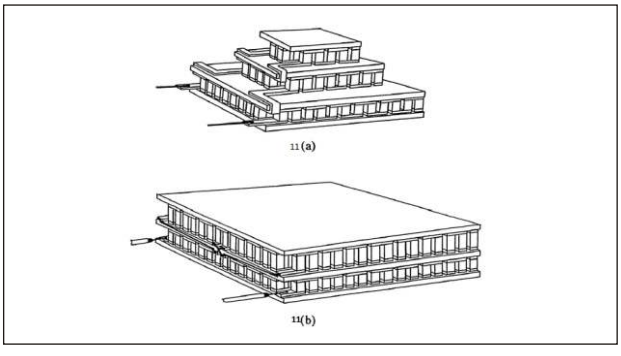
Şekil 12'deki grafikte tek katlı Peltier modül ile ilgili performans parametreleri verilmektedir.



Şekil 12. Tek Katlı Peltier Modül ile İlgili Performans Parametreleri [6]

ÇOK KATLI PELTIER MODÜL

Tek katlı bir Peltier modülünde bağlantı sıcaklığı farkı ΔTmax., ΔTm değerini aşamadığı için çok katlı Peltier modülü geliştirilmiştir. Tek katlı Peltier modülleri için soğutma gücü Qc ve COP değerleri sıfırdır. Çok katlı Peltier modüller iki veya daha fazla tek katlı Peltier modülünün üst üste konulmasıyla elde edilir. (Şekil 13.)



Şekil 13. Çok Katlı Peltier Modül [6]

Maximum Performans Parametreleri

Tek katlı Peltier modülünde olduğu gibi 4 adet performans parametresi vardır.

Im- DC akım (amper)
ΔTm=Maksimum bağlantı sıcaklıkları farkı (bu sistem için 300K civarındadır.)
Qc_max.=Maksimum soğutucu gücü(Watt)
Vmax.=Maksimum voltaj değeri (Volt)

Soğutma gücü *Qc* aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır:

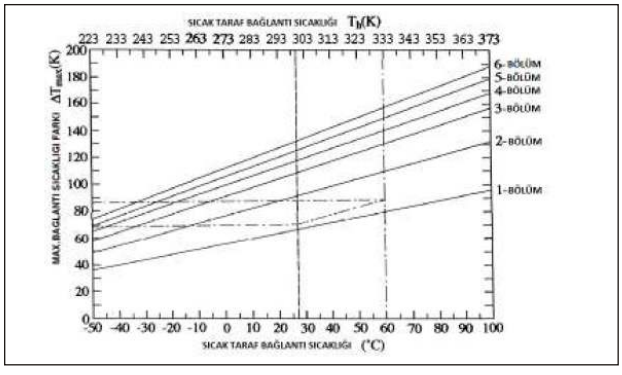
$$Q_C = Q_{c_\max} \times \left(1 - \frac{\Delta T}{\Delta T_{\max.}}\right) \quad (69)$$

buna göre;

$$\Delta T = \Delta T_{\max.} \times \left(1 - \frac{Q_C}{Q_{C_\max.}}\right) \quad (70)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Şekil.14'de çok katlı Peltier modülünün performans parametreleri gösterilmektedir.



Şekil 14. Çok Katlı Peltier Modül Performans Parametreleri [6]

TERMOELEKTRİK SOĞUTMA SİSTEMLERİNİN DİĞER SİSTEMLERLE İLİŞKİSİ

Geleneksel soğutucular iki farklı sınıfa ayrılır. Çoğu termodinamik kanunlarına göre sıkıştırma ve genişleme için seçilen gazların hareketini sağlayan mekanik pompalar kullanılarak yapılır. Isı kaynağına bazı yararlar sağlayan absorpsiyonlu soğutucular olarak adlandırılan, (örneğin,çözelti dışındaki amonyak) ve termodinamik bir çevrimden yararlanan soğutma sistemleri vardır.

Absorpsiyonlu soğutucuların en büyük avantajı gürültüsüz çalışmaları ve ısı kaynağından işletilebilir olmasıdır. Elektriğin mevcut olmadığı yerlerde yararlı uygulama biçimi olarak kullanılırlar. En büyük dezavantajları ise düşük performans katsayısına sahip olmalarıdır. Diğer bir dezavantajı ise, bu soğutucuların devrilme ve eğilmeye dayanıksız olmaları nedeniyle, denizcilik uygulamalarında uygun olmadıkları için bu uygulamalarda hazır olarak kullanılamazlar. Mekanik soğutucular ise, yüksek performans katsayılarında çalışan sistemlerdir. Mekanik soğutucular, hareket eden bölümlerine rağmen, bakım gerektirmeksizin uzun yıllar çalıştırıldığı için güvenilir bir soğutma sistemidir. Yine de, dezavantajları çoktur. Asla temizlenemezler ve soğutucu gücü geniş olduğu ve fazla veya az yük altında olduğu zaman yüksek performans katsayılarına sahip olabilirler. Orta ayarlı bir yükte, mekanik bir soğutucu, düşük güçte çalıştırılamaz ama açma-kapama modları arasında devir yapar.

Termoelektrik soğutucular ise, kabul edilmelidir ki, mekanik soğutuculardan daha düşük bir performans katsayısına sahiptir. Maksimum performans katsayısı $Q_{max.}$ Peltier soğutucu da şu ifadeyle tanımlanır:

$$Q_{\max} = \left[\frac{T_1}{(T_2 - T_1)}\right] \times \frac{\left[(1 + Z \times T_m)^{1/2} - \left(\frac{T_2}{T_1}\right)\right]}{\left[(1 + Z \times T_m)^{1/2} + 1\right]} \quad (71)$$

Buradaki, *Z* şekil faktörü, *Tm* ise ortalama sıcaklıktır. En iyi metaller için mevcut olan $(1+Z*T_m)^{1/2}$=1.4 (yaklaşık olarak)'tür. Termoelektrik aygıt ise ideal termodinamik performans katsayısının %17'si gibi bir değere sahiptir. Yine de, mekanik soğutuculardan farklı olarak çok küçük soğutma güçlerinde bile etkinliklerini sürdürebilirler. Termoelektrik soğutucular, doğru akım üreten düşük voltaj değerine sahip oldukları için dezavantajları yoktur.

Termoelektrik soğutucular, temizlenebilir ve ne hareketli elemanların aşınmasına neden olur ne de gaz sızdırır. Katı halde bulunan cihazlar aşırı uzun bir ömür sağlamalıdır fakat bu uygulama aşamasında, tasarım ve yapım esnasında başarılı olabilir. Örneğin, bizmut tellirium termoelement alaşımı bakır tarafından duyarlı hale getirilir ve hem modülün üretimi esnasında hem de işlem boyunca bu metalin difüzyonunu koruması gerekir.

Termoelektrik soğutucuların en büyük avantajı esnek olmalarıdır. Maksimum performans katsayısına (COP) sahip olmalarına rağmen, özel bir yük ile işlendikleri zaman, değişen koşullarda COP değeri düşmez.

$$\phi_q = \frac{\left[Z \times T_1^2 - (T_2 - T_1)\right]}{Z \times T_2 \times T_1} \qquad (72)$$

bağıntısıyla elde edilir.

Burada, Z=3x10^{-3} K^{-1}, T_1=250 K ve T_2=300 K olarak alındığında maksimum soğutma gücünde COP değeri yaklaşık olarak 1.7 bulunur.

Performans katsayıları φ_{max}. ve φ_q sırasıyla 0.32 ve 0.19 olarak hesaplanır. Burada, artan soğutucu gücü maksimum COP değerinin %60'ı kadar maliyet azalmasını sağlar.

Termoelektrik soğutucuların esneklik özelliğinden dolayı açma- kapama sistemi ve kontrol sistemi ile birlikte işleme kabiliyeti sağlar. Bunun anlamı, termoelektrik soğutucuların, dalgalanan sıcaklıklarda ve etrafı çevrili alanlarda sürekli kullanılabilir olmasıdır.

Peltier cihazları, endüstriyel soğutmada şu ana kadar en az kullanılan cihazlardır. Bunun sonucunda, büyük olasılıkla pratik termo elektrik cihazlar için soğutma gücünün üst limitinin 10W olduğu ortaya çıkmaktadır. Termoelektrik soğutma için çok sayıda kapsam mevcuttur. Yeni metal alaşımları bulunmasa bile,gelişmiş Z şekil faktörü elde edilirse, bu soğutma sisteminin olanakları sınırsız gibi görünür.

SONUÇLAR

Termoelektrik soğutma cihazlarında, geri besleme sistemi ve birleştirilmiş güç değerlerinin izlenmesiyle sıcaklık kontrolü yapmak mümkündür. Yüksek yoğunluklu termoelektrik dizinler, sıcak noktaların yanına gömülü yarı iletken çip veya bir modül üzerinde ayrı ayrı üretilmesiyle doğruca yürütülebilir. Geleneksel ısı azaltılması ile birleştirilen mikro kanallar ve ısı boruları, termoelektrik mikro-soğutucuların soğutma kapasitesini önemli oranda arttırabilirler ve istenilen güç artışı ve termal dizayn değişimleri ile geçerli bir çözüm sağlarlar. Güneş pilleri ile de çalıştırılabilen termoelektrik soğutucular geliştirilmiştir. Termoelektrik soğutucular, seri olarak üretilen modül ünitelerle, evlerimizdeki buzdolabı uygulamalarında bile ticari olarak karşımıza çıkabilmektedir.❄

KAYNAKLAR

[1]CRC Handbook Of Thermoelectrics Edited By D.M.ROWE

[2]THERMOELECTRICS, Basic Principles and New Materials Devolopments, Nolas, Sharp and Goldsmid 2001, Springer-Verlag

[3]ÇOBAN, Mustafa Turhan, Soğutma Sisteminin Esasları, ESİAD Soğutma Dünyası Dergisi

[4]MARLOW, Industries Inc., Started 1973, 10451 Vista Park Road, Dallas, TX 75238-1645

[5]INSTITUTE OF THERMOELECTRICITY, Started 1980 (As Phonon Institute, Renamed in 1990), General Post Office Box 86, Chernovtsy, 274000, Ukraine.

[6]SEEBECK, T. *J., Ann. Phys. (Leipzig)[2],* 6, 1, 1826.

[7]PELTIER, J. C. A, Nouvelles experiences sur la caloricite des courants electrique, *Ann. Chem. Phys.,* 56, 371, 1834.

[8]THOMSON, W., An account of Carnot's theory of the motive power of heat, *Proc. R. Soc. Edinburgh,* 16, 541, 1849.

[9] BUFFET, J. P. , A comparative study of flow optimization for thermoelectric units and surface heat exchangers, in *Proc. XIth Int. Conf. on Thermoelectrics,* Department of Electrical Engineering, University of Texas at Arlington, Arlington, Texas, Oct. 1992, 155-159

[10]THOMSON, W., On the electrodynamic qualities of metals, *Philos. Trans. R. Soc. London,* 146, 649, 185