

TERMoelekTRİK SİSTEMLERİN SOĞUTMA UYGULAMALARINDA KULLANIMI VE YENİ GELİŞMELER

Usage of Thermoelectric Systems in Air Conditioning Applications and New Developments

Gökhan GÜRLEK¹, Mert ŞENER², Şeyma ÖZKAN³

¹Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, İzmir, Türkiye

²Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Balıkesir, Türkiye

³Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Bölümü, İzmir, Türkiye

Bu makale, 16-19 Nisan 2025 tarihinde gerçekleştirilen 16. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi (TESKON 2025) kapsamında gerçekleştirilen Soğutma Teknolojileri Sempozyumu'nda sunulmuş ve bildiri kitabında yayınlanmıştır.

ÖZET

Soğutma uygulamalarında, sahip oldukları düşük performans katsayılarına rağmen termoelektrik sistemlerin temel ve yardımcı unsur olarak kullanımları artmaktadır. Termoelektrik sistemler sıcaklık farkından elektriksel güç elde eden veya elektriksel güce karşı ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılabilen sistemlerdir. Soğutma uygulamaları kapsamında mekân soğutma uygulamalarında, kendi kendini soğutma çalışmalarında, medikal alanda sıcak ve soğuk uygulamalarında, atmosferik su üretimi amacıyla, kan ve organ nakil çantalarında, ısı pompası, ısı borusu ve güneş enerjine entegre olarak, elektronik sistemlerin soğutulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Termoelektrik sistemlerin performansını kullanılan modüllerin ısıtma ve soğutma kapasiteleri, modül sayıları, modül malzemeleri, esneklik özellikleri gibi faktörler etkilemektedir. Bu faktörler doğrultusunda termoelektrik performansı arttırmak için AR-GE çalışmaları uluslararası literatürde aralıksız devam etmektedir. Bu çalışmanın temel amacı termoelektrik sistemlerinin soğutma uygulamalarındaki yerini, üstünlükleri ve olumsuzluklarını tartışmaktır. Bu amaçla termoelektrik çalışma mekanizması, termoelektrik soğutmanın temel prensibi ve termoelektrik malzemeler hakkında kısa bir giriş yapıldıktan sonra son yıllarda yapılan yeni uygulamalar ve araştırmalar ayrıntılı olarak incelenecektir.

Anahtar Kelimeler: Termoelektrik, Peltier etkisi, Soğutma

ABSTRACT

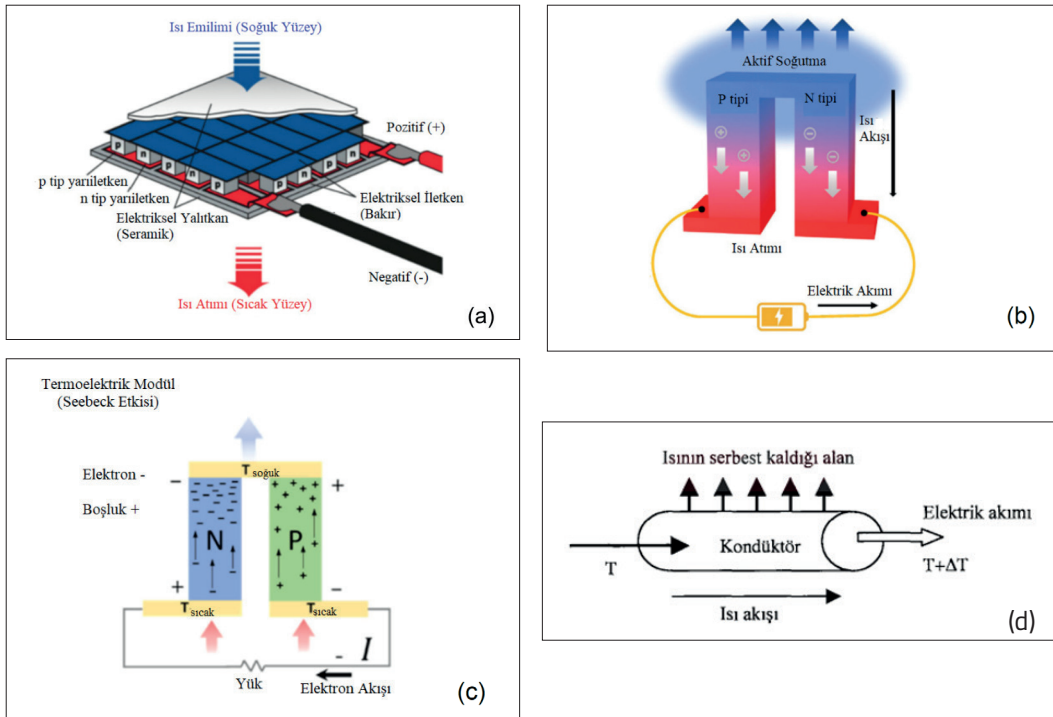
In cooling applications, despite their low performance coefficients, the use of thermoelectric systems as basic and auxiliary components is increasing. Thermoelectric systems are systems that obtain electrical power from temperature differences or can be used for heating and cooling purposes against electrical power. Within the scope of cooling applications, they are widely used in some applications such as space cooling applications, self-cooling studies, medical applications, cooling of electronic systems, atmospheric water production, blood and organ transport bags, and integrated systems with heat pumps, heat pipes, and solar energy. The performance of thermoelectric systems is affected by factors such as the heating and cooling capacities of the modules used, the number of modules, module materials, and flexibility properties. R&D studies continue uninterruptedly in the literature to increase thermoelectric performance in line with these factors. The main purpose of this study is to discuss the advantages and disadvantages of thermoelectric systems in cooling applications. For this purpose, after a brief introduction about the thermoelectric working mechanism, the basic principle of thermoelectric cooling and thermoelectric materials, new applications, and research made in recent years will be examined in detail.

Key Words: Thermoelectric, Peltier effect, Cooling

1. GİRİŞ

Termoelektrik modüller (Şekil 1a) elektrik enerjisini ısı enerjisine veya ısı enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Bu modülleri bulunduran devreye termoelektrik devre, bu devreyle çalışan sisteme de termoelektrik sistem adı verilir [1]. Thomas Seebeck, bu konu ile ilgili olarak 1821 yılında yaptığı deneylerde iki farklı metal telin birleşim noktalarının sıcaklıkları farklı olduğunda devre üzerinde elektronların yer değişiminden dolayı akım geçtiğini buldu (Şekil 1b). Aslında, iki farklı metalin birleşim noktaları arasındaki sıcaklık farkının bir elektriksel gerilim oluşturduğu ve devrenin tamamlanması durumunda bu gerilimin bir elektrik akımı meydana getirdiği anlaşılmıştır. Thomas Seebeck tarafından bulunan bu olaya "Seebeck Etkisi" denmektedir. Seebeck etkisinin, sıcaklık ölçümü ve güç üretimi olmak üzere iki önemli uygulama alanı vardır. Devrede üretilen voltaj iki uç arasındaki sıcaklık farkına ve yarı iletken metal tellerin yapıldığı malzeme cinsine bağlıdır. Buradan yola çıkarak ısıçiftlerde (termokapl) de kullanılan prensibe göre sıcaklık, voltaj ölçülerek belirlenir. Jean Peltier sistemin çalışma prensibini tekrar irdelemiş ve Seebeck etkisine göre çalışan sistemi değiştirerek denemeler yapmıştır.

Peltier, iki farklı metali birleştirdiği devreye elektrik akımı uygulamış ve birleşim noktalarından birinin ısındığını diğerinin ise soğuduğunu bulmuştur (Şekil 1c). Her ne kadar Peltier ilk çalışmaları yapmış olsa da Lenz 1838 yılında Peltier'in çalışmalarına açıklık getirmiştir. Yaptığı çalışmalarda iki plaka arasında yarı iletken metal malzeme çiftlerini yerleştirmiş ve üzerlerinden doğru akım geçirildiğinde plakalardan birinin ısı emdiğini diğerinin ise ısıyı yaydığını belirlemiştir. Bağlantı noktaları arasında ısının akış yönü, elektrik akımının yönüne bağlıdır. Elektrik akımının yönü değiştirildiğinde ısınan yüzeyin soğuduğu, soğuyan yüzeyin ise ısındığı görülmektedir. "Peltier Etkisi" olarak ifade edilen bu olay çift yönlü bir mekanizma olduğundan hem ısıtma hem de soğutma uygulamalarında kullanılmaktadır. 1851 yılında William Thomson (Lord Kelvin), Seebeck ve Peltier'in çalışmalarını birleştirerek yeni bir araştırma yapmıştır. Thomson Etkisi'ne göre ısıtma ve soğutma uygulamalarında iletken bir metal üzerinden akım geçirildiğinde metal malzeme boyunda sıcaklık gradyanının oluştuğu söylenmektedir (Şekil 1d). Isı, elektrik akımının ve sıcaklık gradyanının yönüne bağlı olarak ya yutulur ya da yayılır. Eğer elektrik akımı ve sıcaklık gradyanı aynı yönde ise ısı yayılır diğer taraftan elektrik akımı ve sıcaklık gradyanı ters yönde ise ısı yutulur.



Şekil 1. Termoelektrik modül yapısı ve termoelektrik etkiler
a) Modül yapısı [2], b) Peltier etkisi [3], c) Seebeck etkisi [4], d) Thomson etkisi.

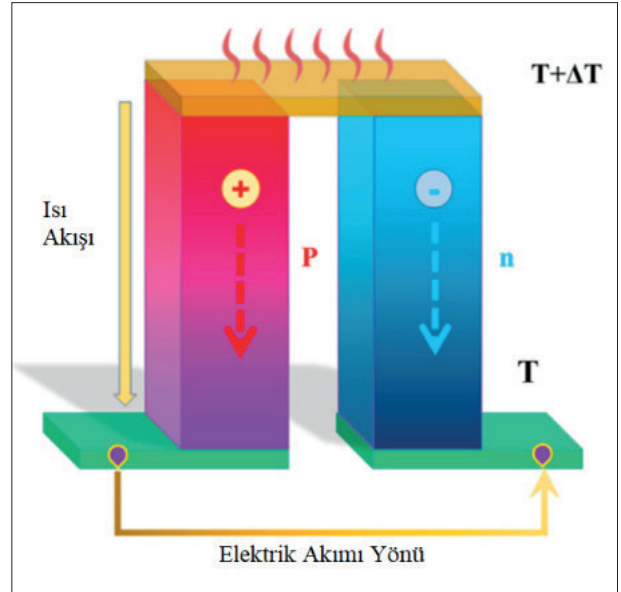
2. TERMOELEKTRİK MALZEMELER

Termoelektrik modüller en temel haliyle sıcak ve soğuk yüzeyleri oluşturan iki seramik plaka arasına yerleştirilmiş iletken malzeme ile p ve n tipi yarı iletken malzemelerden oluşmaktadır (Şekil 1a). Bu yarı iletken malzemeler birbirleriyle elektriksel olarak seri, ısı olarak da paralel bağlanmışlardır [1]. Yarı-iletken malzeme olarak en çok bismut-tellür (Bi_2Te_3), kurşun-tellür (PbTe), silisyum-germanyum (SiGe) ya da bismut-antimon (Bi-Sb) alaşımları kullanılmaktadır. Yüksek termoelektrik verimi ve uygun sıcaklık aralığı nedeniyle bismut-tellür (Bi_2Te_3) daha çok tercih edilmektedir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda esnek termoelektrik modül üretimi amacıyla yüksek esneklik, hafiflik ve kolay işleme gibi doğal özellikleri nedeniyle organik bazlı termoelektrik malzemelere ilgi artmaktadır. Organik termoelektrik malzemelerin ısı iletkenlikleri, inorganik yarı iletkenlerinkinden daha azdır. Çoğu organik malzeme çözelti ile işlenebilir ve bu da onları ucuz ve boyutlandırılabilir malzeme yapar [5,6]. Organik bazlı termoelektrik malzemeler arasında saf polimer termoelektrik malzemeler, polimer inorganik termoelektrik malzeme hibritleri, karbon nanotüpler (CNT'ler) ile metal organik polimerler ve yeni termoelektrik malzemeler olarak grafen bazlı polimer kompozitleri bulunur. Organik termoelektrik malzemeler tipik olarak polianilin (PANI) [7,8], poliasetilen, polipirol (PPy) [9], politiofen ve poli (3,4-etilendioksitiyofen) (PEDOT) [10] gibi polimerlere ve pentasen, fulleren, tetratrafalvalen (TTF) ve 2,3,5,6-tetrafluoro-7,7,8,8-tetrasiyonokinodimetan (F_4TCNQ) gibi küçük moleküllere dayanır [6].

3. TERMOELEKTRİK MODÜLDE ELEKTRİKSEL VE TERMAL AKIŞ

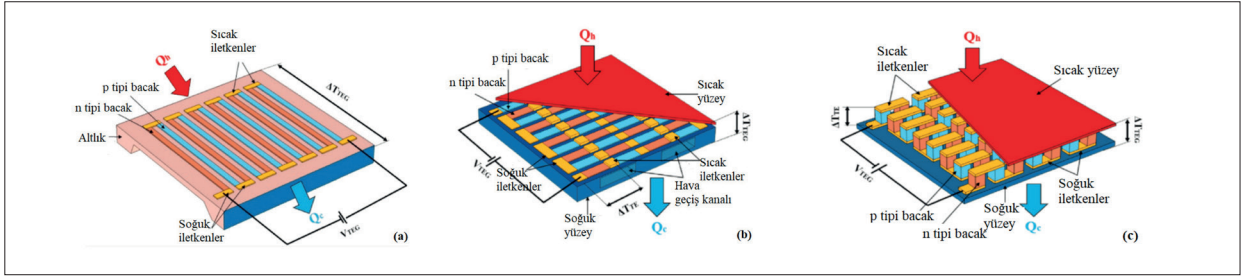
Modülü oluşturan termoelementler, n ve p tipi yarı-iletkenlerin bir iletken malzeme ile elektriksel olarak seri bağlanmasıyla oluşur. Buradaki n tipi yarı-iletken termoelementin negatif, p tipi ise termoelementin pozitif kollarını tanımlamaktadır. Elektronlar güç kaynağının - kutbundan + kutbuna doğru hareket ederler. Elektronların hareketiyle aynı yönde n tipi yarı-iletken malzeme içerisindeki negatif elektronlar da hareket eder. Bir maddede elektronların hareket yönünün tersi elektrik akımının yönü olarak saptanmıştır. p tipi yarı iletken malzeme içerisindeki pozitif delikler (hole) ise elektronların tersi yönde fakat elektrik akımıyla aynı yönde hareket ederler (Şekil 2). Böylece elektrik akımı delikler vasıtasıyla taşınır.

Pozitif delikler (h^+) ile negatif elektronlar (e^-) birbirini çekme eğilimi gösterir. Bu hareketi sağlayabilmek için gerekli olan enerji üstteki iletken malzeme yardımıyla sağlanır. Böylece, enerjisi kullanılan iletkenin sıcaklığı düşer. Üst seramik plaka soğur. Diğer taraftan, yüksek enerji seviyesinden düşük enerji seviyesine geçen yük taşıyıcıları (e^- ve h^+) sahip oldukları fazla enerjiyi alttaki kullanılan iletkene aktararak sıcaklığının artmasına neden olacaktır. Böylece alt seramik plaka ısınır. Isı akışı delik hareketiyle aynı yönde olmaktadır. Emilen ısı bölgesindeki yüzey soğumakta yayılan ısı bölgesindeki yüzey ise ısınmaktadır. Devreye uygulanan akımın yönü değiştirilirse ısınan ve soğuyan yüzeyler değişecektir. n tipi elemanın çalışma prensibine bakıldığında ise bünyesinde bulunan serbest elektronların (e^-) hareketi, devrede dolaşan elektronlar ile aynı yönde, elektrik akımı ile ters yönde olacaktır. Isı akışı elektron hareketiyle aynı yönde olacağından n tipi yarı-iletken malzeme içerisinde negatif elektron hareketiyle beraber aynı yönde ısı da taşınacaktır.



Şekil 2. Termoelektrik modülde ısı ve elektriksel akış [11].

Akış yönlerine bağlı olarak termoelektrik modüller farklı tasarlanabilir. Düzlemsel termoelektrik modüllerde, Şekil 3a'da gösterildiği gibi, sıcak taraftan soğuk tarafa doğru bir yanal ısı akışı vardır. Dikey modüllerde, modüller boyunca dikey bir ısı akışı (Şekil 3b) gerçekleşirken karışık akışlı modüllerde, hem yanal hem de dikey ısı akışları mevcuttur (Şekil 3c) [11].



Şekil 3. Farklı termoelektrik modül tasarımları a) düzlemsel, b) dikey, c) karışık [11].

4. TERMOELEKTRİK PERFORMANS VE TEMEL EŞİTLİKLER

Termoelement çiftlerin (p ve n) performansı sistem verimliliği için önemli bir parametredir. Güç üretimi amaçlı kullanıldığında çiftin performans katsayısı, "başarım ölçütü" denilen "ZT" (Figure of merit) değeriyle belirlenir. Başarım ölçüsü, α , σ , k ve T ile gösterilen Seebeck katsayısı, elektriksel iletkenlik, termal iletkenlik ve sıcaklığa bağlıdır [12].

Yüksek ZT değeri için;

- yüksek Seebeck katsayısına
- yüksek elektriksel iletkenlik
- düşük ısı iletkenlik özellikleri gösteren malzemeler kullanılmalıdır [13–16].

Termoelement çiftlerini oluşturan p ve n tipi yarı iletkenlerden geçen ısı miktarı her bir yarı-iletken için 1 ve 2 no'lu denklemlerde verilmiştir.

$$q_p = \alpha_p IT - k_p A_p dT/dx \quad (1)$$

$$q_n = \alpha_n IT - k_n A_n dT/dx \quad (2)$$

Burada α , Seebeck katsayısı, I , elektrik akımı, k , ısı iletim katsayısı, T , sıcaklık, A , yarı-iletken kesit alanıdır. Paralel bağlanan p ve n iki termoelementin toplam ısı iletkenliği 3 No'lu denklem ile toplam elektriksel direnci ise 4 No'lu denklem ile çözülür.

$$K = \frac{k_p A_p}{L_p} + \frac{k_n A_n}{L_n} \quad (3)$$

$$R = \frac{L_p \rho_p}{A_p} + \frac{L_n \rho_n}{A_n} \quad (4)$$

N adet p ve n tipi termoelementten oluşan bir termoelektrik modülün soğuk yüzeyden emilen ısı miktarı ile sıcak yüzeyden atılan ısı miktarı 5 ve 6 No'lu denklemler ile hesaplanır.

$$\dot{Q}_{soğuk} = N \alpha_{p,n} IT_{soğuk} - K \Delta T - 1/2 I^2 R \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{sıcak} = N \alpha_{p,n} IT_{sıcak} - K \Delta T + 1/2 I^2 R \quad (6)$$

5 ve 6 No'lu denklemlerde N termoelement çift sayısını, α her bir yarı iletken malzemenin Seebeck katsayısını (V/K), $T_{soğuk}$ soğuk yüzey sıcaklığını (K), $T_{sıcak}$ sıcak yüzey sıcaklığını (K), K yarı iletken malzemelerin toplam ısı iletim katsayısını (W/mK), A yarı iletken malzemelerin kesit alanını (m²), ΔT sıcaklık farkını ve p ise elektriksel direnci (Ω cm) göstermektedir. Güç üreten termoelektrik malzemelerde Seebeck etkisine bağlı olarak, iki farklı yarı iletken malzemenin birleşim noktalarında oluşan sıcaklık gradyanı, $\Delta T = T_{sıcak} - T_{soğuk}$ uçlar arasında 7 No'lu denklemde gösterilen Seebeck voltajı denilen potansiyel farkı (ΔV) meydana getirir [17–19].

$$V_{çıkış} = N \alpha_{pn} \Delta T \quad (7)$$

Burada α_{pn} , termoelektrik çifti oluşturan p ve n tipi yarı iletken materyalin Seebeck katsayılarıdır ($\alpha_{pn} = \alpha_p - \alpha_n$). α değeri devreyi oluşturan malzemelerin özelliklerine bağlıdır [1]. Termoelement çift sayısındaki artış, modülün iç direncinin yükselmesine yol açacaktır [20]. N adet yarı iletken malzeme ve iletken bağlantı elemanlarından oluşan termoelektrik jeneratörün toplam direnci 8 No'lu denklemde verilmiştir.

$$R_{TEG} = N \left(\frac{\rho_p L_p}{A_p} + \frac{\rho_n L_n}{A_n} + 2 \frac{\rho_i L_i}{A_i} \right) \quad (8)$$

Burada ρ_p , ρ_n ve ρ_i sırasıyla, p, n materyallerinin ve iletken malzemenin elektriksel öz dirençleridir. L_p ve L_n , ısı akışı yönündeki p ve n malzemelerinin bacak uzunluğu ve L_i ise iletken malzemenin temas uzunluğudur. A, temas kesit alanıdır. Jeneratörün çıkış gücü Denklem 9 ile verilir [1,17,21].

$$P = V_{\text{çıkış}}^2 \frac{R_Y}{(R_{TEG} + R_Y)^2} \quad (9)$$

Burada R_Y ve R_{TEG} sırasıyla harici yükten kaynaklı direnç ve dahili dirençlerdir. Yük direnci modülün (TEG) direnci olan R_{TEG} ile eşleşiyorsa maksimum çıkış gücü Denklem 10 ile ifade edilir.

$$P_{\text{max}} = \frac{V_{\text{çıkış}}^2}{4R_{TEG}} \quad (10)$$

Isının elektriğe dönüştürülmesi sırasında bir termoelektrik malzemenin etkinliğinin bilinmesini sağlayan Başarım Ölçütü (ZT) değeri 11 No'lu denklem ile bulunur [1,17,22,23];

$$ZT = \frac{\alpha^2 \sigma T}{k} \quad (11)$$

Buradaki $\alpha^2 \sigma$, güç faktörü (PF) olarak adlandırılır ve birim uzunluk başına 1 °C'lik bir sıcaklık farkı ile ne kadar güç W elde edilebileceğini gösterir [16,24]. Termoelektrik dönüşüm verimliliği olarak da adlandırılan bir jeneratörün enerji dönüşüm verimliliği Denklem 12'de gösterilmektedir.

$$\eta = \frac{P}{\dot{Q}_{\text{sıcak}}} \quad (12)$$

$$\eta_{\text{max}} = \frac{T_{\text{sıcak}} - T_{\text{soğuk}}}{T_{\text{sıcak}}} \frac{(\sqrt{1 + ZT_{pn}} - 1)}{\sqrt{1 + ZT_{pn}} + T_{\text{soğuk}}/T_{\text{sıcak}}} \quad (13)$$

Jeneratörün maksimum teorik verimliliği ise 13 No'lu denklem ile hesaplanır [21]. Bu denklemin ilk terimi Carnot verimliliğini temsil eder. Vücut içi uygulama dikkate alındığında ideal bir Carnot motoru prensibine göre Carnot verimi, insan vücudu gibi yüksek sıcaklıktaki ($T_{\text{vücut}}$) kaynak ile dış ortam havası gibi düşük sıcaklıktaki ($T_{\text{çevre}}$) bir kuyu arasında gerçekleşen maksimum dönüşüm verimliliği olarak hesaplanır. Bir termoelektrik jeneratörün (TEG) verimliliğini belirlemek için, üretilen elektrik gücü ile modülden geçen ısı akışı

arasındaki oranın hesaplanması gerekir [16]. Soğutma amaçlı geliştirilen termoelektrik sistemler klasik soğutma sistemlerine göre oldukça düşük performans katsayısı (COP) değerlerine sahip olduklarından istenilen performans elde edilememektedir. Buna karşın yapılan p ve n tipi malzeme geliştirme çalışmaları ile termoelektrik performanslarda kayda değer artışlar ortaya çıkmaktadır. Literatürde soğutma amaçlı termoelektrik sistemlerin geliştirilmesine devam edilmektedir.

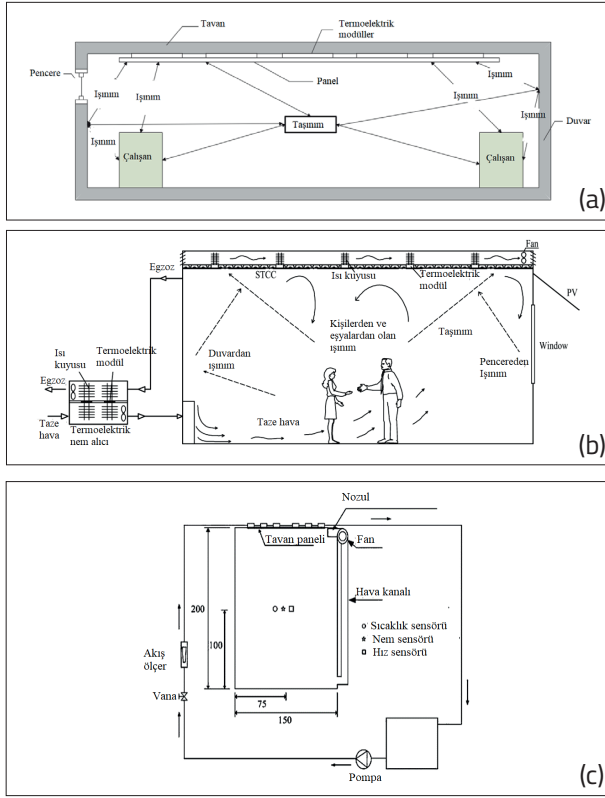
5. SOĞUTMA UYGULAMALARINDA TERMoelekTRİK KULLANIMI

Soğutma sistemlerinde kullanılan soğutucu akışkanlar yıllar içinde bazı yükümlülüklerden dolayı gelişmeler yaşanmıştır. Zamanında en çok kullanılan R22 gazı küresel ısınma nedeniyle yerini soğutucu akışkanı R134a'ya bırakmıştır. 90'lı yıllarda yüksek Küresel Isınma Potansiyeli (GWP) değeri nedeniyle R134a'nın kullanımını kontrol etme amacıyla Kyoto Protokolü yürürlüğe girmiştir. Daha sonra Birleşmiş Milletler kararıyla GWP değerleri yüksek olan soğutkanların kullanımı yasaklandığı için R134a'da iyileştirilme çalışmaları yapılmış ve yeni gazların kullanımı teşvik edilmiştir. Halen kullanılan yeni gazların çevresel olumsuz etkilerinin varlığı nedeniyle soğutucu akışkanın olmadığı soğutma sistemlerinin geliştirilmesi ön plana çıkmış ve bu konuda farklı çalışmalar yapılmıştır [25]. Termoelektrik soğutma uygulamaları soğutucu akışkanın olmadığı bu uygulamalardan biridir.

Termoelektrik sistemler güvenilir, çevre dostu ve kullanımı kolay sistemlerdir. Kurulumu kolay olup hareketli parça içermediği için uzun ömürlüdür. Fakat halen maliyetlerinin yüksek olması ve düşük performans göstermeleri dezavantajlarıdır. Özellikle otomobil, buzluk, soğutma kabini gibi küçük iklimlendirme ortamları önemli bir pazar potansiyeline sahiptirler [26].

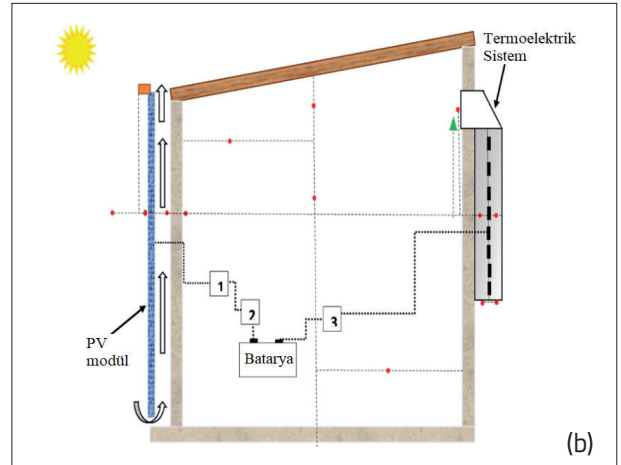
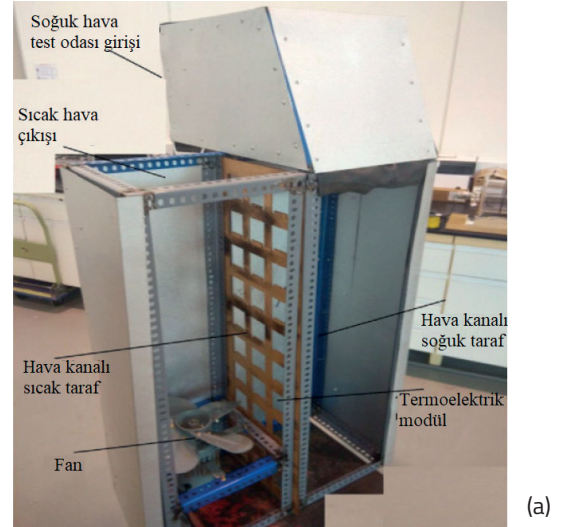
Termoelektrik modüller mekân iklimlendirmesi amacıyla tavan uygulamaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Termoelektrik tavan, radyasyon yoluyla diğer yüzeylerle ısı alışverişinde bulunur ve havaya ısı transferi iletim yoluyla gerçekleşir. Yapılan bir çalışmada termoelektrik radyan klima sistemi geliştirilmiştir (Şekil 4a) [27], bir başka çalışmada ise diğer sistemde eksik olan fan ile hava akışı eklenmiş ve fan için gerekli elektrik enerjisi sisteme yerleştirilen PV paneller ile sağlanmıştır (Şekil 4b) [28]. Tavan uygulamalarında termoelektrik modülün sıcak tarafının soğutulması için

hava yerine suyun kullanıldığı sistemler de mevcuttur (Şekil 4c) [29]. Üç sistemin COP değerleri sırasıyla, 1,77; 0,9 ve 0,82 olarak belirlenmiştir.



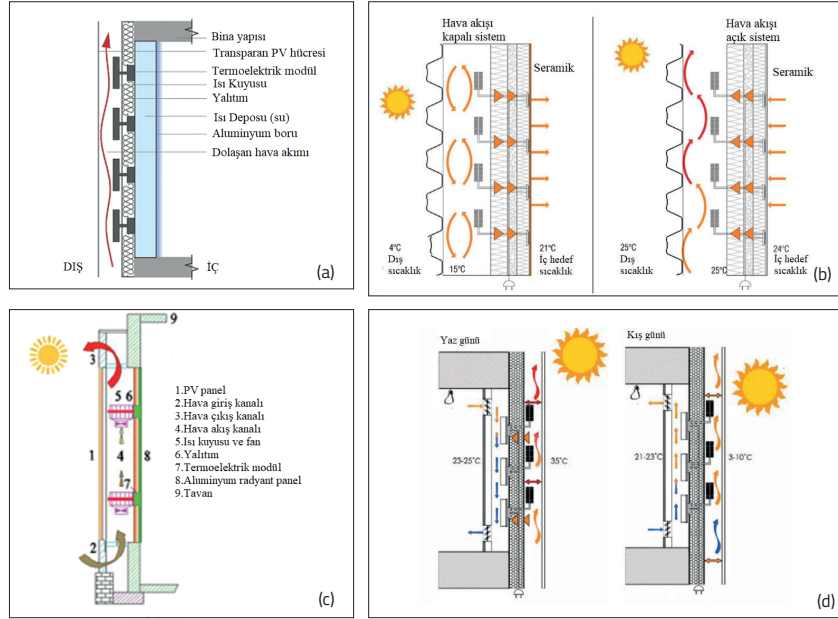
Şekil 4. Termoelektrik radyan iklimlendirme sistemi (a) [27], güneş enerjili destekli tavan tipi soğutma sistemi (b) [28], su soğutmalı tavan tipi iklimlendirme (c) [29].

Hava kanallarına yerleştirilen termoelektrik iklimlendirme sistemleri ile ilgili çalışmalarda hem ısıtma soğutma hem de nem alma çalışmaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 5a). İki hava kanalı arasında yerleştirilen termoelektrik modüller sayesinde ortam havası, çiğ noktasından daha düşük sıcaklığa sahip olan termoelektrik soğuk yüzeyden geçerken yoğunlaşma meydana gelir ve havadan nem uzaklaştırılır [30]. Mekan iklimlendirme uygulamalarında fan kullanılarak zorlanmış dolaşım uygulandığında fan için gerekli enerji PV paneller ile sağlanabilir (Şekil 5b). Yapılan bir çalışmada kullanılan paneller hem ihtiyaç duyulan elektriksel gücü karşılar hem de PV sayesinde direkt güneş ışınımının iklimlendirilecek mahale ulaşması engellenerek iklimlendirme için gerekli soğutma gücünden tasarruf sağlanır [31]. COP değerleri sırasıyla 0,68 ve 1,15 olarak bulunmuştur.



Şekil 5. Termoelektrik hava kanalı (a) [30] ve fotovoltaik destekli sistem (b) [31].

Termoelektrik dış cephe uygulamaları da iklimlendirme amaçlı kullanılmaktadır. Dış cephe duvar bloğuna yerleştirilen termoelektrik modüller ile yaz ve kış aylarında iç mekan iklimlendirme çalışmalarına katkı yapılmaktadır. Cephe uygulamaları katı bazlı, su bazlı ve hava bazlı uygulamalar olarak çeşitlendirilebilir (Şekil 6a). Modül iç yüzeyi iklimlendirilecek olan mekan ile ilişkilendirilirken dış yüzeyi cephe üstü hava boşluğuna yerleştirilir [32]. Katı bazlı uygulamalarda modül iç yüzeyi alüminyum panele temas edecek şekilde tasarlanmış olup cephe üstü hava kanalı farklı geometrilerde alüminyum panel (Şekil 6b) veya PV panel (Şekil 6c) olarak tasarlanmıştır [28,33]. Bazı çalışmalarda ise mekan içinde dolaşan hava duvar içi hava kanalından geçerken termoelektrik modül yüzeyi ile temas ederek şartlandırılır (Şekil 6d) [34].

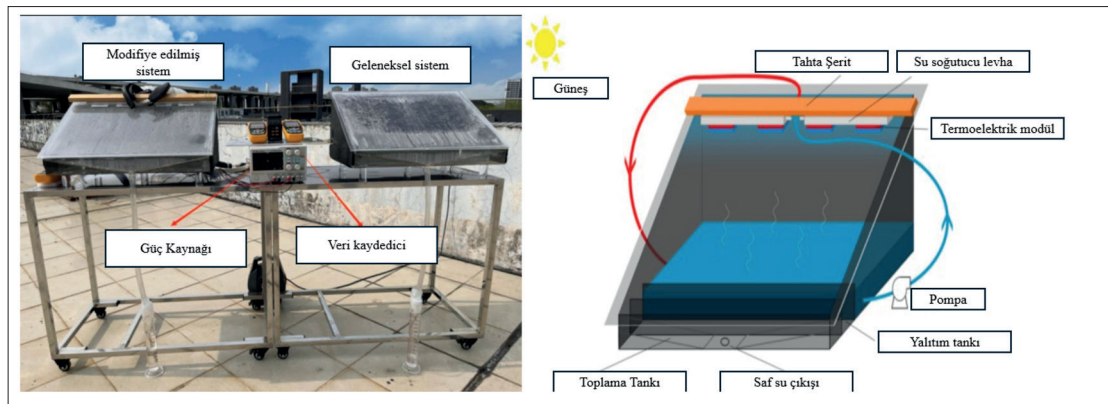


Şekil 6. Termoelektrik cephe uygulamaları; su bazlı (a), farklı geometrik şekilli dış cephe (b), PV dış cephe (c) modül teması (d).

Termoelektrik ısıtma ve soğutma sistemlerinin aynı anda kullanılması, tatlı su hasadında etkin bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Şekil 7). Yapılan bir çalışmada, hem geleneksel güneş enerjili ısıtması ile damıtma yöntemi hem de modifiye edilmiş termoelektrik ısıtma ve soğutma sistemleri kullanılarak tatlı su hasadı verimliliği araştırılmıştır. Elde edilen veriler, aşağıdaki tabloda sunulmaktadır (Tablo 1) [35].

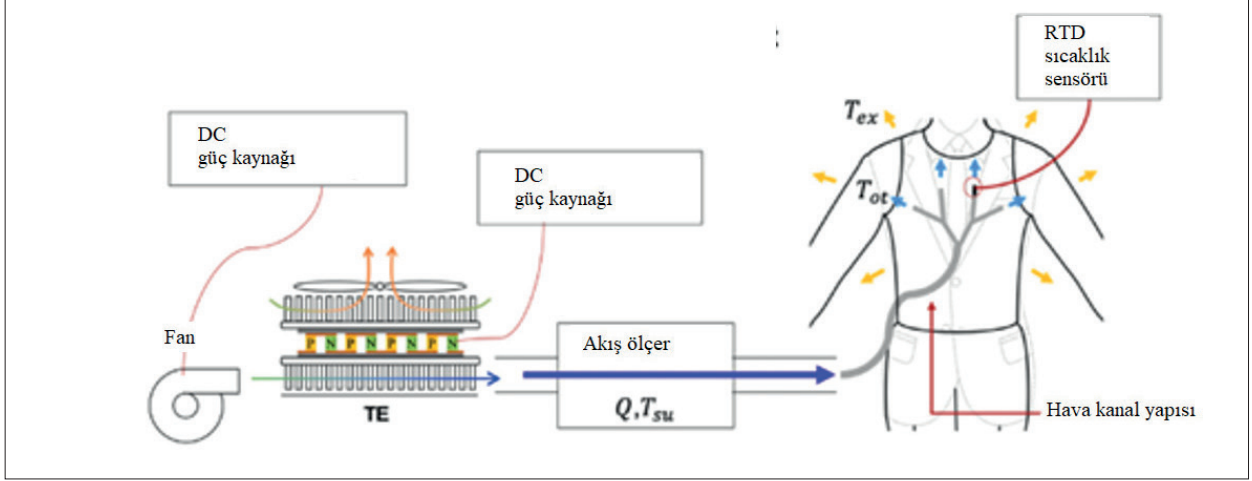
Tablo 1. İki farklı tatlı su eldesi yönteminin performans sonuçları.

Parametre	Modifiye edilmiş sistem	Geleneksel sistem
Elde edilen maksimum sıcaklık	29,3	8,4
CO ₂ emisyonu azaltma (cihaz ömrü boyunca)	15,23 ton	3,61 ton
Gece su üretimi (18.00-21.00)	%20,83	%16,86
CPL (litre başı maliyet)	0,031 \$	0,060 \$
Enerji verimliliği (gün boyu)	%64,56	-
Ekserji Verimliliği (gün boyunca)	%69,76	-



Şekil 7. Termoelektrik soğutma sistemlerinin tatlı su hasadında kullanımı.

Termoelektrik soğutma sistemlerinden kişisel termal yönetim uygulamalarında da faydalanılmaktadır (Şekil 8). Üretilen basit bir termoelektrik soğutma cihazından çıkan soğuk hava kıyafet içerisine hava kanalları ile dağıtılarak şartlandırma yapılabilmektedir [36, 39]. Uygulanabilirliği olmasına karşın COP değerinin 0,4 gibi çok düşük olması nedeniyle verimli bir sistem olmaktan oldukça uzaktır.

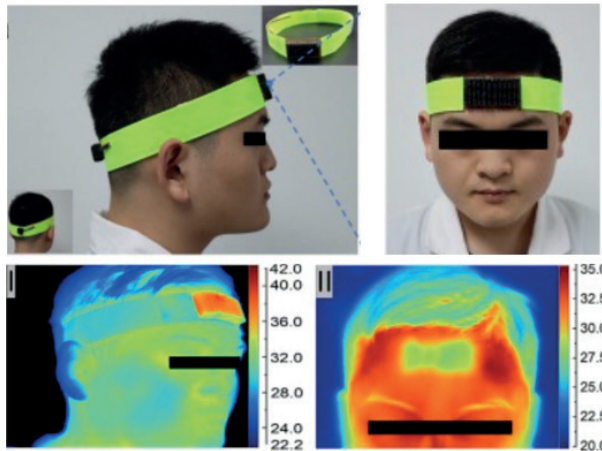


Şekil 8. Termoelektrik kişisel iklimlendirme sistemi.

2025 yılında yayımlanan bir makalede, araştırmacılar öncelikle bir ısı emici kafa bandı tasarlamışlardır (Şekil 9). Bu kafa bandı, termoelektrik soğutucuya entegre edilerek test edilmiştir ve yapılan deneylerde, 6 saat boyunca 17°C'de stabil kalmayı başarmıştır. Kafa bandı, 5°C ile 40°C arasındaki ortam sıcaklıklarında, insan alnının 32°C'de sabit tutulmasını sağlayacak şekilde geliştirilmiştir. Bu çalışma, acil tıp ortamlarında, sağlık tesislerinde ve açık hava spor aktivitelerinde kullanılabilecek potansiyele sahiptir [40].

Medikal soğutma uygulamaları arasında TEC etkisi kullanılarak oluşturulan aşı taşıma kapları literatürde mevcuttur. Bu çalışmalar hem aşılarda hem de kan

tüplerini soğuk zincir sıcaklık aralığında tutabildiğini gösteren deneysel sonuçlar içermektedir. Tüm bu sistemlerde, dolaplar aşılarda sıcaklıklarını soğuk zincir aralığında tutabilir [41-44]. Yapılan bir başka çalışmada termoelektrik soğutucu aşı taşıyıcı kutu tasarımı yapılmıştır (Şekil 10). 16 mm çapında ve 37 mm uzunluğundaki aşı şişelerindeki 2 mL aşılarda sıcaklıklarını 2-8 °C soğuk zincir aralığında tutma performansı incelenmiştir. 1,5 amper akımda istenen sıcaklık değerlerinin elde edildiği görülmüştür [45]. Termoelektrik modüller, özellikle sıcaklık kontrolünün hassas olduğu, soğutma etkisinin kullanıldığı uygulamalarda yaygınlaşmaktadır.



Şekil 9. Medikal uygulamalarda termoelektrik soğutma çalışması örneği [40].

termoelektrik etkiden yararlanarak elde edilen enerji ile bir fan aktif edilerek, ısı kuyusu üzerinde zorlanmış taşınımın artırılması sağlanmaktadır. Bu sayede push-pull sürücü devresindeki istenmeyen fazla ısı atılarak daha verimli bir çalışma sistemi sağlanmış olmaktadır [51]. Benzeri kendinden soğutma (self-cooling) uygulamaları mikroişlemci çipleri içinde araştırılmış ve farklı ısı güçlerine göre tasarım konfigürasyonları önerilmiştir [52].

Tüm bu sistemlere ek olarak uzay biliminde de termoelektrik soğutucular üzerine çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Uzay bilimlerinde kullanılan dedektörlerin sıcaklığının çalışma boyunca sabit tutulması gerekmektedir. Bunu sağlamak için ise termoelektrik soğutucular kullanılabilir. Geleneksel yapıdaki ısı borusu yardımıyla termal yönetim sağlanmak istesen de bu tarz bir yöntem ile tüm ısı boruları ağı arasında sıcaklık, sıcaklık gradyanını önemli ölçüde artıracaktır. Buna ek olarak termoelektrik soğutucular mevcut sisteme kolaylıkla entegre olabilecek yapıdadırlar [53]. Termoelektrik soğutma uygulamaları sadece bir yüzey üzerine değil aynı zamanda ortam sıcaklığının kontrolü üzerine de uzay biliminde çalışılmaktadır. Uzay istasyonunun çalışma koşullarına göre analiz çalışmaları da termoelektriğin bir alanını oluşturmaktadır [54].

6. SONUÇ

Özellikle iklimlendirme ve medikal uygulamalarında termoelektrik modüllerin kullanımı gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Çeşitli dezavantajları ile birlikte sistemde soğutucu akışkan olmaması, hareketli parça bulunmaması, uzun ömürlü olması gibi avantajları nedeniyle dikkate değer bulunmaktadır. Ancak, bina uygulamaları incelendiğinde özellikle sıcak ve nemli ülkelerde panel yüzeyinin düşük sıcaklığı nedeniyle yoğunlaşma riskinin ortaya çıktığı, dış ve iç ortam koşullarının ani değişimi nedeniyle odanın termal ortamını ayarlamak için gereken daha uzun zamana neden olan termal ataletin oluştuğu, düşük yoğunluklu sıcak havanın odanın tepesinde dolaşması nedeniyle özellikle ortam sıcaklığının yüksek olduğu yaz aylarında termoelektrik modüllerin ısı dağıtım verimliliğinin düşmesi gibi sorunlarla karşılaşmıştır. Bu nedenle bina uygulamalarında termoelektrik modüllerin yerleşim yerlerinin seçimine, soğutma kapasitelerinin belirlenmesine, ek güç kaynaklarının varlığına, yeni tip modül malzemelerinin geliştirilmesine önem verilmesi gerekliliği doğmaktadır.

Termoelektrik teknolojilerin düşük performansları nedeniyle ticari alanda geniş çapta kullanımı sınırlıdır. Fakat bu sistemler, özellikle iklimlendirme ve soğutma uygulamalarında, potansiyel bir çözüm sunmaktadır. Gelişen araştırmalarla termoelektrik modüllerin verimliliği artırılabilir ve maliyetleri düşürülebilir, bu da daha geniş uygulama alanlarının kapısını aralayabilir. Termoelektrik soğutma, geleneksel soğutma yöntemlerinden farklı olarak soğutucu akışkan kullanmayan çevre dostu alternatifler sağlamaktadır. Fotovoltaik ve termoelektrik sistemlerin birleşimi gibi yenilikçi çözümler, enerji verimliliğini artırmada önemli adımlar atılmasına olanak tanır. Ayrıca, termoelektrik modüller, medikal taşımacılık, kişisel termal yönetim, gıda sektöründe soğutma ve aşı taşıma gibi hassas sıcaklık kontrolü gereken alanlarda ciddi bir potansiyele sahip olmakla birlikte gelecekte bu sistemlerin daha verimli hale gelmesi söz konusudur.

KAYNAKLAR

- [1] JAZIRI, N., BOUGHAMOURA, A., MÜLLER, J., MEZGANI, B., TOUNSI, F., ISMAIL, M., A comprehensive review of Thermoelectric Generators: Technologies and common applications, Energy Reports, 2020; 6:264-87, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.12.011>.
- [2] POURKIAEI, S., M., AHMADI, M., H., SADEGHZADEH, M., MOOSAVI, S., POURFAYAZ, F., CHEN, L., et al., Thermoelectric cooler and thermoelectric generator devices: A review of present and potential applications, modeling and materials, Energy, 2019; 186:115849, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.179>.
- [3] LIU, A., XIE, H., WU, Z., WANG, Y., Advances and outlook of TE-PCM system: a review, Carb Neutrality, 2022; 1:20, <https://doi.org/10.1007/s43979-022-00018-4>.
- [4] MOÇO, D., MALTA, J., F., SANTOS, L., F., LOPES, E., B., GONÇALVES, A., P., Thermoelectric Properties of Nickel and Selenium Co-Doped Tetrahedrite, Materials, 2023; 16:898, <https://doi.org/10.3390/ma16030898>.
- [5] HUANG, X., WANG, L., WANG, H., ZHANG, B., WANG, X., STENING, R.Y.Z., et al., Materials Strategies and Device Architectures of Emerging Power Supply Devices for Implantable Bioelectronics, Small, 2020; 16:1902827, <https://doi.org/10.1002/sml.201902827>.
- [6] PRABHAKAR, R., ZHANG, Y., BAHK, J.-H., Flexible Thermoelectric Materials and Devices, Flexible Energy Conversion and Storage Devices, John Wiley & Sons, 2018.
- [7] JUN, L., LIAN-MENG, Z., LI, H., XIN-FENG, T., Synthesis and thermoelectric properties of polyaniline,



- J Wuhan Univ Technol-Mat Sci Edit, 2003; 18:53-5, <https://doi.org/10.1007/BF02838459>.
- [8] LEE, K., CHO, S., HEUM PARK, S., HEGER, A., J., LEE, C.-W., LEE, S.-H., Metallic transport in polyaniline, *Nature*, 2006; 441:65-8, <https://doi.org/10.1038/nature04705>.
- [9] EFTEKHARI, A., KAZEMZAD, M., KEYANPOUR-RAD, M., Significant Effect of Dopant Size on Nanoscale Fractal Structure of Polypyrrole Film, *Polym J*, 2006; 38:781-5, <https://doi.org/10.1295/polymj,PJ2005173>.
- [10] NARDES, A.M., KEMERINK, M., JANSSEN, R.A.J., BASTIAANSEN, J.A.M., KIGGEN, N.M.M., LANGEVELD, B.M.W., et al., Microscopic Understanding of the Anisotropic Conductivity of PEDOT:PSS Thin Films, *Adv Mater*, 2007; 19:1196-200, <https://doi.org/10.1002/adma.200602575>.
- [11] JABRI, M., MASOUMI, S., SAJADIRAD, F., WEST, R.P., PAKDEL, A., Thermoelectric energy conversion in buildings, *Materials Today Energy*, 2023; 32:101257, <https://doi.org/10.1016/j.mtener.2023.101257>.
- [12] KARTHIKEYAN, V., SURJADI, J.U., WONG, J.C.K., KANNAN, V., LAM, K.-H., CHEN, X., et al., Wearable and flexible thin film thermoelectric module for multi-scale energy harvesting, *Journal of Power Sources*, 2020; 455:227983, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2020.227983>.
- [13] BELTRÁN-PITARCH, B., PRADO-GONJAL, J., POWELL, A.V., ZIOLKOWSKI, P., GARCÍA-CAÑADAS, J., Thermal conductivity, electrical resistivity, and dimensionless figure of merit (ZT) determination of thermoelectric materials by impedance spectroscopy up to 250°C, *Journal of Applied Physics*, 2018; 124:025105, <https://doi.org/10.1063/1.5036937>.
- [14] MISRA, V., BOZKURT, A., CALHOUN, B., JACKSON, T., JUR, J., LACH, J., et al., Flexible Technologies for Self-Powered Wearable Health and Environmental Sensing, *Proc IEEE*, 2015; 103:665-81, <https://doi.org/10.1109/JPROC.2015.2412493>.
- [15] SUAREZ, F., NOZARIASBMARZ, A., VASHAAEE, D., ÖZTÜRK, M.C., Designing thermoelectric generators for self-powered wearable electronics, *Energy Environ Sci*, 2016; 9:2099-113, <https://doi.org/10.1039/C6EE00456C>.
- [16] ZOUI, M.A., BENTOUBA, S., STOCHOLM, J.G., BOUROUIS, M., A Review on Thermoelectric Generators: Progress and Applications, *Energies*, 2020; 13:3606, <https://doi.org/10.3390/en13143606>.
- [17] THIELEN, M., SIGRIST, L., MAGNO, M., HIEROLD, C., BENINI, L., Human body heat for powering wearable devices: From thermal energy to application, *Energy Conversion and Management*, 2017; 131:44-54, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.005>.
- [18] YANG, M.-Z., WU, C.-C., DAI, C.-L., TSAI, W.-J., Energy Harvesting Thermoelectric Generators Manufactured Using the Complementary Metal Oxide Semiconductor Process, *Sensors*, 2013; 13:2359-67, <https://doi.org/10.3390/s130202359>.
- [19] YANG, Y., WEI, X.-J., LIU, J., Suitability of a thermoelectric power generator for implantable medical electronic devices, *J Phys D: Appl Phys*, 2007; 40:5790-800, <https://doi.org/10.1088/0022-3727/40/18/042>.
- [20] WANG, W., CIONCA, V., WANG, N., HAYES, M., O'FLYNN, B., O'MATHUNA, C., Thermoelectric Energy Harvesting for Building Energy Management Wireless Sensor Networks, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2013; 9:232438, <https://doi.org/10.1155/2013/232438>.
- [21] FRANCIOSO, L., DE PASCALI, C., SGLAVO, V., GRAZIOLI, A., MASIERI, M., SICILIANO, P., Modelling, fabrication and experimental testing of a heat sink free wearable thermoelectric generator, *Energy Conversion and Management*, 2017; 145:204-13, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.04.096>.
- [22] JANG, E., BANERJEE, P., HUANG, J., HOLLEY, R., GASKINS, J.T., HOQUE, S.B., et al., Thermoelectric Performance Enhancement of Naturally Occurring Bi and Chitosan Composite Films Using Energy Efficient Method, 2020; 12.
- [23] WAHBAH, M., ALHAWARI, M., MOHAMMAD, B., SALEH, H., ISMAIL, M., Characterization of Human Body-Based Thermal and Vibration Energy Harvesting for Wearable Devices, *IEEE J Emerg Sel Topics Circuits Syst*, 2014; 4:354-63, <https://doi.org/10.1109/JETCAS.2014.2337195>.
- [24] AKINAGA, H., Recent advances and future prospects in energy harvesting technologies, *Jpn J Appl Phys*, 2020; 59:110201, <https://doi.org/10.35848/1347-4065/abbfa0>.
- [25] SASIDHARAN, M., MOHD SABRI, M.F., WAN MUHAMMAD HATTA, S.F., IBRAHIM, S., A review on the progress and development of thermoelectric air conditioning system, *International Journal of Green Energy*, 2024; 21:283-99, <https://doi.org/10.1080/15435075.2023.2195924>.
- [26] HAMID ELSHEIKH, M., SHNAWAH, D.A., SABRI, M.F.M., SAID, S.B.M., HAJI HASSAN, M., ALI BASHIR, M.B., et al., A review on thermoelectric renewable energy: Principle parameters that affect their performance, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014; 30:337-55, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.10.027>.
- [27] SHEN, L., XIAO, F., CHEN, H., WANG, S., →

Investigation of a novel thermoelectric radiant air-conditioning system, *Energy and Buildings*, 2013; 59:123-32, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.12.041>.

[28] LIU, Z., ZHANG, L., GONG, G., HAN, T., Experimental evaluation of an active solar thermoelectric radiant wall system, *Energy Conversion and Management*, 2015; 94:253-60, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.01.077>.

[29] LERTSATITTHANAKORN, C., WISET, L., ATTHAJARIYAKUL, S., Evaluation of the Thermal Comfort of a Thermoelectric Ceiling Cooling Panel (TE-CCP) System, *Journal of Elec Materi*, 2009; 38:1472-7, <https://doi.org/10.1007/s11664-008-0637-7>.

[30] IRSHAD, K., HABIB, K., THIRUMALAI, N., SAHA, B.B., Performance analysis of a thermoelectric air duct system for energy-efficient buildings, *Energy*, 2015; 91:1009-17, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.08.102>.

[31] IRSHAD, K., HABIB, K., BASRAWI, F., SAHA, B.B., Study of a thermoelectric air duct system assisted by photovoltaic wall for space cooling in tropical climate, *Energy*, 2017; 119:504-22, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.110>.

[32] PRIETO, A., KNAACK, U., AUER, T., KLEIN, T., Solar coolfacades: Framework for the integration of solar cooling technologies in the building envelope, *Energy*, 2017; 137:353-68, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.141>.

[33] IBÁÑEZ-PUY, M., SACRISTÁN FERNÁNDEZ, J.A., MARTÍN-GÓMEZ, C., VIDAURRE-ARBIZU, M., Development and construction of a thermoelectric active facade module, *FDE*, 2015; 3:15-25, <https://doi.org/10.3233/FDE-150025>.

[34] IBÁÑEZ-PUY, M., MARTÍN-GÓMEZ, C., VIDAURRE-ARBIZU, M., SACRISTÁN-FERNÁNDEZ, J.A., Theoretical Design of an Active Façade System with Peltier Cells, *Energy Procedia*, 2014; 61:700-3, <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.11.946>.

[35] WANG, W., CEN, G., ZHENG, Z., YUAN, J., YIN, H., A solar distillation using simultaneously thermoelectric cooling and heating toward all-day freshwater harvesting: Energy matrices and environmental economics analysis, *Applied Thermal Engineering*, 2025. 125657, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.125657>.

[36] LOU, L., SHOU, D., PARK, H., ZHAO, D., WU, Y.S., HUI, X., Thermoelectric air conditioning undergarment for personal thermal management and HVAC energy saving, *Energy and Buildings*, 226:110374, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110374>.

[37] CAO, L., ZHANG, Q., CEN, J., YU, D., LI, M., YANG, C., HE, Z., Phase change

composite-enabled flexible thermoelectric cooling for personal thermal-regulation, *Journal of Energy Storage*, 105, 114757, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.114757>.

[38] SHURAF, S.M.A., ISMAIL, F.B., KAZEM, H.A., ALMAJALI, T.A.H., SANN, T.E., Experimental study of photovoltaic-thermoelectric systems using thermal interface materials and natural cooling, *Applied Thermal Engineering*, 258, 124855, 2025. <http://doi.org/10.106/j.applthermaleng.2024.124855>.

[39] WANG, F., GUO, W., LIU, X., TIAN, Y., LI, J., ZHANG, J., DENG, C., Effect of portable cooling device on thermal comfort of medical protective clothing, *Case Studies in Thermal Engineering*, 65, 105656, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2024.105656>.

[40] CAO, L., ZHANG, Q., CEN, J., YU, D., LI, M., YANG, C., HE, Z. Phase change composite-enabled flexible thermoelectric cooling for personal thermal-regulation. *Journal of Energy Storage*, 105, 114757, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.est.2024.114757>.

[41] BUITENDACH, H., JIYA, I.N., GOUWS, R., Solar powered peltier cooling storage for vaccines in rural areas, *IJECS* 17, 36, 2020. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v17.i1.pp36-46>.

[42] CHATTERJEE, S., PANDEY, K.G., Thermoelectric cold-chain chests for storing/transporting vaccines in remote regions, *Applied Energy* 76, 415-433, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0306-2619\(03\)00007-2](https://doi.org/10.1016/S0306-2619(03)00007-2).

[43] OHARA, B., SITAR, R., SOARES, J., NOVISOFF, P., NUNEZ-PEREZ, A., LEE, H., Optimization Strategies for a Portable Thermoelectric Vaccine Refrigeration System in Developing Communities, *Journal of Elec Materi* 44, 1614-1626, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11664-014-3491-9>.

[44] REID, E., BARKES, J., MORRISON, C., UNG, A., PATEL, R., REBARKER, C., PANCHAL, P., VASA, S., Design and Testing of a Thermoelectrically-Cooled Portable Vaccine Cooler, *Journal of Young Investigators*, 2018. <https://doi.org/10.22186/jyi.35.2.50-55>.

[45] TAŞLICA, S., ŞENER, M., GÜRSES, B.O., GÜRLEK, G., Desing And Modelling Of A Cooling System For Vaccine Carrier, *ULIBTK'21 Uluslararası Katılımlı 23. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, 08-10 Eylül 2021.

[46] WANG, T., LV, M., JIN, Y., ALAM, F. Integration of Vapor Compression and Thermoelectric Cooling Systems for Enhanced Refrigeration Performance, *Sustainability*, 17(3), 902, 2025. <https://doi.org/10.3390/su17030902>.

[47] KANE, A., VERMA, V., SINGH, B. Optimization of thermoelectric cooling technology for an active cooling of photovoltaic panel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1295-1305. 2017. →

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.114>.

[48] MOSHFEGH, H., ESLAMI, M., HOSSEINI, A. Thermoelectric cooling of a photovoltaic panel. The Role of Exergy in Energy and the Environment, 625-634. 2018. https://doi.org/10.1007/978-3-319-89845-2_44.

[49] LU, M., ZHANG, X., JI, J., XU, X., ZHANG, Y., Research progress on power battery cooling technology for electric vehicles, In Journal of Energy Storage, 27, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101155>.

[50] SIRIKASEMSUK, S., WIRIYASART, S., NAPHON, P. Experimental investigation of the thermal management system of a battery pack using a thermoelectric air-cooling module, Heat Transfer, 51(7), 6384-6402, 2022. <https://doi.org/10.1002/htj.22596>.

[51] ŞENER, M., ARSLAN, F.M., GÜRSER, B.O., GÜRLEK, G. Experimental Investigation of Thermoelectric Self-Cooling System for the Cooling of Ultrasonic Transducer Drivers, Politeknik Dergisi, 25(1), 169-175, 2022. <https://doi.org/10.2339/politeknik.675379>.

[52] YANG, H., LI, M., JIANG, Y., REN, F., WANG, Z., LIANG, J. Performance enhancement of a novel thermoelectric self-cooling system for electronic devices, International Communications in Heat and Mass Transfer, 159, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer>.

[53] SINGH, V.K., SISODIA, S.S., PATEL, A., SHAH, T., DAS, P., PATEL, R.N., BHAVSAR, R.R. Thermoelectric cooler (TEC) based thermal control system for space applications: Numerical study, Applied Thermal Engineering, 224, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng>.

[54] GUO, D., SHENG, Q., DOU, X., WANG, Z., XIE, L., YANG, B. Application of thermoelectric cooler in temperature control system of space science experiment, Applied Thermal Engineering, 168, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng>. ■

ÖZGEÇMİŞLER

Gökhan GÜRLEK

1978, İzmir doğumludur. 2000 yılında Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun olmuştur. 2005 yılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Mühendisliği A.B.D.'da yüksek lisans, 2012 yılında işe doktora öğrenimini tamamlamıştır. Halen Ege Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik ABD bünyesinde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Termodinamik, ısı transferi, termoelektrik, kurutma üzerine çalışmalar yapmaktadır.

Mert ŞENER

1989 yılı Manisa doğumludur. 2013 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. 2016 yılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü bünyesinde Mekatronik yüksek lisans eğitimini tamamlamıştır. 2023 yılında ise aynı üniversitede Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Makina Mühendisliği alanında doktoraasını tamamlamıştır. 2024 yılından beri Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Teorisi ve Dinamiği Anabilim Dalında Dr. Öğr. Üyesi olarak görev yapmaktadır. Mikrorobotik, elektromanyetik aktüatörler, termoelektrik, mekatronik ve medikal cihazlar üzerine çalışmalar yapmaktadır.

Şeyma ÖZKAN

1992 yılında Konya'nın Akşehir ilçesinde doğmuştur. 2014 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'nden mezun olmuştur. 2021-2024 yılları arasında Dokuz Eylül Üniversitesi Kimya Bölümü'nde yüksek lisansını tamamlamıştır. 2025 yılında aynı üniversitede Kimya Bölümü'nde doktora eğitimine başlamıştır. Termoelektrik ve polimerler üzerine çalışmalar yapmaktadır.

Bildiri Hazırlama ve Gönderim Takvimi	
19 Ekim 2026	Bildiri özetlerinin kongre sekreteryasına gönderilmesi (Değerlendirme sonuçlarının iletileceği tarihe kadar bildiri özetleri gönderilebilir.)
9 Kasım 2026	Bildiri özetlerinin değerlendirilmesi ve yazarlarına sonuçun iletilmesi
21 Aralık 2026	Tam metin bildirilerin kongre sekreteryasına gönderilmesi
18 Ocak 2027	Bildirilerin değerlendirilmesi ve yazarlara sonuçun iletilmesi