



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

**TERMAL EKLEM ISI FARKLILIĞI ESASLI
İYONİZASYON İLE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ**

Suat Zafer MERİÇELLİ

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Nazım İMAL

BİLECİK, 2016

Ref. No.: 10123432



BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

**TERMAL EKLEM ISI FARKLILIĞI ESASLI
İYONİZASYON İLE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ**

Suat Zafer MERİÇELLİ

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Nazım İMAL

BİLECİK, 2016

Ref. No.: 10123432



BİLECİK SEYH EDEBALI UNIVERSITY

Graduate School of Science

Department of Energy Systems Engineering

**GENERATION OF ELECTRICAL ENERGY WITH
IONIZATION BASED TEMPERATURE DIFFERENCE OF
THERMAL JOINT**

Suat Zafer MERİÇELLİ

Thesis of Master Degree

Thesis Advisor

Assist. Prof. Nazım İMAL

BİLECİK, 2016



**BİLECİK ŞEYH EDEBALI
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS**

JÜRİ ONAY FORMU

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26/07/2016 tarih ve 40 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 29/07/2016 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Suat Zafer MERİÇELLİ'nin "Termal Eklem Isı Farklılığı Esaslı İyonizasyon İle Elektrik Enerjisi Üretimi" başlıklı tez çalışması Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak oy birliği/oy çokluğu ile kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Yrd. Doç. Dr. Nazım İMAL

ÜYE

: Prof. Dr. Mehmet KURBAN

ÜYE

: Yrd. Doç. Dr. Ahmet Yahya TEŞNELİ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI BAŞKANI:

Doç. Dr. Metin KESLER

ONAY

Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
.../.../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA / MÜHÜR

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince emek vererek katkıda bulunan ve desteğini esirgemeyen tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. Nazım İMAL'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Suat Zafer MERİÇELLİ

Haziran, 2016



ÖZET

Peltier yapılar, 19. yüzyılın başlarında, keşfedilen önemli bir termoelektrik buluştur. Bu buluş ile, Thomas Seebeck ve Jean Peltier farklı iki metal yapının, farklı sıcaklıklara maruz bırakıldığında emk ürettiğini keşfetmişlerdir. Onlar aynı zamanda farklı iki metal yapıya elektrik akımı uygulandıklarında, akımın uygulanma yönüne bağlı olarak ısıtma yada soğutma gerçekleşebildiğini görmüşlerdir. Özellikle son 50 yıldır yarıiletken teknolojisindeki artışla birlikte peltier yapılar ve özellikle peltier yapıları kullanan soğutma teknolojileri üzerinde artış gerçekleşmiştir. Peltier yapılar, iklimlendirme özelliklerine kıyasla daha küçük çapta da olsa, elektrik enerjisi üretme yeteneğine sahiptirler. Küçük miktarda elektrik enerjisi üreten peltier yapılar, seri ve paralel bağlanarak, büyük değerlerde gerilim ve akımlara ulaşılabilir.

Bu tez çalışmasında, peltierler seri ve paralel bağlanarak uygun akım ve gerilim değerine ulaştırılıp bir güç jeneratörü oluşturularak bu güç jeneratöründen elde edilen elektrik enerjisinin konutlar ve hava araçlarında kullanımları ele alınmıştır.

Anahtar Sözcükler: Sıcaklık, Peltier yapılar, Elektrik Enerjisi

ABSTRACT

At the beginning 19th century scientists, peltier structure was discovered by Thomas Seebeck and Jean Peltier. It was the significant product for thermoelectric industry. They found that if there is a temperature difference between the junctions of two dissimilar conductors, the electrical current would flow. Besides, they learned when electrical currents are flow through two dissimilar electrical conductors of the peltier structure, were caused heat to be either emitted or absorbed at the junctions of peltier structure. After, especially in the last fifty years, practical applications that are specially cooling have steadily increased with the effects of improvements in semiconductor technology for peltier structures. Also, these units can generate electrical DC energy even if not large quantity. By linking serial and parallel of these units, reaching to the great values of voltage and current are possible.

In experimental work carried out, to create a power generator, peltiers are reached to the appropriate current and voltage by being linked serial and parallel. The uses of the electricity generated in the residential and aircraft are discussed.

Keywords: Temperature, Peltier structures, Electrical energy

İÇİNDEKİLER

JÜRİ ONAY SAYFASI

TEŞEKKÜR

ÖZET.....i

ABSTRACTii

İÇİNDEKİLERiii

ÇİZELGELER DİZİNİv

ŞEKİLLER DİZİNİvi

1. GİRİŞ12

1.1Literatür Çalışması13

1.2Çalışmanın Kapsamı14

2. TERMoeLEKTRİK DÖNÜŞÜM.....16

2.1Termoelektrik Dönüştürücülerin Yapısı17

2.2Termoelektrik Dönüştürücülerde Kullanılan Malzemeler19

2.2.1 N-Tipi yarı iletken malzemeler.....19

2.2.2 P- Tipi yarı iletken malzemeler21

2.3Termoelektrik Olay22

2.4Termoelektrik Etkileri23

2.4.1 Seebeck etkisi24

2.4.2 Peltier etkisi28

2.4.3 Thomson etkisi31

2.4.4 Kelvin ilişkileri.....31

2.5Termoelektrik Dönüştürücü Malzemeleri, Enerji ve Isı Prosesleri.....32

2.6Termoelementlerde Oluşan Enerji Prosesleri.....32

3. TERMoeLEKTRİK MODÜLLERİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

.....34

3.1Termoelektrik Modülün Uygulamaları35

3.1.1 Soğutucular35

3.1.2 Termogeneratörler36

3.2Termoelektrik Modülün Avantajları37

3.3Termoelektrik Generatörler ve Soğutucular.....38

3.3.1 Temel çalışma prensipleri.....40

3.4Termoelektrik Soğutucular	43
3.4.1 Termoelektrik Soğutmanın Teorisi	44
3.4.2 Termoelektrik soğutucularda kullanılan malzemeler	45
3.4.3 Termoelektrik soğutucuların avantaj ve dezavantajları	46
3.4.4 Termoelektrik soğutucuların kullanım alanları	47
3.4.5 Termoelektrik modüllerin ısı ve elektriksel parametreleri	48
3.5Uygulama Alanları	52
3.5.1 Peltier yapılar kullanılarak soğuk iklim şartlarında elektrik elde etme	54
3.5.2 Peltier yapılarda üretilen elektrik enerjisinin kullanılabilirliği	55
3.5.3 Peltier yapılı elektrik enerji sisteminde koruma	55
4. TERMAL EKLEM ISI FARKLILIĞI İYONİZASYON	
ESASLI ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ.....	56
4.1Elektrik Enerjisi Üretim Amaçlı Peltier Kullanımı	57
4.1.1 Birinci uygulama verileri.....	58
4.1.2 İkinci uygulamada elde edilen veriler	61
4.1.3 Üçüncü uygulamada elde edilen veriler	62
4.2Hava Araçlarında Peltier Yapılar Kullanarak Elektriksel Enerji Üretimi	63
4.3Konutlarda Peltier Yapılar Kullanarak Elektriksel Enerji Üretimi.....	65
4.4Diğer Uygulanabilir Alanlar.....	66
4.5Tartışma ve Yorum	67
5. SONUÇ.....	70
KAYNAKLAR.....	72
ÖZGEÇMİŞ.....	726

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge4.1. Farklı tipte peltierlere ait katalog bilgileri.	57
Çizelge4.2. Birinci uygulama verileri.	59
Çizelge4.3. Tek peltier kullanılarak yapılan ölçümler	61
Çizelge4.4. Seri bağlı çift peltier kullanılarak yapılan ölçümler.	62



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Bir fotonun kristal yapı içindeki elektronu uyarması sonucu oluşan elektron boşluk çifti (Özgün, 2009).	17
Şekil 2.2 Elektron-boşluk çiftinin elektrik alan içindeki davranışı.	18
Şekil 2.3 Arsenik atomunun Si ile bağ yapısı.	20
Şekil 2.4 Si yapıya 1 ppm As ekli n tipi bir yarı iletkenin enerji bant diyagramı.	20
Şekil 2.5 (a) Bor atomunun bağdaki bir atomu yutması sonucu oluşan boşluk.	21
(b) Boşluğun Bor atomu çevresindeki yörüngesi ve serbest hale geçişi.	21
Şekil 2.6 Si yapıya 1ppm B ekli p tipi bir yarı iletkenin enerji bant diyagramı.	22
Şekil 2.8 Alüminyum çubukta sıcaklık değişimi ile oluşan elektron hareketleri.	26
Şekil 2.9 Seebeck etkisinin görüldüğü ısı çifti.	28
Şekil 2.10 Peltier etkisinin görüldüğü ısı çifti	28
Şekil 2.11 Termoelementi oluşturan kısımlar	33
Şekil 3.1 Termoelektrik modül şekilleri.	34
Şekil 3.3 Termomodülün yapısı ve genel görünüşü (Yılmaz , 2008).	36
Şekil 3.4 Temel Termal çift devresi.	38
Şekil 3.5 Hi-Z Termoelektrik jeneratör.	39
Şekil 3.6 Beş peltier elemandan oluşan test düzeneği.	39
Şekil 3.7 Ticari olarak satılan kaskad bağlı bir Peltier soğutucu.	40
Şekil 3.8 Konvansiyonel güç çevrimi.	41

Şekil 3.9 Konvansiyonel soğutma çevrimi.	41
Şekil 3.13 Bir termoelektrik soğutucu modülü.	45
Şekil 3.14 (a) Lazerli ve medikal uygulamalar için sıvı soğutucu. (b) Bir CPU soğutulması için.	47
Şekil 3.16 (a) Sudan havaya bir termoelektrik soğutucu, (b) Soğuk plakalı termoelektrik soğutucu.	49
Şekil 3.19 $T_h = 25^\circ C$ için $\Delta T - V$ performans diyagramı.....	51
Şekil 3.20 $T_h = 25^\circ C$ için $\Delta T - Q_c$ performans diyagramı.....	51
Şekil 3.17 (a) Plutonium-238 paleti (b) Cassini uzay aracı ve üzerindeki RTG üniteleri.	53
Şekil 3.18 Güneş enerjisi ve termoelektriğin evsel bir uygulaması.	54
Şekil 4.1 Bir peltierin şematik yapısı.	56
Şekil 4.2 Uygulamada kullanılan peltier yapılar.	57
Şekil 4.3 Deneysel uygulama ortamı.	58
Şekil 4.4 Sıcaklık farkına bağlı elektriksel güç değişimi.....	59
Şekil 4.5 Seri ve paralel bağlı 88 peltier.	60
Peltier yapılardan kurulu bir elektrik enerji sistemi tasarımlanırsa,	60
Şekil 4.6 Peltier sisteminin elektriksel yük bağlantı şeması.	61
Şekil 4.7 Sıcaklık farkına bağlı elektriksel güç değişimi.....	62
Şekil 4.8 Sıcaklık farkına bağlı elektriksel güç değişimi.....	63
Şekil 4.9 Atmosferde termal değişim.	63

Sayfa

Şekil 4.10 Bir uçağın termal görüntüsü.	64
Şekil 4.11 Gövdesi peltier kaplı bir uçak modeli.....	64
Şekil 4.12 Gövdesi peltier kaplı bir uçak modeli.....	65
Şekil 4.13 Güneş enerjisi ve termoelektriğin evsel bir uygulaması.....	65



SİMGELER VE KISALTMALAR

Pt	: Platin
Ni	: Nikel
Au	: Altın
Cu	: Bakır
Al	: Alüminyum
Fe	: Demir
S	: Kükürt
Ge	: Germanyum
Br	: Brom
In	: İndiyum
Eef	: Enerji farkı
J	: Akım yoğunluğu
n	: İletkenlik bandındaki elektron konsantrasyonu
p	: Valans bandındaki boşluk konsantrasyonunu
vde	: Elektron sürüklenme hızı
vdb	: Boşluğun sürüklenme hızı
me*	: elektron kütlesi
μe	: Elektronun iletkenlik bandındaki sürüklenme mobilitesi
μb	: Boşluğun iletkenlik bandındaki sürüklenme mobilitesi
σ	: Yarı iletkenler için iletkenlik
As	: Arsenik
P	: Fosfor
Sb	: Antimon
Si	: Silisyumun
eV	: Elektro volt
ppm	: Milyonda bir birime verilen isim
°C	: Santigrat derece
Z	: Termoelektrik materyali karakterizesi (1/°C)
K	: Kelvin derece
α, α _{ab} , S	: Termoelektromotor kuvveti sabiti (Seebeck katsayısına V/°C) (μV/K)
Ω	: Ohm

σ	: Ölçülebilir nicelik olan elektriksel iletkenlik (öziletkenlik($1/\Omega$)xcm)
λ, H	: Isıl iletkenlik (W x cm / °C)
V_0	: Elektriksel potansiyel fark
T	: Sıcaklık (Kelvin)
ΔT	: Sıcaklık Farkı (T_1-T_2)
ΔV	: Potansiyel fark
Q_s	: Soğutma etkisi
Q_l	: Isıtma etkisi
Q_p	: Peltier ısı gücü (W)
π	: Bağlı peltier katsayısı (V)
Q_p	: Birim zamanda transfer edilen ısı miktarı (Watt)
I	: Devre üzerinden geçen doğru akım (Amper)
Q_T	: Thomson ısısı
τ	: Thomson katsayısı
DC	: Doğru Akım
AC	: Alternatif Akım
k	: Isıl iletkenlik
R	: Elektrik direnci
ZT	: Yarı iletken malzemelerin değer katsayısı
Bi_2Te_3	: Bismuth telluride
$PbTe$	: Kurşun tellür
$SiGe$	: Silikon germanyum
COP	: Soğutma ve ısıtma performans katsayısı
Emk	: Elektro motor kuvvet
CPU	: İşlemci
T_h	: Sıcak yüzeyin sıcaklığı
Q_h	: Sıcak yüzeyden atılan ısı
T_o	: Isının aktarıldığı ortam sıcaklığı (°C)
U	: Isı değiştirgecinin toplam ısıl direnci (°C / Watt)
Q_c	: Termoelektrik modülün soğuk yüzeyinin çektiği ısı (W)
W_e	: (W) termoelektrik modülün çektiği elektrik gücü

Tc : Termoelektrik soğutucunun soğuk yüzeyinin sıcaklığı
RTG : Radioisotope Thermoelectric Generatör



1. GİRİŞ

İnsanlığın enerjiye olan gereksinimi var oluşumuzdan beri hiç tükenmemiştir ve gün geçtikçe artmaktadır. Mevcut enerji döngüsünün sonlu olan fosil yakıtlar kökenli olması ve çevreye verdiği olumsuz etkilerden dolayı bilim yeni nesil enerji teknolojilerini geliştirmeye çalışmakta ve var olan kaynakları verimli kullanmayı hedef edinmektedir.

Yenilenebilir enerji kaynağını doğadan alır ve çevre üzerinde olumsuz etkileri olmayan kaynaklardır. Günümüzde en yaygın olarak güneş, rüzgâr, hidrolik, biokütle ve jeotermal enerji kaynakları kullanılmakta ve buna bağlı olarak yenilenebilir enerji teknolojileri geliştirilmektedir (Özgün, 2009).

Enerjinin kontrol edilebilmesi ve istediğimiz sistemlerde kullanılabilmesi gerekmektedir. Yenilenebilir enerjilerde doğadan alınan enerji kayıpsız bir şekilde faydalı bir enerjiye dönüştürülebilmelidir. Bu dönüşüm oranları bazı sistemlerde termodinamik, bazı sistemlerde elektrokimyasal sınırlarla belirlenmiştir. Bunların yanında sistemler arasında dönüşümler ve dağıtım işlemleri sırasında empedans kaynaklarının da devreye girmesiyle enerjinin kullanılabilirliği azalmaktadır. Doğrudan enerji dönüşümü yapan teknolojilerle kayıplar azaltılmaya çalışılmaktadır. Doğrudan enerji dönüşüm sistemlerinde güneş panelleri çoğu kişi tarafında bilinmekte ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

Güneş pilleri ile termoelektrik yapılar dönüştürdükleri enerji formları birbirlerinden farklı olsalar da temelde iki sistem de yarı iletken malzemelerden üretilmektedir. Tarihsel olarak incelendiğinde ise iki teknoloji de ilk olarak uzay araçlarında kullanılmıştır. Güneş panelleri üzerine yapılan çalışmalar ve seri üretim ile güneş enerjisinden yararlanma yaygınlaşmış fakat termoelektrik yapılar bu gelişimin gerisinde kalmıştır. Şimdilerde termoelektrik tabanlı enerji sistemleri üzerine yapılan çalışmalar artmakta ve verim değerleri yükseltilmeye çalışılmaktadır.

Yeni elektrik üretim kaynaklarının bulunması ve termoelektrik soğutucular üretimi için gerekli olan yarı iletken termoelektrik jeneratörlerin özelliklerinin iyileştirme ve geliştirme çalışmaları hız kazanmıştır. Bu kapsamda, termoelektrik

malzemeler birçok cihaz ve düzeneklerde kullanılmaktadır. Bu malzemeler arasında, basit yarı iletkenlerle beraber, karmaşık katı çözeltilerin üretiminde yeni teknolojilerin geliştirilmesi ve özelliklerinin iyileştirilmesi önem kazanmaktadır. Bu problemleri çözmek için katı çözeltilerden, termoelement olarak kullanılacak yüksek kaliteli yarı iletken alaşımlar üretilmektedir. Termoelementlerin üretimi ile termo elektrojeneratör ve soğutma teknolojilerinin gelişmesi için önemli adımlar atılmıştır.

Bu kapsamda, peltier yapılar, 19. yüzyılın başlarında, keşfedilen önemli bir termoelektrik buluştur. Bu buluş ile, Thomas Seebeck ve Jean Peltier farklı iki metal yapının, farklı sıcaklıklara maruz bırakıldığında emk ürettiğini keşfetmişlerdir. Onlar aynı zamanda farklı iki metal yapıya elektrik akımı uygulandıklarında, akımın uygulanma yönüne bağlı olarak ısıtma yada soğutma gerçekleşebildiğini görmüşlerdir.

Özellikle son 50 yıldır yarıiletken teknolojisindeki artışla birlikte peltier yapılar ve özellikle peltier yapıları kullanan soğutma teknolojileri üzerinde artış gerçekleşmiştir. Peltier yapılar, iklimlendirme özelliklerine kıyasla daha küçük çapta da olsa, elektrik enerjisi üretme yeteneğine sahiptirler. Küçük miktarda elektrik enerjisi üreten peltier yapılar, seri ve paralel bağlanarak, büyük değerlerde gerilim ve akımlara ulaşılabilir.

1.1 Literatür Çalışması

Konu ile ilgili daha önceden yapılan çalışmalar ele alındığında; Wijngaards ve arkadaşları "Thermo-Electric Characterization of APCVD Polysilicon for IC-Compatible Fabrication of Integrated Lateral Peltier Elements" adlı çalışmalarında fabrikasyon esaslı peltier üretiminde APCVD Polysilicon malzemelerinin termoelektrik karakterizasyonu üzerinde durmuşlardır.

Almedia ve arkadaşları (2007), yılında gerçekleştirdikleri "Characterization of Thermoelectric Cell for Electric Power Generation" adlı çalışmalarında termoelektrik hücrelerde elektriksel güç üretimi üzerinde durmuşlardır.

Kandasamy ve arkadaşları (2004), yılında gerçekleştirdikleri "Modelling of a Thin Film Thermoelectric Micro-Peltier Module" adlı çalışmalarında, peltier yapılar için mikrofilm modelleme konusunu ele almışlardır.

Şeyda TAN ve Sevil KÜNBET tarafından (2013) yılında hazırlanan ve TÜBİTAK' a sunulan ‘‘Güneş Enerjisi ile Peltier Kullanılarak Elektrik Enerjisi Elde Etmek’’ adlı çalışmalarında TEC1-12703 ve TEC1-12704 tipindeki peltier soğutucular kullanılarak elektriksel güç üretimi üzerinde durmuşlardır.

Konu ile ilgili birçok çalışma bulunmakla beraber, bu çalışmalar daha çok peltier yapıların ısıtma ve soğutma esaslı kullanımına yöneliktir. Burada, elektrik enerji üretimi esas alındığından, özellikle bu amaçlı çalışmalar vurgulanmıştır.

1.2 Çalışmanın Kapsamı

Gerçekleştirilen çalışma, peltier yapılar kullanarak termal eklem ısı farklılığı esaslı iyonizasyon ile elektrik enerjisi üretimi kapsamındadır. Peltier yapıların farklı atmosferik ve çevre sıcaklıklarında üretmiş oldukları elektrik enerji miktarının analizine yöneliktir. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen uygulamalar ile elde edilen veriler, mühendislik hesaplamaları kapsamında ele alınmıştır. Böylece, peltier yapılarda sıcaklığa bağlı şartlar için, elektrik enerjisi üretimindeki farklı değişim fonksiyonları elde edilmiştir.

Termal eklem ısı farklılığı esaslı iyonizasyon ile elektrik enerjisi üretimi üzerine gerçekleştirilen çalışmada, deneysel uygulamalar ve tasarımsal modellemeler esas alınmıştır. Bu amaçla termal eklem ısı farklılığı esaslı iyonizasyon ile elektrik enerjisi üretiminde kullanılan peltier yapılar üzerine incelemeler ve deneysel uygulamalar çalışma içerisinde gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, peltier yapıların konumlandırılabilceği sıcaklık farkları ve uygulanabilirlikleri esas alınarak modellemeler gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık farkından elde edilecek enerjinin en yüksek seviyede ve doğru olarak alınabilmesi için peltier yapılar ile deneysel uygulamalar gerçekleştirilerek sonuçlar incelenmiş ve yorumlanmıştır.

Bu kapsamda, peltier yapıların üretebilecekleri en yüksek güç değerleri rezistif yükler kullanılarak belirlenmiştir. Yüklerin üzerine düşen gerilim değerleri ve çekilen akımlar dijital multimetre ile ölçülmüştür. Peltier yapıların materyal sıcaklıkları dijital termometreler ile ölçülmüştür.

Ölçülen tüm parametrelere ait veri değerleri sıcaklık artış periyotları ile okunup

kaydedilmiştir. Kaydedilen değerler kullanılarak elde edilen grafik ve eşitlikler ele alınmış ve sıcaklık değişimine karşılık peltier yapılarda meydana gelen akım gerilim değişimleri yorumlanmıştır.



2. TERMOELEKTRİK DÖNÜŞÜM

Yarı iletkenler elektriksel iletkenlik açısından iletkenlerle yalıtkanlar arasında bulunurlar. Yarı iletkenler periyodik cetvelde 3. ve 5. gruba girerler. Bu demektir ki son yörüngelerinde elektron alıcılığı veya vericiliği iletkenlerden az, yarı iletkenlerden fazla olmalıdır. İletkenler; Pt, Ni, Au, Cu, Al, Fe gibi elementlerdir. Yalıtkanlar; ebonit, cam, tahta, su, yarı iletkenler; S, Ge, Br, In ve benzerleridir.

Yeryüzündeki bütün maddeler, atomlardan oluşmuştur. Atom ise ortada bir çekirdek ve bunun etrafındaki değişik yörüngelerde hareket eden elektronlardan oluşmaktadır. Elektronlar, negatif elektrik yüküne sahiptirler. Bir etkiye yolu ile atomdan ayrılan elektronların bir devre içerisindeki hareketi, elektrik akımını oluşturur. Elektronların her madde içerisindeki hareketi aynı değildir. Elektron hareketine göre maddeler; iletkenler, yalıtkanlar ve yarı iletkenler olarak üçe ayrılır.

İletkenler; atomların dış yörüngesindeki elektron sayıları az olduğu için çekirdeğe zayıf olarak bağlıdır. Isı, ışık ve elektriksel vb. etki altında kopma eğilimi gösterirler. Metaller, diğer maddelere göre iyi iletkenlerdir. Metaller de, kendi aralarında gruplara ayrılırlar. İyi İletkenler; Atomları 1 valans elektronlu olan metallerdir. (altın, gümüş, bakır vb.) Bakır tam saf olarak elde edilmediğinden, altın ve gümüşe göre biraz daha kötü iletkenidir. Ancak ucuz ve bol olduğundan, en çok kullanılan metaldir. Atomlarında 2 ve 3 valans elektronu olan demir (2 dış elektronlu) ve alüminyum (3 dış elektronlu) iyi birer iletken olmamasına rağmen, ucuz ve bol olduğu için geçmiş yıllar da kablo olarak kullanılmıştır.

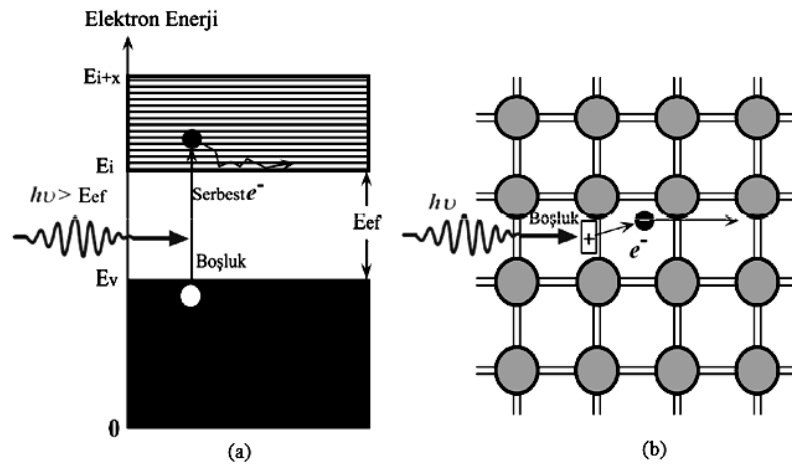
Yalıtkanlar; elektrik akımını iletmeyen maddelerdir. Bunlara örnek olarak cam, mika, kağıt, kauçuk, lastik ve plastik maddeler gösterilebilir. Elektronları atomlarına sıkı olarak bağlıdır. Bu maddelerin dış yörüngedeki elektron sayıları 8 ve 8 'e yakın sayıda olduğundan çekirdekten uzaklaştırılmaları zor olmaktadır.

Yarı iletkenler; iletkenlik bakımından iletkenler kadar iyi olmasalar bile yalıtkanlardan daha iyi elektriği iletirler. Yarı iletkenler normal halde yalıtkandırlar, ancak ısı, ışık ve manyetik etki vb. altında bırakıldığında bir miktar valans elektronu serbest hale geçer, yani iletkenlik özelliği kazanırlar. Bu şekilde iletkenlik özelliği

kazanması geçici olup, dış etki kalkınca iletim özelliği de kaybolur. Doğada basit eleman halinde bulunduğu gibi laboratuvarlarda bileşik eleman halinde üretilebilirler. Yarı iletkenler kristalimsi bir yapıya sahiptirler. Atomları kübik kafes sistemi denilen belirli bir düzende sıralanmıştır. Bunun nedeni elektronik devre elemanlarının üretiminde kullanılmalarıdır (Kayabaşı , 2009).

2.1 Termoelektrik Dönüştürücülerin Yapısı

Modern katılar teorisi kullanılarak yarı iletkenler; saf yapıda olduklarında ve mutlak sıfır derecesinde valans bandı valans elektronları ile dolu olup iletkenlik bantları boş olacak şekilde tanımlanmışlardır. Dış etkenler ile kristal yapıdaki kovalent bağların kırılması ile elektron boşluk çiftleri oluşturulur. Oluşan bu elektron boşluk çiftleri yarı iletkenler için iletimi sağlayan yapıları oluşturur. Bu iki farklı taşıyıcı birbirlerinden E_{ef} enerji farkı ile birbirlerinden ayrılmıştır (Özgün, 2009).

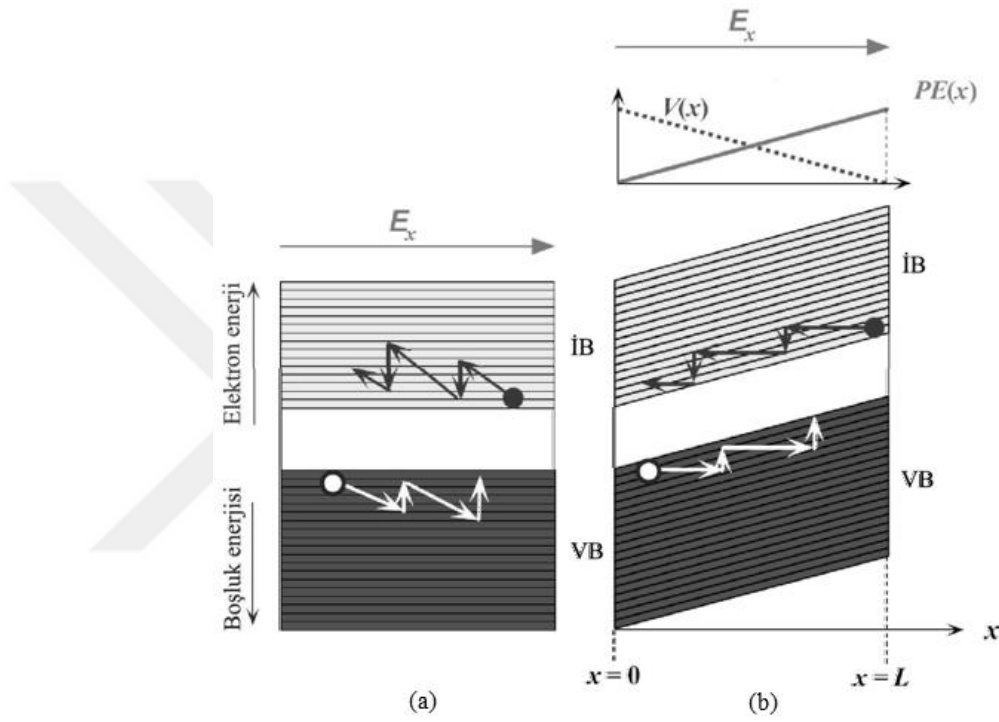


Şekil 2.1 Bir fotonun kristal yapı içindeki elektronu uyarması sonucu oluşan elektron boşluk çifti (Özgün, 2009).

Elektronlar iletkenlik bandında iletimi sağlarken boşluklar valans bantlarında iletimi sağlarlar. Şekil 2.1 foton yarı iletken içinde bir bağı uyarılmış ve taşıdığı enerji E_{ef} ' den büyük olacak şekilde enerjiyi elektrona transfer ettiğinden elektron valans bandından iletkenlik bandına taşınmış ve geride pozitif yüklü bir boşluk bırakmıştır. Birbirlerinden bağımsız olarak hareket eden bu taşıyıcı yapılar bağlar arasındaki titreşmeyi azaltacak yönde bir dış etmene maruz bırakıldığında elektron boşluk çifti

tekrar birleşecek ve bu birleşme sonucu ısı açığa çıkacaktır. Bu birleşme bazı yarı iletkenlerde dışarı foton salınımına da neden olabilir.

Yarı iletkenin uçları arasında potansiyel fark uygulanması ile iletkenlik bandında elektronlar uygulanan alanın tersi yönde ilerlerken boşluklar aynı yönde ilerler. Şekil 2.2’de elektron ve boşlukların elektriksel potansiyel altında enerji bantlarında yaptıkları hareketler gösterilmektedir.



Şekil 2.2 Elektron-boşluk çiftinin elektrik alan içindeki davranışı.

Elektronların ve boşlukların elektrik alan içerisinde oluşturduğu akım yoğunluğu ifade 2.1’de verilmiştir (Özgün, 2009).

$$J = en \cdot v_{de} + ep \cdot v_{db} \quad (2.1)$$

Bu ifadede n iletkenlik bandındaki elektron konsantrasyonunu, p valans bandındaki boşluk konsantrasyonunu, v_{de} ve v_{db} sırasıyla elektron ve boşluğun sürüklenme hızını göstermektedir. Elektronların ve boşlukların sürüklenme hızları ifade 2.2’de verilmiştir.

$$v_{de} = \mu_e \cdot E_x \quad (2.2)$$

$$v_{db} = \mu_b * E_x \quad (2.3)$$

Sürüklenme mobilitesi olarak elektron ve boşluk için μ_e ve μ_b şeklinde tanımlanır. Kristal yapı içerisinde dolaşan elektronların yapı içindeki iyonlardan da etkileneceği düşünüldüğünde elektronun kütlesi m_e^* olarak belirlenir. Buradan elektronun iletkenlik bandındaki sürüklenme mobilitesi ifade 2.4'deki gibi tanımlanır.

$$\mu_e = \frac{eT_b}{m_e^*} \quad (2.4)$$

Aynı düşünceyi boşluklar için uygulayabiliriz. Kütlenin ivmelenmeyi zorlaştıracı bir etmen olduğu düşünüldüğünde boşluğun da bir kütlesinin olduğu yorumu yapılabilir. Boşluğun ivmelenmesi demek elektronun bağlar arasında tünelleme yapması demektir ve buradan boşluk için sürüklenme mobilitesi ifade 2.5'deki gibi tanımlanır.

$$\mu_b = \frac{eT_b}{m_b^*} \quad (2.5)$$

Buradan yarı iletkenler için iletkenlik 2.6 deki gibi tanımlanır. İfadelerdeki n ve p elektron ve boşluk konsantrasyonunu temsil etmektedir.

$$\sigma = en * \mu_e + ep * \mu_b \quad (2.6)$$

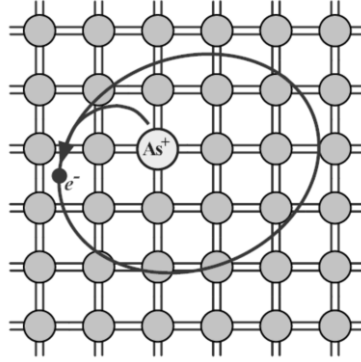
2.2 Termoelektrik Dönüştürücülerde Kullanılan Malzemeler

Yarı iletkenler yapılarına eklenen maddelerde tek bir polarite gösterecek şekilde imal edilebilirler. Bu yarı iletkenler n ve p tipi olmak üzere ikiye ayrılır ve yapıdaki elektron veya boşluk fazlalığı yarı iletkenin tipini belirler.

2.2.1 N-Tipi yarı iletken malzemeler

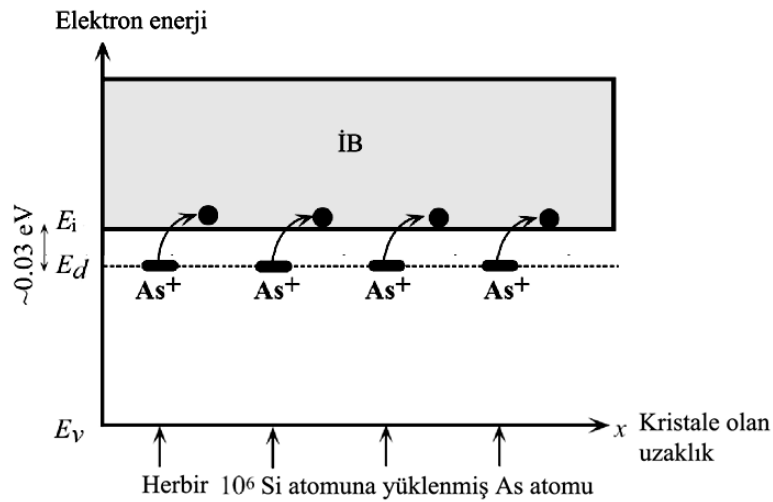
Periyodik cetvelin 5'inci grubunda bulunan As, P, Sb gibi metallerin Si yapıya eklenmesi ile oluşurlar. Silisli yapıya Arsenik eklemesi yapılacağını düşünürsek; Arsenik 5 valans elektrona sahiptir ve Silisyumun 4 valans elektronu vardır. Arsenik silisyumun 4 elektronu ile bağ yaptıktan sonra bir valans elektronu dışarıda kalır. Bağ yapamayan bu valans elektronu As etrafındaki bir yörüngede dolaşır ve gerekli enerjinin verilmesi ile iletkenlik bandına geçiş yapar. Sistem bu fazlalık elektron nedeniyle n tipi yarı iletken olarak tanımlanır. Bu proses serbest dolaşan bir elektron fakat hareketsiz bir

As iyonu yaratır. Arseniğin iletkenlik bandına elektron vermesinden dolayı da Arsenik atomuna bağışlayıcı atom denilir. Şekil 2.3’de Arsenik atomunun latis yapısı içerisindeki konumu gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Arsenik atomunun Si ile bağ yapısı.

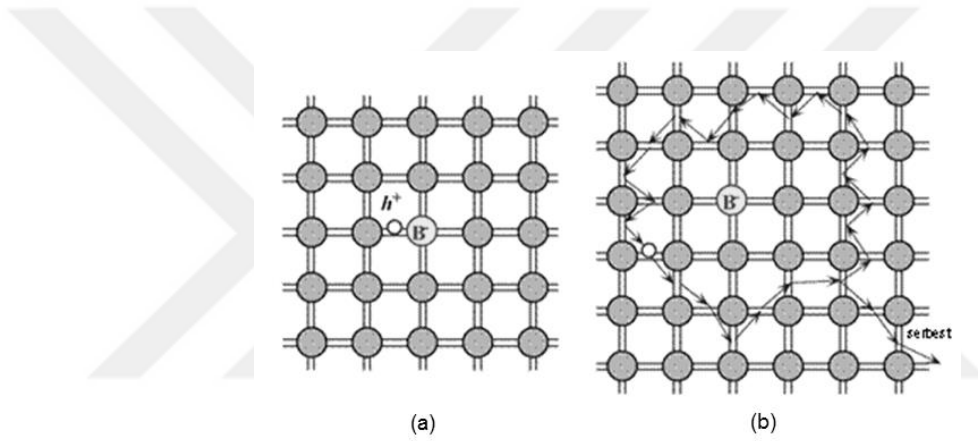
Saf bir yarı iletkenin iletkenlik bandına elektron transferini sağlamak için verilmesi gereken enerji değeri çok büyükken, As yüklenmiş n tipi bir yarı iletken için bu değer çok küçüktür. Şekil 2.4’de gösterildiği gibi As eklenmiş bir yarı iletkenin iyonizasyonu ile iletkenlik bandına elektron transfer etmesi için 0.03 eV kadar bir enerjiye gereksinim duyulmaktadır. Ortalama olarak oda koşulları atomların titreşmesini sağlayacak 0.07 eV termal enerjiyi sağlayabilmektedir. Bu nedenle As atomunun iletkenlik bandına elektron transfer etmesi saf bir yarı iletkeninkinden çok daha kolaydır.



Şekil 2.4 Si yapıya 1 ppm As ekli n tipi bir yarı iletkenin enerji bant diyagramı.

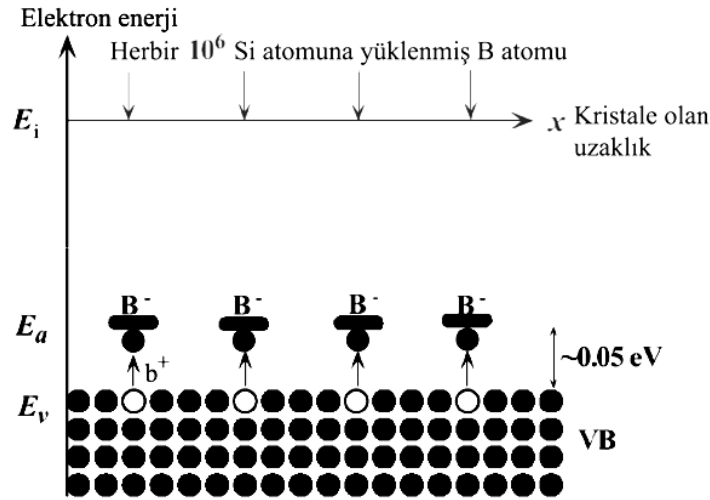
2.2.2 P- Tipi yarı iletken malzemeler

Valans elektronu 3 olan metallerin Si kristal yapıya eklenmesi ile oluşurlar. Silis kristaline Bor eklendiğini düşünürsek; Bor 3 valans elektronuna sahiptir ve Silisyumun 4 valans elektronu vardır. Bor Silisyumla bağ kurarken bağdaki elektronlardan birini yutar ve geride boşluk bırakır. Elektronların tünelleme yapması ile boşluk Bor atomu çevresinde bir yörünge oluşturur ve yeterli enerjinin verilmesi ile boşluk yörüngeden kurtulur. Yörüngeden kurtulan boşluk valans bandında serbest halde dolaşabilir hale gelir. Bu işlem sonucunda valans bandında serbest halde dolaşabilen bir boşluk oluşturur. Elektron yutarak boşluğun oluşmasına neden olduğu için Bor atomuna alıcı atom denilir. Şekil 2.5’de Bor atomunun latis yapısı içerisindeki konumu gösterilmiştir.



Şekil 2.5 (a) Bor atomunun bağdaki bir atomu yutması sonucu oluşan boşluk. (b) Boşluğun Bor atomu çevresindeki yörüngesi ve serbest hale geçişi.

Şekil 2.6’da gösterildiği gibi B eklenmiş bir yarı iletkenin iyonizasyonu ile valans bandında boşluğun dolaşabilmesi için 0,05 eV kadar bir enerjiye gereksinim duyulmaktadır. Ortalama olarak oda koşulları atomların titreşmesini sağlayacak 0,07 eV termal enerjiyi sağlayabilmektedir.



Şekil 2.6 Si yapıya 1ppm B eklip tipi bir yarı iletkenin enerji bant diyagramı.

2.3 Termoelektrik Olay

Termoelektriğin tarihi ve termoelektrik yapıların temelleri 1821 yılında Alman fizikçi Thomas Johann Seebeck tarafından atılmıştır. Seebeck iki farklı metalin uçları arasında sıcaklık farkı oluşturulduğunda pusula iğnesinin saptığını keşfetmiştir. Seebeck etkisi olarak bilinen ve Seebeck'in ölümünden sonra gerçek anlamıyla tanımlanan bu etki sıcaklık farkı ile yaratılan elektriksel potansiyel sonucunda oluşan devreye bağlanan bir yük direncinden akım akmasıyla sonuçlanmaktadır (Özgün, 2009).

Bu buluştan on üç yıl sonra Fransız fizikçi Jean Charles Athanase Peltier tarafından Peltier etkisi bulunmuştur. Peltier iki farklı iletkenin ara yüzeyinden akım geçirilmesi sırasında ısının ya absorblandığını veya dışarı verildiğini bulmuştur. Son olarak William Thomson (Lord Kelvin) tarafından bu iki etki termodinamik yasaları çerçevesinde incelenip bütünleştirilmiştir. Thomson kendi adıyla yayınladığı bu etkiyi şu şekilde tanımlamıştır; iki farklı iletken hem ısıtılıp hem de üzerlerinden akım akması sağlandığında, bütün yapı boyunca ısı ya emilir veya yayılır (Özgün, 2009).

Termoelektrik malzemelerin önemli teorik ifadeleri Edmund Altenkirch tarafından ortaya konmuştur. Altenkirch iyi bir termoelektrik malzemenin karakteristiğini belirlerken Seebeck katsayısı ve elektriksel iletkenliği yüksek, fakat termal iletkenliğin kötü olması gerektiğini ortaya koymuştur. Bu yaklaşımlar termoelektrik yapıların daha iyi açıklanmasına imkan veren figure of merit (Z)

parametresinin tanımlanmasını sağlamıştır. Yarı iletken malzemelerin gelişimleri ile verimleri %5-6 seviyesine çıkan termoelektrik yapıların gelişimi hızla devam etmektedir. Kuantum kuyu biçiminde yapılandırılmış malzemelerle verimler bugün laboratuvar ölçeğinde %20 değerlerine ulaşmıştır.

Termoelektrik materyallerde ısıyı materyalin bir tarafından diğer tarafına iletebilen taşıyıcı yük akışı mevcuttur. Termoelektrik materyaller üzerine ilk uygulamalar sıcaklığa duyarlılığı dolayısıyla ısı çiftleridir. Isıl çiftler iki farklı metalin basitçe bağlanmış şeklidir. İki farklı metalden oluşan kapalı bir devrede birleşme noktaları farklı sıcaklıklarda bulunursa, bu yüzeyler arasında Joule etkisi, Fourier etkisi, Seebeck etkisi, Peltier etkisi ve Thomson etkisi geçerli olur.

Bir materyalin termoelektrik uygulamalar için uygun materyal olabileceğini Z değişkeni belirler. Termoelektrik materyali karakterize eden Z parametresi; termoelektromotor kuvveti sabitine α (Seebeck katsayısına $V/^{\circ}C$), elektroiletkenliğine σ (ölçülebilir nicelik olan elektriksel iletkenliğe yani öziletkenliğine $(1/\Omega) \times cm$) ve ısı iletkenliğine λ (veya $H, W \times cm /^{\circ}C$) bağlıdır (Pişkin, 2006).

$$Z = \frac{\alpha^2 \cdot \sigma}{\lambda} \quad (2.7)$$

Üç parametre (α , σ , ve λ) elektrik yük konsantrasyonu, pozitif kütle m^+ miktarı ve dağılım mekanizmasının bir fonksiyonu olarak termo elementlerin özelliklerini ortaya çıkarmaktadır. Birimler yerine konulduğunda Z parametresinin birimi $1/^{\circ}C$ olarak bulunur. Her sıcaklıkta optimum bir elektrik yük konsantrasyonuna göre, Z max değeri bulunur. Kristal yapıya nötr karışımlar ilave edilerek λ değeri küçültülebilir. Böylece Z değeri büyütülebilir.

2.4 Termoelektrik Etkileri

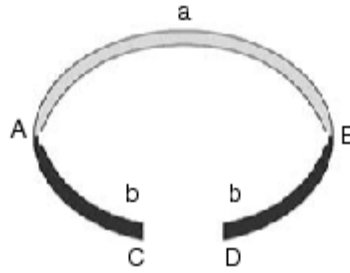
Termoelektrik olay, ısı enerjisinin elektrik enerjisine veya elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşümüdür. Termoelektrik jeneratörler katı haldeki güç kaynaklarıdır ve bu güç kaynaklarında Seebeck etkisinden yararlanılırken, termoelektrik soğutucular ise katı haldeki ısı pompalarıdır ve burada Peltier etkisinden yararlanır.

Uygun malzemeyi seçmek ve termoelektrik jeneratör veya Peltier soğutucusunu

yapmak için öncelikle genel anlamda termoelektrik etkilerin neler olduğunu anlamak gerekmektedir. iki farklı yarıiletken malzemenin kimyasal yöntemlerle birbirine birleştirilmesi ile oluşturulan bir devreden elektrik akımı geçirilmesiyle yarıiletkenler farklı sıcaklıklara sahip olurlar. Farklı sıcaklıklardaki yarıiletkenlerde, aynı anda çeşitli etkiler oluşmaktadır. Bu etkiler mucitlerin isimleri ile anılır. Bunlar Seebeck, Peltier, Thompson, Joule ve Fourier etkileridir. Bunun için aşağıdaki kesimlerde çeşitli termoelektrik etkiler anlatılmaktadır.

2.4.1 Seebeck etkisi

Seebeck etkisi; iki farklı metalin uçları arasında oluşturulan sıcaklık farkının oluşturduğu elektriksel potansiyel fark olarak tanımlanmıştır. Şekil 2.7’de gösterilen a ve b iletkenleri ile termal yönden paralel ve elektriksel yönden seri bir devre oluşturulur.



Şekil 2.7 Basit termik çift devresi.

Oluşturulan bu devre üzerinde A ve B bağlantı noktalarında T1 ve T2 sıcaklık farkları yaratılırsa, C ve D açık uçlarında V0 elektriksel potansiyel farkı meydana gelecektir. Oluşan bu gerilimin değeri;

$$V_0 = \alpha_{ab} (T_1 - T_2) \quad (2.8)$$

şeklinde belirlenir ve bu ifadede;

$$\alpha_{ab} = V_0 / \Delta T \quad (2.9)$$

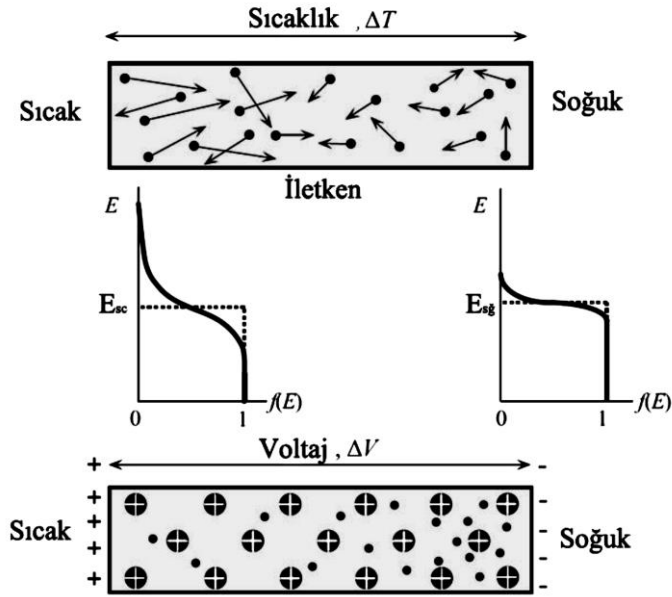
Seebeck katsayısı olarak tanımlanır. Seebeck katsayısı termal emk şeklinde tanımlanabildiği gibi α yerine S şeklinde gösterimleri de bulunmaktadır. Birim olarak V/K veya daha yaygın olarak $\mu\text{V/K}$ olarak ifade edilebilir. Tablo 2.1’de değişik metaller

için Seebeck katsayısının nasıl değiştiği gösterilmektedir. Seebeck katsayılarını gösteren Çizelge 2.1 Platin metali referans alınarak oluşturulmuştur.

Çizelge 2.1 Farklı metaller için seebeck katsayıları.

Metaller	Seebeck Katsayıları ($\mu\text{V} / \text{K}$)	Metaller	Seebeck Katsayıları ($\mu\text{V} / \text{K}$)
Antimon	47	Rodyum	6
Nikrom	25	Alüminyum	3,5
Molibden	10	Karbon	3
Kadmiyum	7,5	Civa	0,6
Tungsten	7,5	Platin	0
Altın	6,5	Sodyum	-2
Gümüş	6,5	Potasyum	-9
Bakır	6,5	Nikel	-15

İletken bir çubuk olarak alüminyum ele alınıp bir ucundan ısıtılırsa Şekil 2.8’de gösterildiği gibi sıcak uçtaki elektronların kinetik enerjileri fazla olduğundan soğuk bölgedekine göre daha hızlı hareket edeceklerdir. Genelde net elektron difüzyonu sıcak taraftan soğuk tarafa olacak ve belirli bir süre sonunda geride pozitif iyonları bırakarak elektronlar soğuk tarafta kümelenecektir. Isı serbest elektronlar sayesinde sıcak bölgeden soğuk bölgeye taşınırken bir yandan da potansiyel fark oluşacaktır.



Şekil 2.8 Alüminyum çubukta sıcaklık değişimi ile oluşan elektron hareketleri.

Şekil 2.8’ de gösterildiği gibi alüminyum bir çubuğun ısıtıldığını diğer ucunun soğutulduğu varsayılırsa sıcak bölgedeki elektronlar daha hareketlidir ve soğuk bölgedeki elektronlara göre daha yüksek hıza sahiptirler. Bu nedenle elektronlar, arkasında pozitif metal iyonları açığa çıkararak sıcak bölgeden soğuk bölgeye doğru hareket ederler ve soğuk bölgede bir negatif yük yoğunluğu oluştururlar. Elektron devinimi sıcak bölgedeki pozitif metal iyonları ve soğuk bölgedeki artık elektronlar arasında bir elektrik alan oluşturur. Oluşan elektrik alan yeterli büyüklüğe ulaşınca elektron devinimini engeller. Böylece sıcak bölge ile soğuk bölge arasında bir potansiyel fark oluşur. ΔT sıcaklık farkına bağlı olarak metalin bir kısmında meydana gelen ΔV potansiyel farkına Seebeck etkisi denir. Bu etkinin büyüklüğünü ölçmek için her birim sıcaklık değişiminde oluşan potansiyel farka göre belirlenen özel bir sabit tanımlanarak,

$$S = \frac{dV}{dT} \quad (2.10)$$

bağıntısı elde edilir (Atiya , 2001).

Burada S ’nin işaretini sıcak bölgeye göre soğuk bölgenin potansiyel durumu belirler. Elektronlar sıcak bölgeden soğuk bölgeye difüze olursa soğuk bölge sıcak bölgeye göre negatif olacaktır. Böylece Seebeck katsayısı negatif olacaktır. Diğer

tarafından p tipi bir yarıiletkende boşluklar sıcak bölgeden soğuk bölgeye difüze olabilir. Bu durum S' yi pozitif bir nicelik yapacaktır.

Seebeck katsayısı S, genellikle α ile gösterilir. Bu katsayıya Seebeck adının verilmesinin sebebi (1821), yılında Thomas Johann Seebeck tarafından bulunmasıdır. Seebeck iki farklı metal kullanarak oluşturduğu elektrik devresinde, bu metallerin farklı sıcaklıklarda olması durumunda elektrik akımı ürettiğini gözlemlemiştir. Seebeck önce farklı sıcaklıklardaki metallerin manyetik alan oluşturduğuna ve bu manyetik alanında bir akım ortaya çıkardığına inanmıştır. Ancak indükleme ile oluşan elektrik akımının magnetler tarafından Amper yasasına uygun bir şekilde oluşturulduğu düşünüldüğünde, sıcaklık farkı ile manyetik alan arasında Amper yasasına uygun bir bağlantı olmadığı açıktır. Daha sonra metaller arasındaki sıcaklık farkının bu metaller arasında bir elektriksel gerilim farkı oluşturduğu ve bu elektriksel gerilim farkının da devrede akım oluşturduğu anlaşılmıştır.

Seebeck Şekil 2.9'daki gibi bir metalin iki ucuna farklı bir metalin parçalarını tutturarak birleşme noktalarından birinin sıcaklığını başlangıç noktasında tutarken diğer birleşme noktasının sıcaklığını arttırmıştır. Seebeck, açık devre gerilimini ölçülmüş ısı çiftte sıcaklıkla yaklaşık doğru orantılı bir potansiyel farkının oluştuğunu tespit etmiştir. Birim sıcaklık artışına bağlı olan potansiyel fark oluşumunu α katsayısı ile tanımlamıştır.

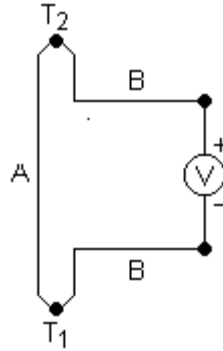
$$\alpha_{AB} = \frac{dV}{dT} \quad (2.11)$$

Bu ifadede ΔT iki nokta arası sıcaklık farkı yani $\Delta T = T_2 - T_1$ değerine eşittir. α_{AB} ise bağlı Seebeck katsayısıdır. Yani iki metalin Seebeck katsayıları farklıdır. Oluşum mekanizması ise, Şekil 3.3'de görülmektedir.

$$\alpha = \alpha_A - \alpha_B \quad (2.12)$$

Seebeck etkisi, sıcaklık ölçmek için kullanılan ısı çiftlerin yani termociftlerin ve termoelektrik güç jeneratörlerinin temelini oluşturur. Seebeck katsayısının büyüklüğü ve işareti bir termoelektrik düzeneğindeki tüm eklem bölgelerinin sıcaklık farklarına, kullanılan iletkenlerin ve yarıiletkenlerin türüne, yarıiletkenlerin yaptığı bileşiklerine ve

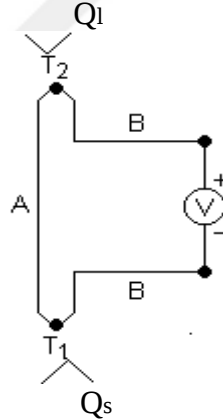
saflık derecesine bağlıdır (Tugay , 2010).



Şekil 2.9 Seebeck etkisinin görüldüğü ısı çift.

2.4.2 Peltier etkisi

A ve B metallerinin iki ayrı uçtan Şekil 2.10'daki gibi birbirine tutturulması ile oluşturulmuş kapalı devreden geçen I akımı, devredeki eklem uçlarından birim zamanda bir miktar ısı soğutulmasına ya da açığa çıkmasına neden olur.



Şekil 2.10 Peltier etkisinin görüldüğü ısı çift.

Eğer Şekil 2.10'daki gibi termoçift devresinden bir akım geçerse, bir eklem noktasından ötekine ısı transferi sağlayacak şekilde bir ucun sıcaklığı düşerken ötekisinin sıcaklığı yükselir. V gerilimi uygulanırsa devreden I akımı geçmeye başlar. Bu akımın akışı sonucunda, soğutma etkisi Q_s ısının soğrulduğu ısı çift bağlantısı T_1 ' de oluşur ve ısıtma etkisi ise Q_1 ısının dışarıya atıldığı bağlantı T_2 ' de oluşur. Bu etki tersinirdir. Yani elektrik akım yönü değiştirildiğinde ısı akışının yönü de değişecektir.

Karşılıklı olarak soğurulan, açığa çıkarılan bu ısı enerjisine Peltier ısısı, bu etkiye de Peltier etkisi denir (Erel ve Kuçuk , 2001).

Birim zamanda üretilen Peltier ısısı devreden geçen I akımı ile doğru orantılıdır ve aşağıdaki formülle ifade edilir.

$$Q_p = \pi_{XY} \cdot I \quad (2.13)$$

Bu ifadede, Q_p peltier ısı gücünü $P(W)$, π_{XY} X ve Y metallerinin bağıl peltier katsayısını (V), I ise devreden geçen akımı göstermektedir (A). Ayrıca π_{XY} ifadesi iki metalin Peltier katsayıları farkıdır.

$$\pi_{XY} = \pi_X - \pi_Y \quad (2.14)$$

İletken malzemenin bir parçasında Seebeck etkisi oluşurken, Peltier etkisi iki farklı iletken iki eklem ile tutturulursa oluşur; çünkü iki malzemenin fermi seviyeleri arasında fark oluşur. Peltier etkisinin görülmesi için elektronik yük taşıyıcılarının farklı Fermi seviyelerinde dolaşarak, hem enerji boşalması hem de ilerlediği termoelektrik malzemenin örgü enerjisinden yararlanarak kaybettiği enerjiyi geri alması olayı gerçekleşmelidir. Ancak bu şekilde ısı enerjisi bir noktadan diğer bir noktaya elektronik yük taşıyıcıları ile taşınabilir. Bu olay aynen Seebeck etkisindeki gibi ısınan eklemden soğuyan ekle elektron akışını engelleyecek bir elektrik alan oluşana kadar devam eder.

Fransız fizikçi Jean Charles Athanasa Peltier tarafından 1834 yılında bulunan Peltier etki, Seebeck etkisinin tam tersi olan bir etkidir. Farklı metallerden oluşturulan bir elektrik devresinde bu metaller farklı gerilimlerde iseler biri sıcak diğeri soğuk olacaktır. Lenz 1838’de bu olayın akımın yönüne bağlı olduğunu gösterdi. Bu durum, yarıiletken içinde ısıyı taşıyacak olan parçacıkların dışarıdan uygulanan sıcaklıktan etkilenerak yer değiştirmeleri yerine dışarıdan yarıiletken uçlarına uygulanan gerilim farkı ile ısı taşıyıcı parçacıkların yer değiştirmesi sağlanır. Böylece ısı yarıiletkenin bir ucundan diğer ucuna aktarılmış olur. Bu ısı aktarımının hızı kullanılan malzemelerin özelliklerine bağlıdır. Yani p ve n tipli yarı iletkenlerin seri olarak birleştirilmesi ve bu devreden doğru akım geçtiğinde, yarıiletkenin bir ucundan ısı düşerken, diğer ucundan ısı yükselir. Açığa çıkan ısı miktarı, devreden geçirilen doğru akımla orantılı olup, aşağıda verilen denklem ile hesaplanır:

$$Q_p = \Pi \cdot I \quad (2.15)$$

burada;

Q_p : Birim zamanda transfer edilen ısı miktarı (Watt),

I : Devre üzerinden geçen doğru akım (Amper),

Π : Peltier sabiti (Volt)

olarak yazılır. Yukarıdaki denklem,

$$Q_p = \alpha \cdot T \cdot I \quad (2.16)$$

şeklinde de yazılabilir. Burada $\Pi = \alpha \cdot T$ olup,

α : Seebeck katsayısı (Volt/°C)

T : Sıcaklık (Kelvin)

şeklindedir.

Termoelektrik soğutucuda, ısıyı transfer edebilmek için elektronların enerji seviyelerindeki değişiminden yararlanılır. Bu ısı transferi, sistemin bir ısı pompası gibi davrandığını göstermektedir. Elektronlar, farklı iki yarıiletken malzemenin birleşme noktasından birinden diğerine geçerken, yarıiletkenlerin bir tarafları ısı enerjisini soğurucu diğer tarafında ise ısı enerjisini yayıcı bir şekilde davranmaktadır. Akım, düşük enerji seviyesine sahip p-tipi yarıiletkendeki yüksek enerji seviyesine sahip n-tipi yarı iletkenine doğru akarken, akım taşıyıcısı elektronlar soğuk yüzeyden aldıkları ısı enerjisini sıcak yüzeyde terk etmektedir. Yarıiletkenlere dışarıdan verilen elektriksel güç ile elektronların sistem içinde yani yarıiletkenler arasında hareket etmeleri için gerekli enerji sağlanmış olur. Böylece ısı taşımaktadır.

Peltier etkisi yeni nesil termoelektrik soğutma sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Peltier katsayısının büyüklüğü ve işareti bir termoelektrik düzeneğindeki tüm eklem bölgelerinin sıcaklık farklarına ve kullanılan iletkenlerin ve yarıiletkenlerin türüne yaptığı bileşiklerine ve saflık derecelerine bağlıdır.

2.4.3 Thomson etkisi

Bir sıcaklık gradyenti olan akım, telin içinde bir taraftan öbür tarafa geçerken, sıcaklık, orijinal sıcaklık dağılımını devam ettirmek için çevre ile birlikte değişmek zorundadır. Akım taşıyan bir iletkenin herhangi iki noktası arasında bir sıcaklık farkı varsa, akım yönüne göre iletkende Joule ısısına ek olarak Thomson ısısı açığa çıkmaktadır. Thomson ısısının matematiksel ifadesi Eşitlik (2.17)' deki gibidir (Pişkin , 2006).

$$Q_T = I \times \tau \cdot \Delta T \quad (2.17)$$

Burada Q_T birim zamanda ortaya çıkan Thomson ısısı, τ Thomson katsayısı ve ΔT iletkenin uç noktaları arası sıcaklık farkıdır.

William Thomson iki farklı iletkenle kurulmuş bir devrede her iletken için, birim alandaki ısı akısı değişiminin, birim alan sıcaklığı, iletkenlerden geçen akım ve Thomson katsayısı ile ilişkili olduğunu bulmuştur.

$$\frac{dQ}{ds} = \tau_{XY} \cdot I \cdot \frac{dT}{ds} \quad (2.18)$$

(2.18) eşitliğinin integralini alarak (2.17) eşitliği bulunur. William Thomson tarafından ortaya atılan bu hipotez daha sonra 1876 yılında Leru tarafından kanıtlanmıştır. Leru ve Thomson bu yayınımlarını 'iletkenin sıcaklık gradyenini ortadan kaldırma isteği' olarak tanımlamıştır. Isı hem elektrik akımına hem de sıcaklık gradyentine bağlıdır.

2.4.4 Kelvin ilişkileri

Yukarıda verilen üç büyüklük Kelvin eşitlikleri ile aşağıda verildiği gibi ilişkilendirilebilir:

$$\alpha_{ab} = \frac{dT}{dx} \quad (2.19)$$

$$\frac{d\alpha_{ab}}{dT} = \frac{\beta_a - \beta_b}{T} \quad (2.20)$$

Bu kurallar, termodinamiğin tersinmezlik formüllerinden türetilen bu ilişkiler birçok

materyal üzerinde test edilmiş ve doğrulanmıştır.

2.5 Termoelektrik Dönüştürücü Malzemeleri, Enerji ve Isı Prosesleri

Enerji ve ısıtma proseslerinde kullanılan termoelektrik malzemeler, soğutma proseslerinde de çalışma düzeneği Peltier yöntemi üzerine kurulmuştur. Seebeck ve Thompson termoelektrik soğutma yöntemleriyle benzerlik göstererek, elektrik ve ısı enerjisinin dönüşümü üzerine durmuştur,

$$Q_{\pi} = \pi \cdot I \cdot t \quad (2.21)$$

Burada Q_{π} : Peltier ısısını (Volt) ifade etmektedir. Peltier ısısı (Q_{π}), geçen akım miktarı ve zaman ile doğru orantılıdır. Thompson yönteminde ise,

$$Q_T = \tau I (dT/dx) \quad (2.22)$$

olup, dT/dx sıcaklık gradientini, τ ise thompson katsayısını ifade etmektedir.

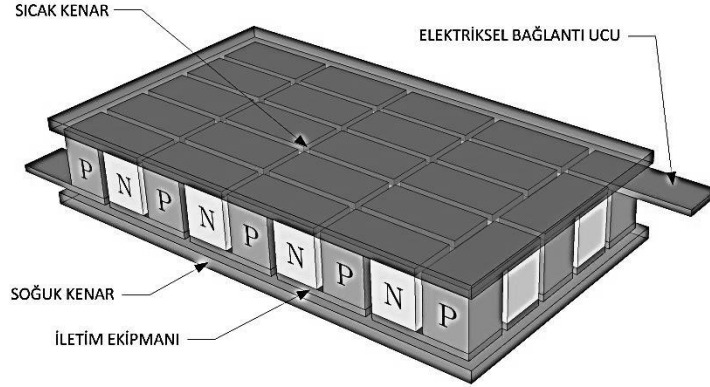
İletken malzemenin Thompson ısısı Q_T , T sabiti elektrik akımının yönü ve sıcaklık gradienti ile doğru orantılıdır. Yukarıda sözü edilen üç termoelektrik yöntem (Seebeck, Peltier, Thompson) birbirine bağlı oldukları termodinamik kanunlarla da desteklenmektedir. Termoelektrik prosesleri genellikle geri döngülü olarak ortaya çıkar. Bazen ise ısı ileten ve ısı açığa çıkaran geri döngüsüz prosesler de oluşmaktadır. Son zamanlarda Peltier yöntemine göre, iletken metallerin yarıiletken n ve p tipi metallerin teması ile oluşan termoelektrik soğutmalı düzenekler kullanılmaktadır.

2.6 Termoelementlerde Oluşan Enerji Prosesleri

Elektrik enerjisinin soğutma enerjisine dönüşümünü sağlayan termoelementler n ve p iki yarıiletken plakadan oluşmaktadır.

N ve p tipi yarıiletken plakaların iki ucu birleştirici iletken metal plakalarla bağlanarak termoelement oluşturulur. Bu termoelemente elektrik akımı verildiğinde (Şekil 2.11), birinci iletken plakadan çıkan elektronlar n tipi yarıiletken plakasına geçer, pozitif akım ise p tipi yarıiletken plakasına yönelir. Bunun sonucunda 1. iletken plaka soğur. Ters yönde bulunan 2. iletken plaka ise gelen elektron ve pozitif akımdan dolayı

ısınır. Isınan 2. iletken plakanın sıcaklığı ortam sıcaklığına yakın, soğutulan 1.metal plakanın sıcaklığı ise oldukça düşük değerlere ulaşmaktadır. Termoelementlerin sıcaklık düşüşü, termoelektrik verim (Z) sabitine bağlı olarak değişmektedir. Kullanılan yarıiletken plakaların elektrik iletkenliği farklılık gösterir.

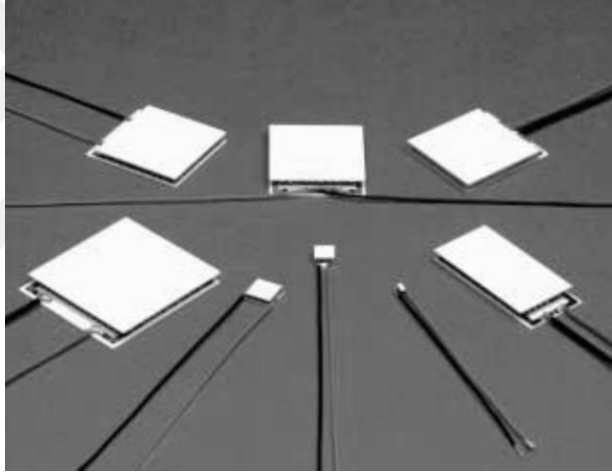


Şekil 2.11 Termoelementi oluşturan kısımlar .

Sonuçta elektrik akımı ile iki iletken plakada oluşan sıcaklık değişimi Thompson kuralını oluşturur. Her iki elektrik akım taşıyıcıları soğuk uçtan sıcak uca doğru hareket ederek (Thompson) ısı bu plakalar tarafından tutulmaktadır. Termoelementlerin çalışmasında Peltier, Seebeck ve Thompson'ın termoelektrik kuralları yer almaktadır. Termoelektrik elementlerde geri dönüşümsüz proseslerin oluşumu, plakalardan ısı açığa çıkması ve ısının yönlenip ayrışması sıcaklığın gradyentine bağlıdır. Bu kurallar termoelektrik plakalardaki sıcaklık dağılımını, soğutma kabiliyetini ve diğer özelliklerini belirlemektedir.

3. TERMOELEKTRİK MODÜLLERİN ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARI

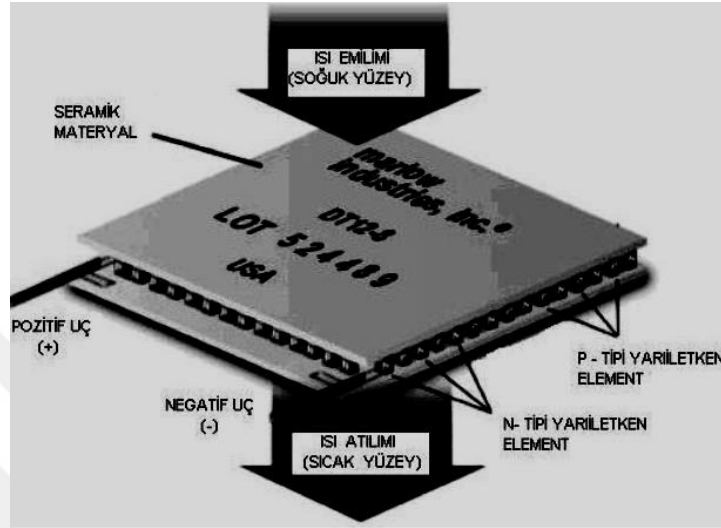
Termoelektrik modüller; TE soğutucu, TE jeneratör veya Peltier diye adlandırılabilir. TE soğutucular, küçük bir ısı pompası gibi çalışan yarıiletkenlerdir. Bir doğru akım kaynağından sağlanan küçük bir voltaj sayesinde, ısı modülü bir ucundan diğerine doğru hareket eder. Böylece modülün bir yüzü ısınırken, diğeri de eş zamanlı olarak soğumaya başlar. Bu olay, doğru akım kaynağının artı ve eksi kutuplarının yer değiştirmesiyle tersine çevrilebilir. Bir termoelektrik modülü, kullanım amacına göre ısıtıcı veya soğutucu olarak kullanılabilir, peltier modüller çeşitli şekillerde ve ölçülerde Şekil 3.1'deki gibi imal edilmektedirler. Çoğu termoelektrik soğutucu modül, yüzey alanı başına 3-6 W/cm²'lik bir pompalama yapabilir.



Şekil 3.1 Termoelektrik modül şekilleri.

Modülün soğuk kısmı maksimum sıcaklık farkına ulaştığında, ısı pompalanması kesilir ve ısı pompası özelliğini kaybeder (verim sıfıra düşer). Bu yüzden -5 °C ile -15 °C arasında kullanımı en verimli olur. Sıcaklık bu noktada en yüksek değeri ΔT 'ye ulaşır. Bu noktada termoelektrik soğutucular, en yüksek ısı pompalama kapasitelerine ulaşırlar. Termoelektrik soğutucular, evlerde kullanılan buzdolaplarıyla aynı termodinamik yasalara göre çalışır, ama bazı farklılıklar taşır. Buzdolabında kullanılan dondurucu gazın yerini, bir yarıiletken alır. Yoğuşturucu da bir ısı transfer elemanı ile yer değiştirir. Ayrıca kompresörün yerini de doğru akım kaynağı alır Termoelektrik modüle doğru akım kaynağının bağlanması, Şekil 3.2'de gösterilmiştir, elektronların

yarıiletken nesneden geçmesini sağlar. Maddenin soğuk tarafında, elektron hareketi sayesinde ısı soğurulur ve sıcak uca gönderilir. Sıcak olan uca ısı transfer elemanı bağlandığı için, ısı, ısı transfer elemanından çevreye verilir (Çakır , 2006).



Şekil 3.2 Termoelektrik modül kesit görünüşü (Çakır , 2006).

3.1 Termoelektrik Modülün Uygulamaları

Endüstriyel alanlarda, termoelektrik modül kullanan bir çok ölçüm aracı mevcuttur. Ölçüm amaçlı laboratuvar araç ve gereçleri,

- Çiğ noktası termometresi
- Donma noktası termometresi
- Siyah gövdelerde radyasyon standardı için
- Fototüp (fotoçoğaltıcı) gövdesi
- Yakıtların nemini alan ünite

olarak ifade edilebilir. Bu ölçüm aletleri dışında soğutma ve termogeneratör özellikleri mevcuttur.

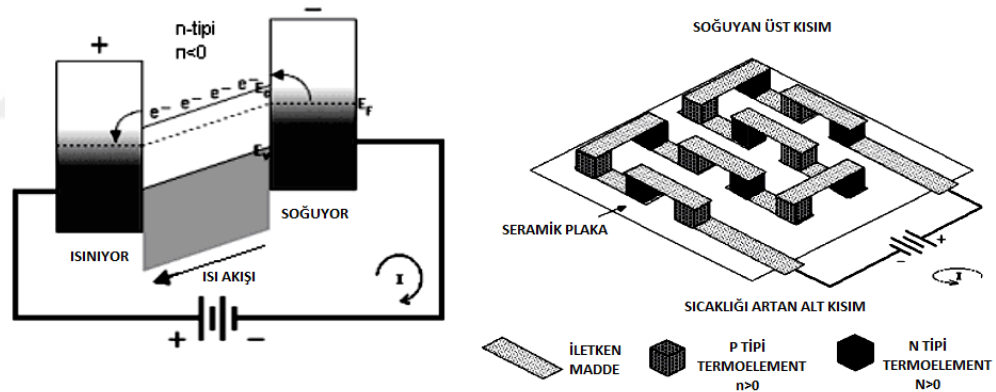
3.1.1 Soğutucular

Günümüzde hayatın her alanında ihtiyaç duyulan ve kullanılmakta olan

soğutucular temelde bir çevrime göre çalışırlar. Bir soğutma çevriminde kullanılan akışkana soğutucu akışkan denir. En yaygın kullanılan soğutma çevrimi buhar sıkıştırma soğutma çevrimidir ve ana olarak dört elemandan oluşur; kompresör, yoğusturucu, kısılma vanası ve buharlaştırıcıdır.

Evlerde kullanılan buzdolaplarında, soğutucu akışkana ısı geçişinin olduğu dondurucu bölümü buharlaştırıcı görevini görür, buzdolabının arkasındaki borular ise akışkanın mutfaktaki havaya ısı verdiği yoğusturucudur.

Bunların dışında, özellikle son yıllarda hızlı gelişim gözlenen termoelektrik soğutucular da mevcuttur. Bu tip soğutucular Peltier etkisi esasında çalışırlar. Bu soğutma yönteminde soğutucu akışkan işlevini elektronlar görmektedir ve sistemde pompa, kompresör, yoğusturucu vb. elemanlar yer almamaktadır. Termoelektrik soğutucular n- (fazla elektronu olan) ve p (eksik elektronu olan) tip yarıiletken malzemelerin bir modülde seri olarak bağlanmalarından oluşurlar (Yılmaz , 2008).



Şekil 3.3 Termomodülün yapısı ve genel görünüşü (Yılmaz , 2008).

Termoelektrik soğutucuların ısı verimlilikleri düşüktür ve oldukça pahalıdırlar. Bu nedenle güvenlik ve rahatın ön planda tutulduğu ortamlarda kullanılırlar. Verimlerinin artırılması daha iyi özelliklere sahip yarıiletken malzemelerin üretilmesine bağlıdır.

3.1.2 Termogeneratörler

Termogeneratörlerin çalışma prensibi ısı makinelerinin çalışma prensibine

benzemektedir yalnız burada akışkanın yerini elektronlar almaktadır. Prensibin temeli ise Seebeck etkisine dayanır. Farklı metallere yapılmış iki tel alınıp uçlarından birleştirilirse kapalı bir devre oluşur. Başlangıçta devrede elektrik akımı gözlenmez ancak uçlardan biri ısıtıldığı zaman devrede elektrik akımı oluşur. Bu duruma 1821 yılında ilk kez gözlemlendiğinden dolayı Thomas Seebeck'in ismi verilmiş ve Seebeck etkisi denmiştir.

Bu birime sıcaklık farkı uygulandığında gerilim potansiyeli oluşur. İletkenin uçtaki soğuk kısmında bulunan elektronlar sıcak uçtakilerden daha az ısı enerjisiye sahip olacaklardır. Bu soğuk uçtaki net elektron kütlesi soğuk ucu negatif yükleyerek iletken boyunca potansiyel farkı oluşturur. Her 1°C lik sıcaklık farkı için yaklaşık olarak 1µV gerilim meydana gelir. Termojeneratörlerin normal jeneratörlere göre verimleri oldukça düşüktür. Bunların verimliliklerinin artırılması daha iyi yarıiletken malzemelerin üretilmesine bağlıdır (Pişkin , 2006).

3.2 Termoelektrik Modülün Avantajları

Termoelektrik modülün sağladığı avantajları maddeler halinde sıralayacak olursak;

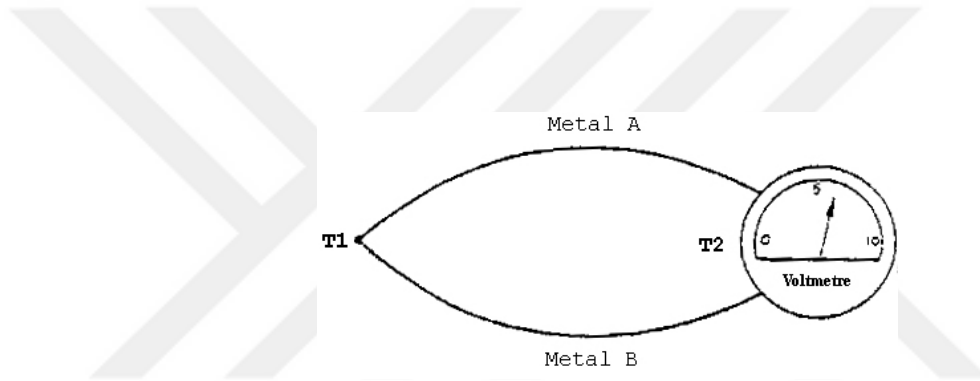
- Boyutu küçük ve ağırlığı azdır,
- Yarıiletken olmasından dolayı güvenlidir,
- Hareketli parçası olmadığından sessiz çalışırlar,
- Ortalama ömürleri 200.000 saatten fazladır,
- Sıcaklık kontrolünü etkin bir şekilde yapabilmektedir,
- Elektriksel gürültüleri minimumdur,
- D.C. gerilim ile çalışırlar,
- Isıtma ve soğutma işlemi sadece akım yönü değiştirilerek seçilebilir,
- Çevreye zararlı etkileri yoktur.

Termoelektrik soğutucular optoelektronik ve otomobillerde yeni kullanım alanları bulmaktadır. Termoelektrik jeneratörler ile otomobillerde motor içinde açığa çıkan ısı elektrik akımı olarak kullanılabilir. Yeni uygulama alanları ise yeni termoelektrik malzemelerin üretimine bağlıdır. Son zamanlarda nanometre boyutunda

yeni bileşikler ve mühendislik yapıları başarılı bir şekilde oluşturulmuştur.

3.3 Termoelektrik Generatörler ve Soğutucular

Termoelektrik yapıların basit bir uygulaması olarak sıcaklık ölçümünde kullanılan termal çift örnek olarak gösterilebilir (Şekil 3.4). İki farklı metalin birleşmesinden oluşan bu yapının bir ısı kaynağına dokundurulması sonucunda sıcaklık farkı ve daha önce değinilmiş olan Seebeck etkisine bağlı olarak milivoltlar seviyesinde gerilim üretilcektir. Üretilen bu gerilim termometre cihazına yansıtılıp kaynağın sıcaklık bilgisi sayısal olarak gösterilecektir. Bu uygulamada termoelektrik yapı bir sensör görevi görmüş ve analog verilerin dış ortamdan alınmasını sağlamıştır.

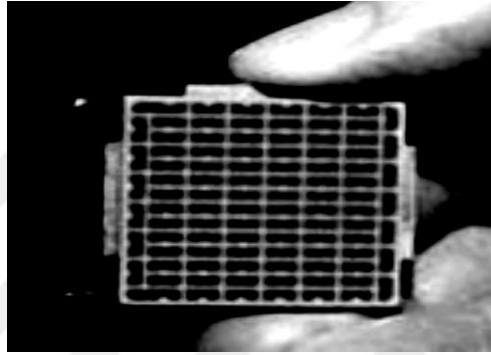


Şekil 3.4 Temel Termal çift devresi.

Tez kapsamında incelenecek olan termoelektrik malzemeler n ve p tipi yarı iletken yapılardan oluşmaktadır. Bu yapılar birbirlerine termal olarak paralel elektriksel olarak seri bağlanarak oluşturulmuşlardır. Jeneratör olarak çalışan termoelektrik modüllerin tasarımları yapılırken; elektriksel olarak seri bağlama ile sıcaklık farkından yarı iletken yapılar üzerinde üretilen düşük gerilim seviyelerinin yükseltilmesi sağlanmaktadır. Yine aynı prensipten soğutucu olarak çalışan termoelektrik modüllerin girişlerine yüksek gerilim uygulanması sonucu düşük akımlarda çalıştırılması sağlanır.

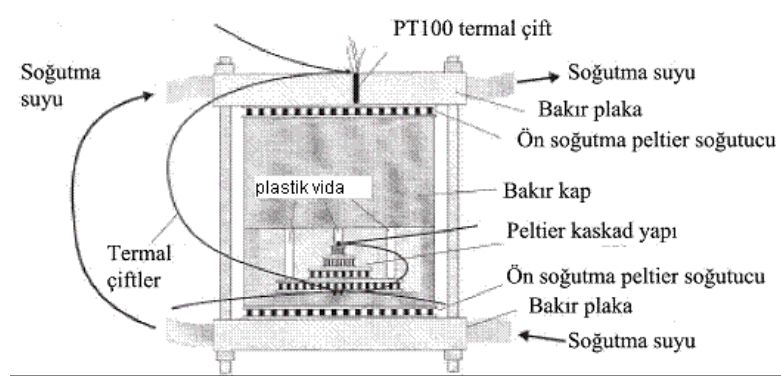
Termoelektrik modüller daha önce bahsedilen Seebeck ve Peltier temel prensiplerine göre jeneratör veya soğutucu olarak dizayn edilirler. Termoelektrik yapılar teoride tersinir çalışıyor olmalarına karşın pratikte seçilen yarı iletken malzemenin cinsi talep edilene göre değişiklik göstermektedir. Bu konuda Peltier elemanını yani bir termoelektrik soğutucuyu jeneratör olarak kullanmak her koşul için istenilen

performansı vermese de bu çeşit bir çalışma mümkündür. Jeneratör olarak dizayn edilen termoelektrik yapıların uzay ve havacılıkta güç üretimi, araçlarda atık ısı geri kazanımları ve daha birçok alanda uygulaması bulunmaktadır. Termoelektrik jeneratörlerin malzemeleri genelde yüksek sıcaklıkta çalışmaları için dizayn edilmiştir. Bu nedenle, literatürde yayınlanan makalelerin büyük bir çoğunluğu 300 K ile 1300 K arasında çalışan jeneratörlerin incelenmesine ayrılmıştır. Kriyojenik ortamı ısı kaynağı olarak kullanan jeneratörlerin karakteristikleri hakkında yapılan çalışmalar ise çok sınırlıdır. Şekil 3.5’ de ticari olarak piyasada bulunan bir termoelektrik jeneratör modülü görülmektedir.



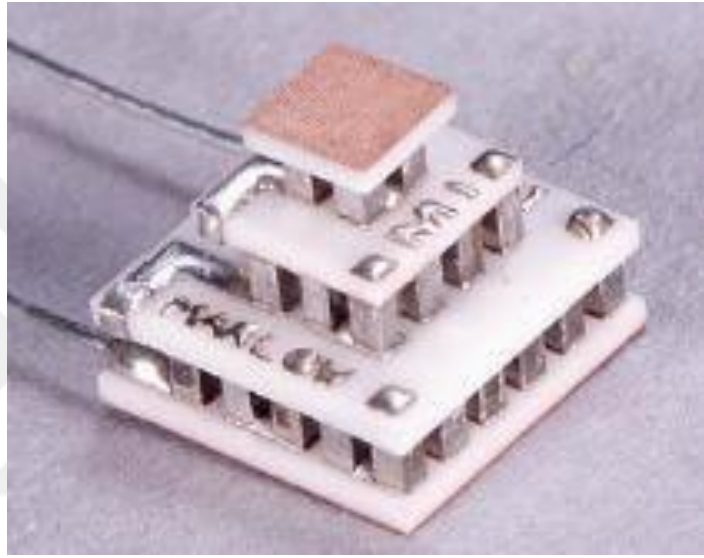
Şekil 3.5 Hi-Z Termoelektrik jeneratör.

Soğutucu olarak kullanılan termoelektrik modüller ısı pompası olarak da düşünülebilir. Termoelektrik soğutucuları mikroçipin soğutulma prosesinde kullanılırsa; mikroçipin yüzeyinden termoelektrik soğutucular ile ısı dış ortama pompalanır. Bu modüllerin kaskad bağlı bir şekilde dizayn edilmesi durumunda çok düşük sıcaklıklar elde edilebilmektedir.



Şekil 3.6 Beş peltier elemandan oluşan test düzeneği.

Beş Peltier elemanı kaskad bağlanarak Peltier elemanı üzerine yapılan bir çalışmada sıcak yüzey 286 K’de sabit tutulduğunda soğuk yüzeyin 158 K olması sağlanmış ve toplamda 128 K’lık bir sıcaklık düşüşü sağlanmıştır. Bu çalışma için kurulan deney düzeneği Şekil 3.6’da görülmektedir. Şekil 3.7’de ise piyasada kaskad bağlı Peltier soğutucu olarak bulunabilen bir termoelektrik soğutucu modülü gösterilmiştir.

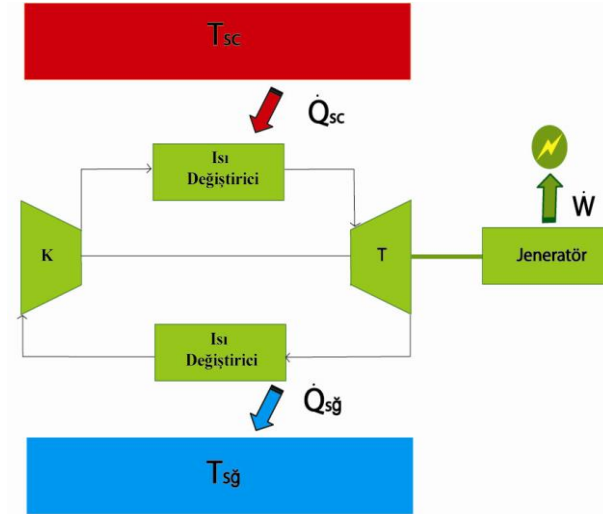


Şekil 3.7 Ticari olarak satılan kaskad bağlı bir Peltier soğutucu.

3.3.1 Temel çalışma prensipleri

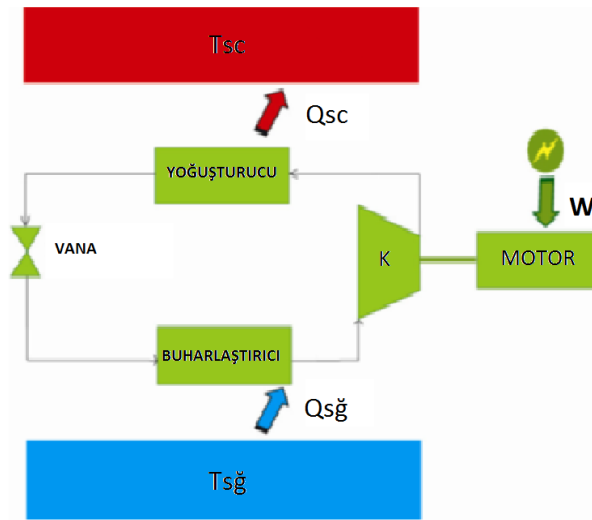
Termoelektrik yapılar, termoelektrik jeneratörler ve soğutucular olmak üzere iki başlık altında incelenebilir. Termoelektrik jeneratörler ısı enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren yapılardır. Şekil 3.8’de konvansiyonel bir güç sisteminde elektriğin üretimi ile termoelektrik jeneratörlerden elektriğin üretimi karşılaştırılmaktadır.

Termoelektrik soğutucular ise ısıнын soğuk bölgeden sıcak bölgeye elektrik enerjisini kullanarak taşınmasını sağlayan ısı pompalarıdır. Şekil 3.9’da konvansiyonel soğutma çevrimi ile termoelektrik soğutma çevrimi gösterilmektedir.



Şekil 3.8 Konvansiyonel güç çevrimi.

Buna ek olarak termoelektrik soğutucular için soğuk bölgeden sıcak bölgeye ısı transferinin gerçekleşmesi için dışarıdan bir iş uygulaması gerekliliği önemlidir. Bilgisayar mikroçiplerinde ısı pompası olarak görev yapan termoelektrik soğutucular DC gerilim uygulanarak sistemde biriken ısıyı dışarı pompalanmasında görev alırlar.



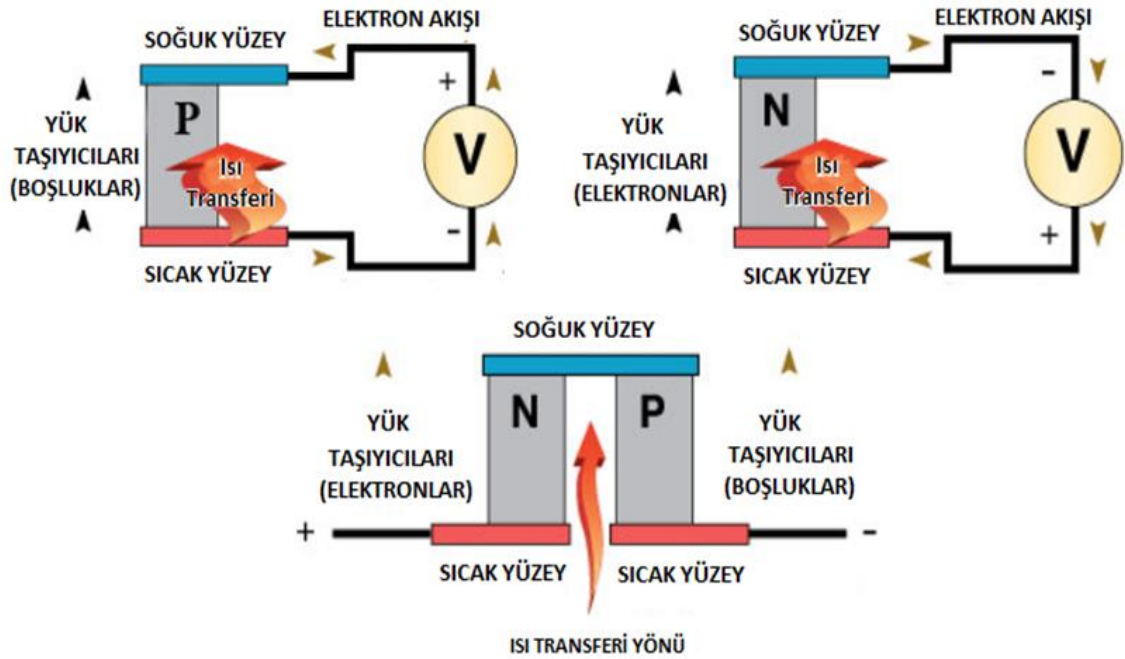
Şekil 3.9 Konvansiyonel soğutma çevrimi.

Termoelektrik jeneratörlerde ve soğutucularda yarı iletken malzemeler kullanılmakta ve kullanılan n ve p tipi yarı iletkenlerin ısı transferinde gösterdikleri tepkiler değişiklik göstermektedir.

N tipi yarı iletkenlerde ısı serbest olan elektronlar ile taşınırken p tipi yarı iletkenlerde boşluklar ile taşınır. n ve p tipi bu iki yarı iletkenin birbirlerine iletken bir malzeme ile bağlanması ile tek bir hücre oluşturulmuş olur. Bu hücrelerin birleştirilmesi ile termoelektrik modül oluşturulur.

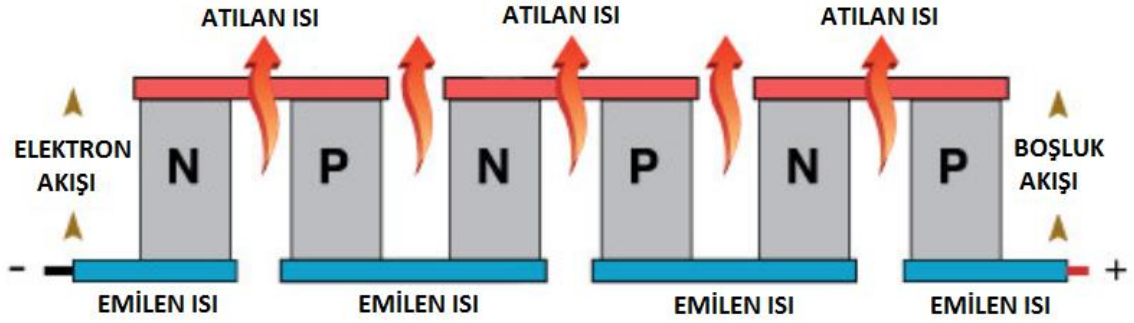
Seebeck termoelektrik etkisine göre çalışan termoelektrik jeneratörlerin yarı iletken malzemelerin gelişimlerine paralel olarak birim üretim maliyetleri, birim alanda ürettikleri güç değerleri, çalışma sıcaklık aralıkları, ekonomik ömürleri ve verimleri şekillenmektedir. Şekil 3.10'da bir termoelektrik modülün bileşenleri gösterilmektedir.

Yarı iletkenler bağlandıktan sonra ısı kaçakları azaltmak ve bağlantılarda elektriksel kısa devreleri önlemek için modüller ısı iletkenliği yüksek fakat elektriksel iletkenliği düşük yapılarla kaplanırlar. Kaplama işleminde en yaygın malzeme seramik olsa bile seramik malzemenin kalınlığı da sistemin verimini etkileyen parametrelerden biridir.



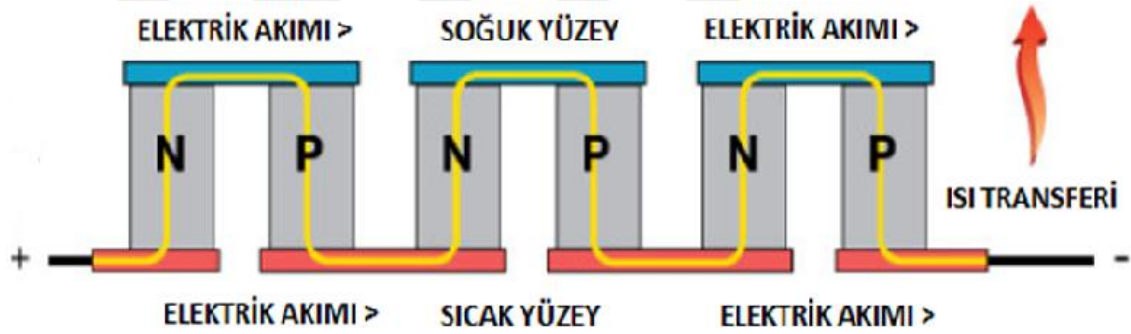
Şekil 3.10 Bir termoelektrik jeneratör modülünün bileşenleri.

Şekil 3.11'de termoelektrik modüllerin soğutucu olarak çalıştırılma prensipleri gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Termoelektrik soğutucu.

Şekil 3.11 'de gösterilen termoelektrik soğutucu, teorik olarak Peltier termoelektrik etkisine göre çalışan, termoelektrik modülün elektriksel uçlarına DC gerilim uygulayarak iletkenlerin ara yüzeylerinin birinde ısının emilmesi diğerinde ısı atılmasını sağlayan, ısı pompası olarak da düşünülebilecek yapılardır.



Şekil 3.12 Termoelektrik generatör.

Şekil 3.12'de gösterilen termoelektrik jeneratör, teorik olarak Seebeck termoelektrik etkisine göre çalışan, sıcak ve soğuk yüzeylerde sıcaklık farkından yararlanarak DC gerilim üreten yapılardır.

3.4 Termoelektrik Soğutucular

Günümüzde, sağlam, güvenilir, kompakt, ufak boyutlu, hafif, uzun ömürlü, düşük maliyete imal edilen, düşük enerjili ve bakım gerektirmeyen soğutuculara ihtiyaç duyulmaktadır. Yaygın olarak kullanılan mevcut kompresörlü soğutma sistemleri mekanik olarak hareket edebilen parçalara sahip olduğundan ve büyük oldukları için çok da ideal özelliklere sahip değildirler. Teknolojinin hızla geliştiği bir zamanda,

soğutma ihtiyacının sadece konfor ve gıdaların korunması ve muhafazası amaçlı sınırlı kalmaması gerekmektedir. Yeni üretilmiş elektronik cihazların kendi içinde ürettiği ve dışına yaydığı ısının bertaraf edilmesinin ve ısı rahatlık sınırlarının üstünde olan özel şartların istendiği soğutma gereksinimleri, buhar sıkıştırırmalı konvansiyonel soğutma sistemlerinin dışında alternatif soğutma cihazlarına yönelmeyi ortaya çıkarmıştır. Termoelektrik soğutucular, askeri, elektronik gibi alanlardan bireysel özel soğutma ihtiyacına kadar bir çok uygulama alanında kullanılabilen ısı pompası özelliğine sahip olan cihazlardır.

Hızla gelişen elektronik ve bilgisayar teknolojisinde, elektronik elemanların hassas biçimde çalışabilecekleri sıcaklık aralıkları bellidir. Elektronik aygıtların soğutulması günümüzde üzerinde çalışılan önemli konulardandır. Termoelektrik soğutma sistemlerinin tasarımı, uygulamaları ile ilgili konularda son yıllarda araştırmalar artmaktadır.

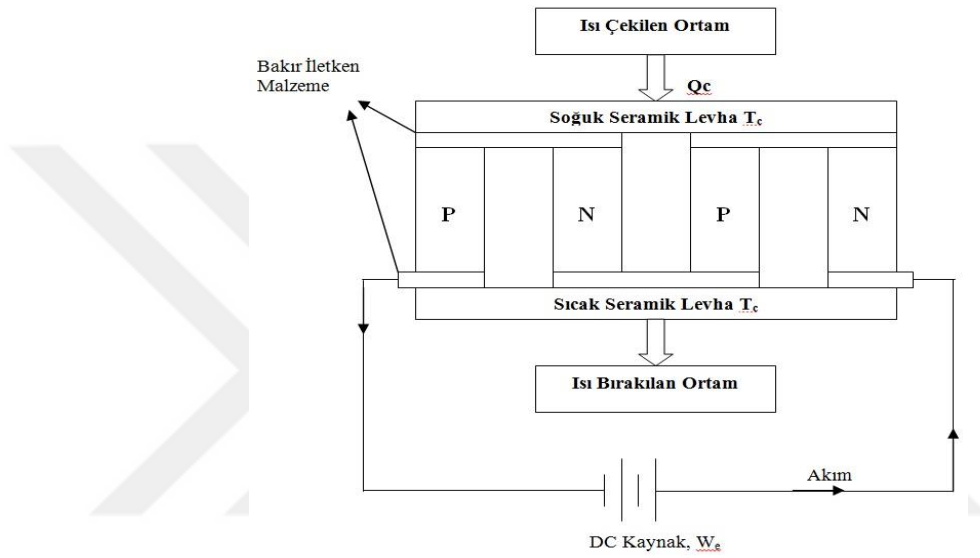
3.4.1 Termoelektrik Soğutmanın Teorisi

Termoelektrik soğutma temelde termoelektrik etkilerden Peltier Etkisine dayanır. Peltier etkisi, iki farklı metal elemandan oluşan bir devreye doğru akım verildiğinde, akımın yönüne göre, aksi uçlarda sıcaklıkta artmanın veya azalmanın meydana gelmesidir. Bu olayda ilginç olan, devrede uçlar arasında bir sıcaklık farkı oluşması ve devre uçlarında bir ısınma veya soğumanın meydana gelmesidir. Isıl eleman çiftlerinin(termokupl) temelini oluşturan ve 1821 yılında keşfedilen Seebeck etkisinin tersi olan Peltier etkisi, Charles Athanese Peltier tarafından 1834 yılında keşfedilmiştir. Peltier etkisi 1950' li yıllarda yarıiletken teknolojisinde gelişmelerin hızlanması ile değişik uygulamalarda kendine kullanım alanları bulmuştur.

Termoelektrik soğutucu; N ve P tipi yarı iletken maddelerden oluşmuş bir tasarımdan doğru akım geçmesi ile sağlanır. Şekil 3.13' de bir N ve P tipi yarı iletkenlerden meydana gelen bir termoelektrik soğutucu gösterilmiştir.

P ve N tipi malzemeler elektriksel olarak seri bağlanırlar. Isıl olarak ise paralel şekilde seramikler arasına bağlanırlar. Akımın yönüne bağlı olarak ısıtma ve soğutma elde edilebilir.

Şekil 3.13’ de görüleceği gibi soğutma durumunda, doğru akım N tipi yarı iletken P tipi yarı iletkenine doğru geçmektedir. Akım, düşük enerji seviyesindeki P tipi yarıiletken malzemeden yüksek enerji seviyeli N tipi yarıiletkenine geçtiğinde soğutulacak ortamdan ısı çekerek soğutma meydana getirmektedir. Soğuk ortamdan çekilen bu ısı, yüksek sıcaklıktaki elektronlar vasıtasıyla transfer edilir. Böylece ısı, bir ortamdan emildiği gibi başka bir ortama da bırakılmaktadır. Dolayısıyla termoelektrik modül ısı taşıyıcısı olarak da görev yapar.



Şekil 3.13 Bir termoelektrik soğutucu modülü.

3.4.2 Termoelektrik soğutucularda kullanılan malzemeler

Bir termoelektrik soğutucunun verimliliği bağıl olarak kullanılan malzeme ile ilgilidir. Termoelektrik malzemelerin performansı, aşağıdaki eşitlikte verilen değer katsayısı ile ifade edilmektedir.

$$ZT = \frac{\alpha^2 T}{kR} \quad (3.1)$$

Burada α Seebeck katsayısı, T termoelektrik modülünün yüzeylerinin ortalama sıcaklığı, k ısıl iletkenliği, R elektrik direncini göstermektedir. Metallerin ısı iletimi yüksek, fakat elektrik dirençleri düşük olduğundan, ZT değerleri de düşük olmaktadır. Günümüzde termoelektrik modüllerde kullanılan yarı iletken malzemelerin değer katsayısı, ZT , yaklaşık 0,4 ile 1,3 arasındadır.

Termoelektrik soğutucularda P ve N tipi termoelemanlarda kullanılan yarı iletken malzemeler, Bi₂Te₃, PbTe, SiGe ve BiSb gibi alaşımlardır. Bizmut Teleryum, Bi₂Te₃, yüksek termoelektrik verimi ve uygun sıcaklık aralığı nedeniyle yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Alt ve üst laklarda seramik malzeme kullanılır. Böylece ısı iletkenlik, elektriksel yalıtkanlık ve mekanik mukavemet sağlanır. Termoelemanları birbirine bağlayan iletken malzeme olarak bakır veya alüminyum gibi ısı iletkenliği yüksek malzemeler kullanılmaktadır.

3.4.3 Termoelektrik soğutucuların avantaj ve dezavantajları

Termoelektrik soğutucuların diğer soğutma sistemlerine göre üstünlükleri şöyle sıralanabilir:

- Hareketli herhangi bir parçası yoktur. Dolayısıyla az bakıma ihtiyaç vardır.
- Uzun ömürlüdürler. Ömür testlerinde sürekli rejimde 100.000 saat çalışabildikleri görülmüştür.
- Termoelektrik soğutucu, herhangi bir soğutucu akışkanı içermez. Dolayısıyla çevre ve doğa dostudurlar.
- Termoelektrik soğutucu, ısı pompası olarak tam tersinedir. Isının yönü DC akımın yönü değiştirilerek kolayca değiştirilebilir.
- $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ sıcaklık aralığında çok hassas sıcaklık kontrolü sağlanabilir.
- Termoelektrik Soğutucular, pozisyona bağımlı cihazlar değildir. Dikey veya yatay her konumda çalışabilirler. Yerçekimsiz ortamlarda da çalışır.
- Çok hassas, sıkı ve küçük ortamlarda çalışabilirler.

Termoelektrik soğutucular çeşitli dezavantajlara sahiptirler. Bunlar;

- Soğutma ve ısıtma performans katsayıları (COP) çok düşük olup 0.3-0.7 arasındadır. Oysa klasik soğutma makinelerinde bu değer 2-4 arasındadır. Buhar sıkıştırmalı, absorpsiyonlu ve termoelektrikli üç farklı mini buzdolabı için yapılan karşılaştırmalı çalışmada, buhar sıkıştırmalı tipte olanın maliyet ve işletme açısından daha uygun olduğu fakat diğerlerine göre daha gürültülü olduğu tespit edilmiştir. Termoelektrikli mini buzdolaplarının COP'sinin emilimli mini buzdolabına göre daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

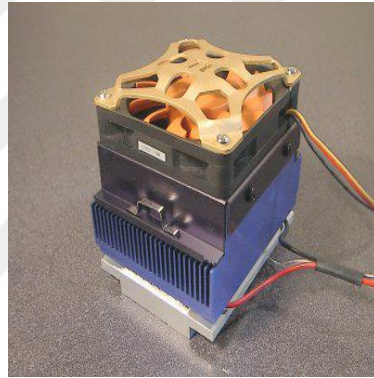
- Yüksek soğutma yükleri için uygun değildir. Buhar sıkıştırmalı soğutma sistemleri ile rekabet etmesi mümkün görülmemektedir.
- Şuan için pahalıdır.
- DC beslenme gerektirir.

3.4.4 Termoelektrik soğutucuların kullanım alanları

Termoelektrik soğutucular yukarıda belirtilen avantajlardan dolayı, tıbbi aygıtlardan günlük hayatta kullandığımız birçok ayağıtlara kadar birçok uygulamada yer almaktadır. Tablo 3.1’de termoelektrik soğutma ürünlerinin kullanım alanları ve uygulamaları verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.14 (a) Lazerli ve medikal uygulamalar için sıvı soğutucu. (b) Bir CPU soğutulması için.

Çizelge 3.1 Termoelektrik soğutmanın kullanım alanları ve uygulamaları.

Askeri/Uzay araştırmaları	Elektronik soğutma, soğutulan elbise, taşınabilir soğutucu, kızılötesi sensörlerin soğutulması, lazer diyotların soğutulması, telsiz istasyonları için kabin soğutma, uzay teleskoplarında.
Bireysel	Dinlenme taşıt soğutucuları, mobil ev soğutucuları, araba soğutucuları, taşınabilir piknik soğutucuları, meşrubat soğutucuları, motosiklet kasketi soğutucusu, taşınabilir insülin soğutucusu.
Laboratuvar ve bilimsel cihazlar	Kızılötesi sensörlerin soğutulması, lazer diyot soğutucuları, CCD soğutucusu, entegre devrelerin soğutulması, vidicon tüpü soğutucusu, laboratuvar soğuk plaka, karıştırıcı soğutucu, soğuk oda, donma noktası referans banyosu, mikrotome soğutması, elektroforesis hücre soğutucu.
Endüstriyel sıcaklık kontrol	NEMA (ABD elektrik cihazları üreticileri birliği) ortamları, kritik elemanları sert çevre şartlarından korunması, PC mikroişlemcileri, mikroişlemcilerin ve bilgisayarların nümerik kontrollerinde ve robotiklerde, yazıcı ve fotokopilerde mürekkep sıcaklığının dengelenmesi, CCD kameralarda.
Restorant cihazları	Krema dağıtıcısı, çırpılmış krema dağıtıcısı, tereyağı dağıtıcısı.
Çeşitli amaçlar	İlaç soğutucular (taşınabilir veya sabit), otel odaları soğutucuları, otomobil mini soğutucuları, otomobil koltuk soğutucuları, uçak içme suyu soğutucuları, yolcu otobüsü soğutucuları, gemi soğutucuları, karavan soğutucuları, kamyon soğutucusu, DNA döngülerinde, tıbbi teşhis cihazları, masaj veya tedavi amaçlı sıcak/soğuk yataklarda.

Şekil 3.14 ‘de çeşitli uygulamalarda piyasada ticari olarak bulunan termoelektrik soğutma sistemleri gösterilmiştir.

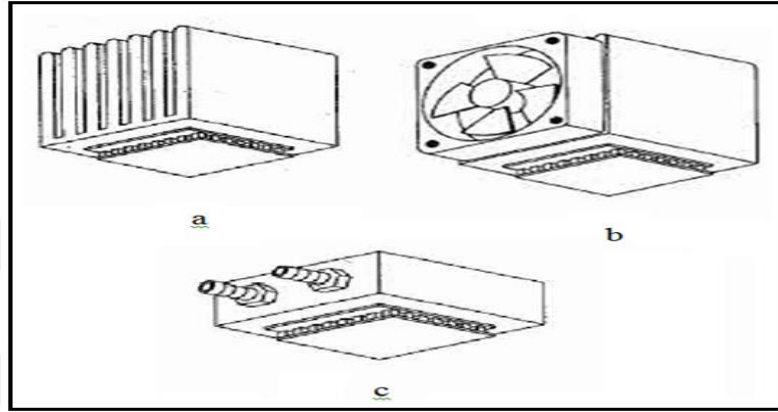
3.4.5 Termoelektrik modüllerin ısı ve elektriksel parametreleri

Bir soğutucunun tasarımı ve seçimi, genellikle üretici firma tarafından sağlanan termoelektrik modülün performans eğrilerine göre yapılmaktadır. Tasarım, termoelektrik soğutmanın sıcak ve soğuk yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı (ΔT) ve istenen soğutma kapasitesi ile başlar. Belirlenen soğutma kapasitesine göre ΔT -Akım eğrisinden modülün akım şiddeti belirlenir. Daha sonra Voltaj (V) – Akım(I) eğrisinde sıfır soğutma yükü ve sıfır sıcaklık farkında gerekli voltaj farkında üst ve alt limitleri belirlenir. Daha sonra ısı kaynağının ısıl direnci değerlendirilir.

Termoelektrik modüllerde, akımın yönüne bağlı olarak ısıtma ve soğutma gerçekleştirilir. Dolayısıyla ısıtma ve soğutma amaçlarının ikisinin de istendiği uygulamalarda, tasarım soğutma moduna göre yapılmalıdır.

Termoelektrik modüllerde, ısının çekildiği ve ısının atıldığı ortam son derece

önemlidir. Isı aktarım türleri olarak modüller tasarım ve konstrüksiyon olarak farklılık gösterebilirler. Termoelektrik modüllerde, havadan havaya, sudan havaya, havadan suya, sudan suya ve soğuk plaka uygulamaları mevcuttur. Şekil 3.15 (a) 'da ısı kaynağının soğutma türlerine göre çeşitli modüller gösterilmiştir. Şekil 3.15 (b) 'de sudan havaya bir soğutucu modülü ve Şekil 3.15 (c) 'de ise soğuk plakalı termoelektrik soğutucu modülü gösterilmiştir.



Şekil 3.15 Genel ısı kaynağı türleri: a) Serbest taşınımlı hava soğutmalı ısıtma, b) Zorlanmış taşınımlı hava soğutmalı ısıtma c) Zorlanmış taşınımlı sıvı soğutmalı ısıtma.



(a)



(b)

Şekil 3.16 (a) Sudan havaya bir termoelektrik soğutucu, (b) Soğuk plakalı termoelektrik soğutucu.

Bir termoelektrik modülün sıcak yüzeyinden bulunduğu ortama ısı verilir. Bu yüzey ısı kaynağına bağlıdır. Isı kaynağı olarak su veya hava olabilir. Isı kaynağı doğal veya zorlanmış taşınım hava ile soğutulduğunda (Şekil 3.16a ve Şekil 3.16b), sıcak

yüzeyin sıcaklığı (T_h) ve sıcak yüzeyden atılan ısı, Q_h aşağıdaki denklemden bulunabilir.

$$T_h = T_0 + U \cdot Q_h \quad (4.2)$$

$$Q_h = Q_c + W_e \quad (4.3)$$

Burada, T_0 ısının aktarıldığı ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), U ısı değiştirgecinin toplam ısı direnci ($^{\circ}\text{C} / \text{Watt}$) ve Q_c termoelektrik modülün soğuk yüzeyinin çektiği ısı (W) ve W_e (W) termoelektrik modülün çektiği elektrik gücü olup, I (Amper) ve V (Volt) bağlıdır.

$$W_e = V \cdot I \quad (4.4)$$

Isı değiştirgecinin ısı direnci bilinmediğinde sıcak yüzeyin sıcaklığı, hava soğutmalı doğal taşınımında ortam sıcaklığına $20 - 40^{\circ}\text{C}$ hava soğutmalı zorlanmış taşınımında ortam sıcaklığına $10 - 15^{\circ}\text{C}$ ve su soğutmalı da ise $2 - 5^{\circ}\text{C}$ ortam sıcaklığına eklenerek bulunur. Örneğin 20°C bir ortamda serbest taşınımlı hava soğutmanın yapıldığı bir termoelektrik modülün sıcak yüzeyinin sıcaklığı yaklaşık olarak $20+35=55^{\circ}\text{C}$ alınabilir.

Termoelektrik soğutucunun soğuk yüzeyinin sıcaklığı (T_c), eğer yüzey doğrudan soğutulacak cisim veya ortam ile temasta ise cismin sıcaklığı veya ortamın sıcaklığı alınabilir. Eğer bir ısı değiştirgeci arada varsa, ısı dirençlerin göz önüne alınması gerekir.

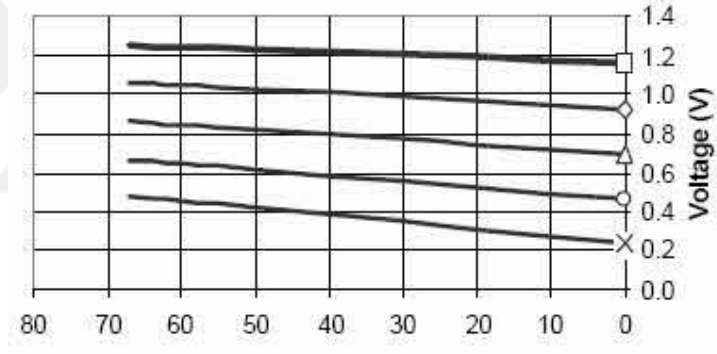
Bir termoelektrik soğutucunun iki yüzeyi arasındaki sıcaklık farkı $\Delta T = T_h - T_c$ son derece önemli bir parametre olup, sistem seçiminde diyagramlarda temel eksenlerden birini oluşturur. Eğer $\Delta T < 65^{\circ}\text{C}$ ise, tek kademeli termoelektrik modül yeterli olabilir. Tek kademeli bir modül için teorik maksimum sıcaklık farkı, $65^{\circ}\text{C} < \Delta T < 70^{\circ}\text{C}$ dır. Eğer $\Delta T > 70^{\circ}\text{C}$ ise, çok kademeli termoelektrik modüller üst üste konarak, yüksek ΔT sahip çok kademeli bir soğutma modülü oluşturulabilir kademeli termoelektrik cihazlarda $\Delta T \cong 130^{\circ}\text{C}$ ye kadar sağlanabilir. Pratikte ulaşılan en düşük sıcaklık -100°C dir.

Termoelektrik soğutucuların ısıtma ve soğutma etki katsayıları (COP), konvansiyonel soğutma makinelerine ve ısı pompalarına benzer olarak aşağıdaki denklemlerde olduğu gibi tanımlanır.

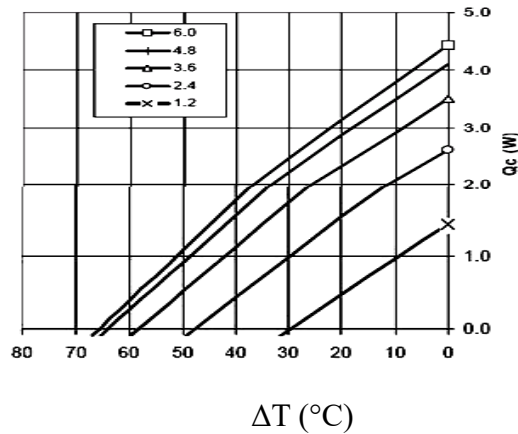
$$COP_h = \frac{Q_h}{W_e} \quad (4.5)$$

$$COP_c = \frac{Q_c}{W_e} \quad (4.6)$$

Termoelektrik soğutucular, belirlenen T_h 'da I_{max} , V_{max} , Q_{max} ve ΔT_{max} değerleri ile değerlendirilirler ve üreticiler her tip için bu değerleri kataloglarında verirler. Q_{max} soğutulan ortamdan çekilen maksimum ısıdır. I_{max} ve V_{max} ise $T=0$ olduğundadır. ΔT_{max} ise soğutucu yüzeyler arasında oluşabilecek en yüksek sıcaklık (I_{max} , V_{max} ve $Q_c=0$ olduğunda) farkıdır. Tipik bir termoelektrik modüller için tipik diyagramlar Şekil 3.19'da ve Şekil 3.20'de gösterilmiştir.



Şekil 3.19 $T_h = 25^\circ C$ için $\Delta T - V$ performans diyagramı.



Şekil 3.20 $T_h = 25^\circ C$ için $\Delta T - Q_c$ performans diyagramı.

Termoelektrik aygıtlar güç üretimi ve soğutma uygulamalarında kullanılmaktadır. Termoelektrik soğutma uygulamalarına olan ilgi son zamanlarda artmıştır. Ancak, yakın gelecekte, evsel uygulamalar için ısı pompası ve iklimlendirme amaçlı termoelektrik soğutma sistemlerinin pazarda rekabete gireceği tahmin edilmektedir.

Termoelektrik sistemlerde kullanılan malzemelerin durumları göz önüne alındığında yarı iletken malzemelerindeki gelişmeler bu tür cihazların daha verimli olmalarını sağlayacağı ve maliyetleri düşüreceği düşünülmektedir. Ayrıca PV panellerden elde edilecek DC güç ile termoelektrik soğutmanın gerçekleştirmesi üzerine de çalışmalar planlanmaktadır. Böylelikle termoelektrik cihazlar tamamen çevre dostu ve işletme maliyeti düşük sistemler olarak karşımıza çıkabileceklerdir.

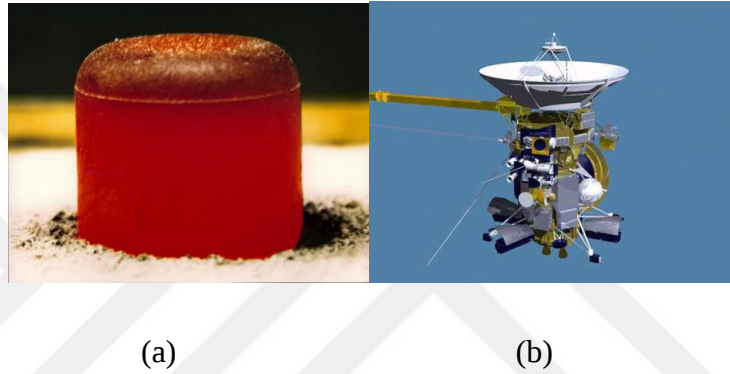
Termoelektrik soğutma sistemleri yapı ve kullanım amacına göre farklı tipleri mevcuttur. Dolayısıyla termoelektrik cihazların tasarım ve seçiminde ısı ve elektriksel parametrelerin tümü göz önüne alınmalıdır.

Peltier yapılar, 19. yüzyılın başlarında, keşfedilen önemli bir termoelektrik buluştur. Bu buluş ile, Thomas Seebeck ve Jean Peltier farklı iki metal yapının, farklı sıcaklıklara maruz bırakıldığında emk ürettiğini keşfetmişlerdir. Onlar aynı zamanda farklı iki metal yapıya elektrik akımı uygulandıklarında, akımın uygulanma yönüne bağlı olarak ısıtma yada soğutma gerçekleştirebildiğini görmüşlerdir. Özellikle son 50 yıldır yarıiletken teknolojisindeki artışla birlikte peltier yapılar ve özellikle peltier yapıları kullanan soğutma teknolojileri üzerinde artış gerçekleşmiştir. Peltier yapılar, iklimlendirme özelliklerine kıyasla daha küçük çapta da olsa, elektrik enerjisi üretme yeteneğine sahiptirler. Küçük miktarda elektrik enerjisi üreten peltier yapılar, seri ve paralel bağlanarak, büyük değerde gerilim ve akımlara ulaşılabilir.

3.5 Uygulama Alanları

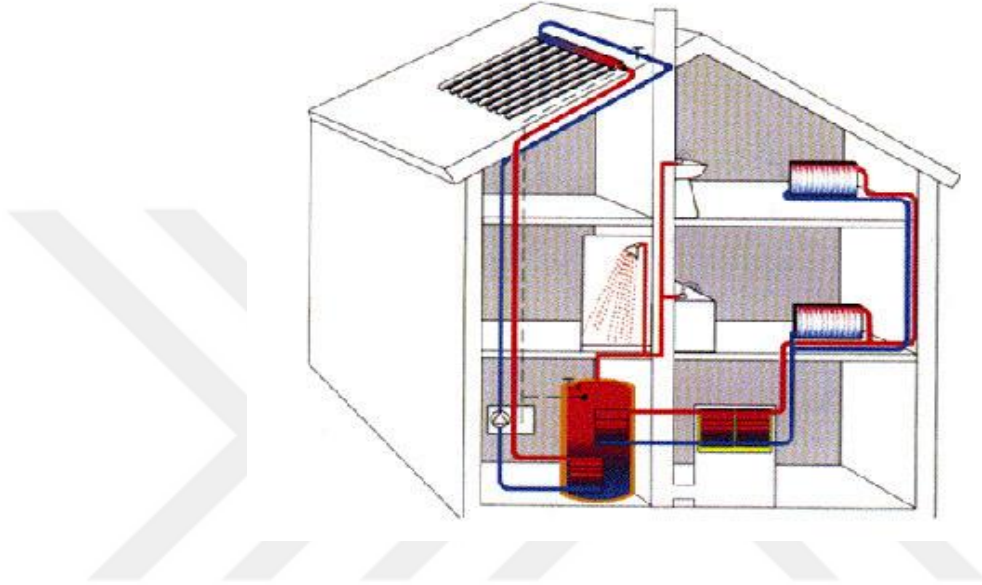
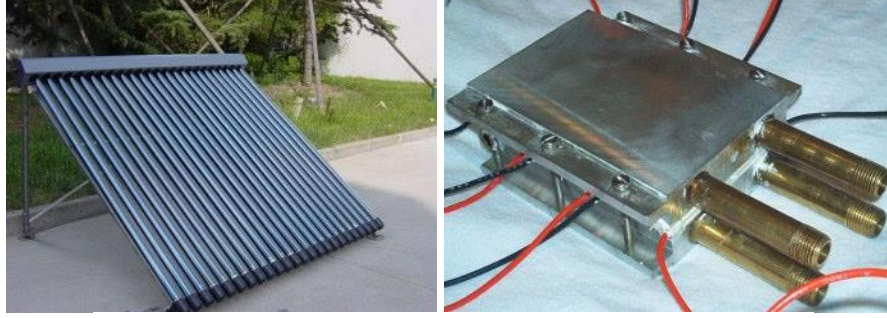
Termoelektrik yapılar sensör uygulamalarından, uzay havacılık sistemlerine, güç üretiminden, araçlarda ve fabrikalarda atık ısı geri kazanımlarına, karmaşık soğutucu sistemlerden basit buzdolaplarına, bilgisayarlardaki mikroçiplerin soğutulmasından, MEMS (Micro-Electro-Mechanical-Systems) sistemlerine uzanan uygulamalarıyla

günlük kullanıma entegre olmaya başlamışlardır. Termoelektrik uygulamaları ilk olarak uzay araçlarının enerji ihtiyaçlarının karşılamak için düşünülmüştür. Amerika 1961'den bu yana toplam 45 tane radyoizotop termoelektrik jeneratör ile çalışan sistemi uzaya yollamıştır. RTG üniteleri sıcak ısı kaynağı olarak Plütonyum -238, Küriyum-244 ve Stronsiyum-90 kullanmakta olup soğuk ısı kaynağı uzay boşluğunu kullanmaktadır. Soğuk ortama ısı RTG ünitesinin kanatları üzerinden radyasyonla uzaya verilmektedir. Şekil 3.17 (a)'da sıcak ısı kaynağı olarak kullanılan Plütonyum -238 peleti görülmektedir. Şekil 3.17 (b)'de ise 1997 yılında gönderilen Cassini uzay aracı ve üzerindeki RTG üniteleri görülmektedir.



Şekil 3.17 (a) Plutonium-238 peleti (b) Cassini uzay aracı ve üzerindeki RTG üniteleri.

Şekil 3.18'de yine termoelektriğin evsel bir uygulamasına örnek gösterilmiştir. Bu uygulamada evin çatısına yerleştirilen güneş kolektörleri ile ısıtılan su hem duşlarda sıcak su ihtiyacını karşılamakta hem termoelektrik modül üzerinde sıcak ısı kaynağı olarak kullanılmaktadır. Soğuk su da termoelektrik modül üzerinde soğuk yüzeyi oluşturmakta ve elektrik elde edilmektedir. Bu sistem için dizayn edilen termoelektrik jeneratörler 50W ile 100W arasında güç üretebilmektedir.



Şekil 3.18 Güneş enerjisi ve termoelektriğin evsel bir uygulaması.

Evlerde güneş enerjisi ve termoelektrik jeneratörlerin kullanımı ile enerji ihtiyacı olan binaların gelişimi olumlu yönde etkilenecektir.

3.5.1 Peltier yapılar kullanılarak soğuk iklim şartlarında elektrik elde etme

Dünyada iklim şartları olarak ; ekstra sıcaklık sağlayıcı ekipmanlar gerektirmeyen bölgeler olduğu gibi , bu ekipmanların yılın çoğu dönemleri için gerektiren çok soğuk bölgeler de mevcuttur. Bu bölgelerde yaşamak zorunda kalan insanlar için ise, bina içi ortamlarda oda sıcaklığı şartları ısı enerjisi sağlayıcı ekipmanlarla sağlanmaktadır. Bu durumda yılın bir çok dönemi için 0 oC ve altı sıcaklıklara sahip bir yerleşim bölgesinde mevcut bir bina için minimum 20 oC’ den başlayan ve bu soğukluğun artmasıyla 50-60 oC ’leri bulan iç ve dış ortam sıcaklık farklılıkları ise , peltier yapılarda elektrik enerjisi üretimini mümkün kılabilir.

Peltier tabakaları Şekil 3.18’de görüldüğü üzere iç ve dış ortam sıcaklıklarına

maruz kalacak şekilde monte edildiğinde toplamda bir evin elektrik enerjisini sağlayabilecek seviyelere çıkabilecektir.

3.5.2 Peltier yapılarda üretilen elektrik enerjisinin kullanılabilirliği

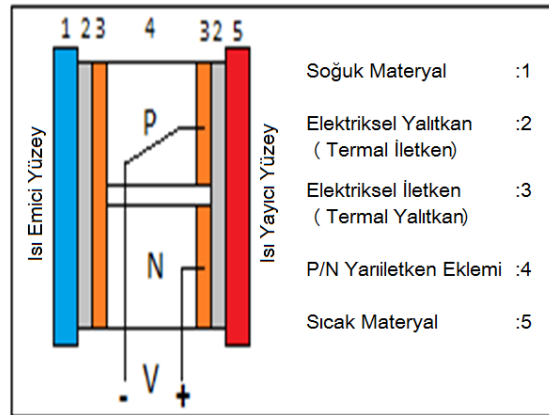
Diğer yenilenebilir enerji üretim yöntemlerinin bir çoğunda olduğu gibi , peltier yapılarda da üretilen elektrik enerjisi , fiziksel parametrelerdeki değişime bağlı olarak sürekli değişkenlik gösterir. Bu sebeple , peltier yapılardan elde edilen elektrik enerjisinin de ya şebeke gibi büyük bir kararlı sisteme transfer edilmesi yada batarya destekli olarak kararlı hale getirilmesi gerekir. Peltier yapılardan elde edilen elektrik enerjisi DC olduğu için her iki durumda da son çıkış katında DC / AC Konvertör bulunması gerekir. Bu dönüştürme işleminde kayıp güçler oluşsa da son yıllarda elektronik ekipmanlar ve yarı iletkenlerdeki gelişmelerle bu değerler azalmıştır.

3.5.3 Peltier yapılı elektrik enerji sisteminde koruma

Peltier yapılı elektrik enerji sistemleri , bağımsız olarak bir birimi enerjilendirdiğinde yük seçimi özellikle hassas olarak yapılmalıdır. Elektrik motorlarının ilk kalkınma anında minimum 3-5 kat güç tüketebildiği dikkate alınarak , sistem kurulumu gerçekleştirilmelidir. İlk enerjilendirme esnasında kesinlikle tüm yükler devre olmayacak şekilde bir tasarım yapılmalıdır. Peltier sayısı ve batarya kapasitesi arttırılarak bu sınırlamalar azaltılabilir. Fakat bu ise ekstra maliyet gerektiren tercih olacaktır.

4. TERMAL EKLEM ISI FARKLILIĞI İYONİZASYON ESASLI ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ

Peltier yapılar, 19. yüzyılın başlarında, keşfedilen önemli bir termoelektrik buluştur. Bu buluş ile, Thomas Seebeck ve Jean Peltier farklı iki metal yapının, farklı sıcaklıklara maruz bırakıldığında emk ürettiğini keşfetmişlerdir. Onlar aynı zamanda farklı iki metal yapıya elektrik akımı uygulandıklarında, akımın uygulanma yönüne bağlı olarak ısıtma yada soğutma gerçekleşebildiğini görmüşlerdir. Özellikle son 50 yıldır yarıiletken teknolojisindeki artışla birlikte peltier yapılar ve özellikle peltier yapıları kullanan soğutma teknolojileri üzerinde artış gerçekleşmiştir. Peltier yapılar, iklimlendirme özelliklerine kıyasla daha küçük çapta da olsa, elektrik enerjisi üretme yeteneğine sahiptirler. Küçük miktarda elektrik enerjisi üreten peltier yapılar, seri ve paralel bağlanarak, büyük değerlerde gerilim ve akımlara ulaşılabilir.

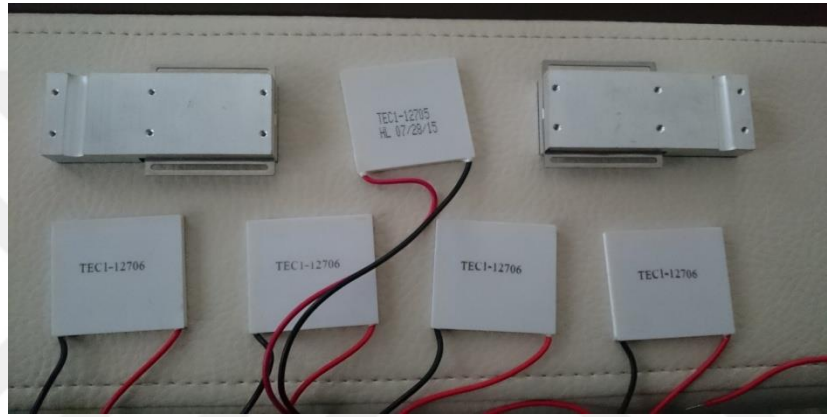


Şekil 4.1 Bir peltierin şematik yapısı.

Şekil 4.1.'de bir peltierin şematik yapısı görülmektedir. Bu peltier yapıda, ısı emici yüzey sıcak bir yüzeye, ısı yayıcı yüzey ise soğuk bir yüzeye maruz kaldığında bir emk oluşur. Bu elektriksel enerjinin oluşum sebebi, sıcaklık farkına maruz kalma sonucu, peltier içinde zaten elektronca fakir P materyalinden elektronca zengin N materyaline doğru bir elektron akışı gerçekleşmesidir. Bu elektron akışının peltier dışındaki yönü ise, N tipi materyalden P tipi materyale doğrudur. Elektriksel akım olarak ise, peltier dışında P tipi materyalden N tipi materyale doğru elektrik akımı geçmiştir olur.

4.1 Elektrik Enerjisi Üretim Amaçlı Peltier Kullanımı

Şekil 4.2’de görülen TEC1-12706 tipi peltier uygulamalar için tercih edilmiş olup, iç ve dış ortamları arasında maksimum 67°C sıcaklık farkı oluşan bir ortamda kullanıldığında, elektrik enerjisi üretilebilir. Farklı peltier yapılar için de uygulama katalog bilgileri alınmış olmakla beraber, performans/maliyet oranı bakımından TEC1-12706 tipi peltier uygulama için tercih edilmiştir. Bu peltier için, farklı olarak 6 A, 15,4 V çalışma şartlarında 53,3 W’lık soğutma ve ısıtma performansı mevcuttur. Farklı tipteki peltierlere ait katalog bilgileri ise, çizelge 4.1’de verilmiştir.



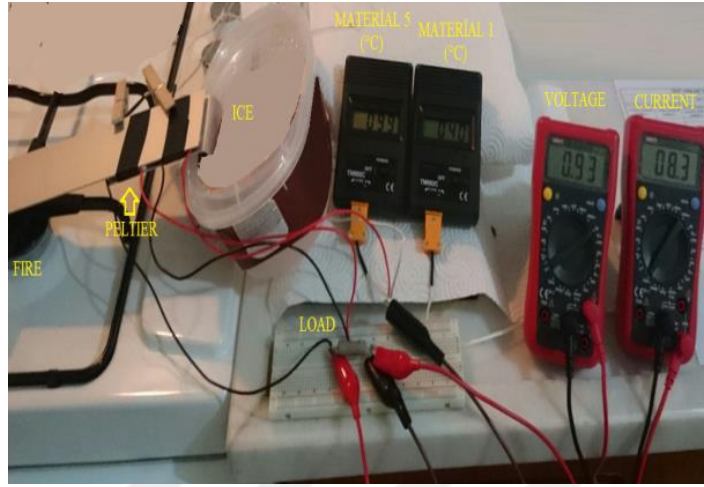
Şekil 4.2 Uygulamada kullanılan peltier yapılar.

Çizelge4.1. Farklı tipte peltierlere ait katalog bilgileri.

Ürün Tipi	Peltier Modelleri				
	Tec1 - 12703	Tec1 - 12704	Tec1 - 12705	Tec1 - 12706	Tec1 - 12708
Maks. Çalışma Sıcaklığı	200 C	200 C	200 C	200 C	200 C
Maks. Güç	26.7 W	35.6 W	44.5 W	53.3W	71.1W
Maks. Sıcaklık Farkı	68 C	68 C	68 C	68 C	68 C
Maks. Voltaj	15.4 V	15.4 V	15.4 V	15.4 V	15.4 V
Maks. Akım	3 A	4 A	5 A	6 A	8 A
Boyutlar	4 x 4 cm	4 x 4 cm	4 x 4 cm	4 x 4 cm	4 x 4 cm

Şekil 4.3’deki gibi, bir peltier yapının uygulama şartlarında maruz kalacağı sıcaklık farkı, laboratuvar ortamında oluşturularak, deneysel uygulamalar

gerçekleştirilmiştir. Deneysel uygulamada peltier kullanılarak, buz ve ısıtıcı ateş ile sıcaklık farkının oluşumu sağlanmıştır.



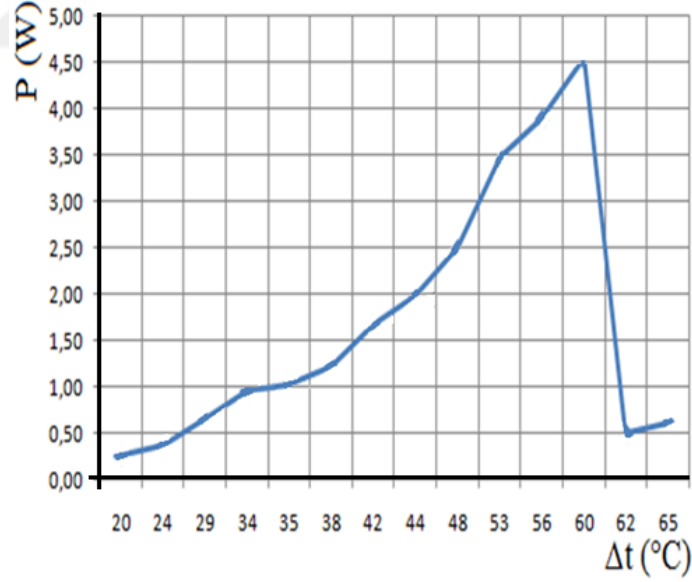
Şekil 4.3 Deneysel uygulama ortamı.

4.1.1 Birinci uygulama verileri

Çizelge 4.2’de deneysel uygulamalarda elde edilen; materyallerin sıcaklıkları, sıcaklık farklılıkları, elde edilen emk ve güç değerleri verilmiştir. Bu değerlerden ve şekil ‘de görülen grafikten anlaşılabacağı gibi, peltier yapıda sıcaklık farkı arttıkça elde edilen güç değeri fonksiyonel olarak artmaktadır. Uygulamada kullanılan peltierde sıcaklık farkı 60 °C’yi aştığında ise elde edilen güç değerinin ani bir biçimde azaldığı görülmektedir.

Çizelge4.2. Birinci uygulama verileri.

Materyal 1 (°C)	Materyal 5 (°C)	Δt (°C)	Voltaj (V)	Akım (A)	Güç (W)	Materyal 1 (°C)	Materyal 5 (°C)	Δt (°C)	Voltaj (V)	Akım (A)	Güç (W)
15	35	20	0,17	1,50	0,26	18	62	44	0,47	4,20	1,97
15	39	24	0,2	1,80	0,36	19	67	48	0,53	4,70	2,49
16	45	29	0,27	2,40	0,65	22	75	53	0,62	5,60	3,47
16	50	34	0,33	2,90	0,96	24	80	56	0,66	5,90	3,89
16	51	35	0,34	3,00	1,02	26	86	60	0,71	6,40	4,54
16	54	38	0,37	3,30	1,22	28	90	62	0,74	0,66	0,49
17	59	42	0,43	3,90	1,68	30	95	65	0,78	0,78	0,61

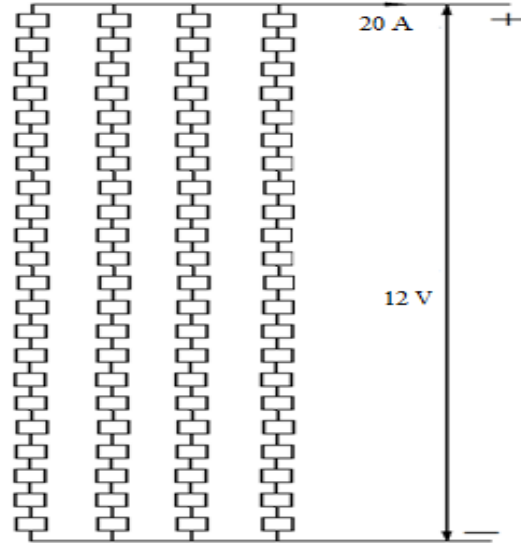


Şekil 4.4 Sıcaklık farkına bağlı elektriksel güç değişimi.

Şekil4.4 'de görülen grafikteki değişim yazılımsal olarak değerlendirildiğinde ise,

$$P = -2.10^{-3} \cdot \Delta t^4 + 5.10^{-2} \cdot \Delta t^3 - 0.365 \cdot \Delta t^2 + 1.141 \cdot \Delta t - 0.646 \quad (4.1)$$

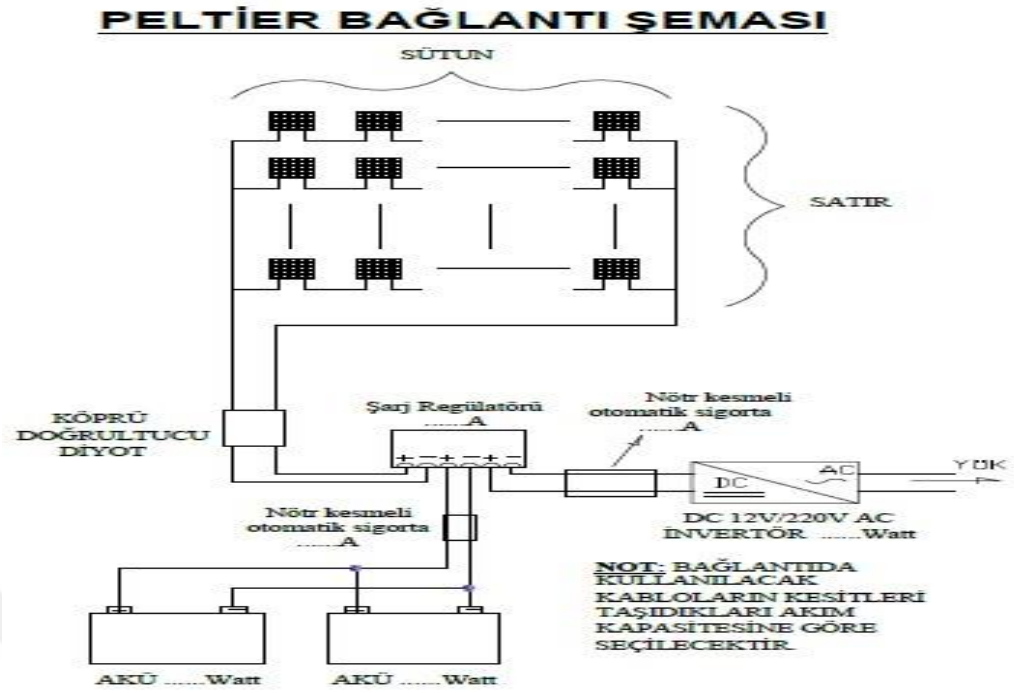
eşitliğiyle ifade edilen sıcaklık farkına bağlı güç değişimini açıklayan bir değişim fonksiyonu elde edilmektedir.



Şekil 4.5 Seri ve paralel bağlı 88 peltier.

Bu uygulama sonuçlarından, tek peltier için elde edilen elektriksel parametrelerin yetersiz olduğu görülmektedir. Şekil’de görüldüğü gibi, sıcaklık farkı 50°C iken 88 peltier kullanıldığı modellenirse, bir peltier için 0,55 V ve 5 A değerleri baz olarak toplamda 20 A ve 12 V elektriksel parametreleri elde edilecektir. Bu değerler 240 W elektriksel güce karşılık gelmekte olup, bir hava aracında yedek enerji kaynağı olarak çok faydalı olacaktır. Ayrıca peltier sayısı arttırılarak, elektriksel güç değeri çok daha fazla arttırılabilir. Dış ve iç gövde yapısı arasında peltier kullanılarak modellenen bir uçak yapısı şekil’de görülmektedir.

Peltier yapılardan kurulu bir elektrik enerji sistemi tasarımlanırsa,



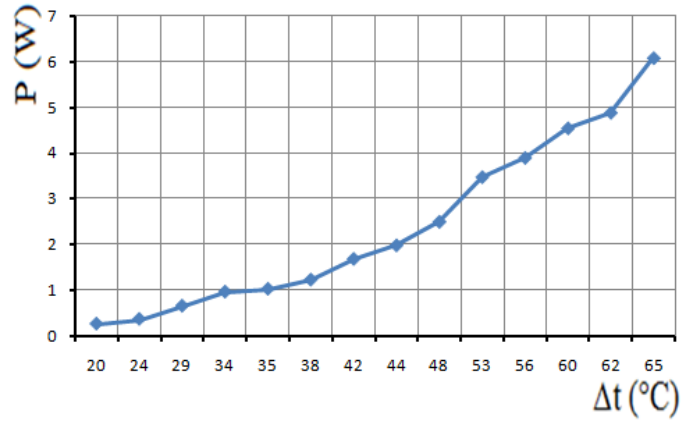
Şekil 4.6 Peltier sisteminin elektriksel yük bağlantı şeması.

4.1.2 İkinci uygulamada elde edilen veriler

Çizelge4.3. Tek peltier kullanılarak yapılan ölçümler.

1. Yüzey Sıcaklığı (Derece)	2. Yüzey Sıcaklığı (Derece)	Yüzeyler Arası Sıcaklık Farkı (Derece)	Ölçüm Değeri (Voltaj)	Ölçüm Değeri (Akım)	Güç (W)
35	15	20	0,17	1,50	0,255
39	15	24	0,2	1,80	0,360
45	16	29	0,27	2,40*	0,648
50	16	34	0,33	2,90	0,957
51	16	35	0,34	3,00	1,020
54	16	38	0,37	3,30	1,221
59	17	42	0,43	3,90	1,677
62	18	44	0,47	4,20	1,974
67	19	48	0,53	4,70	2,491
75	22	53	0,62	5,60	3,472
80	24	56	0,66	5,90	3,894
86	26	60	0,71	6,40	4,544
90	28	62	0,74	6,60	4,884
95	30	65	0,78	7,80	6,084

*Test hatası olarak diğer yüzün de ısınmaya başladığı görülmektedir.



Şekil 4.7 Sıcaklık farkına bağlı elektriksel güç değişimi.

Şekil 4.7'de görülen grafikteki değişim yazılımsal olarak değerlendirildiğinde ise,

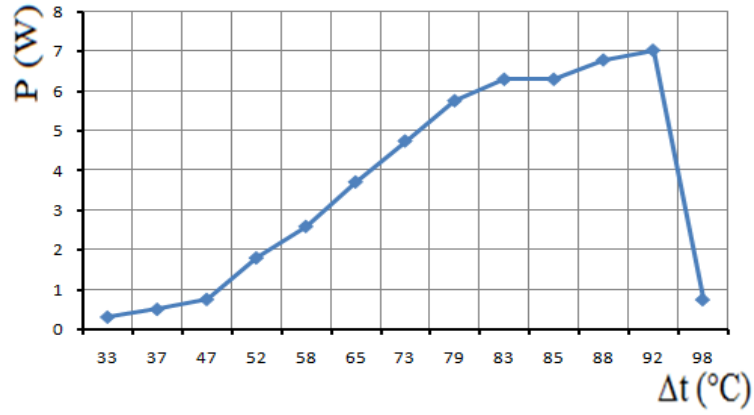
$$P = -0,000 \Delta t^4 + 0,007 \Delta t^3 - 0,051 \Delta t^2 + 0,303 \Delta t - 0,018 \quad (4.2)$$

eşitliğiyle ifade edilen sıcaklık farkına bağlı güç değişimini açıklayan bir değişim fonksiyonu elde edilmektedir.

4.1.3 Üçüncü uygulamada elde edilen veriler

Çizelge 4.4. Seri bağlı çift peltier kullanılarak yapılan ölçümler.

1. Yüzey Sıcaklığı	2. Yüzey Sıcaklığı	Yüzeyler Arası Sıcaklık Farkı	Ölçüm Değeri	Ölçüm Değeri	Güç (W)
33	16	17	0,18	1,70	0,306
37	17	20	0,24	2,10	0,504
47	17	30	0,29	2,60	0,754
52	19	33	0,45	4,00	1,800
58	20	38	0,54	4,80	2,592
65	22	43	0,64	5,80	3,712
73	24	49	0,73	6,50	4,745
79	27	52	0,80	7,20	5,760
83	28	55	0,84	7,50	6,300
85	28	57	0,84	7,50	6,300
88	31	57	0,87	7,80	6,786
92	32	60	0,89	7,90	7,031
98	35	63	0,91	0,82	0,7462



Şekil 4.8 Sıcaklık farkına bağlı elektriksel güç değişimi.

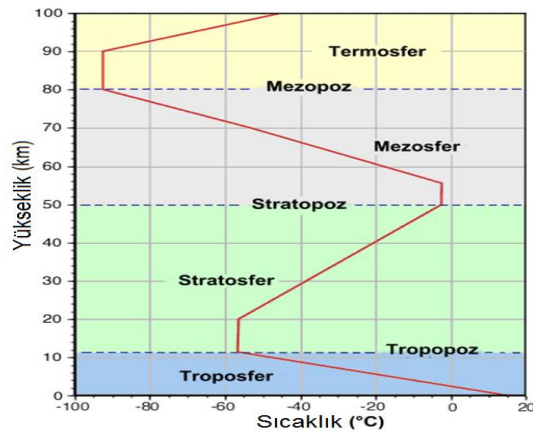
Şekil 4.8'de görülen grafikteki değişim yazılımsal olarak değerlendirildiğinde ise,

$$P = -0,003 \Delta t^4 + 0,078 \Delta t^3 - 0,479 \Delta t^2 + 1,627 \Delta t - 1,177 \quad (4.2)$$

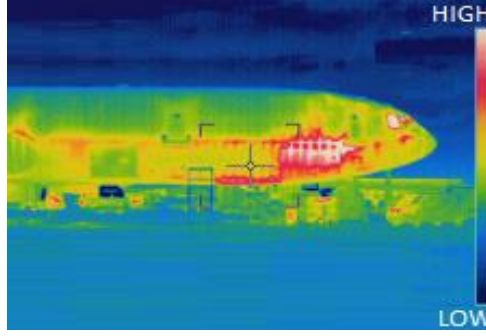
eşitliğiyle ifade edilen sıcaklık farkına bağlı güç değişimini açıklayan bir değişim fonksiyonu elde edilmektedir.

4.2 Hava Araçlarında Peltier Yapılar Kullanarak Elektriksel Enerji Üretimi

Atmosferde bilindiği üzere, her 200 m yükseldikçe sıcaklık yaklaşık 1°C artar. Hava taşıtları, sahip oldukları yüksekliklerinden dolayı -15°C ve -60°C arasında değişen dış sıcaklıklara maruz kalırlar.



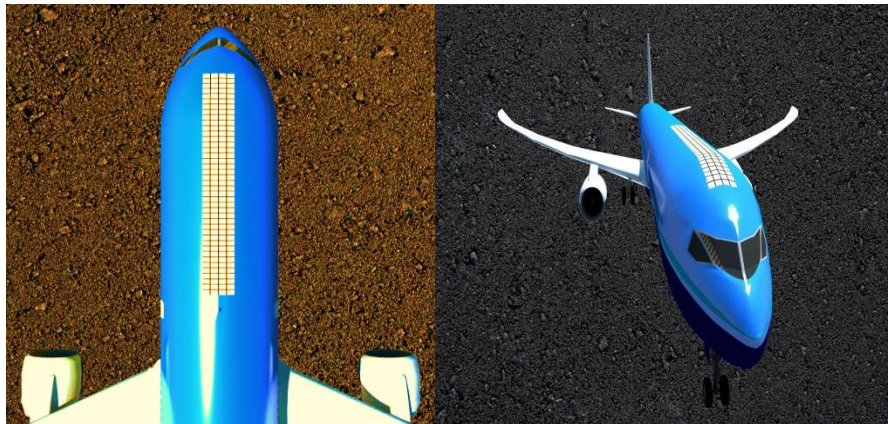
Şekil 4.9 Atmosferde termal değişim.



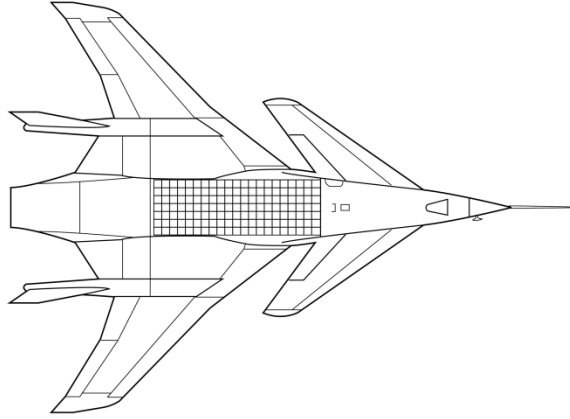
Şekil 4.10 Bir uçağın termal görüntüsü.

Farklı olarak, iç ortamda mürettebat ve yolcuların gerektirdiği 20-30 °C sıcaklık şartları mevcuttur. Peltier yapılar kullanılarak, bu iç ve dış sıcaklık farkından yararlanarak elektrik enerjisi üretilir. Uçaklarda her ne kadar jeneratör ve batarya esaslı güç kaynakları mevcut olsa da, bahsedilen sıcaklık farklılıkları peltier yapılara uygulanarak ekstra elektrik enerjisi elde edilebilir. Böylece, hava taşıtlarında enerji verimliliğine katkıda bulunulabileceği gibi, elektriksel enerji güvenilirliği de artırılmış olacaktır.

Benzer birçok uygulamalar gerçekleştirilebileceği gibi, hava araçlarında da peltier yapılar kullanılarak elektrik enerjisi elde edilebilir. Uçaklarda jeneratör ve batarya esaslı güç kaynaklarına ilave olarak, bahsedilen sıcaklık farklılıkları peltier yapılara uygulanarak ilave elektrik enerjisi elde edilebilir. Böylece, hava taşıtlarında enerji verimliliği artırılabilir gibi, elektriksel enerji güvenilirliği de artmış olacaktır.

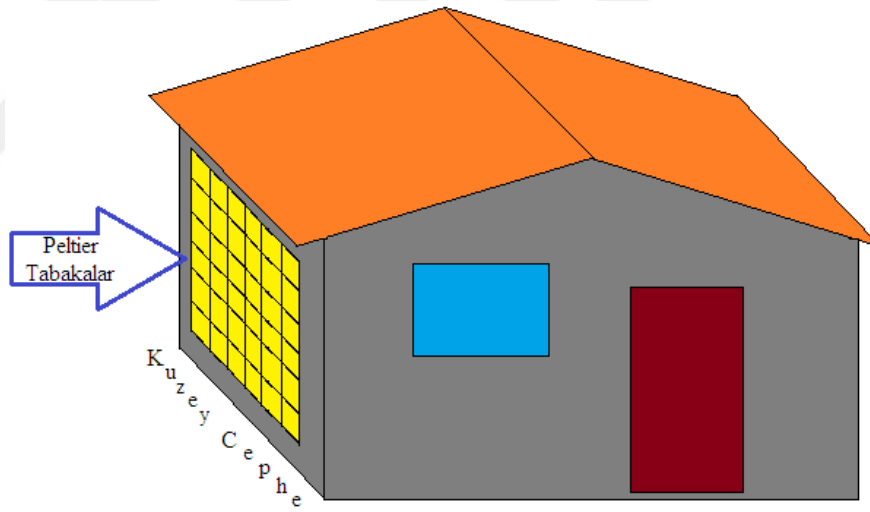


Şekil 4.11 Gövdesi peltier kaplı bir uçak modeli.



Şekil 4.12 Gövdesi peltier kaplı bir uçak modeli.

4.3 Konutlarda Peltier Yapılar Kullanarak Elektriksel Enerji Üretimi



Şekil 4.13 Güneş enerjisi ve termoelektriğin evsel bir uygulaması.

Bilgisayar ortamında yapılan bir tasarımda bir konutun kuzey cephesine ait 20 m² 'lik (200.000 cm²) kısmına uygulamamıza esas olan Tec1 - 12706 peltier'ler ile kaplandığı bir model ele alınmıştır. Bir peltier için yaklaşık 16 cm²'lik bir alan kullanılırsa kuzey cephesine 12.500 adet peltier monte edilebilecektir. Seri ve paralel bağlantı gruplarının oluşturulması ile iç – dış ortam sıcaklık farkının 20 derece olduğu Çizelge 4.3' deki değerler kullanılarak, maksimum 3.187,50 W ' a güç kadar elde

edilebilecektir.

4.4 Diğer Uygulanabilir Alanlar

Uzayda kullanılan uyduların ve uzay araçlarının mevcut elektrik enerji ihtiyaçlarını bünyelerinde bulunan güneş panelleri ile sağlamaktadır. Bu yüzden daima güneşe ihtiyaç duymaktadırlar. Uzayın ortam sıcaklığı $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ dir. Uzayın bu her yerinde bulunan sabit soğukluktan faydalanılarak uzay araçlarının ve uydularının güneşe ihtiyaç duymadan kendi elektriğini üretebilir ve uzayın karanlık noktalarında bile işlevlerini sürdürebilirler.

Tüm dünyanın takip ettiği bir operasyonla Philae uzay aracı 67P isimli göktaşına başarılı bir iniş gerçekleştirdi. Kuyruklu yıldızın üzerine inmeyi başaran Philae uzay aracının, bir tepeciğin arkasında gölgede kalması nedeniyle güneş panellerinin çalışmadığı ve modülü şarj edemediği belirtildi. Modül ne kadar çok çalışırsa şarjının da o kadar hızlı tükenebileceği ifade ediliyor. Görevin tahmin edilenden çok daha kısa soluklu olma riski var. Bunun neticesi olarak da milyarlarca dolarlık bir harcama ve emeğin boşa çıkması söz konusu. Halbuki uzaya gönderilen uzay aracı soğuktan da kendi elektriğini üretebilseydi aküsü şarj olduktan sonra kendini tekrar fırlatıp kendine yeni bir yer bulabilir ve böylelikle çalışmalar devam edebilirdi.

Kış aylarında yaşanan en büyük sorunlardan biriside araçların camlarının ve kapılarının buz tutmasıdır. Geceleyin oluşan soğuktan faydalanılarak harici bir akü kullanılıp bu akünün soğuklarda kendi kendini şarj ederek camlara yerleştirilen rezistanslar (ısıtıcılar) için gerekli olan enerji sağlanıp aracın soğuklarda kendi camlarını kendi ısıtarak buzlanmasını engellemesi sağlanabilir. Böylelikle hava sıcaklığı ne kadar düşük olursa olsun araçların camları asla buz tutmayacaktır.

Buzdolapları ve derin dondurucular içlerine konulan yiyecekleri muhafaza edebilmek için kendilerini sürekli soğutmak zorundadırlar ve bunun içinde sürekli enerji tüketirler. Bunların içlerinde ürettikleri soğuktan kendi elektriklerinin bir kısmını da üretebilselerdi normal duruma göre çok daha az enerjiye ihtiyaç duyacak ve elektrik tüketimleri daha da azaltılacaktır.

Sürekli sıcaklığa ihtiyaç duyan fırınlar(ekmek fırını, simit fırını vb.), kebab

lokantaları gibi yerlerde bu ürettikleri sıcaklıktan da faydalanarak kendi bünyelerinde tükettikleri elektrik enerjisinin bir kısmını karşılayacak şekilde elektrik üreterek üretim giderlerini aşağı çekip ekonomiye katkı sağlanabilir.

Özellikle kutup bölgeleri ve bu bölgelere yakın yerlerde geceleri hava sıcaklığının çok düşük olması sebebi ile gerek ısıtmada gerekse ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin sağlanmasında büyük sıkıntılar oluşmaktadır. Buralardaki evlerin duvarları elektrikli ısıtıcılar ile kaplanıp geceleyin dışarıdaki soğuktan faydalanarak kendi ürettiği elektrik ile evin iç duvarlarını ısıtarak hem ısı sorunu hem de elektrik sorunu çözülmüş olur. Böylelikle kutup bölgelerinde bile kurulacak olan bir kulübe bile kendi elektriğini sürekli olarak üretebilir.

4.5 Tartışma ve Yorum

Çalışmanın geliştirilebilir yönleri:

Bu düzenek;

- Seri bağlanan peltier maddeler yada daha yüksek sıcaklık farkına dayanıklı peltier maddelerin kullanılmasıyla elde edilen verim artırılabilir.
- Termoelektrik jeneratörler hareketli parçalar içermezler, aşınmazlar ve sessiz çalışırlar.
- Küçük hafif ve portatiflerdir.
- Kolay ve ekonomik ısıtma, soğutma, elektrik üretimi özelliklerine sahiptirler.
- Uzun ömürlüdürler ve bakım gerektirmezler. Her pozisyonda ve yerçekimsiz ortamda çalışabilirler.
- Termoelektrik yapılar üzerinde yapılan araştırmalar arttıkça uygulama alanları çoğalmakta ve genişlemektedir
- Güneş enerjisinden kaynaklanan ısı farkından yararlanılarak çalıştırılabilir.
- İklim sıcaklığının sıfır derecenin altında olduğu bölgelerde ocak ve soba çevresinde oluşan ısı farkından yararlanılarak çalıştırılabilir.
- Bacalarda oluşan ısı farkından yararlanılarak çalıştırılabilir.
- Katı yakıt ile çalışan kalorifer kazanlarının çevresinde oluşan ısı farkından yararlanılarak çalıştırılabilir.
- Yazın klimalı, iç dış sıcaklık farkı fazla olan ortamlarda pencere sistemi gibi tasarlanarak çalıştırılabilir.

➤ Būnyesinde soğuk hava deposu bulunduran mekânların duvarlarında oluşan ısı farkından yararlanılarak çalıştırılabilir.

➤ Düzenek taşınabilir hazırlanıp, yaz ve kış iklimlerine göre iç ve dış mekânlarda kullanılabilir.

Çalışmanın eksik yönleri:

➤ Enerji kaynağı olarak güneş kullanıldığında ısıtım gücünün yetersiz olduğu iklim şartlarında verim çok düşecektir.

➤ Elde edilen elektrik enerjini depolayacak ekonomik sistemler yoktur.

➤ Geleneksel yakıtlara göre maliyeti yüksek olabilir.

Çalışmanın geliştirilebilir yönleri:

Bu düzenek;

➤ Seri bağlanan peltier maddeler yada daha yüksek sıcaklık farkına dayanıklı peltier maddelerin kullanılmasıyla elde edilen verim artırılabilir.

➤ Termoelektrik jeneratörler hareketli parçalar içermezler, aşınmazlar ve sessiz çalışırlar. Küçük hafif ve portatiflerdir.

➤ Kolay ve ekonomik ısıtma, soğutma, elektik üretimi özelliklerine sahiptirler.

➤ Uzun ömürlüdürler ve bakım gerektirmezler. Her pozisyonda ve yerçekimsiz ortamda çalışabilirler.

➤ Termoelektrik yapılar üzerinde yapılan araştırmalar arttıkça uygulama alanları çoğalmakta ve genişlemektedir

➤ Güneş enerjisinden kaynaklanan ısı farkından yararlanılarak çalıştırılabilir.

➤ İklim sıcaklığının sıfır derecenin altında olduğu bölgelerde ocak ve soba çevresinde oluşan ısı farkından yararlanılarak çalıştırılabilir.

➤ Bacalarda oluşan ısı farkından yararlanılarak çalıştırılabilir.

➤ Katı yakıt ile çalışan kalorifer kazanlarının çevresinde oluşan ısı farkından yararlanılarak çalıştırılabilir.

➤ Yazın klimalı, iç dış sıcaklık farkı fazla olan ortamlarda pencere sistemi gibi tasarlanarak çalıştırılabilir.

➤ Būnyesinde soğuk hava deposu bulunduran mekânların duvarlarında oluşan ısı farkından yararlanılarak çalıştırılabilir.

➤ Düzenek taşınabilir hazırlanıp, yaz ve kış iklimlerine göre iç ve dış mekânlarda kullanılabilir.

Çalışmanın eksik yönleri:

- Enerji kaynağı olarak güneş kullanıldığında ısıtım gücünün yetersiz olduğu iklim şartlarında verim çok düşecektir. Elde edilen elektrik enerjini depolayacak ekonomik sistemler yoktur.
- Geleneksel yakıtlara göre maliyeti yüksek olabilir.



5. SONUÇ

Termal eklem ısı farklılığı esaslı iyonizasyon ile elektrik enerjisi üretiminde kullanılan dipol metal yapılar kısaca peltier yapılar olarak adlandırılır. Peltier yapılar, elektrik akımına maruz kaldıklarında, akımın yönüne bağlı olarak soğutma yada ısıtma yeteneklerine sahiptirler. Peltier yapılar, bu işlemin zıttı olarak plakaları için sıcaklık farkına maruz kaldıklarında, maruz kaldığı ısı enerjisi farkı ve yönüne bağlı olarak elektrik enerjisi üretme yeteneklerine sahiptirler.

Isıtma ve soğutma yetenekleri, elektrik enerjisi üretme yeteneklerine göre çok daha iyi olan peltierler, bu sebeple daha çok iklimlendirme uygulamalarında kullanılırlar. Bu çalışmada ise, peltier yapıların elektrik enerjisi üretim yetenekleri üzerinde özellikle durulmuştur. Isıl enerji farkları ile elde edilen elektrik enerjisi miktarı ne kadar az da olsa, çok sayıda peltier yapı seri ve paralel bağlanarak yeterli gerilim ve akım değerlerine ulaşabilmek mümkündür. Peltier yapıların maliyetinin ucuz olması ve bir çok alanda kaçınılmaz olarak sıcaklık farkı ortaya çıkaran uygulamaların olması, peltier yapılardan elektrik enerjisi elde edilebilmesinin önünü açmaktadır.

Çok soğuk bölgelerde konut içi ve dışı ortamlar arasında oluşan sıcaklık farkları, hava araçlarında dış ortam ve iç ortam arasında oluşan sıcaklık farkları gibi enerji seviye farklılıklarında peltier yapılar kullanılabilir. Bu ortamlarda kullanılan termal eklem ısı farklılığı iyonizasyon esaslı ile peltier yapılar ile elde edilen elektrik enerjisi, birçok ortamlar için asıl enerji kaynağı olamayabilir. Buna rağmen enerji verimliliğine çok önem verilen günümüz enerji uygulamalarında peltier yapılara yer verilmesi ise, enerji verimliliğine katkıda bulunacağı gibi, fosil yakıtların kullanımında bir miktar azalma sağlayabilir. Sistem özellikle fotovoltaiik sistemlerin kullanılmadığı soğuk bölgeler için iyi bir yenilenebilir enerji alternatifi olacaktır.

Sürekli sıcaklığa ihtiyaç duyan fırınlar(ekmek fırını, simit fırını vb.), kebab lokantaları gibi yerlerde bu ürettikleri sıcaklıktan da faydalanarak kendi bünyelerinde tükettikleri elektrik enerjisinin bir kısmını karşılayacak şekilde elektrik üreterek üretim giderlerini aşağı çekip ekonomiye katkı sağlanabilir.

Uzayda kullanılan uyduların ve uzay araçlarının mevcut elektrik enerji

ihtiyaçlarını bünyelerinde bulunan güneş panelleri ile sağlamaktadır. Bu yüzden daima güneşe ihtiyaç duymaktadırlar. Uzayın ortam sıcaklığı $-270\text{ }^{\circ}\text{C}$ dir. Uzayın bu her yerinde bulunan sabit soğukluktan faydalanılarak uzay araçlarının ve uydularının güneşe ihtiyaç duymadan kendi elektriğini üretebilir ve uzayın karanlık noktalarında bile işlevlerini sürdürebilirler.



KAYNAKLAR

- Özgün, H., "Termoelektrik jeneratörlerin çok düşük sıcaklıklarda teorik ve deneysel karakterizasyonu", Yüksek lisans tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2009).
- Bull, S. R. , "Renewable energy today and tomorrow", *Proceedings of IEEE*, 8:89 (2001).
- Yılmaz, U. "Gökçeada'da yenilenebilir enerji kaynaklarıyla elektrik üretimi", Yüksek Lisans Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2008).
- Pişkin, M.B. , "Yarıiletken alaşımlarının elektrik, termoelektrik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin incelenmesi ve sanayi uygulamaları. " Doktora tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2006).
- Kayabaşı, R. , "Jeotermal enerji kullanılarak termoelektrik jeneratör ile elektrik üretimi", Yüksek lisans tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2009).
- Wagner, M. , "Simulation of Thermoelectric Devices. " . PhD Thesis, *Technischen Universität Wien*, Viyana, Avusturya (2007).
- Yılmaz, S. , "Termoelektrik soğutucuda farklı soğutma uygulamalarının sistem performansına etkilerinin deneysel olarak incelenmesi", *Teknoloji* ,11(1):39-44 (2008).
- Ahuska, R. , Güler E. , Acar S. , Kasap, M. , "N tipi (Bi₂Te₃) Se₃ Yarıiletken kristallerinin 11-373 ° K sıcaklık aralığında termoelektrik karakterizasyonu", *Journal of Science*, 18 (3):481-487 (2005).
- Tugay, M. , "Dinamik yapıli parabolik yansıtıcı kullanarak termoelektrik dönüştürücüler ile sağlanan elektrik enerjisinde optimum düzeyin elde edilmesi", Yüksek lisans tezi, *Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kırıkkale (2010).
- Kasap, S. , "Thermoelectric effects in metals:thermocouples", *The University Of*

Saskatchewan, Canada, (1997-2001).

Atiya, H., “Review of solar thermoelectric energy conversion and analysis of a two cover flat-plate solar collector”, *Bachekor if science engineering, Massachusetts Institute of Technology*, Massachusetts (2007).

Ökten, E., “Mikrodenetleyici sıcaklık ve hız kontrollü termoelektrik yarıiletken üretim sistemi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2007).

Çakır, H. , “Güneş pili ile elde edilen elektrik enerjisinin termoelektrik soğutmada kullanımı”, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük (2006).

Aksu, C. , Canbay, “Kompozit yarıiletkenlerin termal elektrik ve optik özelliklerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Elâzığ (2005).

Erel, Ş., Kuçuk, B., Uluer, I., “The Use Of The Dynamic System To Get Optimum Power From The Photovoltaic Cells”, *ITU-ICAT Proceedings of ECOS 01*, (I): 459-464, (2001).

Goo, M., “Rowe D.M. Exportemal Evaluation of Prototype Thermoelectric Domestic Retriggerators”, *Applied Energy*, Spain (2005).

Metzger, T. ve thebener,R.P., “Modeling and cooling behavior of peltier coscodes. “ , *Cryogenics*,39(1999).

Riffat, S.B.Ma,X. ,” Thermoelectrics:a review of present and potential applications.” , *Applied Thermal Engineering*, 23(8):913-935(2003).

Chung, M., Miskovsky,N.M., Cutler,P.H.,Kumer, N., Patel,V., “Theoretical analysis of a field emission enhanced semiconductor thermoelectric cooler solid-state electronics”, *Solid-State Electronics*,47:1745-1751 (2003).

Bulut, H. , “Termoelektrik soğutma sistemleri”, *Soğutma Dünyası*, 31: 9-16 (2005).

- Kılıç, M. ,Yiğit,A., “Isı Transferi” , 2.Baskı, *Alfa Basım Yayın Dağıtım Ltd.Şti.*,İstanbul, (2004).
- Godfrey, S., “An introduction to thermoelectric coolers”, *Electronics Cooling*, 2(3):(1996).
- Çengel,Y.A., Boles, M.A. ,” Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik. “ , Çeviren:Taner Derbentli,*McGraw Hill-Literatür Yayıncılık*,İstanbul,(1996).
- Şişman, A. ve Özgün, H., “Thermoelectric generators and their applications for energy fromspace.” , *EFS, International Workshop on Energy From Space for a Sustainable Environment*, İstanbul, Turkey, (2008).
- Wijngaards, D. D. L., Wolffenbuttel, R. F., “Thermo-Electric Characterization of APCVD Polysil0.7Ge0.3 for IC-Compatible Fabrication of Integrated Lateral Peltier Elements”, *IEEE Transactions on Electron Devices*, DOI: 10.1109/TED.2005.846315, 5:1014-1025 (2005).
- Kandasamy S., Kalantar-zadeh K., Rosengarten G., Wlodarski W., “Modelling of a Thin Film Thermoelectric Micro-Peltier Module. “ , TENCON Conference, Melbourne, Australia (2004).
- Gurevich, Y. G., Logvinov, G. N., “Linear Theory of Thermoelectric Cooling”, *24th International Conference on*, Mexico City, Mexico (2005).
- Almedia, C.H. A., Veronese C.R.S., “Characterization of Thermoelectric Cell for Electric Power Generation”, *International Instrumentation and Measurement Technology Conference*, Pisa, Italy (2015).
- Kuen-Shen, J., “The improvement of thermoelectric element and people's livelihood applications.” , *8th International Microsystems, Packaging, Assembly and Circuits Technology Conference*, Taipei, Taiwan (2013).
- Mueller, D., Hildebrandt, S., Reifegerste, F., Zerna, T., “Dimensioning of Peltier Cooling System for Laser Applications in an Electric Cabinet”, *38th International Spring Seminar on Electronics Technology*, Eger, Hungary,

(2015).

Hermes, C. J. L., Barbosa, J. R., “Thermodynamic Comparison Of Peltier”, Stirling, And Vapor Compression Portable Coolers”, *Applied Energy*, 91:51–58 (2012).

Talaat, M., “Electric Analog of Transport Phenomena in a Thermoelectric Generator”, *Electric Analog of Transport Phenomena*, (1961).

Heaton, A. G., , “Thermo-Electrical Engineering.”, *The Institution of Electrical Engineers*, 1:3867(1962).

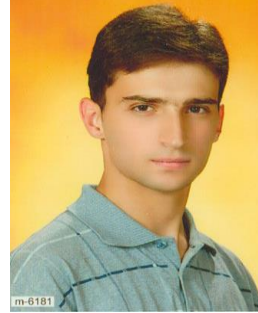


ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Suat Zafer MERİÇELLİ

Doğum Yeri ve Tarihi : Ankara / 15.03.1983



Eğitim Durumu

Lisans Öğrenimi : Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisi

Bildiği Yabancı Diller : İngilizce

İş Deneyimi

Çalıştığı Kurumlar : SÖRMAŞ A.Ş. (06.03.2006-24.04.2008)

Bilecik İl Özel İdaresi (24.04.2008 ‘ den beri halen çalışıyor.)

İletişim

Adres : Bilecik İl Özel İdaresi Merkez/Bilecik

Tel : 0228 212 10 80 (Dahili : 255)

E-Posta Adresi : suatmericelli@mynet.com