

TERMOELEKTRİK MODÜL İLE SOĞUTMA  
VE DENEYSEL ELEKTRİK ÜRETİMİ

Gökhan YALÇINKAYA

Yüksek Lisans Tezi

Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

Kasım - 2008

TERMOELEKTRİK MODÜL İLE SOĞUTMA  
VE DENEYSEL ELEKTRİK ÜRETİMİ

Gökhan YALÇINKAYA

Dumlupınar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Abdullah KEÇECİLER

Kasım – 2008

## KABUL ve ONAY SAYFASI

Gökhan YALÇINKAYA'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı TERMOELEKTRİK MODÜLLE SOĞUTMA VE DENEYSEL ELEKTRİK ÜRETİMİ başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

...../...../ 2008

Üye : Yrd. Doç. Dr. Abdullah KEÇECİLER

Üye : Doç. Dr. Asım OLGUN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Nimeti DÖNER

Fen Bilimleri Enstitüsün Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... gün ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. M. Sabri ÖZYURT  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## TERMoeLEKTRİK MODÜL İLE SOĞUTMA VE DENEYSel ELEKTRİK ÜRETİMİ

Gökhan YALÇINKAYA

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2008

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Abdullah KEÇECİLER

### ÖZET

Günümüz modern bilgi toplumunun; teknoloji, sanayi, ulaşım, iletişim gibi hayatın vazgeçilmez parçaları haline gelmiş her faaliyeti için ihtiyaç duyduğumuz enerji, bugün artık en kıymetli ve önemli bir kaynak haline gelmiştir. Enerji ihtiyacının sürekli artması buna karşın mevcut kaynakların kısıtlı ve tükenbilir olması insanoğlunu alternatif enerji kaynaklarını bulma ve geliştirme yoluna itmektedir. Günümüzde soğutma ve ısıtma sistemleri birçok alanda kullanılmaktadır. Ama bu sistemlerin gerek çok yer kaplaması gerek gürültülü çalışmaları, gerek hareketli parçaları içermeleri, gerekse arıza risklerinin yüksek olması günümüzde temiz enerji kaynağı olarak araştırmaların, peltier yarı iletkenine yönelmesine yol açmıştır. Yarı iletkenin termoelektrik etkiyle çalışması, sıcaklığın denetlenebilmesi ve sadece enerji olarak elektrik enerjisinin kullanılması, boyutunun da küçük olması; tıptan, askeri alanlara kadar birçok sektörde tercih edilmesinin bir nedenidir.

Bu çalışmanın amacı; peltier yarı iletken malzemesinin teknik karakteristiklerini inceleyerek ısıtma ve soğutma ile beraber, elektrik üretim yöntemlerini belirlemek, en verimli çalışma modlarının ve kullanım alanlarının tespitini sağlamaktır. Peltier malzemesinin ısınan ve soğuyan yüzeylerdeki sıcaklık değerlerinin girişe uygulanan gerilimin oranına, malzemenin boyutlarına, kullanım alanlarına, dış faktörlere göre kapasite değişimi incelenerek tasarım kriterleri oluşturulacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Elektrik, Isıtma, Soğutma, Termoelektrik, Yarı iletken.

## **COOLING WITH THERMO-ELECTRIC MODULE AND EXPERIMENTAL GENERATION OF ELECTRICITY**

Gökhan YALÇINKAYA

Mechanical Engineering, Master Thesis, 2008

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Abdullah KEÇECİLER

### **SUMMARY**

In today's modern, information society, energy which we need for all kinds of activities such as technology, industry, transport, and communication that cannot be quit in our social life has become the most valuable and vital source. Continuously increasing need for energy, restricted and consumable present sources urge people to find and develop alternative energy sources. Today, cooling and heating systems are used in many areas. However, these systems occupy both a lot of space and they make much noise. Moreover, they have movable parts and also there is high risk that they break down. Therefore, today's researches related to clean energy sources are directed to 'peltier' semi-conductive material. This semi-conductive material works on thermo-electric power and the temperature can be controlled. It uses electricity as energy supply and it has got a small size. These are the reasons for being preferred in different sectors varying from medicine to military.

The aim of this study is to determine the methods of producing electricity and the most efficient working modes together with the areas of its use, by examining the technical characteristics of 'peltier' semi-conductive material. Another purpose of the study is to form criteria for designing according to the ratio of the tension applied to the start, the temperature values in the surfaces heated and cooled, the dimensions of the material, the areas of its use and external factors.

**Keywords:** Electricity, Heating, Refrigeration, Semiconductivity, Thermoelectric.

## TEŞEKKÜR

Üniversite hayatımın ve tez çalışmamın tamamında bana yön veren desteğini esirgemeyen kişiliğiyle ve çalışmalarıyla kendime örnek aldığım çok değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Abdullah KEÇECİLER'e teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca bana destek veren doğruluğun ve çalışmanın önemini bana yaşayarak öğreten aileme, büyüklerime ve çok değerli arkadaşım Vildan Yavuz'a teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iv
SUMMARY .....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ .....	1
1.1. Sistemin Tanımı .....	2
1.1.1. Soğuk eklemdeki ısı hareketi .....	3
1.1.2. Sıcak eklemdeki ısı hareketi.....	3
1.1.3. Çalışma prensibi ve soğutma .....	4
1.1.4. Isı transferi .....	6
1.1.4.1. İletim .....	6
1.1.4.2 Taşınım.....	6
1.1.4.3. Işınım.....	7
1.2. Araştırmanın Amacı.....	7
2. PELTİER.....	8
2.1. Literatür Araştırması .....	8
3. SOĞUTUCULAR.....	13
3.1. Soğutuculara Genel Bir Bakış.....	13
3.2. Yarı İletkenlerin Özellikleri .....	14
3.3. Yarı İletken Elemanların Isı Kontrolü.....	15
3.4. Genel Olarak Soğutucu Çeşitleri.....	17
3.4.1. Isıl emiciler (heatsink).....	17
3.4.2. İyi bir ısı dağıtıcısının özellikleri .....	18
3.4.3. Fanlar .....	18
3.4.4. Su soğutma (Su bloğuyla) .....	19
3.4.5. Isı borusu (Heat Pipe) .....	20
3.4.6. Gaz soğutma.....	21
3.5. Soğutucu Seçiminde Bakılması Gereken Hususlar .....	21
3.6. Pasif Soğutma ve Aktif Soğutma .....	22
3.7. Termoelektriğin Tarihçesi.....	23
3.8. Termoelektrik Modül Teknolojisi .....	25
3.9. Soğutucu Yapısı ve Uygulama Örnekleri.....	29

## İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.10. Termoelektrik Isıtma.....	34
3.11. Kullanım Alanları .....	34
3.11.1. Elektronik.....	34
3.11.2. Elektro-optik .....	34
3.11.3. Fizik .....	34
3.11.4. Kimya.....	35
3.11.5. Biyomedikal.....	35
3.11.6. Diğer.....	35
3.12. Avantaj ve Dezavantajları.....	37
3.12.1. Avantajları.....	37
3.12.2. Dezavantajları .....	37
3.13. Termoelektrik Modüllerin Seçim ve Tasarımında Isıl ve Elektriksel Parametreler.	38
3.14. Tasarım Kriterleri.....	42
3.14.1. DT (°C), sıcaklık farkı .....	42
3.14.2. Q (W), ısı aktarım (Pompalama) gücü .....	42
3.14.3. I (A), modül akımı .....	42
3.14.4. V (V), modül gerilimi .....	42
3.15. Termoelektrik Üreteçler (TEG).....	44
4. DENEYİN TANITIMI, YAPILIŞI VE SONUÇLARININ ALINMASI .....	46
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	54
KAYNAKLAR DİZİNİ .....	60



## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Çapraz geçiş. ....	4
1.2. Peltiere enerji uygulandığında akım geçişi. ....	4
1.3. Termoelektrik soğutucuda p tipi ve n tipi yarıiletkenin kullanımı. ....	6
1.4. Isı iletim katsayısı. ....	7
3.1. Termoelektrik modüller. ....	13
3.2. Isıl emici.....	17
3.3. Isı dağıtıcı.....	18
3.4. Fan.....	19
3.5. Isı borusu.....	20
3.6. Gaz soğutma.....	21
3.7. Seebeck deneyi ve termoelektrik çifti (TC). ....	24
3.8. Peltier deneyi ve termoelektrik soğutucu (TEC). ....	25
3.9. N-tipi termoelektrik eleman. ....	26
3.10. Farklı yarı-iletken malzemelerin sıcaklığa bağlı verimleri. ....	26
3.11. P-tipi termoelektrik eleman.....	27
3.12. Yalnız N-tipi termoelektrik elemandan oluşan sıra.....	27
3.13. N- ve P-tipi termoelektrik elemanların ardışık dizilişiyle oluşan sıra. ....	28
3.14. 17 Elemanlı bir modülün iç yapısı. ....	28
3.15. Termoelektrik soğutucu üzerindeki sıcaklık dağılımı. ....	29
3.16. 27 W Soğutma gücünde “Havadan-Havaya” soğutucu.....	30
3.17. “Havadan-Havaya” soğutucu bağlantısı.....	30
3.18. “Sudan-Havaya” soğutucu bağlantısı.....	31
3.19. 61 W soğutma gücünde “Sudan-Havaya” soğutucu. ....	31
3.20. “Havadan-Suya” soğutucu bağlantısı.....	31
3.21. 31W soğutma gücünde “Soğuk Plakalı” soğutucu.....	32
3.22. Termoelektrik CPU soğutucusu ve DC besleme ünitesi. ....	32
3.23. IC kılıfındaki mW soğutucu.....	32
3.24. TEC ile çalışan lazer diyotu. ....	33
3.25. 50 W soğutma gücünde bir “Buz Sondası”.....	33
3.26. Üç katlı modül.....	34
3.27. Piknik amaçlı bir piknik soğutucu.....	35

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.28. Mini bir buzdolabı.....	35
3.29. Lazer ve medikal uygulamalar için sıvı soğutucu.....	36
3.30. Arabalar için mobil termoelektrik soğutucu.....	36
3.31. Bir CPU soğutulması için tasarlanmış termoelektrik soğutucu.....	37
3.32. Vitrin tipi içecek soğutucusu.....	37
3.33. Serbest taşınımlı hava soğutmalı ısı kaynağı.....	38
3.34. Zorlanmış taşınımlı hava soğutmalı ısı kaynağı.....	39
3.35. Zorlanmış taşınımlı sıvı soğutmalı ısı kaynağı.....	39
3.36. Sudan havaya bir termoelektrik modül.....	39
3.37. Soğuk plakalı termoelektrik soğutucu.....	40
3.38. Tek kademeli termoelektrik soğutma modülleri.....	41
3.39. Çok kademeli termoelektrik soğutma modülleri.....	41
3.40. Çalışma akımı belirleme grafiği.....	44
4.1. Termoelektrik modülün şematik yapısı.....	46
4.2. Deney üzerindeki fanlar.....	47
4.3. Peltier.....	48
4.4. Örnek deney şeması.....	48
4.5. Peltierlerin yerleştirilmesi.....	49
4.6. Fan, alüminyum levha ve peltierin yerleşimi.....	50
4.7. Fanların plakalar üzerine yerleştirilmesi.....	50
4.8. Deneyin genel görünümü.....	51
4.9. Elektronların akışı.....	51
4.10. Sigortaların yerleştirilmesi.....	52
4.11. Deneyin son hali.....	53
5.1. Peltier modülün zamana göre soğuk kenar sıcaklık dağılımı.....	54
5.2. Modül üzerine uygulanan gerilim- akım- sıcaklık dağılımı.....	55
5.3. Uygulanan gerilime göre güç ve sıcaklık değişimi.....	55
5.4. Tek modül üzerinde sıcaklık-zaman-gerilim grafiği.....	58

**ÇİZELGELER DİZİNİ**

<b><u>Çizelge</u></b>	<b><u>Sayfa</u></b>
3.1. Elektronikte yararlanılan yarı iletkenler ve kullanılma yerleri .....	16
3.2. Melcor CP1. 4-127-045L modülününe ait değerler. ....	43
5.1. Deneysel uygulamada alınan değerler. ....	56
5.2. Tek modül üzerinde akım-gerilim-sıcaklık dağılımı. ....	57

**SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ**

<b><u>Kısaltmalar</u></b>	<b><u>Açıklama</u></b>
STK	Soğutma Tesir Katsayısı
TEC	Termoelektrik Soğutma
DC	Güç Kaynağı
COP	Soğutma Tesir Katsayısı
PCL	Peltier Akım Taşıyıcıları
TE	Termoelektrik Element
AERO	Elektriksel Bir Anolojiye Dayanan Bilgisayarlı Hesaplama
RPM	Bir Dakikada Dönüş Hızı
CFM	Bir Dakikada Kaç Fit Küp Hava Üflediğini Ölçer
RthG	İç Termal Direnç
RthM	Montaj Yüzeyinin Termal Direnci
RthK	Soğutucunun Termal Direnci

## 1. GİRİŞ

Termoelektrik soğutucular, bir nesnenin sıcaklığını çevre sıcaklığının altına düşürürken, çevredeki sıcaklık ne olursa olsun, nesne sıcaklığını dengede tutarlar.

Termoelektrik soğutucu modül, yüzey alanı başına 3-6 watt/cm<sup>2</sup>'lik bir pompalama yapabilir. Termoelektrik soğutucular, bazen termoelektrik modül veya Peltier soğutucusu diye de adlandırılabilir. Termoelektrik soğutucular, küçük bir ısı pompası gibi çalışan yarı iletkenlerdir. Bir doğru akım kaynağından sağlanan küçük bir voltaj sayesinde, ısı, modülün bir ucundan diğerine doğru hareket eder. Böylece modülün bir yüzü ısınırken, diğeri de eşzamanlı olarak soğumaya başlar. Bu olay, doğru akım kaynağının artı ve eksi kutuplarının yer değiştirmesiyle aksine çevrilebilir. Bir termoelektrik modülü, kullanım amacına göre ısıtıcı veya soğutucu olarak kullanılabilir. Termoelektrik soğutucular ısı transfer elemanlarının aktif bir soğutma sistemi olup, miliwatt'tan kilowatt'a kadar değişen bir yelpazedeki uygulamalar için kullanılabilir[1].

Modülün soğuk kısmı -40 °C'ye ulaştığında, ısı pompalanması kesilir ve ısı pompası özelliğini kaybeder (verim sıfıra düşer). Bu yüzden -5 ila -15 °C arasında en verimli olur. Sıcaklık bu noktada en yüksek değere ( $\Delta T$ ) ulaşır. Eğer soğuk kısma azar azar ısı eklenmeye başlanırsa, bu kısmın sıcaklığı, ısı musluğunun sıcaklığına eşitlenene kadar yükselir. Bu noktada termoelektrik soğutucular, en yüksek ısı pompalama kapasitelerine ulaşırlar. Termoelektrik soğutucular, evde kullandığımız buzdolaplarıyla aynı termodinamik yasalara göre çalışır ve bazı farklılıklar gösterir. Buzdolabında kullanılan dondurucu sıvının yerini, bir yarı iletken alır. Yoğuşturucu da bir ısı transfer elemanı ile yer değiştirir. Ayrıca kompresörün yerini de doğru akım kaynağı alır. Termoelektrik modüle doğru akım kaynağının bağlanması, elektronların yarı iletken nesneden geçmesini sağlar. Maddenin soğuk tarafında, elektron hareketi sayesinde ısı soğurular ve sıcak uca gönderilir. Sıcak olan uca ısı transfer elemanı bağlandığı için, ısı, ısı transfer elemanından çevreye verilir. Termoelektrik soğutucuların başlıca kullanım alanları mikroişlemciler, buzdolapları, gece görüş teçhizatları vb. olarak verilebilir[1].

Termoelektrik soğutucular (Peltier modülleri) genellikle küçük hacimlerin soğutulması uygulamalarında güvenilir, sessiz ve düzgün çalışır, çevre dostudur ve sıcaklık kontrolünün önemli olduğu çalışmalar için uygundur. Termoelektrik soğutucuların en önemli sakıncaları soğutma tesir katsayılarının (STK) kompresörlü soğutma sistemlerinden düşük olması ve pahalı olmalarıdır. Teknolojideki gelişmelerle termoelektrik modül fiyatlarında azalma görülmektedir.

1834'te Peltier iki metalin etkisinde bir akım geçirildiğinde, akım bir yönde aktığında ısının yutulduğunu, akımın yönü ters çevrildiğinde ise ısının açığa çıktığını bulmuştur. Yarı iletken halinde elektron enerji farkı daha büyük olabilir ve sistemde daha yüksek elektro motor kuvveti (e. m. k) meydana getirir[2].

Bu e.m.k'in boyutu sadece eklemi meydana getiren malzemeye değil, eklemin sıcaklığına da bağlıdır. Peltier etkisinden faydalanarak "Peltier effect" p-n eklemelerinin seri olarak bağlanmasıyla TEC "Termoelektrik soğutucu" modül oluşturulur[2].

TEC özellikle yeni nesil bilgisayar işlemcilerinin soğutulmasında ve araç tipi buzdolaplarının yapımında kullanılır. Bağlantı uçlarına DC akım uygulandığı zaman, bir yüzey soğurken diğer yüzey ısınır. Watt olarak güçlerine ve boyutlarına göre çeşitli tip ve modellerde üretilir[2].

Bu modüllerinin verimi çok düşüktür; bu da onların genel amaçlı elektrik jeneratörü olarak kullanılmalarını engellemektedir. Ancak kalorimetre uygulamaları, ya da DC besleme (termal batarya) olarak bazı özel durumlarda faydalanılmaktadır. Bunlar arasında uzay araçları elektroniği, fırın/kazan/kalorifer kontrol elektroniği, jeotermal ve güneş enerjisi gibi uygulamalar sayılabilir. Üzerinde çalışılan bir diğer uygulama da motor egzoz manifoldu üzerinden geri kazanımlı alternatif projesidir.

Bu çalışmada peltier yarıiletken malzemesinin termoelektrik etkisinden yararlanarak soğutucu bir sistem tasarlanmıştır. Peltier yarıiletkenini çalıştırmak için yüksek güce sahip bir doğru akım güç kaynağından faydalanılmıştır. Peltier burada bir ısı pompası olarak çalışmaktadır. Peltier üzerinden akım geçtiğinde bir yüzeyi soğurken diğer yüzeyi ısınmaktadır. Malzemenin ısınan yüzeyinin sıcaklığı bir fan yardımıyla kontrol altında tutulmaktadır.

### 1.1 Sistemin Tanımı

İki soğutma metodu arasındaki farkı göstermenin en iyi yolu sistemleri tanımlamaktır. Sıradan bir soğutma sistemi üç temel parça içerir; buharlaştırıcı (evaporator), kompresör (compressor) ve yoğunlaştırıcı (condenser). Buharlaştırıcı veya soğuk kısım, genişmesine, kaynama ve buharlaşmasına izin vererek soğutucuda basınç oluşturan parçadır. Bu sıvı halden gaz haline değişim gibi çalışır ve bu esnada enerji (ısı) emilir. Kompresör soğutucu pompası, gazı sıvı bir hale yeniden sıkıştırır. Yoğunlaştırıcı, buharlaştırıcıdaki sıkıştırma esnasında üretilen fazla ısıyı çevreye veya atmosfere atar[3].

Termoelektrik modül, elektriksel olarak seri bağlı, ısıl olarak paralel bağlı P ve N tipi yarı iletken malzemelerden oluşur[4]. Modülün alt ve üst yüzeyi seramik kaplıdır. Seramik, ısıl

olarak iletken, elektriksel olarak yalıtkan özellik sağlar. Termoelektrik modül yüksek soğutma/ısıtma verimliliğine sahip olup sessiz çalıştığı için günümüzde pek çok uygulamada tercih edilmektedir[5,6]. Örneğin, piyasada termoelektrik modül kullanarak tasarlanmış portatif oto buzdolapları ve CPU soğutucuları bulunmaktadır. Tüm termoelektrik soğutma sistemlerinin temel yapı taşı, bir DC gerilim kaynağından beslenen termoelektrik elemandır[4]. Bu eleman, yüksek katkılı bir yarı-iletken malzemenin, sıcak ve soğuk yüzeyleri oluşturan iki plaka arasına preslenmesinden meydana gelir. Yarı-iletken malzeme olarak en çok bizmut-tellürit ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) kullanılmakla birlikte, bazı özel uygulamalarda kurşun-tellürit (PbTe), silisyum-germanyum (SiGe) ya da bizmut-antimon (Bi-Sb) alaşımlarından da faydalanılmaktadır. Bizmut-tellürit, yüksek termoelektrik verimi ve uygun sıcaklık aralığı nedeniyle tercih edilmektedir[7].

Termoelektrik modül, “Peltier etkisi” veya “Seebeck etkisi” ortaya çıkarabilecek şekilde çalıştırılabilir. Peltier etkisini gözlemek için termoelektrik modülün bağlantı uçlarına bir doğru gerilim uygulanır. Böylece yüzeylerden biri ısınırken diğeri soğur. Seebeck etkisini gözlemek için harici bir ısı kaynağı yardımıyla modülün bir yüzeyi ısıtılır, diğeri ise soğutulur. Yüzeyler arasındaki sıcaklık farkından dolayı modül elektrik üretmeye başlar. Bu projede, termoelektrik modülün etkisi ile elektrik üretilmesi araştırması yapılacaktır.

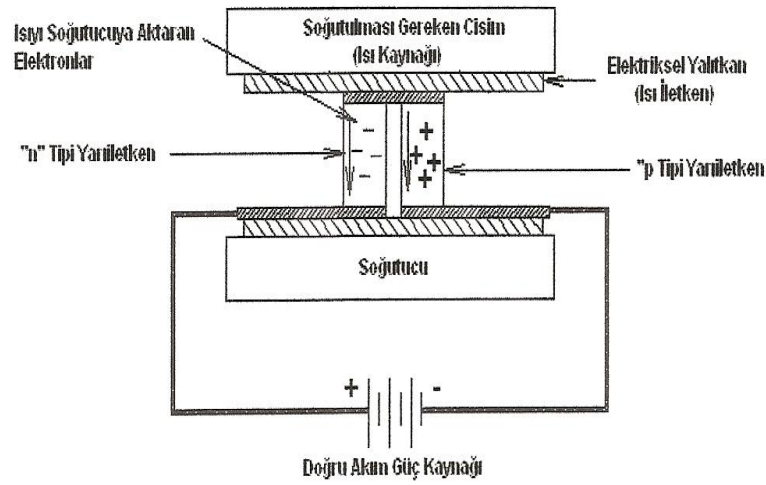
Anlatıldığı gibi termoelektrik modül, elektrik uygulandığında her iki yüzeyinde de farklı ısı oluşan bir elemandır. Ayrıca yüzeylerin soğutulup veya ısıtılmasıyla da ters etki olarak elektrik oluşmaktadır. Modülün bu özelliğinin araştırılması çalışmamıza konu olmuştur. Bu yüzden önem arz etmektedir.

### **1.1.1 Soğuk eklemdeki ısı hareketi**

Soğuk eklemde (jonksiyonda), ısı enerjisi elektronlar vasıtasıyla düşük enerji seviyesindeki p-tipi yarıiletken elementten daha yüksek bir enerji seviyesindeki n-tipi yarıiletken element seviyesine geçiş yapar. Şekil 1.1’de bu görülmektedir. Güç kaynağı sistem içinde elektronların hareketini gerçekleştirecek enerjiyi sağlar[3].

### **1.1.2 Sıcak eklemdeki ısı hareketi**

Sıcak yüzeyde, elektronların yüksek enerji seviyesindeki n-tipi yarı iletken elementten daha düşük bir enerji seviyesindeki p-tipi yarı iletken element üzerinde hareket etmesiyle bir ısı düşüşü olur, böylece ısı enerjisi atılmış olur. Termoelektrik soğutucular ısı pompasıdır; hareketli parça, akışkan ve ya gaz içermez. Termodinamik uygulamasının ana kuralları bu cihazlar sıradan ısı pompaları gibidirler, soğucu emerler ve diğeri cihazlar gibi ısı enerjisini transfer ederler[3].

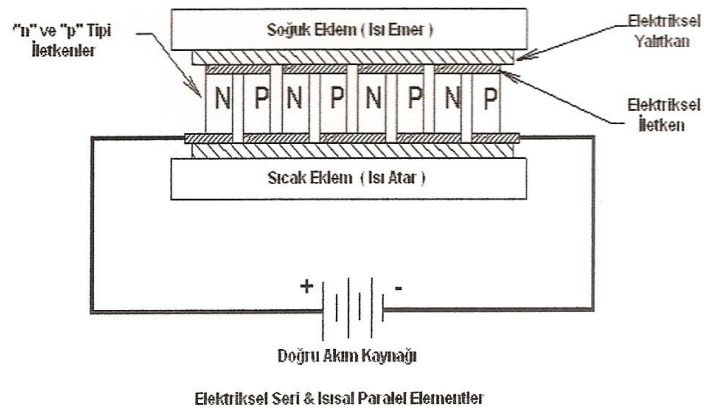


Şekil 1.1 Çapraz geçiş.[3]

### 1.1.3 Çalışma prensibi ve soğutma

Sıcaklık ölçümü için sık kullanılan standart bir termocouple kullanılması, bir termoelektrik soğutma sisteminin iyi anlaşılmasına yardımcı olacaktır. Bu tip termokupullar birbirine benzemeyen iki telin birbirine bağlantısıyla oluşturulmuştur[3].

İki eklem sıcaklığı sabit tutulmak zorundadır. Bunun nedeni, belli bir sıcaklık değeri aşırsa malzemenin hangi özelliğini yitirmesidir. Diğer eklem ölçüm yapılacak nesnenin üzerine monte edilmiştir. Bu zincirleme düşünceyi ters çevirirsek, tasarlanan bu bir çift eklem, üzerine uygulanan elektrik enerjisi ile peltierin bir yüzeyi soğuturken, diğer yüzeyinin ısınmasına yol açmaktadır. Şekil 1.2’de bu durum açıklanmıştır[3].



Şekil 1.2 Peltiere enerji uygulandığında akım geçişi[3].



Yapılacak deneysel çalışmalar için önce sistemimizin metodu ve kullanılacak malzemeler tespit edilmiştir, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi Merkez kampusu Mühendislik laboratuvarlarında enerji bölümünde sistemin kurularak çalıştırılması planlanmıştır.

Termoelektrik prensibine dayalı bir soğutucunun pratik olarak gerçekleştirilebilmesi için, yapısını yukarıda açıkladığımız modüllerin, ısı transferi yapılacak yüzeylere termik ve mekanik olarak bağlanması gerekmektedir. Başka bir deyişle, modülün soğuk yüzeyi soğutulacak nesne ile, sıcak yüzeyi ise ısıyı pasif olarak taşıyacak ortam ile (hava veya su) irtibatlandırılır. Isıyı taşıyan bağlantı elemanlarının ısı direnci nedeniyle her zaman, soğutulan cisim modülün soğuk yüzeyinden daha sıcak, pasif soğutmada kullanılan hava ya da su ise sıcak yüzeyden daha soğuk olacaktır. Başka bir deyişle soğuttuğumuz nesne ile ortam arasındaki sıcaklık farkı, modülün yüzeyleri arasında oluşturulan sıcaklık farkından daha düşük kalacaktır. Bu nedenle ısı aktarma elemanlarının mümkün olduğunca düşük ısı dirence sahip olması arzulanır. Her iki yönde de etkisi bulunan modüllerle küçük bir deneysel düzenek oluşturulacaktır. Oluşturulan devre üzerinden doğru akım geçtiğinde, jolue ısı ile birlikte birleşme noktasından ısı emilirken, diğer birleşme noktasından ısı açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan ısı miktarı, devreden geçirilen doğru akımla doğru orantılıdır.

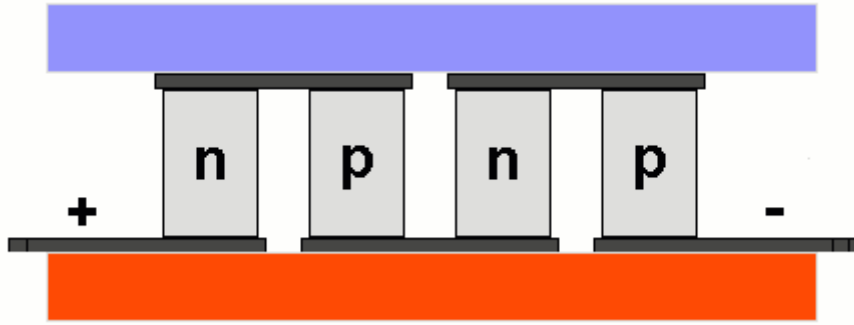
Dışarıdan verilen elektriksel güç, elektronların sistem içinde hareket etmeleri için gerekli enerjiyi sağlamakta ve böylece hareketlenen elektronlar değişen enerji düzeyleri arasında ilerlerken ısı transfer etmekte başka bir deyişle ısı taşımaktadır. 220 V girişli, 2 adet 15 V çıkışlı yaklaşık 1 KW güce sahip trafo ile 1 adet DC 50 V (Voltmetre), 1 adet DC 100 A (Ampermetre), 2 adet dijital termometre ve 8 adet peltier modülle, elektrik üretmek için yeterli değerdedir. Bu proje ile verilen ısı ile elektrik elde edebileceğimiz ve kullanımda verimliliğimiz belirtilecektir.

Dışarıdan verilen elektriksel güç arttırılırsa, hareketli elektron sayısı da artacağından soğuk yüzey ile sıcak yüzey arasındaki ısı transfer miktarı da artacaktır. Eğer akım yönü ters çevrilirse, bu işlem tersine işleyecek ve sıcak yüzeyle, soğuk yüzey kendi arasında yer değiştirecektir. Yüzeyler arasındaki sıcaklık farkından dolayı modül elektrik üretmeye başlayacaktır.

### 1.1.4 Isı transferi

Termoelektrik soğutma çifti iki yarı iletkenen meydana gelmiştir. Bizmut-tellür tarafında meydana getirilen eklemlerden dolayı, n-tipi bizmut-tellür (bismuth telluride) tarafında elektronlar ve p-tipi bizmut-tellür (bismuth telluride) tarafında delikler toplanırlar. Soğutma olayı devreden geçen akım ve p-n çifti sayısı ile doğru orantılıdır[3].

Peltier ısısı, akımın n'den p'ye geçişinde (mavi kısım - kutup) ortamdaki ısıyı alır; aldığı bu ısıyı p'den n'ye geçişinde (kırmızı kısım + kutup) dış ortama salar. Şekil 1.3'de bu durum açıklanmıştır[3].



Şekil 1.3 Termoelektrik soğutucuda p tipi ve n tipi yarıiletkenin kullanımı[3].

Isı geçişi fiziksel bir olaydır ve ısı geçiş şekilleri aşağıdaki gibidir;

#### 1.1.4.1 İletim

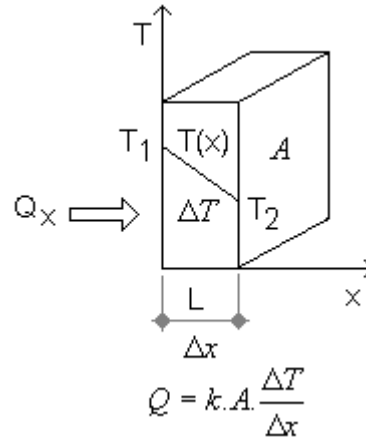
Bu ısı geçişi türünde, ısı bir katı ya da durgun bir akışkan içinde iletilir. İletim katılarda moleküllerin titreşim ve serbest elektronların hareketi ile olurken akışkanlarda moleküller difüzyon yolu ile meydana gelir. Isı iletimi temel kanunu Fourier tarafından verilmiştir. Bu kanuna göre iletilen ısı miktarı, ısı akışına dik doğrultudaki ısı akış alanı ve ısı akışı doğrultusundaki sıcaklık gradyanı ile doğru orantılıdır. Bu kanunla kapalı bir şekilde ortaya çıkan orantı sabiti ise ısı iletim katsayısı adını alır. Şekil 1. 4'te bu durum açıklanmıştır[2].

#### 1.1.4.2 Taşınım

Bu tür ısı geçişinde ısı bir akışkanın hareketi yardımıyla taşınır. İçinde durgun hava bulunan bir ortama yüzeyleri sıcak olan bir cisim konduğunda bir hava hareketi oluşur. Bu hareket dünyanın çekim alanında yoğunluk farklarından doğar. Bu akışa ve buradaki ısı taşınımına doğal taşınım denir[2].

### 1.1.4.3 Işınım

Eğer farklı sıcaklıklardaki iki cisim içinde mutlak vakum olan bir ortamla birbirinden ayrılmış olsalar ve bu cisimlerin birbirini gören yüzeyleri dışındaki diğer yüzeyleri adyabatik olarak yalıtılmış olsa bile zamanla bu cisimlerin sıcaklığının birbirine eşitlendiği yani aralarında bir enerji alışverişi olduğu gözlenir. Bu ısı geçişi türüne ısı ışınımı denir. Isı ışınımı elektromanyetik ışınım olayının bir parçasıdır. Burada enerji atomaltı parçacıklarının yayılımı ile taşınır. Bu yayılım cismin sıcaklık düzeyinin yükseltilmesi ile artar. Mutlak sıfır sıcaklığının üzerinde her sıcaklıkta cisimlerin ışınım yaptığı bilinmektedir[2].



**Şekil 1.4** Isı iletim katsayısı[2].

## **1.2 Araştırmanın Amacı**

Termoelektrik modül, “Peltier etkisi” veya “Seebeck etkisi” ortaya çıkarabilecek şekilde çalıştırılabilir. Peltier etkisini gözlemek için termoelektrik modülün bağlantı uçlarına bir doğru gerilim uygulanır. Böylece yüzeylerden biri ısınırken diğeri soğur. Seebeck etkisini gözlemek için harici bir ısı kaynağı yardımıyla modülün bir yüzeyi ısıtılır, diğeri yüzeyi ise soğutulur. Yüzeyler arasındaki sıcaklık farkından dolayı modül elektrik üretmeye başlar. Bu çalışmada, termoelektrik modülün Seebeck etkisi ile elektrik üretimi deneysel olarak araştırılacaktır.

Bu çalışmanın amacı; peltier yarı iletken malzemesinin teknik karakteristiklerini inceleyerek ısıtma ve soğutma ile beraber, elektrik üretim yöntemlerini belirlemek, en verimli çalışma modlarının ve kullanım alanlarının tespitini sağlamaktır. Peltier malzemesinin ısınan ve soğuyan yüzeylerdeki sıcaklık değerlerinin girişe uygulanan gerilimin oranına, malzemenin boyutlarına, kullanım alanlarına, dış faktörlere göre kapasite değişimi incelenerek tasarım kriterleri oluşturulacaktır.

## 2. PELTİER

### 2.1 Literatür Araştırması

Landecker ve Findlay (1961) tarafından geliştirilen bir metot, (birkaç saniye süresince 30 ms) yakın geçici geçerli darbelerin geçişinden sonra bir termoelemanın (thermojunction) sıcaklığını ölçmek için kullanılır[3].

Sonsuz bir uzantının kolları olan bir termokupl kullanıldığında dikdörtgen akım dalgaları için teorik olarak gösterilmiştir ki, soğuk bağlantının sıcaklığı yalnızca bir parametre ölçüsünün fonksiyonudur.  $C = N_T(I = \text{darbe akımı}, T = \text{akım süresi})$  Bu parametrenin en küçük parçası için sıcaklık değeri  $C_{min}$  olur ve ayrıca  $I$  ve  $T$ 'nin her birinin ayrı ayrı değerleri seçildiğinde de bu sıcaklık azalmaz. Bu dikdörtgen bağlantılı darbelerde soğutma katsayısının (seebeck'in) sıcaklık bağıntılarının çeşitli formları hesaplanmıştır. Logaritmik bağıntının şartları, Thomson etkisini hesaba katıp zamanın bir fonksiyonu olarak soğutma katsayısı potansiyelinin bir ölçümünden çift ve sıcaklık dağılımı boyunca muhtemel hesabının yapılması olarak geliştirilmiştir. Ayrıca bu göstermiştir ki; ilk akım dalgası üzerine bir saniyelik dikdörtgen akım dalgası zorla yüklendiğinde, sıcaklık tek bir darbeye göre, ortaya çıkan birleşik dalga en az iki kere düşer[3].

Sonuç olarak, birçok metodun yardımıyla şu ispatlanmıştır: Bağlantının düşük geçici sıcaklığı düşerken, akım için uygulanan darbeler zamanın sürekli bir fonksiyonu olarak açıklanabilir[3].

Bu hesaplamalar bilhassa deneylerle elde edilmiştir. Akım dalgaları yükseldiğinde, ölçümün doğruluğu, ölçüm devresinin zaman kararlılığıyla sınırlandırılmıştır ve gerçekte soğutma katsayısı (seebeck) etkisinin olan sıcaklık katsayısı bu bölgede tam olarak bilinmemektedir. Bununla beraber, geçici sıcaklığın 100 °K'nin altında gözlemlendiği hemen hemen kesindir[3].

Gray (1963) tarafından, kapalı sıcaklık kontrolü istenen termoelektrik soğutucu cihazlarda birçok önemli uygulamalar yapılmıştır. Yaptığı bu çalışmada, sadece dinamik veya bütün sistemlerin değil sabit davranış göstermeyenlerin de önemli olduğunu tespit etmiştir. Öyle ki sistemin önceki raporlanan dinamik tanımlarının gözlenen performansıyla uygun olan performansının tahminlerini vermiştir. Yine de, bu yöntemler, uygulaması kolay olmayan ve kısmen karışık sonuçlar verir. Bundan dolayı, kararlı durumunun bir sonucu olarak termoelektrik dinamik çalışması aleti serinletir. Buna bağlı olarak yaklaşık sonuçlar transfer fonksiyonları şeklinde açıklanmıştır. Bir sıcaklık kontrol sisteminin adım adım tepkisi ve bu

yaklaşım metoduyla tam dağıtılan sistemden hesaplanan tepkiler, karşılaştırılarak hesaplanabilmiştir. Yığılan yaklaşımlar geçerli ve termoelektrik sıcaklık kontrol sistemlerinin yararlı karakteristikleri olduğu görülmüştür[3].

Verma ve Jain (1972) tarafından yapılan çalışma elektriksel iletkenlik, termal iletkenlik, termoelektrik güçte boyut etkisinin bir analizidir. Peltier katsayısı, Fuch modelin yapısında gösterilen ve kurulan malzeme için zamanla tartışılan kapalı çevrimden elde edilmiştir. Ayna parametresi olarak adlandırılan p parametresi aynı zamanda dikkate alınabilir[3].

Chen vd (1997) tarafından termoelektrik bir cihazın performansı esas olarak Peltier, Fourier, Juile ve Thomson etkisiyle bir ısı pompası ya da soğutucu olarak kullanılması üzerine bir çalışma yapılmıştır. Dengesiz termodinamik kullanılarak çalışan bir cihazın içinde iki sıcak birikimin arasındaki sıcaklık alanında çeşitli eşitlikler bulunmuştur. Yeni ifadeler, ısı pompalama ve COP için türetilmiştir. Analiz edilen bu parametrelerde Thomson ısısının etkileri bulunmuştur[3].

He vd (1998) tarafından yapılan çalışmada Hem çapraz “seebeck” etkisi hem de çapraz Peltier etkisi,  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  (Y-123) örneği yardımıyla kullanılarak araştırılmış ve aynı deney kurulumlarına bağlı olarak ölçümün güvenilirliği farklı deney sıcaklıkları ve iletken ortamları kullanılarak çalışılmıştır. Her iki örnekte de düzlemde ve ısı iletken eklemesinde ve ikisi arasındaki ilişkide ısı rezistansının azalması için çok önemli veriler bulunmuştur. Termoelektrik güçle çalışılarak etki tavlama uygunluk bulunmuş ve Turbo isimli bir metod geliştirilmiştir[3].

Wijngaards vd (2000) tarafından bulunmuştur ki, Peltier cihazının yonga (chip) bütünleştirilmesi (entegrasyonu) birçok yeni imalat düşünceleri verir. Bunun sonucunda bir cihaz elde edilir ki, ayrık cihazlarla karşılaştırıldığında, bu cihaz karmaşık bir çalışma karakteristiğine sahiptir. Birkaç tanesi ele alındığında ve üretimler diğer farklı cihazlarla karşılaştırıldığında son derece karmaşık karakterle çalışan bir cihaz olduğu ortaya çıkarılmıştır. Karmaşıklığa rağmen, SiGe(polySiGe) polikristal ve Si(polysi) polikristal termoelektrik malzemeler tercih edilmiştir. Cihaz performansı farklı termoelektrik malzemeler için karşılaştırılmış ve ideal olmayan etkilerinin performansları analiz edildiğinde, bir grafikte sonuçlar yorumlanabilmiştir. Bu çalışmadan çıkan ilk sonuç, ihmal edilmesine rağmen, cihazın kontak direncinin çok önemli ölçüde idealliğini kaybetmesidir. Bu çalışmada tam uyumlu bir süreç kullanılarak, çeşitli Peltier cihazları üretilmiştir. PolySi ve PolySiGe'lere bağlı olarak üzerinde gerçekleştirilmiş ölçümlerden alınan ilk değerler, istenilenden daha iyi sonuçlar vermesine rağmen, yapılan kavram geçerliliğini korumaktadır[3].

Sato vd (2001) tarafından Peltier akım yönü tasarımı için sayısal hesaplamalar yapılmıştır. Peltier akım taşıyıcıları (PCLs), sayısal olarak analiz edilmiştir. Deney düzenleri, oda sıcaklığı ve oda sıcaklığının altında  $-77\text{ }^{\circ}\text{K}$ 'nin altında ve üstündeki sıcaklıklarda tutulan bir saf bakır içinde bir termoelektrik elementten (TE) ibarettir[3].

Burada kendi kendini soğutma şartı altında termal davranışı incelemek için bir boyutlu ısı iletimi denklemi çözülmüştür. Akım taşıyıcılarının her bir bölümü, soğutma veriminin çeşitli dereceleri altında helyum gazı ile soğutulur. Peltier etkisine bağlı olarak Peltier akım taşıyıcıları, sıradan akımlardan daha düşük sıcaklıklarda umulandan daha az ısı akımı sergilemiştir. Tüm hesaplamalar, en iyi şekilde yapıldığında Peltier akım taşıyıcılarının ısı iletiminin, sıradan akım taşıyıcılarına göre, %30 daha az olduğu görülmüştür. Hesaplanan ısı grafikleri ve ilgilenilen diğer fiziksel nicelikler, termoelektrik ve Peltier akım taşıyıcılarının tasarımı için çok önemli bir gelişme olmuştur[3].

Maruyama vd (2001) tarafından Peltier etkisiyle çalışan termoelektrik bir uygulama gerçekleştirilmiş ve bir ısı transfer kontrol cihazı kullanarak yeni ve hızlı bir soğutma sistemi ortaya koyulmuştur. Bu sistem sabit sıcaklıkta bir nesneyi ısı transferiyle aktif olarak koruyabilmiş ve ani ve etkili bir soğutma sistemindeki elektrik akısının yönünü değiştirilmesini incelemişlerdir[3].

Kabul edilen proje göz önüne alındığında bu hareket etmeyen parçalar kadar güvenilirdir ve büyük sıcaklık farkları altında büyük ısı akısı ile soğutma başarılı olmuştur. Bu denli istikrarlı bir soğutmanın elde edilmesi standart Peltier elementlerle olanaksızdır[3].

Öneri modeli, sayısal çözümler yapılarak ve sonuçlar açıklanan küçük ölçekli bir deneyle karşılaştırılarak rapor haline getirilmiştir. Isı akısı  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'den  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye 4 saniyede düşürülmüştür[3].

Bu konudaki çalışmalardan bir tanesi sayısal modelleme ve nem gideren alet tasarımı olmuştur. Cihazın ilk proto tipi, termoelektrik soğutma tabanlı olarak soğutma yapacak şekilde tasarlanmıştır. Cihazın tasarım ve optimizasyonunda (AERO) elektriksel bir analogiye dayanan bilgisayarlı bir hesaplama modeli kullanılmıştır. Bu metod, ısı transferi, termoelektrik etki ve sıvılaşma ve buharlaşma esnasında meydana gelen faz değişimine dayanır. Aslında ısı transferi termoelektrik bir etkidir. Buharlaşmanın, sıvılaşma değişim esnasında ve bu aşamada aynı anda meydana geldiğinde çözülebilir. Termoelektrik nem giderici ilk modeli (proto tipi), tahmini modeller kullanarak birkaç benzerlikten imal edilmiştir. Deney şartlarında en iyi sonucu, birçok test yaparak güç kaynağına bağlı bir fan ve Peltier malzemesi vermiştir. İlk model, sıradan

buhar sıkıştırma sistemiyle termoelektrik sisteminin gösterdiği alandaki potansiyeli karşılaştırmaktadır[3].

Xuan vd (2002) tarafından, bir süper iletken manyetik sistemde soğuk-iletken Peltier akım taşıyıcıları (PCLs) optimize edilmiştir. Peltier akım taşıyıcıları (PCL) basına sıcaklığı minimum yapmak için en iyi geometrik etkinin, her bir akım taşıyıcısı ve termoelektrik elementin uzunluğunun kesit alanına oranından bulunabileceği anlaşılmıştır. Yaygın olarak kullanılan termodinamik sıcaklık çevrimi ( $T_s$ ) elde edilmiş, ısı kaçağı kolayca tanımlanmıştır[3].

Yukarıda bahsedilen modellerin yanı sıra, Hasegawa vd (2002) tarafından kriyojenik sistemler için Peltier akım akısı (PCL) termoelektrik malzemelerin ısıya bağımlılığı incelenmiştir. Akım akısının Parçaları Termoelektrikteki Peltier etkisine göre ısı taşıyıcısı parçaları (PCL) ısı pompası gibi çalışır. Kriyojenik bir sistemin oda sıcaklığı tarafından düşük sıcaklık tarafına taşınan ısı kaçak miktarının PCL ile azaltılması istenir. P ve n tipinin her biri için üç tane olmak üzere altı tane preslenmiş BiTe örnekleri, PCL performansı tahmin edilerek seçilmiş, birkaç yüz amperde onların deney sonuçları ve analizlerinin ısı akısını (PCL) %20-30 azaltacak bir kapasite elde edilmiştir[3].

Abadie vd (2002) tarafından, bütün şekil hafızalı alaşım (SMA) mikro-düzenek, uzunluk olarak milimetre esas alınarak gösterilmiştir. Orijinal olan SMA'nın sıcaklığını kontrol için termoelektrik bir olgu'nun kullanımıdır bu da Peltier etkisidir. SMA, bir termoelektrik malzemeye bağlandığında eğride çalışan ( $Bi_2Te_3$ ) ince bir yaprak şeklindedir. Termoelektrik bir sistemin inşa edilerek kullanılmasıyla SMA çalıştırıcının hareketinin gerçek bir ölçümü, ilk araştırmalardan bir tanesi olmuştur. Bu sistem kullanılarak, SMA yaprağının sıcaklığı  $-10\text{ }^\circ\text{C}$  ile  $90\text{ }^\circ\text{C}$  arasında kontrol edilebilir. Termal simülasyonlar şöyle bir tepki göstermiştir ki; joule etkisiyle ısıtılan benzer bir sistemden Peltier düzeneğinin tepkisi aşağı yukarı beş kere daha büyüktür. Bundan başka, bu sistem sınırlı bir çevrede çalışabilir. Düzenek sonuçları verilmiş deneyle tanımlanmıştır[3].

Muscio vd (2004) tarafından termal difüzyon'un ölçümü için en iyi bilinen metodun Ångström metodu olduğunu birçok yaklaşımların geliştirilmesiyle raporlandırılmıştır. Bu metotta difüzyon, termal bir periyodik sinyal ve onun faz kaymaları ve örneklemelerinden hesaplanmıştır. Bu işlem de tüm örnek boyunca uygulanmıştır. Yayılma kızılotesi ısı grafiğiyle kolaylıkla izlenebilir. Genellikle, uygulanacak sinyal kesintisiz bir güç kaynağından sağlanabilir[3].

Yapılan bu çalışmada bununla beraber, düzeneğe doğrudan bağlanan bir kaynak kullanılabilir. Bu kaynak, özel kontak basıncı vasıtasıyla elde edilebilen homojen kontağın bulunduğu numunenin iki ana yüzeyinin bir parçasından sağlanan sıcaklık osilasyon sinyaline sahiptir. Bu uygulama, sadece kaynaktan kesin bir uzaklıktaki difüzyonu tahmin etmek için kullanılabilen yüzeyin sıcaklık ölçümünü verir. Kaynağın bulunduğu yerde numune içindeki sıcaklık dalgalanmalarının dalga cephesi yer alır. Numune bir düzlemdir ve ana yüzeylere diktir. Yapılan deneylerin performansına ait genel bir kaide elde etmek için kaynak ile dalga cephesi arasındaki mesafe deney esnasında araştırılır[3].

Peltier etki tabanlı bir termal cihaz termal kaynaklı olarak kullanılır. Onun kullanımına ait ana zorluk, mükemmel bir harmoniğin elde edilişi ve iyi dengeli bir termal işarettir. Deney verilerinin karmaşık işlemleri olanlarından sakınmak yeterlidir ve bu da uygun zaman seçimli bir akım kaynağıyla başarılmıştır. Bir başka yaklaşım da, bir önceki işin üzerine inşa edilen analitik modelin altında yatan nedeni değerlendirerek düzenlenmiştir[3].

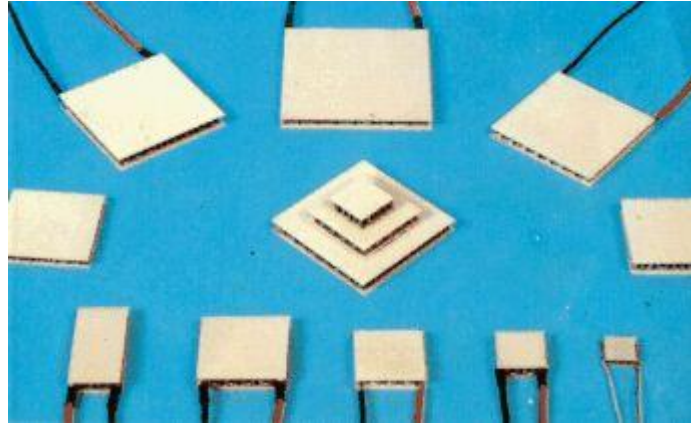
Skierucha (2005) tarafından, kâğıt psikometrik mod'da çalışan yedi kanallı bir termokupl, psikometri'nin performansı ve dizayn edilmesi gösterilmiştir. Doğruluğu yüksek elektronik bileşenli ve mikrop denetleyicisi basit bir yapıda olan güvenilir ve ucuz bir cihaz -6'dan -0.2 MP'a kadar ve daha fazla aralığında tasarlanmıştır. Ölçü aletinin çalışması bilgisayar kontrollüdür, giriş voltajıysa 50 Hz frekansa ve  $\pm 50\text{nV}$  çözünürlüğe sahiptir. Psikometrik sensörlerin kalibrasyon işlemleri ise satıcılardan elde edilebilir. Ölçü aletleri ve probalar kolayca istasyonları izlerken otomatik kirlilik durumuna adapte edilmiştir. Hem de malzemelerin özelliklerini kararlaştırmak, nem güvenilirliği için bina ve yemek sanayinde %95-99.99 aralığını kullanabileceği gösterilmiştir[3].



### 3. SOĞUTUCULAR

#### 3.1 Soğutuculara Genel Bir Bakış

Termoelektrik soğutucular (TEC), basınçlı gazla çalışan kompresörlü geleneksel soğutma sistemlerine alternatif olarak ortaya çıkmışlardır. Yarı-iletken malzemeyle üretilen termoelektrik modüller Şekil 3.1’de görüldüğü gibi hareketli parça içermediklerinden bakım gerektirmezler. Ayrıca sessiz ve çok uzun ömürlü olduklarından tıbbi, askeri, bilimsel ve endüstriyel uygulamalarda kullanılmaktadırlar[8]. Mikroişlemcilerin soğutulmasından mini-buzdolabı uygulamalarına, kızılötesi kameralardan uzay araçlarına kadar pek çok geniş bir yelpazede karşımıza çıkan termoelektrik modüller, özellikle düşük ısı güçlerinde tercih edilmektedirler. Termoelektrik soğutmanın teorisi çok eskilere dayanmakla birlikte yaygın kullanımı, yarı-iletken teknolojisindeki gelişmeye paralel olarak ancak son yıllarda mümkün olabilmektedir.



Şekil 3.1 Termoelektrik modüller.

Elektronikte soğutucu denince pek çoğumuzun aklına kalın alüminyum, bakır dilimli parçalar gelir. Aslında her türlü soğutucunun amacı aynıdır. İstenilen bir yerdeki ısı birikmesini önlemek, sıcaklığın artmasına izin vermemek orada biriken ısıyı hemen çevreye yaymaktır. Yarı iletken elemanların problemsiz çalışabilmesi için sıcaklıklarının belirli sınırlar içerisinde kalması gerekmektedir. Sınır harici ısıdan meydana gelecek tahribatlardan korumak için, çok yüklü ısıya maruz kalan yarı iletkenler, soğutuculara takılmalıdır. Kaybolan enerjinin ısıya dönüştüğü ilgili küçük yüzey iyi ısı iletim unsurlarıyla birlikte soğutucular kullanılarak artırılabilir[1].

Elektronikte kullanılan silisyum kökenli malzemelerin yarı iletken kısımlarını yaklaşık 200 °C de bozular. Bu nedenle chip üzerinde biriken ısının hemen dışarı atılmasını sağlamak üzere malzemenin chip kısmı genellikle alüminyum bir plaka üzerine ısıl geçirgenliği yüksek bir yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Sonrada üzeri uygun bir şekilde yine alüminyum bir kapakla ya da plastikle kapatılmıştır. Fakat bu tür malzeme, transistör, diyot, triyak ya da benzeri güç elemanlarının kılıfları üzerlerinde biriken ısıyı dışarı atmaya, çevreye yaymaya yetmez. Bunları ayrıca bir soğutucunun üzerine koymak gereklidir[1].

Soğutucuların gerekli soğutmayı yapabilmeleri için malzemelerin ısı iletkenlik katsayıları, soğutma yüzeylerinin büyüklüğü, kütleleri önemlidir. Bunların yanında yüzeyin rengi, soğutucunun bağlandığı pozisyon ve yer, havanın sıcaklık derecesi ve akış hızı ile nem oranı ısının aktarılmasında önemli etkenlerdir[1].

Şöyle özetleyebiliriz:[1]

1. Yarı iletken elemanda harcanan güce
2. Soğutucunun boyut ve şekline, yüzeyel özelliklerine ve pozisyonuna
3. Eleman ve soğutucu arasındaki ısı transferine: eleman ile soğutucu arasında ısı iletim katsayısı yüksek bileşimler kullanılarak termal direnç düşürülebilir.
4. Eleksallanmamış takılı elemandaki ısı direnci, eleksallanmış yüzeye göre 2/3 defa daha büyüktür.
5. Soğutucunun verimi hava akış hızı arttırılarak yükseltilebilir (Fan v.s.).

Bütün bu etkenler termal direncin (Isıl Direnç) bulunmasında çok karışık hesaplamalara yol açar. Bunlarla beraber termal direnci deneylerle güvenilir bir şekilde saptamak mümkündür. Cihazın çok yüklenmesi ve ya çok yükselen sıcaklık değerleri durumlarında seçilen soğutucunun kullanma yerine uygunluğunun test edilmesi tavsiye edilir. Ancak şüphe varsa bir büyük boy seçilir[1].

### 3.2 Yarı İletkenlerin Özellikleri

- 1) İletkenlik bakımından iletkenler ile yalıtkanlar arasında yer alırlar.
- 2) Normal halde yalıtkanırlar.
- 3) Ancak ısı, ışık ve magnetik etki altında bırakıldığında veya gerilim uygulandığında bir miktar valans elektronu serbest hale geçer, yani iletkenlik özelliği kazanır.
- 4) Bu şekilde iletkenlik özelliği kazanması geçici olup, dış etki kalkınca elektronlar tekrar atomlarına dönerler.

- 5) Tabiatta basit eleman halinde bulunduğu gibi laboratuarda bileşik eleman halinde de elde edilir.
- 6) Yarı iletkenler kristal yapıya sahiptirler. Yani atomları kübik kafes sistemi denilen belirli bir düzende sınırlanmıştır.
- 7) Bu tür yarı iletkenler, yukarıda belirtildiği gibi ısı, ışık, etkisi ve gerilim uygulanması ile belirli oranda iletken hale geçirildiği gibi, içlerine bazı özel maddeler katılarak ta iletkenlikleri artırılmaktadır.
- 8) Katkı maddeleriyle iletkenlikleri artırılan yarı iletkenlerin elektronikte ayrı bir yeri vardır. Bunun nedeni Çizelge 3.1’de görüldüğü gibi, elektronik devre elemanlarının üretiminde kullanılmalarıdır[1].

### 3.3 Yarı İletken Elemanların Isı Kontrolü

Teorik olarak bir yarı iletken elemanın, temel ısı ( $T_i$ ) olarak adlandırılan iç ısısının üst limiti, yani yarı iletken elemanın hafifçe macunlanmış bölgesindeki ısı yoğunluğu, bu ısı yoğunluğunun büyük bir bölümünü taşır. Örneğin verici yoğunluğunun  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$  olduğu yerdeki silikon diyodun hafifçe macunlanmış bölgesinde temel ısı  $280 \text{ }^\circ\text{C}$  civarındadır. Eğer bu ısı aşılsa jonksiyon noktasının karakteristiği bozulur. Çünkü temel taşıyıcı yoğunluğu, macunlanmış bölgedeki yoğunluğu büyük ölçüde aşar ve termal bölge potansiyel farkı kaybolur yarı iletkenlik bozulur ve kısa devre olur[1].

Bununla beraber, veri tabakaları üzerinde tanımlanmış maksimum iç ısı nu limitten daha azdır. Güç yarı iletkenlerinde güç kaybı normalde iç ısıyla yükselir ve bu kayıplar  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta bile oldukça yüksektir. Yarı iletken üreticileri bir elemandan diğerine değişiklik gösterebilen ve genellikle  $125 \text{ }^\circ\text{C}$  olan, sabit iletim voltajı, anahtarlama süresi, tanımlanmış maksimum ısıda anahtarlama kayıpları gibi maksimum değerdeki eleman parametrelerini garantilerler[1].

Dizayn süresince, birinci dizayn girdimiz jonksiyon sıcaklığının en kötü durumudur. Yüksek güvenilirliğe ulaşması hedeflenen bir sistem  $125 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin altındaki  $20\text{-}40 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de yarı iletken elemanların en kötü jonksiyon sıcaklığı için dizayn edilecektir. Aksi takdirde,  $125 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki değeri genellikle dizayn yapılırken en kötü koşul girdisi olarak kullanılır. Bu durumda bir istisna,  $125 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin altında tutulmak istenen maksimum transistör jonksiyon sıcaklığıdır. Maksimum izin verilebilir  $dv/dt$  elemana uygulanırken aynı zamanda jonksiyon sıcaklığı  $125 \text{ }^\circ\text{C}$ 'nin üzerine çıkarsa, tristörler yeniden harekete geçebilir ya da yanabilirler[1].

Bazı güç yarı iletken elemanları ve sinyal seviye transistörleri ve IC ler 200 °C'nin biraz üzerinde çalışabilirler. Bununla birlikte güvenilirlikleri (beklenen çalışma ömürleri) düşüktür ve performans özellikleri 125 °C'deki çalışmaya kıyaslandığında yetersiz olabilir. Ayrıca üretici veri bilgisi olarak verilmiş maksimum ısı üzerindeki parametreleri garantilemeyecektir. Eğer bir güç elektroniği devresinde yarı iletken elemanı yüksek ısılarda kullanmak istiyorsak bunun için ayrı bir dizayn yapmalı ve eleman üzerinde biriken ısıyı atmayı hedeflemeliyiz aksi takdirde kullandığımız yarı iletken eleman yanar ve garanti kapsamında sayılmaz[1].

Güç elektroniği donanımını dizaynlarken, özellikle yüksek sıcaklıktaki ortamlar için, termal evreyi hesaba katılmalıdır. Soğutucu (heat sink) boyu ve ağırlığı ve elemanların konulacağı yerler ve çevre sıcaklığı ile ilgili bilgiler hesaplanmalıdır. Soğutucu ile soğutucu kanatlarının montajı, geniş odalı dikey pozisyonda olması fansız doğal konveksiyon hava geçişi için çok önemlidir. Güneş tarafından ısınma olasılığı en kötü durum olarak dizayn yapılırken hesaba katılmalıdır[1].

Kötü tasarlanmış termal dizayn ekipmanların güvenilirliğini azaltır. Unutulmaması gereken bir hususta yarı iletken eleman çiftleri her 10-15 °C sıcaklıkta 50 °C üzerine çıkar ve bunun oranını yetersiz kalabilir[1].

Doğru seçim (en ekonomik veya en ucuz üretim için) soğutucu güç elektroniği sistemi için sadece termal dizayn sürecinin bir bölümüdür. Dizayn yapılmadan önce dizaynır büyük veya küçük soğutucu ile doğal konveksiyonla, fan yardımıyla (AC motor fan kontrol küçük güç elektroniği inverterleri ile DC motor fanlarından daha güvenilirdir) veya gaz soğutma ile sistemi tasarlamakta özgürdür[1].

**Çizelge 3.1** Elektronikte yararlanılan yarı iletkenler ve kullanılma yerleri[1].

ADI	KULLANILMA YERİ
Germanyum (Ge) (Basit Eleman)	Diyot, Transitör, Entegre, Devre
Silikon (Si) (Basit Eleman)	Diyot, Transitör, Entegre, Devre
Selenyum (Se) (Basit Eleman)	Diyot
Bakır Oksit (kuproksit) (CuO) (Bileşik Eleman)	Diyot
Galiyum Arsenid (Ga As) (Bileşik Eleman)	Tünel Diyot, Laser, Fotodiyot, Led
İndiyum Fosfor (In P) (Bileşik Eleman)	Diyot, Transitör
Kurşun Sülfür (Pb S) (Bileşik Eleman)	Güneş Pili (Fotosel)

### 3.4 Genel Olarak Soğutucu Çeşitleri

#### 3.4.1 Isıl emiciler (heatsink)



Şekil 3.2 Isıl emici[1].

Genelde çok ısı üreten, yarı iletken elemanlara takılırlar. Kullanılan malzeme genelde alüminyum, bakır ya da her ikisinin karışımıdır. Isı dağıtıcılarının iki temel işlevi vardır. Bunlardan ilki, ısı üreten malzemenin üzerine takıldığı için üretilen ısının bir kısmını emmektir. Isı dağıtıcıların ikinci işlevi ise, hava ile temas yüzeyini artırarak ısı transferini arttırmaktır. Isı dağıtıcılarının pratikteki bir diğer işlevi ise tek başlarına yeterli olmadıkları durumlarda üzerlerine fan montajını kolaylaştırmalarıdır. Isı dağıtıcılarda kullanılan malzemelerden alüminyumun özelliklerine kısaca değinmek gerekirse; özkütlesi düşük bir metaldir. Dolayısıyla, hava ile temas yüzeyini artıracak geniş alanları alüminyum ısı dağıtıcılar kullanarak daha hafif bir şekilde elde edilebilir. Bu malzemenin diğer bir özelliği ise, ısıyı bakıra göre havaya daha iyi iletbilmesidir[1].

Bakır; alüminyuma göre ısıyı daha iyi ileten bir metaldir. Bu nedenle ısı dağıtıcının, en sıcak bölümü ile en soğuk bölümü arasında, alüminyum ısı dağıtıcılara göre çok daha az sıcaklık farkı vardır. Bakırın, alüminyuma göre en büyük dezavantajı özgül kütlelerinin çok daha büyük olmasıdır. Bu nedenle aynı büyüklükteki bakır soğutucular, alüminyum soğutuculardan çok daha ağır olurlar[1].

İyi bir ısı dağıtıcısı geniş bir yüzey alanına sahip ve görece hafif olmalıdır. Özellikle sıcak yüzeye temas eden bölüm bakır olmalıdır. Isı boruları sistemin performansını artıracığı için bol miktarda olmalıdır.

### 3.4.2 İyi bir ısı dağıtıcısının özellikleri

İyi bir ısı dağıtıcısı geniş bir yüzey alanına sahip ve görece hafif olmalıdır. Özellikle sıcak yüzeye temas eden bölüm bakır olmalıdır. Isı boruları sistemin performansını artıracığı için bol miktarda olmalıdır[1].



Şekil 3.3 Isı dağıtıcı.

### 3.4.3 Fanlar

Günümüzde yaygın olarak 4 cm ile 12 cm arasında değişen ebatlarda fanlar kullanılmaktadır. Fanların performansını belirleyen iki şey vardır. Bunlardan ilki kanatlarının genişliğidir. Bir fanın kanadı ne kadar geniş olursa üfleyeceği hava miktarı o kadar artar. Dolayısıyla hava soğutmalı sistemlerde performansı artırmak için daha büyük fanlar kullanılır. Fanların performansını belirleyen ikinci şey ise dönüş hızıdır. Bir fan ne kadar hızlı dönerse performansı da o kadar artar. Fanların dönüş hızı RPM (Revolutions Per Minute-bir dakikadaki dönüş hızı) ile ölçülür. Fanların performansları genelde ürünün kutusunda ya da üretici sitelerde verilir ve CFM (Cubic Feet Per Minute-bir dakikada kaç Fit küp hava üflediği) ile ölçülür. Fanlarda genellikle (sleevebearing ya da ballbearing olmak üzere) iki tip yatak kullanılır ve kullanılan yatak tipi fanın gürültüsünü ve ömrünü önemli ölçüde etkiler. Bunlardan ilkinin (sleevebearing) yatak tipi, üretim maliyetleri daha düşük olmakla birlikte kullanım ömrü daha kısadır. Ayrıca bu yatak tipini kullanan fanlar diğer yatak tiplerini kullanan fanlara göre daha gürültülü çalışırlar. Bu nedenle kullanıcılar arasında tercih edilmemelidirler. Diğer (Ballbearing) yatak tipini kullanan fanların maliyetleri, diğer (sleevebearing) yatak tipini kullanan fanlara kıyasla daha yüksektir. Buna rağmen, kullanım ömrünün daha uzun olması ve daha sesiz çalışma gibi avantajları taşımaları nedeniyle kullanıcılar arasında tercih edilmelidirler[1].



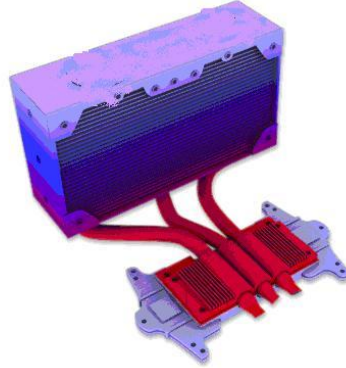
**Şekil 3.4** Fan[1].

Fanların gürültüleri genelde ürünün kutusunda ya da üretici sitelerde verilir ve dBA (decibels as per the a scale) ile ölçülür. Fanların gürültü düzeyinin insanlarda oluşturduğu rahatsız edici etki kişiden kişiye değişmektedir. Bununla birlikte okuyucuda genel bir fikir oluşması için şu örnekler verilebilir. 22,5 dBA ve altı gürültü üreten fanları 1 m uzaktan duymak mümkün olmadığı için bu fanları sessiz olarak nitelendirebiliriz. 30 dBA birçok kişi tarafından tahammül edilebilir gürültü sınırı olarak nitelendirilir. Bu düzeyin üstünde gürültü üreten fanlar kullanıcılarında rahatsız edici bir etki oluşturmaktadır. 40 dBA ve üzeri fanların ürettiği gürültü saç kurutma makinesi ile yarışabilecek düzeydedir[1].

#### **3.4.4 Su soğutma (Su bloğuyla)**

Sıvıların ısı iletimi havaya göre daha yüksektir. Bu nedenle sıvı soğutma çözümleri hava soğutma çözümlerine göre daha yüksek performans sağlarlar. Bu nedenle overclock (hızaşımı) uygulamalarında çoğunlukla tercih edilirler. Su soğutma sistemlerini bir diğer olumlu özelliği; diğer soğutma çözümlerine nazaran daha az gürültü üretmeleridir. Genel olarak bilgisayarlarda işlemci soğutmada kullanırlar[1].

### 3.4.5 Isı borusu (Heat Pipe)



Şekil 3.5 Isı borusu[1].

Isı boruları, ısı dağıtıcıların performanslarını artırmak için kullanılırlar. Bu boruların içinde bir çeşit fitil ve çok özel bir sıvı vardır. Bu sıvıyı özel yapan şey; çok kolay buharlaşıp yoğunlaşabilmesidir. Bu sıvı tabandaki yüksek sıcaklıkla buharlaşarak, boru içinde yükselir, fakat soğutucunun üst kısımlarında sıcaklık daha düşük olduğu için tekrar sıvı haline gelir, tekrar sıvılaştıran madde boru içindeki fitil vasıtasıyla tekrar tabana gönderilir, böylece bir devridaim oluşur. Bu devridaim, ısı dağıtıcının performansını artırır[1].

Isı emicinin yüzey alanı ne kadar genişse ısı yayımı o kadar iyi olur (ki bu işleme bir fanla yardımcı olunur). Ancak bazı durumlarda yer sıkıntısından dolayı kartın üzerine büyük ısı emiciler yerleştirme imkânı olmaz. Bazı aygıtlar o kadar küçüktür ki hantal bir ısı emici yeteri kadar dokunan yüzey alanı olmadığı için iyi verim vermez. Bu durumda bir ısı borusu (heat pipe) yardımıyla sıcaklı çok olan yerden daha az olan yere taşınabilir. Genellikle ısı iletme özelliği çok iyi olan bir metal grafik yongasının üzerine koyulur. Isı borusu bu metale bağlıdır ve ısıyı borunun öteki ucundaki ısı emicisine aktarır[1].



### 3.4.6 Gaz soğutma



**Şekil 3.6** Gaz soğutma[1].

Gaz ile soğutma sistemlerinin yapısı, gaz destekli sıvı soğutma sistemlerinin yapısına benzetebiliriz. Bu sistemlerin en önemli farkı evaporatörün bir sıvı kabı içinde durmayıp, bir soğutma bloğu şeklinde tasarlanıp takıldığı parçayı soğutmasıdır. Bu nedenle gaz ile soğutma sistemlerinin içinde sıvı soğutma ve gaz destekli sıvı soğutma sistemlerindeki gibi radyatör, pompa yada soğutma sıvısı bulunmaz. Gaz destekli soğutma sistemleri bilgisayarın ancak bir bileşenini (örneğin sadece CPU) soğutabilecek ürünlerdir. Bu sistemlerde kompresör sadece bir parçayı soğutur. Bunun etkisiyle o parçanın sıcaklığı, sistemin yapısına ve kompresörün performansına göre -50 °C kadar düşebilir. Bu sistemler hiç durmadan sürekli ve her zaman tam performans altında çalışır. Bu nedenle de elektrik sarfıyatı bundan önceki çözümlere göre çok daha yüksektir. Bu soğutma çözümünde terleme sorunu daha baskındır. Bu nedendir ki, bu sistemler günlük kullanıma uygun değildir[1].

Bu soğutma tamamen profesyonel OC için kullanılır ve çok çok pahalıdır. Kullanılan gaz SIVILAŞTIRILMIŞ NİTROJENDİR. Bilgisayarınıza giren çok büyük bir (basınca dayanıklı) hortum ile CPU soğutulur[1].

### 3.5 Soğutucu Seçiminde Bakılması Gereken Hususlar

Bir yarı iletken kataloguna baktığımız zaman orada yarı iletkenin genellikle dış kılıfının ısı direnci ve yarı iletkenin en çok hangi sıcaklıkta çalışacağını gösterir değerler buluruz. Bu değerler yarı iletkenin cinsine ve üreticisine göre değişir. Aynı şekilde bir soğutucu kataloguna baktığımız zaman, soğutucuya ait ısı direnci, verim ısı yayma özelliklerinin değerlerini görürüz.

Bu değerlerde soğutucunun türüne ve imalatçısına göre değişir. Bu nedenle hazır soğutucuların kullanılacağı devrelerde gerçekten bir hesaplama sonucu bir soğutucu kullanılacaksa kullanılacak soğutucunun bütün parametrelerinin bilinmesi gerekmektedir[1].

Aşağıdaki maddeler sırasıyla yapıldığında, soğutucu seçimi problemi kolaylıkla czmlenmiş olacaktır[1].

- 1) Cvre sıcaklığı tespit edilir. Cvre sıcaklığı olarak Max. Cvre sıcaklığı alınmalıdır.
- 2) Yarı iletken elemanın junction sıcaklığı ( $t_j$ ) ve harcanılan gücü ( $P$ ) tespit edilir.
- 3) Yarı iletken elemanın i termal direnci ( $R_{thG}$ ) tespit edilir (İmalatçı firma tarafından verilir).
- 4) Montaj yüzeyinin termal direnci ( $R_{thM}$ ) tespit edilir.
- 5) Bu değerler eşitlik-1'de yerine konularak soğutucunun termal direnci ( $R_{thK}$ ) bulunur.
- 6) Bulunan ( $R_{thK}$ ) değerine göre soğutucu sınıfı belirlenir.
- 7) Belirlenen bu sınıf içinden yarı iletken elemanımıza uygun tip seçilir.
- 8) Bu soğutucu tipinin diyagramı sayesinde hangi boyda kesileceği tespit edilir.

### 3.6 Pasif Soğutma ve Aktif Soğutma

Soğutucu kavramı genel olarak, ısıyı bir ortamdan alarak diğer bir ortama taşıyan sistemler için kullanılmaktadır. Sistemde her zaman bir sıcak ve bir de soğuk eleman mevcuttur. Soğutma sistemlerini calışma şekline göre ikiye ayırabiliriz[9]:

- 1) Pasif Soğutma
- 2) Aktif Soğutma

Pasif soğutma sistemlerinde soğutulacak nesne (sıcak eleman), ortamdan (soğuk eleman) daha sıcak olmak zorundadır. Termodinamiğin ikinci yasasına göre doğal ısı akışı yüksek sıcaklıktan düşük sıcaklığa doğru olduğundan; sıcak eleman soğurken, soğuk eleman ısınacaktır. Soğuk eleman olarak genellikle soğutucu cvresindeki hava kullanılır. Isı sıcak elemandan havaya geçerken sıcak eleman soğur, hava ise ısınır. Isınan hava, doğal iletim ile veya fan yardımıyla dışarı atılarak dışarıdan yeni soğuk hava içeri alınır. Havanın sonsuz büyüklükte olduğu kabul edildiğinden, sıcaklığı pratik olarak sabit kalacaktır. Elektronik devre elemanlarının soğutulmasında, radyatörlü sistemlerde hep havalı pasif soğutma kullanılır. Daha gcl soğutma gereken durumlarda ise suyla calışan sistemleri görmekteyiz. Kilowatt

mertebesinde (örn. redresör, KGK) musluk suyuyla soğutma tercih edilirken, megawatt düzeyinde (termik/nükleer santraller) nehir suyundan faydalanılır[9].

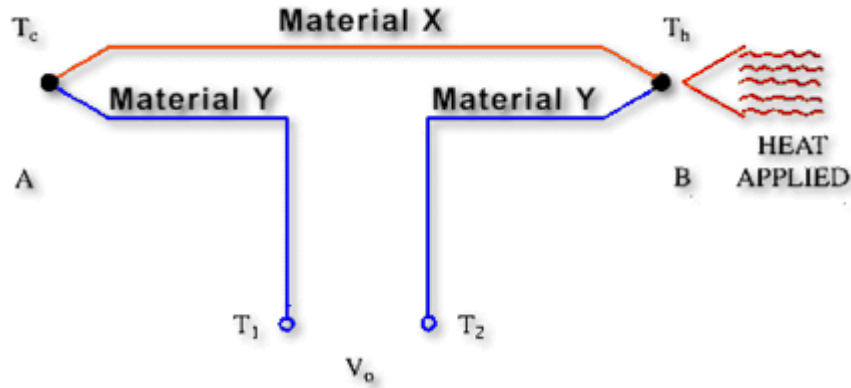
Çevre sıcaklığının altında bir soğutma gerektiği durumlarda ise aktif soğutma kullanılır. “Isı pompası” olarak da bilinen aktif soğutucularda ısı, soğuk elemandan sıcak elemana “pompalanır”. Isı pompalarının en yaygın türü kompresörlü sistemlerdir. Ev tipi ve ticari buzdolaplarında klimalarda kullanılan bu sistemlerde freon vb. bir gazın buharlaşma/yoğuşma ısısı kullanılır. Bir kompresör yardımı ile sıkıştırılan ısı taşıyıcı gaz, basınç altında sıvılaşarak ısınır. Yoğunlaştırıcıda (condenser) pasif soğutma ile soğutulan gaz, buzluk bölmesindeki buharlaştırıcıya (evaporatör) gelir. Burada basıncını kaybederek yeniden buharlaşır ve soğur. Soğuk gaz, buzluktaki nesnelere ısıyı alarak kompresöre döner ve böylece çevrim yenilenir[9].

Genel olarak ifade edersek; aktif soğutmada bir sıcak eleman (yoğunlaştırıcı) ve bir soğuk eleman (buharlaştırıcı) bulunur ve ısı soğuk elemandan sıcak elemana, pompayla (kompresör) hareket ettirilen bir aktarma ortamı (freon gazı) ile taşınır[9].

Termoelektrik soğutma sistemi her ne kadar çok farklı bir teknolojiye dayanıyorsa da, yukarıda anlattığımız model ile açıklanabilir. Termoelektrik modülün bir yüzeyi (soğuk yüzey) soğuk elemana, diğer yüzeyi ise (sıcak yüzey) sıcak elemana karşılık gelir. Yarı-iletken malzemeye uygulanan elektrik gerilimi pompa işlevini görür ve modül içinden elektrik akımı geçirildiğinde elektronlar (aktarma ortamı) aracılığı ile ısı bir yüzeyden diğerine aktarılır. Görüldüğü gibi ısı aktarımı, tamamen elektronik ortamda gerçekleşmekte ve sistemde mekanik hiçbir eleman bulunmamaktadır.

### **3.7 Termoelektriğin Tarihçesi**

Termoelektrik etki ilk olarak 1821 yılında Alman fizikçi Thomas Seebeck tarafından keşfedilmiştir. Seebeck, iki farklı metal iletkenin oluşan bir devrede, iletkenlerin birleşme noktaları (junction) farklı sıcaklıklarda tutulduğu zaman belirli bir gerilim oluştuğunu gözlemlemiştir. Gerilimin yönü, ısı akışının yönüne bağlıdır; yani hangi noktanın daha sıcak olduğuna göre değişmektedir (Şekil 3.7). Gerçi Seebeck kendi gözlemlerine bilimsel bir açıklama getirememiştir ama onun bu deneyi, bugün yaygın olarak kullanılan termoelektrik çiftlerinin (thermocouple) doğuşuna altyapı hazırlamıştır[2,9].



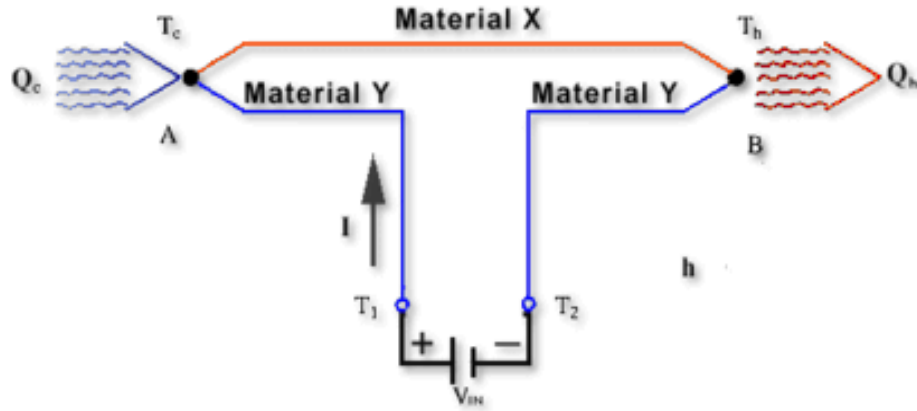
Şekil 3.7 Seebeck deneyi ve termoelektrik çifti (TC)[9,10].

Seebeck deneyinde X ve Y malzemeleri, A ve B noktalarından birleştirilir. A noktası referans sıcaklıkta iken (genellikle oda sıcaklığı) B noktasına yüksek sıcaklık uygulanır. Bunun sonucunda  $T_1$  ve  $T_2$  terminali arasında, sıcaklık farkı ile orantılı bir gerilim oluşur[9,10]:

$$V_o = a_{xy} \cdot (T_h - T_c)$$

$a_{xy}$ , malzemeye bağımlı bir katsayı olup birimi  $V/^\circ K$ 'dir. Termal verimi oldukça düşük olan termoelektrik çiftlerin çıkış gerilimleri de genellikle mV seviyesinde kalmaktadır[9,10]:

Benzer bir deney, 13 yıl sonra Fransa'da saatçilik yapan ve boş zamanlarında fizik ile uğraşan Jean Peltier tarafından gerçekleştirilmiştir. Seebeck'in deneyini tersinden uygulayan Peltier, iki farklı metali birleştirerek elektrik akımı uygulamış ve bu birleşme noktasında metallere birinin ısındığını, diğerinin ise soğuduğunu gözlemlemiştir (Şekil 3.8). Isının akış yönü, elektrik akımının yönüne bağlı olup, gerilim ters çevrildiğinde, evvelce ısınan metal bu sefer soğumakta ve soğuyan metal de ısınmaktadır[9,12,13]. Termoelektrik etkinin (aynen elektromanyetik etki gibi) çift yönlü (reversible) olduğunu ortaya koyan Peltier deneyi Termoelektrik Soğutuculara (TEC) beşiklik yapmıştır[9,10].



**Şekil 3.8** Peltier deneyi ve termoelektrik soğutucu (TEC)[9].

Peltier deneyinde X ve Y malzemeleri, yine A ve B noktalarından birleştirilir.  $T_1$  ve  $T_2$  terminali arasına  $V_{IN}$  gerilimi uygulandığında akan  $I$  akımı,  $Q_c$  miktarındaki bir ısının A noktasından alınarak B noktasına verilmesine neden olur. Aktarılan ısı şu formülle hesaplanır[1,2,9]:

$$Q_c = b_{xy} \cdot I$$

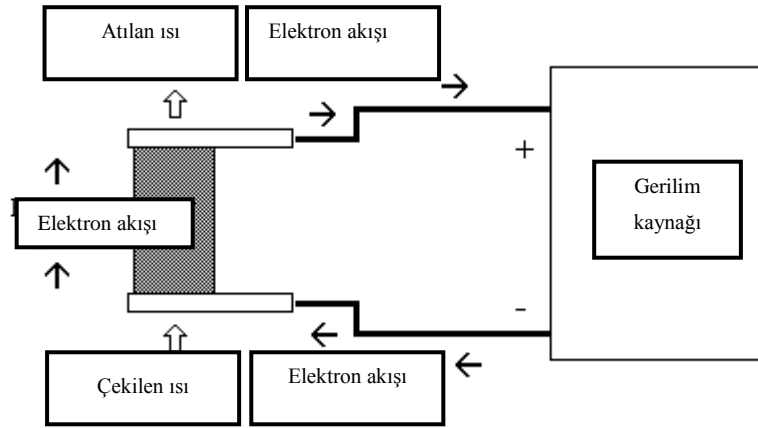
$b_{xy}$ , malzemenin cinsi, modülün geometrisi ve sıcaklığa bağımlı bir çarpan olup birimi V'tur. Günümüz teknolojisi ile 1~100 W ısı aktarma gücüne sahip modüller üretilebilmektedir[9].

20 yıl kadar sonra William Thomson (Lord Kelvin olarak da bilinir) Seebeck ve Peltier'in buluşlarını birleştirerek teorik dayanaklarını açıklamıştır. Ancak termoelektrik alanında pratiğe yönelik uğraşlar ilk olarak 1930'larda Rus bilimciler tarafından başlatılmıştır. Termoelektrik modüllerin piyasaya çıkması ise 1960'ları bulmuştur[2,9].

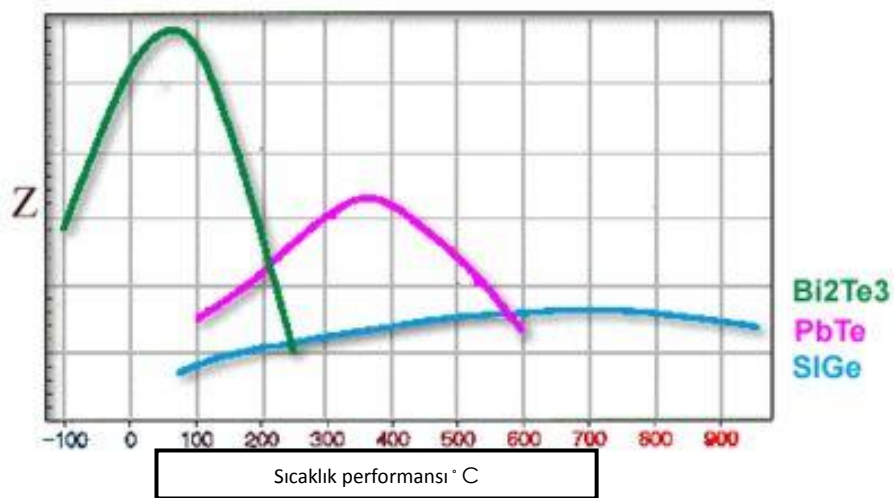
### 3.8 Termoelektrik Modül Teknolojisi

Tüm termoelektrik soğutma sistemlerinin temel yapı taşı, bir DC gerilim kaynağından beslenen termoelektrik elemandır. Bu eleman, yüksek katkılı bir yarı-iletken malzemenin, sıcak ve soğuk yüzeyleri oluşturan iki plaka arasına preslenmesinden meydana gelir (Şekil 3.9). Yarı-iletken malzeme olarak en çok bizmut-tellürit ( $Bi_2Te_3$ ) kullanılmakla birlikte, bazı özel uygulamalarda kurşun-tellürit (PbTe), silisyum-germanyum (SiGe) ya da bizmut-antimon (Bi-Sb) alaşımlarından da faydalanılmaktadır. Bizmut-tellürit, yüksek termoelektrik verimi ve uygun sıcaklık aralığı nedeniyle tercih edilmektedir (Şekil 3.10)[7,11].

N-katkılı malzemenin özelliği çok miktarda serbest elektronlar içermesidir. Bu elektronlar uygulanan gerilimin etkisiyle bir plakadan diğerine akarken, plakanın ısını da beraberlerinde taşırlar. Bu nedenle ısı akımı, elektron akımıyla aynı yödedir[9].

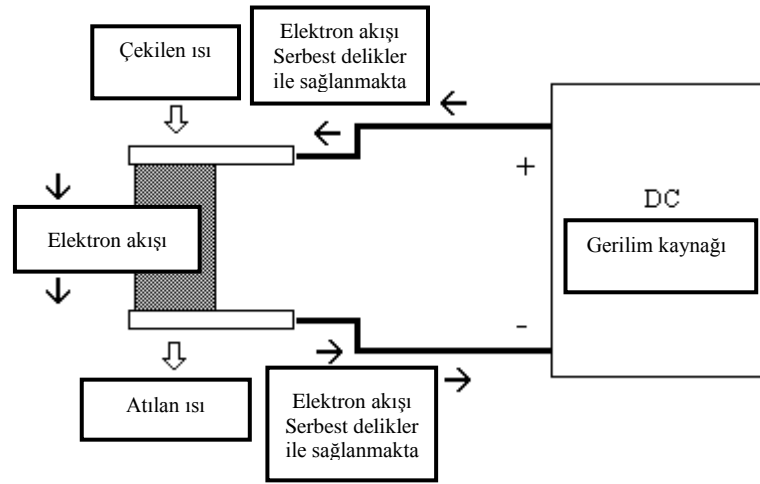


Şekil 3.9 N-tipi termoelektrik eleman[9].



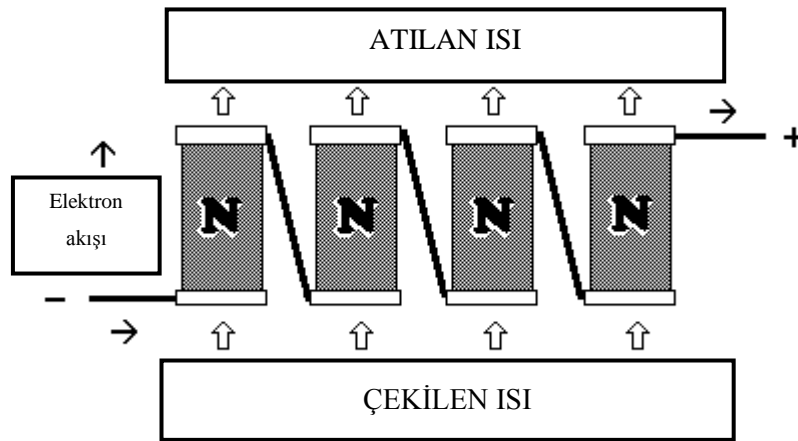
Şekil 3.10 Farklı yarı-iletken malzemelerin sıcaklığa bağlı verimleri[9].

P-katkılı malzemeyle üretilen elemanlarda ise elektrik akımı serbest “delikler” tarafından taşınmaktadır (Şekil 3.11). Isı akımı da “delik” hareketiyle aynı yönde gerçekleşmektedir. Dikkat edilecek olursa, aynı yönde uygulanan gerilim altında P ve N-katkılı malzemeler ısıyı zıt yönde iletmektedir[9].

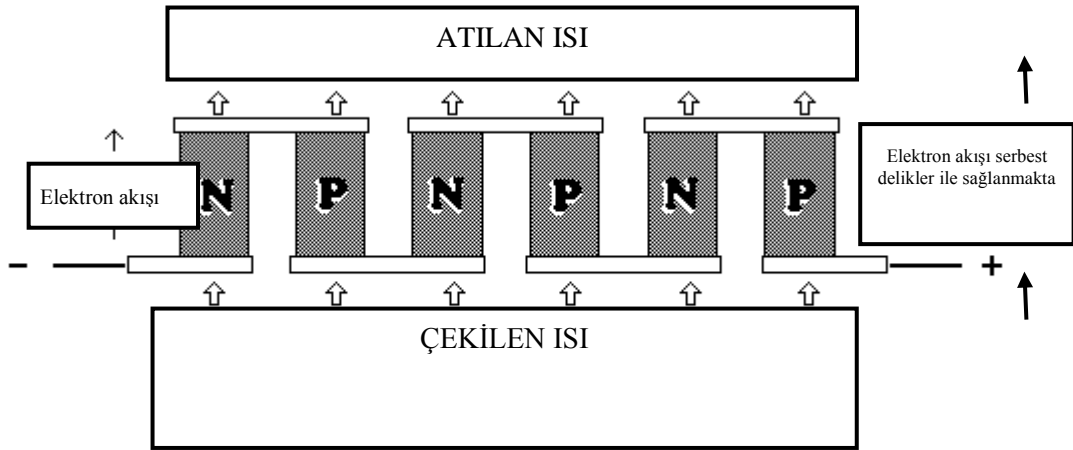


Şekil 3.11 P-tipi termoelektrik eleman[9].

Termoelektrik elemanların bir araya getirilmesi ile termoelektrik modüller elde edilir. Elemanlar, ısı akımı hep aynı yönde kalacak şekilde birbirlerine seri olarak bağlanır. Aynı tip katkılı malzemenin kullanılması bağlantı zorluğuna neden olacağı için (Şekil 3.12), N- ve P- katkılı malzemeler ardışık olarak kullanılır. Bu durumda elektrik akış yönü zikzak çizerken, ısı akış yönü değişmez (Şekil 3.13)[9].

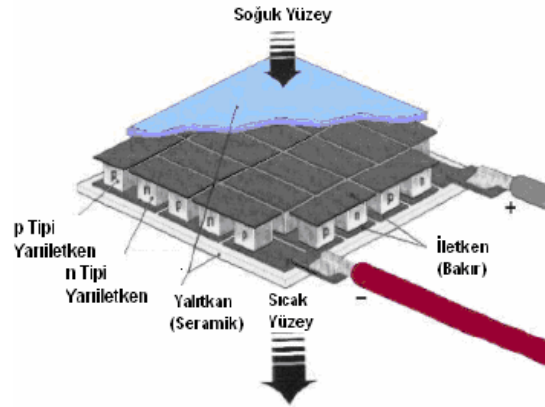


Şekil 3.12 Yalnız N-tipi termoelektrik elemandan oluşan sıra[9].



Şekil 3.13 N- ve P-tipi termoelektrik elemanların ardışık dizilişiyle oluşan sıra[9].

17 elemanlı bir modül, Şekil 3.14’de görülmektedir. Elemanlar ısıl olarak paralel bağlandıklarından bir modülün soğutma gücü, her bir elemanın soğutma gücünün toplamı olacaktır. Yanal plaka olarak metal kaplı seramik kullanılması, hem ısıl iletkenliği ve elektriksel izolasyonu, hem de montaj için gerekli yüksek mekanik mukavemeti sağlamaktadır.[9]



Şekil 3.14 17 Elemanlı bir modülün iç yapısı[9].

Modülün çalışması esnasında sıcak yüzey genişiyip soğuk yüzey büzülduğünden, modül üzerinde termal kökenli bir mekanik gerilim meydana gelmektedir. Kırılgan yapıya sahip yarı-iletken malzemeye zarar verebilecek bu gerilim, modül boyutlarıyla doğru orantılı olduğundan, çok büyük modüllerde bozulma oranı oldukça yüksek çıkmaktadır. Bu sebeple pratikte modül boyutu yaklaşık 50x50 mm. ile sınırlı tutulmaktadır. Bu ebatla bir modül, yüzden fazla eleman

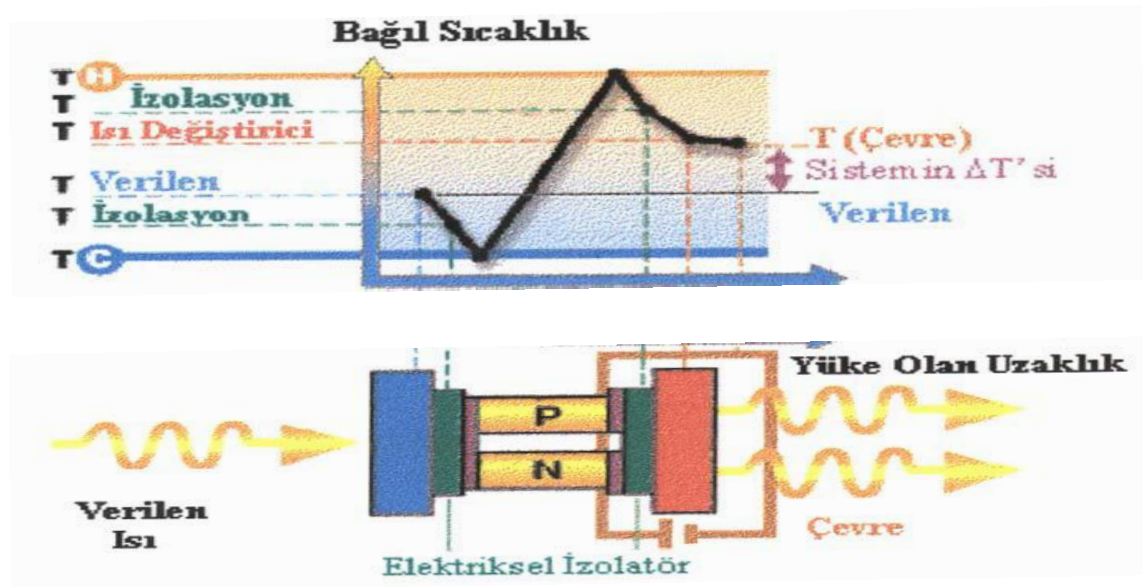


içerebilmekte ve 100 W gücünde soğutma yapabilmektedir. Daha büyük soğutma gücüne ihtiyaç duyulduğunda birden fazla modül, ısııl açıdan birbirine paralel bağlanmaktadır[9].

Çalışma ömrü 200. 000 saate (>20 yıl) kadar çıkabilen termoelektrik modüllerin soğutma performansı 3~6 W/cm<sup>2</sup> olup, yüzeyleri arasında 70 °C'e varan sıcaklık farkı oluşabilmektedir[9].

### 3.9 Soğutucu Yapısı ve Uygulama Örnekleri

Termoelektrik prensibine dayalı bir soğutucunun pratik olarak gerçekleştirilebilmesi için, yapısını yukarıda açıkladığımız modüllerin, ısı transferi yapılacak yüzeylere termik ve mekanik olarak bağlanması gerekmektedir. Başka bir deyişle, modülün soğuk yüzeyi soğutulacak nesne ile sıcak yüzeyi ise ısıyı pasif olarak taşıyacak ortam ile (hava veya su) irtibatlandırılır. Isıyı taşıyan bağlantı elemanlarının ısıl direnci nedeniyle her zaman, soğutulan cisim modülün soğuk yüzeyinden daha sıcak, pasif soğutmada kullanılan hava ya da su ise sıcak yüzeyden daha soğuk olacaktır. Başka bir deyişle soğuttuğumuz nesne ile ortam arasındaki sıcaklık farkı, modülün yüzeyleri arasında oluşturulan sıcaklık farkından daha düşük kalacaktır. Bu nedenle ısı aktarma elemanlarının mümkün olduğunca düşük ısıl dirence sahip bulunması arzulanır. Termoelektrik soğutma sistemi üzerindeki sıcaklık dağılımını gösteren Şekil 3.15 incelendiğinde bu durum daha iyi anlaşılabilir.

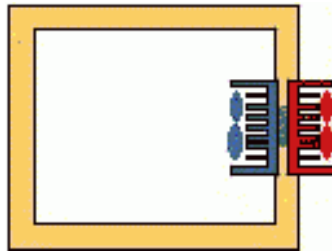


Şekil 3.15 Termoelektrik soğutucu üzerindeki sıcaklık dağılımını[9].

En sık karşılaşılan uygulama tipi “havadan-havaya” iletimdir. Burada hem sıcak, hem de soğuk yüzey üzerinden ısının iletiminde kanatlı alüminyum profiller kullanılır. Güç elektroniğinden tanıdığımız bu profiller üzerine, ısıl direnci azaltmak için birer fan monte edilir. Şekil 3.16, 27 W gücünde bir soğutucuyu göstermektedir. En çok buzdolabı uygulamalarında rastladığımız bu tip sistemler, buzdolabının bir duvarına açılacak bir deliğe monte edilir (Şekil 3.17). Modül çevresinde, ısıl izolasyona yardımcı olan köpük malzeme kullanılır[9].

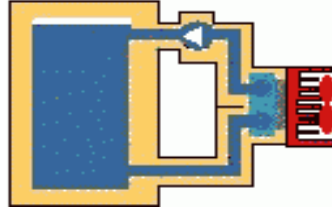


**Şekil 3.16** 27 W Soğutma gücünde “Havadan-Havaya” soğutucu[9,20].

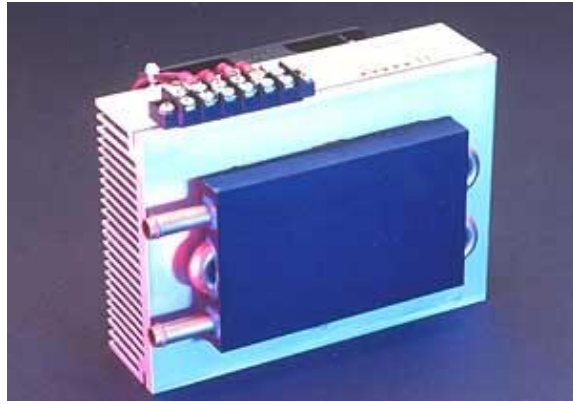


**Şekil 3.17** “Havadan-Havaya” soğutucu bağlantısı[9,20].

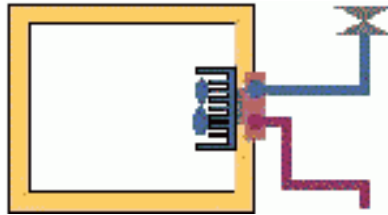
“Sudan-havaya” iletim ise, en çok içecek soğutucularında kullanılır. Soğutulacak sıvı, bir pompa yardımıyla sürekli soğuk yüzey üzerinden geçirilir (Şekil 3.18). Sıvı soğutma amacına yönelik böyle bir sistem Şekil 3.19’da sunulmaktadır. Bu sistem, tersten çalıştırıldığında ise “havadan-suya” soğutma sağlanabilir. Sıcak yüzeyinden musluk suyu geçirilmesiyle yüksek bir soğutma gücü elde edilebilir (Şekil 3.20). Fan ve pompa gerekmeyen bu sistemin verimi de yüksektir[9].



Şekil 3.18 “Sudan-Havaya” soğutucu bağlantısı[9,20].

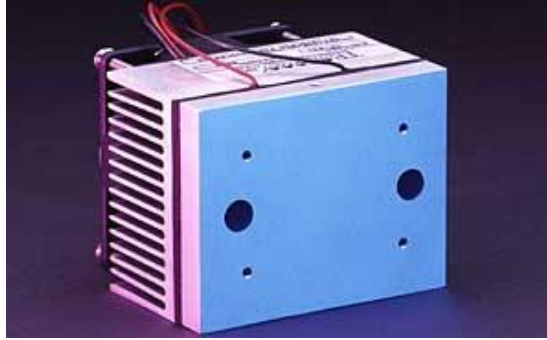


Şekil 3.19 61 W soğutma gücünde “Sudan-Havaya” soğutucu[9,20].



Şekil 3.20 “Havadan-Suya” soğutucu bağlantısı[9,20].

Diğer bir iletim metodu ise “soğuk plaka” uygulamasında görülür. Burada termoelektrik modülün soğuk yüzeyi, bir plaka aracılığıyla doğrudan soğutma elemanına (örneğin metal kazanlı bir soğuk içecek dolabına) bağlanır (Şekil 3.21)[9].



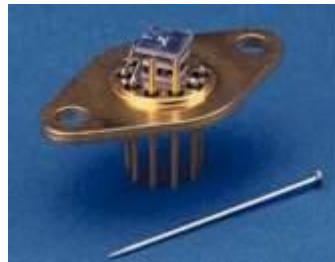
**Şekil 3.21** 31W soğutma gücünde “Soğuk Plakalı” soğutucu[9,20].

“Soğuk plakalı” soğutuculara iyi bir örnek, CPU soğutucularıdır. Özellikle yüksek frekansta çalıştırılan (over-clocked) mikroişlemcilerin soğutulmasında kullanılan bu tip termoelektrik sistemler, doğrudan entegre devre üzerine monte edilir. Şekil 3.22, böyle bir soğutucuyu ve besleme ünitesini göstermektedir[9].



**Şekil 3.22** Termoelektrik CPU soğutucusu ve DC besleme ünitesi[9].

Şekil 3.23’de IC kılıfı içindeki mW soğutucu, Şekil 3.24’de ise TEC kullanan bir laser diyotu görülmektedir[9].



**Şekil 3.23** IC kılıfındaki mW soğutucu[9,20].



**Şekil 3.24** TEC ile çalışan lazer diyodu[9,20].

“Buz sondası” adı verilen bir akvaryum soğutucusu, Şekil 3.25’te verilmektedir. Akvaryum duvarında açılacak 3 cm. Çapındaki bir deliğe vidalanan sonda, 20 litrelik bir akvaryumun sıcaklığını 8 °C düşürebilmektedir. Bu tip soğutucular, özellikle cam, fiber veya plastik haznelerin soğutulması için uygundur[9].



**Şekil 3.25** 50 W soğutma gücünde bir “Buz Sondası”[9].

Termoelektrik soğutucuların yüzeyleri arasındaki azami 65-70 °C’lik ısı farkının yeterli olmadığı uygulamalarda “çok-katlı” sistemler kullanılmaktadır. Bu sistemlerde 2 veya 3 modül, birinin sıcak yüzeyi diğerinin soğuk yüzeyine degecek şekilde arka arkaya bağlanmaktadır (Şekil 3.26). Modüllerin bu şekilde ısı olarak seri bağlanmasıyla iki katlı modüllerde 85-90 °C, üç katlılarda ise 110 °C’ye varan sıcaklık farkları oluşturulabilmektedir. Çok katlı modüllerin verimi ne yazık ki çok düşüktür ve ancak 1 W civarında bir soğutma gücüne erişebilmektedirler[9].



**Şekil 3.26** Üç katlı modül[9].

### 3.10 Termoelektrik Isıtma

TEC modüllerinin sıcak ve soğuk yüzeylerinin, yani ısı iletim yönünün ve dolayısıyla uygulanan gerilimin polaritesine bağlı olduğundan bahsetmiştik. Bu özellik, bizim aynı modül ve sistemle, hem soğutma ve hem de ısıtma yapabilmemizi mümkün kılar. Isıtma/soğutma değişimi için gereken tek şey, bir anahtarla modül geriliminin ters çevrilmesidir. “Dört mevsim” klimalardakine benzeyen bu özellik, özellikle mini buzdolaplarında ve hassas sıcaklık kontrollü uygulamalarda kullanılmaktadır. Modüllerin ısıtma verimi, soğutmadakinden daha yüksektir ( $COP_H=1+COP_C \cong 1.5$ ). Yani 60 W elektrik gücü ile 90 W'lık ısıtma sağlanabilmektedir. Aradaki 30 W'lık fark, sıcak ortamdaki çekilmektedir. Özellikle ısıtmalı buzdolaplarında gördüğümüz bu özellik, simetrik besleme kullanan hassas sıcaklık kontrollü uygulamalarında da ortam sıcaklığından bağımsız çalışma sağlamaktadır[9].

### 3.11 Kullanım Alanları

Termoelektrik soğutucular, çok farklı alanlarda karşımıza çıkmaktadırlar. İşte bunlardan birkaçı[14]:

#### 3.11.1 Elektronik

Güç elemanları ve IC soğutma, düşük gürültülü yükselteçler, lazer diyotu (veri anahtarlama, tarayıcılar, ataletsel güdüm sistemleri)[14].

#### 3.11.2 Elektro-optik

IR detektörler (gece görüş ve güdüm), siyah cisim referansı, lazer kolimatörler, CCD kameralar (askeri/uzay), foto-yükselteçler, vidikon tüpleri[14].

#### 3.11.3 Fizik

Kalorimetre, ısıl şartlandırma odaları, nem gidericiler, yoğuşma tipi nemölçerler, buz (donma noktası) referansı, kalibrasyon banyoları[14].

### 3.11.4 Kimya

Elektroforez hücresi soğutma, ısı bataryası (termo-pil)[14].

### 3.11.5 Biyomedikal

DNA ve kan tahlil cihazları, tıbbi tanı cihazları[14].

### 3.11.6 Diğer

Taşınabilir mini buzdolapları, bardak soğutucular, daldırma ve karıştırma tipi soğutucular, cihaz içi iklimlendirme[14].



Şekil 3.27 Piknik amaçlı bir piknik soğutucu[14].



Şekil 3.28 Mini bir buzdolabı[14].



Şekil 3.29 Lazer ve medikal uygulamalar için sıvı soğutucu[14].



Şekil 3.30 Arabalar için mobil termoelektrik soğutucu[14].





**Şekil 3.31** Bir CPU soğutulması için tasarlanmış termoelektrik soğutucu[14].



**Şekil 3.32** Vitrin tipi içecek soğutucusu[14].

### 3.12 Avantaj ve Dezavantajları

#### 3.12.1 Avantajları

Hareketli parça içermez, küçük ve hafiftir, sadece polarite değiştirerek ısıtma yapabilir,  $\pm 0.1$  °C hassasiyetle sıcaklık kontrolüne izin verir, uzun ömürlüdür, bakım gerektirmez, sessizdir, yerçekimsiz ortamda ve her pozisyonda çalışabilir, nokta soğutma yapabilir ve soğutulacak yüzeye doğrudan bağlanabilir, doğaya zarar vermez[14].

#### 3.12.2 Dezavantajları

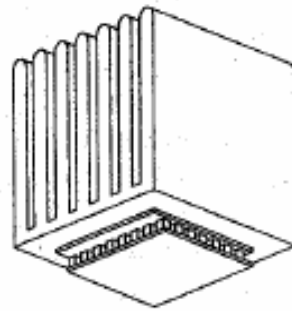
Verimi düşüktür ( $COPC \cong 0.5$ ; kompresörlü soğutucularda  $COPC \cong 4$ ), fazla ısı üretir, fan gerektirir (gürültü, hareketli parça, kısa ömür), fan arızası durumunda soğutma gücünün 2 katı kadar ısıtmaya sebep olur, DC besleme gerektirir, pahalıdır, yüksek soğutma güçleri için uygun değildir[14].

### 3.13 Termoelektrik Modüllerin Seçim ve Tasarımında Isıl ve Elektriksel Parametreler

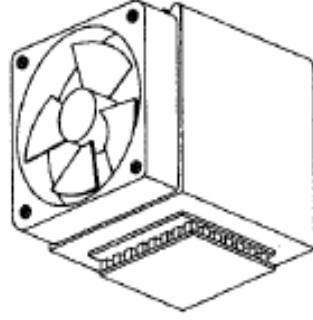
Bir soğutucunun tasarımı ve seçimi, genellikle üretici firma tarafından sağlanan termoelektrik modülün performans eğrilerine göre yapılmaktadır. Tasarım, termoelektrik soğutmanın sıcak ve soğuk yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ( $\Delta T$ ) ve istenen soğutma kapasitesi ile başlar. Belirlenen soğutma kapasitesine göre  $\Delta T$ -Akım eğrisinden modülün akım şiddeti belirlenir. Daha sonra Voltaj (V)-Akım (I) eğrisinde sıfır soğutma yükü ve sıfır sıcaklık farkında gerekli voltaj farkının üst ve alt limitleri belirlenir. Daha sonra ısı kaynağının ısıl direnci değerlendirilir[14,15].

Termoelektrik modüllerde, akımın yönüne bağlı olarak ısıtma ve soğutma gerçekleştirilir. Dolayısıyla ısıtma ve soğutma amaçlarının ikisinin de istendiği uygulamalarda, tasarım soğutma moduna görev yapılmalıdır[14,16].

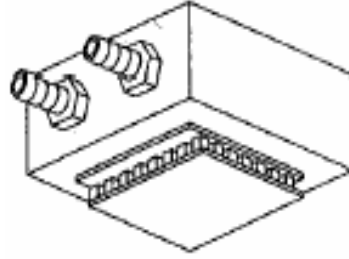
Termoelektrik modüllerde ısının çekildiği ve ısının atıldığı ortam son derece önemlidir. Isı aktarım türleri olarak modüller tasarım ve konstrüksiyon olarak farklılık gösterebilirler. Termoelektrik modüllerde, havadan havaya, sudan havaya, havadan suya, sudan suya ve soğuk plaka uygulamaları mevcuttur. Şekil 3.33, şekil 3.34 ve şekil 3.35'te ısı kaynağının soğutma türlerine göre çeşitli modüller gösterilmiştir[17]. Şekil 3.36'da sudan havaya bir soğutucu modülü ve şekil 3.37'de ise soğuk plakalı termoelektrik soğutucu modülü gösterilmiştir[14,18].



Şekil 3.33 Serbest taşınımlı hava soğutmalı ısı kaynağı[14].



**Şekil 3.34** Zorlanmış taşınımli hava soğutmalı ısı kaynağı[14].



**Şekil 3.35** Zorlanmış taşınımli sıvı soğutmalı ısı kaynağı[14].



**Şekil 3.36** Sudan havaya bir termoelektrik modül[14].



**Şekil 3.37** Soğuk plakalı termoelektrik soğutucu[14].

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 ile hava ile soğutulduğunda (Şekil 3.33 ve Şekil 3.34), sıcak yüzeyin sıcaklığı ( $T_h$ ) ve sıcak yüzeyden atılan ısı,  $Q_h$  aşağıdaki denklemden bulunabilir[14,16].

$$T_h = T_0 + U \cdot Q_h$$

$$Q_h = Q_c + W_e$$

Burada,  $T_0$  ısının aktarıldığı ortam sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $U$  ısı değiştiricinin toplam ısıl direnci ( $^{\circ}\text{C}/\text{Watt}$ ) ve  $Q_c$ , termoelektrik modül soğuk yüzeyinin çektiği ısı ( $\text{W}$ ) ve  $W_e$  ( $\text{W}$ ) termoelektrik modülün çektiği elektrik gücü olup,  $I$  (Amper) ve  $V$  (Volt) bağlıdır[14].

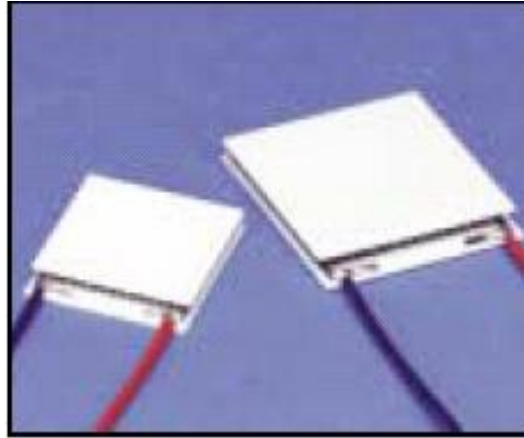
$$W_e = V \cdot I$$

Isı değiştiricisinin ısıl direnci bilinmediğinde sıcak yüzeyin sıcaklığı, hava soğutmalı doğal taşınım ortam sıcaklığına  $20\text{-}40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , hava soğutmalı zorlanmış taşınım ortam sıcaklığına  $10\text{-}15\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve su soğutmalı ise  $2\text{-}5\text{ }^{\circ}\text{C}$  ortam sıcaklığına eklenerek bulunur. Örneğin  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  bir ortamda serbest taşınımlı hava soğutmanın yapıldığı bir termoelektrik modülün sıcak yüzeyinin sıcaklığı yaklaşık olarak  $20+35=55\text{ }^{\circ}\text{C}$  alınabilir[14].

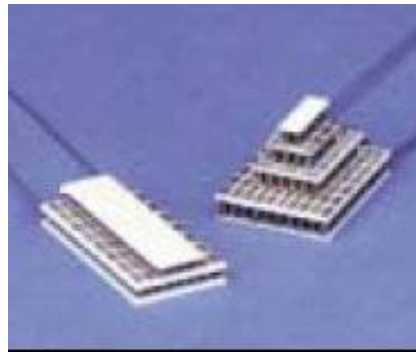
Termoelektrik soğutucunun soğuk yüzeyinin sıcaklığı ( $T_c$ ), eğer yüzey doğrudan soğutulacak cisim veya ortam ile temasta ise cismin sıcaklığı veya ortamın sıcaklığı alınabilir. Eğer bir ısı değiştirgeci arada varsa, ısıl dirençlerin göz önüne alınması gerekir[14].

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  $\Delta T < 55\text{ }^{\circ}\text{C}$  ise, tek kademeli termoelektrik modül yeterli olabilir. Tek kademeli bir modül için teorik maksimum sıcaklık farkı,  $65\text{ }^{\circ}\text{C} < \Delta T < 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'dir. Eğer  $\Delta T > 55\text{ }^{\circ}\text{C}$  ise, çok

kademeli termoelektrik modüller seçilmelidir. Yedi adede varan tek kademeli termoelektrik modüller üst üste konarak, yüksek  $\Delta T$ 'ye sahip çok kademeli bir soğutma modülü oluşturulabilir[14,16]. Çok kademeli termoelektrik cihazlarda  $\Delta T \approx 130$  °C'ye kadar sağlanabilir. Pratikta ulaşılan en düşük sıcaklık -100 °C'dir. Şekil 3.38 ve şekil 3.39'ta sırasıyla tek ve çok kademeli termoelektrik soğutma modülleri gösterilmiştir[14].



**Şekil 3.38** Tek kademeli termoelektrik soğutma modülleri[14].



**Şekil 3.39** Çok kademeli termoelektrik soğutma modülleri[14].

Termoelektrik soğutma modüllerin ısıtma ve soğutma tesir katsayıları (COP), konvansiyonel soğutma makinelerine ve ısı pompalarına benzer olarak aşağıdaki denklemlerde olduğu gibi tanımlanır[14].

$$COP_h = Q_h / W_e$$

$$COP_c = Q_c / W_e$$

Termoelektrik soğutucular, belirlenen  $T_h$ 'da  $I_{max}$ ,  $V_{max}$ ,  $Q_{max}$  ve  $\Delta T_{max}$  değerleri ile değerlendirilir 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.  $\Delta T_{max}$  ise soğutucu yüzeyleri arasında oluşabilecek en yüksek sıcaklık ( $I_{max}$ ,  $V_{max}$  ve  $Q_C =0$  olduğunda) farklıdır[14,16].

### 3.14 Tasarım Kriterleri

Termoelektrik soğutucu tasarımına geçmeden önce, modül parametrelerini açıklamak yerinde olacaktır. Bir TEC modülünün en önemli 4 parametresi vardır: DT, Q, I ve V[9].

#### 3.14.1 DT (°C), sıcaklık farkı

Modülün sıcak ve soğuk yüzeyleri arasında oluşan sıcaklık farkıdır. Soğutma sisteminin sıcaklık farkı, DT değerinden daima daha küçüktür. DT, modülün pompaladığı ısı gücüne bağlı bir parametre olup, en yüksek değerine ( $DT_{max}$ ), ısı aktarımı yokken ulaşır ( $Q = 0$ ).  $DT_{max}$ , modüle bağımlı bir sabittir[9].

#### 3.14.2 Q (W), ısı aktarım (Pompalama) gücü

Modülün yüzeyleri arasından birim zamanda aktarılan ısı miktarı; yani modülün net soğutma gücüdür. Bu da DT'ye bağımlı bir değişken olup, DT arttıkça azalmaktadır. En yüksek değerine ( $Q_{max}$ ),  $DT = 0$  iken ulaşır.  $Q_{max}$  da yine modüle bağımlı bir sabittir[19].

#### 3.14.3 I (A), modül akımı

Modülün içinden geçen akımdır. Soğutma gücü (Q), I akımıyla doğrudan orantılıdır; bu nedenle sıcaklık kontrolü yapılan uygulamalarda modül akımına kumanda edilir. Ancak akım arttıkça modülde oluşan  $I^2 \cdot R$  kaybı artarak modülün ısınmasına neden olur. Dolayısıyla I değeri belli bir değeri aşınca soğutma gücü düşmeye başlar. İşte soğutma gücünün azami olduğu andaki akım değeri  $I_{max}$  olarak adlandırılır. Modüle bağımlı bir sabit olan  $I_{max}$ , modülün dayanabileceği en yüksek akım değil, pratik değeri olan maksimum akımdır. Bir başka deyişle  $I_{max}$ , modülün  $Q_{max}$  veya  $DT_{max}$  sınırında çalışması için gerekli optimum akımdır[19].

#### 3.14.4 V (V), modül gerilimi

Modülün içinden I akımı akarken terminalleri arasında oluşan gerilimdir.  $I = I_{max}$  iken oluşan gerilim  $V_{max}$  olarak adlandırılır. Bu da modüle bağımlı bir sabittir[19].

Tasarımın hedefi,  $DT_{max}$ ,  $Q_{max}$ ,  $I_{max}$  ve  $V_{max}$  değerlerini kullanarak 4 parametreden ikisini hesaplamaktır. Diğer iki parametrenin baştan belirlenmesi gerekmektedir. Durumu daha iyi kavrayabilmek için bir örnek üzerinden izah edelim[9]:

Örneğimiz, 50 litrelik poliüretan bir otomobil buzdolabı olsun. Dış sıcaklık  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  iken, buzdolabımızın iç sıcaklığının  $8\text{ }^{\circ}\text{C}$  olmasını istiyoruz diyelim. Bu durumda sistem sıcaklık farkı  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$  olacaktır. ‘‘Havadan-havaya’’ tipi soğutma kullandığımızı ve fan yardımıyla ısı direnci küçük tuttuğumuzu farz edelim. Bu durumda yaklaşık  $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’lik ek bir sıcaklık artışı düşünersek toplam  $DT = 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  olacaktır. Gelelim  $Q$  değerinin seçimine[9]:

Modülün pompalaması gereken ısı, buzdolabının dış yüzeyinden kaybedilen ısı olacaktır. Yani dolabın izolasyonu iyi ise, soğutma gücü  $Q$  da o kadar düşük tutulabilecektir. Buzdolabının dış yüzeyini  $0.7\text{ m}^2$  ve izolasyon kalınlığını  $2\text{ cm}$ . olarak alırsak,  $Q$  değerimiz  $28\text{ W}$  olacaktır[9].

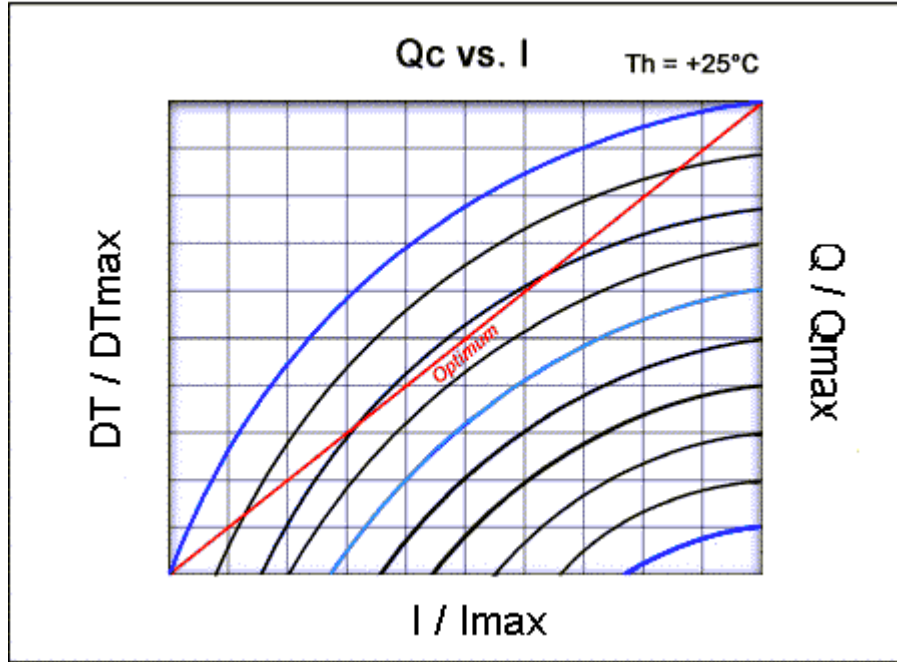
$DT$  ve  $Q$  değerlerini belirledikten sonra, modül seçimi yapılır. Bunun için Şekil 3.40’teki grafikten faydalanılır.  $DT_{max}$ ’ı  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  kabul edersek,  $DT/DT_{max} = 0.5$  olacaktır.  $Q/Q_{max}$  ise  $(1-DT/DT_{max} = 0.5)$  olarak bulunur ( $Q_{max} = 56\text{ W}$ ). Grafik üzerinde bu noktadan çizilen yatay hattın ‘‘Optimum’’ çizgisini kestiği noktaya teğet olan eğri ise bize  $Q/Q_{opt} = 0.24$ ’ü verir ( $Q_{opt} = 117\text{ W}$ ). Seçeceğimiz modülün  $Q_{max}$  değeri, bu iki sınır arasında, yani  $56$  ila  $117\text{ W}$  arasında olmalıdır. Burada örnek olarak Melcor CP1. 4-127-045L modülünü seçiyoruz. Modüle ait değerler aşağıda verilmektedir[9]:

**Çizelge 3.2** Melcor CP1. 4-127-045L modülüne ait değerler[14]:

$Q_{max}$ (W)	$V_{max}$ (V)	$I_{max}$ (A)	$DT_{max}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	Eleman Sayısı	En/Boy (mm)	Kalınlık (mm)
72	15.4	8.5	67	127	40	3.3

Şimdi yapmamız gereken, modül akımını bulmaktır. Bunun için önce gerçek  $Q/Q_{max}$  (0.39) ve  $DT/DT_{max}$  (0.52) değerleri hesaplanır. Grafikte  $DT/D\Delta_{max} = 0.52$  noktasından çekilen yatay çizginin  $Q/Q_{max} = 0.39$  eğrisiyle kesiştiği noktanın düşey izdüşümü bize akımı verecektir. Buradan  $I/I_{max}$  için  $0.73$  değeri bulunur ki  $I$  da böylece yaklaşık  $6.2\text{ A}$  eder. Gerekli gerilim  $V$  ise yaklaşık  $I \cdot V_{max}/I_{max} = 11.2\text{ V}$  olarak hesaplanır[9].

Modülün anma gücü ( $P = V \cdot I$ ) yaklaşık 70 W olarak bulunur. Verimlilik katsayısı da ( $COPC=Q/P$ ) 0.4'e eşittir. Modülün sıcak yüzeyi üzerinde 98 W'lık bir ısı meydana geleceğine dikkat çekmek isteriz![9].



Şekil 3.40 Çalışma akımı belirleme grafiği[9].

Modüllerin beslenmesi için DC gerilim kullanılmalı ve gerilim üzerinde dalgalanma (AC bileşen) bulunmamalıdır. Dalgalı bir gerilim modül performansını ve  $DT_{max}$  değerini düşürür. Yeni  $DT_{max} = DT_{max} / (1+N^2)$  formülüyle hesaplanır (N: dalgalanma oranı). Gerilim üzerindeki %20 dalgalanmanın, performansı %4 azalttığını görmekteyiz[9]:

Modüllerin ömrü azami 200.000 saat olmakla beraber, soğutucunun her açılıp/kapanışı modülün ömrünü azaltmaktadır. Bunun nedeni ise, açma/kapama esnasında oluşan ani sıcaklık değişimlerine bağlı mekanik gerilimlerdir. Bu yüzden, sıcaklık kontrolü yapılacaksa, bunun on/off kumandası yerine analog akım kontrolü şeklinde gerçekleştirilmesi modül ömrü açısından önemlidir. Eğer PWM kullanılacaksa frekansın 2 kHz'den büyük olması önerilmektedir[9].

### 3.15 Termoelektrik Üreteçler (TEG)

Seebeck ve Peltier'in deneyleri ile termoelektrik etkinin çift yönlü olduğunun ispatlandığını daha önce belirtmiştik. Termoçiftlerin (TC) çalışma prensibi de buna dayanmaktaydı. TE modüller de, aynen TC elemanları gibi, sıcaklık farkından gerilim



üretebilirler. Modül sıcak yüzeyinin bir ısı kaynağıyla irtibatlandırılması ve soğuk yüzeyinin de ortam ısısında tutulması ile gerilim kaynağı olarak kullanılabilir. TE modülünün avantajı, TC elemanından çok daha yüksek bir gerilim üretebilmesidir. En yüksek gerilime sahip E tipi termoçiftin Seebeck katsayısı  $0.068\text{mV}/^\circ\text{C}$  iken, daha önce örnek verdiğimiz Melcor CP1.4-127-045L modülünde bu katsayı  $55\text{mV}/^\circ\text{C}$ 'dir; yani  $DT=200^\circ\text{C}$  için E tipi termoçift  $13.8\text{mV}$  gerilim üretirken, modülümüzün çıkış gerilimi  $11\text{ V}$  (yaklaşık 800 kat!) olacaktır. Üstelik çıkışına bağlanacak  $1.8\ \Omega$ 'luk yük üzerine  $17\text{ W}$ 'lık bir güç verebilir. Bu durumda modülün içinden geçen ısı yaklaşık  $230\text{ W}$  olacaktır ki bu da %7 civarında bir verime karşılık gelir[9].

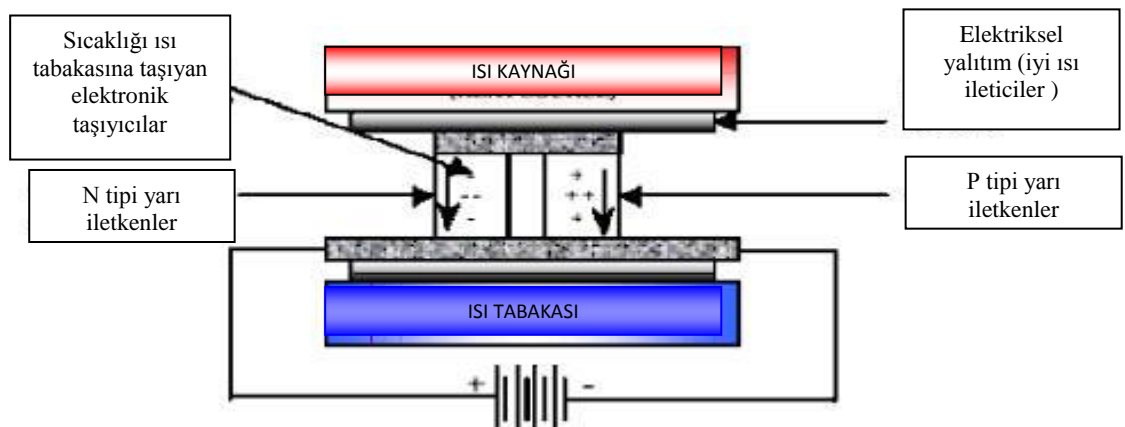
Görüldüğü gibi TEG modüllerinin verimi çok düşüktür; bu da onların genel amaçlı elektrik jeneratörü olarak kullanılmasını engellemektedir. Ancak kalorimetre uygulamaları, ya da DC besleme (termal batarya) olarak bazı özel durumlarda faydalanılmaktadır. Bunlar arasında uzay araçları elektroniği, sıcak su/yağ telemetri sistemleri, fırın/kazan/kalorifer kontrol elektroniği, jeotermal ve güneş enerjisi gibi uygulamalar sayılabilir. Üzerinde çalışılan bir diğer uygulama da motor egzoz manifoldu üzerinden geri kazanımlı alternatör projesidir[9].

#### 4. DENEYİN TANITIMI, YAPILIŞI VE SONUÇLARININ ALINMASI

Termoelektrik soğutucular, bir nesnenin sıcaklığını çevre sıcaklığının altına düşürürken, çevredeki sıcaklık ne olursa olsun, nesne sıcaklığını dengede tutarlar. Termoelektrik soğutucular ısı transfer elemanlarının aktif bir soğutma sistemi olup, miliwatt'tan kilowatt'a kadar değişen bir yelpazedeki uygulamalar için kullanılabilir.

Bu projede peltier adı verilen yarı iletken bir eleman kullanılarak ısıtma ve soğutma deneyi ile ne kadarlık bir elektrik üretiminin yapılabileceği araştırılmaktadır. Peltier, P ve N jonksiyonlarının seri bağlanmasıyla oluşan ve içinden doğru akım geçtiğinde "Peltier efekti" diye bilinen fiziksel bir etki ortaya çıkaran elemandır. Bu etkiyle malzemenin bir yüzü ısınırken diğer yüzü soğur. Peltier malzemesi değişik boyutlarda imal edilmekte ve 3 ila 15 volt arasında herhangi bir gerilimde çalışabilmektedir. Uygulanan gerilimin yönü ters çevrildiğinde ısınan yüzey ile soğuyan yüzey yer değiştirir.

Termoelektrik soğutma sistemi hareketli parçası olmadığından sessiz çalışmaktadır. Termoelektrik soğutma sisteminde, termoelektrik modül kullanılmaktadır. Termoelektrik modül n ve p tipi malzemelerden oluşmaktadır. Genellikle n tipi malzeme olarak  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  ve p tipi malzeme olarak da Bi, Sb, Te temel malzemeleri kullanılmaktadır. Termoelektrik soğutucular elektriksel devreleri baz alındığında seri, ısı transferi baz alındığında da paralel düzenlenmiş çok sayıda termocouple (ısı çift)'den oluşmaktadır. Termoelektrik soğutucu modüllerin genellikle n ve p tipi malzeme çiftlerinden eşit sayıda konulmasıyla üretilmektedir[7].



Şekil 4.1 Termoelektrik modülün şematik yapısı[7].

Bu deneyin yapımında kullanılan malzemeler şunlardır:

- 1) (4x4x0.5) cm boyutunda 8 adet peltier
- 2) (40x30) cm boyutunda 2 adet alüminyum levha
- 4) Peltierin ısınan tarafını soğutmak için 3 adet plaka ve plakaya monte edilmiş 3 adet fan (Şekil 4.2)
- 5) Sıcaklık ayarı için termostat
- 3) En az 3 amper akım verebilen 12 volt Dc kaynak
- 4) Ampermetre
- 5) Yaklaşık 1 kw gücünde trafo
- 6) Isı iletkenliği az olan fiber
- 7) İletkenliği arttırıcı yalıtkan malzeme
- 8) 10 adet sigorta



Şekil 4.2 Deney üzerindeki fanlar.

Bazı malzemeleri kısaca tanıyacak olursak şöyle özetleyebiliriz:

**Sıcaklık sensörleri:** 2 adet sıcaklık sensörü kullanılmıştır. Sıcak ve soğuk yüzeylerin sıcaklıklarını ölçmek amacıyla kullanılmıştır.

**Fanlar:** Peltier TEC modülde oluşan fazla ısının dışarı atılması için kullanılır.

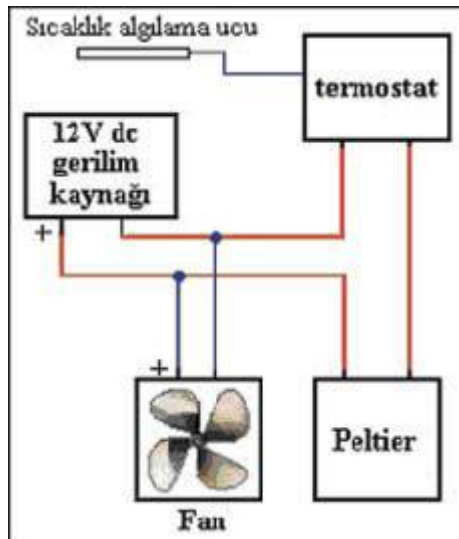
**Peltier:** Isıtma ve soğutma işleminde kullanılan TEC modüldür. Toplam 8 adet kullanılmıştır.



Şekil 4.3 Peltier[3].

**Sigorta:** Toplam 10 adet sigorta kullanılmıştır. 8 tanesi peltierleri açıp kapatmak için, 1 tanesi tarfoyu açıp kapatmak için, 1 tanesi fanları açıp kapatmak için kullanılmıştır.

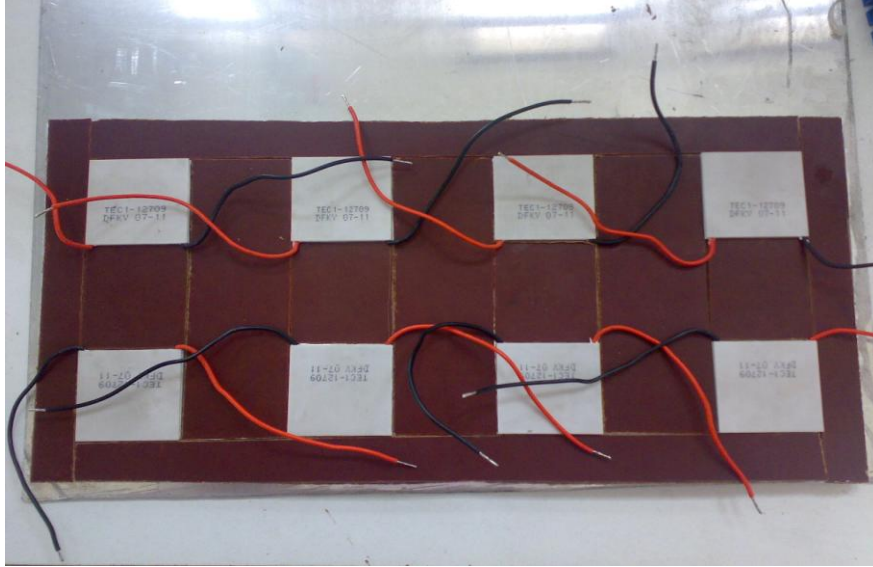
**Trafo:** Yaklaşık 1 kw gücünde trafo kullanılmıştır. Sistemin gücünü karşılamak ve çalıştırmak amacıyla kullanılmıştır.



Şekil 4.4 Örnek deney şeması[3]

Öncelikle alüminyum levhamızın üzerine 8 adet peltieri 4 adet üstte ve 4 adet alt tarafta olacak şekilde ölçüleri hesaplanarak düzgün bir şekilde yerleşimi yapıldı (Şekil 4.5).

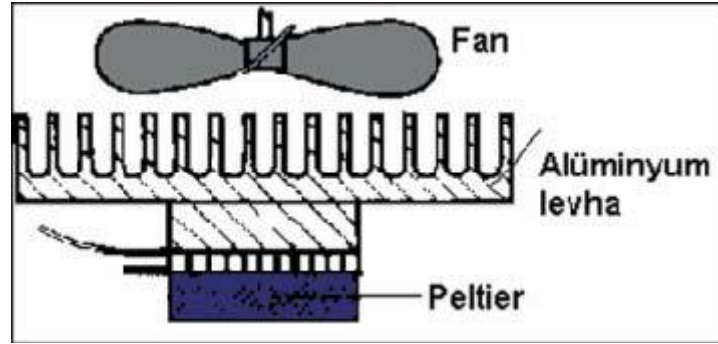
Alüminyum levhanın üzerindeki peltierlerin dışında kalan kısma ise iletkenliği az olan fiber malzeme kesilerek yapıştırıldı. Yerleştirme tamamlandıktan sonra peltierlerin üzerine ve altına iletkenliği artırıcı bir sıvı sürüldü. Peltierlerin üst kısmında, alt kısmındaki gibi alüminyum levha yerleştirildi. Böylece peltierler 2 adet alüminyum levhanın arasında kalmış oldu.



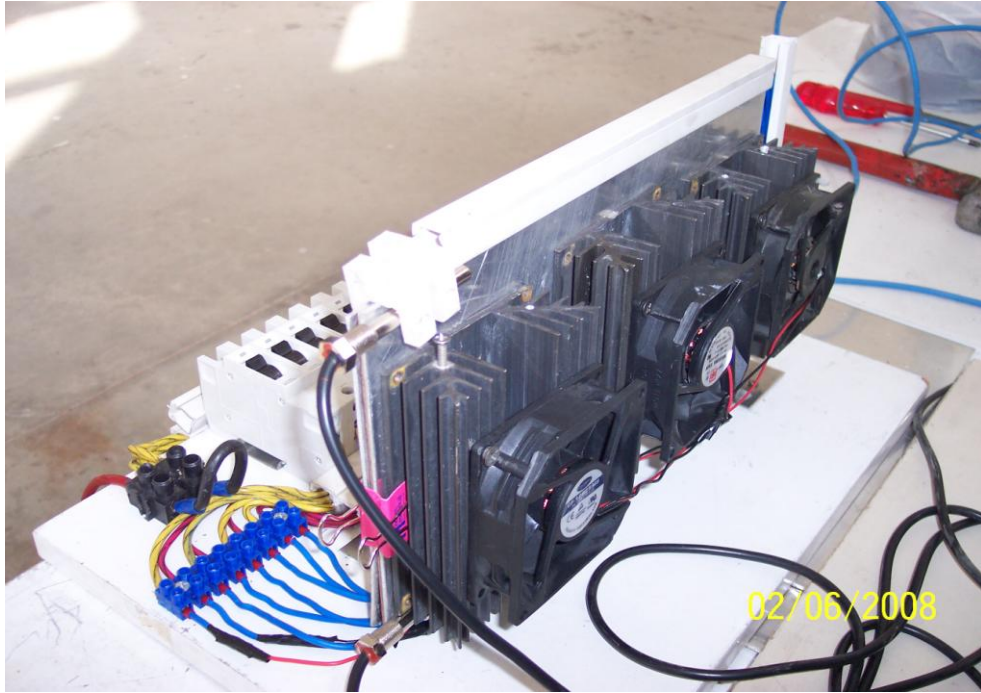
**Şekil 4.5** Peltierlerin yerleştirilmesi.

Çoğu termoelektrik soğutucu modül, yüzey alanı başına 3-6 watt/cm<sup>2</sup>'lik bir pompalama yapabilir. Termoelektrik soğutucular, bazen termoelektrik modül veya Peltier soğutucusu diye de adlandırılabilir. Termoelektrik soğutucular, küçük bir ısı pompası gibi çalışan yarı iletkenlerdir[1]. Bir doğru akım kaynağından sağlanan küçük bir voltaj sayesinde, ısı, modülün bir ucundan diğerine doğru hareket eder. Böylece modülün bir yüzü ısınırken, diğeri de eşzamanlı olarak soğumaya başlar. Bu olay, doğru akım kaynağının artı ve eksi kutuplarının yer değiştirmesiyle aksine çevrilebilir.

Peltierlerin sıcak yüzeyine şekil 4.7'deki gibi alüminyum plaka üzerlerine fan monte edildi. Montaj sırasında kullanılan civataların metal olmamasına dikkat edilmelidir. Bunun sebebi ısıyı diğer yüzeye iletmemesi içindir.



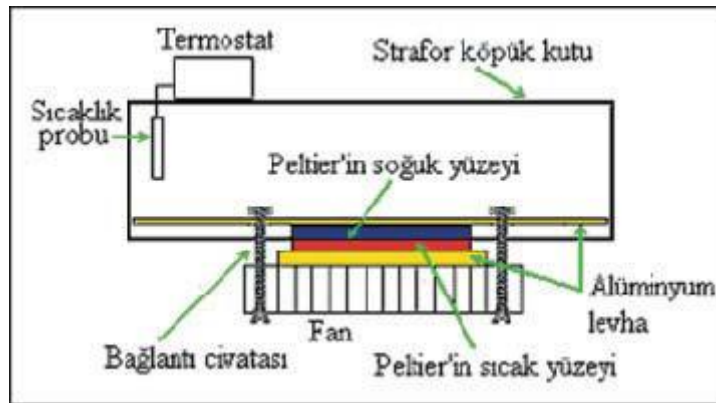
Şekil 4.6 Fan, alüminyum levha ve peltierin yerleşimi[19].



Şekil 4.7 Fanların plakalar üzerine yerleştirilmesi.

Bir termoelektrik modülü, kullanım amacına göre ısıtıcı veya soğutucu olarak kullanılabiliriz. Modülün soğuk kısmı  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaştığında, ısı pompalanması kesilir ve ısı pompası özelliğini kaybeder (verim sıfıra düşer). Bu yüzden  $-5$  ila  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  arasında en verimli olur. Sıcaklık bu noktada en yüksek değeri Delta T'ye ( $\Delta T$ ) ulaşır. Eğer soğuk kısma azar azar ısı eklenmeye başlanırsa, bu kısmın sıcaklığı, ısı musluğunun sıcaklığına eşitlenene kadar yükselir. Bu noktada termoelektrik soğutucular, en yüksek ısı pompalama kapasitelerine ulaşırlar. Termoelektrik soğutucular, evde kullandığımız buzdolaplarıyla aynı termodinamik

yasalara göre çalışır, ama bazı farklılıklar taşır. Buzdolabında kullanılan dondurucu sıvının yerini, bir yarı iletken alır. Yoğuşturucu da bir ısı transfer elemanı ile yer değiştirir. Ayrıca kompresörün yerini de doğru akım kaynağı alır. Termoelektrik modüle doğru akım kaynağının bağlanması, elektronların yarı iletken nesneden geçmesini sağlar. Maddenin soğuk tarafında, elektron hareketi sayesinde ısı soğutulur ve sıcak uca gönderilir. Sıcak olan uca ısı transfer elemanı bağlandığı için, ısı, ısı transfer elemanından çevreye verilir. Termoelektrik soğutucuların başlıca kullanım alanları mikroişlemciler, buzdolapları, gece görüş teçhizatları vb. olarak verilebilir[1]



Şekil 4.8 Deneyin genel görünümü[19]

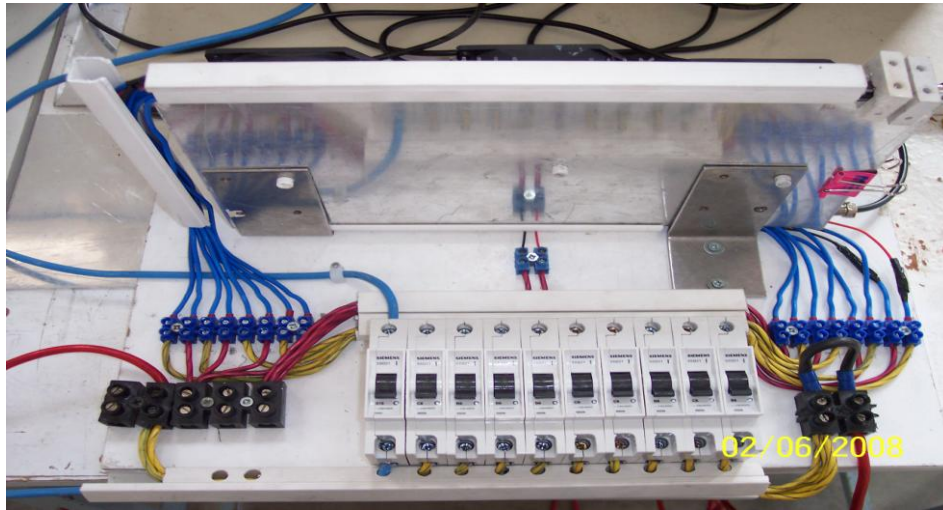
Peltier; uçlarına DC gerilim uygulandığında iki yüzü arasında ısı transferi yapan yarıiletken termoelektrik bir elemandır. Bu nedenle elektrik akımı uygulandığında bir yüzü soğurken diğer yüzü ısınır. Bu özelliği nedeniyle genellikle soğutucu olarak kullanılır. Arabalarımızda kullandığımız buzdolaplarının çoğu peltierler aracılığı ile soğutulur.



Şekil 4.9 Elektronların akışı[1]

Uygun koşullarda kullanılan bir peltierin sıcak yüzü ile soğuk yüzü arasında yaklaşık 50-60 °C sıcaklık farkı vardır. Dolayısıyla peltier ile çok düşük sıcaklıklara ulaşmak istiyorsak sıcak yüzeyi, çok iyi soğutmak zorundayız. Aksi halde peltier yanar.

Son aşama olarak ise sigortaların bağlanması işlemi gerçekleştirildi. 1 adet trafoyu açıp kapatmak için, 1 adet fanları açıp kapatmak için ve 8 adet peltierleri açıp kapatmak için toplam 10 adet sigorta takıldı. Sigorta kullanmamızın nedeni ise şudur. Her şeyden önce peltier çok fazla güç çektiği için sistemin bağlı olduğu güç kaynağı dışında bir güç kaynağına bağlanmalıdır. Elektrik sarfiyatı çok fazla olduğu için günlük kullanıma uygun değildir. Peltier ile yaşanabilecek diğer bir olası sorun elektrik kesildiğinde ortaya çıkar. Elektrik kesilince trafo ile birlikte peltierde kapanır ve sıcak yüzeydeki ısı soğuk yüzeye ve oradan soğuttuğumuz parçaya akmaya başlar ki buda istenmeyen sonuçlar doğurabilir. Bu yüzden tüm parçaları tek çalıştırmayı planladık. En son işlem olarak kablo bağlantıları yapıldı ve deney sonuçlarını almak için hazır hale getirildi.

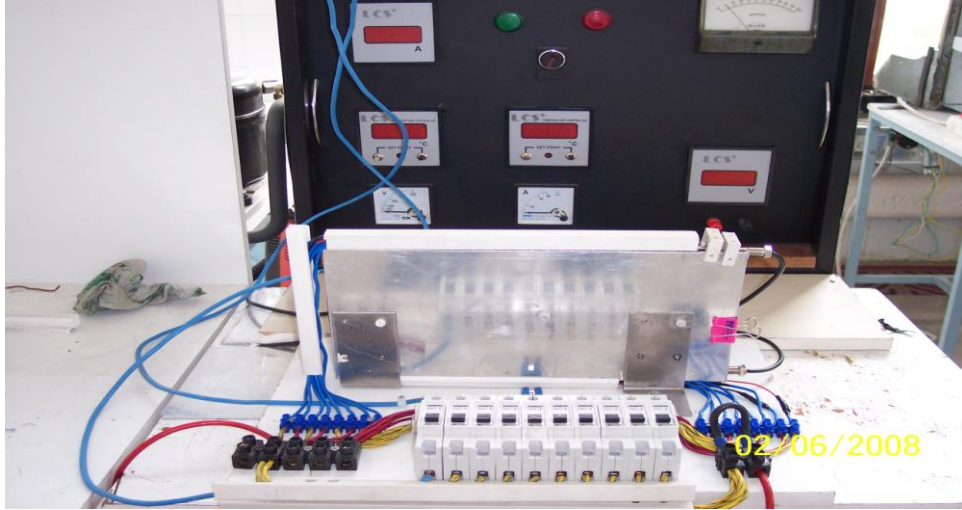


**Şekil 4.10** Sigortaların yerleştirilmesi.

Peltierlerin soğutma performansı Watt ile ölçülür ve peltier destekli bir soğutma sisteminden verim alabilmek için kullanılan peltierin gücünün, işlemcinin güç tüketiminden daha yüksek olması veya en kötü ihtimalle aynı olması gerekir. Dolayısıyla güncel bir sistemi peltier ile soğutmak için en iyi ihtimalle 135-150 watt'lık bir peltiere ihtiyaç vardır. Peltierler gücü; çektiği elektrik akımının şiddeti (Amper) ile çalıştığı elektrik geriliminin (Volt) çarpımına eşittir. Örneğin 48 Watt'lık bir peltier  $W=V \cdot I$  formülünden hareketle 12Volt, 4 Amper'dir.



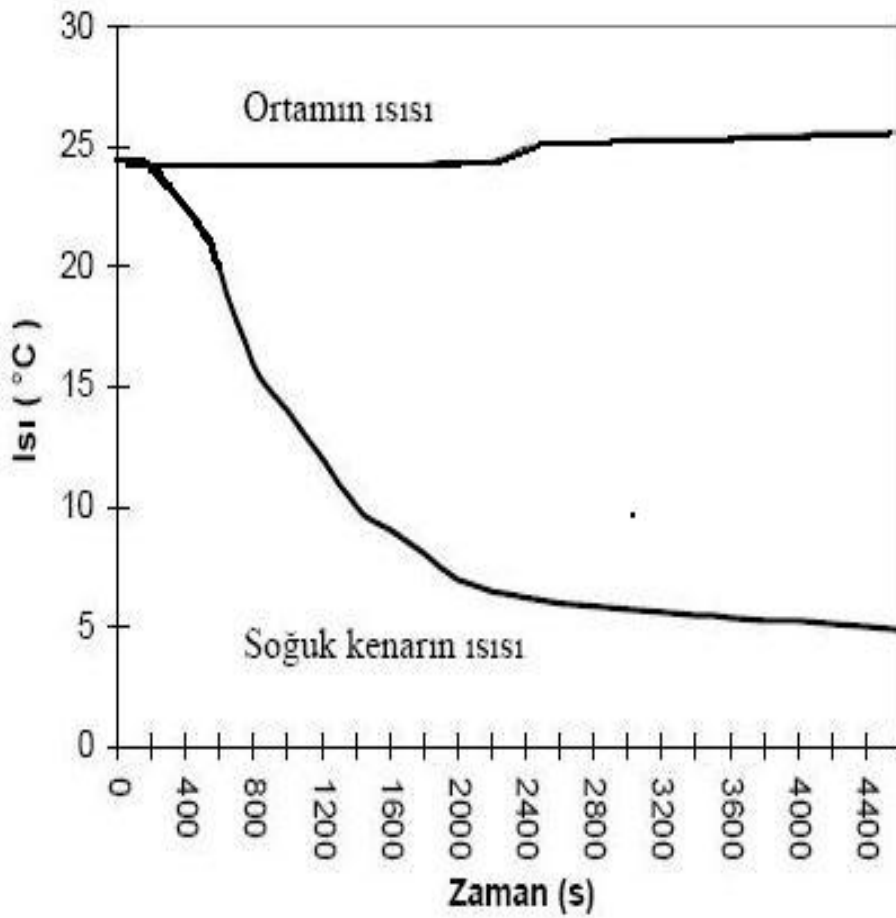
Bilgisayarlarımızdaki PSU'lar en fazla 12Volt gerilim verdiği için güçlü bir peltier almak istediğimizde, çektiği akım şiddetinin yüksek olmasına dikkat etmeliyiz. Aksi halde ya o peltieri gerçek gücünden daha düşük bir güçte kullanmalıyız ya da harici bir adaptör almalıyız[1].



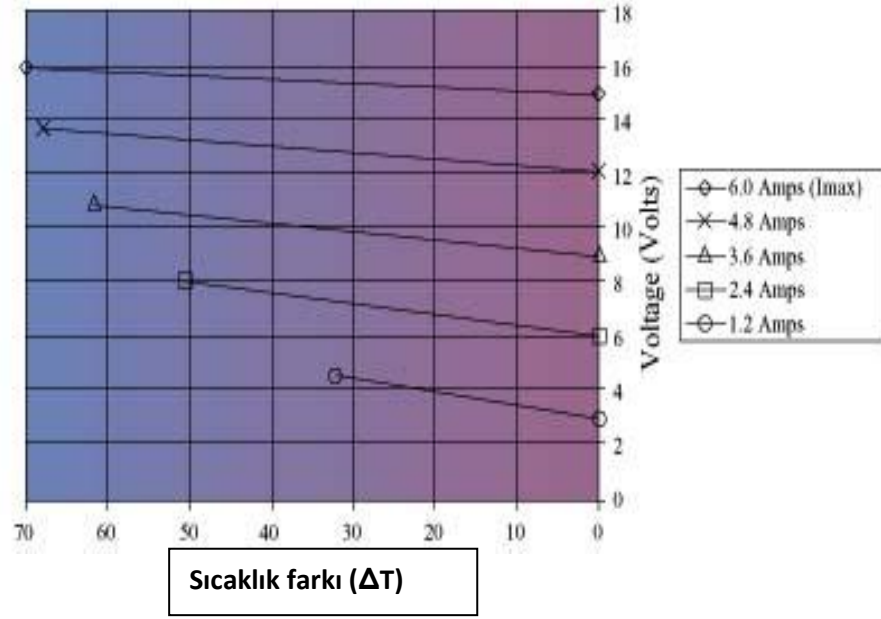
Şekil 4.11 Deneyin son hali.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

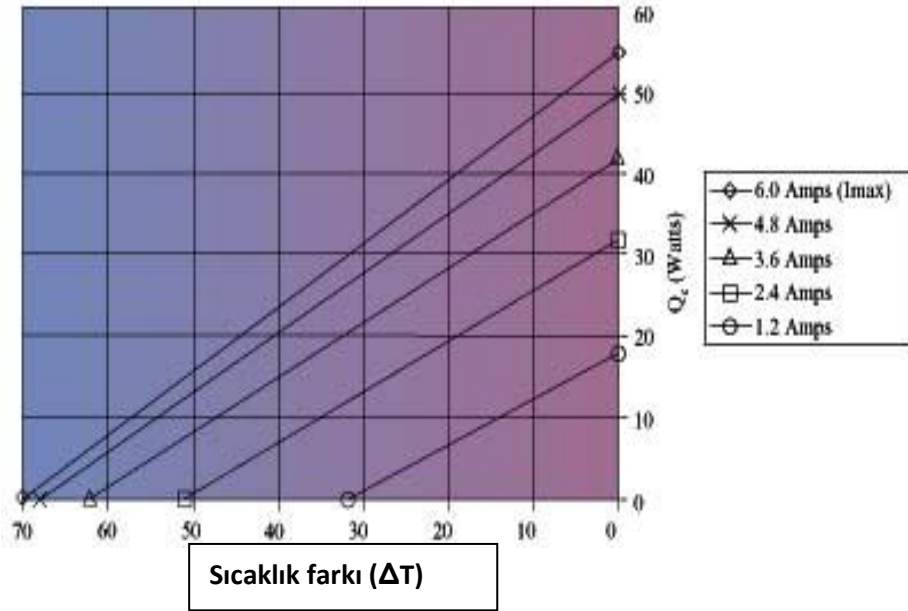
Şekil 4.11’de genel görüntüsü verilen deney düzeneği iki farklı uygulama için çalıştırılarak aşağıdaki tabloda verilen değerler alınmıştır. Öncelikle DC 12 volt ve ayarlanabilir akım uygulanarak sıcak ve soğuk yüzelerde termoculp aracılığıyla ölçülen sıcaklık değerlerinin ve zamana göre değişimi incelenmiştir.



Şekil 5.1 Peltier modülün zamana göre soğuk kenar sıcaklık dağılımı.



Şekil 5.2 Modül üzerine uygulanan gerilim- akım- sıcaklık dağılımı.



Şekil 5.3 Uygulanan gerilime göre güç ve sıcaklık değişimi.

**Çizelge 5.1** Deneysel uygulamada alınan değerler.

Süre dk.	Uygulanan gerilim DC- Volt	Uygulanan akım DC- Amp.	Soğuk yüzey sıcaklığı Ort. °C	Sıcak yüzey sıcaklığı ort. °C
0	6	2	25	25
5	9	4	20	30
10	12	6	20	35
20	15	6	18	40
30	15	6	16	42
40	15	6	14	45
50	15	6	12	55
60	15	10	10	60
70	15	10	10	70
80	15	10	10	75
90	15	10	9	78
100	15	10	9	80
110	15	10	8	84
120	15	10	6	85

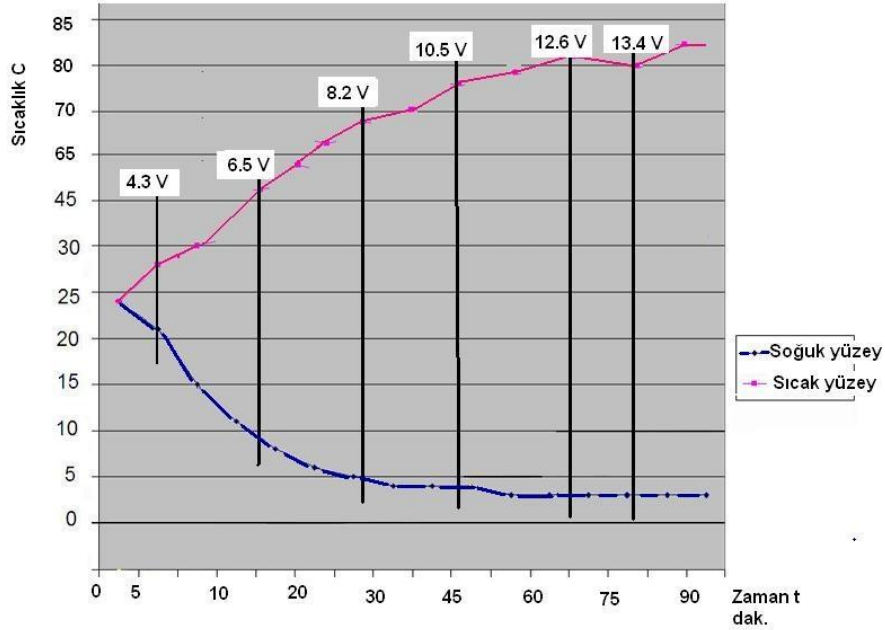
Çizelge 5.1’de yapılan deneysel çalışma esnasında uygulanan akım gerilim değişimine bağlı olarak modül yüzeylerinden termoculp aracılığıyla alınan değerler dijital termometreden okunmuştur. Tablodan açıkça görülmektedir ki, uygulanan akım şiddeti arttıkça modül yüzeylerinde sıcaklık farkı da artmaktadır. Uygulanan gerilim ise sıcaklık dağılımında ikinci etken faktör olmaktadır. Burada termoelektrik modüllerin her iki kenarındaki sıcaklık farkının artması sıcak yüzeyden alınan ısının o bölgeyi kısa sürede terk etmesine bağlı olmaktadır bu amaçla sıcak kenar tarafına ısı aktarımını hızlandırmak için fan konmuştur. Kısa süreli dahi olsa fanların durması sıcaklık artışını hızlandırmakta dolayısıyla modüller için bu durum tehlikeli olmaktadır. Gerilimin birden kesilmesi durumunda soğuk kenar sıcaklığı hızla sıcak kenardan aktarılan ısıyla dengeye gelmektedir. Bu durumda modül için zararlı olmakta modülün dayanım sınırlarını zorlamaktadır. Modülün çalışma ömrünü kısaltıcı faktör olmaktadır. Sistem durdurmadan önce mutlaka fanlar çalışmalıdır.

**Çizelge 5.2** Tek modül üzerinde akım-gerilim–sıcaklık dağılımı.

Süre dakika (t)	Sıcak yüzey °C	Soğuk yüzey °C	Ölçülen gerilim V.
0	22	22	0
5	27	22	4.3
10	38	15	6.3
15	46	8	6.6
20	60	6	7.2
25	66	7	8.3
30	68	5	8.4
45	72	4	10.6
60	80	4	12.5
75	82	3	12.8
80	85	3	13.3

Yukarıdaki tabloda ölçülen değerler laboratuvar şartlarında deney düzeneği olarak hazırlanan panel üzerinden alınan bilgilerdir. Modül her iki yüzey sıcaklık dağılımı Pt 100 termoculp ile dijital ölçü aletinde okunmuştur. Modül yüzeyi sıcaklık dağılımı stabilitesi tam sağlanamadığından bazı sapmalar gözlemlenmiştir. Modül soğuk taraf yüzeyine soğutucu gaz akışkan boruları temas ettirilerek soğukluk sağlanmıştır. Sıcak yüzeye temas ettirilen bakır borularda, başka bir depoda ısıtılan sıcak su dolaştırılmıştır. Bu amaçla her iki yüzeyde sıcaklık farkı oluşumu sağlanarak modül üzerinde oluşan gerilim tespit edilmiştir. Sistemin rejimi farklı uygulamalar için değiştirilmesine rağmen her iki yüzeyde sıcaklık farkı dağılımı stabilitesi düzgün olmadığından gerilim de buna bağlı olarak dalgalanma olmaktadır. Sistemin ani durma ve çalışma esnasında, modülün termik dengeye gelmeye çalışması sistemi zorlamakta ve verimi düşürmektedir. Buna bağlı olarak soğutma performansı da azalmaktadır.

Verimi artırma amaçlı olarak modüllerin kaskad olarak bağlantısı yapılmış olup bu durumda sistemin sıcaklık dağılımına göre, çekilen akımın çok fazla olması sonucunda güç kaynağı yetersiz kalmıştır.



**Şekil 5.4** Tek modül üzerinde sıcaklık-zaman-gerilim grafiği.

Termoçiftlerin (TC) çalışma prensiplerine uygun olarak TE modüller de, aynen TC elemanları gibi, sıcaklık farkından gerilim üretebilirler. Modül sıcak yüzeyinin bir ısı kaynağıyla irtibatlandırılması ve soğuk yüzeyinin de ortam ısısında tutulması ile gerilim kaynağı olarak kullanılabilir. TE modülünün avantajı, TC elemanından çok daha yüksek bir gerilim üretebilmesidir. Yapılan deneysel çalışmalarımızda en yüksek gerilime sahip termoçiftin Seebeck katsayısı kullandığımız modülde  $\Delta T=82$  °C için modülümüzün çıkış gerilimi 13.4 V. olmuştur. Şekil 5.4'te de görüldüğü gibi sıcaklık farkı arttıkça elde ettiğimiz gerilim artmaktadır.

Termoelektrik cihazlar güç üretimi soğutma uygulamalarında kullanılmaktadır. Termoelektrik soğutma uygulamalarına olan ilgi son zamanlarda artmıştır. Termoelektrik soğutucular askeri ve uzay çalışmalarında, hassas ölçüm aletlerinde, tıbbi, endüstriyel ve ticari cihazlarda artık yaygın olarak kullanılmaktadır. Büyük soğutma yükleri için kullanılmamaları, düşük COP değerleri ve göreceli yüksek maliyetleri temel dezavantajları olarak durmaktadır. Ancak yakın gelecekte, evsel uygulamalar için ısı pompası ve iklimlendirme amaçlı termoelektrik soğutma sistemlerinin pazarda rekabete gireceği tahmin edilmektedir.

Termoelektrik sistemlerde kullanılan malzemeler verim üzerinde etkisi olduğundan 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 gerçekleştirilmesi üzerine de çalışmalar planlanmaktadır. Böylelikle termoelektrik cihazlar tamamen çevre dostu ve işletme maliyeti düşük sistemler olarak karşımıza çıkabileceklerdir.

Termoelektrik sistemler yapı ve kullanım amacı olarak farklı tipleri mevcuttur. Dolayısıyla termoelektrik cihazların tasarım ve seçiminde ısıl ve elektriksel parametrelerin tümü göz önüne alınmalıdır.

## KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Yıldırım, G., Kalecik, O., 2007, Güç elemanlarında soğutma sistemlerinin incelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, 1-45. s.
- [2] İnan, S. A., Kara, İ., Koyun, A., Peltier termoelektrik soğutucu kullanılarak katı cisimlerin ısı iletim katsayısının ölçülmesine yönelik cihaz tasarımı yapılması ve endüstriyel uygulaması, Süleyman Demirel Üniversitesi-Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi, 1-5. s.
- [3] Benhar, A., 2006, Labview görsel grafik programı peltier yarıiletkenine enerji verildiğinde sıcaklık performansının incelenmesi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 1-12 s.
- [4] Yavuz.A.H., Ahiska R., Hekim M., Bulanık mantık kontrollü termoelektrik beyin soğutucusu, Nksar Meslek Yüksekokulu, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Nksar, Tokat, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik Bilgisayar Bölümü, Gazi Üniversitesi Beşevler, Ankara, Nksar Meslek Yüksekokulu, Gaziosmanpaşa Üniversitesi Nksar, Tokat, 3 s.
- [5] Atik, K., Çakır, H., 2006, Doğrudan bağlantılı fotovoltaik soğutma sistemi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitim Bölümü, Karabük, 3,33-37 s.
- [6] Çengel, Y. A., Boles M. A., 1996, Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik, 442 s.
- [7] Olgun, B., Termoelektrik soğutma, 1-8 s.
- [8] Rıffat, S.B., Ma, X., 2003, Thermoelectrics: a review of present and potential applications, Applied Thermal Engineering, 23,913-935 s.
- [9] Keçeciler,A., 2007, Termoelektrik soğutucular ve uygulamalar, Dumlupınar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü ders notları.
- [10] Keçeciler,A., Bingöl, D., Termoelektrik üreteçler ve uygulamaları, Dumlupınar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kocaeli Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü deneysel araştırma.
- [11] Mzerd, A., Tcheliobou, F., Sackda, A., Boyer, A., 1995, Bi<sub>2</sub> Te<sub>3</sub>, Sb<sub>2</sub> Te<sub>3</sub> ve Bi<sub>0.1</sub> Sb<sub>0.9</sub> Te<sub>3</sub>'e dayalı olarak termal sensörlerin iyileştirilmesi, sensörler ve işleticiler 46-47 s.
- [12] Usta, H., Kırmacı, V., 2002, Termoelektrik etkiler ve soğutma etkinliğinin uygulanması, Teknoloji, 5, 3-4, 65-71 s.
- [13] Fidan, U., 2000, Mikrodenetleyici kontrollü taşınabilir termoelektrik tıp kiti cihazı tasarımı ve uygulanması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü yüksek lisans tezi, Ankara.
- [14] Bulut, H., 2005, Termoelektrik soğutma sistemleri, Harran Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü, 31, 9-16 s.
- [15] Huang, B.J., Chin C.J., Duang, C.L., 2000, A design method of thermoelectric cooler. International Journal of Refrigeration, 23,208-218 p.
- [16] Godfrey, S., 1996. An introduction to thermoelectric coolers. Electronics cooling, 2, 3.



**KAYNAKLAR DİZİNİ(devam)**

- [17] Riffat,S.B., Ma, X 2004. Improving the coefficient of performance of thermoelectric cooling systems: a review. International Journal of Energy Research, 28, 753-768 p.
- [18] <http://www.marlow.com> (01.11.2008)
- [19] İmadoğlu, A. C., 2003, Portatif buzdolabı projesi, Osmaniye, 1-11 s.
- [20] Erşan, A.K., 2002, Termoelektrik soğutucular.