

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Dinamik Yapılı Parabolik Yansıtıcı Kullanılarak
Termoelektrik Dönüştürücüler ile Sağlanan Elektrik
Enerjisinde Optimum Düzeyin Elde Edilmesi

Mehmet TUGAY

MAYIS 2010

Elektrik-Elektronik Anabilim Dalında Mehmet TUGAY tarafından hazırlanan DİNAMİK YAPILI PARABOLİK YANSITICI KULLANILARAK TERMOELEKTRİK DÖNÜŞTÜRÜCÜLER İLE SAĞLANAN ELEKTRİK ENERJİSİNDE OPTİMUM DÜZEYİN ELDE EDİLMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ediz POLAT
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin Yüksek Lisans Tezi olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Şerafettin EREL
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Ediz POLAT _____
Üye (Danışman) : Prof. Dr. Şerafettin EREL _____
Üye : Yrd. Doç. Dr. Eyüp TUNA _____

25/06/2010

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Doç. Dr. Burak BİRGÖREN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*Bu tez çalışmamı bana hayatım boyunca
maddi ve manevi desteğini hiç esirgemeyen,
en sıkıntılı anlarımda hep yanımda olan
anneme, babama ve çalışmam sürecinde hep
bana moral veren eşime
ithaf ediyorum.*

ÖZET

DİNAMİK YAPILI PARABOLİK YANSITICI KULLANILARAK TERMoeLEKTRİK DÖNÜŞTÜRÜCÜLER İLE SAĞLANAN ELEKTRİK ENERJİSİNDE OPTİMUM DÜZEYİN ELDE EDİLMESİ

TUGAY Mehmet

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Şerafettin EREL

Mayıs 2010, 79 sayfa

Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtların giderek azalması nedeniyle tüm dünyada önemli hale gelmektedir. Son yıllarda güneş enerjisinden ısı ve elektrik enerjisi elde edilmesi üzerine çok yoğun bilimsel araştırmalar yapılmaktadır. Güneş enerjisi elektrik enerjisine genellikle fotovoltaik pillerle dönüştürülürken, güneş enerjisinden ısı enerjisi üretiminde ise güneş kollektörleri kullanılmaktadır. Termoelektrik modül olarak da bilinen termoelektrik dönüştürücüler, yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı oluşturulduğunda elektrik enerjisi üreten yarı iletken kökenli malzemelerdir. Termoelektrik dönüştürücüler yardımıyla güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etme tekniği bu alanda yeni bir yöntem olarak ele alınmaktadır. Bu çalışmada termoelektrik dönüştürücü kullanılarak, güneş pillerine bir alternatif olarak, güneş ışınlarının ısıtma etkisinden faydalanmak suretiyle güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmiştir. Gelen güneş ışınları, silindirik-parabolik bir yansıtıcı yardımıyla soğurulmuş ve ısı enerjisine dönüştürülmüştür. Isıtma işlemi bu yöntemle sağlanırken, soğutma işleminde ise akışkan olarak su ve hava kullanılmış ve böylece termoelektrik dönüştürücülerden elektrik akımı elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Güneş enerjisi, Silindirik-parabolik yansıtıcı, Termoelektrik, Termoelektrik jeneratör

ABSTRACT

GETTING OPTIMUM LEVEL IN THE GENERATION OF ELECTRICAL ENERGY BY MEANS OF THERMOELECTRIC CONVERTORS USING PARABOLIC REFLECTOR HAVING DINAMICS STRUCTURE

TUGAY Mehmet

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electric-Electronic, M. Sc. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Şerafettin EREL

May 2010, 79 pages

The renewable energy sources have become significant all over the world because of reducing of fossil fuels. In recent years, intensive scientific researches have been done on the generating electricity and producing heat energy from solar energy. In general, while electrical energy has been generated by photovoltaic cells, heat energy has been obtained by means of solar collectors from the solar energy. Thermoelectric converters known also as thermoelectric moduls which was made of semiconductor materials, generate electricity when the temperature differences are applied between their surfaces. The technique of generating electricity from solar energy via thermoelectric converters has been concerned as a novel method. In this study, electricity has been obtained using the thermoelectric converters as an alternative to solar cells. With the help of a cylindiric parabolic reflector, incoming solar radiation has been absorbed and converted to heat energy. While the heating process has been maintained by this method, water and air have been utilized in the cooling process as cooler fluids and thus the electrical current has been generated by thermoelectric converters.

Key words: Solar energy, Cylindiric-parabolic Reflector, Thermoelectric, Thermoelectric generator

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımcı esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkanlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam, Sayın Prof. Dr. Őerfettin EREL'e, tez çalışmalarım esnasında, birçok konuda daima yardımını gördüğüm hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Eyup TUNA'ya ve yardımlarını esirgemeyen ablam Sayın Halime TUGAY'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sarfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Güneş enerjisi.....	2
1.2 Çalışmanın amacı.....	6
2 TERMOELEKTRİK.....	7
2.1 Termoelektrik etkiler.....	10
2.1.1 Joule etkisi.....	10
2.1.2 Fourier etkisi.....	10
2.1.3 Seebeck etkisi.....	11
2.1.4 Peltier etkisi.....	14
2.1.5 Thomson etkisi.....	17
3 TERMOELEMENT VE TERMOELEKTRİK MODÜL.....	18
3.1 Yarıiletkenler.....	18
3.1.1 Yarıiletkenlerin elektronik özellikleri.....	21
3.2 Termoelement.....	24
3.3 Termoelektrik modül.....	28
3.3.1 Termoelektrik soğutucu-ısıtıcı.....	30
4 GÜNEŞ PİLİ VE TERMOELEKTRİK JENERATÖR.....	32
4.1 Güneş pilinin tarihi ve tanımı.....	32
4.2 Güneş pili üretim malzemeleri.....	33
4.2.1 Tek kristal silisyum.....	33
4.2.2 Çok kristal silisyum.....	34
4.2.3 Amorf silisyum.....	35
4.2.4 Kadmiyum tellür.....	36
4.2.5 Galyum arsenit.....	37
4.2.6 Bakır indiyum diselenid.....	37
4.3 Güneş pilinin yapısı ve çalışma prensibi.....	38
4.4 Yüksek güçlü güneş pili üretimi.....	45

4.5	Güneş pili kayıpları	46
4.6	Termoelektrik jeneratör	47
4.7	Güneş pili ile termoelektrik jeneratörün karşılaştırılması	48
5	GEREÇ VE YÖNTEM	50
5.1	Güneş ışığı toplayıcıları.....	50
5.2	Su depoları.....	55
5.3	Modül ısı aktarıcısı	57
5.4	Termoelektrik modül	57
5.5	Akü	58
5.6	Evirici	59
5.7	Düzeneğin genel yapısı	59
5.8	Geliştirilmiş su soğutmalı ikincil düzenek	60
6	ARAŞTIRMA BULGULARI	63
7	SONUÇLAR VE TARTIŞMA	71
	KAYNAKLAR	73
	EKLER	77
	EK 1.	77

ŞEKİLLER DİZİNİ

ŞEKİL	Sayfa
1.1. Türkiye'nin bölgelere göre güneşlenme süresi.....	4
1.2. Türkiye'nin illere göre güneşlenme süresi.....	5
2.1. Termal iletkenlikler-taşıyıcı konsantrasyonu grafiği.....	8
2.2. Materyallerin termoelektriksel (Z parametresi) uygunlukları.....	9
2.3. Alüminyum çubuktaki sıcaklık değişimi ile oluşan elektron hareketleri....	11
2.4. Elektron hareketi sonrası alüminyum çubuğun yük dağılımı.....	12
2.5. Seebeck etkisinin görüldüğü ısı çifti.....	14
2.6. Peltier etkisinin görüldüğü ısı çifti.....	15
3.1. İletken, yarıiletken ve yalıtkanların enerji band diyagramı.....	19
3.2. Yarıiletkenlerin elektriksel iletkenliklerinin sıcaklığın tersine bağlı grafiği.....	23
3.3. Hareketliliğin sıcaklığa bağlı değişimi.....	24
3.4. Termoelementin basit gösterimi.....	24
3.5. Bir termoelementin jeneratör davranışı.....	25
3.6. Bir termoelementin soğutucu/ısıtıcı davranışı.....	26
3.7. Termoelementin kısımları ve bu kısımların bağlı sıcaklık gradyeni.....	27
3.8. Bir termoelementin Joule, Peltier ve toplam ısısının akıma bağlı değişimi.....	28
3.9. Bir termoelektrik modülde termoelementlerin bağlantı biçimi.....	28
3.10. Tipik bir termoelektrik modül.....	29
3.11. Termoelektrik modülün ısıtıcı-soğutucu olarak kullanım yöntemi.....	30
4.1. Örnek bir güneş pili modülü.....	33
4.2. Tek kristal silisyum toplayı örgü kanalları.....	34
4.3. Çok kristalli yapının iki örnek yansıma azaltıcı tasarımı.....	35
4.4. Amorf silisyum fotovoltaik pilinin yapısı.....	36
4.5. Örnek bir kadmiyum tellür güneş pili.....	37
4.6. Doğrudan geçişli yarıiletkende foton soğurulması.....	40
4.7. Dolaylı geçişli yarıiletkende foton soğurulması.....	41

4.8.	Foton soğurulması sonucu oluşan elektron-boşluk çiftinin basit gösterimi	41
4.9.	Soğurulan fotonların dalga boyuna bağlı soğurma katsayısının grafiği.....	43
4.10.	Güneş pilinin çalışma prensibinin gösterimi.....	44
4.11.	p-n eklemesindeki boşaltılmış bölge sınırı yük dağılımı	44
4.12.	Güneş pilindeki elektriksel yük akış yönü ve elektrik enerjisinin üretilmesi.....	45
4.13.	Seri ve paralel bağlı güneş pili üretimi.....	46
4.14.	Güneş pili hiyerarşisi.....	46
4.15.	Termoelektrik modülün jeneratör olarak kullanım yöntemi.....	47
5.1.	Güneş ışığı toplayıcılarından üç tanesinin gösterimi a) Karşılıklı sabitlenmiş aynalı toplayıcı b) Silindirik-parabolik toplayıcı c) Doğrusal dizili Fresnel Merceği toplayıcı.....	52
5.2.	Güneş ışığı toplayıcısının Güneşe göre zeminle yaptığı açı.....	53
5.3.	TEJ düzeneğinde kullanılan silindirik-parabolik yoğunlaştırıcı.....	54
5.4.	TEJ düzeneğindeki su depoları.....	55
5.5.	Deneme amaçlı sıcak su deposu.....	56
5.6.	Hava soğutmalı ön çalışma düzeneği.....	56
5.7.	Tasarlanan termoelektrik jeneratörün dış görünüşü.....	57
5.8.	TEC1-12708 tipi termoelektrik modül.....	58
5.9.	Deney düzeneğinde kullanılan evirici.....	59
5.10.	Çalışmada tasarlanan geliştirilmiş düzenek.....	59
5.11.	Düzeneğin profilden görünüşü.....	60
5.12.	İyileştirilmiş su soğutmalı düzeneğin yan kesit görünüşü.....	61
5.13.	İyileştirilmiş silindirik-parabolik toplayıcı düzeneği.....	62
5.14.	İyileştirilmiş düzeneğin son çalışır hali.....	62
6.1.	Deneyde kullanılan akı ölçer ile herhangi bir anda yapılan ölçüm.....	63
6.2.	Dijital termometre ile ölçülen anlık en yüksek değer.....	65
6.3.	Geliştirilmiş su soğutmalı deney düzeneği ile açık havada elektrik enerjisi elde edilmesi.....	66
6.4.	Güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi ile yakılan LED düzeneği.....	67

ÇİZELGELER DİZİNİ

ÇİZELGE	sayfa
1.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli.....	3
1.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.....	3
2.1. Bazı metallerin 0°C ve 27°C sıcaklıklardaki Seebeck katsayıları ve Fermi enerji seviyesindeki değerlik elektronlarının enerjisi.....	13
5.1. Ankara için aylara göre açı (derece) Güneş ışınım (kWh/m^2 -ay) değerleri.....	53
5.2. TEC1-12708'e ait teknik özellikler.....	58
6.1. Düzenek tepkime süresi ihmal edilmiş sıcaklık ölçüm değerleri.....	63
6.2. Su soğutmalı düzenekle yapılan anlık en yüksek ölçüm değerleri.....	64
6.3. Hava soğutmalı düzenekte ölçülen anlık en yüksek değerler.....	64
6.4. Geliştirilmiş düzenekte ölçülen en yüksek anlık verim değerleri.....	66
6.5. Her üç düzeneğe ait kullanılan termoelektrik modül başına düşen güç değerleri.....	67

1 GİRİŞ

İnsanoğlu varoluşundan bu yana ihtiyaçlarını karşılamak ve hayatını kolaylaştırmak adına sürekli bir arayış içerisinde girmiştir. Tarih boyunca süre gelen arayış yeni buluşlara vesile olmuş ve yeni üretim teknolojileri geliştirilmiştir. Teknolojik gelişimlerde en önemli etken enerjidir. Enerjinin kullanıma hazır hale getirilmesine kadar ki en büyük sorun ise, enerji doğal kaynaklı ise yerinin tespiti, çıkarılması vb.; yapay ise elde edilmesi, taşınması ve kullanıma hazır hale getirilene kadar çeşitli evrelerden geçirilmesidir.

Çok daha önceleri keşfedilen elektriğin 1850'li yıllara kadar tam anlamıyla kullanılmaması nedeniyle, teknolojiye ısı enerjisinin, kimyasal ve mekanik enerjinin birbirine dönüşümünden yararlanılmaktaydı. Ancak 1858'de İngiltere'de deniz fenerlerindeki kömür uçlu ark lambalarının yakılmasında enerji kaynağı olarak dinamolardan yararlanılması ile başlayan elektrik enerjisi kullanımı, XIX. Yüzyıl ve sonrasında teknolojilerinde oldukça yaygın hale gelmiştir.

Günümüzde elektrik enerjisi üretimi, ısınma ve ulaşım gibi daha pek çok alanda, dünyamızdaki doğal enerji kaynaklarından birisi olan fosil (kömür, gaz, petrol türevleri) yakıtlardan yararlanılmaktadır. Bu yakıtların tükenmeye yüz tutması ve bunun yanı sıra dünyamızın ekolojik ve klimatolojik dengesine oldukça zarar vermeleri bilim insanlarını diğer doğal enerji kaynaklarından yararlanmaya yönelik çalışmalar yapmaya zorlamıştır. Bu doğal enerji kaynaklarından en çok dikkat çekenleri hiç bir ağır kimyasal değişikliğe uğramaksızın kullanılabilen yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Yenilenebilir enerji kaynakları evrenin keza dünyamızın olağan fizyolojik ve ekolojik dengesi tarafından üretildiği için hiç bir zararlı atık üretmez. Dolayısıyla dünyamıza hiç bir zararı yoktur. Ayrıca bu kaynakların evren var olduğu sürece tükenme ihtimali yoktur. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgar, hidrojen, dalga, biyokütle enerjisi; jeotermal ve hidrolik enerjidir. Tüm yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretmek için çalışmalar yapılmaktadır.

1.1 Güneş enerjisi

Bilindiği gibi Güneş çapı $1,39.10^9$ m olan, temel yapısında hidrojenin helyuma çevrildiği füzyon olayı ile enerji üreten, dünyamızı ısıtan ve aydınlatan termonükleer bir kaynaktır. Güneş enerjisinin diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre en büyük avantajı dünyamızın neredeyse her kıtasından rezerv tespiti, taşıma ve edinme maliyeti olmaksızın elde edilebilmesidir. Buna bağlı olarak güneş enerji sistemlerinin istenilen her yere kurulabilmesi iletim ve dağıtım maliyetlerinden kurtulmak demektir. Dezavantajları ise güneş ışınlarının dünyamıza sadece gündüz saatlerinde ve açık havada ulaşabilmesi, kullanılabilmesi ve elektrik enerjisi dönüştürücü sistemlerin yüksek maliyetli olmasıdır (1,2).

Güneşin yaydığı toplam enerji $3,8.10^{20}$ MW ki bu da Güneş yüzeyinde 62 MW/m^2 değerindedir. Bu enerjinin sadece iki milyarda biri dünyamıza ulaşır. Ulaşan bu enerjinin ise yaklaşık %50'si dünya yüzeyine ulaşırken %30'u egzosfer tarafından geriye yansıtılır. %20'si ise gündüz saatlerinde atmosfer tabakaları tarafından tutulur ve nihayetinde tutulan enerjinin tamamı uzaya geri yansıtılır. Sonuç olarak Dünyaya ulaşan enerji $1,7.10^{14}$ kW kadardır. Dünya üzerine düşen bu muazzam enerjinin 30 dakikalık kısmı Dünyanın bir yıllık enerji ihtiyacı karşılamaya yeter. Görülmektedir ki Güneşin uzaya yaydığı bir saniyelik enerji, insanlık tarihinin bu güne kadar ürettiği ve kullandığı enerjinin toplamından çok daha fazladır (1-3).

Güneşten gelen enerjinin yoğunluğu, atmosferin üzerinde $1,35 \text{ kW/m}^2$ kadardır. Dünya çapının kapladığı alana gelen güneş gücü 178.10^6 MW kadardır. Bu değer kurulu elektrik santrallerinin toplam gücünün 10^5 katı düzeyindedir. Dünyanın tüm yüzeyine bir yılda düşen güneş gücü $1,22.10^{14}$ TET (ton eşdeğer taş kömürü) ya da $0,814.10^{14}$ TEP (ton eşdeğer petrol) değerindedir. Diğer bir ifadeyle, bir yılda gelen güneş enerjisi miktarı, bilinen kömür rezervinin 50 katı, bilinen petrol rezervinin 800 katıdır. Dünya yüzeyinin şekilsel çeşitlilik göstermesi ile güneş ışığı Dünyaya homojen olarak dağılmaz. Dünya yüzeyine düşen güneş enerjisi yüzey şekillerine göre m^2 başına 0 ile $1,1 \text{ kW}$ arasında değişmektedir (2,3).

Ülkemiz, 36-42 kuzey paralellerinde bulunduğu için coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Ancak bu konumundan dolayı yazın ve kışın ülkemize ulaşan güneş

ışınlarında 30°'lik bir fark oluşur. Güneş ışınları 21 Haziran'da en dik açı ile gelirken 21 Aralık'ta en yatık açı ile gelir. Yazın güneş ışınları 60° ile düşerken kışın 30° ile düşer. Bu nedenle ortalama güneşlenme süresinden bahsetmek gerekir. Türkiye'nin yazın ortalama güneşlenme süresi 15 saat iken kışın ortalama güneşlenme süresi 9 saattir. Yıllık toplam ortalama güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat) iken yıllık ortalama toplam ışınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) değerindedir. Aylara göre Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri ise Çizelge 1.1.'de verilmiştir (2).

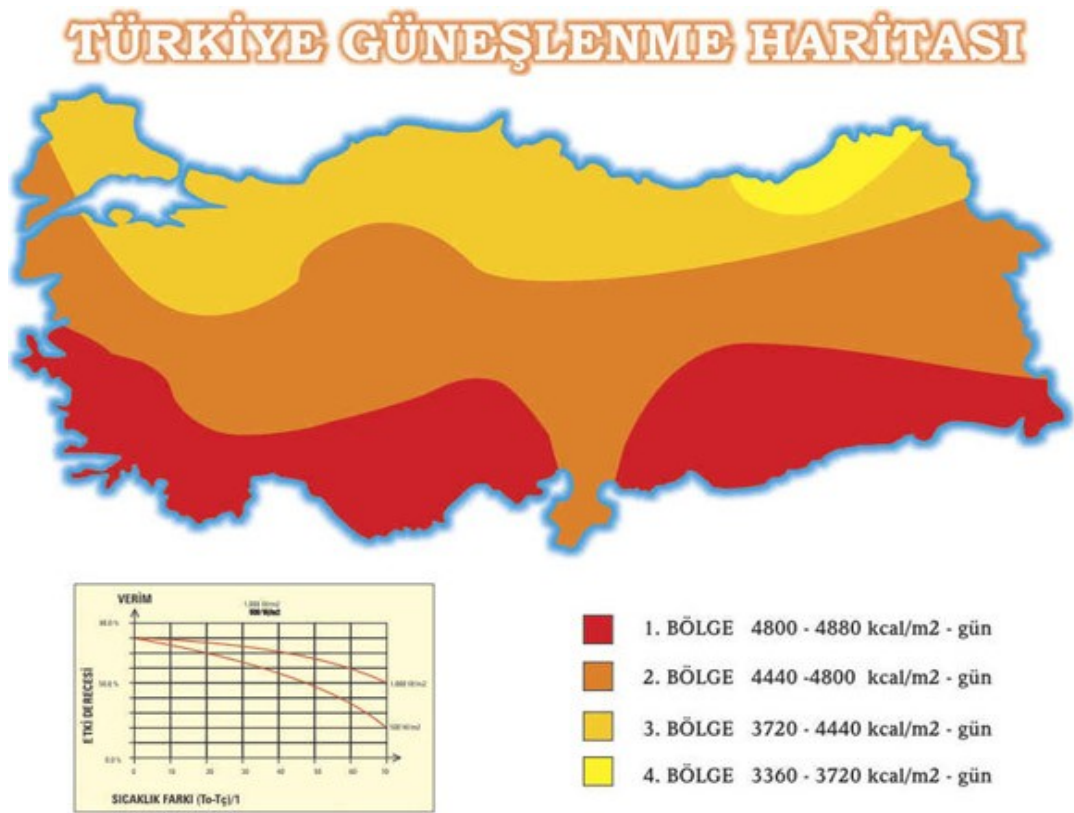
Çizelge 1.1. Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (saat/ay)
OCAK	4.45	51.75	103.0
ŞUBAT	5.44	63.27	115.0
MART	8.31	96.65	165.0
NİSAN	10.51	122.23	197.0
MAYIS	13.23	153.86	273.0
HAZİRAN	14.51	168.75	325.0
TEMMUZ	15.08	175.38	365.0
AĞUSTOS	13.62	158.40	343.0
EYLÜL	10.60	123.28	280.0
EKİM	7.73	89.90	214.0
KASIM	5.23	60.82	157.0
ARALIK	4.03	46.87	103.0
TOPLAM	112.74	1311	2640
ORTALAMA	308.0 cal/cm ² -gün	3.6 kWh/m ² -gün	7.2 saat /gün

Çizelge 1.2. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı

BÖLGE	TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ (kWh/m ² -yıl)	GÜNEŞLENME SÜRESİ (saat/yıl)
G.DOĞU ANADOLU	1460	2993
AKDENİZ	1390	2956
DOĞU ANADOLU	1365	2664
İÇ ANADOLU	1314	2628
EGE	1304	2738
MARMARA	1168	2409
KARADENİZ	1120	1971

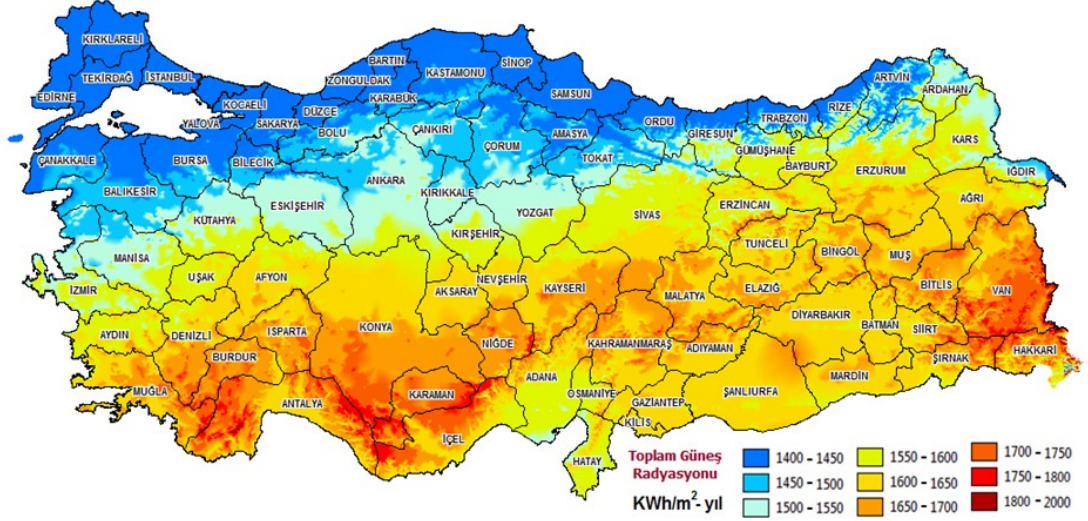
Türkiye'nin en fazla Güneş alan bölgesi ülkemizin dünya üzerindeki konumunun doğu batı doğrultusunda olmaması; Doğu yönünde açılı jeolojik konuma sahip olması nedeniyle Güney Doğu Anadolu Bölgesi'dir. Zira ekvatora en yakın bölgemizdir. Bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı Çizelge 1.2.'de verilmiştir (2). Ancak, bu değerlerin, ölçümlerin tarımsal amaçlı olduğunun saptanmasıyla Türkiye'nin gerçek potansiyelinden daha az olduğu anlaşılmıştır. Bölgelere göre güneş enerjisi dağılımı Şekil 1.1.'de (1), illere göre güneş enerjisi dağılımı Şekil 1.2.'de gösterilmiştir (4).



Şekil 1.1. Türkiye'nin bölgelere göre güneşlenme süresi

1992 yılından bu yana güneş enerjisi değerlerinin daha sağlıklı olarak ölçülmesi amacıyla, enerji amaçlı güneş enerjisi ölçümleri alınmaktadır. Devam etmekte olan ölçüm çalışmalarının sonucunda, EİE ve DMİ tarafından Türkiye güneş enerjisi potansiyelinin eski değerlerden %20-25 daha fazla çıkması beklenmektedir (2).

TÜRKİYE GÜNEŞ ENERJİSİ POTANSİYEL ATLASI



Şekil 1.2. Türkiye'nin illere göre güneşlenme süresi

Şu ana kadar yapılan çalışmalarda güneş enerjisinden üç farklı şekilde faydalanılmaktadır. Bunlar yapıların ısıtılmasında güneş enerjisinin kullanımı, geleceğin yakıtı hidrojenin sudan üretilmesinde güneş enerjisinin kullanılması ve güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülerek kullanılması; buna bağlı olarak elektrik santrallerinin geliştirilmesi olarak sıralanabilir.

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretiminde iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler fotovoltaik yolla yani güneş pili kullanılarak elektrik üretimi ve termoelektrik yolla yani TEC (termoelektrik dönüştürücü) ile elektrik üretimidir.

Işık-gerilimi anlamına gelen fotovoltaik terimi, kısaca "PV" ile gösterilir. Fotovoltaik piller dilimize "Güneş pilleri" olarak yerleşmiştir. Güneş pilleri her tür ışık altında elektrik üretebilen, enerjinin korunumu yasasına uygun olarak ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren aygıtlardır.

Güneş enerjisinden termoelektrik yolla enerji üretimi, Güneş ışınlarını belirli bir bölgeye toplayarak ışınların taşıdığı ısı enerjisinin bu bölgedeki soğurucu yüzey üzerinde soğurulması ile olur. Termoelektrik modüller bu zemin aracılığı ile ısıtılır. Termoelektrik modüllerin yüzeyler arasında oluşturulan sıcaklık farkı ile elektrik enerjisi üretilir.

1.2 Çalışmanın amacı

Yukarıdaki veriler göz önünde bulundurulursa, ülkemizin güneş enerjisi potansiyeline bakıldığında, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan Güneşin dikkate alınması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada Güneşten gelen yoğun ısı enerjisinden faydalanılarak, termoelektrik dönüştürücüler yardımı ile elektrik enerjisi üreten düzenekler tasarlanmıştır.

Özellikle Akdeniz ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde olmak üzere, ülkemizdeki bir çok konutta halihazırda güneş kolektörleri ile sıcak su elde edilmektedir. Bu çalışmada sıcak su elde edilmesinin yanında termoelektrik modüller yardımı ile sıcak akışkandan yararlanarak elektrik enerjisi elde edilmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı sıcak su elde etmek için yaygın olarak kullanılan güneş enerji sistemlerini, elektrik enerjisi de üretir hale getirecek tasarımlara ışık tutmaktır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin kullanımı yaygınlaştırarak, bu sayede kötü emisyonlu yakıt kullanımının en aza indirgenmesini sağlamak amaçlanmıştır.

2 TERMOELEKTRİK

Kelime anlamı olarak termoelektrik elektriksel-ısı ya da ısı-elektrik olarak bilinir. Isı enerjisi ile elektrik enerjisinin birbirlerine doğrudan dönüşümü, termoelektrik olayı tanımlar (14). Isı enerjisini direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürmek ya da bunun tersi olan elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştürerek soğutma sistemlerinde kullanmak son yılların önemli bir araştırma ve uygulama konusu olmuştur (5).

Termoelektrik materyallerde ısıyı materyalin bir tarafından diğer tarafına iletebilen taşıyıcı yük akışı mevcuttur. Termoelektrik materyaller üzerine ilk uygulamalar sıcaklığa duyarlılığı dolayısıyla ısı çiftleridir (16). Isıl çiftler iki farklı metalin basitçe bağlanmış şeklidir. İki farklı metalden oluşan kapalı bir devrede birleşme noktaları farklı sıcaklıklarda bulunursa, bu yüzeyler arasında Joule etkisi, Fourier etkisi, Seebeck etkisi Peltier etkisi ve Thomson etkisi geçerli olur (6).

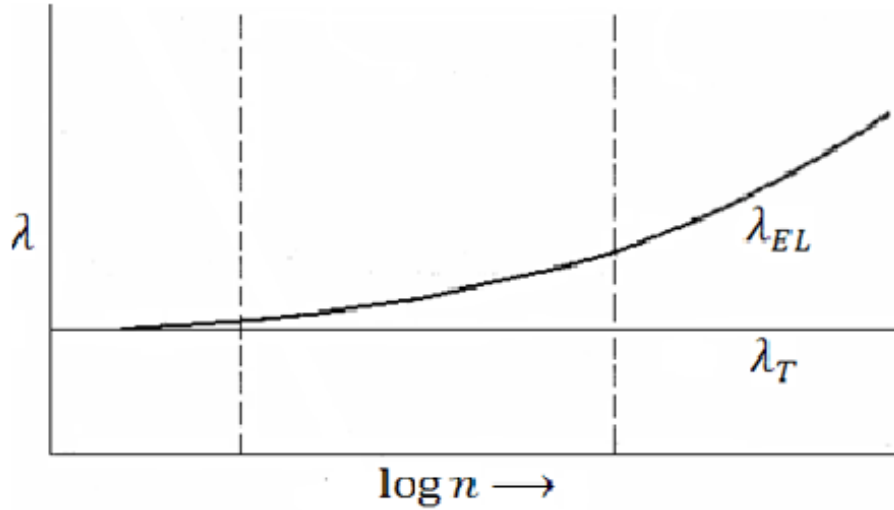
Bir materyalin termoelektrik uygulamalar için uygun materyal olabileceğini Z değişkeni belirler. Termoelektrik materyali karakterize eden Z parametresi; termoelektromotor kuvveti sabitine α (Seebeck katsayısına $V/^\circ C$), elektroiletkenliğine σ (ölçülebilir nicelik olan elektriksel iletkenliğe yani öziletkenliğine $(1/\Omega) \times cm$) ve ısı iletkenliğine λ (veya $H, W \times cm/^\circ C$) bağlıdır (5,7).

$$Z = \frac{\alpha^2 \times \sigma}{\lambda} \quad (2.1)$$

Üç parametre (α , σ ve λ) elektrik yük konsantrasyonu, pozitif kütle m^+ miktarı ve dağılım mekanizmasının bir fonksiyonu olarak termoelementlerin özelliklerini ortaya çıkarmaktadır (7). Birimler yerine konduğunda Z parametresinin birimi $1/^\circ C$ olarak bulunur. Her sıcaklıkta optimum elektrik yük konsantrasyonuna göre bir Z_{max} değeri bulunur. Kristal yapıya nötr karışımlar ilave edilerek λ değeri küçültülebilir. Böylece Z değeri büyütülebilir.

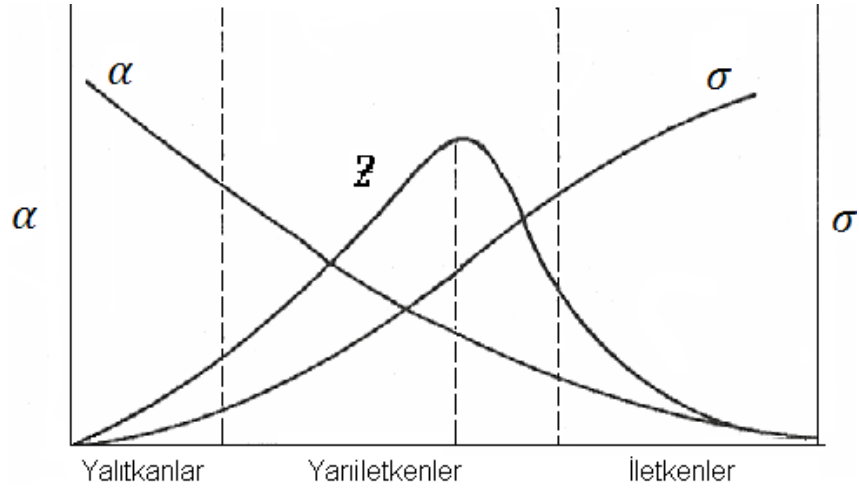
Termoelektrik özellikler taşıyıcı konsantrasyonuna bağlı malzemeler için maksimum termoelektrik verimle açıklanabilir. Yukarıda bahsedilen bütün katsayılar, serbest elektrik yükü taşıyıcılarının yoğunluğunun fonksiyonlarıdır. Küçük taşıyıcı konsantrasyonlarında Seebeck katsayısı büyüktür. Bu sebeple taşıyıcı

konsantrasyonunun yüksek olduğu metalde Seebeck katsayısı çok küçük olur. Elektriksel iletkenlik direkt olarak taşıyıcı konsantrasyonuyla orantılıdır. Son olarak termal iletkenlik biraz taşıyıcı konsantrasyonuna bağlı, biraz da elektriksel iletkenliğe bağlıdır. Başka bir deyişle bu iki bölümden meydana gelir. Biri taşıyıcı konsantrasyonuyla değişmeyen termal iletkenlik λ_T ve diğeri elektriksel iletkenlikle direkt ilgili olan elektronik termal iletkenlik λ_{EL} olmak üzere, bu katsayıların taşıyıcı konsantrasyonuna bağlılığının varyasyonları Şekil 2.1’de gösterilmiştir (7).



Şekil 2.1. Termal iletkenlikler-taşıyıcı konsantrasyonu grafiği

Başka bir ifadeyle metaller düşük Seebeck katsayıları nedeniyle yetersiz termoelektrik malzemelerdir; çünkü metaller ısıl iletkenliğe yüksek elektriksel tepki gösterirler. Yalıtkanlar oldukça yüksek Seebeck katsayısına ve ısıl iletkenlik için küçük elektronik katkıya sahiptirler. Bu yüzden yük yoğunlukları ve elektriksel iletkenlik termoelektrik etkide düşük öneme sahiptir. Z değeri Seebeck katsayısı ve elektriksel iletkenliğe bağlı olarak değişir. Z_{max} değerine taşıyıcı konsantrasyonunun cm^3 başına 10^{18} , den 10^{21} ,e kadar olduğu bölgede ulaşılır. Bu, Loffe tarafından gösterilmiştir. Şekil 2.2.’den de (11) anlaşılacağı gibi bu, yarıiletken yani yarı metallerin yüksek katkılarına karşılık olduğu bölgedir. Bu malzemelere en iyi örnek olarak elektronik yoğunluğu $1 \times 10^{19} cm^{-3}$ olan yarıiletkenler gösterilebilir. Yarıiletken malzemelerin elektriksel özellikleri sıcaklıkla değişebilir. Sonuç olarak yarıiletkenler, her yarıiletken için çeşitlilik gösteren kesin sıcaklık sınırlarında termoelektrik malzemeler olarak görev yaparlar (7,8).



Şekil 2.2. Materyallerin termoelektriksel (Z parametresi) uygunlukları

Daha yüksek Z 'ye sahip olan materyallerin termoelektrik performansları daha iyidir. Bilinen termoelektrik malzemeler operasyon sıcaklık sınırlarına bağlı olarak üç kısma ayrılırlar. Bi_2Te_3 ve alaşımları en yüksek Z 'ye sahiptirler ve şimdiki soğutma sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Soğutucu aletlerde en çok kullanılan yarıiletken malzeme Bi_2Te_3 sistemi, -100°C 'den 200°C 'ye kadar etkin işletim aralığına, yaklaşık 80°C 'de maksimum performansa sahiptirler. BiSb alaşımları sadece düşük sıcaklıklarda kullanışlıdır. PbTe , BiSb 'den sonra en yaygın kullanılan malzemedir ve güç üreticisinde kullanılır. Fakat soğutucu aletlerdeki Bi_2Te_3 kadar etkili değildir. PbTe , 350°C 'de pik Z 'ye ulaşır ve 200°C 'den 500°C 'ye kadar etkin operasyon sınırına sahiptir (9).

Z değişkenini arttırmak için aşağıdaki koşullara uygun termoelementler üretmek gerekir:

- 1) Kullanılan termoelementlerin çalışma sıcaklığında kimyasal bozunmaya uğramaması gerekir. Bunun için yarıiletken malzemelerin ve bileşiklerinin kimyasal kararlılığı yüksek olmalıdır (7).
- 2) Oluşturulacak bir p-n eklemde eklem bölgesi difüzyon hızı düşük olmalıdır (7).
- 3) Kullanılan termoelektrik malzemeler, istenmeyen Joule ısı kaybını azaltmak için yüksek elektriksel iletkenliğe sahip olmalıdır (9).
- 4) Kullanılan yarıiletkenler düşük geçiş direncine sahip olmalıdır (7).

2.1 Termoelektrik etkiler

2.1.1 Joule etkisi

Bir iletkenen elektrik akımı aktığı zaman iletken üzerinde meydana gelen elektrik alan tarafından ivmeler kazanan hareketli yüklerin (teorik olarak yarıiletkenler için elektronlar-boşluklar) kinetik enerjisi, iletken içindeki elastik olmayan çarpışmalarda ısı enerjisine dönüşür. Sonuçta akım taşıyan iletkenin sıcaklığı biraz artar. Hareketli yüklerin V gibi bir potansiyel farka sahip iki nokta arasındaki bu hareketi sırasında, elektriksel kuvvetlerin yaptığı iş, (2,2) Eşitliği ile hesaplanır.

$$W = q \times V \quad (2.2)$$

Eşitlik (2,2)'de q 'nun eş değerini yerine yazarsak (2,3) Eşitliği elde edilir.

$$q = I \times t \Rightarrow W = I \times t \times V \quad (2.3)$$

(2.3) Eşitliğinde V 'nin I cinsinden eşdeğeri ya da I 'nın V cinsinden eşdeğeri yerine yazılabilir. Ancak termoelektrik malzemelerde sıcaklık farkına bağlı akım veya akıma bağlı sıcaklık farkı oluştuğu düşünülürse V 'nin I cinsinden eşdeğerini yazmanın daha uygun olacağı görülür.

$$W = I^2 \times R \times t \quad (2.4)$$

Söz konusu malzemeler yarıiletken olunca, akım taşıyan yarıiletkenin sıcaklığı, direnci daha yüksek olacağı için, akım taşıyan iletkenin sıcaklığına göre daha fazla artacaktır. Bu da Joule etkisinin dikate alınması gerektiğini göstermektedir.

2.1.2 Fourier etkisi

Fourier etkisi, ısının yüksek sıcaklığa sahip bölgeden, düşük sıcaklığa sahip bölgeye doğru transfer edilmesi olayıdır. Fourier etkisinden dolayı açığa çıkan ısı enerjisi Eşitlik (2.5)'deki gibi verilebilir (7,10):

$$Q = A \times K \times \Delta T \quad (2.5)$$

Eşitlikteki ifadeler:

Q: Yüksek sıcak bölgeden düşük sıcak bölgeye doğru giden ısı miktarı (W)

A: Malzemenin toplam alanı (m^2)

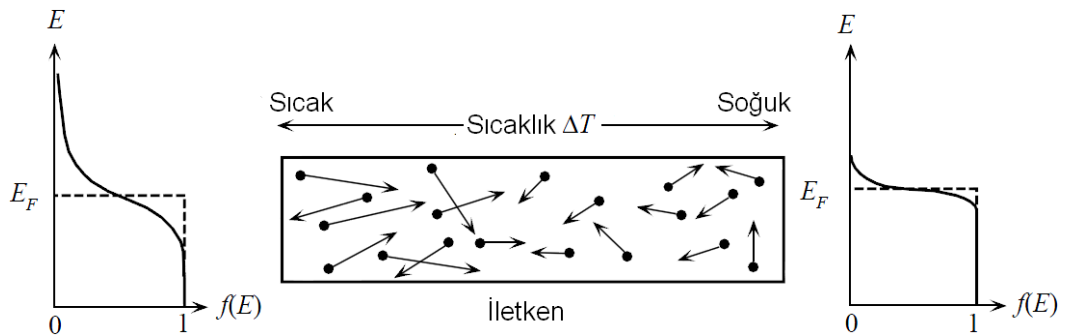
K: Malzemenin ortalama ısı iletim katsayısı ($W/(m^2 \times ^\circ C)$)

Burada K 'nın bir ortalama değer hesabı mevcuttur. Ancak gerek görülmediği için derinlemesine bir analiz yapılmamıştır. Devre kararlı hale geldiğinde, soğuk yüzey tarafından sıcak yüzeyden hesaplanabilir bir ısı soğurulmaktadır. Bununla birlikte sistemden geçen akımdan dolayı ters yönde istenmeyen ısı kazançları da mevcuttur.

Joule ve Fourier etkilerinden dolayı termoelektrik malzemeye akım verildiğinde soğuk ve sıcak yüzey arasındaki sıcaklık değişimi aynı oranda olmamaktadır. Ayrıca Fourier etkisi göstermektedir ki, kararlı bir sistem işleyişi ve yüksek verim için termoelektrik malzemenin yüzeylerinin homojen olarak ısınmasını ve soğumasını sağlamak gerekmektedir.

2.1.3 Seebeck etkisi

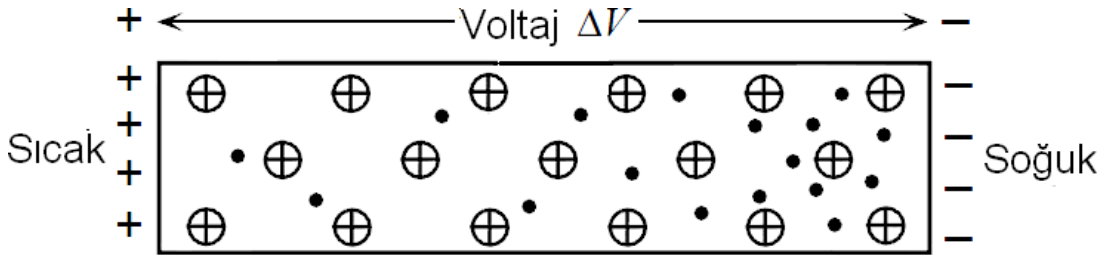
Bir iletkenin uçları arasında oluşturulacak bir sıcaklık farkı, bu iki nokta arasında bir potansiyel fark meydana getirir. Başka bir ifadeyle bir iletkende ortaya çıkan sıcaklık gradyeni bir elektrik alan doğurur. Bu olgu Seebeck etkisi ya da termoelektrik etki olarak adlandırılır. Bu etkinin büyüklüğü Seebeck katsayısı ile değerlendirilir. Birim sıcaklık başına malzemede oluşan potansiyel farka Seebeck katsayısı denir. Sadece iki farklı metal ya da yarı metal arasındaki Seebeck potansiyel farkı ölçülebilir. Termoçift prensibi Seebeck etkisine dayanmaktadır (Şekil 2.3.) (11).



Şekil 2.3. Alüminyum çubuktaki sıcaklık değişimi ile oluşan elektron hareketleri

Şekil 2.3.'te gösterildiği gibi alüminyum bir çubuğun bir ucunun ısıtıldığını diğer ucunun soğutulduğunu varsayalım. Sıcak bölgedeki elektronlar daha hareketlidir ve soğuk bölgedeki elektronlara göre daha yüksek hıza sahiptirler. Bu nedenle elektronlar, arkasında pozitif metal iyonları açığa çıkararak sıcak bölgeden soğuk bölgeye doğru hareket ederler ve soğuk bölgede bir negatif yük yoğunluğu oluştururlar. Bu durum Şekil 2.4.'te gösterilmiştir (11). Elektron devinimi sıcak bölgedeki pozitif metal iyonları ve soğuk bölgedeki artık elektronlar arasında bir elektrik alan oluşturur. Oluşan elektrik alan yeterli büyüklüğe ulaşınca elektron devinimini engeller. Böylece sıcak bölge ile soğuk bölge arasında bir potansiyel fark oluşur. ΔT sıcaklık farkına bağlı olarak metalin bir kısmında meydana gelen ΔV potansiyel farkına Seebeck etkisi denir. Bu etkinin büyüklüğünü ölçmek için her birim sıcaklık değişiminde oluşan potansiyel farka göre belirlenen özel bir sabit tanımlanır (8,11).

$$S = \frac{dV}{dT} \quad (2.6)$$



Şekil 2.4. Elektron hareketi sonrası alüminyum çubuğun yük dağılımı

Bir kabul olarak S 'nin işaretini “sıcak bölgeye göre soğuk bölgenin potansiyeli” ifadesi gösterir. Elektronlar sıcak bölgeden soğuk bölgeye difüze olursa soğuk bölge sıcak bölgeye göre negatif olacaktır. Böylece Seebeck katsayısı negatif olacaktır. Diğer taraftan p tipi bir yarıiletkende boşluklar sıcak bölgeden soğuk bölgeye difüze olabilir. Bu durum S 'yi pozitif bir nicelik yapacaktır (11).

Daha uygun bir ifadeyle Seebeck katsayısı S , sıcaklığa bağlı bir termoelektrik materyal özelliğidir $S = S(T)$. Çizelge 2.1.'de bazı metaller için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak S belirtilmiştir (11). Eşitlik 2.6'dan uç nokta sıcaklıkları T_0 ve T olan bir materyal için Seebeck katsayısı $S(T)$ verildiğinde, iki nokta arasındaki gerilim farkı Eşitlik (2,7)'deki gibi yazılabilir (11).

$$\Delta V = \int_{T_0}^T S dT \quad (2.7)$$

Çizelge 2.1. Bazı metallerin 0°C ve 27°C sıcaklıklardaki Seebeck katsayıları ve Fermi enerji seviyesindeki değerlik elektronlarının enerjisi

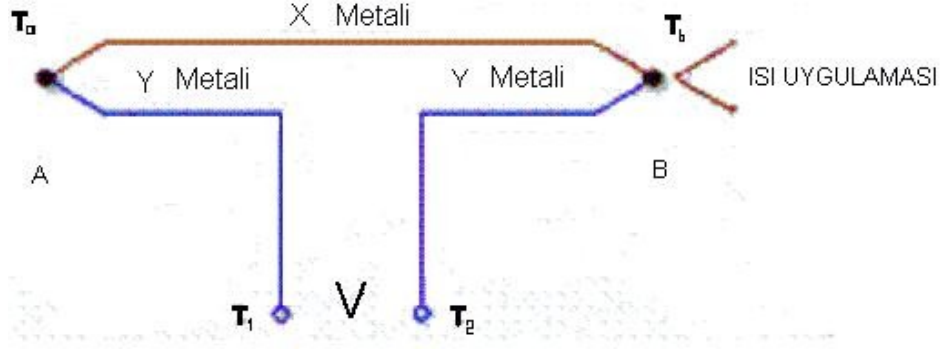
Metal	0°C-S ($\mu V \cdot K^{-1}$)	27°C-S ($\mu V \cdot K^{-1}$)	E_F (eV)
Ag	+1.38	+1.51	5.5
Al	-1.6	-1.8	11.6
Au	+1.79	+1.94	5.5
Cu	+1.70	+1.84	7.0
K		-12.5	2.0
Li	+14		4.7
Mg	-1.3		7.1
Mo	+4.71	+5.57	
Na		-5	3.1
Pb	-1.15	-1.3	
Pd	-9.00	-9.99	
Pt	-4.45	-5.28	
Zn			9.4

Seebeck katsayısı S , genellikle α ile gösterilir. Bu katsayıya Seebeck adının verilmesinin sebebi 1821 yılında Thomas Johann Seebeck tarafından bulunmasıdır. Seebeck iki farklı metal kullanarak oluşturduğu elektrik devresinde, bu metallerin farklı sıcaklıklarda olması durumunda elektrik akımı ürettiğini gözlemlemiştir (7,8,12). Seebeck önce farklı sıcaklıklardaki metallerin manyetik alan oluşturduğuna ve bu manyetik alanında bir akım ortaya çıkardığına inanmıştır. Ancak indükleme ile oluşan elektrik akımının magnetler tarafından Amper yasasına uygun bir şekilde oluşturulduğu düşünüldüğünde, sıcaklık farkı ile manyetik alan arasında Amper yasasına uygun bir bağıntı olmadığı açıktır (7). Daha sonra metaller arasındaki sıcaklık farkının bu metaller arasında bir elektriksel gerilim farkı oluşturduğu ve bu elektriksel gerilim farkının da devrede akım oluşturduğu anlaşılmıştır.

Seebeck Şekil 2.5.'teki gibi bir metalin iki ucuna farklı bir metalin parçalarını tutturarak birleşme noktalarından birinin sıcaklığını başlangıç noktasında tutarken diğer birleşme noktasının sıcaklığını arttırmıştır. Seebeck, açık devre gerilimini ölçtüğü zaman ısıl çiftte sıcaklıkla yaklaşık doğru orantılı bir potansiyel fark oluştuğunu gözlemiştir. Birim sıcaklık artışına bağlı olan potansiyel fark oluşumunu α katsayısı ile tanımlamıştır (7,9,10,12).

$$\alpha_{XY} = \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (2.8)$$

Bu ifadede ΔT iki nokta arası sıcaklık farkı yani $\Delta T = T_b - T_a$ değerine eşittir. α_{XY} ise bağıl Seebeck katsayısıdır. Yani iki metalin Seebeck katsayıları farkıdır $\alpha = \alpha_X - \alpha_Y$.



Şekil 2.5. Seebeck etkisinin görüldüğü ısıl çift (Möröydor Derun, 2005'den değiştirilerek)

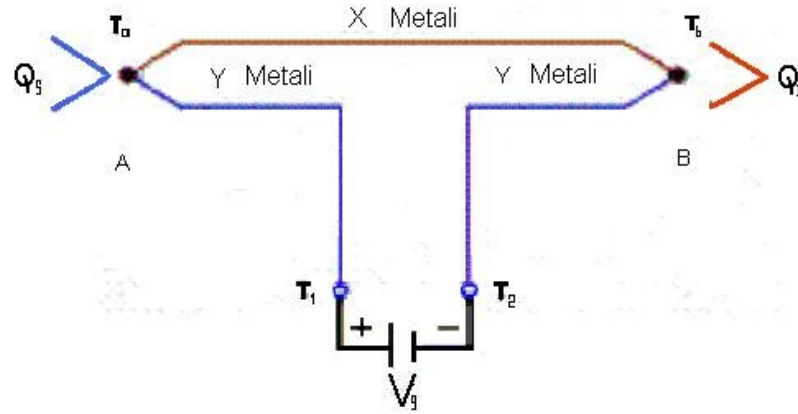
Seebeck etkisi, sıcaklık ölçmek için kullanılan ısıl çiftlerin yani termokoplların ve termoelektrik güç jeneratörlerinin temelini oluşturmuştur. Seebeck katsayısının büyüklüğü ve işareti bir termoelektrik düzeneğindeki tüm eklem bölgelerinin sıcaklık farklarına, kullanılan iletkenlerin ve/veya yarıiletkenlerin türüne, yarıiletkenlerin yaptığı bileşiklerine ve saflık derecesine bağlıdır.

2.1.4 Peltier etkisi

X ve Y metallerinin A ve B gibi iki ayrı uçtan Şekil 2.6.'daki gibi birbirine tutturulması ile oluşturulmuş kapalı devreden geçen I akımı, devredeki eklem uçlarından birim zamanda bir miktar ısı soğutulmasına ya da açığa çıkmasına neden olur (7-10,12).

Eğer Şekil 2.6.'daki gibi termoçift devresinden bir akım geçerse, bir eklem noktasından ötekisine ısı transferi sağlayacak şekilde bir ucun sıcaklığı düşerken ötekisinin sıcaklığı yükselir. V_g gerilimi T_1 ve T_2 kutuplarına uygulanırsa devreden I akımı geçmeye başlar. Bu akımın akışı sonucunda, soğutma etkisi Q_s ısının emildiği ısıl çift bağlantısı A'da oluşur ve ısıtma etkisi Q_i ısının dışarıya atıldığı bağlantı B'de oluşur. Bu etki tersinirdir. Yani elektrik akım yönü değiştirildiğinde ısı akışının yönü

de değişecektir. Karşılıklı olarak soğurulan-açığa çıkarılan bu ısı enerjisine Peltier ısısı, bu etkiye de Peltier etkisi denir (14,16) .



Şekil 2.6. Peltier etkisinin görüldüğü ısıl çift (Möröydor Derun, 2005'den değiştirilerek)

Birim zamanda üretilen Peltier ısısı devreden geçen I akımı ile doğru orantılıdır ve Eşlik (2.9) ile ifade edilir.

$$Q_P = \pi_{XY} \times I \quad (2.9)$$

Bu ifadede Q_P (W) Peliter ısısını, π_{XY} (V) X ve Y metallerinin bağlı Peltier katsayısını, I (A) ise devreden geçen akımı göstermektedir. Ayrıca π_{XY} ifadesi iki metalin Peltier katsayıları farkıdır $\pi_{XY} = \pi_X - \pi_Y$.

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

1834 yılında Fransız fizikçi Jean Charles Athanasa Peltier tarafından keşfedilen Peltier etkisi görüldüğü gibi Seebeck etkisinin tam tersidir. Bu nedenle dikkat

edilirse Eşitlik (2.8) ile bir ilişki kurulabileceği açıktır. α_{XY} ile π_{XY} arasındaki bağıntı Lord Kelvin tarafından yayımlanmıştır (7,10,12).

$$\pi_{XY} = \alpha_{XY} \times \Delta T \quad (2.10)$$

Bu ifadedeki ΔT soğuk ve sıcak eklemler arasındaki sıcaklık farkıdır. Bu durumda Peltier ısısı Seebeck etkisi ile ilişkili olarak yazılabilir.

$$Q_P = \alpha_{XY} \times \Delta T \times I \quad (2.11)$$

Devre iletkenler ile kurulduğu için iletkenlerin direnci küçüktür ve ihmal edilebilir. Fakat aynı şeyi yarıiletkenler için söylemek mümkün değildir. Yarıiletkenlerin eklem bölgesi direnci R_j ihmal edilemeyecek kadar büyüktür. Buna bağlı olarak yarıiletkenlerle kurulmuş bir devrede ortaya çıkan eklem ısısının tamamının Peltier ısısı olduğu söylenemez. Yarıiletkenlerle kurulmuş bir devrede yapılacak deneysel ölçümlerle bulunacak Peltier ısısı, daha önce bahsedildiği gibi akım taşıyan bir yarıiletkenin, akım taşıyan bir iletkene göre Joule ısısından dolayı daha fazla ısındığını gösterecektir. Bu durumda Peltier ısısı Eşitlik (2.12) ile hesaplanmalıdır.

$$Q_P = I^2 \times R_j + \pi_{XY} \times I \quad (2.12)$$

Düzenek metaller ile değil de yarıiletkenler ile kurulursa, elektronlar, farklı iki yarıiletken malzemenin birleşme noktasından birinden diğerine geçerken, yukarıda anlatılan prensibe benzer bir şekilde, yarıiletkenlerin bir tarafları ısı enerjisini soğurucu diğer tarafında ise ısı enerjisini yayıcı bir şekilde davranmaktadır. Akım, düşük enerji seviyesine sahip p-tipi yarıiletkendeki yüksek enerji seviyesine sahip n-tipi yarıiletkene doğru akarken, akım taşıyıcısı elektronlar soğuk yüzeyden aldıkları ısı enerjisini sıcak yüzeye terk etmektedir. Yarıiletkene dışarıdan verilen elektriksel güç ile elektronların düzenek içinde yani yarıiletkenler arasında hareket etmeleri için gerekli enerji sağlanmış olur. Böylece hareketlenen elektronlar değişen enerji düzeyleri arasında ilerlerken ısı enerjisini de transfer etmekte, başka bir deyişle ısı taşımaktadır. Teorik olarak, p tipi yarıiletkenlerde boşluklar da hareket edebildikleri için akımın yönü değişirse, ısı soğuran ve ısı yayan taraflarda değişecektir.

Peltier etkisi yeni nesil termoelektrik soğutma sistemlerinin temelini oluşturmaktadır. Peltier katsayısının büyüklüğü ve işareti bir termoelektrik düzeneğindeki tüm eklem

bölgelerinin sıcaklık farklarına ve kullanılan iletkenlerin ve/veya yarıiletkenlerin türüne yaptığı bileşiklerine ve saflık derecelerine bağlıdır.

2.1.5 Thomson etkisi

Bir sıcaklık gradyeni olan bir akım, telin içinde bir taraftan öbür tarafa geçerken, sıcaklık orijinal sıcaklık dağılımını devam ettirmek için çevre ile birlikte değişmek zorundadır. Yani akım taşıyan bir iletkenin herhangi iki noktası arasında bir sıcaklık farkı varsa, akım yönüne göre iletkende Joule ısısına ek olarak Thomson ısısı açığa çıkmaktadır. Thomson ısısının matematiksel ifadesi Eşitlik (2.13)'deki gibidir (7).

$$Q_T = I \times \tau \times \Delta T \quad (2.13)$$

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

William Thomson İki farklı iletkenle kurulmuş bir devrede her iletken için, birim alandaki ısı akısı değişiminin, birim alan sıcaklığı, iletkenlerden geçen akım ve Thomson katsayısı ile ilişkili olduğunu bulmuştur (8).

$$\frac{dQ}{ds} = \tau_{XY} \times I \times \frac{dT}{ds} \quad (2.14)$$

(2.14) Eşitliğinin integrali ile, (2.13) Eşitliğini bulmak mümkündür. İskoç bilim adamı William Thomson tarafından ortaya atılan bu hipotez daha sonra 1876 yılında Leru tarafından kanıtlanmıştır. Leru, deney sonucunda iletkenin sıcak ucunun iletken üzerinden geçen akımla, iletkenin uçları arası sıcaklık farkı ile ve iletkenin cinsine bağlı olan Thomson katsayısı ile doğru orantılı bir şekilde ısı yaydığını gözlemiştir. Leru ve Thomson bu yayımını “iletkenin sıcaklık gradyeni ortadan kaldırma isteği” olarak tanımlamıştır.

William Thomson 1892 Yılında Lord Kelvin adını almıştır. Lord Kelvin daha önce bahsedildiği gibi Seebeck ve Peltier etkilerinin tersinir ilişkisini kurarak (2.10) Eşitliğini bulmuştur.

3 TERMOELEMENT VE TERMOELEKTRİK MODÜL

Termoelement ve termoelektrik modülün temelini yarıiletkenler oluşturmaktadır. Dolayısıyla bu iki olgudan bahsetmeden önce yarıiletkenlerden bahsetmek gerektiği düşünülmüştür.

3.1 Yarıiletkenler

Evrendeki tüm maddeler element ve/veya bileşiklerden, element ve bileşikler ise atomlardan oluşmaktadır. Atomlar kimyasal özelliklerine göre sınıflandırılmış ve bu sınıflandırma çerçevesinde periyodik cetvel oluşturulmuştur.

Atomlar yapısal olarak içerisinde proton ve nötron ihtiva eden bir çekirdek ve bu çekirdeğin etrafında, belirli enerji seviyelerine sahip yörüngelerde dönen, negatif yüklü elektronlardan oluşmaktadır.

Bir maddeyi oluşturan tüm atomlar madde içerisine matematiksel olarak ifade edilebilen bir düzenle yerleşmişler ise bu maddeye kristal yapılı denir. Yerleşim şekli gelişi güzel ise bu maddeye amorf yapılı madde denir.

Atomlardaki elektriksel iletkenlik atomların yörüngelerinde dolaşan elektronların atomlardan koparılabirliklerine göre değerlendirilmektedir. Atomların son yörüngelerindeki elektronlarına değerlik (valans) elektronları denir. Bir atomun son yörüngesinde 1 ya da 2 elektron varsa, değerlik elektronlarının atomla bağı zayıftır. Bununla beraber bu yapıdaki bir atom oktet kuralına uymak için değerlik elektronlarını verme eğilimindedir. Bu atomlardan oluşan maddelere iletken denir. İletkenlere en iyi örnek metallerdir.

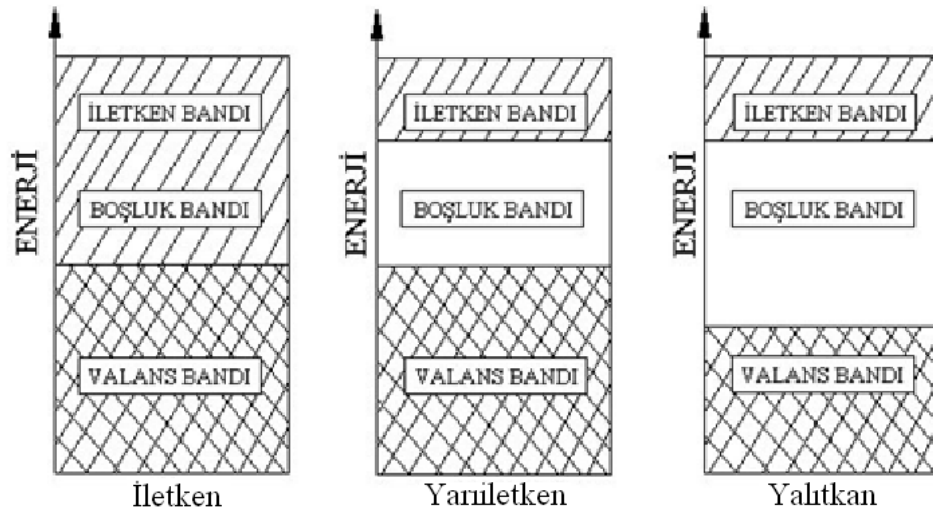
Değerlik elektronları 5'ten fazla olan atomlar oktet kuralına uymak için 1 ya da 2 elektron alma eğilimindedir. Bu atomların değerlik elektronları ile bağı kuvvetlidir. Elektronları atomlardan koparmak için, elektronlara oldukça yüksek bir enerji vermek gerektiğinden dolayı bu tip atomlara yalıtkan denir. Yalıtkanlara örnek tahta, cam, ebonit ve su gösterilebilir.

Maddeleri oluşturan atomlardaki elektronların hareket yörüngelerine birbirinden farklı belirli enerji aralıkları ile yerleştikleri görülür. Bir alt ve bir üst enerji

arasındaki farka “yasak enerji aralığı” denir. Yasak enerji aralıklarında elektron bulunmaz. Elektriksel iletkenliği daha iyi anlayabilmek için, enerji aralık seviyeleri farklı isimlerdeki bandlarla ifade edilir (13,15).

Bir atomun son yörüngesindeki elektronlarının enerji seviyesine “değerlik bandı”, elektriksel iletkenliği sağlayan serbest elektronların bulunduğu enerji seviyesine “iletkenlik bandı” denir (13,15). İletkenlerde değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasındaki yasak enerji aralığı çok küçüktür. Bu nedenle bu iki band birbirine çok yakındır ve birleşik kabul edilir. Yalıtkanlarda ise değerlik bandı ile iletkenlik bandı arasındaki yasak enerji aralığı $3,5 eV$ değerinden daha büyüktür (13-15).

Maddeleri oluşturan atomlarda bir de, iletkenlik bandı ile değerlik bandı arasındaki yasak enerji aralığı $3,5 eV$ ’dan daha küçük olanlar vardır. Mutlak sıcaklık değerinin üstündeki sıcaklıklarda, değerlik bandındaki valans elektronları ısı veya ışık enerjisi, manyetik etki ya da elektrik akımı ile uyarıldığı zaman, iletkenlik bandına çıkarak elektrik akımını iletirler. Uyarılma etkisi ortadan kalkınca tekrar yalıtkan hale dönerler. Bu yapıdaki maddelere “yarıiletkenler” denir. İletkenlerin, yalıtkanların ve yarıiletkenlerin enerji band diyagramı Şekil 3.1.’de gösterilmiştir (15).



Şekil 3.1. İletken, yarıiletken ve yalıtkanların enerji band diyagramı

Silisyum ve germanyum en çok tercih edilen yarıiletken elementler olup, son yörüngelerinde 4 elektronları vardır. Ayrıca 3A ve 5A gurubu elementlerinden bileşik oluşturarak ve metal oksit bileşikleri ile laboratuvar ortamlarında yarıiletken malzeme üretmek mümkündür. *InP* ve *CuO* bunlara örnek gösterilebilir.

Uyarılma sonucu ilettime geçen yarıiletkenlerde değerlik bandından iletkenlik bandına geçen her elektronun geride bir pozitif yük açığı çıkardığı kabul edilir. Bu açığa boşluk ya da deşik denir. Yarıiletkenlerin elektriksel iletkenliğini anlama ve anlatma kolaylığı bakımından boşlukların hareket ettiği varsayılır.

Bir yarıiletkendeki elektron yoğunluğu n , boşluk yoğunluğu p ile gösterilir. İlettime geçen saf bir yarıiletkende $n = p$ 'dir. Saf yarıiletkenler elektriksel iletkenliğe istenenden daha yüksek değerde direnç gösterirler. Dolayısıyla elektriği az iletirler. Yasak enerji aralığını küçültmek yani, yarıiletkenin elektriksel iletkenliğini arttırıp direncini düşürmek için yarıiletkene başka bir madde ilave edilir. Bu işleme "katkılama", ilave edilen atoma "katkı atomu" ve sonuçta elde edilen malzemeye "katkılı yarıiletken" denir (13-15).

Son yörüngesinde 4 elektronu bulunan ve birbirleri ile kovalent bağ yapan saf yarıiletken atomlarının değerlik elektronları, ikişerli guruplar halinde, herhangi komşu iki atomun yörüngelerinde ortaklaşa dönmektedirler (15).

Her 10^6 adet yarıiletken atomuna bir tane 5A gurubu elementi atomu düşecek şekilde katkılama yapıldığını düşünelim. Bu durumda 5A gurubu atomun son yörüngesindeki 5 elektrondan 4 tanesi, komşu yarıiletken atomun elektronları ile kovalent bağ yapacak, bir elektron ise atom etrafında zayıf bir çekme kuvveti ile serbestçe hareket edecektir. Böylece malzeme genelinde negatif yük fazlalığı olacak ve malzemedeki serbest elektronlar daha düşük bir uyarılma enerjisi ile iletkenlik bandına çıkabilecektir. Bu kimyasal yapıya sahip katkılı yarıiletkenlere "n tipi yarıiletken" denir (13-15).

Yarıiletkenlerde değerlik bandına çıkan bir elektronun geride bir boşluk bıraktığı kabulü dikkate alındığında n tipi bir yarıiletkende, negatif yük yoğunluğu pozitif yük yoğunluğundan büyüktür ($n > p$). Bu nedenle n tipi yarıiletkenlerde elektronlara "çoğunluk taşıyıcıları", boşluklara "azınlık taşıyıcıları" denir.

Bir yarıiletken malzemeye bir milyon yarıiletken atomu başına bir tane 3A gurubu elementi atomu katkılандığı zaman, 3A gurubu atomu ile yarıiletken atomu arasında yapılan kovalent bağ sonucu, yarıiletken atomunun değerlik elektronlarının bir tanesi bağ yapacak elektron bulamayacak, böylece bir pozitif yük fazlalığı yani boşluk

oluşacaktır. Bu tip katkılı yarıiletken malzemelere “p tipi yarıiletken” denir. Bu durumda malzeme genelinde pozitif yük fazlalığı olacaktır ($p > n$). Buna bağlı olarak p tipi yarıiletken malzemelerde boşluklara çoğunluk taşıyıcıları, elektronlara ise azınlık taşıyıcıları denir.

3.1.1 Yarıiletkenlerin elektronik özellikleri

Yarıiletkenlerin elektriksel iletkenliğinin temelini serbest halde dolaşan elektron ve boşluklar oluşturmaktadır. Katkısız bir yarıiletken için iletim durumunda iletkenlik bandındaki elektronlar ile değerlik bandındaki boşlukların sayısı birbirine eşittir. N_C iletkenlik bandındaki etkin elektron yoğunluğu, N_V valans bandındaki etkin boşluk yoğunluğu, E_C iletkenlik bandındaki elektronların enerjisi, E_V valans bandındaki boşlukların enerjisi ve E_F fermi enerji seviyesini göstermek üzere saf bir yarıiletkendeki iletkenlik ve değerlik bandındaki taşıyıcı yoğunlukları sırasıyla Eşitlik (3.1) ve (3.2)'de verilmiştir (13,14).

$$n = N_C \times e^{-\left(\frac{E_C - E_F}{kT}\right)} \quad (3.1)$$

$$p = N_V \times e^{-\left(\frac{E_C - E_F}{kT}\right)} \quad (3.2)$$

Katkısız bir yarıiletkende etkin taşıyıcı yoğunlukları, taşıyıcıların etkin kütlelerine ve sıcaklığa bağlıdır. m_e^* iletkenlik bandındaki elektronların ve m_h^* değerlik bandındaki boşlukların etkin kütlesi olmak üzere, saf bir yarıiletkendeki etkin elektron ve boşluk yoğunlukları sırasıyla Eşitlik (3.3) ve (3.4)'deki gibi yazılabilir (13,14).

$$N_C = 2 \left(\frac{2\pi m_e^* kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (3.3)$$

$$N_V = 2 \left(\frac{2\pi m_h^* kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} \quad (3.4)$$

N_C Eşitlik (3.1)'de, N_V Eşitlik (3.2)'de yerine yazılırsa, iletim bandındaki elektron konsantrasyonu Eşitlik (3.5), değerlik bandındaki boşluk konsantrasyonu Eşitlik (3.6) ile ifade edilebilir.

$$n = 2 \left(\frac{2\pi m_e^* kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} \times e^{-\left(\frac{E_C - E_F}{kT}\right)} \quad (3.5)$$

$$p = 2 \left(\frac{2\pi m_h^* kT}{h^2} \right)^{\frac{3}{2}} \times e^{-\left(\frac{E_F - E_V}{kT}\right)} \quad (3.6)$$

Saf bir yarıiletkende serbest yüklerin yoğunlukları eşit olduğundan, E_g yasak enerji aralığını göstermekle birlikte, matematiksel sadeleştirmeler yardımı ile fermi enerji seviyesini Eşitlik (3.7)'deki gibi yazmak mümkündür (13,14).

$$E_F = \frac{1}{2} E_g + \frac{3}{4} kT \log \left(\frac{m_h^*}{m_e^*} \right) \quad (3.7)$$

Katkısız bir yarıiletkende taşıyıcıların etkin kütleleri eşit kabul edildiği zaman, fermi enerji seviyesi yasak enerji aralığının ortasına denk gelir. Yani $m_e^* = m_h^*$ olduğunda $\log 1 = 0$ olacağından $E_F = \frac{1}{2} E_g$ eşitliği elde edilecektir.

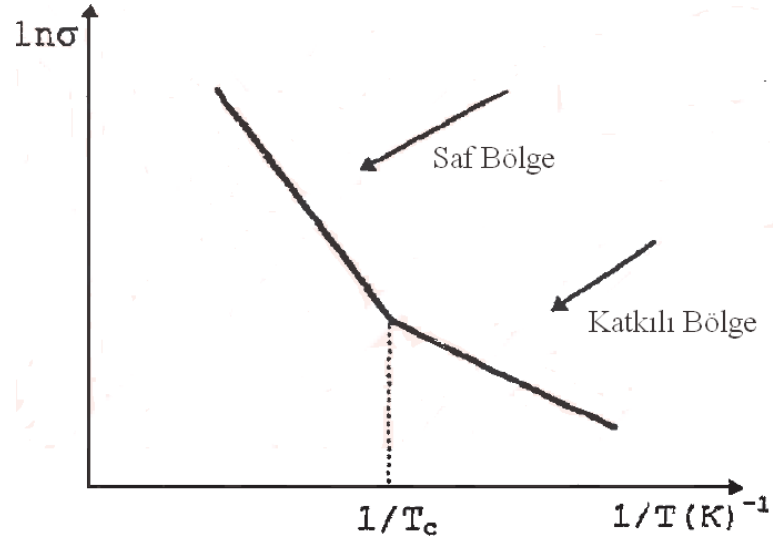
Sonuç olarak gerekli sadeleştirmeler yapıldığında katkısız bir yarıiletkendeki taşıyıcı konsantrasyonu Eşitlik (3.8)'deki gibi, iletkenlik Eşitlik (3.9)'deki gibi yazılabilir (13,14).

$$n_i = 2 \left(\frac{kT}{2\pi h^2} \right)^{\frac{3}{2}} \left(\frac{m_e^*}{m_h^*} \right)^{\frac{3}{4}} e^{-\frac{E_g}{2kT}} \quad (3.8)$$

$$\sigma_i = \sigma_0 e^{-\frac{E_g}{2kT}} \quad (3.9)$$

Katkılı bir yarıiletkende ise taşıyıcı konsantrasyonları ve iletkenlik katkılama oranına göre değişmektedir. Eşitlik (3.7)'ye dikkat edilirse, katkılama tipi ve miktarına bağlı olarak taşıyıcıların etkin kütlesi, buna bağlı olarak E_F fermi enerji seviyesi değişecektir.

Eşitlik (3.9) incelendiğinde ise yarıiletkenlerin iletkenliklerinin metallerin aksine sıcaklıkla arttığı görülür. Yarıiletkenlerin elektriksel iletkenliğinin sıcaklığın tersine bağlı grafiği Şekil 3.2.'de verilmiştir (13).



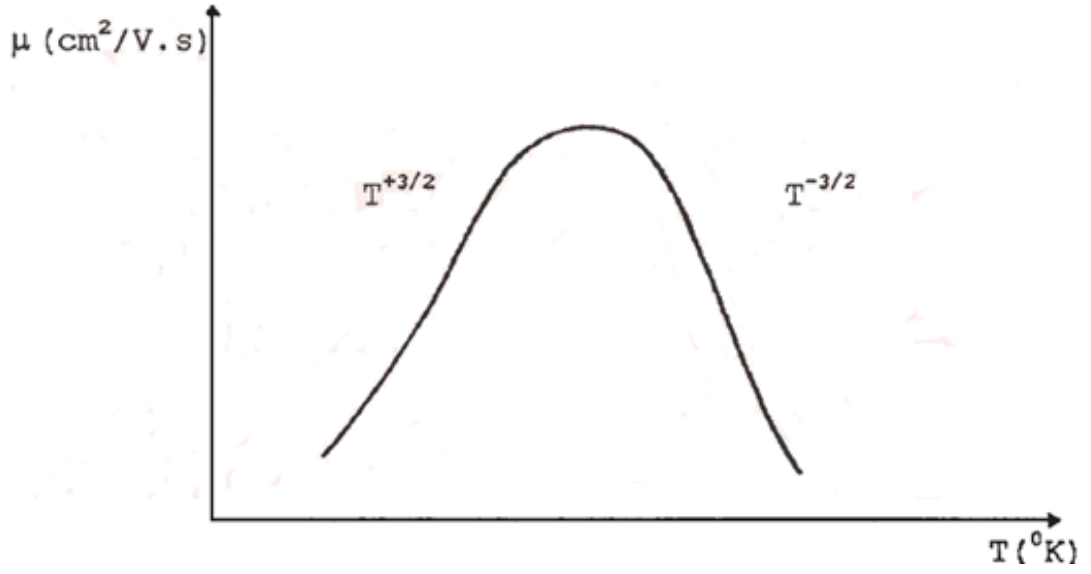
Şekil 3.2. Yarıiletkenlerin elektriksel iletkenliklerinin sıcaklığın tersine bağlı grafiği

Katkılı yarı iletkenlerdeki katkı atomları katkı türüne göre elektron almaya ya da vermeye yarıiletkenlerden daha meyillidirler. Bu nedenle katkı atomları sıcaklıkla beraber iyonize olmaya başlar. Buna bağlı olarak katkılı malzemedeki taşıyıcı yoğunluğu sıcaklıkla artmaya başlar. Katkılı malzemedeki T_c sıcaklığına kadar olan iletkenlik artışının katkı atomlarından kaynaklandığı ve T_c sıcaklığında tüm safsızlık atomlarının iyonize olduğu kabul edilir (13).

T_c sıcaklığından itibaren safsızlık atomlarının tamamının iyonlaştığı ve değerlik bandında safsızlık atomuna ait hiç elektron kalmadığı kabul edilir. Katkı atomlarının elektronlarının tamamının iletkenlik bandına çıkması ile değerlik bandında daha geniş hareket alanı bulan yarıiletken atomlarının değerlik elektronlarının, sıcaklığın artması ile enerjileri de artacaktır. Değerlik bandındaki elektronların enerjilerinin artması “hareketliliklerinin” artmasına neden olacak ve belirli bir hareketlilik sınırından sonra yüksek enerjili elektronlar da iletkenlik bandına çıkacaklardır. Böylece T_c sıcaklığından itibaren iletkenliğin artması yarıiletkenin değerlik elektronlarının mobilitesinin artması ile gerçekleşecektir (13).

Belirli bir sıcaklığa kadar taşıyıcıların hareketlilikleri artarken, bir noktadan sonra hareketliliğin artması taşıyıcıların çarpışma olasılıklarını arttıracak, böylece taşıyıcı hareketliliği azalmaya başlayacak ve ilerleyen sıcaklık değerlerinde neredeyse yok olacaktır.

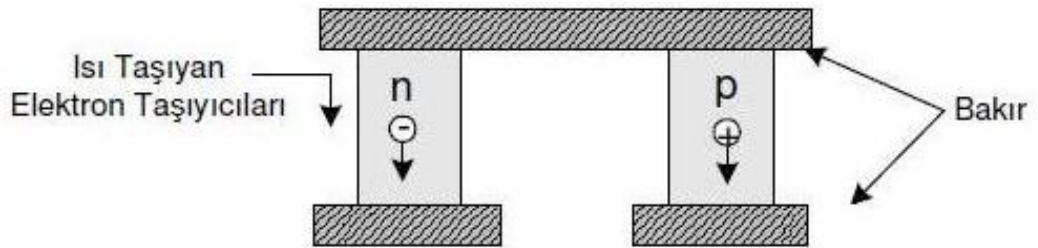
Şekil 3.2.'den de anlaşılacağı gibi iyonize katkı atomlarının serbest elektronlarının hareketliliğe katkısı düşük sıcaklıklarda daha fazladır. Çünkü sıcaklığın artması akustik fonon hareketlerini arttıracak ve katkı atomlarının fonon saçılması yarıiletken atomlarının salınımindan farklı olacak, bu sebeple de iyonize katkı atomlarının elektronlarının hareketlenme enerjilerinin çoğu fonon saçılması uyumsuzluğu ile kaybolacaktır. Sıcaklığın hareketliliğe etkisi Şekil 3.3.'teki gibidir (13).



Şekil 3.3. Hareketliliğin sıcaklığa bağlı değişimi

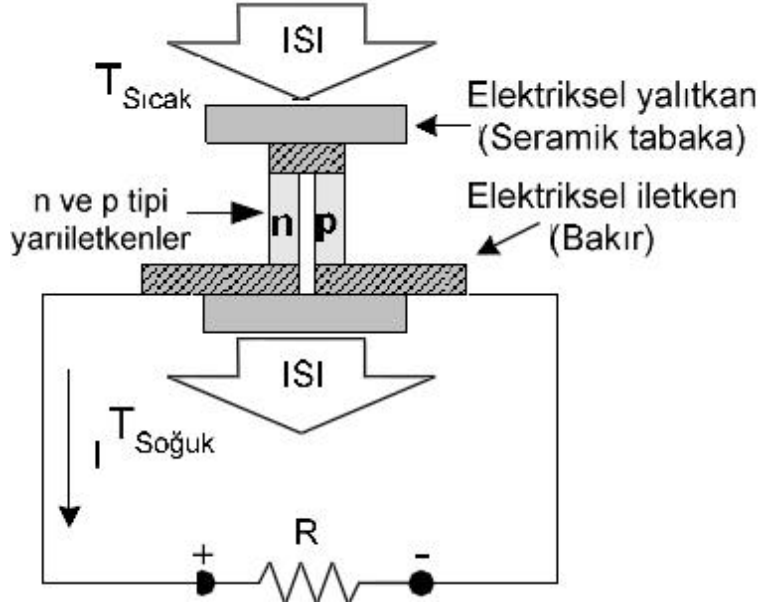
3.2 Termoelement

Bir termoelement (mikro modül) n ve p tipi iki yarı iletkenin metal bir levha ile elektriksel olarak seri bağlanması ile meydana gelir. n tipi yarı iletkenin olduğu kısım termoelementin negatif kısmı, p tipi yarıiletkenin olduğu kısım termoelementin pozitif kısmı olarak kabul edilir. Şekil 3.4.'te basit olarak bir termoelement gösterilmiştir (12).



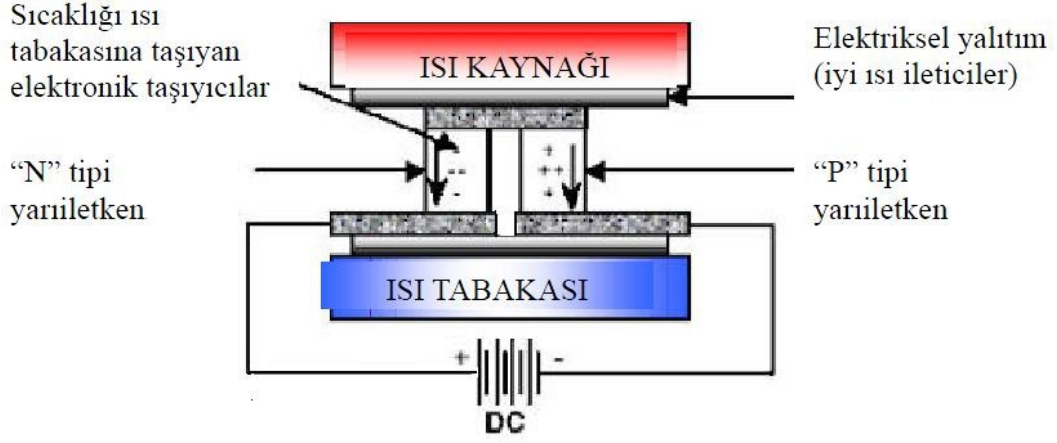
Şekil 3.4. Termoelementin basit gösterimi (Ökten 2007'den değiştirilerek)

Isıl kayıpları en aza indirmek ve elektriksel geçirgenliği yok etmek için, uygulamada bir termoelement tasarlandığı zaman iletkenlerin dış yüzeyi ısı iletkenliği oldukça iyi bir elektriksel yalıtkanla kaplanır ki genellikle seramik tercih edilir (Şekil 3.5.).



Şekil 3.5. Bir termoelementin jeneratör davranışı (Ökten 2007'den değiştirilerek)

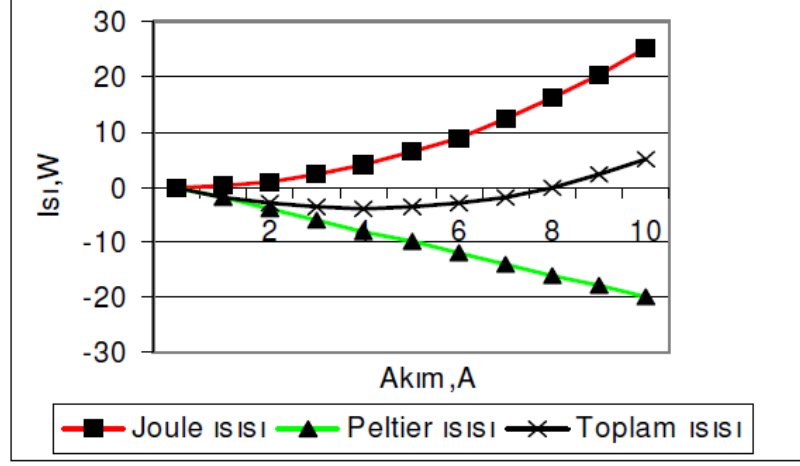
Şekil 3.5.'te gösterildiği gibi termoelementin bir yüzü ısıtılıp diğer yüzü soğutulsun. Bu durumda ısınan üst iletken levhadaki elektronlar, Seebeck etkisinden dolayı yarıiletkenlere doğru hareket ederler. n tipi yarıiletken bünyesinde artık elektron barındırdığı için negatif yüke karşı yüksek enerji seviyesine sahiptir ve bu elektronların geçişine izin vermez. p tipi yarıiletken bünyesinde artık boşluk barındırmaktadır ve negatif yük için düşük enerji seviyesine sahip olduğundan elektronların geçişine izin verir. Alt iletken levhaya ulaşan yüksek enerjili elektronlar bu levha üzerinde negatif yük yoğunluğu oluştururlar. Şekil 3.2.'deki devre kurulduğu takdirde yüksek enerjili elektronlar hareket etmeye devam ederek direnç üzerinden geçip diğer alt iletken levhaya ulaşırlar. Üst iletken levha kaybettiği elektronlarını n tipi yarı iletkenle karşılarken, n tipi yarıiletken de kaybettiği elektronları alt iletken levhaya gelen elektronlardan karşılar.



Şekil 3.6. Bir termoelementin soğutucu/ısıtıcı davranışı

Bir termoelemente Şekil 3.6.'daki gibi bir gerilim uygulandığı zaman termoelement Seebeck, Peltier ve Thomson etkilerine uygun bir şekilde tepki verir (9). Elektrik akımı verildiği andan itibaren güç kaynağının negatif ucundan çıkan elektronlar alttaki iletken levhaya ulaştığı an, negatif yük için düşük enerji seviyesine sahip p tipi yarıiletkenle karşılaşırken sahip oldukları enerji fazlalığını alt iletken levhaya bırakacaklardır. Artık enerji de levhadan ısı enerjisi olarak dışarı atılacaktır. Üst iletken levhaya ulaşan elektronlar iletken levha boyunca ilerledikten sonra n tipi yarı iletkenle karşılaşır. n tipi yarı iletken negatif yükler için yüksek enerji seviyesine sahiptir ve elektron geçişini zorlaştıracaktır. Enerjilerinin çoğunu alt iletken levhaya bırakmış olan düşük enerjili elektronlar n tipi yarı iletkenle geçebilmek için üst iletken levhanın örgüsel enerjisini kullanırlar. Elektronlar n tipi yarıiletkenden alt iletken levhaya geçerken düşük enerji seviyesiyle karşılaşır ve üst iletken levhadan kazandıkları enerjinin çoğunu geçiş sırasında alt iletken levhaya bırakırlar; çünkü gerilim kaynağının oluşturduğu pozitif elektrik yük etkisi alt iletken levhanın negatif yük için enerji seviyesini düşürmüştür. Üst iletken levha enerji kaybı sonrası soğuyacak ve dışarıdan ısı olarak bu kaybı telafi etmeye çalışacaktır. Böylece üst levhanın enerjisi alt levhaya Peltier ısısı olarak taşınacaktır. Akımın yönü ters çevrildiği zaman alt levha soğuyacak üst levha ısınacak, yani yukarıda bahsedilen olayın tersi gerçekleşecektir.

Thomson etkisinde bahsedildiği gibi bir termoelemente gerilim uygulandığında, termoelementi oluşturan iletken ve yarıiletken malzemeler bir sıcaklık gradyanına sahiptir. Termoelementin kısımlarındaki sıcaklık zamana yüzey alanına ve yüke olan

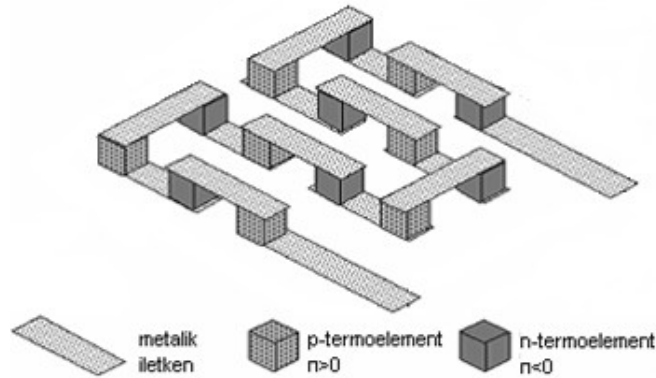


Şekil 3.8. Bir termoelementin Joule, Peltier ve toplam ısısının akıma bağlı değişimi

Bir termoelemente uygulanan akım şiddetinin değeri maksimum akım şiddetinden büyük olursa, ($I > I_{max}$) ısıl denge ortadan kalkar ve termoelementin soğutma etkisi akım arttıkça azalır. Devreden geçen akım artırılmaya devam ederse Q_J Joule ısısı akımın karesiyle arttığı için, akımla doğru orantılı Q_P Peltier ısısından büyük olur ve termoelement soğutma etkisini kaybeder. Böyle bir durumda termoelement bir direnç gibi davranır ve devreden geçen akım şiddetine göre her iki tarafında ısınır.

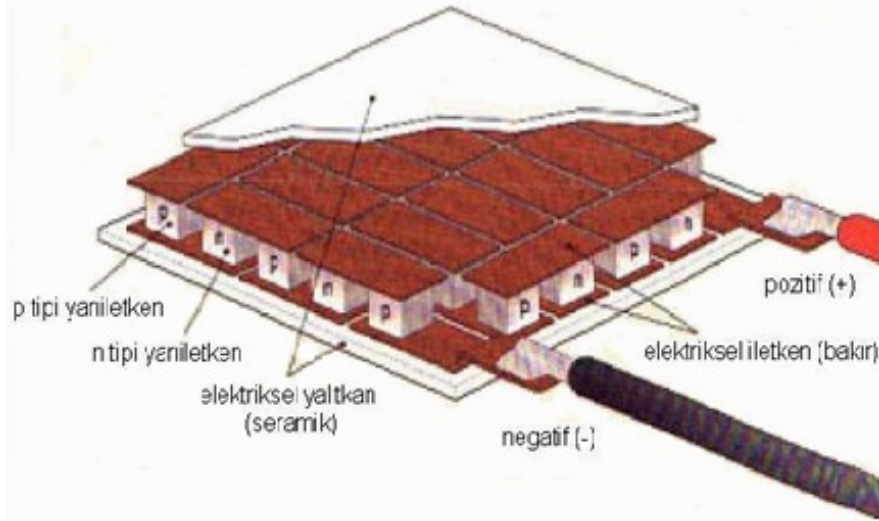
3.3 Termoelektrik modül

Termoelektrik cihazı oluşturan modülün temelinde termoelement yatmaktadır. Bir termoelektrik modül n ve p tipi yarı iletkenlerden oluşan onlarca termoelementin elektriksel olarak seri, ısıl olarak paralel bağlanması ile elde edilir. Şekil 3.9.'da termoelementlerin bağlanış biçimi gösterilmiştir (12,17).



Şekil 3.9. Bir termoelektrik modülde termoelementlerin bağlanış biçimi (Pişkin 2006'dan değiştirilerek)

Termoelementler iki seramik dilimi arasına sıkıştırılarak yerleştirilirler. Bu tabakalar mekanik olarak bütün yapıyı bir arada tutmayı ve farklı elementlerin birbirlerine ve dış yüzeye karşı yalıtılmasını sağlar. Değişik amaçlar için değişik kapasitelerde termoelektrik modüller elde edilir. Bir termoelektrik modülün yüzey alanı $2,5$ ile 50 cm^2 , yüksekliği 2 ile 5 mm arasında değişmektedir. Tipik bir termoelektrik modül Şekil 3.10.'da gösterilmiştir (18,19).



Şekil 3.10. Tipik bir termoelektrik modül

Termoelektrik modüllerin avantajları şu şekilde sıralanabilir:

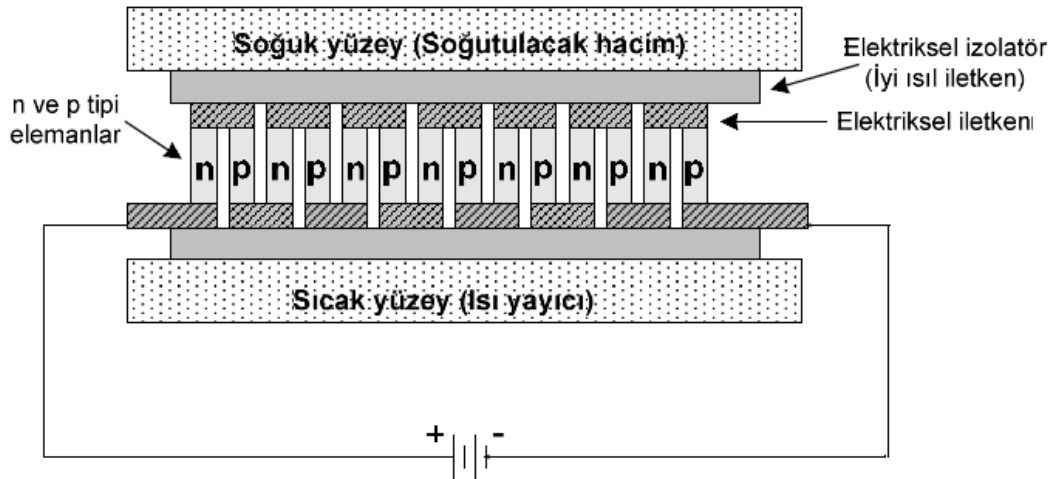
- 1) Küçük boyutlardadır ve hafiftir.
- 2) Yarıiletken tabanlı olmasından dolayı güvenilirdir.
- 3) Hareketli parçası olmadığından sessiz çalışır.
- 4) Ortalama ömürleri **2.000.000** saatten fazladır.
- 5) Sıcaklık denetimleri etkin ve kolay bir şekilde yapılabilir.
- 6) Elektriksel gürültüleri oldukça düşük seviyededir.
- 7) Düşük değerlerde DC gerilim ile çalışırlar.
- 8) Isıtma ve soğutma işlemi sadece akım yönü ters çevrilerek değiştirilebilir. Benzer biçimde soğutulan ve ısıtılan yüzey değiştirilerek akım yönü değiştirilebilir.
- 9) Çevreye zarar verici emisyon ve etkileri yoktur.

Termoelektrik modüller yukarıda bahsedilen avantajları nedeniyle genelde askeri birimlerde, sağlık sektöründe, endüstride, bilimsel alanlarda, elektro-optikte ve iletişimde kullanılır. Otomobillerin motor ısısı, jeotermal enerji, güneş enerjisi gibi düşük sıcaklıklarda kullanılabilmesi ve elektrik enerjisi üretimi esnasında kayıpların olmaması gibi özelliklere de sahiptir.

Termoelektrik modüller DC gerilim uygulamak sureti ile ısıtıcı-soğutucu olarak kullanılabilirler. Ayrıca yüzeylerinin ısınmasını ve soğumasını sağlayarak güç jeneratörü diğer bir ifadeyle termoelektrik jeneratör olarak kullanılabilirler.

3.3.1 Termoelektrik soğutucu-ısıtıcı

Termoelektrik soğutucular-ısıtıcılar, bazen “Peltier soğutucusu” diye de adlandırılabilir. TE modüle Şekil 3.11.’deki gibi bir doğru akım kaynağından sağlanan küçük bir voltaj uygulanırsa, Peltier etkisine göre ısı modülün bir ucundan diğerine doğru hareket eder. Böylece modülün bir yüzü ısınırken, diğer yüzü de eş zamanlı olarak soğumaya başlar. Bu olay, doğru akım kaynağının artı ve eksi kutuplarının yer değiştirmesiyle tersine çevrilebilir. Bir termoelektrik modül kullanım amacına göre ısıtıcı veya soğutucu olarak kullanılabilir (12).



Şekil 3.11. Termoelektrik modülün ısıtıcı-soğutucu olarak kullanım yöntemi

Termoelektrik modül soğutucular-ısıtıcılar, hareketli parçası olmayan küçük birer ısı pompasıdır. Çoğu termoelektrik soğutucu modül, yüzey alanı başına 3-6 W/cm²’lik bir pompalama yapabilir. Görüldüğü gibi termoelektrik soğutucuların ısı

verimlilikleri düşüktür ve oldukça pahalıdırlar. Bu nedenle genelde alan sınırlamasının olduğu, güvenlik ve rahatın ön planda tutulduğu ve zararlı soğutucu gazların kullanılmasının istenmediği ortamlarda kullanılırlar.

Termoelektrik soğutucular en az çevre sıcaklığında soğutma, sıcaklık döngüsü ve sıcaklık kararlılığı gerektiren aletlerde ısı pompaları olarak kullanılırlar. Bununla birlikte küçük boyutları, yüksek güvenilirlikleri, geniş çalışma sıcaklığı sınırları, düşük güç ihtiyacı ve hiçbir soğutucu veya sıvı gazın kullanılmaması gibi geniş uygulama avantajları nedeniyle uygundur. Buna bağlı olarak kızıl ötesi dedektörler, düşük frekans yükseltici ve bilgisayar çipleri gibi ısıya duyarlı elektronik aygıtlara noktasal soğutma sağlarlar. Yoğun soğutucu üniteleri lazer diyotlar optiklerin çalışma sıcaklığının kararlılığı için de kullanılırlar. Ayrıca dijital kameralarda bazı çift yüklü aletli dedektörleri soğutmak amacıyla termoelektrik modüller kullanılırlar. Bunun yanı sıra meteoroloji ve fizik alanında çeşitli ölçümlerde, biyoteknoloji alanında, medikal ve endüstriyel alanda oldukça çeşitli kullanım alanlarına sahiptirler (10,12,17,18).

Termoelektrik soğutucular, yaygın olarak kullanılan buzdolaplarıyla aynı termodinamik yasalara göre çalışırlar. Ama bazı farklılıklara sahiptirler. Buzdolabında kullanılan dondurucu sıvının yerini, bir yarıiletken alır. Yarıiletken dondurucu sıvının yaptığı ortamdan ısı çekme olayını gerçekleştirmektedir. Yoğuşturucu da bir ısı transfer elemanıdır. Yoğuşturucu görevini üstlenen elektronlar ve boşluklardır. Bu yüklü parçacıklar ısının sürekli modülün bir yüzünden diğer yüzüne taşınmasını sağlarlar. Ayrıca kompresörün yerini de doğru akım kaynağı alır. Kompresörün dondurucu gaz döngüsünü sağladığı gibi doğru akım kaynağı da elektron döngüsünü sağlamaktadır (10).

4 GÜNEŞ PİLİ VE TERMOELEKTRİK JENERATÖR

Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme işlemi termal ve optiksel olmak üzere iki farklı yöntem ile gerçekleştirilebilir.

Termal yöntem Güneş ışınlarının belirli bir bölgeye yoğunlaştırılması ve bu yoğun radyasyon sebebi ile ortaya çıkan ısı enerjisinin termoelektrik modüller aracılığı ile elektrik enerjisine dönüştürülmesi biçimindedir.

Optiksel yöntem ise belirli bir yüzey alanına düşen Güneş akısının o alanı kaplayan güneş pili yardımı ile elektrik enerjisine dönüştürülmesi ile gerçekleştirilir. Güneş pili verimi, birim alana düşen Güneş akısının hangi oranda elektrik enerjisine dönüştürüleceğini belirler.

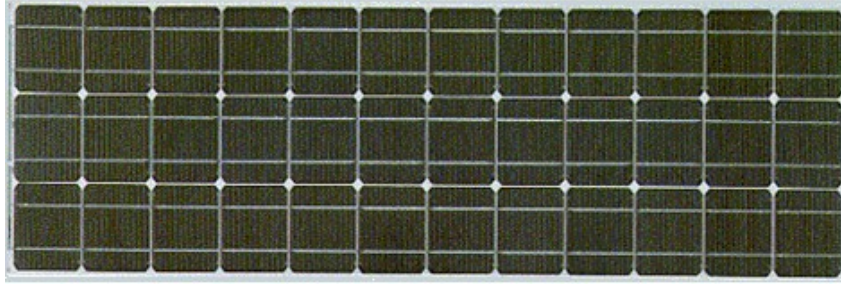
4.1 Güneş pilinin tarihi ve tanımı

Geçmişten bugüne araştırılan ve günümüzde de hala verim arttırırımı konusunda çalışmalar yapılan güneş pili için dönüm noktası 1954 yılında silikon kristali ile elde edilen %6 verime sahip fotovoltaiik diyotların bulunması olmuştur. Bu buluştan hemen sonra 1960 yılında uzay araçlarının enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla güneş pili düzenekleri tasarlanmaya başlanmıştır. 1970 yılındaki “Birinci petrol bunalımı” sonrasında sanayide kullanmaya ve günlük enerji ihtiyacını karşılamaya yönelik ilk çalışmalar yapılmıştır (20).

Fotovoltaiik pil olarak da bilinen güneş pilleri güneş enerjisini elektron hareketi ile doğrudan elektrik enerjisine dönüştürürler. Güneş pillerinin yüzeyleri kare, dikdörtgen veya daire biçiminde, farklı alanlarda olup, kalınlıkları **0,2-0,4 mm** arasında değişmektedir. Hali hazırda güneş pillerinin ticari amaçlı büyük yüzey alanına sahip üretimlerde verimi **%5-20** arasında değişmektedir. Hareketli aksamları olmadığından teorikte ömürleri sonsuz olarak kabul edilen güneş pilleri, gürültüsüz çalışma özelliğine sahiptir (10).

Farklı değerlerde güç üretimi için, birden fazla güneş pili birbirine seri ya da paralel bağlanarak istenilen güç değeri elde edilebilir. Güneş pillerinin birbirine seri ve/veya paralel bağlanmasıyla elde edilen yapıya güneş pili modülü denir. Güneş pili modülü

yardımı ile Watt seviyesinden Mega Watt seviyesine kadar güç üretilebilir. Şekil 4.1.'de örnek bir güneş pili modülü gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Örnek bir güneş pili modülü (Çakır 2006'dan değiştirilerek)

Güneş pilleri genellikle şebekeye uzak yerlerde ve kırsal kesimlerde, enerji taşıma maliyetlerinin fazla olduğu yerlerde, sinyalizasyon v.b. özel amaçlı uygulamalar için kullanılmaktadır.

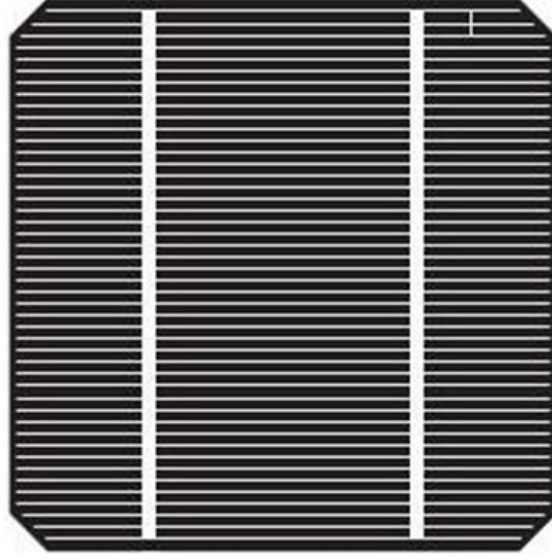
4.2 Güneş pili üretim malzemeleri

4.2.1 Tek kristal silisyum

Fotovoltaik pil üretiminde oldukça fazla tercih edilen bir güneş pili malzemesidir. Üretim biçimi, katkılama derecesi yüksek çoklu kristal yapıdaki eriyik silisyumdan çekilen küçük kristal çekirdeği üzerine, kristal büyütülmesi şeklindedir. Czochralski yöntemi olarak bilinen bu üretim şekli oldukça pahalıdır. Büyütme işlemi **0,5 mm**'ye kadar devam eder. Daha sonra üretilen malzeme üzerine **1 nm** kalınlığında n tipi ise p tipi eklem diyotu, p tipi ise n tipi eklem diyotu kaplanır. Bu yapının arka yüzeyine bir metal kontak ön yüzeyine de uygun bir metal örgü yerleştirilir. Güneş pili düzeneklerinde yansımanın en aza indirgenmesi gerekir. Yansımayı **%5**'in altında tutmak için ön yüzey yansıtma madde ile kaplanır. Böyle bir örgü yapı Şekil 4.2.'de gösterilmiştir (21).

Şimdiye kadar üretilen tek kristal güneş pilinde en yüksek verim New South Wales Üniversitesi'nde Martin A. Green tarafından, lazerle işlenmiş gömülü ızgara teknolojisi ile üretilen güneş pilinden elde edilmiştir. Gömülü kontak elektriksel direnci ve gölgeleme kayıplarını azaltmıştır. Bunun yanında güneş pilleri piramit yapıda, V şeklinde üretilerek daha fazla ışığın yakalanması sağlanmıştır. Bu üretim

ile 4 cm^2 alana sahip güneş pilinde $\%24,7$ ve 778 cm^2 alana sahip güneş pili modülünde $\%22,7$ oranında verime ulaşılmıştır (10,21).



Şekil 4.2. Tek kristal silisyum toplayıcı örgü kanalları

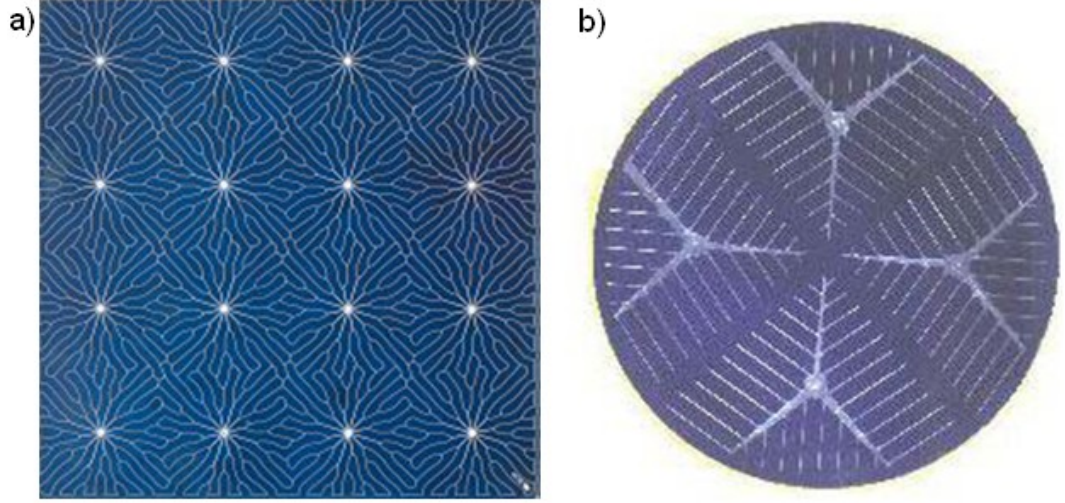
Tek kristal silisyum üretiminde safsızlık derecesinin artması maliyeti de arttırmaktadır. Bu nedenle solar grade adında daha düşük verime sahip daha az saflıkta fotovoltaik hücreler üretilmektedir. Tek kristal güneş pillerinin yaklaşık $\%15$ civarında verime sahip ticari amaçlı üretimleri mevcuttur.

4.2.2 Çok kristal silisyum

Çok kristalli yapıda oluşturulan damarlar elektriksel ve optiksel olarak özdeş olsa da, damarların birbirine göre yönlenmeleri, damarlar arasında süreksizlik oluşturduğu için elektriksel yük taşıyıcılarının aktarımı zorlaşmaktadır. Damar büyüklüğü kristal safsızlığı ile doğru orantılıdır. Bunun yanında tek kristalli yapıya göre küçülen damar büyüklüğü elektriksel özelliklerin bozulmasına, bu durum da verimin düşmesine neden olacaktır.

Çok kristal silisyum oldukça kolay ve ucuz bir yöntem olan “dökme” yöntemi ile üretilir. İstenilen safsızlık derecesindeki silisyum eritilip kalıplara dökülerek soğumaya bırakılır. Büyük silisyum kalıplarda donan yapı istenilen geometrik şekilde kesilerek küçük alanlı fotovoltaik piller elde edilir (21).

Çok kristal güneş pillerinin ön yüzeyleri, daha az gölgelenme sağlamak amacıyla farklı biçimlerde tasarlanabilir. Şekil 4.3.'te bazı tasarımlar gösterilmektedir. Bununla beraber tek kristal yapıda olduğu gibi ızgara biçimli tasarım yapmak da mümkündür (21).



Şekil 4.3. Çok kristalli yapının iki örnek yansıma düşürücü tasarımı

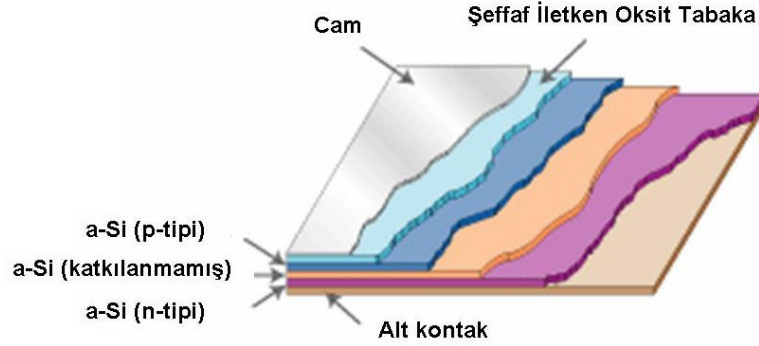
Bu yöntem ile üretilen güneş pillerinde verim düşük olmasına rağmen üretim maliyetinin önemli olduğu durumlarda tercih edilir. Çok kristal yapılu güneş pilleri ticari amaçlı olarak %14 verimle üretilmektedir (10,21).

4.2.3 Amorf silisyum

Amorf yapılu güneş pilleri tek kristal silisyumdan farklı olarak damarlı yapıda değildir. Bu tür güneş pilleri bir yüzeye rastgele kaplanmış silisyum kristallerinden oluşmaktadır. Rastgele diziliş elektriksel özellikleri elbette zayıflatmaktadır. Ancak yarıiletken içerisine tercihe göre %10 değerine kadar katılacak hidrojen atomu ile yarıiletkenin elektriksel özellikleri iyileştirilerek fotovoltaik üretime uygun seviyeye kadar yükseltilebilir.

Tek kristal ve çok kristal silisyum güneş pilleri isteğe bağlı olarak p tipi veya n tipinde üretilirken, amorf silisyum güneş pilleri 0,5 μm kalınlığında katılanmış bir orta tabaka ve bu tabakanın üstünde 0,03 μm kalınlığında p tipi, altında n tipi katılanmış silisyum tabakalarından oluşan p-i-n şeklinde üç katmanlı bir yapıya sahiptir.

Yasak enerji aralığı tek kristal yapılı güneş pillerine oranla daha geniş olan amorf silisyum güneş pilinin elektriksel özellikleri tek kristal ve çok kristal silisyum güneş pilleri ile benzerdir. Amorf silisyum güneş pilinin yapısı basit olarak Şekil 4.4.'te gösterilmiştir (21).



Şekil 4.4. Amorf silisyum fotovoltaik pilinin yapısı

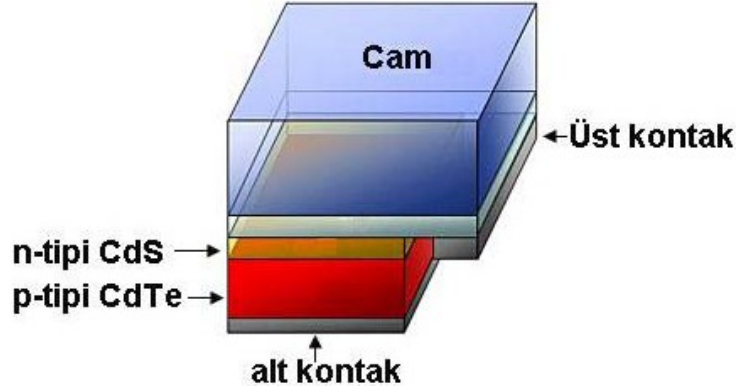
Çelik, cam ve plastik gibi sert zeminler üzerine döküm yapılarak üretilen amorf silisyum güneş pilleri, tek kristal silisyum güneş pillerinin $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye yakın bir sıcaklık değerinde üretilmelerinin aksine, $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ gibi daha düşük bir sıcaklıkta üretilmektedirler. Tek ve çok kristal yapılı güneş pillerinin $300\text{ }\mu\text{m}$ kalınlığında üretilmeleri gerekirken amorf silisyum güneş pilleri soğurma katsayıları daha yüksek olduğu için $0,55\text{ }\mu\text{m}$ gibi oldukça ince tabakalar halinde üretilirler. Düşük sıcaklıkta ve ince tabakalı üretilmeleri amorf silisyum güneş pillerinin üretim maliyetlerini oldukça düşürmektedir (21).

Verimleri $\%5$ ile $\%7$ arasında değişen amorf silisyum güneş pilleri hesap makinesi gibi güç ihtiyacı düşük olan küçük elektronik cihazlarda kullanılır. Ayrıca özellikle iklim sebebiyle aşırı sıcak ülkelerde yarı saydam cam kaplama biçiminde bina dış sıcaklık yalıtımı ve enerji üreticisi olarak kullanımı üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu güneş pillerinin bir dezavantajı kullanımdan birkaç saat sonra verimlerinin düşmesidir (10,21).

4.2.4 Kadmiyum tellür

CdTe Güneş pilleri üretim maliyeti oldukça düşük olan elektrokaplama yöntemi ile üretilmektedirler. Kadmiyum tellür güneş pilleri üzerine düşen Güneş ışığı

fotonlarının %90'ını $1 \mu\text{m}$ kalınlığında soğurduğu için ince bir film tabakası şeklinde üretilir. $3\text{-}5 \mu\text{m}$ kalınlığındaki $1,44 \text{ eV}$ bant aralığına sahip p tipi CdTe üzerine, $0,05\text{-}0,15 \text{ eV}$ kalınlığındaki $2,42 \text{ eV}$ band aralıklı n tipi CdS kaplanarak, hetero eklem yapıları bir film elde edilir. Kadmiyum tellür güneş pilli Şekil 4.5.'te gösterilmiştir (10,21).



Şekil 4.5. Örnek bir kadmiyum tellür güneş pili

Laboratuvar koşullarında 1 cm^2 yüzey alanına sahip kadmiyum tellür güneş pilinden yaklaşık %17 verim elde edilirken, ticari amaçlı üretimlerde %8-10 civarında verim elde edilmiştir (10).

4.2.5 Galyum arsenit

Safılık derecesi yüksek GaAs güneş pillerinden laboratuvar şartlarında, %25-28 daha sonraki yapılan çalışmalarda diğer yarı iletkenlerle katkılanarak oluşturulan çok eklemlili galyum arsenit güneş pillerinde 4 cm^2 yüzey alanında yaklaşık %30-32 değerinde verim elde edilmiştir. Veriminin yüksek olmasına rağmen kullanılan elementlerin Dünyamızdaki rezerv yetersizliği ve az bulunur olması hammadde fiyatının, dolayısıyla maliyetin yüksek olmasına neden olduğu için, uzay araçlarının güç üretimi gibi mecburi alanlar haricinde galyum arsenit güneş pilleri pek tercih edilmez (10,21).

4.2.6 Bakır indiyum diselenid

CuInSe_2 güneş pilleri, periyodik cetvelin birinci, üçüncü ve altıncı gurubundaki soğurma kat sayıları oldukça yüksek olan elementlerin, yasak enerji aralıklarının

güneş spektrumu ile uyuşacak biçimde ayarlanması ile, üç veya daha fazlası bir araya getirilerek üretilir. Bakır indiyum diselenid güneş pilleri içerisine galyum katkılanarak elde edilen *CIGS* isimli pillerin verimleri laboratuvar şartlarında 1 cm^2 yüzey alanında %18 civarına ulaşmıştır. Ticari amaçlı üretimlerde ise verim yaklaşık %10'dur (10,21).

4.3 Güneş pilinin yapısı ve çalışma prensibi

Güneş pillerinin temelini yarıiletkenler oluşturmaktadır. Yarıiletken atomlarının son yörüngesinde 4 elektron vardır. Bunun yanı sıra periyodik cetvelin 3 ve 5. Gurup elementlerin bileşikleri ve metal oksit bileşikleri gibi laboratuvar ortamında üretilen yarıiletkenler de mevcuttur. 3.-5. Gurup element bileşiklerine örnek olarak *GaAs*, metal oksit bileşiklerine örnek olarak *CuO* gösterilebilir.

Yarıiletkenler içerisinde güneş pili üretiminde en çok kullanılan element silikondur. Silikon (silisyum) atomu bünyesinde 14 adet elektron barındırmaktadır. Buna bağlı olarak silisyumun elektronik konfigürasyonu 2-8-4 şeklindedir.

Yarıiletken atomları da, diğer atomlarda olduğu gibi son yörüngelerindeki elektron sayısını 8'e tamamlama eğilimindedir. Saf haldeki yarıiletken atomlarının ikili gruplarının son yörüngelerindeki 4'er elektronları kovalent bağ yaparak, her iki atomun yörüngesinde ortak dolaşırlar. Bu ortaklaşa kullanım sayesinde iki atomun da son yörüngesindeki elektron sayısı 8'e çıkmış olur.

Saf yarıiletkenlere enerji verildiği zaman ortaklaşa hareket eden son yörünge elektronlarından bir çiftinin bağı koparak bir elektron enerji artışı ile atomun yörüngesini terk etmek ister. Buna bağlı olarak ortaya çıkan elektron boşluğuna yan atomun elektronu yerleşir. Bu şekilde elektron taşınması ile elektrik akımı oluşur. Ancak saf yarıiletkenlerden elektron koparmak zor ve sonuçta elde edilen elektriksel güç oldukça düşüktür.

Yarıiletkenin daha düşük enerji ile uyarılmasını sağlamak ve daha yüksek güçte elektrik elde etmek için yarıiletken içerisine belirli oranda başka atom ilave edilir. İlave edilen bu atoma "katkı atomu", bu işleme de "katkılama" denir (20,21). Saf yarıiletken atomlarının her bir milyon tanesine son yörüngesinde 5 elektron

barındıran bir adet 5A gurubu atomu katkılındığı zaman, 4 adet değerlik elektronu bulunan yarı iletken ile 5A gurubu elementinin son yörüngesindeki elektronlar arasında yapılan bağ sonucu, 5A gurubu elementinin bir elektronu açıkta kalacaktır. Böylece malzeme genelinde negatif yük fazlalığı olacaktır. Bu tür bağlara “negatif bağ” ve katkılama sonrası negatif yük fazlalığı olan yarıiletkeni “n tipi yarıiletken” denir. n tipi yarıiletkenler elektron verme eğilimindedir.

Yarıiletken atomlarına milyonda bir oranında son yörüngesinde 3 elektron bulunan 3A gurubu atomu katkılındığında, 3A gurubu elementi ile yarıiletken arasında yapılan bağ sonucu malzeme genelinde pozitif yük fazlalığı oluşur. Bu yapıdaki yarıiletkenlere “p tipi yarıiletkenler” denir. Pozitif yük fazlalığı olan yarıiletkenler elektron alma eğilimindedir. Bununla beraber teorikte yarıiletkenler için pozitif yük fazlalığına “boşluk” denir ve boşlukların elektronlar gibi hareket etme yeteneğinde olduğu kabul edilir.

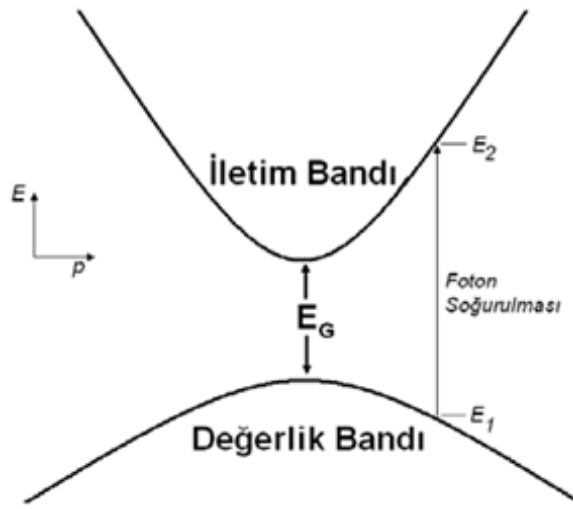
Bir yarıiletkenin son yörüngesindeki elektronların bulunduğu enerji bandına değerlik bandı denir. Enerji verilmesi neticesinde enerji alan yüksek enerjili elektronların yasak enerji aralığından sonra yer alabileceği ilk enerji seviyesi ve sonrasındaki enerji bandına iletkenlik bandı adı verilir. Yarıiletkenler için yasak enerji aralığı yaklaşık $0-3,5 \text{ eV}$ arasındadır (10,20,21).

Güneş pili hücreleri yarıiletken malzemelerden imal edilmiş p-n ekleminden oluşmaktadır. Güneş pilinin çalışma prensibi ışık enerjisini taşıyan fotonların p-n eklemi tarafından soğurulup elektrik enerjisine dönüştürülmesi şeklindedir. Enerji soğurulması neticesinde katkılı yarıiletkenin değerlik elektronlarının bağı zayıflayarak kopar. Serbest halde hareket eden bu elektronlar sayesinde elektrik akımı oluşur ve oluşan akım güneş pili üzerine monte edilmiş metal kollektörler ile toplanır.

Şekil 4.6.’da gösterildiği gibi bir elektronun foton soğurarak uyarılması sonrasında doğrudan değerlik bandından iletkenlik bandına geçmesine “temel soğurma (fundamental absorption)” denir (21). Foton momentumu kristal yapının momentumundan oldukça küçüktür. Zira soğurma sırasında momentum ve enerji korunur.

Değerlik bandındaki E_1 enerjili elektronların foton soğurarak doğrudan E_2 enerji seviyesi olan iletkenlik bandına çıkmasına “doğrudan geçiş (direct transition)”, bu tip yarıiletkenlere ise “doğrudan geçişli yarıiletkenler” denir.

E_1 enerji seviyesindeki elektron yoğunluğu ile E_2 enerji seviyesindeki uygun durumların yoğunluğu uyarılma geçiş dengesini koruyacak biçimde orantılıdır. Foton soğurulması sırasında momentumun korunmasından dolayı, doğrudan geçişli yarıiletkenlerde elektron geçişi için (E_G) band aralığına eşit ya da $E_2 - E_1$ enerji seviyeleri arasındaki fark kadar enerji vermek yeterlidir (21).



Şekil 4.6. Doğrudan geçişli yarıiletkende foton soğurulması

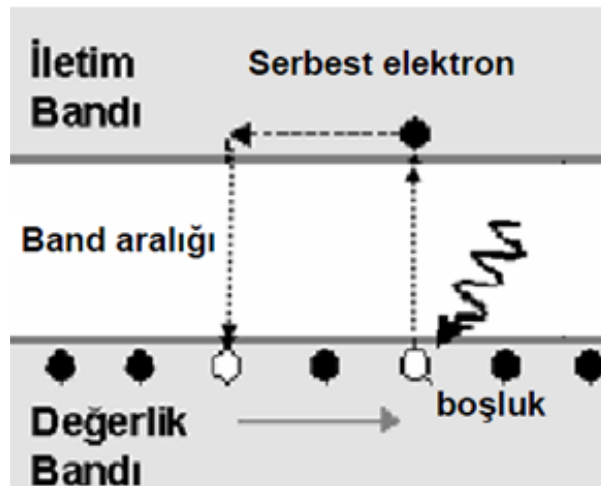
Bazı yarıiletken kristallerinde değerlik bandının en yüksek enerji seviyesi ile iletkenlik bandının en düşük enerji seviyesi farklı momentum değerlerindedir. Farklı momentum değerleri farklı titreşimler ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle yüksek momentum değerine ihtiyaç vardır. Buna bağlı olarak başarılı bir soğurma işlemi için kristal yüzeyine çarpan fotonun enerjisi düşük, momentumu yüksek olmalıdır. Yüksek momentumlu bir fotonun bu tip bir kristale çarpması sonucu kristali oluşturan atomların kafes yapısının ortak titreşiminden farklı bir titreşim ortaya çıkar. Bu titreşime “fonon”, titreşimin fotonu soğuran atom tarafından emilmesine “fonon soğurulması”, yeni titreşim hareketinin kafesteki diğer atomlara iletilmesine “fonon yayılması” ve bu yapıya sahip yarıiletkenlere “dolaylı geçişli yarıiletkenler” denir. Dolaylı geçişli yarıiletkenlerde foton soğurulmasını fonon soğurulması ve fonon yayılması izler. Bu olay Şekil 4.7.’de gösterilmiştir (21).



Şekil 4.7. Dolaylı geçişli yarıiletkende foton soğurulması

Dolaylı geçişli yarıiletkenlerde foton soğurma işleminde fotonların, E_G band aralığına eşit ya da $(E_2 - E_1)$ enerji seviyeleri arasındaki fark kadar enerjiye sahip olmasının yanında, kafes titreşimine uygun fonon soğurulması ve yayılmasını sağlayacak momentuma da sahip olması gerekir. Buna bağlı olarak dolaylı geçişli yarıiletkenlerde soğurma kat sayısı düşüktür (21).

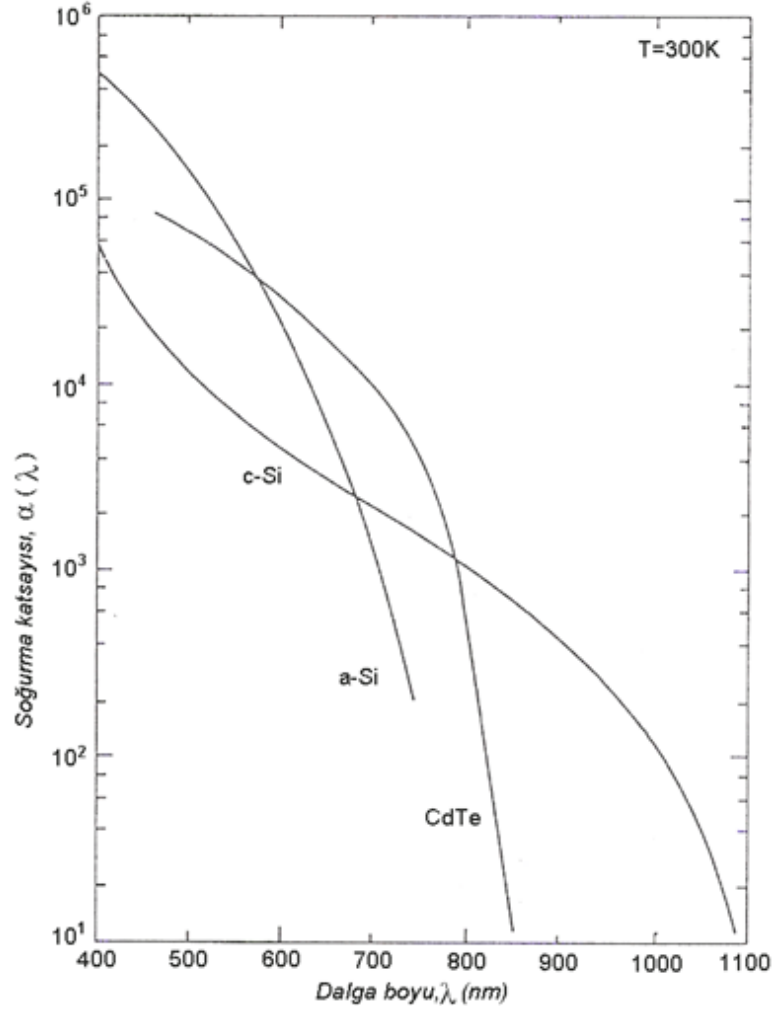
Enerji paketçikleri olarak tanımlanan fotonlar yasak enerji aralığına eşit yada ondan büyük bir enerji ile yarıiletken atomuna çarptığında, yarıiletkenin elektronları değerlik bandından iletkenlik bandına çıkarak arkasında bir pozitif yük yani boşluk bırakır. Bu şekilde elektron boşluk çifti oluşur ve fotovoltajik etki ile elektrik akımı meydana gelmiş olur. Şekil 4.8. bu durumun basit bir gösterimidir (21).



Şekil 4.8. Foton soğurulması sonucu oluşan elektron-boşluk çiftinin basit gösterimi

Foton soğurulması sonucu değerlik bandından iletkenlik bandına sıçrayan elektron bir süre burada kalır ve sonra değerlik bandına geri döner. Bu süreye “ömür süresi” adı verilir. p-n eklemi ile imal edilmiş bir güneş pilinde iletkenlik bandına çıkan n eklemindeki elektron, p eklemindeki pozitif elektrik alan neticesinde daha uzun bir ömür süresine sahip olarak metal kollektörler ile n ekleminden dolayısıyla ayrıldığı atomdan uzaklaşır. p-n ekleminde oluşan eklem bölgesi iç elektrik alanları sayesinde elektrik akımı oluşturulur.

Amorf silisyum ve kadmiyum tellür yapıları güneş pilleri doğrudan geçişli, tek ve çok kristal silisyum yapıları güneş pilleri dolaylı geçişlidir (20). Güneş pillerinin $300^{\circ}K$ 'deki soğurma katsayılarının yayınlanan fotonların dalga boyuna bağlı değişimi Şekil 4.9.'da gösterilmiştir (21). Grafikten de anlaşılacağı gibi doğrudan geçişli yarıiletkenler görünür bölgede daha yüksek soğurma katsayısına sahiptir. Bu, Güneş ışığının amorf silisyum ve kadmiyum tellür güneş pilleri tarafından daha iyi soğurulması demektir. Çoklu kristal silisyum güneş pilleri gibi dolaylı geçişli yapıdaki güneş pillerinin Güneş ışığı fotonlarını daha iyi soğurabilmesi için, $300-500 \mu m$ gibi çok kalın yapıda imal edilmeleri gerekir. Bu yöntemle düzenli yapıdaki silisyum kristal dizilişi düzensizleştirilerek dolaylı geçişli yapı doğrudan geçişli hale getirilir. Bunun yanında doğrudan geçişli güneş pillerini $3-5 \mu m$ gibi ince film yapıda imal etmek yeterlidir.



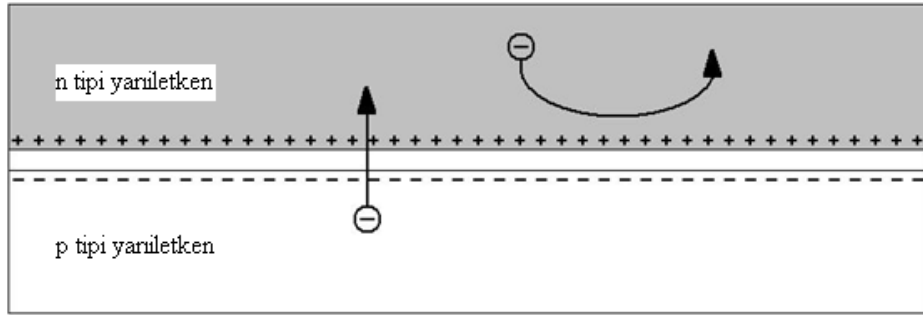
Şekil 4.9. Soğurulan fotonların dalga boyuna bağlı soğurma katsayısının grafiği

n tipi bir yarı iletken ile p tipi bir yarı iletken fiziksel olarak birleştirildikleri zaman boşaltılmış bölgeye sahip p-n eklemi oluşur. Oluşan bu eklemeye foton çarptığı zaman n tipi yarıiletkendeki elektronların değerlik bandından iletkenlik bandına çıkması sonucu açığa çıkan azınlık taşıyıcıları yani boşluklar, boşaltılmış bölgeye yaklaştıkları anda p tipi yarı iletkene geçerler. Bununla beraber p tipi yarı iletken boşlukların iletkenlik bandından değerlik bandına çıkmaları ile açığa çıkan azınlık taşıyıcıları yani elektronlar, boşaltılmış bölgeye yaklaştıkları anda n tipi yarı iletkene geçerler. Buna bağlı olarak oluşturulan elektron-boşluk çiftleri Şekil 4.10.'da gösterildiği gibi (21), metal kollektörler ile toplanıp bir yüke bağlandığı zaman elektrik akımı oluşur. Böylece ışık enerjisi elektrik enerjisine çevrilmiş olur. Bazı elektronlar ve boşluklar boşaltılmış bölgeden karşıya geçecek enerjiyi bulamayarak ömür süreleri sona erince yerlerine dönerler. Buna “rekombinasyon” denir (21).



Şekil 4.10. Güneş pilinin çalışma prensibinin gösterimi

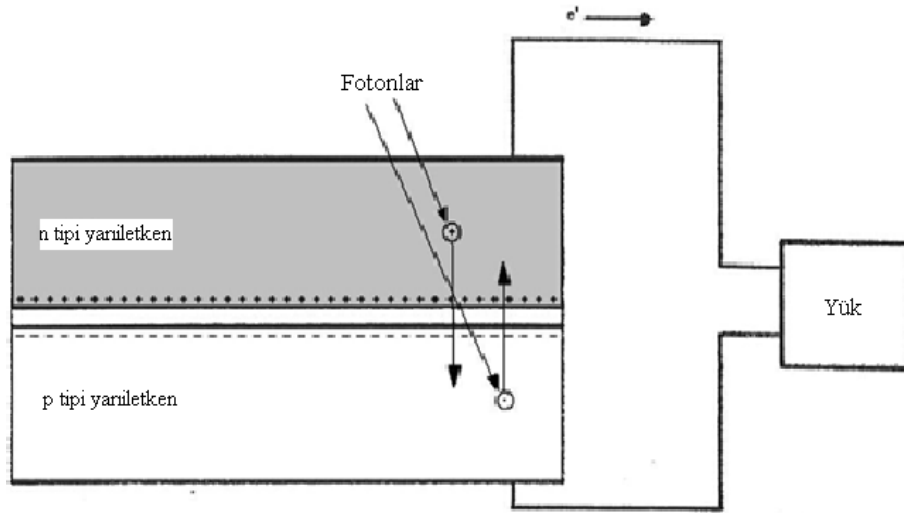
Güneş pilini oluşturulan p-n eklemesindeki milyonlarca atoma ait azınlık taşıyıcılarının yer değiştirme isteği, boşaltılmış bölge yakınında p eklemi için negatif n eklemi için pozitif azınlık taşıyıcılarının yığılmasına neden olacak, sonuçta eklem bölgesinin p eklemi tarafında negatif n eklemi tarafında pozitif yük yoğunluğu, buna bağlı olarak da p eklemi sınırında negatif n eklemi sınırında pozitif elektrik alan oluşturacaktır. Belirli bir zaman sonra bu elektrik alan nedeniyle serbest kalan yükler olacaktır. Serbest kalan yüklerin hareketi ve sınır bölgesi yük yoğunlukları Şekil 4.11.'de gösterilmiştir (20).



Şekil 4.11. p-n eklemesindeki boşaltılmış bölge sınırı yük dağılımı

Şekil 4.11.'deki p-n eklemine foton çarptığı zaman eklem tarafından soğurur. Soğurma boşaltılmış bölge yakınında gerçekleşir ise p eklemesindeki yüksek enerjili azınlık taşıyıcıları yani elektronlar bariyeri aşarak boşaltılmış bölgeden karşıya n tipi eklemeye, n eklemesindeki azınlık taşıyıcıları yani boşluklar bariyeri aşarak boşaltılmış bölgeden karşıya p tipi eklemeye geçecektir. Eğer p-n eklemi bu durumda bir iletken ile yüke bağlanır ise yük akışı sağlanacak, dolayısıyla Şekil 4.12.'deki gibi elektrik

akımı oluşacaktır (21). Elektriksel bir çevrim oluşturulmaz ise yüksek enerjili azınlık taşıyıcıları ömür süreleri bitince yerlerine geri döneceklerdir.

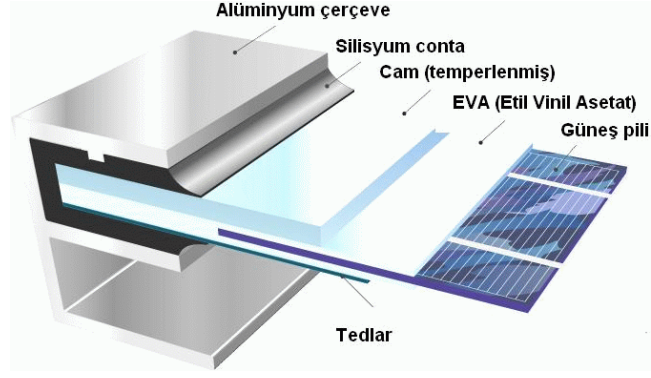


Şekil 4.12. Güneş pilindeki elektriksel yük akış yönü ve elektrik enerjisinin üretilmesi

Foton soğurucu üst eklemi n tipi silisyum ve alt eklemi p tipi silisyum olan, aynı yarıiletkenlerin farklı katkılanmaları ile üretilen p-n ekleminden oluşan güneş pillerine homo eklemli güneş pilleri, soğurucu n tipi üst ekleminde kadmiyum sülfür, p tipi alt ekleminde kadmiyum tellür gibi farklı yarı iletkenlerden imal edilmiş güneş pillerine ise hetero eklemli güneş pilleri denir. Daha fazla foton soğurmak için farklı band aralıklarındaki ayrı birer güneş pili gibi davranan eklemeler, geniş band aralıklıdan dar band aralıklıya doğru dizilerek üst üste yerleştirilebilir. Bu tür güneş pillerine çok eklemli güneş pilleri denir.

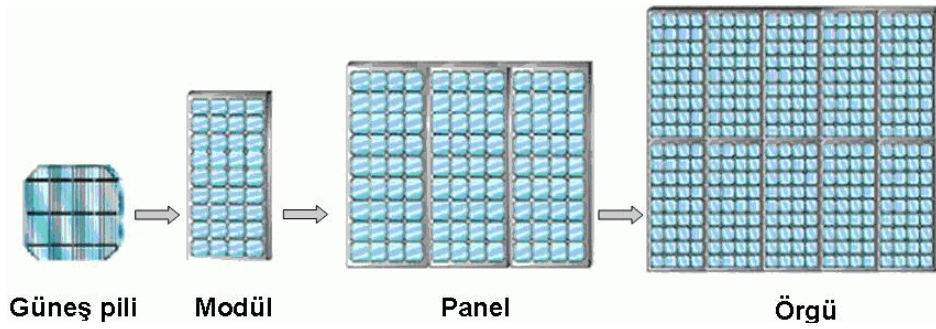
4.4 Yüksek güçlü güneş pili üretimi

Tek bir güneş pilinin ürettiği akım ve gerilim oldukça düşük değerlerdedir. Güneş pilleri daha yüksek gerilim elde etmek için seri, daha yüksek akım elde etmek için paralel bağlanır. Seri ve paralel bağlanan güneş pilleri fiber bir malzeme üzerine oturtulur. Güneş pillerinin üst kısmına ve fiber malzemenin alt kısmına EVA (Etil vinil asetat) malzemesi kaplanır. Üst kısımdaki EVA malzemesinin üstüne optiksel geçirgenliği yüksek bir cam, alt kısımdaki EVA malzemesinin altına tedlar kaplanır. Bu yapı Şekil 4.13.'te gösterilmiştir (21).



Şekil 4.13. Seri ve paralel bağlı güneş pili üretimi

Birbirine seri ve/veya paralel bağlanarak paketlenen güneş pillerinden oluşan yapıya “modül” denir. Modüller 12-24 V’luk bataryaları şarj edebilir şekilde imal edilirler. Modüllerden elde edilebilen elektriksel güç ise ışık şiddeti ve modülü oluşturan güneş pillerinin alanına bağlıdır. Başka bir ifadeyle modüllerin üretebileceği güç birim alana düşen ışığa gücüne yani ışık akısına ($\phi = W/m^2$) bağlıdır. Şekil 4.14.’teki gibi modüllerin birbirine bağlanması ile “panel”, panellerin birbirine bağlanması ile “örgü” elde edilir (21). Panel ve örgüden elde edilen elektrik enerjisi invertör yardımı ile şebeke elektriğine dönüştürülebilir.



Şekil 4.14. Güneş pili hiyerarşisi

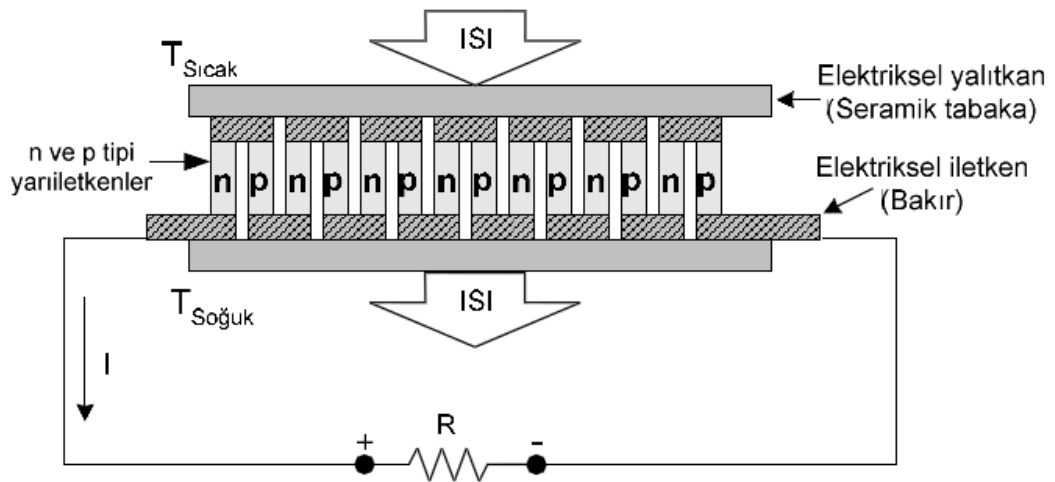
4.5 Güneş pili kayıpları

Her enerji dönüşümünde olduğu gibi foton enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümünde de istenmeyen kayıplar mevcuttur. Verimin artırılması için bu kayıpların en aza indirgenmesi gerekmektedir. Kayıpları minimuma çekmek hatta ortadan kaldırmak için Ar-Ge çalışmaları yapılmaktadır. Güneş pili kayıpları şunlardır:

- 1) Işıksal kayıplar
- 2) Elektriksel kayıplar
- 3) Akım kayıpları
- 4) Açık devre gerilimi kayıpları
- 5) Direnç kayıpları
- 6) Kullanım sırasında zamanla ortaya çıkan kayıplar

4.6 Termoelektrik jeneratör

Termojeneratörlerin çalışma prensibi ısı makinelerinin çalışma prensibine benzemektedir. Ancak burada sıvı ve gaz akışkanların yerini elektronlar almaktadır (9). Termoelektrik jeneratörler (TEJ) termoelektrik malzemenin p tipi ve n tipi parçalarından oluşurlar. Bu parçalar sıcaklık farkı ile elektriksel akım oluştururlar. Prensibin temeli ise Seebeck etkisine dayanır. Bir termoelektrik modüle sıcaklık farkı uygulandığında potansiyel fark oluşur. Küçük taneciklerin kinetik enerjileri sıcaklıkla arttıkça modülün soğuk kısmında bulunan elektronlar sıcak kısımdaki elektronlardan daha az ısı enerjisine sahip olacaklardır (17,19,22). Bu olay hareketli elektronların soğuk kısma akmasına neden olacaktır. Soğuk iletken plakadaki bu net elektron kütlesi soğuk kısmı negatif yükleyerek iletken boyunca potansiyel fark oluşturur. Devre Şekil 4.15.'teki gibi bir yük ile tamamlanırsa soğuk uçtaki elektronlar yük üzerinden modüle geri gelerek devreyi tamamlayacaktır (12). Böyle bir durumda termoelektrik modül güç jeneratörü olarak çalışır.



Şekil 4.15. Termoelektrik modülün jeneratör olarak kullanım yöntemi

Termoelektrik jeneratörlerin üretiminde kullanılan metal plakaların elektriksel iletkenliği yüksek olmasına rağmen, bazı bölgelerde büyük ısı kayıpları görülmektedir. Bu tip kayıplar göz önünde tutularak termoelektrik jeneratörlerde, ısı iletkenlik ve plakaların elektrik direnci arasındaki orantının belirlenmesi gerekir (19,22).

Mevcut olan güneş pillerinden farklı olarak termoelektrik jeneratörler yüksek derecede akım ve orta derecede gerilim üretebilmektedir. Termojeneratörlerin normal jeneratörlere göre verimleri oldukça düşüktür. Bunların verimliliklerinin artırılması daha iyi yarıiletken malzemelerin üretilmesine bağlıdır.

Düşük ısı verimlerine rağmen termojeneratörler hafif ve güvenilir olmalarından dolayı, kırsal alanlarda ve uzay uygulamalarında kullanılmaktadır. Güneş sistemimizdeki uzak gezegenlere ve güneş sisteminden uzağa uydu gönderirken foto-voltaj hücrelerinin kullanımı imkansızdır. Aşırı uzaklıkta gerekli gücü oluşturmak için yeterli Güneş ya da başka bir yıldız enerjisi yoktur. Bu nedenle NASA uzak gezegenlere insansız uzay roketi gönderirken termioyonik jeneratörler kullanılmaktadır. Bilimsel araştırmalar için uzaya gönderilen Voyager araçlarının silikon germanyum malzemelerine dayanan termoelektrik güç üreticileri 1980 yılından beri bu araçlara güç sağlamaktadır ve daha uzun yıllar bu alanda yeni çalışmaların yapılması beklenmektedir (9).

Termoelektrik jeneratörler atık ısı kaynaklarından akım üretmek için kullanılırlar. Örneğin Seiko tarafından üretilen yeni model bir saat vücut ısısını kullanarak kendi enerjisini sağlayabilmekte ve pil ihtiyacı duymamaktadır. Termoelektrik jeneratörlerin oluşturulmasında ve geliştirilmesinde, termoelementlerin maksimum gücü veya maksimum iş verim rejimlerinin bilinmesi gerekir. Bununla beraber ısı ileticilerinin özellikleri, ısı ve elektrik vetirelerinin (proseslerinin) birbiriyle etkileri incelenmektedir. Bu vetirede (proseste) termoelementlerden geçen ısı ve elektrik akım birbirleri ile etkileşmektedir (9,12).

4.7 Güneş pili ile termoelektrik jeneratörün karşılaştırılması

Güneş pilleri ile termoelektrik jeneratörler temelde güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten malzemelerdir. Bununla beraber çalışma prensipleri dikkate

alındığında birçok benzerlikleri ve farkları mevcuttur. Güneş pilleri fotovoltaik temele dayalı çalışırken termoelektrik jeneratörler termoelektriksel etki ile çalışmaktadırlar. Bu benzerlikler ve farklar aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- 1) İkisi de yarıiletkenlerden oluşan p-n eklemlerinden imal edilmiştir.
- 2) Bünyelerinde hareketli parça bulunmadığından mekanik gürültü üretmezler.
- 3) Güneş pilleri fotovoltaik prensiple çalışırken termoelektrik jeneratörler termoelektrik prensibe göre çalışırlar.
- 4) Güneş pilleri tek yönlü çalışabilirken termoelektrik jeneratörler ile ısı enerjisinden elektrik enerjisi, elektrik enerjisinden ısı enerjisi üretmek mümkündür.
- 5) Güneş pilleri belirli ışık akısının altındaki akı değerlerinde yetersiz foton enerjisinden dolayı elektrik üretmez iken, termoelektrik jeneratörler **1 °C** değerindeki sıcaklık farklarında dahi mikro volt seviyesinde de olsa elektrik üretebilir.
- 6) Güneş pillerinin verimi termoelektrik jeneratörlere göre oldukça yüksektir.
- 7) Güneş pilleri Güneş ışığından doğrudan faydalanabilirken, termoelektrik jeneratörlerde kurulan düzeneklerde yüksek verim ve daha iyi düzenek performansı elde etmek için Güneş ışığı toplayıcısına ihtiyaç duyulur.
- 8) Güneş pilleri karanlık olmayan her ortamda elektrik üretebilirken, termoelektrik jeneratörler sıcaklık farkı olan her ortamda elektrik üretebilir.
- 9) Termoelektrik modüllerin ortalama ömürleri 2.000.000 saat kadarken, güneş pillerinin ömürlerinin sonsuz kabul edilmesine rağmen, kullanıldıkça zamanla verimleri düşmektedir.

5 GEREÇ VE YÖNTEM

Güneş termojeneratörü tasarımında kurulan düzenek mekanik ve elektriksel tabanlı olmak üzere iki ayrı bölümden oluşmaktadır. Mekanik bölüm Güneş ışığı toplayıcısı ile su depoları ve ısı eşanjörlerinden oluşan mekatronik kısımdan oluşmaktadır. Elektronik aksam ise enerji depolama amaçlı bir akü, üretilen elektrik enerjisini **50 Hz** frekans ve **220 V** gerilime çevirmek için bir adet evirici, termoelektrik modüllerden oluşan jeneratör düzenekleri ve bu düzeneklere bağlı bir omik yükten (LED) oluşmaktadır.

5.1 Güneş ışığı toplayıcıları

Güneş enerjili sistemler genel anlamda düzlemsel ve yoğunlaştırıcı sistemler olmak üzere iki kategoriye ayrılır. Elektrik enerjisi ve yakma gibi yüksek Güneş radyasyon ısısına ihtiyaç duyulan sistemlerde yoğunlaştırıcı sistemler kullanılır.

Güneş enerjisinin yoğunlaştırılarak kullanılması M.Ö. 500'lü yıllara kadar dayanmaktadır. Antik Romalılarda "Vesta Tapınağı'nın" rahibelerinin, madeni koniler yardımıyla yansıtıkları güneş ışınları ile kutsal ateşi yakmaları, Archimet'in M.Ö. 212 yılında Siraküz kentine saldıran Roma donanmasını, yüzlerce aynayı askerlere dağıtıp gemilere odaklayarak yaktırmasıyla yaptığı ilk heliostat denemesi ilk uygulamalardır. Galile 1600'li yıllarda merceği bulmuş ve bu konuya yeni bir bakış açısı getirmiştir (23).

Fransa'da 1725 yılında Belidor tarafından güneş enerjisi ile çalışan bir su pompası yapılmıştır. Bu buluş 1860 yılında Mouchot tarafından geliştirilerek, parabolik aynalar yardımıyla kaynatılan su, buhar makinelerine pompalanarak güneş ocakları çalışmaları gerçekleştirilmiştir. 1878 yılında baskı makinesini çalıştırmak için Paris'te odaklı sistem yardımıyla çalıştırılan buhar makinesi kurulmuştur. 1913 yılında Schuman ve Boys, yaptıkları parabolik yoğunlaştırıcılar yardımıyla 50 Beygir gücünde bir su pompası ile Nil Nehri'nden su çekmişlerdir. **50 kW** gücündeki dünyanın ilk büyük güneş fırını 1948 yılında Paris'te Prof. Dr. F. Trombe başkanlığında tasarlanmış, Pirene dağlarında Montlouis'te 1952 yılında çalışmaya başlamıştır (23).

Güneş pillerinde Güneş ışığının akısından faydalanılırken Güneş termojeneratörlerinde Güneş'in yaydığı radyasyonun çarptığı yüzey üzerinde meydana getirdiği ısınma etkisinden faydalanılır. Isınma etkisi herhangi bir yüzeye çarparak orada soğurularak ısı enerjisine dönüşen fotonlar tarafından oluşturulduğu için, birim alana düşen foton sayısını artırmak ısınma etkisini de arttıracaktır. Birim alana çarpan foton sayısını artırmak ise Güneş ışığı yoğunlaştırıcısı ile mümkündür.

Güneş ışığı toplayıcısının prensibi. radyasyon kaynağı Güneş ışığını sıklaştırılmış bir enerji akısı biçiminde optiksel bir aygıt kullanarak küçük bir bölgeye odaklama ve/veya yansıtma temeline dayanmaktadır. Toplayıcılar, jeneratör düzeneği sıcaklığını seçilen termoelektrik modülün özelliklerine göre düşük sıcaklıklarda tutabildiği gibi, istenirse **100-500°C** değerlerine kadar da çıkarabilirler.

Güneşin yaydığı radyasyonunun optik yollarla belirli bir noktaya, eksene veya yüzeye yoğunlaştırılması güneş enerjisinin yüksek sıcaklıkta ısı enerjisine dönüşmesini sağlar. Güneş enerjisinden beklenen işlem ısısının sıcaklığı 140°C'tan yüksek ise ışınım enerji yoğunluğunun artırılması gereklidir. Odaklayıcı yoğunlaştırıcılar optik ve alıcı sistemlerden meydana gelmiştir. Odaklama sistemlerinin işlem sıcaklık değerlerine göre kullanım tercihi, alansal odaklama oranı (C) ile yapılmaktadır (23). Buna göre;

$$C = \frac{\text{Yansıtılan yüzey kesit alanı}}{\text{Alıcı yüzey kesit alanı}} = \frac{A_Y}{A_A} \quad (5.1)$$

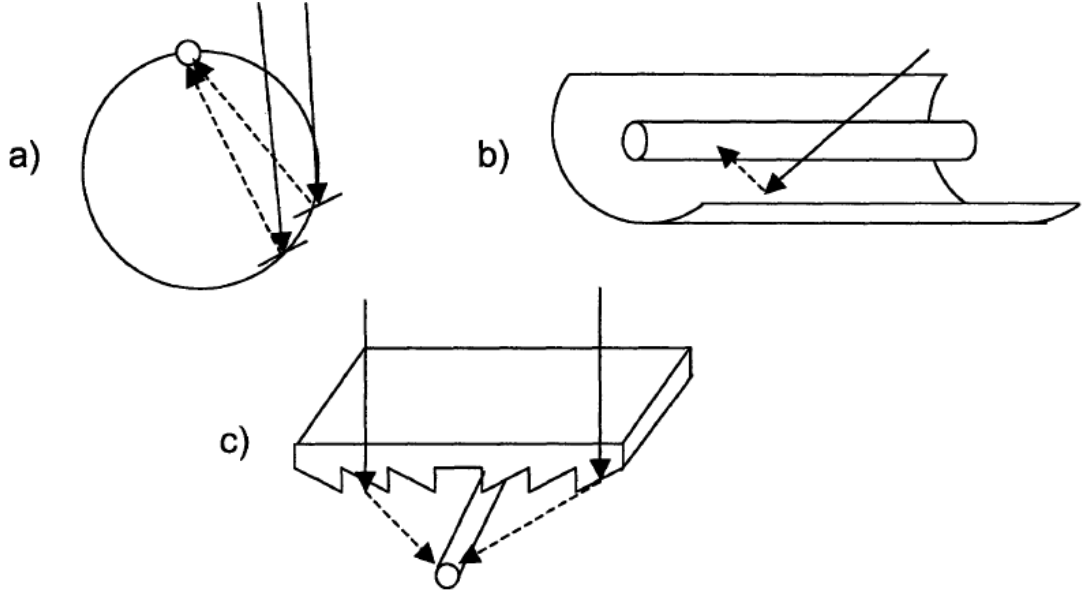
$C > 4 \rightarrow$ Düz alıcı ve Düz yansıtıcı düzenekleri...

$C < 4 \rightarrow$ Parabolik yansıtıcılar ve boru alıcılar, parabolik yansıtıcılar ve küresel alıcılar, Fresnel mercekleri noktasal alıcılar, Heliostatlar ve noktasal alıcılar...

Üç boyutlu odaklayıcılar için maksimum odaklama oranı (C_{max}) **46.200** civarında iken tek boyutlu çizgisel odaklayıcılar için bu değer **215** kadardır (23). Şekil 5.1.'de bazı Güneş ışığı yoğunlaştırıcıları gösterilmiştir (8).

Eksenel odaklamalı yoğunlaştırıcılarda yansıtıcının odağına yerleştirilmiş soğurucu bir boru içerisinden termal kapasitesi yüksek, termal difüzyonu hızlı olan bir akışkan

(basınçlı hava, su, yağ v.b.) geçirilerek borudaki ısı enerjisi ürün vetirelerine (proseslerine) aktarılır. Odak eksenindeki borunun dışına bir cam tüp geçirilerek ısı yalıtımı en aza indirilmiş olur. Bununla beraber cam tüpün havasının alınması daha iyi bir ısı yalıtımı sağlayacaktır.



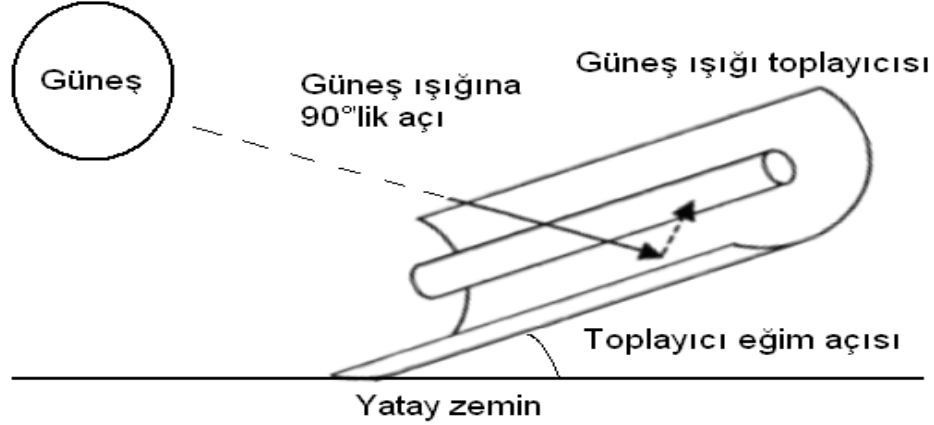
Şekil 5.1. Güneş ışığı yoğunlaştırıcılarından üç tanesinin gösterimi **a)** Karşılıklı sabitlenmiş aynalı toplayıcı **b)** Silindirik-parabolik toplayıcı **c)** Doğrusal dizili Fresnel Merceği toplayıcı

Eksenel odaklayıcılarda genellikle parabolik oluk türü yansıtıcılar ve boru alıcılar kullanılmaktadır. Yansıtıcılar genelde ayna, paslanmaz çelik Cr-Ni kaplama gibi parlak yüzeylerden yapılmaktadır. Yön olarak kuzey-güney veya doğu-batı doğrultusunda yerleştirilmektedirler. Birbirleri ile seri veya paralel bağlanabilen parabolik oluk toplaçlarda 200°C 'ın üzerinde sıcaklıklar elde edilebilmektedir (23,24).

Toplayıcıların Güneşin konumunu sürekli takip etmek zorunda olması, zayıf ve dağınık radyasyonlarda kullanılamaması dezavantajları olarak sayılabilir. Buna bağlı olarak toplayıcılar sadece şiddetli ve hüzmeler halinde ilerleyen radyasyonlar için güvenilirdir (25).

Yapılan deneysel çalışmalarda, Cr-Ni levhadan yapılmış silindirik-parabolik yansıtıcı kullanılmıştır. Parabolik yansıtıcının silindirik yarıçapı $25,47\text{ cm}$, eksenel yay uzunluğu 80 cm ve yansıtıcının silindirik yüksekliği (boy uzunluğu) 100 cm 'dir.

Tasarlanan düzenekte kullanılan güneş termojeneratöründen en verimli şekilde elektrik enerjisi elde edebilmek için yoğunlaştırıcının güneş ışığına dik gelecek şekilde monte edilmesi gerekmektedir. Yüzeze gelen güneş ışınımı miktarı toplayıcı eğim açısına göre değişmektedir. Şekil 5.2.'de yoğunlaştırıcının yatay tabanla yaptığı açı toplayıcı eğim açısı olup θ olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Güneş ışığı toplayıcısının Güneşe göre zeminle yaptığı açı

Çizelge 5.1. Ankara için aylara göre eğimli yüzeyde güneş ışınım miktarını göstermektedir (20). Ankara ile Kırıkkale'nin aynı enlemde, komşu iller olduğu dikkate alınırsa bu değerlerin Kırıkkale için de yaklaşık aynı olacağı görülür. Çizelgede Kasım, Aralık, Ocak ve Şubat ayları kış ayları olarak değerlendirilmiştir. Ankara için yıllık ışınım ortalamasının en fazla olduğu açı 30° ve kış ayları içinde ışınımın en fazla olduğu açı ise 60° 'dir. Yaz aylarındaki ışınım miktarının fazlalığı ve kış aylarındaki ışınım miktarının en yüksek 60° 'de olduğu göz önüne alınarak, toplayıcı zemin ile 35° açı yapacak şekilde kuzey-güney doğrultusunda monte edilmiştir.

Çizelge 5.1. Ankara için aylara göre açı (derece) Güneş ışınım (kWh/m^2) değerleri

Açı	O c.	Ş u.	Ma.	N i.	Ma.	H a.	T e.	A ğ.	E y.	E k.	K a.	A r.	Yıl Ort.
0	1694	2528	3722	4861	6139	7028	7111	6556	5111	3528	2083	1417	4315
10	2061	2898	4035	5020	6152	6950	7075	6703	5473	4020	2513	1750	4554
20	2381	3204	4261	5077	6054	6755	6913	6714	5712	4419	2886	2045	4702
30	2645	3737	4392	5030	5844	6442	6625	6585	5820	4714	3190	2291	4751
40	2844	3589	4425	4880	5526	6018	6216	6318	5795	4896	3415	2481	4700
50	2973	3656	4359	4631	5110	5494	5699	5923	5637	4958	3556	2609	4550
60	3028	3686	4196	4292	4608	4887	5089	5411	5350	4900	3607	2672	4306
70	3007	3530	3940	3873	4038	4220	4409	4799	4944	4722	3568	2668	3976
80	2911	3340	3599	3387	3422	3519	3685	4108	4431	4430	3439	2596	3572
90	2743	3073	3184	2851	2787	2823	2954	3365	3826	4034	3225	2459	3110

Silindirik-parabolik yansıtıcının odak eksenini boyunca **1,5 cm** çapında siyah renkli bakır bir boru yerleştirilmiştir. Isı yalıtımı için borunun dış yüzeyine **8 cm** çapında ve **3 mm** kalınlığında bir cam tüp geçirilmiş ve tüpün uç eklem yüzeyleri cam yünü ile kaplanmıştır. Cam tüpten geçen Güneş ışınları koyu renkli boru üzerine düşer. Böylece fotonlar boru tarafından soğurulur ve bakır boru ısınır. Boru içerisinden akışkan olarak su geçirilmiştir. Su farklı deneylerde farklı yöntemler kullanılarak hortumlar yardımı ile düzenek bölümlerinde dolaştırılmıştır. TEJ (termoelektrik jeneratör) düzeneğinde kullanılan silindirik-parabolik yansıtıcı ile oluşturulan yoğunlaştırıcı Şekil 5.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3. TEJ düzeneğinde kullanılan silindirik-parabolik yoğunlaştırıcı

Parabolik yoğunlaştırıcı düzeneğe tek boyutlu güneş takip sisteminin de eklenebileceği düşünülerek düzenek, iki uç noktasına yerleştirilmiş rulmanlar yardımı ile oldukça düşük bir sürtünme ile kendi eksenini etrafında belirli bir açı ile dönebilecek şekilde tasarlanmıştır.

5.2 Su depoları

Düzenenin amacı sıcaklık farkına bağlı olarak, termoelektrik modüller yardımıyla elektrik enerjisi üretmek olduğu için, kararlılığını sağlamak su sıcaklıklarını mümkün olduğunca değiştirmemeye, dolayısıyla sıcaklık farklarını dengede tutmaya bağlıdır. Güneşin yaydığı radyasyonun gün içerisinde günün saatine göre sürekli değiştiği ve bulutlu havalar dikkate alındığında boru sıcaklığının, buna bağlı olarak da ısınan su sıcaklığının sürekli değişeceği öngörülmüştür. Akışkan sıcaklığının ani değişimlerini önlemek ve sabit bir ΔT sıcaklık farkı sağlamak için, soğuk suyun sıcaklığını oda sıcaklığında ya da istenilen sıcaklıkta tutmak ve sıcak suyun sıcaklığını belirli bir ortalama değerde tutmak amacıyla, düzeneğe iki adet su deposu eklenmiştir.

Depolar galvanizli sacdan imal edilmiştir. Her iki depo da silindirik yapıda olup yarıçapları **16 cm** yükseklikleri **47 cm** ve hacimleri **37,78 lt**'dir. Soğuk suyun oda sıcaklığında tutulması düşünüldüğü için soğuk su deposu tek cidarlı olarak tasarlanmıştır. Sıcak su deposu ise çift cidarlı olup, cidarları arasında cam yünü yerleştirilerek ısı yalıtımı en üst seviyede sağlanmıştır. Şekil 5.4.'te TEJ düzenesinde kullanılan su depoları gösterilmektedir. Ayrıca deneme amaçlı sıcak yüzey olarak elektrikli ısıtıcı termostatik kontrollü ayrıtları **50 cm x 50 cm x 7 cm** olan dikdörtgenler prizması şeklinde ikinci bir sıcak su deposu kullanılmıştır. Bu depo Şekil 5.5.'te gösterilmiştir.



Şekil 5.4. TEJ düzenesindeki su depoları

Soğutucu akışkan olarak oda sıcaklığındaki su ve hava kullanılmıştır. Isıtıcı akışkan ise parabolik yansıtıcı ile ısıtılan sudur. Her iki durumda da ayrı ayrı deneyler yapılarak termoelektrik jeneratörün davranışları incelenmiştir.



Şekil 5.5. Deneme amaçlı sıcak su deposu

Lavoratuarda bir ön çalışma olarak hava soğutmalı düzenek tasarlanmıştır. Bu düzenekte azami ısı aktarımı sağlamak amacıyla Şekil 5.6.'da gösterildiği gibi $50\text{ cm} \times 50\text{ cm} \times 7\text{ cm}$ boyutlarında, bakırdan yapılmış bir sıcak su deposu kullanılmıştır.



Şekil 5.6. Hava soğutmalı ön çalışma düzeneği

5.3 Modül ısı aktarıcısı

Düzenegin Şekil 5.7.'de gösterilen bu bölümü ile akışkan sıcaklıkları termoelektrik modüllere aktarılır. 10^{-1} mm kalınlığında ve $60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ boyutlarında iki adet bakır levha üzerine, $60 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$ boyutlarında $7 \times 10^{-1} \text{ mm}$ kalınlığında ve 8 mm çapındaki bakır borulardan imal edilmiş spiral şeklindeki ısı eşanjörleri, ısıl iletkenliği oldukça yüksek özel bir yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Termoelektrik modüller levhaların iç yüzeyine eşanjör hizasında yerleştirilmiştir.

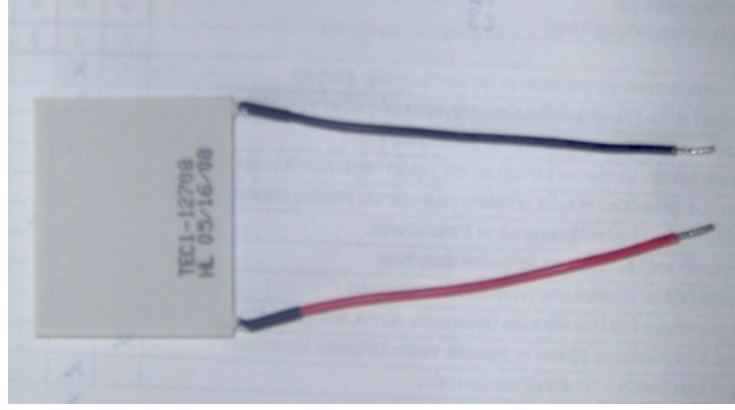


Şekil 5.7. Tasarlanan termoelektrik jeneratörün dış görünüşü

Levhalara ısı eşanjörlerinin yapıştırılmasından sonra levhalar, karşılıklı olarak ara yüzeylerinde termoelektrik modüller olacak şekilde sıkıca ve kaymayacak biçimde birbirine tutturulur. Simetrik şekilde hazırlanan bu yapı içerisinde sıcak ve soğuk akışkanlar geçirilerek, jeneratörün bir yüzeyi ısıtılırken diğer yüzeyinin soğuması sağlanır.

5.4 Termoelektrik modül

Tüm jeneratör tasarımlarında ve yapılan incelemelerde kütlesi 27 g , boyutlar $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm} \times 3,5 \text{ mm}$, çalışma sıcaklık aralığı $0^\circ\text{C}-80^\circ\text{C}$ ve azami sıcaklık farkı (ΔT_{max}) 67°C olan TEC1-12708 kodlu termoelektrik modül kullanılmıştır. Bu modül bünyesinde 127 adet termoelement barındırmaktadır. Şekil 5.8.'de gösterilen modülün teknik özellikleri Çizelge 5.2.'de verilmiştir (37). Bununla beraber söz konusu modülün çalışma sıcaklık aralığındaki davranış özellikleri EK 1'de mevcuttur (37).



Şekil 5.8. TEC1-12708 tipi termoelektrik modül

Çizelge 5.2. TEC1-12708'e ait teknik özellikler

Isınan yüzey sıcaklığı (°C)	25 °C	50 °C
Q_{max} (Watt)	71	79
ΔT_{max} (°C)	66	75
I_{max} (Amp)	8.5	8.4
V_{max} (Volt)	15.4	17.5
Modül Direnci (Ohm)	1.50	1.80

Akışkanlı ısı aktarım düzeneğinde 7 adet 8'erli seri bağlı termoelektrik modül dizisinin birbirine paralel bağlanması şeklinde 56 adet termoelektrik modülden oluşan bir jeneratör, hava soğutmalı düzeneğe ise birbirlerine seri bağlı, bir yüzeyleri özdeş fanlar ile soğutulan 14 adet termoelektrik modül kullanılmıştır. Her iki jeneratördeki modüllerin davranışları ayrıntılı olarak incelenmiştir.

5.5 Akü

Güneş ışınlarının tüm gün boyunca dünyamıza ulaşmamasından dolayı düzeneğin 24 saat çalışması imkansızdır. Bu nedenle bu tür düzeneklerde gündüz saatlerinde ihtiyaçtan fazla enerji üretmek ve artan enerjiyi depolamak hedeflenmektedir. Depolama işlemi ise akülerle sağlanmaktadır.

Aküler akım depolayan kimyasal tabanlı çalışan aygıtlardır. Akü hücrelerinin doluluk sınırları amper saat olarak verilir. Bu tam dolu bir aküden belirli bir deşarj oranı ve elektrolit sıcaklığı altında, belirli bir gerilim değerine kadar elde edilebilecek elektrik miktarıdır.

5.6 Evirici

Bilindiği gibi günlük hayatımızda kullandığımız elektrik enerjisi **50 Hz** frekans ve **220 V** gerilim değerine sahiptir. Termoelektrik jeneratör düzeneği ile üretilen elektriğin kullanılabilir olması için, düzeneğe Őehir Őebekesi ile aynı frekans ve gerilim değerlerinde çıkış veren **1500 W** ıkış güçlü bir evirici eklenmiştir. evirici Şekil 5.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 5.9. Deney düzeneğinde kullanılan evirici

5.7 Düzeneğin genel yapısı

Yukarıda bahsedilen tüm parçalar tekerlekli demir konstrüksiyon üzerine yerleştirilerek, Şekil 5.10. ve Şekil 5.11.'de gösterilen taşınabilir düzenek kurulmuştur.



Şekil 5.10. Çalışmada tasarlanan geliştirilmiş düzenek



Şekil 5.11. Düzeneğin profilden görünüşü

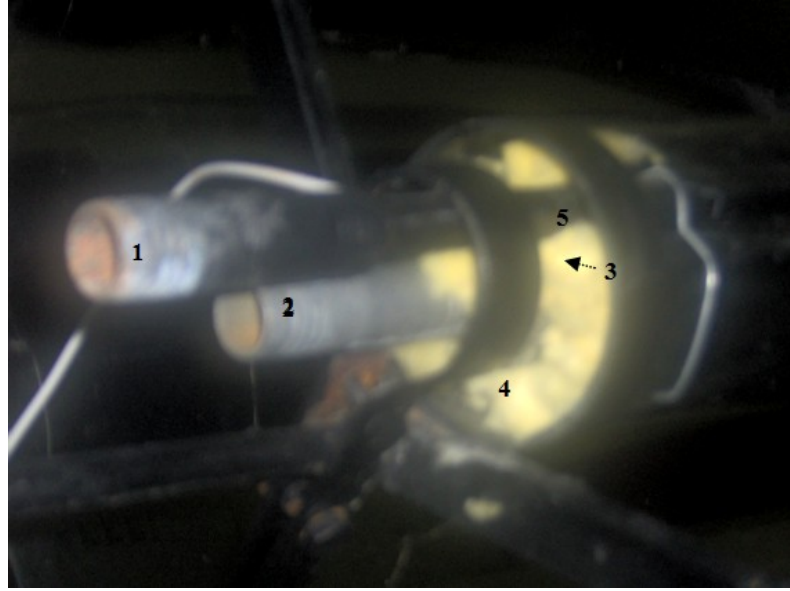
Bu düzenekten faydalanıp hava soğutmalı ve su soğutmalı deneyler yapılarak, deney sonuçları incelenmiş ve değerlendirilmiştir.

5.8 Geliştirilmiş su soğutmalı ikincil düzenek

Hava soğutmalı düzenekte termoelektrik modül üzerine ısının homojen olarak dağıtılamaması, su soğutmalı düzenekte heterojen ısı dağılımının yanında termoelektrik modüller ile bakır levha arasında yüzey temas problemlerinin ortaya çıkması nedeniyle düşük verim alınınca, su soğutmalı düzenek daha da geliştirilmiştir.

24 adet termoelektrik modül pürüzsüz, oluklu demir bir profil üzerine **%100** yüzey teması sağlanacak şekilde yapıştırılmıştır. Profil olduğundan soğuk su geçirilerek, kondüksiyon yoluyla termoelektrik modüllerin bir yüzeyini soğutmak planlanmıştır. Termoelektrik modüllerin diğer yüzeylerini homojen ısı dağılımı sağlayarak ısıtmak

için, ısıtılacak yüzeyler üzerine boyutları $1\text{ cm} \times 4\text{ cm} \times 100\text{ cm}$ olan demir bir lama %100 yüzey teması sağlanacak şekilde yapıştırılmıştır. Isıtılan yüzey sıcaklığını kontrol altında tutmak ve elektrik enerjisi ile birlikte sıcak su da elde etmek için sıcak yüzeye yapıştırılmış demir lama üzerine $1\text{ cm} \times 1\text{ cm} \times 100\text{ cm}$ boyutlarında kare kesitli demir bir boru punto kaynak ile tutturulmuştur. Soğutulan katman sıcaklığı ile ısıtılan katman sıcaklığının birbirini etkilememesi için, katmanlar arası yalıtım cam yünü ile sağlanmıştır. Bu tasarım Şekil 5.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.12. İyileştirilmiş su soğutmalı düzeneğin yan kesit görünüşü

Şekil 5.12.'deki numaralar sırasıyla şu elemanları göstermektedir: 1 numaralı kısım sıcak su borusunu, 2 numaralı kısım soğuk su borusunu, 3 numaralı kısım termoelektrik modülleri, 4 numaralı kısım ısı yalıtım amaçlı kullanılmış cam yünü, 5 numaralı kısım ise lama demirini göstermektedir.

Daha önce düzenekte kullanılan cam borunun iç yüzeyi silindirik bir şekilde sac bir levha ile kaplanıp, tasarlanan bölüm cam boru içerisine yerleştirilmiştir. Cam borunun iç yüzeyine kaplanan levhanın uçları demir lamaya tutturulmuştur. Tasarlanan düzeneğin silindirik-parabolik yansıtıcının çizgisel odağına yeniden yerleştirilerek, Güneş ışınlarının odaktaki cam boru üzerine yoğunlaştırılması ile, kaplanan levha sayesinde maksimum ısı transferinin sağlanabileceği düşünülmüştür. Sonuçta Güneş ışığı toplayıcı kısım Şekil 5.13.'teki hale gelmiştir.



Şekil 5.13. İyileştirilmiş silindirik-parabolik toplayıcı düzeneği

Silindirik-parabolik yansıtıcı yeni hali ile düzeneğe yerleştirilmiş ve düzenekteki yeni bir düzenleme ile Şekil 5.14.'te gösterildiği gibi Güneşli bir havada deney yapılmıştır.



Şekil 5.14. İyileştirilmiş düzeneğin son çalışır hali

6 ARAŞTIRMA BULGULARI

Su soğutmalı deney düzeneği ile bulutlu bir havada düzenek tepkime süresi dikkate alınmaksızın Şekil 6.1.'deki akı ölçer ile ısıtılan akışkanın çıkış sıcaklığı ile ışık akısı arasındaki ilişki tespit edilmiştir. Akışkan çıkış sıcaklığı dijital bir termometre ile ölçülmüştür. Akı ölçer silindirik-parabolik toplayıcı ile paralel tutularak anlık en yüksek ışık akısı ölçülmüştür.



Şekil 6.1. Deneyde kullanılan akı ölçer ile herhangi bir anda yapılan ölçüm

Ölçüm 4 saatlik bir süreyi kapsamaktadır. Bununla birlikte düzenek tepkime sürelerindeki ölü zamanlar önemsenmeksizin tespit edilen değerler Çizelge 6.1.'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Düzenek tepkime süresi ihmal edilmiş sıcaklık ölçüm değerleri

Anlık ışık akısı \bar{O} (W/m^2)	Isıtılan akışkan sıcaklığı $T(^{\circ}C)$
311	19
954	30
1000	36
1041	39
1067	43
1113	49

Düzenekte kullanılan akışkanın başlangıç sıcaklığı **19°C** olarak ölçülmüştür. Havanın bulutlu olmasından dolayı 4 saatlik ölçüm süresinde ışık akısı inişli çıkışlı bir grafik değeri izlediği için düzenek kararlı hale gelememiştir.

Su soğutmalı düzende birçok ölçüm yapılmış ve bu ölçüm değerleri tatmin edici olmamıştır. Deney sırasında ölçülen en yüksek birkaç anlık değer Çizelge 6.2.'de gösterilmiştir. Bu değerler umulandan çok daha düşük değerdedir.

Çizelge 6.2. Su soğutmalı düzende yapılan anlık en yüksek ölçüm değerleri

Isıtılan Yüzeyin Sıcaklığı $T_1(^{\circ}\text{C})$	Soğutulan Yüzeyin Sıcaklığı $T_2(^{\circ}\text{C})$	Yüzeyler Arası Sıcaklık farkı $\Delta T (^{\circ}\text{C})$	Sağlanan Gerilim V(Volt)	Elde Edilen Akım I(mA)
15	15	0	0	0
34	19	15	0,15	12,26
44	25	19	0,22	18,86
56	31	25	0,24	19,82
65	36	29	0,24	20,03

Hava soğutmalı düzende yapılan ölçümlerde su soğutmalı düzeneğe göre daha fazla verim elde edilmiştir. Ancak kullanılan termoelektrik modülün katalog değerleri dikkate alındığında bu değerlerin de tatmin edici olmadığı ortadadır. Hava soğutmalı düzende ile yapılan deneylere ait elde edilen veriler Çizelge 6.3.'te verilmiştir.

Çizelge 6.3. Hava soğutmalı düzende ölçülen anlık en yüksek değerler

Isıtılan Yüzeyin Sıcaklığı $T_1(^{\circ}\text{C})$	Soğutulan Yüzeyin Sıcaklığı $T_2(^{\circ}\text{C})$	Yüzeyler Arası Sıcaklık farkı $\Delta T (^{\circ}\text{C})$	Sağlanan Gerilim V(Volt)	Elde Edilen Akım I(mA)
24	24	0	0	0
36	24	12	0,85	27
41	22	19	1,03	33,4
44	20	24	1,14	37,2
49	19	30	1,28	40,2
51	20	31	1,58	50,2
53	19	34	1,74	52,4
56	18	38	1,89	57,6
59	19	40	2,12	62,8
61	19	42	2,26	67
64	19	45	2,57	75,2

Çizelge 6.2. ile Çizelge 6.3. karşılaştırılırsa hava soğutmalı düzende ile su soğutmalı düzeneğe ait deneysel veriler arasında oldukça büyük bir fark olduğu; Hava soğutmalı düzeneğin termoelektrik modül sayısının çok daha az olmasına rağmen

çok daha verimli olduğu gözlenmiştir. Bu verim düşüklüğünün sebepleri ve sonuçlar tartışılmıştır.

Su soğutmalı ve hava soğutmalı düzeneklerden beklenen verimin alınamaması sonucu su soğutmalı düzenek daha da geliştirilmiş ve eski düzenekte belirli değişiklikler yapılarak su soğutmalı eşanjörlü yeni bir düzenek kurulmuştur. Bu düzenekte homojen ısı dağılımı sağlanmış ve ısı kayıpları en aza indirgenmiştir. Buna bağlı olarak verim oldukça yükseltilmiş ve beklenen değere yaklaşmıştır.

Bu ölçümde dış ortam sıcaklığı **35°C** olarak ölçülmüştür. Termoelektrik modüllerin soğuk kısmı sıcaklığı **19°C** olan şebeke suyu ile soğutulmuştur. Şebeke suyu tazyikli olarak sürekli akıtılarak termoelektrik modüllerin soğutulan yüzeyinin sıcaklığının **19°C** değerinde sabit tutulması sağlanmıştır. Isıtılan yüzey sıcaklığının **65°C** değerine kadar yükseldiği ölçülmüş, bu ölçüm Şekil 6.2.'de gösterilen dijital termometre ile yapılmıştır.



Şekil 6.2. Dijital termometre ile ölçülen anlık en yüksek değer

Düzenekte kullanılan **24** adet termoelektrik modülün direnci **47,4 Ω** olarak ölçülmüştür. **50 Ω** 'luk bir direnç jeneratör devresine seri bağlanarak maksimum güç değeri ölçülmüştür. Çizelge 6.4.'te geliştirilmiş düzenekteki ölçüm değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 6.4. Geliştirilmiş düzenekte ölçülen en yüksek anlık verim değerleri

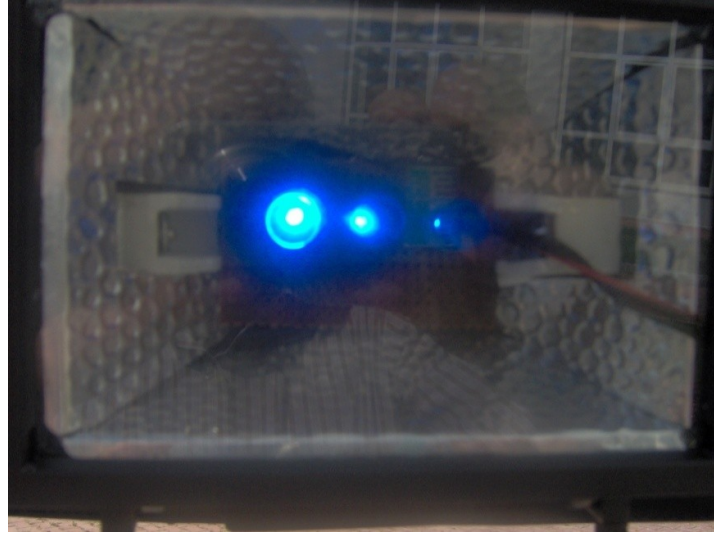
Isıtılan Yüzeyin Sıcaklığı $T_1(^{\circ}\text{C})$	Soğutulan Yüzeyin Sıcaklığı $T_2(^{\circ}\text{C})$	Yüzeyler Arası Sıcaklık farkı $\Delta T (^{\circ}\text{C})$	Jeneratörden Sağlanan Gerilim V(Volt)	Elde Edilen Akım I(mA)	Geliştirilen Düzenekten Sağlanan Güç P(W)
55	19	36	15	41	0.615
65	19	46	16	44	0.704

Şekil 6.3.'te gösterilen deney düzeneği ile $16 V_{DC}$ değerinde çıkış gerilimi elde edilmiş ve LED esaslı lamba güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilerek yakılmıştır. LED esaslı lambanın yanar görüntüsü Şekil 6.4.'teki gibidir.



Şekil 6.3. Geliştirilmiş su soğutmalı deney düzeneği ile açık havada elektrik enerjisi elde edilmesi

Şekil 6.3.'te gösterilen ekonomik Flüoresan ampulün yakılması planlanmış, ancak Şekil 5.9.'da gösterilmiş evirici ile ampulün gücünü karşılayacak büyüklükte bir elektrik enerjisi üretilmediği için ampul akü desteği ile yakılmıştır. Dijital evirici kullanmak yerine basit evirici devresi tasarlamak suretiyle elbette dijital eviricinin harcadığı güçten tasarruf etmek mümkündür.



Şekil 6.4. Güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisi ile yakılan LED düzeneği

Bu düzenek ile ekonomik ampulün yakılabilmesi planlanmıştır. Elbette ki deneysel düzeneğin kayıplarının minimuma indirilmesi ve jeneratörde kullanılan termoelektrik modül sayısının artırılması ile jeneratörün verimi ve gücü yükseltilerek ekonomik ampulün yakılması mümkündür.

Hava soğutmalı, su soğutmalı ve geliştirilmiş düzeneğin elde edilen güçler sırası ile **0,192 W**, **0,048 W** ve **0,704 W** değerindedir. Bakıldığında düzeneklerin geometrik durumları, düzeneklerde kullanılan termoelektrik modül ile sınırlı olduğu görülmektedir. Düzeneklerde kullanılan termoelektrik modül başına üretilen güç değeri Çizelge 6.5.'te verilmiştir.

Çizelge 6.5. Her üç düzeneğe ait kullanılan termoelektrik modül başına düşen güç değerleri

Sistemin Adı	Kullanılan Peltier Sayısı	Sağlanan Toplam Güç P(Watt)	1 Peltier'in Sağladığı Güç P(Watt)
Su soğutmalı Eşanjörlü Sistem (İlk)	56	0.048	0.00085
Hava Soğutmalı Sistem	14	0.192	0.0137
Geliştirilen Su Soğutmalı Eşanjörlü Yeni Sistem	24	0.704	0.0293

Çizelge 6.5.'te görüldüğü gibi geliştirilmiş su soğutmalı eşanjörlü düzenekte, kullanılan termoelektrik modül başına düşen değer, su soğutmalı eşanjörlü düzenekteki değer yaklaşık **34** katı ve hava soğutmalı düzeneğin yaklaşık **2** katıdır.

Tasarlanan tüm düzeneklerde elektrik enerjisi ile birlikte sıcak su da elde edildiği düşünüldüğü zaman düzeneklerin ürettiği elektriksel güç ve kullanım amacı bakımından kazançların bir bütün olarak ele alınması gerekmektedir. Termoelektrik modüllerle sadece güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesi düşünüldüğünde tek amaca hitap eden düzeneklerin tasarlanması da mümkündür.

Kullanılan silindirik-parabolik yansıtıcının aktif yüzey alanı yaklaşık **100 cm × 50 cm** boyutlarında bir dikdörtgen şeklindedir. Bir ön bilgi olarak silindirik-parabolik yansıtıcının yüzeyine **1000 W/m²** ışık akısı geldiğini varsayalım. Bu durumda yansıtıcı üzerine düşen güneş enerjisinin, yansıtıcı tarafından dönüştürülen elektriksel güç değeri (6.1) Eşitliğinden bulunur.

$$P = \phi \times S \quad (6.1)$$

Değerler yerine konulduğu zaman silindirik-parabolik yansıtıcının **500 W** değerinde bir güce sahip olduğu hesaplanır.

Tüm düzenekler için güneş enerjisinden elde edilen giriş gücünün **500 W** olduğu kabul edildiğinde, düzeneklerin verimleri Eşitlik (6.2)'den hesaplanabilir.

$$\eta = \frac{P_{\text{Çıkış Elektriksel}}}{P_{\text{Giriş Solar}}} \quad (6.2)$$

Çizelge 6.5.'ten yararlanarak değerler yerine konduğu zaman sırasıyla su soğutmalı eşanjörlü düzeneğin verimi **9,6 × 10⁻⁵**, hava soğutmalı düzeneğin verimi **3,84 × 10⁻⁴** ve geliştirilmiş eşanjörlü düzeneğin verimi **1,4 × 10⁻³** olarak bulunur.

Ölçüm değerleri ışığında, geliştirilen yeni düzeneğin oldukça verimli olduğu ve bu düzeneğin dikkate alınması gerektiği görülmektedir. Demirin öz kütlesinin **d = 7,6 g/cm³** olduğu bilindiğine ve kullanılan demir lamanın boyutları **1 cm × 4 cm × 100 cm** olduğuna göre demirin kütlesi **m = 3040 g** bulunur. Bu lamanın kullanılma amacı yansıtılan ısı enerjisini depolamak ve depolanan enerjiyi

ısıtılan akışkana ve termoelektrik modüllere aktarmaktır. Zira kullanılan lama sayesinde termoelektrik modüllerin ısıtılan yüzeylerinin sıcaklıkları 90 dakikada 35°C 'tan 65°C 'a çıkarılmıştır. Bu sayede hem ısıtılan akışkanın hem de termoelektrik modüllerin ısıtılan yüzeylerinin sıcaklıklarının 65°C değerine ulaştığı dijital termometre ile yapılan ölçümle belirlenmiştir. Burada soğurulan ısı enerjisi Eşitlik (6.3)'ten hesaplanmıştır.

$$Q_{Isı Enerjisi} = m \times C \times \Delta T \quad (6.3)$$

Demirin öz ısısı (C) $0,45 \text{ J}/(\text{g} \times ^{\circ}\text{C})$ değerindedir. Diğer taraftan lama dış ortamla yalıtılmış olduğu için ilk sıcaklığı 15°C olarak ölçülmüştür. Demir lamanın son sıcaklığı ile ilk sıcaklığı arasındaki fark değeri $\Delta T = 65^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{C}$ 'tır. Eşitlik (6.3)'te değerler yerine konulduğu zaman soğurulan ısı enerjisi $Q_{Isı Enerjisi} = 68400 \text{ J}$ bulunur. $1 \text{ J} \cong 2,777 \times 10^{-4} \text{ Wh}$ değerinde olduğundan, bulunan değer $\text{Watt} \times \text{saat}$ birimine çevrilirse $Q_{Isı Enerjisi} = 68400 \text{ J} \cong 19 \text{ Wh}$ bulunur.

Silindirik parabolik toplayıcının 90 dakika Güneş ışığı yansıttığı düşünülürse, 90 dakikanın 1,5 saat ettiği bilindiğinden, Eşitlik (6.1)'den silindirik parabolik toplayıcıya 1,5 saat boyunca gelen ışık akısının $\phi = 1000 \text{ W}/\text{m}^2$ olduğu kabul edilmesi ile hesaplanan güç (500 W), $\text{Watt} \times \text{saat}$ cinsinden enerjiye çevrilebilir. $Q_{Işık Enerjisi} = 500 \times 1,5 = 750 \text{ Wh}$ değeri elde edilir. Düzeneğin verimi Eşitlik (6.4)'ten hesaplanabilir.

$$\eta = \frac{P_{Isı Enerjisi}}{P_{Işık Enerjisi}} \quad (6.4)$$

Değerler Eşitlik (6.4)'te yerine yazıldığı zaman düzeneğin verimi $\eta = 0,02533$ olarak bulunur. Görüldüğü gibi düzeneğin verimi $\%2,533$ değerindedir. Bu durum toplayıcıdan yansıtılan fotonların ısı enerjisinin lamaya ulaşana kadar oldukça fazla kayıba uğradığını göstermektedir. Bu kayıplar ve kayıpların nedenleri araştırılıp kayıp parametrelerinin değerleri en aza indirildiği takdirde sistem verimini arttırmak mümkündür.

Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde etmede bir başka yöntem olan güneş pillerinde verim yaklaşık %13 civarındadır. 1000 W/m^2 değerinde sabit bir ışık akısının olduğu kabul edilirse, $0,5 \text{ m}^2$ 'lik bir yüzeye 500 W 'lık bir radyasyon gücünün ulaştığı Eşitlik (6.1)'den hesaplanmıştır. Böyle bir güce sahip ortama yerleştirilecek güneş pilinde ise $P = 500 \times 0,13 = 65 \text{ W}$ değerinde güç elde edilebilmektedir. Kullanılan düzenekler ile güneş pillerinden elde edilen güç arasında büyük bir fark olduğu açıktır. Geliştirilmiş eşanjörlü düzeneğin verimi (%2,533) dahi güneş pillerinin veriminin yaklaşık $1/4$ 'ü kadardır.

Düzeneklerin Güneş pillerine göre bir artışı çok amaçlı olmalarıdır. Düzeneklerde üretilen ısı enerjisi akışkanlar yardımıyla ortam ısıtma amaçlıda kullanılabilir. Ayrıca sıcak akışkan olarak su kullanıldığı takdirde günlük sıcak su ihtiyaçları da düzenek sayesinde karşılanmaktadır. Büyük güçlerde tasarlanan bu tür düzeneklerle elde edilen yüksek değerdeki ısı enerjisi sanayiye üretim amaçlı da kullanılabilir.

Bunun yanı sıra sisteme ait amortisman hesaplamaları, verimle birlikte değerlendirilmelidir. Verim ve amortisman birbiriyle doğru orantılı olduğundan yapılacak Ar-Ge çalışmalarıyla verimin artırılması beraberinde sistemin amortismanını da olumlu yönde etkileyecektir.

7 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada silindirik-parabolik bir yansıtıcı kullanılarak termoelektrik modüller yardımıyla güneş enerjisinden sağlanan ısı enerjisi ile birlikte elektrik enerjisi de elde edilmiştir. Gerçekleştirilen bu çalışmalarda su soğutmalı eşanjörlü düzenek, hava soğutmalı düzenek ve su soğutmalı geliştirilmiş düzenek olmak üzere üç ayrı düzenek tasarlanmış ve çalışma prensipleri ve deney sonuçları incelenmiştir.

Deney sonuçlarına bakıldığında hava soğutmalı düzenekte **14** adet termoelektrik modül kullanılmasına rağmen, **56** tane termoelektrik modül kullanılan su soğutmalı düzeneğe göre hava soğutmalı düzeneğin daha verimli olduğu görülmektedir. Bu durumun sebebinin su soğutmalı düzenekte ısının termoelektrik modüller üzerine homojen olarak dağıtılamaması olduğu düşünülmektedir.

Paralel ve seri bağlanmış **56** tane termoelektrik modülden oluşan su soğutmalı düzenekte termoelektrik jeneratörlerin, tıpkı güneş pillerinin seri ve paralel bağlandığı zaman bir batarya gibi davranmayarak bir miktar güç kaybına uğramaları gibi, beklenenden daha düşük güç ürettikleri gözlenmiştir. Bu durum termoelektrik modüllerin jeneratör olarak kullanımında, henüz bilinmeyen yeni parametrelerin olduğunu ortaya koymaktadır.

Daha fazla sıcaklık farkı sağlanan termoelektrik modüllerle daha yüksek değerlerde akım ve gerilim üretilirken, sıcaklık farkının daha az olduğu termoelektrik modüllerle düşük değerde akım ve gerilim üretilmektedir. Bunun sonucunda düşük sıcaklık farkına maruz kalan modüllerin devre akım ve geriliminden beslenerek soğutucu-ısıtıcı gibi davrandığı düşünülmektedir.

Özellikle paralel ve seri bağlı termoelektrik modül düzeneklerinde bir termoelektrik modülün sıcaklık farkı diğer termoelektrik modüllere göre daha düşükse, termoelektrik modülün ürettiği Seebeck geriliminin devre geriliminden düşük olmasından dolayı termoelektrik modülün Peltier etkisinde kaldığı ve ΔV gerilim farkı ile orantılı Peltier ısı ürettiği düşünülmektedir. Buna bağlı olarak homojen ısı dağılımının sağlanamadığı düzeneklerde, jeneratör devresinin kendi içerisinde her termoelektrik modül için ΔV ve ΔI değeri sıfırlanana kadar, gerilim ve akım kaybına uğrayacağı düşünülmektedir. Seri bağlı termoelektrik modül düzeneklerinde bu

durumun etkisinin daha az olduğu tahmin edilmektedir. Bu bahsedilen olgu ayrı bir tez çalışmasında detaylı bir şekilde incelenebilecek niteliktedir. Ayrıca bu olgu üzerine Ar-Ge çalışmalarının yapılmasının, termoelektrik jeneratör verimini büyük ölçüde arttıracak yeni parametrelerin bulunmasına yardımcı olacağı düşünülmektedir. Bu parametrelerin belirlenmesi ile verim artırılarak düzeneğin toplumsal hayatta kullanılabilir hale gelmesi mümkün olacaktır.

Üçüncü tasarım olan geliştirilmiş eşanjörlü düzenekte ısı enerjisinin öncelikle termoelektrik modüllere ulaştırılması ile verimin arttığı görülmüştür. Isı transferinde bir akışkanın aracı olarak kullanılması yerine elde edilen ısı enerjisinin doğrudan modüllere ulaştırılması, transfer sırasında ortaya çıkan bilinen ve bilinmeyen kayıpları ortadan kaldırarak, verimin güneş pili verimine yaklaştırılmasını, hatta güneş pili veriminden daha yüksek değerlerin elde edilmesini sağlayacaktır. Ancak bu tasarım çok amaçlı olmayıp sadece elektrik enerjisi üretmeye yönelik olacaktır.

Suyun öz ısısı (C) $4,18 J/(g \times ^\circ C)$ olduğu için su içerisine yatırılmış ve soğutması daha ileri teknoloji ile sağlanmış düzeneklerin verimi çok daha fazla olacaktır. Bunun yanında bu çalışmada ısı depolayıcısı olarak kullanılan demir lama yerine gelişen teknoloji ile birlikte bor gibi ısı depolama katsayısı daha yüksek maddeler kullanılarak düzenek verimi artırılabilir.

Bu konuda yapılacak daha detaylı araştırmalar, disiplinler arası bir çalışmayı öngörmekte olduğundan, ilgili lisansüstü çalışmalar için yeni bir araştırma konusu olabilecek bir özelliğe sahiptir.

KAYNAKLAR

- (1) Varıncı K. B. Ve Gönüllü M. T., Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yönetimi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma. UGHEK 2006: I. Ulusal güneş ve hidrojen enerjisi kongresi, 21-23 Haziran 2006, ESOGÜ Eskişehir, s. 270-275, 2006.
- (2) Alaçakır F. B., Türkiye’deki güneş enerjisi potansiyeli ve EİE’deki çalışmalar. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü, Ankara 2007.
- (3) Anonim, Türkiye Güneş Enerjisi Atlası. <http://www.aydinlatmax.com/BLOG/turkiye-gunes-enerjisi-atlasi.htm> (Erişim tarihi 19.02.2010)
- (4) Anonim Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası. http://www.soleaenerji.com/gunes_enerjisi.asp (Erişim tarihi: 06.03. 2010)
- (5) Ahuska R., Güler E., Acar S., Kasap M. N-tipi (Bi_2Te_3) Se_3 Yarıiletken kristallerinin 11-373°K sıcaklık aralığında termoelektrik karakterizasyonu. G.U. Journal of Science 18 (3):481-487 2005.
- (6) Yılmaz S., Termoelektrik soğutucuda farklı soğutma uygulamalarının sistem performansına etkilerinin deneysel olarak incelenmesi. Teknoloji 11 (1): 39-44, 2008.
- (7) M. B. Pişkin, Yarıiletken Alaşımlarının Elektrik, Termoelektrik, Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin incelenmesi ve Sanayi uygulamaları. Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul 2006.
- (8) H. Atiya, Review of Solar Thermoelectric Energy Conversion and Analysis of a Two Cover Flat-Plate Solar Collector. Bachelork of Science Engineering. Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts 2007.
- (9) E. Möröydor Derun, Sb_2Te_3 ve Bi_2Te_3 İçerikli Bileşiklerin Termoelektrik, Yapısal ve Mikroyapısal Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul 2005.

- (10) H. Çakır, Güneş Pili ile Elde Edilen Elektrik Enerjisinin Termoelektrik Soğutmada Kullanımı. Bilim Uzmanlığı Tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük 2006.
- (11) Kasap S., Thermoelectric effects in metals: thermocouples. The University of Saskatchewan, Canada, 1997-2001. [http://electronicmaterials.usask.ca/samples/Thermoelectric - Seebeck.pdf](http://electronicmaterials.usask.ca/samples/Thermoelectric-Seebeck.pdf) (Erişim Tarihi: 16.02.20010).
- (12) E. Ökten, Mikodenetleyici Sıcaklık ve Hız Kontrollü Termoelektrik Yarıiletken Üretim Sistemi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara 2007.
- (13) M. Çağlar, Yarıiletkenlerin AC İletkenliği. Yüksek Lisans Tezi. Osmangazi Üniversitesi Eskişehir 1997.
- (14) C. Aksu Canbay, Kompozit Yarıiletkenlerin Termal Elektrik ve Optik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Fırat Üniversitesi, Elazığ 2005.
- (15) Öztürk O., Temel Elektronik (1. Sınıf). 32-39. Yüce yayınları, İstanbul 2004.
- (16) Erel, Ş., Kuçuk, B., Uluer, I., The Use of The Dynamic System To Get Optimum Power From the Photovoltaic Cells. *ECOS 2001*, ITU-ICAT, Istanbul, TURKEY, Proceedings of ECOS 01, (I): 459-464, 2001.
- (17) Ahıska R., Dişlitaş S., Microcontroller based thermoelectric generator application. *G.U. Journal of Science* 19 (2): 135-141, 2006.
- (18) Atik K., Termoelektrik soğutucu tasarımında termoelektrik optimizasyon. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.
- (19) Schaevitz S.B., Franz A.J., Jensen K.F., and Schmidt Martin A., A combustion-based membs thermoelectric power generator. The 11th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators. Munich,

Germany, June 10 –14, 2001 Department of Chemical Engineering 77
Massachusetts Ave., Cambridge, MA 2001.

- (20) A. Özgöçmen, Güneş Pilleri Kullanarak Elektrik Üretimi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara 2007.
- (21) R. Eke, Güneş Pili Parametrelerinin İşletme Koşulları ile İlişkilendirilmesi. Doktora Tezi. Ege Üniversitesi, Bornova-İzmir 2007.
- (22) Atik K., Kayaba R., Jeotermal enerji kullanarak termoelektrik jeneratör ile elektrik enerjisi üretimi. Electronic Journal of Machine Technologies 6 (3): 59-64, 2009.
- (23) Eltez M., Güneş enerjisi kullanımında ısı odaklama teknolojileri ve uygulama örnekleri. Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, 20-21 Haziran 2003, Mersin, s. 1-13, 2003.
- (24) İ. Umut, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Elektrik Enerjisine Dönüştürmede Kullanılan Yöntemler ve Örnek Uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi, Edirne 2008.
- (25) Erel Ş., Akdaş M. ve Tugay M., Güneş enerjisiyle çalışan bir termoelektrik jeneratörde sıcaklık faktörünün etkisi. Int.J.Eng.Research & Development, 2 (1): 7-10, 2010.
- (26) B. Aydoğan, LabVIEW Görsel Grafik Programı ile Termoelektrik Yarıiletken Enerji Verildiğinde Sıcaklık Performansının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Pamukkale Üniversitesi, Denizli 2006.
- (27) Y. Kartal, Parabolik Yansıtıcı Yüzeyle Yoğunlaştırıcı Güneş Kollektörü Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi, Bornova-İzmir 2007.
- (28) Atik K., Gür S., Yoğunlaştırıcı güneş kolektörleri ve termoelektrik jeneratör kullanarak elektrik üretimi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 13-15 Mayıs 2009, Karabük Türkiye, (ATS'09), 2009.

- (29) Oktik S., Fotovoltaik Güneş Pilleri ve Güç Sistemleri Dünyü Bugünü Yarını, Türkiye 8. Enerji Kongresi “21. Yüzyılda Sürdürülebilir Kalkınma İçin Enerji ve Teknoloji”, 8-12 Mayıs 2000, Ankara, Türkiye, s. 47-62, 2000.
- (30) Rahmoum M., El Hassani A., Leclercq D. and Bendada E., Peltier effect applied to the design and realization of a new mass flow sensor. *Active and Passive Elec. Comp.* (22): 165-174, 1999.
- (31) Erel Ş., Termoelektrik dönüştürücüler ve bu dönüştürücülerin motorlarda muhtemel kullanım potansiyellerinin irdelenmesi. 10. Uluslararası Yanma Sempozyumu Cilt 1, 09-10 Ekim 2008, Sakarya, s. 529-532, 2008.
- (32) Erel Ş., Erel G.K., Enerji dönüşüm sistemlerinde termoelektrik dönüştürücülerin kullanımı. 21. Yüzyılın Başında II. Kırıkkale Sempozyumu Cilt I Kırıkkale, 2008, s. 336-337, 2008.
- (33) Erel Ş., A thermoelectrical approach to the waste energy thrown by chimneys. *International journal of engineering research and development*, 1 (1): 16-18, 2009.
- (34) Arcaklıoğlu E., Erel Ş., ve Erel G.K., A thermodynamical study of a photovoltaic cell having V-grooving the front surface. *Bulletin of Pure Applied Sciences*. 21 (2): 89-95, 2002.
- (35) Erel, Ş., Akçıl, M., Erel, G. K., and Çelik, V., The behaviour of a typical single-crystal Si solar cell under high intensity of electric field. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 90, 582-587, 2006.
- (36) Rahmoum M., El Hassani A., Leclercq D. and Bendada E., Peltier effect applied to the design and realization of a new mass flow sensor. *Active and Passive Elec. Comp.* (22): 165-174, 1999.
- (37) Hebeild Company Thermoelectric Cooler TEC 1-12708 <http://www.hebeild.com.cn/peltier.datasheet/TEC1-12708.pdf> (Erişim tarihi:22.10.2009).

EKLER

EK 1. TEC-12708'İN PERFORMANS VE ÜRETİM ÖZELLİKLERİ



**Thermoelectric
Cooler**

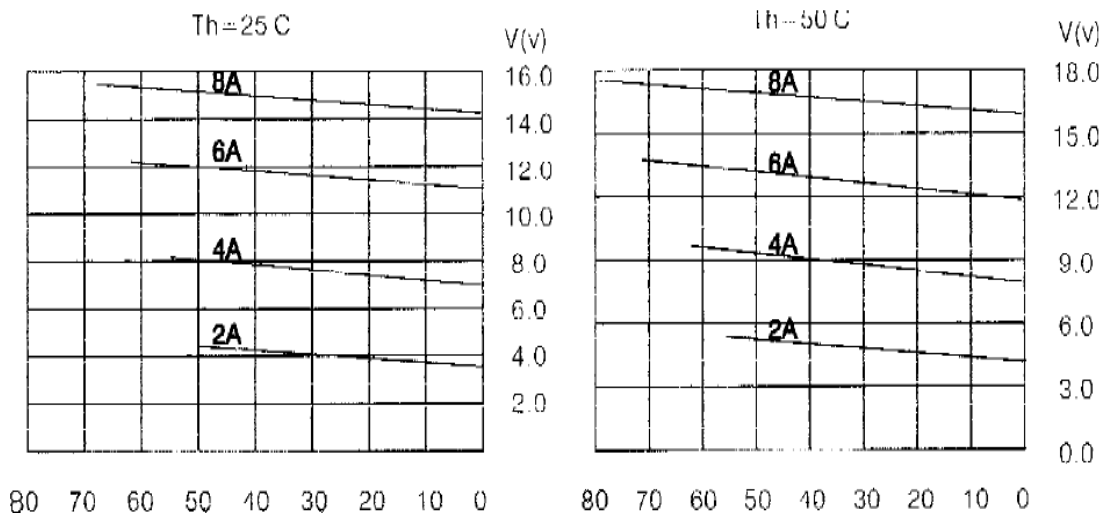
TEC1-12708

Performance Specifications

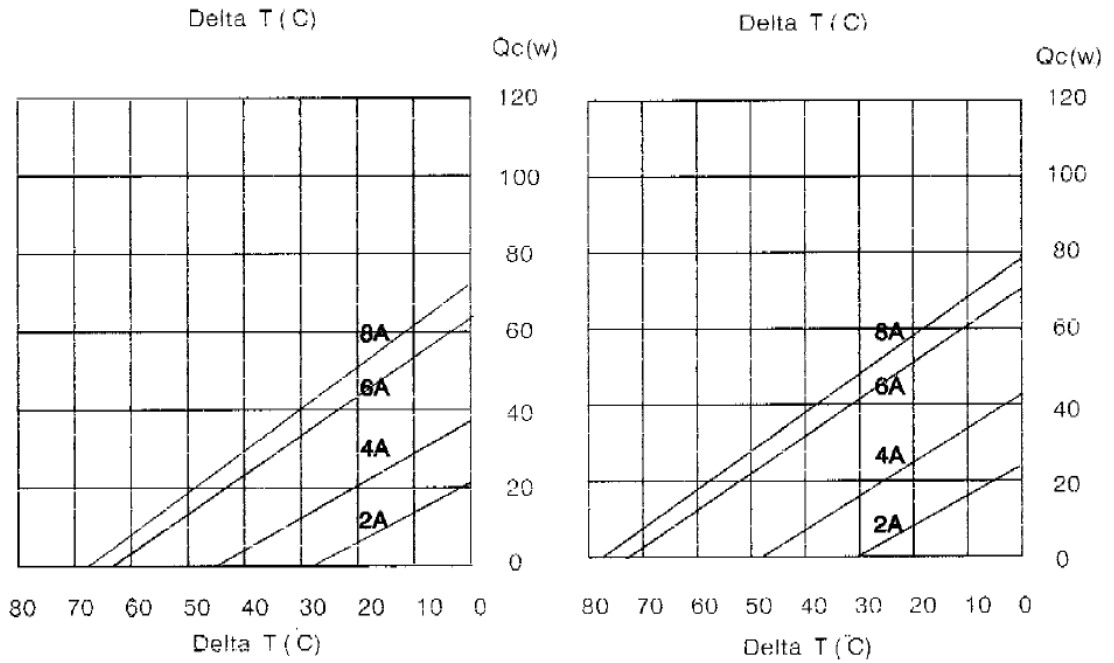
Hot Side Temperature (° C)	25° C	50° C
Qmax (Watts)	71	79
Delta Tmax (° C)	66	75
I _{max} (Amps)	8.5	8.4
V _{max} (Volts)	15.4	17.5
Module Resistance (Ohms)	1.50	1.80



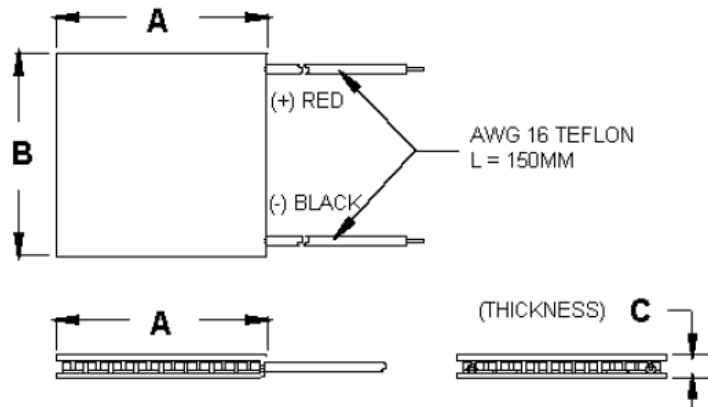
TEC1-12708



EK 1. (Devam)



TEC1-12708



Ceramic Material: Alumina (Al_2O_3)
Solder Construction: 138°C, Bismuth Tin (BiSn)

Size table:

A	B	C			
40	40	3.5			

EK 1. (Devam)

Operating Tips

- Max. Operating Temperature: 138°C
- Do not exceed I_{max} or V_{max} when operating module.
- Life expectancy: 200,000 hours
-
- Please consult HB for moisture protection options (sealing).
- Failure rate based on long time testings: 0.2%.