

**GÜNEŞ PANELİ ÇEŞİTLERİNDEN
POLİKRİSTAL, MONOKRİSTAL VE THİN FİLM
PANELLERİNİN KARABÜK ŞARTLARINDA
VERİMLİLİK KARŞILAŞTIRILMASI**

**2015
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Ümmü Gülsüm ERUZ

**GÜNEŞ PANELİ ÇEŞİTLERİNDEN POLİKRİSTAL, MONOKRİSTAL VE
THİN FİLM PANELLERİNİN KARABÜK ŞARTLARINDA VERİMLİLİK
KARŞILAŞTIRILMASI**

Ümmü Gülsüm ERUZ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında

Yüksek Lisans Tezi

Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK

Haziran 2015

Ümmü Gülsüm ERUZ tarafından hazırlanan "GÜNEŞ PANELİ ÇEŞİTLERİNDEN POLİKRİSTAL, MONOKRİSTAL ve THİN FİLM PANELLERİNİN KARABÜK ŞARTLARINDA VERİMLİLİK KARŞILAŞTIRILMASI" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Tez Danışmanı, Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir. 16/06/2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Prof. Dr. Durmuş KAYA (KBÜ)

Üye : Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Muhammed KAYFECİ (KBÜ)

İmzası



...../...../ 2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Ümmü Gülsüm ERUZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ PANELİ ÇEŞİTLERİNDEN POLİKİRİSTAL, MONOKİRİSTAL VE THİN FİLM PANELLERİNİN KARABÜK ŞARTLARINDA VERİMLİLİK KARŞILAŞTIRILMASI

Ümmü Gülsüm ERUZ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

Haziran 2015, 37 sayfa

Yenilenebilir enerji arayışı son yüzyıl içerisinde oldukça ivme kazanmıştır. Yeni tüketim potansiyellerinin açığa çıkması, nüfus, sanayileşmenin etkisiyle güneş enerjisi oldukça avantajlı bir kaynak olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında; monokristal, polikristal ve thin film fotovoltaik panellerin Karabük şartlarında verimlilikleri incelenmiştir. Araştırma çerçevesinde; gelen ışınım miktarı, akım, gerilim, panelin ürettiği güç parametreleri üzerinden verimler karşılaştırılmış ve sonuca varılmıştır.

Araştırmanın amacı; verim, maliyet analizi çerçevesinde Karabük ve Batı Karadeniz bölgesi için en makul panel tipini belirlemek ve böylece yatırımcılara bilimsel veri

sunmaktır. Uygulamalı ve karşılaştırmalı deney düzeneği yardımıyla verim kayıpları ve gereksiz yatırımların önüne geçilmesi amaçlanmıştır.

Yapılan ölçümler sonucunda her ne kadar gelen ışınımlara bağlı olarak verimler düşük olsa da, güneş tükenmeyen bir kaynaktır. Monokristal panelin teorik olarak % 15 ile % 20 oranında verimi varken, Karabük iklimi şartlarında bu verim % 12 ile % 16 aralığına inmektedir. Polikristal panelin teorik olarak verimleri % 13 ile % 16 iken Karabük iklimi şartlarında bu verim % 21'e kadar artış gözlenmiştir.

Thin Film güneş panelleri laboratuvar şartlarında % 9 ile % 13 arasında verim gözlenirken, deney esnasında Karabük ili sınırlarında sıcaklık 30°C ile 35°C'den fazla olmadığı için verim % 5'in üzerine çıkmamıştır.

Anahtar Sözcükler: Güneş, fotovoltaikler, monokristal, polikristal, thin film, verim.

Bilim Kodu : 914.1.038

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

COMPARISON OF EFFICIENCY FOR TYPES OF SOLAR PANELS MONOCRYSTALLINE, POLYCRYSTALLINE AND THIN FILM PANELS IN KARABUK CONDITIONS

Ümmü Gülsüm ERUZ

**Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Energy Systems Engineers**

Thesis Advisor:

Prof. Dr. Mehmet ÖZKAYMAK

June 2015, 37 pages

Searches for renewable energy sources are increasingly continue in the last century we are living in. Including as a result of new consumption heads, increase in population and industrialization, solar power has become a reasonably advantageous source.

In this thesis, application is focused on three different types of solar panels are used as monocrystalline, polycrystalline and thin film. Efficiencies of panels are examined on May and June in Karabük.

The aim of the research is, in terms of efficiency and cost effects, identify optimum type of solar panel for Karabük and West Black Sea Region and give scientific information invertors in the area. In this applied research, we aimed to avoid

pointless investments by the aid of experiment setup. After efficiency examinations are accomplished experimentally, recommendations are given about increase of efficiency and selection of logical solar panel. In the conditions of lab, monocrystalline solar panel has % 15 and % 20 efficiency. On the other hand with Karabük's weather conditions, this efficiency decrease %12 and % 16. Polycrystalline solar panels has % 13 and % 16 efficiency theoretically, but experimental efficiency was seen % 21. In the condition of lab, thin film solar panel has % 9 and % 13 efficiency, but in Karabük efficiency decreased % 5.

Key Words : Photovoltaics, monocrystalline, polycrystalline, thin film, efficiency.

Science Code : 914.1.038

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım esnasında bana yol gösteren, ilgi ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam Mehmet ÖZKAYMAK'a, ölçümler esnasında yardımlarından dolayı Karabük Üniversitesi tez araştırma arkadaşlarıma, ayrıca hiçbir zaman maddi ve manevi desteğini esirgemeyen Eőim'e ve sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
BÖLÜM 1	1
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	1
BÖLÜM 2	5
GİRİŞ	5
BÖLÜM 3	10
GÜNEŞ PANELLERİ.....	10
3.1. GÜNEŞ PANELLERİNİN TANIMLANMASI	10
3.2. GÜNEŞ HÜCRELERİNİN TARİHÇESİ	11
3.3. FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİ	12
3.4. GÜNEŞ PİLİ ÇEŞİTLERİ	14
3.4.1. Monokristal Güneş Panelleri	16
3.4.2. Polikristal Güneş Panelleri.....	17
3.4.3. Thin Film Güneş Panelleri.....	18
BÖLÜM 4	23
DENEYSEL ÇALIŞMA	23
4.1. MATERYAL VE METOD	23
4.1.1. Araçlar	24

	<u>Sayfa</u>
4.1.2. Araştırma Bulguları	26
BÖLÜM 5	32
SONUÇ VE YORUM	32
KAYNAKLAR	34
ÖZGEÇMİŞ	37

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Türkiye güneş haritası.....	8
Şekil 3.1. Tipik bir silisyum güneş pilinin ön yüzü	10
Şekil 3.2. Fotovoltaik pil teknolojisinin izlediği değişim	12
Şekil 3.3. Solar hücrenin iç yapısı.....	12
Şekil 3.4. Fotovoltaik dönüşüm sistemleri.....	13
Şekil 3.5. Monokristal güneş paneli aşamaları	16
Şekil 3.6. Yansımayı önleyici piramit yapılı tabaka	17
Şekil 3.7. Polikristal güneş paneli üretim safhaları.....	18
Şekil 3.8. Amorf si güneş paneli	21
Şekil 3.9. CdTe ve CuInSe ₂ güneş hücrelerinin işleyişi.....	22
Şekil 4.1. Güneş paneli çalışma sistemi	23
Şekil 4.2. Deney sisteminde kullanılan güneş panelleri.....	25
Şekil 4.3. Deneyde kullanılan ölçüm elemanı.....	26
Şekil 4.4. Polikristal güneş paneli verilerine ait grafik	28
Şekil 4.5. Monokristal güneş paneli verilerine ait grafik.....	29
Şekil 4.6. Thin film güneş paneli verilerine ait grafik	31

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Türkiye'nin aylara göre güneşlenme süresi	9
Çizelge 4.1. Monokristal ve polikristal panelin datasheet bilgileri.....	24
Çizelge 4.2. Thin film panel datasheet bilgileri	25
Çizelge 4.3. Polikristal güneş panelinde ölçülen veriler	27
Çizelge 4.4. Monokristal güneş panelinde ölçülen veriler	28
Çizelge 4.5. Thin Film güneş panelinde ölçülen veriler	30
Çizelge 4.6. Monokristal, polikristal ve thin film güneş panellerinin aynı ve farklı ışınım şiddetlerinde verim karşılaştırılması.....	31

BÖLÜM 1

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

L. A. Dobrzanski (2010), Bu çalışmada, güneş hücrelerinin temel elektriksel özelliklerini tayin ve fotovoltaik modülün temel elektriksel parametrelerini analiz etmişlerdir. Bunun için birkaç metot kullanılmıştır: 36 monokristal güneş hücresinin akım-gerilim karakteristiklerinin temel elektriksel özelliklerini tayin etmek için bond güneş hücrelerine solf soldering teknik kullanılmış. Fotovoltaik modül 31 tane güneş hücresiyle seri bağlı kısa devre akımından üretilmiştir. Daha yüksek akım ve gerilim seviyelerinde elektrik akımı üreten bir cihaz elde etmek için, güneş hücreleri fotovoltaik modüle bağlandı ve sonrasında dış faktörlerden kaynaklı zararlardan korundu. Güneş hücrelerinin en düşük akıma seri bağlanmasıyla fotovoltaik modülde dalgalı akım elde edilir. Düşük kullanım ücreti ve basit montajı ile fotovoltaik teknoloji mevcut güç kaynaklarının çok üstünde bir yapıya sahiptir. Sonuçta, 36 güneş hücresinden ölçülen akım gerilim karakteristiklerinin temelinde, 31 tanesinin açık devre voltajı 17,58 V, kısa devre akımı 101 mA ve fill faktörü ise ortalama % 61 olarak saptamışlar. Mevcut şartlar göz önüne alındığında, pv modül sonuçları tatmin edici bulmuşlardır.

C. Becker (2013), Bu çalışma polikristal silikon ince film teknolojileri gelişmeleri hakkında bilgi vermektedir. Fabrikasyon olarak yüksek gelir elde etme metodları pv için mükemmel malzeme olduklarını gösterir. Termal katı faz kristalleşme gibi çeşitli poli si ince film güneş hücrelerinin geçen yıllarda araştırılmasından ve üretiminde kullanılan tek teknoloji olmasından bahsedilmekte. Bu çalışmanın ilk kısmında dört farklı polikristal silisyum thin film güneş hücrelerinin teknolojik fabrikasyon metodları karşılaştırılarak, yapısal ve elektriksel özellikleri, hücre performansları konsepti özetlenmektedir. İkinci kısmında ümit verici teknolojiler fabrikasyon süresince daha da detaylandırılmaktadır.

L. A. Dobrzanski (2009), Çalışmanın ana amacı pv modül kurulumu ve temel elektriksel özelliklerinin analizidir. Pv modül 4 adet seri bağlı polikristal silikon hücreden oluşmuş. Soft soldering-yumuşak lehim- teknik ve copper tin strip – bakır döküm- hücrelerin bir araya getirilmesinde kullanılmıştır. Çalışmanın iki önemli sonucu güneş hücrelerinin uygulamasını göstermektedir. İki pv modül monte edilmiş ve elektriksel özellikleri analiz edilmiştir. Yapılan denemelerde görmüşler ki: pv modüller başarılı olarak birer yenilenebilir enerji kaynağıdır. Çakışan birçok güneş hücresi sınırlı enerji üretebilir. Pv modülü akım gerilim talebine, dolum faktörüne göre kurulum yapılabilir. Seri bağlı güneş hücreleri 2 pv modülün edinimine imkân tanır.

L. A. Dobrzanski (2013), Çalışmanın amacı monokristal ve polikristal silikon güneş hücrelerinin elektriksel özelliklerini karşılaştırmaktır. Bu işlem akım gerilim karakteristiklerine ve matematiksel hesaplar doğrultusunda yapılmıştır.

Güneş hücrelerinin aydınlık ve karanlık akım gerilim karakteristikleri solar simülatör pv test solutions company SS150AAA model ile ölçülmüş. Ölçümler standart şartlar altında yapılmış. ($P_{in} = 1000 \text{ W/m}^2$, AM1.5G spectrum, $T = 25^\circ\text{C}$) software SolarLab ve matematiksel hesaplar kullanılarak temel özellikleri görülmüş. Güneş hücrelerinin akım gerilim karakteristikleri hakkındaki bilgi ve parametreler üretimlerinin kalitesi ve gelişimi hakkında bilgi edinmeye olanak tanır. Sonuçlar ve analizler akım gerilim karakteristiklerine göre güneş hücrelerinin de sınıflanmasını sağlar. En iyi verime monokristalde ölçümlerde % 14,95 olarak ulaşmışlar. Hesaplamalar sonucu çıkan verim ise % 14,89. En kötü verime polikristalde ölçümlerde % 12,56 olarak ulaşılmış. Hesaplamalarda ise % 12,60 olarak çıkmış. Sonuç olarak monokristaller polikristallere nisbeten daha yüksek verim ve maksimum güç sahibidir. Dolum faktörü parametresi ise polikristallerde daha iyi durumda olduğunu gözlemişler. Polikristaller daha iyi kalitede analizine varmışlar.

M. Powalla (2007), Bu çalışma CdTe ve CIS modüllerinin temel teknolojisine bir bakış getirmiş. Aynı zamanda teknoloji üretimi kapasiteleri, uzun dönemde modül performansı ve montajı ile ilgili bir araştırma ortaya koymuş. Makaleye göre yarı iletken CdTe ve CIS temelli pv modüller Almanya’da başarıyla yüksek oranlarda üretilmekte. Ticari olarak da pv montajları oldukça uygun. Günümüzde Alman

yasalarının yardımıyla bu başarı hız kazanmaktadır. İnce film CIS ve CdTe modülleri 5 ila 7 yılda verimlerinin % 14'e çıkacağı beklenmekte. Makaleye göre bu modüllerin uzun dönemdeki harika performanslarının yanında düşük maliyetleri mimarları etkilemekte, tüketiciler de şık görünümünden ve kurulumunda memnun kalmaktalar.

F. Kadirgan (2010), Bu çalışmada termal ve elektrik dönüşümlerin teknolojileri, dünyada ve Türkiye'deki durum, İTÜ'deki çalışmalar özetlenmiş. Türkiye'nin yıllık toplam güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı ve güneşlenme süreleri belirtilmiş, fotovoltaik pazarın ve pv pil teknolojisinin aldığı yol gözler önüne serilmiş. Ticari olarak satılan pillerin cinsleri, laboratuvar şartlarında hücre verimleri ve modül halindeki verileri karşılaştırılmış. Pv teknolojinin malzeme çeşidi ve verimi karşılaştırılmış. İTÜ-CSM İşbirliği ile hazırlanan CdS/CdTe güneş pillerinin verimleri ve diğer çalışmalardan bahsedilmiş.

S. Turhan (2012), Bu çalışmada; PV sistemlerin binalarda kullanılmasında performansı etkileyen parametrelerden bahsedilerek, Türkiye ve dünyadaki uygulamalardan seçilen PV sistem örnekleri incelenmiş. Çalışmanın amacı; sistemden maksimum performans elde etmek üzere tasarımcıların en uygun tercihi yapmalarını sağlamaktır. PV panellerin binalarda kullanımında tasarımı etkileyen özellikler: konum, yönlendirme ve yüzey eğim açısı, gölgelenme, panel tipi, bakım ve temizlik, modüllerin arkasında oluşan sıcaklık gibi etmenler ayrı ayrı incelenmiştir. İngiltere ve Türkiye'den seçilmiş PV panel uygulamaları incelenmiş. Bina analiz sonuçlarının performansı etkileyen etmenlerle ilişkilendirilerek bilgi verilmiş. Analiz sonucunda; yıllık güneş enerjisi değeri yüksek bölgeleri tercih eden, doğru eğim açısı ile yerleştirilen, yüksek performanslı hücre teknolojileri ile gerçekleştirilmiş panelleri kullanan, gölgelenme risklerine karşı önlem alınan, modül arka yüzeyinde havalandırma sağlanan, kullanım sürecinde yüzey temizliğine dikkat edilen uygulamalarda PV panellerden maksimum performans elde edildiği görülmüş.

A. Kabul ve F. Duran (2014), Bu çalışmanın amacı, güneş enerjisinden elektrik üretimi esnasında panel sıcaklığının artması sonucu azalan verimi, paneli su ile soğutarak artırmak. Bu amaçla yapılan deneysel çalışmada, PV panelin arka

yüzeyine yerleştirilen borular içerisinde geçirilen su ile panel yüzeyinde soğutma sağlanmış. Panelin ısısını alarak sıcaklığı artan su, bir depo içerisinde dolaştırılarak bünyesindeki ısıyı depodaki suya aktarmakta. Bu şekilde panelin soğutmasıyla hem PV/T sistemin verimi artırılmış hem de sıcak su temin edilmiş olmuştur. Deney sonuçlarına göre, soğutmalı ve soğutmasız paneller karşılaştırıldığında, sistemin soğutulmasıyla elektrik üretiminde yaklaşık % 35'lik güç artışı ve % 7'lik bir verim artışı elde edilmiştir. Isparta ilinde yapılan deneyler, sistemin ilk olarak yaz aylarında çalışacağı düşünüldükten sonra Isparta ilinin enlemi açısı olan 37°'de daha sonra yıl boyunca çalışacağı dikkate alınarak 33°'de yapılmıştır. Panel açısının düşürülmesiyle güç üretiminde yaklaşık olarak % 3'lük azalma meydana gelmiştir. Deneysel çalışmalarda soğutma için 0,16 kg/s ve 0,33 kg/s olmak üzere iki farklı kütleli debide kullanılmıştır ve beklenildiği gibi 0,33 kg/s debideki soğutma işlemi, 0,16 kg/s 'daki soğutma işlemine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. Soğutma suyu debisinin azaltılmasıyla güç üretiminde ortalama % 3,3 'lük azalma meydana gelmiştir. Sonuç olarak deneyi yapan ekip, soğutma işleminin yapılmasıyla güç üretiminde yaklaşık olarak % 30'lük artış sağlamış ve bu sayede verim artışına paralel olarak kullanım amaçlı sıcak su elde edilmiştir.

BÖLÜM 2

GİRİŞ

Enerji, maddenin temelidir. Birçok biçime girebilir ve en yaygın tanımı: Bir sistemin iş yapabilme kapasitesidir.

Enerjinin üç temel formülü vardır. Bunlar:

$E = Fd \rightarrow 1$ joule enerjisi olan bir madde 1 metreyi 1 newton kuvvet ile gidebilir.

$E = mc^2 \rightarrow 1$ kg kütlesi olan bir maddenin ışık hızının karesinin sayısal değeri kadar (joule) enerjisi vardır.

$E = Pt \rightarrow 1$ joule enerjisi olan bir madde, 1 saniye boyunca 1 watt'lık güç uygulayabilir.

Enerjinin çok kıymetli oluşu ve tüm bilim dallarına konu oluşunun sebebi korunma özelliğidir. Termodinamiğin 1.yasası enerji korunumuna göre enerji, yoktan var edilemez ve varken yok edilemez. Ancak farklı formlara dönüşebilir. Bunun en güzel örneğini yenilenebilir enerji adımlarıyla görmekteyiz.

Gelişen sanayi ve teknolojiyle, insanların yaşam konforunun artmasıyla enerji, hayatın en temel parçası olmuştur. Halen dünyada kullanılmakta olan enerjilerin %90'ı fosil tabanlı dönüşümsüz (konvansiyonel) enerji kaynaklarıdır. Bu enerji kaynaklarının başlıcaları kömür, petrol ve doğalgazdır. Fosil kaynaklı enerjiler sonsuz değildir ve bir gün tükenecekleri sabit bir gerçektir. Bu gerçekten anlaşılabilir ki, fosil kaynakların çalışma prensibi üzerine kurulu birçok teknolojik sistem de çalışamaz hale gelecektir. Bunun sonuçları da bütün dünya ekonomisini etkileyecek kadar büyük olabilecektir (Çelik 2002).

Bunun dışında diğere önemli bir nokta ise, fosil kaynaklı enerjilerin oluşturduğu çevresel kirlenmedir. Dünya üzerinde yaşanan çevresel sorunların önemli bir kısmı fosil kaynakların tüketilmesi sonucu oluşmaktadır. Bu sonuç bağlamında ortaya çıkan zararlı gazlar hem çevre kirliliği oluşturmakta hem de insan sağlığına zarar vermektedir. Bu etkilerinin dışında küresel ısınma, suların ve toprağın kirlenmesi, bitki örtüsünün zarar görmesi, asit yağmurları, çölleşme ve biyolojik çeşitlilikte azalmalar gibi etkileri de bilinmektedir. Ekolojik dengeyi bozan bu olayların ana sebebi fosil kaynak yakıtlarının büyük miktarlarda kullanılmasıdır (Sayın ve Koç, 2011).

Hızla artan dünya nüfusunun getirdiği enerji ihtiyacı açığı, insanları yeni enerji kaynakları arayışına itmiştir. Bu noktada yenilenebilir enerji sahası, mali avantajları ve sınırsız kaynak teşkil etmesiyle göze çarpmaktadır. Bu alternatif enerji kaynakları ise, doğada var olan temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu enerjiler güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrojen, biokütle, hidroelektrik (su gücü) ve deniz-dalga enerjileri başlıkları altında toplanabilir.

Bu enerji kaynaklarının kendini yenileyebilir özellikte olmaları, ekonomik olmaları ve çevreye çok az zarar vermeleri, gelişmiş ülkelerin bu tür kaynaklara yatırım yapmalarını sağlamış ve teknolojilerinin hızla gelişmesine neden olmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının, enerji tüketilen her yerde kullanılmasının gelecekte bir zorunluluk haline gelmesi beklenmektedir.

Toplumların kalkınmasının başlıca unsurlarından biri olan enerjinin temiz, güvenilir ve ekonomik bir şekilde temin edilmesinin devletler tarafından vazgeçilmez bir enerji politikası olarak benimsenmesidir.

Bugün, enerji sorunu her ülkenin yaşadığı bağımsız bir sıkıntı olmaktan çıkmış küresel bir sorun haline almıştır. Halen devam etmekte olan savaşlar ve işgaller de küresel enerji sorununun insanlara yansımalarıdır. Enerji yalnızca insanların temel gereksinmelerini karşılayan bir ihtiyaç iken, artık uluslararası politikaları yönlendiren bir araç haline gelmiştir. Enerji günümüzde bütün dünyanın en önemli sorunlarından birisidir. Enerji ihtiyacı gün geçtikçe birçok nedenden dolayı artmakta ve üretim-

tüketim arasındaki fark da gün geçtikçe açılmaktadır. Bugün, enerji sorunu her ülkenin yaşadığı bağımsız bir sıkıntı olmaktan çıkmış küresel bir sorun haline almıştır. Halen devam etmekte olan savaşlar ve işgaller de küresel enerji sorununun insanlara yansımalarıdır. Enerji yalnızca insanların temel gereksinmelerini karşılayan bir ihtiyaç iken, artık uluslararası politikaları yönlendiren bir araç haline gelmiştir (Sayın ve Koç, 2011).

Dünyanın en önemli kaynağı güneştir. Güneş; H ve He gazlarından oluşan, enerjisi bol, devamlı yenilenebilir üstelik bedava bir ısı, ışık kaynağıdır. Güneş 6000 °C sıcaklığında siyah bir kütleye eşdeğer bir radyasyon kaynağıdır. Merkezde ise 20 milyon °C'yi bulur. Güneşteki yüksek sıcaklık ile elektronlar çekirdeklerine ayrılır. Bu yüzden güneşte atom ve molekül değil; serbest elektron ve atom çekirdekleri bulunur. Bu karışım “plazma” haldir. Güneş içi yakıtı H, ürünü He olan koca bir fırındır. Oluşan He miktarı harcanan H miktarından azdır. (4H→1He) Aradaki fark ise güneşten ışın (ısı ve ışık) olarak çıkan enerjiyi (radyasyonu) verir. Güneş dünyadan yaklaşık 150 milyon km uzakta bulunur. Dünya, hem kendi çevresinde döner, hem de güneş çevresinde eliptik bir yörüngede döner. Dünyanın kendi etrafında dönmesi ile gece ve gündüz oluşur. Diğer taraftan, dünyanın güneş çevresinde dönmesi ile mevsimler oluşur. Bu nedenle, güneşten dünyaya gelen enerji miktarı günlük ve mevsimsel olarak değişir (Erkul, 2010).

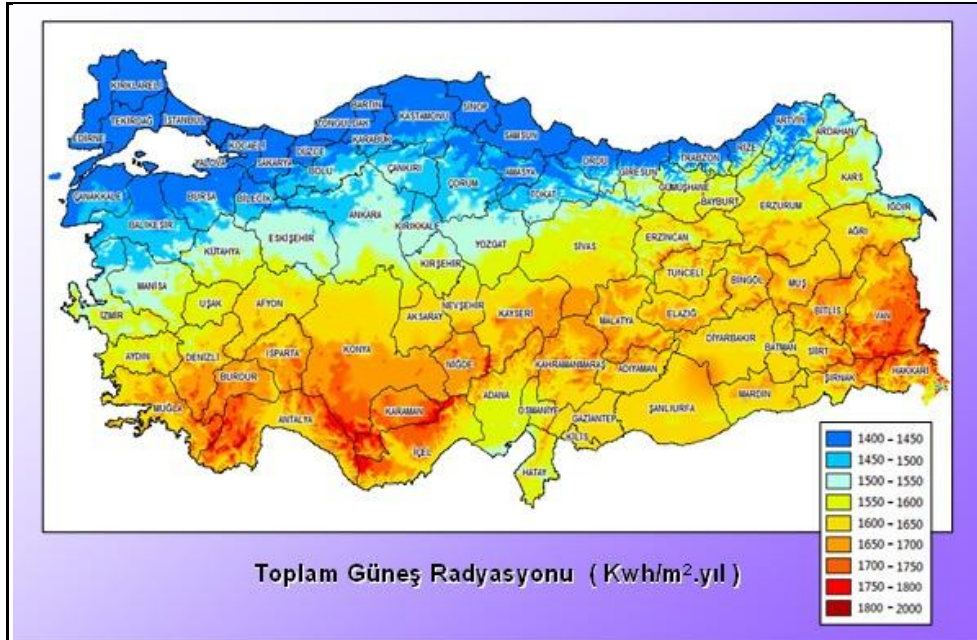
Güneşin enerji akı yoğunluğu 1350 W/m^2 olarak bilinmektedir. Dünya'ya düşen güneş ışınlarının yaklaşık % 30'u geri yansıdığından, Dünya'nın yıllık olarak Güneş'ten aldığı enerji 700×10^{11} MWh mertebesindedir. Bu enerjinin yaklaşık binde biri fotosentez yoluyla bitkilerde depolanır, kalan enerji ısıya dönüşerek çeşitli atmosferik olayları oluşturur.

Dünya'ya düşen Güneş enerjisi, Dünya enerji tüketiminin en az yirmi bin katına eşittir. Demek ki, Güneş'in bize gönderdiği enerjinin çok ufak bir kısmını bize faydalı enerji türlerine dönüştürebilsek, nükleer enerji gibi riskli kaynaklara başvurmadan veya fosil yakıtları ile çevremizi kirletmeden Dünya'nın enerji sorununu çözülebilir.

Güneş enerjisini faydalı enerji türlerine çevirmek için pasif toplayıcılar, tuz gölleri, odaklanmış aynalar ve benzeri birçok yöntem var ise de, bunların içinde güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren fotovoltaik güneş pilleri uygulama alanı en geniş olan ve gelecek için en çok ümit veren yöntemdir.

Ülkemizin coğrafi konumu ekvatora yakın olması sebebiyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre avantajlı durumdadır (Buldum, 2008). Ülkemizdeki mevcut cazip güneş enerjisi potansiyeline rağmen güneş enerjisine yeterli düzeyde önem verilmemektedir. Avrupa'daki güneş enerjisi profili ülkemizden çok daha zayıf olmasına rağmen temiz enerji duyarlılığı ve ekonomik avantaj sayesinde her çatıda bir fotovoltaik panel göze çarpmaktadır.

Ülkemizde, yenilenebilir kaynaklar açısından iyi bir potansiyel bulunmaktadır. Yapılan ölçümlere göre, ülkemizin % 63'ünde 10 ay, %17'sinde ise 1 yıl boyunca güneş enerjisinden yararlanmak mümkündür (Buldum, 2008). Aşağıdaki şekilde Türkiye'nin güneş haritasına bir bakış mevcuttur. Şehirlere göre toplam güneş radyasyonu belirtilmiştir.



Şekil 2.1. Türkiye güneş haritası (www.eie.gov.tr, 2015).

Harita verileri, şehir merkezlerine kurulmuş çevresel yapı ve engelleyiciler ile kaplanmış meteoroloji istasyonlarının verileridir. Meteorolojik anlamda verileri doğru olabilir ama enerji planlaması açısından eksiklikler içermektedir. Buna ilave olarak haritadaki temel problemlerden birisi haritanın dayandığı ölçüm verilerinin belirli istasyonlarla sınırlı olması ve diğer noktalara veri taşınımında hatalar oluşmasıdır.

Güneşten dünyaya saniyede yaklaşık olarak 170 milyon MW enerji gelmektedir. Türkiye'nin yıllık enerji üretiminin 100 milyon MW olduğu düşünülürse bir saniyede dünyaya gelen güneş enerjisi, Türkiye'nin enerji üretiminin 1.700 katıdır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğünde (DM) mevcut bulunan 1966-1982 yıllarında ölçülen güneşlenme süresi ve ısıtım şiddeti verilerinden yararlanarak Elektrik İşleri Etüt idaresi (EİE) tarafından bir çalışma yapılmıştır (2005). Buna göre; Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ısıtım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Türkiye, 110 gün gibi yüksek bir güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve gerekli yatırımların yapılması halinde Türkiye yılda birim metre karesinden ortalama olarak 1100 kWh'lik güneş enerjisi üretebilir (www.eie.gov.tr, 2015). Türkiye güneş enerji potansiyeli ve güneşlenme süresi değerleri aylara göre dağılımı aşağıda Çizelge 2.1.'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Türkiye'nin aylara göre güneşlenme süresi (www.eie.gov.tr, 2015).

Aylar	Aylık Toplam Güneş Enerjisi		Güneşlenme Süresi Saat/Ay
	(Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	
Ocak	4,45	51,75	103
Şubat	5,44	63,27	155
Mart	8,31	96,65	165
Nisan	10,51	122,23	197
Mayıs	13,23	153,86	273
Haziran	14,51	168,75	325
Temmuz	15,08	175,38	365
Ağustos	13,62	158,40	343
Eylül	10,60	123,28	280
Ekim	7,73	89,90	214
Kasım	5,23	60,82	157
Aralık	4,03	46,87	103
Toplam	112,74	1311,00	2640
Ortalama	308 cal/cm ² -gün	3.6 kWh/m ² -gün	7.2 saat/gün

BÖLÜM 3

GÜNEŞ PANELLERİ

3.1. GÜNEŞ PANELLERİNİN TANIMLANMASI

Güneş panelleri (fotovoltaikler) üzerine güneş ışınları düştüğünde doğrudan doğruya elektrik enerjisi üretebilen yapılardır. Yunanca, ışık anlamına gelen “photo” ve elektrik akımını geliştiren makineyi tasarlayan Alessandra Volt’tan esinlenerek voltaj anlamına gelen “voltaic” kelimelerinin birleşmesinden türetilmiştir. Kısaca PV olarak adlandırılırlar. Sistemin en küçük birimi güneş hücreleridir. Hücreler yarı iletken malzemelerden meydana gelir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş pillerinin alanları genellikle 100 cm² civarında, kalınlıkları ise 0.2 ile 0.4 mm arasındadır. Şekilde tipik bir silisyum güneş pilinin ön yüzü örnek olarak alınmıştır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Tipik bir silisyum güneş pilinin ön yüzü.

Silisyum, amorf silisyum, kadmiyum tellür (CdTe), bakır indiyum selenoid (CIS), bakır indiyum galyum selenoid (CIGS) gibi element ve bileşikler güneş pillerinde sık kullanılır. Yarı iletken malzemenin güneş pili olarak çalışması; hücrenin ara yüzüne gelen ışık fotonlarının elektron sökmesi ve bu elektronların dış çevrede hareketi esasına dayanır.

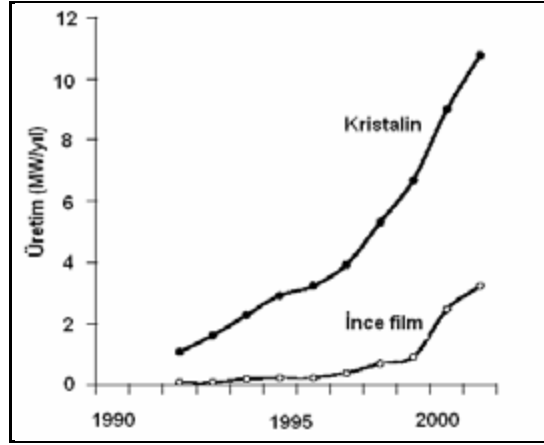
Güneş hücrelerinin güç çıkışını arttırmak için çok sayıda hücre seri ya da paralel bağlanarak ‘modül’, modüller birleştirilerek ‘panel’ ve paneller birleştirilerek ‘dizi’ elde edilir.

3.2. GÜNEŞ HÜCRELERİNİN TARİHÇESİ

Becquerel 1839 yılında elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğu gözlemleyerek Fotovoltaik olayını bulmuştur. Katı cisimlerde ise benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafında gösterilmiştir. 1914 yılında fotovoltaik gözelerin verimliliği % 1, değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik gözeler ilk kez Chapin, Fuller ve Pearson tarafından 1954 yılında silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir (Wolf, 1972).

Fotovoltaik güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi takip eden yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır. Fotovoltaik güç sistemleri 1960’ların başından beri uzay çalışmalarının güvenilir kaynağı olmayı sürdürmektedir. (Ismael, 2012).

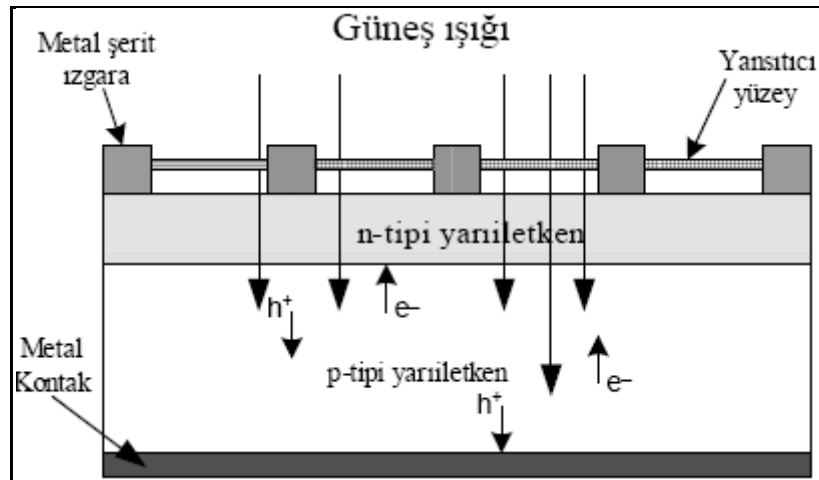
Güneş pillerinin yeryüzünde de elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik çalışmalar 1954’lerde başlamıştır. Bir yandan uzay çalışmalarında kendini ispatlamış silikon kristaline dayalı güneş pillerinin verimliliğini artırma çabaları mevcuttur. Öte yandan alternatif olmak üzere çok daha az yarı iletken malzemeye gerek duyulan ve bu neden ile daha ucuza üretilebilecek ince film güneş pilleri üzerindeki çalışmalara hız verilmiştir.



Şekil 3.2 Fotovoltaik pil teknolojisinin izlediği değişim.

3.3. FOTOVOLTAİK TEKNOLOJİ

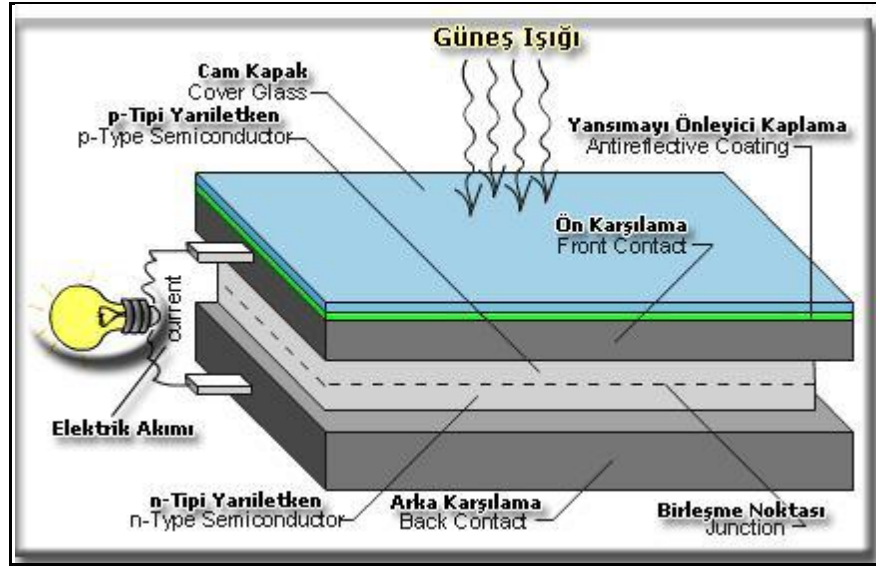
Fotovoltaik hücreler, güneş ışınlarının yarıiletken malzeme üzerindeki etkisi sonucunda elektrik üretirler. Fotovoltaik panellerin yapımında en çok kullanılan yarı iletken malzemeler kabaca silisyum ve silisyum alaşımlarıdır (Haouari ve Merbah, 2005). Şekilde güneş panelinde kullanılan hücrelerin iç yapısına ait görüntü verilmiştir.



Şekil 3.3. Solar hücrenin iç yapısı.

Güneş pillerinin çalışması; fotovoltaik ilkeye dayanır. Levhaları üzerine ışık düştüğü zaman, uçları arasında elektrik gerilimi oluşur. Bir dış devreye bağlanırlarsa devreden akım geçer. Güç talebine bağlı olarak, modüller birbirlerine seri ya da

paralel bağlanarak; bir kaç watt'tan megawatt'lara ulaşabilen sistemler oluşturulabilir. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde ve jeneratöre yakıt taşımının zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılabilirler. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür.



Şekil 3.4 Fotovoltaik dönüşüm sistemleri.

Yarı iletkenlerde ve yalıtkanlarda değerlik elektronlarının bulunduğu enerji düzeyi ile bu elektronların bulunabileceği bir sonraki enerji düzeyi arasında bulunan enerji düzeyleri, elektronların bulunmasının yasak olduğu enerjilerdir. Değerlik elektronlarının bulunduğu enerji bandında “değerlik bandı” ve yasak enerji aralığından sonra elektronların bulunabileceği ilk enerji düzeylerinden başlayan enerji bandına da “iletkenlik bandı” adı verilir. Yasak enerji aralığının büyüklüğü, maddenin yarı-iletken ya da yalıtkan olarak sınıflandırılmasının ölçüsüdür. Güneş ışınımında enerji taşıma birimleri olarak tanımladığımız fotonların enerjisi, yasak enerji aralığına eşit ya da ondan büyük ise, değerlik bandındaki bir elektrona enerjisini aktararak onu iletken bandına çıkarır. Yasak enerji aralığı 2,5 eV (elektron volt) değerinden daha büyük ise madde yalıtkandır. Güneş spektrumunda enerji 2,5 eV (dalga boyu 0,5 μ m) değerinden daha büyük olan bölgedeki güneş ışınlarının tutarı çok az olduğundan, bu tür malzeme de fotovoltaik çevrimde soğurucu tabaka olarak kullanılmaya uygun değildir. Anlaşıldığı üzere kullanılan malzemenin

yarıiletken olmasının sebebi; güneş ışığını soğuran, yasak enerji aralığı güneş spektrumu ile uyumlu çalışabilen ve elektrik yüklerinin birbirinden uzaklaşmasına izin verebilecek kadar uzun bant genişliğine sahip olmasıdır.

Fotovoltaik olay, iki aşamada meydana gelir. Bunlar, birer taşıyıcı yük çifti olan elektron-boşluk çiftinin oluşturulması, ardından da bu yük çiftlerinin birbirinden ayrılmasıdır (Köse, 1986).

Fotovoltaik bir güneş pili yapımı; herhangi bir yarıiletkende n-tipi ve p-tipi bölgeler oluşturularak gerçekleştirilebilir. Oluşturulan bu n-tipi ve p-tipi bölgelerin geçiş bölgesindeki p-n eklemi kesiminde, bir elektrik alanı kurulur. Bu bölgede oluşan elektrik alan, yapısal elektrik alan (Eyap) olarak isimlendirilmektedir. Yarıiletken eklemin güneş pili olarak çalışması için eklem bölgesinde fotovoltaik dönüşümün sağlanması gerekir. Bu dönüşüm iki aşamada olur. Önce eklem bölgesine ışık düşürülerek, elektron-boşluk çiftleri oluşturulur. Sonra bunlar, oluşan elektrik alan yardımıyla bir birlerinden ayrılır (Küpeli, 2005).

3.4. GÜNEŞ PİLİ ÇEŞİTLERİ

Günümüzde fotovoltaik pil teknolojisi, kullanılan maddeler ve yapım türleri açısından son derece gelişmiştir. Güneş pili yapımında onlarca malzeme kullanılmakta ve kullanımı yaygınlaştırmak için yüzlerce malzeme laboratuvar şartlarında araştırma geliştirmeye tabi tutulmaktadır. Fotovoltaik pil için malzeme seçimi üretilen güneş pillerinin hem ekonomik, hem de yüksek verimli olması açısından büyük önem taşımaktadır.

Silisyum, güneş pili üretiminde en yaygın kullanılan malzemedir. Güneş pili; mono-polikristal veya tabakadan elde edilebilir. Dilimlenmiş kalın kristal malzemedenden veya bir taşıyıcı üzerinde oluşturulmuş çoklu kristal veya ince film tabakalarından üretilmektedir. Güneş pili üretiminde kullanılan başlıca malzemeler şunlardır: (Küpeli, 2005).

- ✓ Kalın kristal malzeme: Kristal silisyum, galyum arsenik (GaAs).
- ✓ İnce film malzeme: Amorf silisyum, kadmiyum sülfür (CdS), kadmiyum tellür (CdTe), bakır indium diselenoid (CuInSe₂).

Elektronik sanayisinde çok büyük bir yeri olan silisyum (Si), güneş pillerinde en çok tercih edilen malzemedir. Silisyumun özelliklerinin uzun süre değişmemesi ve silisyum üretim teknolojisindeki ilerlemeler ve doğada bol bulunması bu malzemeyi oldukça popüler kılmaktadır.

Oksijenden sonra yeryüzünde en çok bulunan element olan silisyum, doğada kum (SiO₂) ve kuartz yapısında bulunur. Kumun saflık derecesi çok düşük olduğundan teknik olarak kullanılmaya uygun değildir. Ancak kuartzın %90'ı silisyumdur. Kuartz işlenerek %99 silika, ondan da yüksek saflık oranında silisyum elde edilebilir (Oktik, 2001).

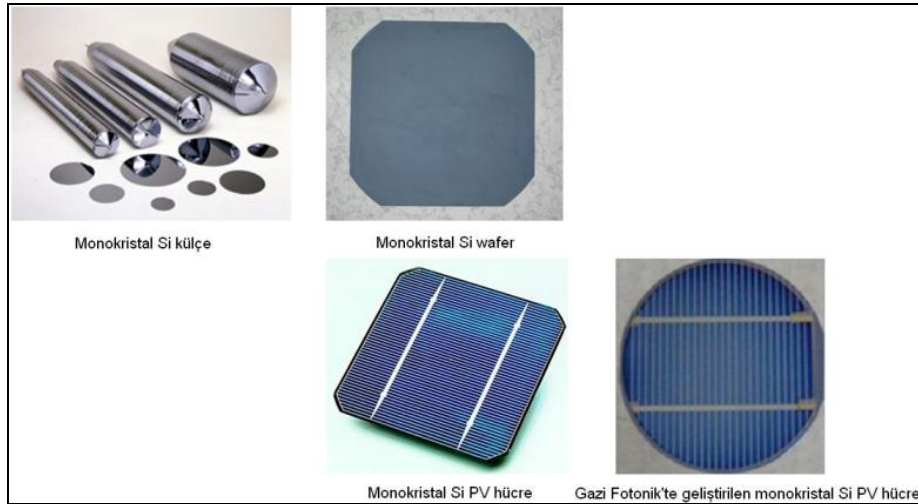
Silisyumun yasak bant aralığı 0 K 'de 1,21 eV, oda sıcaklığında (300 K) 1,12 eV' dir. Silisyum güneş pillerinde bulunan p - n eklemleri, kristalin büyütülmesi sırasında oluşturulur. Kristal büyütme işleminde kullanılan yöntemler: kimyasal buharlaştırma, Czochralski, yüzdürme ve kesme yöntemleridir. Silisyum kristalinde katkı maddesi olarak kullanılan atomlar: Galyum (Ga), arsenik (As), bor (B), fosfor (P) ve alüminyumdur (Köse, 1986).

Günümüz piyasası faaliyetlerinin büyük bölümünün monokristal silisyum yarıiletken malzeme üretimine yönelik olması, teknolojik olarak monokristal yarıiletken malzeme üretim tekniklerinin gelişmiş olması sonucunu doğurmuştur. Ancak yüksek verim elde edilmesini sağlayacak sistemlerin tasarlanma ve araştırma çalışmaları halen sürdürülmektedir. Saf tek kristal üretimi oldukça zor ve pahalı bir teknolojiyi gerektirmektedir. Bunu izleyen aşamada ise silisyum saflaştırılarak, yarıiletken niteliğinde çok kristalli silisyum elde edilir. Polikristal silisyum elde edilmesine kadar olan aşamaların her birisi, oldukça enerji gerektiren ve maliyeti yükselten işlemlerdir.

3.4.1. Monokristal Güneş Panelleri

İlk ticari güneş pilleridir. Kristal çekme yöntemi ile büyütülen tek kristal yapılı silisyum kullanılır. Pazarın oldukça büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Ancak üretim maliyetinin yüksek olması diğer pillere yönelimi arttırmıştır. Verimi oldukça yüksektir.

Çekirdekler, çok düşük hızla ergimiş silisyum banyosundan çekilirler. Böylece tek kristalli tabakanın büyümesi sağlanır. Yaklaşık olarak 0,5 mm kalınlığında üretilirler. Pillerin üretiminde malzeme kaybının olması bu pillerin bir dezavantajıdır. Renkleri koyu mavi olup yaklaşık olarak ağırlığı 10 gramdan azdır. Şekilde oluşum aşamaları gösterilmiştir.

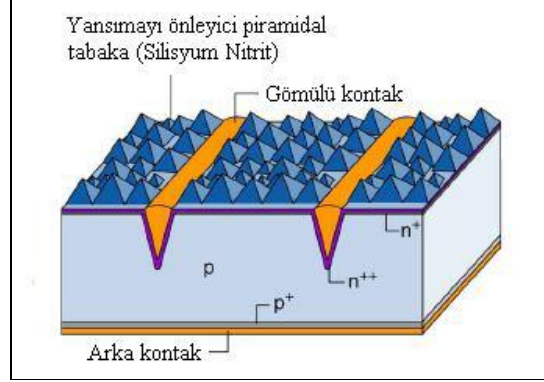


Şekil 3.5. Monokristal güneş paneli aşamaları.

Monokristal silisyum güneş pili üst yüzeyinde ön kontaklar bulundurur. Ön kontaklar bakırdan üretilip, pilin ürettiği akımı toplarlar. Pilin ön yüzeyi ışığı maksimum seviyede yakalamak için piramid, konik şekillerde bulunur.

Kontakların altında yaklaşık 150 mm kalınlığında, yansıtıcı özelliği olmayan, ışığın büyük oranda soğuran bir kaplama tabakası vardır. Bu tabaka olmazsa; silisyum, üzerine düşen ışınım miktarının çoğu geri yansıtacaktır ve bu da pil verimini olumsuz etkiler.

Yansıtıcı olmayan kaplamanın altında, pildeki elektrik akımının olduğu p-n eklemi bulunur. n-bölgesi, pilin negatif tarafını; p-bölgesi ise, pilin pozitif tarafını oluşturur. Pilin arka yüzeyinde, elektronların girdiği pozitif kontak görevi gören arka kontak yer alır.



Şekil 3.6. Yansımayı önleyici piramit yapılı tabaka.

Monokristal ya da polikristal silisyum güneş pilleri, verimlilikleri ve kararlılıkları ile 1950'li yıllardan bu yana dikkat çekicidir. Son yıllarda geliştirilen teknolojiler ile fotovoltaik dönüşüm verimlilikleri ise gitgide arttırılmaktadır.

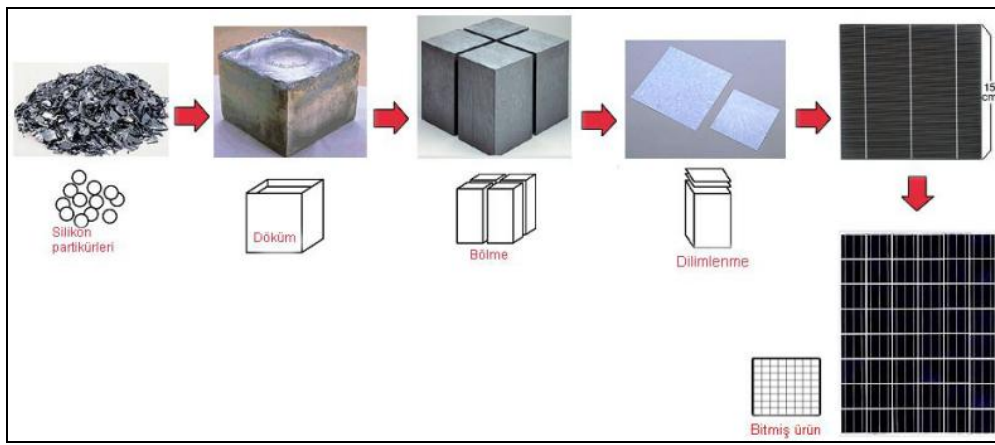
Monokristal silisyum güneş pillerinde laboratuvar şartlarında % 24 verim sağlar. Ticari modüllerde ise % 15 ila 18 arasında değişmektedir. Verimlerinin yüksek oluşundan dolayı uzun vadeli yatırımlarda idealdir. Maliyetini geri ödeme süresi 4-6 yıldır. 20 yıllık bir sürede % 7 verim kayıpları açığa çıkar. Saf kristal gereksinimi yüzünden pahalıdır.

3.4.2. Polikristal Güneş Panelleri

Polikristal silisyumun üretilmesinde en fazla kullanılan yöntem dökme yöntemidir. Monokristal silisyumda da, polikristal silisyumda da başlangıç maddesi aynıdır. Her ikisinde de istenilen saflık aynıdır (% 99.99999). Erimiş durumdaki silisyum, kalıplara dökülerek soğumaya bırakılır. Sonrasında elde edilen yapı şeklindeki gibi, bloklara ayrılır ve böylece döküm tekniği ile polikristal silisyum elde edilmiş olur. Bu teknoloji ile üretilen malzemelerden fabrika edilen güneş pillerinin verimleri ve

maliyetleri nispeten düşük olmaktadır (Oktik, 2001). Bununla birlikte birkaç milimetre tanecik büyüklüğündeki polikristal silisyumdan, verimi % 14 civarında olan güneş pilleri yapılabilir (Engin, 1995).

Elektriksel, optik ve yapısal özellikleri monokristal pillerle aynıdır. Damarların büyüklükleri kristallerin kalitesi ile doğru orantılıdır. Damarlar arasında süreksizlik, özellikle elektriksel yük taşıyıcıların aktarılmasında önemli ölçüde engelleyici rol oynamaktadır.



Şekil 3.7. Polikristal güneş paneli üretim safhaları.

Monokristal ya da polikristal silisyum güneş pilleri, verimlilikleri ve kararlılıkları ile 1950'li yıllardan bu yana dikkat çekicidir. Son yıllarda geliştirilen teknolojiler ile fotovoltaik dönüşüm verimlilikleri ise gitgide arttırılmaktadır. Üretim süreçleri monokristallere göre daha ucuzdur. Polikristal silisyum güneş pillerinden laboratuvar şartlarında % 18, ticari modüllerde ise % 14 civarında verimler elde edilmektedir (Boz, 2011).

İlk yatırım maliyetini geri ödeme süresi 2 ile 4,5 yıl arasındadır.

3.4.3. Thin Film Güneş Panelleri

Thin film güneş pilleri yapımında, ışınları soğurma özelliği üstün olan malzemeler daha ince bir tabaka halinde kullanılır. Örneğin amorf silisyum güneş pillerinin

absorbsiyon katsayısı kristal silisyum güneş pillerinin katsayısından daha fazladır. Dalga boyu katsayısı 0,7 mikrondan küçük bir bölgedeki güneş radyasyonu 1 mikron kalınlığında amorf silisyum ile absorblanabilirken, kristal silisyumda ise aynı radyasyonu absorblamak için 500 mikron kalınlıkta malzeme kullanılması gerekmektedir. Bu yüzden amorf yapılu güneş pillerinde daha az malzeme kullanılır ve montaj kolaylığı nedeniyle bir avantaj sağlar.

Thin film teknolojisinin gelişmesiyle üretim maliyetlerinin düşmesi hedeflenmiştir. Düşük maliyetle üretilmelerine rağmen verimlerin % 7 ila 14 arasında olduğu görülmüştür. Bu da yaygınlaşması önündeki en büyük engeldir. Pazar payının ancak %7'sini teşkil eder. Ancak laboratuvar şartlarında verim artışı üzerinde çalışılmaktadır. Öte yandan uzay ve uydu uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü atmosfer dışındaki verimleri şaşılacak derecede % 28 ile 30 civarındadır (Boz, 2011).

Bu piller Amorf Silisyum (a-Si), Kadmiyum Tellür (CdTe), bakır indium-diselenoid (CuInSe₂), olarak sayılabilir.

3.4.3.1. Amorf Silisyum Güneş Pilleri

Sistematik olarak içyapısı özel bir düzen içermeyen malzemelerdir. Ör: Cam. Bu tarz malzemeler birçok bağlanma hatası içerir, dolayısıyla tam bir kristal yapı düzeninde değildir. Atomların düzenli sıralanmayışı; yasak bant aralığına çok fazla izinli enerji durumu sokarak, birleşme merkezleri oluşmasına sebep olur.

Malzeme içerisindeki yapı taşlarının bu gelişigüzel dizilişi, amorf silisyumun elektriksel iletim kalitesini düşürse de; yarıiletken içerisine % 5 ile 10 oranında hidrojen katılarak, elektriksel özellikleri fotovoltaiik çevrime uygun düzeyde tutulabilir. Hidrojen; doymamış Si bağlarının bazılarını doyurarak, yasak enerji aralığında bulunan izinli durumların sayısını azaltır (Boz, 2011). Bu nedenle, amorf silikon fotovoltaiik hücrelerinin tasarımı, kristal silikon PV hücrelerde kullanılan p-n bağlantı tasarımından oldukça farklıdır. Hidrojenlenmiş A-Si hücreler, aşağıdaki katmanlara sahip olacak şekilde tasarımlanır.

p + üst katman: Kalınlığı çok az (0,008 μm) ve çok katmanlıdır.

Orta Katman: Biraz daha kalındır (0,5-1 μ) ve katkısızdır.

n + Katman: Çok incedir (0,02 μm).

En üst katman, ince ve kısmen geçirgen özellikle tasarımlanır. Böylece, gelen ışınımın çoğu bu katmandan geçerek, elektron boşluk çifti oluşturmak için, katkısız orta katmana ulaşır. En üstteki p + ve en alttaki n + katmanlar, kristal silikon PV hücresinin p-n bağlantısındaki elektrik alanı indüksiyonuna benzer şekilde, orta katmanın tamamında bir elektrik alanı meydana getirirler. A-Si bant boşluk enerjisi, yaklaşık olarak 1,7 eV değerindedir. Bu değer, bant boşluk enerjisi 1,1 eV olan kristal silikonundakinden daha yüksektir. Bir PV hücrenin ürettiği gerilim, onun bant boşluğunun büyüklüğü ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle, A-Si yapılan PV hücrelerin ürettiği gerilim, kristal silikondan yapılan PV hücrelerinininkinden daha yüksektir (Erkul, 2010). Bu tür güneş hücrelerinin laboratuvar verimlerinin % 13 civarında olduğu görülmüştür (Öztürk, 2008).

Amorf silisyum güneş pilleri boyut olarak monokristal ve polikristal panellere göre daha büyük boyutlarda üretilmektedir. Monokristal silikon hücrelere göre, güneş ışınımını 40 kat daha fazla soğurur. Bu durum amorf silisyum güneş hücrelerinin düşük maliyetli olmasını sağlayan önemli bir özelliktir. (Erkul, 2010).

Günümüzde saat, hesap makinesi ve oyuncak gibi küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılmaktadırlar. Amorf silisyum güneş pillerinin, binalara entegre yarı saydam cam yüzeyler olarak, bina dış koruyucusu ve enerji üretici olarak kullanılabileceği tahmin edilmektedir (Boz, 2011).



Şekil 3.8. Amorf si güneş paneli.

3.4.3.2. Kadmiyum Tellür (CdTe) Güneş Pilleri

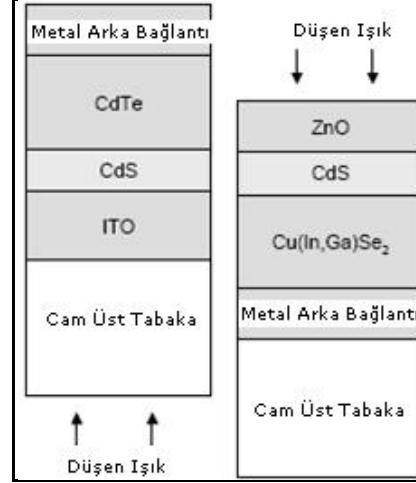
Periyodik tablonun ikinci gurubunda bulunan kadmiyum elementiyile ve altıncı grubundaki tellür elementini bir araya gelmesiyle oluşan IIVI yarıiletken birleşiktir. Kadmiyum tellürün, oda sıcaklığında yasak enerji aralığı, $E_g = 1,5$ eV'tur. Bu değer güneş spekturumundan maksimum güç dönüşümü elde etmek için gerekli olan değere bir hayli yakındır. Aynı zamanda yüksek soğurma katsayısı ve ince film büyütme teknolojisiyle geniş yüzey alanlı güneş pili üretiminde CdTe malzemesi öne çıkmaktadır. CdTe çoğunlukla kadmiyum sülfür CdS, ile bir araya getirilerek heteroeklem diyod üretiminde kullanılır. CdTe güneş pilleri cm^2 'de % 17'lik, 8390 cm^2 'de % 11'lik bir verime ulaşmıştır. Üretim maliyeti düşüktür. Sadece rijit cam ile kullanılabilir (Beyoğlu, 2011).

3.4.3.3. Bakır İndiyum Diselenoid (CuInSe₂) Güneş Pilleri

Periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı guruptan elementlerin üçüncünün ya da daha fazlasının bir araya gelmesi ile oluşan bu bileşik yarı-iletkenlerin soğurma katsayıları oldukça yüksek olup, yasak enerji aralıkları güneşin spekturumu ile ideal bir şekilde uyuşacak biçimde ayarlanabilir. Bakır indiyum ve selenyum dan yapılan üçlü bileşik yarı-iletkenle başlayan bu grup (CIS) güneş pilleri olarak anılır. CdTe güneş pillerine en yakın rakip olarak gözükmektedir.

Günümüzde CIS ince film güneş pillerinin çoğunluğu içerisinde Ga elementinin katılması ile daha yüksek verimlilikler elde edilir. Ancak yarı-iletkeni oluşturan

element sayısı artıkça gereken teknoloji ve malzemenin özelliklerinin denetimi de bir o kadar karmaşık duruma gelmektedir. Laboratuardaki küçük alan pillerin verimliliği % 18'e kadar ulaşırken, 900 cm² yüzey alana sahip modüllerin verimlilikleri ancak % 15 dolayındadır (Ismael, 2012).



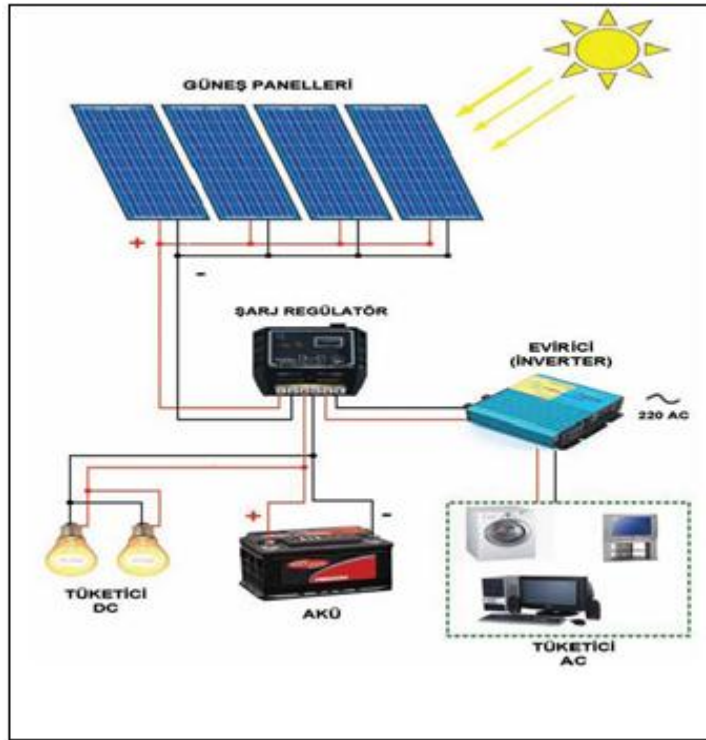
Şekil 3.9. CdTe ve CuInSe₂ güneş hücrelerinin işleyişi.

BÖLÜM 4

DENEYSSEL ÇALIŞMA

4.1. MATERYAL VE METOD

Güneş panellerinin verimleri standart test koşulları altında yani, 1000w/m^2 ışımaya, 25°C sıcaklık ve 1,5 kütle hava oranı (airmass) özellikleri altında saptanır. Ancak normal koşullarda farklı ışım bölgelerinde farklı sıcaklık ve güneş ışını açılarında parametreler sürekli değişir ve verimler fabrika çıktısı şeklinde görülmez. Deney düzeneği Karabük şartlarında monokristal, polikristal ve thin film güneş panellerinin verim tayini için tasarlanmıştır. Şekil 4.1'de güneş paneli çalışma sistemi kabaca görülmektedir.



Şekil 4.1. Güneş paneli çalışma sistemi.

Hangi panel tipinin tercih edilmesi ile ilgili bir takım sonuçlara varabilmek için Karabük şartlarında bu üç panel tipinin elektrik üretim miktarı, verimleri, yatırım geri dönüşleri karşılaştırılmıştır. Ölçümler için DC ölçüm cihazı ile fotovoltaik panellerin çıkışlarındaki akım-gerilim bilgileri ölçülüp kaydedilmiştir. Aynı anda ortamdaki ışınım miktarı da radyasyon ölçüm cihazı ile ölçülüp veriler kaydedilmiştir. Panelin ürettiği güç, panele gelen ışınım ve sistem verimi grafik üzerinde gösterilmiş, yorumlanmıştır. Ardından güneş panellerinin ölçümler sonrası elde edilen değerleri ile fabrika çıkış verileri (STC şartlarında elde edilen datasheet bilgileri) karşılaştırılmıştır.

4.1.1. Araçlar

Paneller: Deney esnasında şekilde görüldüğü gibi polikristal, monokristal ve thin film güneş panelleri kullanılmıştır. Panellerin datasheet bilgileri aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 4.1. Monokristal ve polikristal panelin datasheet bilgileri.

Monokristal / Polikristal Panel Datasheet Bilgileri	
Model	LCS-M250-JA/SI / YL250P-29b
Ölçüler	1650-991-40 (mm)
Ağırlık	19,5 kg
Hücre Sayısı	60 adet
Nominal Güç	250 Watt
Pmax Vmp	30,96 volt / 29,8 volt
Voc	37,92 volt / 37,6 volt
Imp	8,07 amper / 3,39 amper
Idc	8,62 amper / 8,92 amper
Modül Sınıfı	Class A / Class C

Çizelge 4.2. Thin film panel datasheet bilgileri.

Thin Film Panel Datasheet Bilgileri	
Model	WSG0036
Ölçüler	1205-605-6 (mm) 2 adet
Nominal Güç	80 Watt*2 adet
Pmax Vmn	35 volt
Voc	44 volt
Isc	2,5 amper



Şekil 4.2. Deney sisteminde kullanılan güneş panelleri.

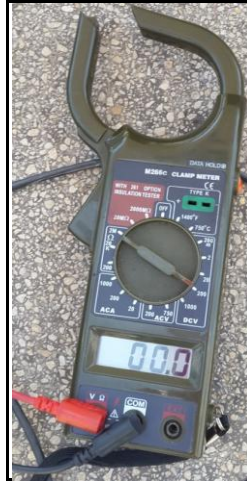
Batarya: Bataryalar üretilen elektrik enerjisini depolamaya yararlar. Kapasiteleri ampersaat (Ah) olarak ifade edilir. Ömürlerini uzun tutmak için kapasitesi % 50'nin altında iken şarj edilmelidir. Verimleri % 90 civarındadır. Güneş olmasa bile peş peşe güneşsiz geçecek günlerde ihtiyacını karşılayacak kadar batarya kapasitesi gereklidir. 3 gün veya daha uzun süreyle arka arkaya güneş olmaması çoğu bölgemizde nispeten çok nadir olduğundan 3. güne de yetecek kadar fazla batarya almak faydasına göre pahalı bir yatırımdır. Bunun yerine şebeke elektriğinin olduğu

yerde 2 gün, olmadığı yerde 3 günlük ihtiyacını depolayacak kadar batarya kullanımı uygun olacaktır.

Depolananın tamamını hatta % 70'inden fazlasını kullanmak bataryanın yapısını kısa zamanda bozmaktadır. Kapasitesi belli batarya hücreleri birbirine bağlanarak daha yüksek kapasiteli bir batarya grubu elde edilebilir. Deneyde iki adet 16 Volt 60 amper (jel tip) akü seri olarak bağlanıp + ve – kutupları şarj kontrol cihazına girişi yapılmıştır. Panelden çıkan + ve – kutuplarda şarj kontrole girişi yapılmıştır.

Şarj kontrol cihazı (MPPT): Güneş panellerinden gelen elektrik enerjisini bataryaya optimum akım-gerilim eşleşmesinde doldurarak panellerden maksimum verimin alınmasını sağlamıştır. Şarj kontrol cihazının kullanım nedeni akü % 100'den fazla şarj edilerek herhangi bir tehlike oluşmasını önlemektir.

Ölçü cihazları: Panellerden gelen akım ve gerilim bilgisini ölçüp ayrı ayrı kaydederek verim konusunda yorum yapmamızı sağlamıştır.



Şekil 4.3. Deneyde kullanılan ölçüm elemanı.

4.1.2. Araştırma Bulguları

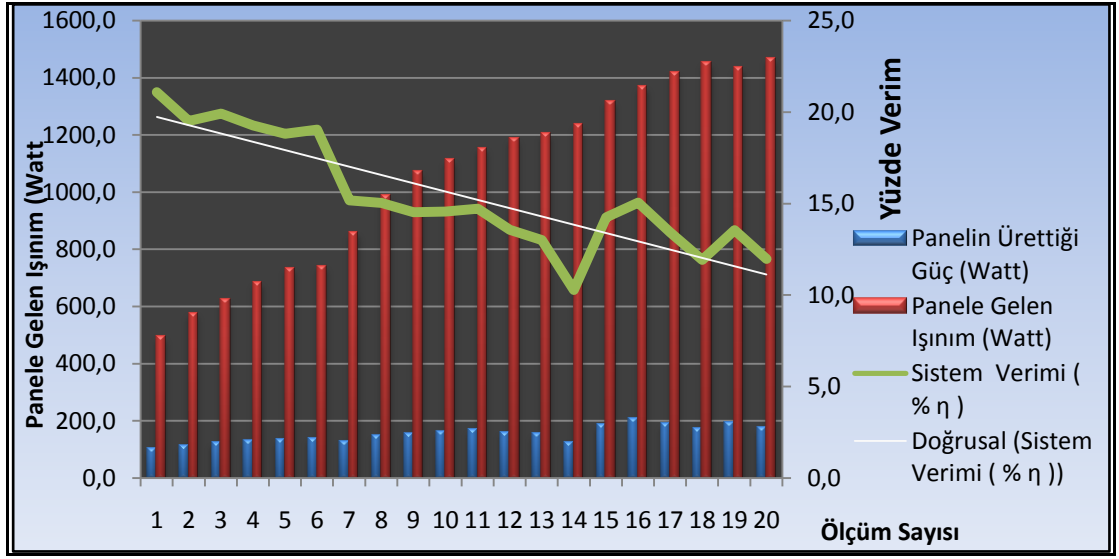
Deney Karabük ilinde 2015 yılı mayıs haziran aylarının farklı günlerinde yapılmış ve güneş ışınım değerleri belli aralıklarla ışınımölçer ile ölçülmüştür.

Polikristal panel için en yüksek güneş ışınım değeri 890 W/m² ölçülmüştür. Gelen ışınım miktarı arttıkça gerilim de buna bağlı olarak artmaktadır. Panele gelen ışınım miktarı üst seviyelere ulaştığında verimin düştüğü gözlenmiştir. Bu verim düşüşünün sebebi ısınmadan kaynaklıdır. Polikristal güneş panelinden ölçülen akım-gerilim, ürettiği güç, panele gelen ışınım ve % verim değerleri aşağıdaki çizelgede görülmektedir. Elde edilen akım ve gerilim değerlerinden anlık güç değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.3. Polikristal güneş panelinde ölçülen veriler.

Gelen Işınım Miktarı (W/m ²)	Akım (A)	Gerilim (V)	Panelin Ürettiği Güç (Watt)	Panele Gelen Işınım (Watt)	Sistem Verimi (% η)
300	4	26,1	104,4	495,0	21,09
350	4,3	26,2	112,7	577,5	19,51
378	4,6	27	124,2	623,7	19,91
415	4,8	27,5	132,0	684,8	19,28
445	5	27,62	138,1	734,3	18,81
450	5,1	27,72	141,4	742,5	19,04
520	4,7	27,71	130,2	858,0	15,18
600	5,1	29,2	148,9	990,0	15,04
650	5,3	29,4	155,8	1072,5	14,53
675	5,5	29,5	162,3	1113,8	14,57
700	5,4	31,5	170,1	1155,0	14,73
720	5,3	30,4	161,1	1188,0	13,56
730	5,5	28,5	156,8	1204,5	13,01
750	4,4	28,9	127,2	1237,5	10,28
800	5,7	33	188,1	1320,0	14,25
830	6,2	33,24	206,1	1369,5	15,05
860	5,6	34	190,4	1419,0	13,42
880	5,2	33,3	173,2	1452,0	11,93
870	5,8	33,53	194,5	1435,5	13,55
890	5,2	33,8	175,8	1468,5	11,97

Polikristal panelden elde edilen veriler doğrultusunda üretilen güç (watt), panele gelen ışınım (watt), sistem verimi ve doğrusal sistem verimi öğelerine dair aşağıdaki grafik elde edilmiştir.



Şekil 4.4. Polikristal güneş paneli verilerine ait grafik.

Monokristal panel için en yüksek güneş ışınım değeri 900 W/m^2 ölçülmüştür. Gelen ışınım miktarı arttıkça akımda artmaktadır. Akımın arttığı durumlarda gerilim de artma eğilimindedir. Akım ile gerilimin çarpılması sonucunda panelin ürettiği güç bulunmuştur. Gelen ışınım ile panelin alanı çarpıldığında ise panele gelen ışınım bulunmuştur. Monokristal güneş panelinden ölçülen akım-gerilim, ürettiği güç, panele gelen ışınım ve % verim değerleri aşağıdaki çizelgede görülmektedir. Elde edilen akım ve gerilim değerlerinden anlık güç değerleri hesaplanmıştır.

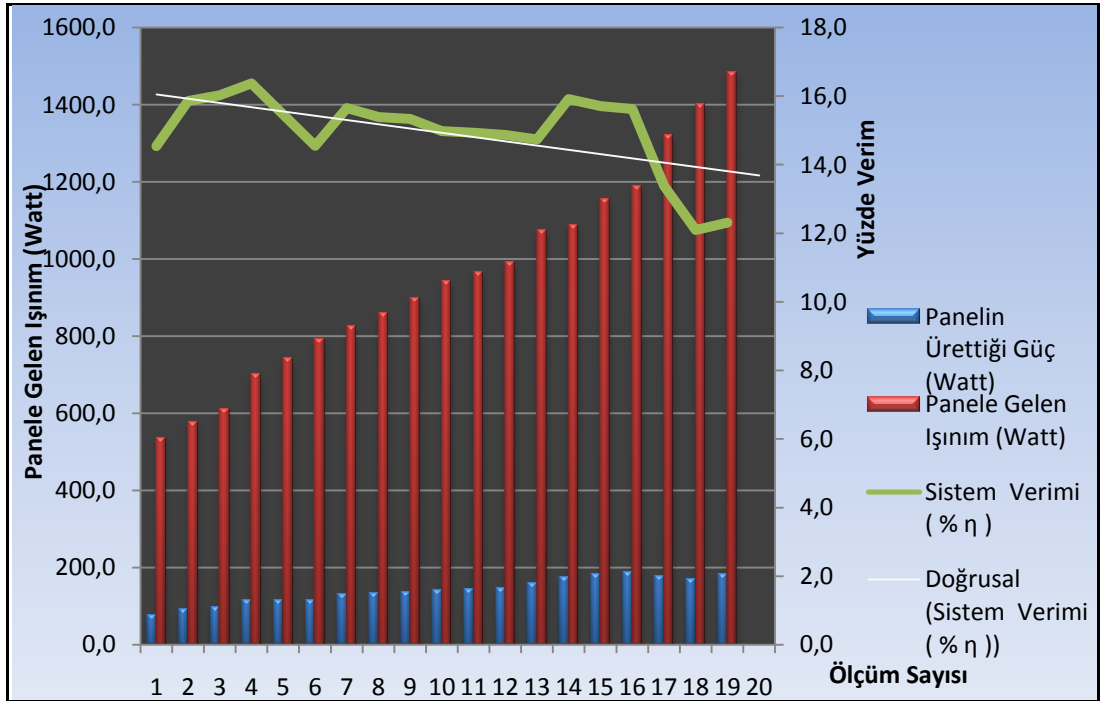
Çizelge 4.4. Monokristal güneş panelinde ölçülen veriler.

Gelen Işınım Miktarı (W/m^2)	Akım (A)	Gerilim (V)	Panelin Ürettiği Güç (Watt)	Panele Gelen Işınım (Watt)	Sistem Verimi (% η)
325	3,1	25,15	78	563,3	14,54
350	3,5	26,17	91,6	577,5	15,86
370	3,7	26,45	97,9	610	16,03
425	4,3	26,7	114,8	701,3	16,37
450	4,3	26,7	114,8	742	15,46
480	4,3	26,8	115,2	792	14,55
500	4,8	26,9	129,1	825	15,65
520	4,9	26,95	132,1	858	15,39
545	5,1	27,04	137,9	899	15,34
570	5,2	27,1	140,9	940,5	14,98

Tablo 4.4. (devam ediyor).

Gelen Işınım Miktarı (W/m ²)	Akım (A)	Gerilim (V)	Panelin Ürettiği Güç (Watt)	Panele Gelen Işınım (Watt)	Sistem Verimi (% η)
585	5,3	27,19	144,1	965.3	14,93
600	5,4	27,25	147,2	990	14,86
650	5,8	27,25	158,1	1072.5	14,74
660	6,2	27,96	173,4	1089	15,92
700	6,4	28,35	181,4	1155	15,71
720	6,5	28,55	185,6	1188	15,62
800	5,7	31	176,7	1320	13,39
850	5,3	32	169,6	1402	12,09
900	6,3	29	182,7	1485	12,30

Monokristal panelden elde edilen veriler doğrultusunda üretilen güç (watt), panele gelen ışınım (watt), sistem verimi ve doğrusal sistem verimi öğelerine dair aşağıdaki grafik elde edilmiştir.



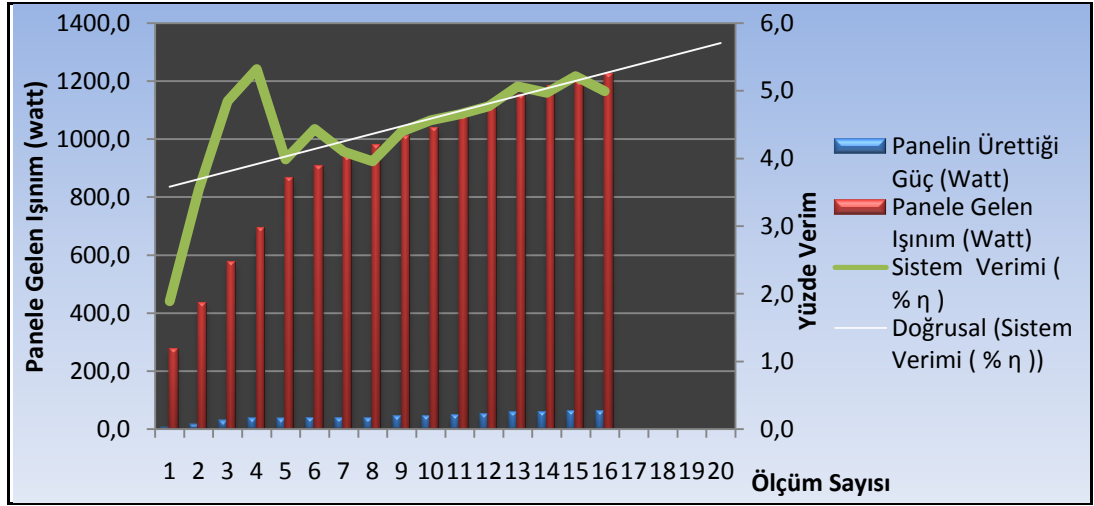
Şekil 4.5. Monokristal güneş paneli verilerine ait grafik.

Thin film panel için en yüksek güneş ışınım değeri 850 W/m² ölçülmüştür. Diğer panel tipleri ile kıyaslayacak olursak verim çok düşüktür. Sıcaklığın 60 °C ile 70°C'lere ulaşılan yerlerde thin film tercih edilir. Bunun nedeni ise ısıya dayanıklı amorf silisyum yapısıdır. Maliyet olarak diğer panellere göre m² fiyatı daha uygundur. Gelen ışınım miktarı arttıkça akımda doğrusal olarak artar. Thin film güneş panelinden ölçülen akım-gerilim, ürettiği güç, panele gelen ışınım ve % verim değerleri aşağıdaki tabloda görülmektedir. Elde edilen akım ve gerilim değerlerinden anlık güç değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5. Thin film güneş panelinde ölçülen veriler.

Gelen Işınım Miktarı (W/m ²)	Akım (A)	Gerilim (V)	Panelin Ürettiği Güç (Watt)	Panele Gelen Işınım (Watt)	Sistem Verimi (% η)
190	0,2	25,8	5,2	273,6	1,89
300	0,6	25,4	15,3	432	3,54
400	1,1	25,5	27,9	576	4,85
480	1,4	26,28	36,8	691,2	5,32
600	1,6	24,6	34,4	864	3,99
630	1,5	25,15	40,2	907,2	4,44
650	1,5	25,6	38,4	936	4,10
680	1,7	25,86	44,4	979	3,96
700	1,8	26,1	47,3	1008	4,40
720	1,9	26,3	50,3	1036	4,57
750	1,9	26,45	53,3	1080	4,65
775	2	26,6	58	1116	4,78
800	2,1	27,8	58,7	1152	5,07
820	2,2	26,7	62,4	1180,8	4,97
830	2,2	28,35	61,2	1195,2	5,22
850	2,3	26,6	62,4	1224	5,00

Thin film panelden elde edilen veriler doğrultusunda üretilen güç (watt), panele gelen ışınım (watt), sistem verimi ve doğrusal sistem verimi öğelerine dair aşağıdaki grafik elde edilmiştir.



Şekil 4.6. Thin film güneş paneli verilerine ait grafik.

Sistemin düzenli kontrol ve bakımları yapılarak her üç sistem için verimin en yüksek değerde tutulması amaçlanmıştır. Panellerin kirlenmesi, verimin düşmesine neden olan en temel faktörlerden biridir, bu nedenle panellerin temiz olmasına özen gösterilmiştir.

Deney esnasında aynı ışınım şiddeti altında üç panel tipinin ayrı ayrı akım, gerilim değerleri ölçülmüştür. Bu veriler doğrultusunda her bir panelin ürettiği güç, panele gelen ışınım ve sistem verimi hesaplanmış, aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Çizelge 4.6. Monokristal, polikristal ve thin film güneş panellerinin aynı ve farklı ışınım şiddetlerinde verim karşılaştırılması.

Panel Türü	Gelen Işınım Miktarı (W/m ²)	Akım (A)	Gerilim (V)	Panelin Ürettiği Güç (Watt)	Panele Gelen Işınım (Watt)	Panelin Ürettiği Güç (W/m ²)	Sistem Verimi (%ηm ²)
Polikristal	350	4,3	26,2	112,7	577,5	68,28	19,51
Monokristal	350	3,5	26,17	91,6	577,5	55,51	15,86
Thin Film	350	0,85	23,45	19,9	504,0	13,84	3,95
Polikristal	600	5,1	29,2	148,9	990,0	90,25	15,04
Monokristal	600	5,4	27,25	147,2	990,0	89,18	14,86
Thin Film	600	1,4	24,6	34,4	864,0	23,92	3,99
Polikristal	800	5,7	33	188,1	1320,0	114,00	14,25
Monokristal	800	5,7	31	176,7	1320,0	107,09	13,39
Thin Film	800	2,1	27,8	58,4	1152,0	40,54	5,07

BÖLÜM 5

SONUÇ VE YORUM

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmenin, basit, çevre dostu olan fotovoltaik sistemlerin araştırılması ve geliştirilmesi, maliyetinin düşürülerek yaygınlaştırılması misyonu uzun yıllar üniversitelerin yüklendiği ve yürüttüğü bir görev olmuş ve bu nedenle kamuoyunda hep laboratuarda kalan bir çalışma olarak kalmıştır. Ancak son yirmi yılda dünya genelinde çevre konusunda duyarlılığın artmasına bağlı olarak kamuoyundan gelen baskı, çok uluslu büyük şirketleri fosile dayalı olmayan yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları konusunda çalışmalar yapmaya zorlamışlardır. Büyük şirketlerin devreye girmesiyle fotovoltaik piller konusundaki teknolojik gelişmeler ve güç sistemlerine artan talep ve buna bağlı olarak büyüyen üretim kapasitesi, maliyetlerin hızla düşmesini de beraberinde getirmiştir. Yakın geçmişe kadar alışıla gelmiş elektrik enerjisi üretim yöntemleri ile karşılaşıldığında çok pahalı olarak değerlendirilen fotovoltaik güç sistemleri, artık yakın gelecekte enerji üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir.

Ülkemizde fotovoltaik panel ve sistem üretimi için küçük çaplı da olsa bazı girişimcilerin çeşitli çalışmalar yaptığı gözlenmektedir. Özellikle yurtdışında üretilen güneş hücrelerinin panel şekline getirilmesi, akü şarjı ve evirici sistemleri ve PV aydınlatma ile ilgili ticari çalışmalar ileriye dönük umutları arttırmaktadır (Demirtaş2006).

Fotovoltaik hücrelerin, farklı ışınım şiddetleri ve çalışma şartları altındaki akım-gerilim değerlerinin ölçümü, sistem performansını yansıtması açısından çok önemlidir. Çünkü fotovoltaik cihazların akım gerilim dolayısıyla güç çıktıları ve verimleri, ışınım şiddeti ve çalışma sıcaklığı gibi yerel iklimsel parametrelere bağlıdır (Carstensen 2003).

Sonuç olarak hangi teknoloji ile üretilen panelin Karabük şartlarında daha az verim kaybı/güç düşümüne uğradığı konusunda yorum yapma imkanı bulunmuştur. Her bir teknolojiye dayalı panelin fiyatları farklı olduğu gibi, STC şartlarındaki verimleri de farklıdır, gerçek ortamda yapılan ölçümler sonucu çıkan değerleri de elbette farklı çıkmıştır.

Ortam sıcaklığı 25 °C, ortalama ışınım şiddeti 1000 W/m² ve hava-kütle oranı 1,5 olarak test koşulları belirlenmiştir. Piller standart koşullar altında test edilir ve karşılaştırmalar yapılır. Hava-kütle oranı, güneş ışınımının geçirilme oranını gösteren atmosfer kalınlığıdır. Güneşin tam tepede olduğu durumda (AM1 koşulu), bu oran 1 olarak alınır. Atmosfer tarafından emilen ışınımın oranına bağlı olarak, pilin üreteceği elektrik miktarı da değişeceğinden; bu oran önemli bir etkidir (Boz, 2011).

Türkiye güneş enerjisi potansiyeli yüksek ülkeler arasındadır. Güneş enerji sistemlerinin ilk kurulum maliyetlerinin yüksek oluşu, verimin ortam ve dış faktörler yüzünden değişken oluşu nedeni ile, sistemin sürekli en yüksek verim ile çalışması için bazı çalışmalar yapılmaktadır.

Verim, maliyet analizi çerçevesinde Karabük ve Batı Karadeniz bölgesi için optimum verimli panel tipini belirlenmiştir. Araştırma çerçevesinde; gelen ışınım miktarı, akım, gerilim, panelin ürettiği güç parametreleri üzerinden verimler karşılaştırılmış ve sonuca varılmıştır.

Yapılan ölçümler sonucunda her ne kadar gelen ışınımlara bağlı olarak verimler düşük olsa da, güneş tükenmeyen bir kaynaktır. Monokristal panelin teorik olarak %15 ile 18 oranında verimi varken, Karabük iklimi şartlarında bu verim %12 ile 16 aralığına inmektedir. Polikristal panelin teorik olarak verimleri %14 ile 16 iken Karabük iklimi şartlarında bu verim %21'e kadar artış gözlenmiştir. Thin Film güneş panelleri teorikte % 7 ile 14 arasında verim gözlenirken, deney esnasında Karabük ili sınırlarında sıcaklık 30°C ile 35°C'den fazla olmadığı için verim % 5'in üzerine çıkmamıştır. Ülkemiz şartları ve Karabük ili güneş ışınım miktarları düşünüldüğünde polikristal panel kullanımı yüksek verimi açısından oldukça cazip görülmektedir.

KAYNAKLAR

Becker, C., "Polycrystalline silicon thin film solar cells: Status and perspectives", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 112-123 (2013).

Beyaođlu, F. "Balıkesir ilinde çift eksenli güneş takip sistemi ile sabit eksenli pv sistemin verimlerinin karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, 10-33 (2011).

Boz, O.. "Günümüzün alternatif enerji kaynağı güneş pilleri", Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir (2011).

Buldum, B., Külekçi M., "Mersin ilinin güneş enerjisi potansiyeli ve mevcut durumu", *VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES*, İstanbul, 385-394 (2008).

Carstensen, J., Popkirov, G., Bahr, J., and Föll, H. "CELLO: an advanced LBIC measurement technique for solar cell local characterization" *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 76 (4): 599-611 (2003).

Çetinkaya, H. B., "Güneş enerjisinden elektrik enerjisi elde edilmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli (2001).

Demirtaş, M., "Bilgisayar kontrollü güneş takip mekanizması tasarımı ve uygulaması", *Politeknik Dergisi*, 9 (4): 247-253 (2006).

Dobrzanski, L. A., "Electrical properties mono- and polycrystalline silicon solar cells", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Poland, 67-74 (2013).

Dobrzanski, L. A., "Application of crystalline silicon solar cells in photovoltaic modules", *Archives of Materials Science and Engineering*, Poland, 96-103 (2010).

Dobrzanski, L. A., "Monocrystalline silicon solar cells applied in photovoltaic system", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Poland, 53(1): 7-13 (2012).

Dobrzanski, L. A., "Formation of photovoltaic modules based on polycrystalline solar cells", *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 37(2): 607-615 (2009).

Engin, R., "Güneş Pilleri", *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Fakültesi Fizik Bölümü Yayınları*, 8 (3): 151 (1995).

Erkul, A., “Monokristal, polikristal, amorf silisyum güneş panellerinin verimliliğın incelenmesi ve aydınlatma sistemine uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, (2010).

Haouari, M. M., Belhamel, M., Tobias, I., and Ruiz, J. M., “Extraction and analysis of solar cell parameters from the illuminated current–voltage curve”, **Solar Energy Materials and Solar Cells**, 87: 225-233 (2005).

Ismael, A., “Monokristal güneş pili sistemlerinde elektrik enerji analizi” Yüksek Lisans Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara (2012).

İnan, D. ve Ültanır, M.Ö., “Güneş Enerjisi”, **TEMEV; UGET-TB ve DÜÇAM Ortak Yayını**, Diyarbakır, (1996).

Jurecka, S., “Thin film solar cells and their optical properties”, **Advances in Electrical and Electronic Engineering**, Slovakya, 347-349 (2010).

Kabul, A., “Isparta ilinde fotovoltaik/termal (PV/T) hibrit sistemin performans analizi” **SDU Internatural Technologic Science**, 6 (1): 31-43 (2014).

Kadırgan, F., “Güneş enerjisi teknolojileri, İTÜ’de yapılan çalışmalar ve binalarda uygulamaları” **VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi**, İstanbul, 245-250 (2012).

Kazmerski, L. L., “Solar photovoltaics R&D at the tipping point: A 2005 technology overview”, **Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena**, 125 (2006).

Koutroulis, E., Kalaitzakis, K., and Voulgaris, “Development of a microcontroller-based photovoltaic maximum power point tracking control system”, **IEEE Transactions on Power Electronics**, 16 (1): 46-54 (2001).

Köse, S., “Yarıiletken güneş pilleri ve verimlilikleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir, (1986).

Küpeli, A.Ö., “Güneş pilleri ve verimleri”, Yüksek Lisans Tezi, **Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Eskişehir (2005).

Oktik, S., “Güneş elektrik dönüşümleri fotovoltaik güneş gözeleri ve güç sistemleri”, **Ankara Temiz Enerji Vakfı Yayınları**, Ankara (2001).

Öztürk, H., “Güneş Enerjisi Ve Uygulamaları”, **Birsen Yayınevi**, Adana (2008).

Parisi, A., “Thin film CIGS solar cells, photovoltaic modules, and the problems of modeling”, **Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy**, Italy, Article ID 817424, 1-11 (2013).

Powalla, M., “Thin-film solar cells based on the polycrystalline compound semiconductors CIS and CdTe” **Hindawi Publishing Corporation Advances in OptoElectronics**, Italy, Article ID 97545, 1-6 (2007).

Sayın, S., ve Koç, İ., “Güneş enerjisinden aktif olarak yararlanmada kullanılan fotovoltaik sistemler ve yapılarda kullanım biçimleri” *S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi*, Konya, 17 (3): 1-7, (2011).

Sefa, İ., Demirtaş, M., ve Bayındır, R. “Güneş enerjisi eğitim seti tasarım ve uygulaması”, *Journal of Engineering Science of Pamukkale University*, Pamukkale, 13 (3): 297-395 (2007).

Stutenbaeumer, U., “Equivalent model of monocrystalline, polycrystalline and amorphous silicon solar cells”, *Renewable Energy*, 18 (4): 501-512 (1998).

Turhan, S., “Fotovoltaik sistemlerde performans değerlendirmesi”, *6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, Bursa (2012).

Wolf, M., “Historical development of solar cells”, *Power Sources Symposium 25 th*, England, (1972).

ÖZGEÇMİŞ

Ümmü Gülsüm ERUZ, 1989 yılında Ordu/Fatsa’da doğdu. İlköğrenimini aynı şehirde, orta öğrenimini Ankara’da tamamladıktan sonra 2007 yılında Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği bölümünü kazandı. 2011 yılı yaz döneminde Türk Standartları Enstitüsü (TSE) Kalibrasyon ve elektrik laboratuvarlarında stajyer olarak bulundu. 2012 yılında OHSAS, ISO, iç tetkik, stratejik yönetim dallarında çeşitli eğitimleri almış sertifika almaya hak kazanmıştır. 2013 yılında Çalışma Bakanlığı tarafından C Sınıfı İş Güvenliği Uzmanı sertifikasını almıştır. 2014 yılında Da Vinci Projesi çerçevesinde Brüksel’de bulunmuş “Ecological Building and Renewable Enerjy Education” çerçevesinde eğitimler almıştır. 2013 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği bölümünde yüksek lisansa başlamıştır.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Yayla Mahallesi
Kadıızaderumi Caddesi, 15/13
Keçiören/ ANKARA

Tel : 05542197614
E-posta : gulsumeruz@gmail.com