

**FOTOVOLTAİK PANELLERİN VERİMİNE MODÜL
SICAKLIĞININ ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK
ARAŞTIRILMASI**

**2014
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ**

Erhan ÖZTÜRK

**FOTOVOLTAİK PANELLERİN VERİMİNE MODÜL SICAKLIĞININ
ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI**

Erhan ÖZTÜRK

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

KARABÜK

Ocak 2014

Erhan ÖZTÜRK tarafından hazırlanan “FOTOVOLTAİK PANELLERİN VERİMİNE MODÜL SICAKLIĞININ ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Engin GEDİK

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. 16/01/2014

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Doç. Dr. Hüseyin KURT (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. İlhan CEYLAN (KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Engin GEDİK (KBÜ)

İmzası



...../...../2014

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

Prof. Dr. Mustafa BOZ

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.”

Erhan ÖZTÜRK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK PANELLERİN VERİMİNE MODÜL SICAKLIĞININ ETKİSİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

Erhan ÖZTÜRK

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç. Dr. Engin GEDİK

Ocak 2014, 42 sayfa

Enerji günümüz toplumlarının vazgeçilmez bir unsurudur. Ülkeler, artan enerji ihtiyacına karşılık tükenen enerji kaynakları ile karşı karşıyadır. Bunun yanında fosil kökenli enerji kaynaklarından meydana gelen çevresel sorunlar kitleleri yeni enerji kaynakları arayışlarına itmiştir. Güneş enerjisi sonsuz ısı ve ışık kaynağı ile yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Günümüzde güneş pilleri ile güneş enerjisinden yararlanılarak elektrik enerjisi üretilmekte ve bu yönde geliştirilen sistemlerin verimleri araştırılmaktadır. Yapılan bu çalışmada sıcaklığın fotovoltaik panellerin verimine etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Deneylede güneş ışınımı şiddeti (I), panelin bulunduğu ortam sıcaklığı (Ta), panel arkası sıcaklık (Tp), panel gerilim ve akım değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Deneylelerden elde edilen veriler kullanılarak panel verimleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalara göre panel arkası sıcaklığının 14.9 °C değerinde %12 olan panel

verimi, panel arkası sıcaklığının 51.3 °C değerinde %10.7 olmuştur. Sıcaklık artışının panel verimini düşürdüğü görölmüştür.

Anahtar Sözcükler : Güneş enerjisi, güneş panelleri, verim.

Bilim Kodu : 914.1.038

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF MODUL TEMPERATURE EFFECT ON PHOTOVOLTAIC PANELS EFFICIENCY

Erhan ÖZTÜRK

Karabük University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Energy Systems Engineering

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Engin GEDİK

January 2014, 42 pages

Energy is an indispensable part of today's society. Countries are faced to increasing energy requirements with depleted energy sources. Besides, environmental problems resulted use of fossil-based energy sources, has led to the search for new energy sources. Solar energy is important placed in renewable energies with its endless light and heat sources. Today, solar cells utilizing solar energy to electrical energy are produced and the efficiency of the system developed in this direction is being investigated. In this study, the effect of the temperature to the photovoltaic panel efficiency is investigated experimentally. In the experiments solar radiation (I), ambient temperature of the panel (T_a), back surface temperature of the panel (T_p), voltage and current are measured and recorded. Photovoltaic panel efficiencies are calculated with using obtained experimental data. According to the computations the panel efficiency was %12 for the 14.9 °C of T_p while it was found as %10.7 for the 51.3 °C of T_p . It was observed that increasing of temperature decreases efficiency.

Key Word : Solar Energy, solar panel, efficiency.
Science Code : 914.1.038

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temeller ışığında şekillendiren sayın danışman hocam Yrd. Doç.Dr. Engin GEDİK ve sayın hocam Doç.Dr. İlhan CEYLAN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca birlikte geçireceğimiz zamandan feragat ederek beni her konuda olduğu gibi bu tez çalışmamda da destekleyen yalnız kalmaktan korkmayan canım eşim Hülya ÖZTÜRK'e de çok teşekkür ederim; iyi ki var. Beni bu yaşıma kadar bitmez tükenmez fedakarlıkları ile destekleyen babam İlyas ÖZTÜRK, annem Perihan ÖZTÜRK'e ve kardeşleri olmaktan gurur duyduğum sevgili ablalarım sonsuz minnettarım.

Abi demekten büyük keyif aldığım UGETAM A.Ş. Eğitim ve İş Geliştirme Müdürü Sayın Selim Serkan SAY'a ayrıca teşekkür etmeliyim. En başından beri nedenini bilmediğim bir azim ve sabırla bana inancını ve desteğini hiç kesmedi. Bu tezin bitmiş olmasının en büyük sebeplerinden biri canım abim sonsuz teşekkürler.

Bana her konuda destek olan çalışmaktan zevk duyduğum Sayın hocam Prof. Ümit Doğay ARINÇ, Genel Müdürüm Serkan KELEŞER ve UGETAM A.Ş. ailesine teşekkür ederim.

Tüm bölüm hocalarım, tanıdığım tanımadığım ancak zerrece katkısı olan herkese teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	3
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
BÖLÜM 3	7
GÜNEŞ ENERJİSİ	7
3.1. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİ.....	10
3.2. FOTOVOLTAİK HÜCRELERİN YAPIMINDA KULLANILAN MALZEMELER	11
3.2.1. Kristal Silisyum	12
3.2.2. Galyum Arsenit (GaAs).....	12
3.2.3. Amorf Silisyum	12
3.2.4. Kadmiyum Tellürid (CdTe).....	12
3.2.5. Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe ₂).....	13
3.2.6. Optik Yoğunlaştırıcı Hücreler	13
3.3. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİNİN GELİŞİMİ.....	13
3.4. GÜNEŞ PİLLERİNİN OLUMLU VE OLUMSUZ ÖZELLİKLERİ	15

	<u>Sayfa</u>
3.4.1. Olumlu Özellikler	15
3.4.2. Olumsuz Özellikler	15
3.5. GÜNEŞ PİLLERİNİN KULLANIM ALANLARI	16
BÖLÜM 4	17
MATERYAL VE METOD	17
4.1. MATERYAL	17
4.2. SİSTEMDE KULLANIM CİHAZLAR	20
4.2.1. Kompresör	20
4.2.2. Evaporatör	21
4.2.3. Kondenser	21
4.2.4. Fan	22
4.2.5. Kılcal Boru	22
4.2.6. Drayer (Kurutucu)	23
4.2.7. Akü	23
4.2.8. Isıtıcı Rezistans	24
4.2.9. Güneş Paneli	24
4.3. ÖLÇÜM CİHAZLARI	25
4.3.1. Dijital Multimetre	25
4.3.2. Isıtma ve Soğutma Dijital Termostat	26
4.4. SOĞUTMA ÇEVİRİMİ	26
4.5. METOD	29
BÖLÜM 5	31
SONUÇLAR VE TARTIŞMA	31
BÖLÜM 6	39
SONUÇ VE ÖNERİLER	39
KAYNAKLAR	40
ÖZGEÇMİŞ	42

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası	8
Şekil 3.2. Türkiye global radyasyon değerleri	8
Şekil 3.3. Türkiye güneşlenme süreleri (saat)	9
Şekil 3.4. Güneş enerjisi teknolojileri	9
Şekil 3.5. Fotovoltaik güneş pili.....	10
Şekil 3.6. Güneş pilinin çalışma ilkesi	11
Şekil 4.1. Deney düzeneğinin şematik resmi	18
Şekil 4.2. İmalatı yapılan deney düzeneği.....	19
Şekil 4.3. Kompresör.....	20
Şekil 4.4. Evaporatör	21
Şekil 4.5. Kondenser	22
Şekil 4.6. Fan.....	22
Şekil 4.7. Kılcal boru.....	23
Şekil 4.8. Drayer.....	23
Şekil 4.9. Akü.....	24
Şekil 4.10. Isıtıcı rezistans.....	24
Şekil 4.11. Fotovoltaik güneş paneli	25
Şekil 4.12. Dijital multimetre	26
Şekil 4.13. Isıtma ve soğutma dijital termostatı	26
Şekil 4.14. Soğutma çevrimi şematik resmi	27
Şekil 4.15. Deney düzeneğinde kullanılan soğutma sisteminin şematik görünümü	28
Şekil 4.16. Deney düzeneğinde yer alan soğutma sistemi	29
Şekil 5.1. Fotovoltaik modülün set edilen ortam sıcaklıkları.....	31
Şekil 5.2. Işınım şiddetine bağlı olarak panel arkası sıcaklık değişimi Ta=10 °C	32
Şekil 5.3. Panel arkası sıcaklık ile modül veriminin değişimi Ta=10 °C.....	33
Şekil 5.4. Işınım şiddetine bağlı olarak panel arkası sıcaklık değişimi Ta=20 °C	34

Sayfa

Şekil 5.5. Panel arkası sıcaklık ile modül veriminin değişimi $T_a=20\text{ }^\circ\text{C}$	34
Şekil 5.6. Işınım şiddetine bağlı olarak panel arkası sıcaklık değişimi $T_a=30\text{ }^\circ\text{C}$	35
Şekil 5.7. Panel arkası sıcaklık ile modül veriminin değişimi $T_a=30\text{ }^\circ\text{C}$	36
Şekil 5.8. Işınım şiddetine bağlı olarak panel arkası sıcaklık değişimi $T_a=40\text{ }^\circ\text{C}$	36
Şekil 5.9. Panel arkası sıcaklık ile modül veriminin değişimi $T_a=40\text{ }^\circ\text{C}$	37
Şekil 5.10. Set edilen sıcaklıklara göre panel veriminin değişimi	38

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Tiplerine göre en yüksek hücre verimleri	13
Çizelge 4.1. Sistemde kullanılan elemanlar	19

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

- A : amper (A)
Ac : panel yüzey alanı (m²)
°C : santigrat derece
I : güneş ışınım şiddeti (W/m²)
Ta : panelin bulunduğu ortam sıcaklığı (°C)
Tp : panel arkası sıcaklık (°C)
V : gerilim (Volt)
η : verim

KISALTMALAR

- İTÜ : İstanbul Teknik Üniversitesi
PV : Photovoltaic
PVT : Photovoltaic Termal
YEGM : Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günden güne enerjiye olan bağımlılığın artması ile fosil kökenli enerji kaynakların tükenme hızı da artmaktadır. Yapılan araştırmalar doğada bulunan fosil kökenli enerji kaynaklarının ömürlerinin sınırlı olduğunu ve tahminen 2 nesil sonra tükeneceğini öngörmektedir. Bu süre zarfında toplumların kullandığı enerji kaynaklarında çeşitliliğe gitmesi kaçınılmazdır. Güneş enerjisi sistemleri tam da bu noktada devreye girmektedir. Kullandığımız enerji kaynaklarını çeşitlendirmede güneş enerjisi sistemleri ve dolayısıyla güneş panelleri yadsınamaz bir önem arz etmektedir. Güneş enerjisi gelecekte vazgeçilmez bir kaynak olacak ve güneş panelleri ile güneşten elektrik üretimi sağlamak her ortamda zorunlu kılınacaktır. Güneş enerjisi sistemlerinin fiyatları ise elektrik fiyatları ile karşılaştırıldığında daha ekonomik olarak görülebilir. Güneş panelleri özellikle güneşten elektrik üretimi katsayısı yüksek olan yerlerde oldukça kullanışlı olmaktadır. Her çeşit güneş paneli, güneş enerjisi kullanılarak her yerde elektrik üretmeye olanak tanınması, güneşten elektrik üretimi yapmayı evimize kadar getirmesi ile çok önemli bir teknolojidir. Her tüketici, güneş panelleri yardımıyla, kendi meskeninde güneşten elektrik üreterek, üretici konumuna geçebilmektedir. Yasalarla da desteklenen güneş enerjisi sistemleri, güneş panelleri kullanılarak evlerimizi birer solar enerji üreticisi konumuna getirebilir.

Devlet güneşten elektrik üretimi yapan güneş paneli kullanan güneş enerji sistemleri tarafından üretilen ve kullanılmayan elektriği satın alarak kullanıcıları güneşten elektrik üretimi yapmaları için teşvik etmektedir. Türkiye’de kullanılan enerjinin %74’ü ithal edilmekte olup, enerji gibi en önemli konuların başında gelen bir sektörde çok büyük oranda dışa bağımlı haldeyiz. Bu bağımlılıktan kurtulmak ya da asgari seviyelere indirmek için güneş enerjili sistemlerin geliştirilmesine ihtiyacımız vardır. Rüzgâr, güneş ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları bizim dışı

bağımlılığımızı azaltacak en mantıklı kaynaklardır. Güneşten elektrik üretimi yapan, güneş enerjili sistemlerin her yerde ve küçük yatırımcı boyutlarında da kurulumu yapılabildiğinden dolayı herkes için bir umut olarak gözükmektedir.

Kısaca, güneş enerjisi sonsuz ısı ve ışık kaynağı ile yenilenebilir enerji kaynakları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Günümüzde güneş pilleri ile güneş enerjisinden yararlanılarak elektrik enerjisi üretilmekte ve bu yönde geliştirilen sistemlerin verimleri araştırılmaktadır. Yapılan bu çalışma da güneş enerjisinden yararlanarak fotovoltaik panellerden (güneş pili) elektrik üretimi temel amaç olup sistem performansının sıcaklıkla değişimi incelenmiştir. Sıcaklığın fotovoltaik panellere etkisini gözlemleyebilmek ve belirlemek için bir deney düzeneği tasarlanıp imal edilmiştir. İmalatı yapılan sistem üzerinde farklı set sıcaklıklarında deneyler yapılmıştır. Deneylerde güneş ışınım şiddeti, panelin bulunduğu ortam sıcaklığı (çalışma sıcaklığı) panel arkası sıcaklık, gerilim ve akım değerleri gibi farklı parametreler ölçülerek deneysel veriler elde edilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak panel verimleri hesaplanmıştır.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Son yıllarda fotovoltaik güneş panellerinin verimini arttırmaya yönelik çalışmalar hızlı bir biçimde artış göstermekle birlikte PVT sistemler sağlamış olduğu enerji verimliliği ve tasarrufu sayesinde ilgi çekici olmayı başarmıştır. Bu araştırmalara yönelik literatürde yer alan bazı çalışmalar aşağıda kısaca açıklanmıştır.

Ceylan vd. (2014) yaptıkları çalışmada fotovoltaik modülleri soğutmak için farklı PVT sistemleri deneysel olarak incelemiştir. Deneysel çalışmada basit spiral boru PV modül arka yüzeyine yerleştirilerek içerisinden soğutma suyu geçirilmiş ve sistemde ısı değiştirici görevi sağlanmıştır. Çalışmada soğutulan modülün verimi %13 olarak belirlenirken soğutulmayan modülün verimi de %10 olarak hesaplanmıştır.

Mishra ve Tiwari (2013) hibrid fotovoltaik termal kollektörlerin enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır. A ve B olarak adlandırdıkları iki farklı özelliğe sahip kollektörlerin termal enerji, elektrik enerjisi ve ekserji kazanımı parametrelerini inceleyerek analiz etmişlerdir. Çalışmalarında A olarak adlandırdıkları kollektör kısmen PV modül ile kaplanırken B kollektörü tamamen PV modül ile kaplanmıştır.

Chandrasekar vd. (2013) çalışmalarında fotovoltaik modüllerin güneşten gelen ışınımın ancak %4-17 arasını elektrik enerjisine çevirebildiğini %50 den daha fazlasının çalışma esnasında modülde ısı enerjisi olarak açığa çıktığını vurgulamışlardır. Bu nedenle modüllerin verimini arttırmak için yaptıkları çalışmada şebekeden bağımsız düz PV modülü pasif soğutma ile incelemiştir.

Bahaidarah vd. (2013) yaptıkları çalışmada fotovoltaik modüllerin veriminin büyük oranda çalışma sıcaklığına bağlı olduğunu belirterek sıcak iklim bölgeleri için arka

yüzü su soğutmalı olan PV modülün verimini incelemiştir. Aktif soğutma sisteminin modül verimini %9 dolaylarında arttırdığını belirtmişlerdir.

Agrawal vd. (2012) yaptıkları çalışmada fotovoltaiik-termal (PV/T) bir havalı kolektörün iç ortam şartlarında performansını incelemiştir. Çalışmanın sonunda ortalama elektriksel ve ısı verim sırasıyla %12.4 ve %35.7 olarak bulunmuştur.

Teo vd. (2012) fotovoltaiik modüller için bir aktif soğutma sistemi geliştirerek hibrid PVT sistem tasarlayıp imalatını yapmışlar ve deneysel olarak incelemiştir. Isı transferi simülasyonu yaparak deneysel olarak elde ettikleri gerçek sıcaklık profilleri ile simülasyon sıcaklık profillerini karşılaştırmışlar ve her iki çalışma arasında güzel bir uyumun olduğunu görmüşlerdir.

Agroui (2012) yaptığı çalışmada, çoklu kristal güneş pillerinden oluşan PV modüllerinin iç ve dış ortam performanslarını incelemiştir. Çalışmada PV modül özelliklerinin belirlenmesi için laboratuvar tarafından kullanılan metodoloji, temel prosedürler ve ölçüm aletleri anlatılmaktadır. Bu metodolojiye göre, farklı koşullarda çoklu kristal PV modül için ana elektriksel ve ısı parametreler belirlenmiştir.

Boz (2011) yaptığı çalışmada enerji kullanım alanları önemi ile yenilenebilir enerji kaynakları, fotovoltaiik sistemler ve yarıiletkenlerin özellikleri, fotovoltaiik pillerin çalışma prensibi, güneş pili çeşitleri, gelecek nesil güneş pilleri ve bunlar üzerine yapılan çalışmaları incelemiştir.

Gao vd. (2009) yaptıkları çalışmada paralel bağlanmış PV modülleri farklı gölge koşullarında deneysel olarak analiz etmişlerdir. PV modülün dört farklı ortam şartında test etmişlerdir. Bunlar, i) PV modüller ağaçlar tarafından gölgelenen bir ortamda, yatay olarak konumlandırılmış ve hareket halinde, ii) PV modüller ağaçlar tarafından gölgelenen bir ortamda, yataya yaklaşık 70° olarak konumlandırılmış ve hareket halinde, iii) PV modüller korkuluklar tarafından gölgelendirilmiş, sabit ve yataya konumlandırılmış, iv) laboratuvar şartlarında 300 W yapay ışınım ve %53 gölgeleme alanı oluşturularak testler gerçekleştirilmiştir.

Solanki vd. (2009) yaptıkları çalışmada fotovoltaik termal (PV/T) bir havalı kolektörün iç ortamda simülasyonunu ve testini gerçekleştirmişlerdir. Tasarlanan PV/T sisteminin ısı ve elektriksel verimi sırasıyla %42 ve %8.4 olarak bulunmuştur

Karamanav (2007) yaptığı çalışmada fotovoltaik olay ve güneş pillerinin ilkelerini inceleyerek güneş enerjisi hakkında istatistiksel bilgileri değerlendirmiştir. Ayrıca güneş pilleriyle ilgili deneysel çalışması sonucunda elde ettiği verileri kullanarak güneş pilinin akım ve gerilim değişimi grafiklerini sunmuştur.

Ünal (2007) yaptığı çalışmada fotovoltaik etki ile güneş pili işleminin temel ilkeleri üzerine bir derleme yapılmıştır. Fotovoltaik pazarının gelişimi ve dünya piyasasındaki yeri anlatılmıştır. Silisyum türlerinin güneş pili üretimindeki yeri ve önemi üzerinde durulmuştur. Güneş pili üretiminde kullanılan diğer malzemeler de tartışma konusu yapılmıştır. Dünya elektrik üretimine büyük katkının hedeflendiği fotovoltaik sektörünün geçmişi ve geleceği ele alınmıştır.

Kenny vd. (2006) ince film PV modüllerin performanslarını değerlendirebilmek amacıyla bir test standı oluşturmuşlardır. Oluşturulan deney standında modül sıcaklığı, toplam ve difüz güneş ışınımı değerleri ölçülmüş ve ölçülen bu değerler kristal PV modülün enerji üretimini değerlendirebilmek amacıyla kullanılmıştır.

Güneş pillerinin verimlerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler Küpeli (2005) tarafından açıklanarak verime etki eden parametreler incelenmiştir. Çalışmada fotovoltaik dönüşüm sistemleri, bu sistemlerin yapılarındaki p-n eklemleri ve çalışma ilkeleri açıklanmıştır. Fotovoltaik bir dönüşüm sistemi olarak güneş pilleri tanımlanmıştır. Güneş pillerinin optik, yapısal ve elektriksel özellikleri incelenerek sınıflandırılmaları yapılmıştır. Bu çalışmaların ardından, güneş pillerinin verimlerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

Batman (2001) çalışmasında güneş pillerinin kullanımında verimi artırmak için deneysel ve sayısal bir yöntem sunmuştur. Yöntem temeli, tüm hava koşulları için güneş pili modüllerin sadece güneşe çevrilmesi yeterli olmaktadır. Fakat bulutlu havalarda, gökyüzünden gelen ışık enerjisinin doğrultusu, şiddeti ve güneş

modülünün üreteceği enerjiyi tahmin etmek gerekmektedir. Gerekli verileri toplamak için İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi binasına bir ölçü düzeneği kurulmuştur. Tahmin için, bu düzeneğin topladığı verilere göre kendini sürekli olarak güncelleyen yapay sinir ağı algoritması kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, kurulan ölçü düzeneğinden alınan veriler, algoritma tarafından kullanılarak örnek bir güneş modülü yönlendirilmiştir. Güneş modülünden alınan veriler, yorumlanarak, geliştirilen algoritma tarafından yönlendirilen panellerin daha verimli çalıştıkları sonucu elde edilmiştir.

Bu çalışmada da güneş panelleri ile ilgili temel bilgiler verilerek modül sıcaklığının fotovoltaik panellerin verimine etkisini gözlemleyebilmek ve belirlemek için bir deney düzeneği tasarlanıp imal edilmiştir. İmalatı yapılan sistemde fotovoltaik panelin bulunduğu ortam farklı set sıcaklıklarına ayarlanmıştır. Sabit sıcaklıklarda tutulmak istenen ortam proses kontrol elemanları ile ısıtma ve soğutma işlemi sağlanmıştır. Deney düzeneğinde ısıtma için ısıtıcı rezistanslar kullanılırken soğutma için basit buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi sistemi kullanılmıştır. Deneylerde güneş ışınım şiddeti, panelin bulunduğu ortam sıcaklığı (çalışma sıcaklığı) panel arkası sıcaklık, gerilim ve akım değerleri gibi farklı parametreler ölçülerek birçok veri elde edilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak farklı ortam sıcaklıklarındaki panel verimleri hesaplanmıştır.

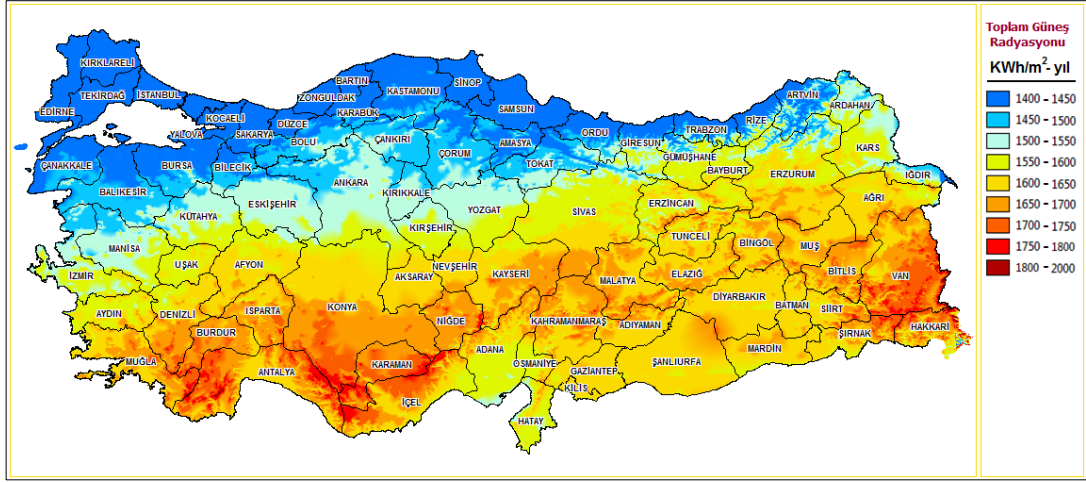
BÖLÜM 3

GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş, hidrojen ve helyum gazlarından oluşan orta büyüklükte bir yıldızdır. Dünya ile güneş arasındaki mesafe 150 milyon km'dir. Dünya'ya güneşten gelen enerji, Dünya'da bir yılda kullanılan enerjinin 20 bin katıdır. Sıcaklığı merkeze doğru artar ve 20×10^6 °C'yi bulur. Yüzey sıcaklığı ise 6000 °C'dir. Güneşteki bu yüksek sıcaklık nedeni ile elektronlar atom çekirdeklerinden ayrılır. Bu sebeple, güneşte atom ve molekül değil serbest elektronlar ve atom çekirdekleri bulunur. Bu karışıma PLAZMA adı verilir. Güneşin içi, yakıtı hidrojen ve ürünü helyum olan çok büyük bir fırın olarak düşünülebilir.

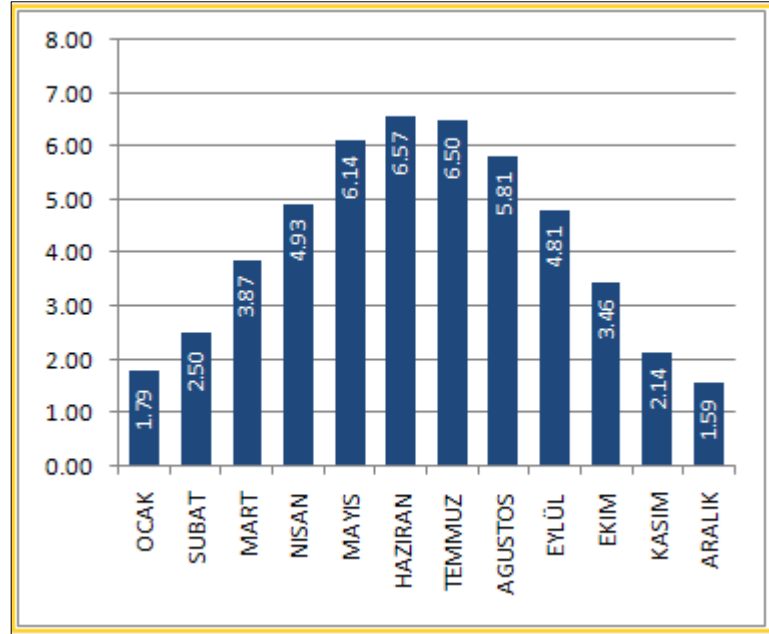
Güneş ışınımının tamamı yer yüzeyine ulaşmaz, %30 kadarı dünya atmosferi tarafından geriye yansıtılır. Güneş ışınımının %50'si atmosferi geçerek dünya yüzeyine ulaşır. Bu enerji ile Dünya'nın sıcaklığı yükselir ve yeryüzünde yaşam mümkün olur. Rüzgâr hareketlerine ve okyanus dalgalanmalarına da bu ısınma neden olur. Güneşten gelen ışınımının %20'si atmosfer ve bulutlarda tutulur.

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeni ile sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından diğer pek çok ülkeye göre daha iyi konumdadır. Türkiye dünya üzerinde güneş ısılarının geliş açısına bağlı olarak yararlanma imkânının oldukça yüksek olduğu güneş kuşağı üzerinde yer almaktadır. Güneş kuşağının bu kesimi, iyi güneş almakla birlikte, mevsim değişikliklerinin alt sınırda az, üst sınırda çok etkili olduğu bir bölgedir. Meteorolojik gözlemlere dayalı olarak, Türkiye'nin yıllık güneşlenme süresi 2609 saat olup maksimum ve minimum süreler Temmuz 362 saat, Aralık 98 saattir. Güneşlenme süresi yönünden en zengin bölgeler sırası ile Güney Doğu Anadolu 3016 saat, Akdeniz 2923 saat, Ege 2726 saat, İç Anadolu 2712 saat, Doğu Anadolu 2693 saat ve Marmara 2528 saattir. En düşük değer ise 1966 saat ile Karadeniz Bölgesidir (Gedik, 2007). Şekil 3.1'de Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli görülmektedir.

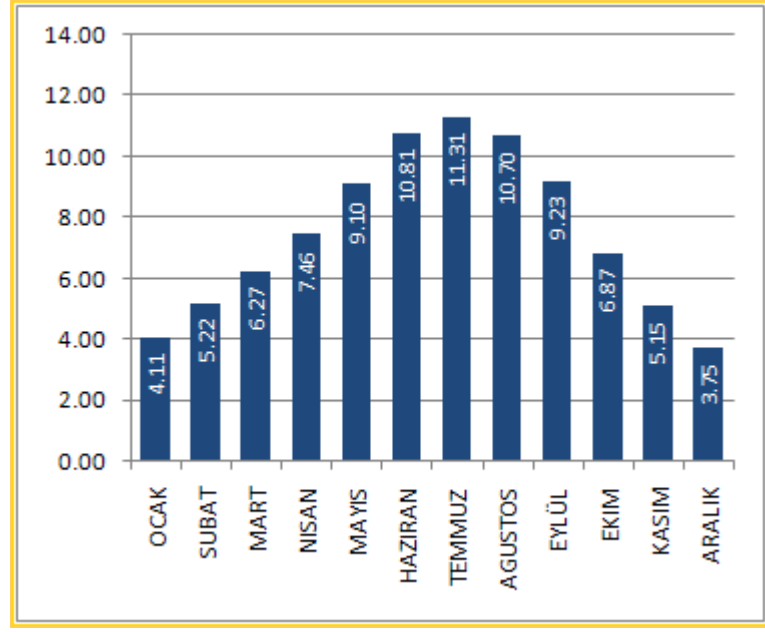


Şekil 3.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (<http://www.eie.gov.tr>, 2014).

Bununla birlikte Türkiye'nin aylık ortalama ışınım değerleri ve güneşlenme süreleri sırasıyla Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de verilmiştir.

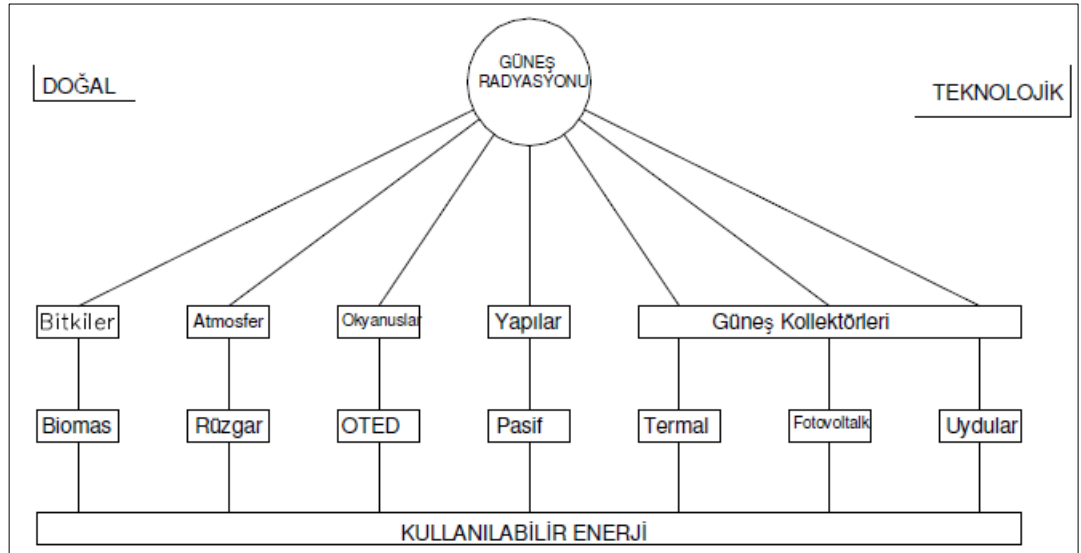


Şekil 3.2. Türkiye global radyasyon değerleri (<http://www.eie.gov.tr>, 2014).



Şekil 3.3. Türkiye güneşlenme süreleri (saat) (<http://www.eie.gov.tr>, 2014).

Gündelik yaşam sırasında konutlardan başlayan, iletişimde, tarımda, endüstride, elektrik santrallerinde, askeri alanda ve uzayda bir çok kullanım alanı bulan güneş enerjisi teknolojilerini özetle Şekil 3.4'deki gibi belirleyebiliriz.



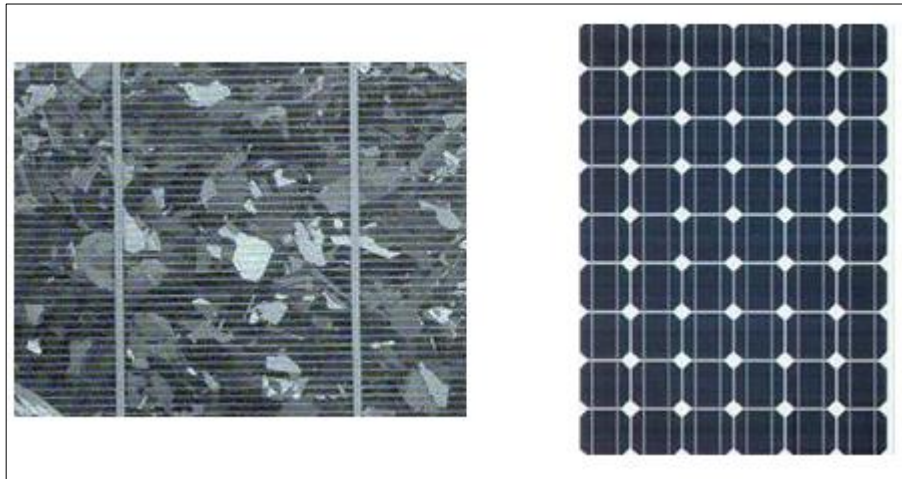
Şekil 3.4. Güneş enerjisi teknolojileri.

Güneş enerjisinden daha çok elektrik üretiminde kullanılan fotovoltaik teknolojiler günümüzün önemli araştırma konularından birini oluşturmaktadır.

3.1. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİ

Fotovoltaik hücreler, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş hücrelerinin yüzey alanları genellikle 100 santimetrekare civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır (YEGM, 2014).

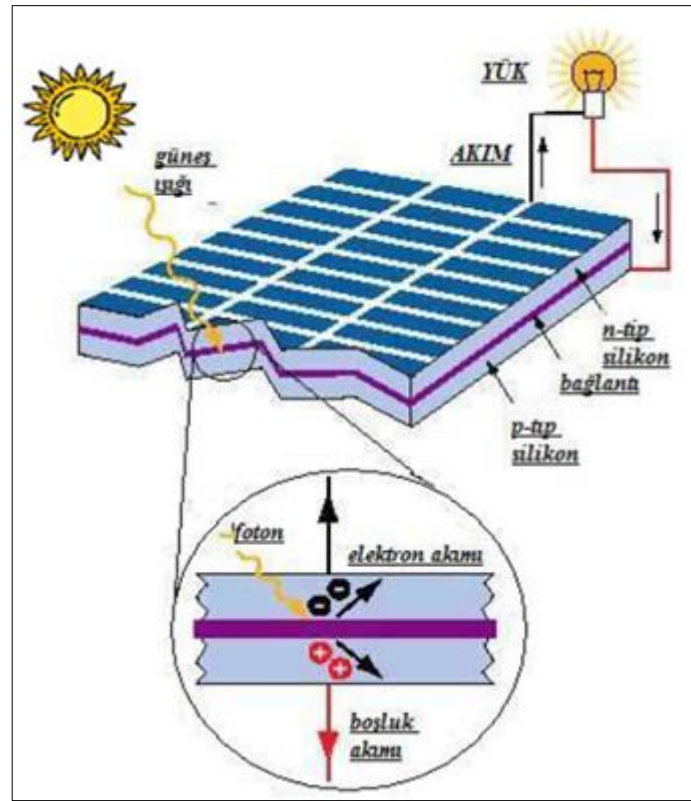
Güneş hücreleri fotovoltaik ilkeye dayalı olarak çalışırlar, yani üzerlerine ışık düştüğü zaman uçlarında elektrik gerilimi oluşur. Hücrenin verdiği elektrik enerjisinin kaynağı, yüzeyine gelen güneş enerjisidir. Güneş enerjisi, güneş hücresinin yapısına bağlı olarak % 5 ile % 30 arasında bir verimle elektrik enerjisine çevrilebilir. Güç çıkışını artırmak amacıyla çok sayıda güneş hücresi birbirine paralel yada seri bağlanarak bir yüzey üzerine monte edilir, bu yapıya Şekil 3.5’de görüldüğü gibi güneş hücresi modülü yada fotovoltaik modül adı verilir. Güç talebine bağlı olarak modüller birbirlerine seri yada paralel bağlanarak bir kaç Watt’tan MEGA Watt'lara kadar sistem oluşturulur.



Şekil 3.5. Fotovoltaik güneş pili.

Fotovoltaik etki, fotovoltaik bir hücre tarafından güneş ışınımının elektriğe dönüştüğü fiziksel bir işlemdir. Şekil 3.6’da görüldüğü gibi fotonlar silikon gibi yarı

iletken malzemelerin yüzeyine çarparak, atomlardan elektronları serbest bırakırlar. Güneşten gelen ışınım, enerji taşıyan fotonlardan meydana gelmektedir. Fotovoltaik hücre üzerine gelen fotonların bir kısmı hücre tarafından soğurulur, bir kısmı yansıtılır, kalan kısım ise hücre içinden geçer. Fotonun enerjisi, yarı iletken malzemenin atomundaki elektrona transfer olur. Elektron, yeni kazandığı bu enerji sayesinde bir elektrik devresindeki akımın parçası olabilmek için, yarı iletken malzemedeki bir tek atoma ilişkin normal pozisyonundan kurtulabilme yeteneği kazanır (Erkul, 2010).



Şekil 3.6. Güneş pilinin çalışma ilkesi (Erkul, 2010).

3.2. FOTOVOLTAİK HÜCRELERİNİN YAPIMINDA KULLANILAN MALZEMELER

Fotovoltaik hücreler pek çok farklı maddeden yararlanarak üretilebilir. Günümüzde en çok kullanılan maddeler şunlardır aşağıda belirtilmiştir.

3.2.1. Kristal Silisyum

Silisyum, yarı iletken özelliği gösteren ve güneş pili yapımında en çok kullanılan ve tercih edilen bir maddedir. Önce büyütülüp daha sonra 150-200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen tek kristal Silisyum bloklardan üretilen güneş pillerinde laboratuvar şartlarında %24, ticari modüllerde ise %15'in üzerinde verim elde edilmektedir. Dökme silisyum bloklardan dilimlenerek elde edilen çok kristal Silisyum güneş pilleri ise daha ucuza üretilmekte, ancak verim de %2-5 kadar düşük olmaktadır. Verim, laboratuvar şartlarında %18, ticari modüllerde ise %14 civarındadır.

3.2.2. Galyum Arsenit (GaAs)

Bu malzemeyle laboratuvar şartlarında %25 ve %28 (optik yoğunlaştırıcı) verim elde edilmektedir. Diğer yarıiletkenlerle birlikte oluşturulan çok eklemlili GaAs pillerde %30 verim elde edilmiştir. GaAs güneş pilleri uzay uygulamalarında ve optik yoğunlaştırıcı sistemlerde kullanılmaktadır.

3.2.3. Amorf Silisyum

Kristal yapı özelliği göstermeyen bu Si pillerden elde edilen verim %10 dolayında, ticari modüllerde ise %5-7 mertebesinde. Günümüzde daha çok küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılan amorf silisyum direkt güneş ışınımı az olan bölgelerde de santral uygulamalarında kullanılmaktadır. Amorf silisyumun bir başka önemli uygulama sahası ise binalara entegre yarısaydam cam yüzeyler, bina dış koruyucusu ve enerji üretici uygulamalarıdır.

3.2.4. Kadmiyum Tellürid (CdTe)

Çok kristal yapıda bir malzeme olan CdTe ile güneş hücre maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Laboratuvar tipi küçük hücrelerde %16, ticari tip modüllerde ise %7 civarında verim elde edilmektedir.

3.2.5. Bakır İndiyum Diselenid (CuInSe₂)

Bu çok kristal hücre laboratuvar şartlarında %17,7 ve enerji üretimi amaçlı geliştirilmiş olan prototip bir modülde ise %10,2 verim elde edilmiştir.

3.2.6. Optik Yoğunlaştırıcı Hücresler

Gelen ışığı 10-500 kat oranlarda yoğunlaştıran mercekli veya yansıtıcı araçlarla modül verimi %20'nin, hücre verimi ise %30'un üzerine çıkılabilmektedir. Yoğunlaştırıcılar basit ve ucuz plastik malzemedden veya camdan yapılmaktadır. (<http://www.eie.gov.tr>, 2014).

Çizelge 3.1'de 1 cm² 'lik hücre alanı için laboratuvar şartlarında ulaşılan en yüksek hücre verimleri görülmektedir.

Çizelge 3.1. Tiplerine göre en yüksek hücre verimleri.

Tip	Verim (%)
Kristal Si	24.5
Polikristal Si	19.8
Amorf Si	12.7
Çok katlı Güneş hücreleri	40

Ticari ortama girmiş olan geleneksel Si güneş hücrelerinin yerini alabilecek verimleri aynı ama üretim teknolojileri daha kolay ve daha ucuz olan güneş hücreleri üzerinde de son yıllarda çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Bunlar; fotoelektrokimyasal çok kristalli Titanyum Dioksit hücreler, polimer yapıllı Plastik hücreler ve güneş spektrumunun çeşitli dalga boylarına uyum sağlayacak şekilde üretilebilen enerji bant aralığına sahip Kuantum güneş hücreleri gibi yeni teknolojilerdir.

3.3. FOTOVOLTAİK GÜNEŞ PANELLERİNİN GELİŞİMİ

İlk kez 1839 yılında Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu gözlemleyerek Fotovoltaik

olayını bulmuştur. Katılarda benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından gösterilmiştir. Bunu izleyen yıllarda çalışmalar bakır oksit ve selenyuma dayalı foto diyotların, yaygın olarak fotoğrafçılık alanında ışık metrelerinde kullanılmasını beraberinde getirmiştir. 1914 yılında fotovoltaik diyotların verimliliği %1 değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik diyotlar ilk kez 1954 yılında Chapin tarafından silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi izleyen 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.

1970'li yılların başlarına kadar, güneş pillerinin uygulamaları ile sınırlı kalmıştır. Güneş pillerinin yeryüzünde de elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları 1954'lerde başlamış olmasına karşın, gerçek anlamda ilgi 1973 yılındaki 1. petrol bunalımını izleyen yıllarda olmuştur. Amerika'da, Avrupa'da, Japonya'da büyük bütçeli ve geniş kapsamlı araştırma ve geliştirme projeleri başlatılmıştır. Bir yandan uzay çalışmalarında kendini ispatlamış silikon kristaline dayalı güneş pillerinin verimliliğini artırma çabaları ve diğer 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.

Yakın geçmişe kadar alışla gelmiş elektrik enerjisi üretim yöntemleri ile karşılaşıldığında çok pahalı olarak değerlendirilen fotovoltaik güç sistemleri, artık yakın gelecekte güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilmektedir. Özellikle elektrik enerjisi üretiminde hesaba katılmayan ve görünmeyen maliyet olarak değerlendirilebilecek "sosyal maliyet" göz önüne alındığında, fotovoltaik sistemler fosile dayalı sistemlerden daha ekonomik olarak değerlendirilebilir (Karamanav, 2007).

3.4. GÜNEŞ PİLLERİNİN OLUMLU VE OLUMSUZ ÖZELLİKLERİ

Güneş pillerinin (fotovoltaik panellerin) birçok olumlu ve olumsuz özellikleri bulunmaktadır. Bunlar özetle aşağıda verilmiştir.

3.4.1 Olumlu Özellikler

- Güneş ışınımını elektrik enerjisine çeviren tüm doğrudan enerji dönüştürücüleri içinde en yüksek verime sahip olanıdır. (Laboratuvarlarda özel olarak imal edilmiş deneysel piller %30 civarında bir verime ulaşabilmektedirler).
- İletim hattına gereksinim yoktur, ihtiyacın olduğu yere kurulabilir.
- Kurulması çabuk ve kolaydır. İhtiyaca göre kapasitesi kolaylıkla artırılabilir ya da azaltılabilir.
- Modüler yapısı nedeniyle bir modülü devre dışı kalsa bile diğerleri elektrik üretmeye devam eder.
- Bakım gereksinimi yoktur.
- Oldukça uzun ömürlüdür teorik olarak sonsuz olmasına karşın ortalama olarak 20-25 yıldır.
- Sessiz ve temizdir, çevre kirlenmesine neden olmaz.
- Seri üretim için uygundur.
- Birim ağırlık başına yüksek çıkış gücüne sahiptir.
- Ham maddesi silisyum dünyada en bol maddelerdendir. Petrol kömür, bakır gibi tükenen maddeleri kullanmaz.
- En uzak kırsal alanlara enerji sağlayarak şehirlere göçü ve çarpık şehirleşmeyi engellemebilir.

3.4.2 Olumsuz Özellikler

- İlk yatırımı yüksektir.
- Üretilen akım doğru akım olduğundan, ya doğru akımla çalışan cihazlar ya da eviriciler kullanılmaktadır.

- Sürekli üretim yapamadığı için üretilen enerjinin bir akü ile depolanması gerekmektedir.
- Güneşleme yönünden zengin bölgelere ihtiyaç vardır.
- Beher kilowatt güç için yaklaşık 10 m² alana gerek vardır.
- Çok fazla güneş ışını alan bölgelerde, sıcaklık nedeni ile verimin azalması söz konusudur.

3.5. GÜNEŞ PİLLERİNİN KULLANIM ALANLARI

Güneş pilleri, elektrik enerjisinin gerekli olduğu her uygulamada kullanılabilir. Güneş pili modülleri uygulamaya bağlı olarak, akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve çeşitli elektronik destek devreleri ile birlikte kullanılarak bir güneş pili sistemi (fotovoltaik sistem) oluştururlar. Bu sistemler, özellikle yerleşim yerlerinden uzak, elektrik şebekesi olmayan yörelerde, jeneratöre yakıt taşımanın zor ve pahalı olduğu durumlarda kullanılırlar. Bunun dışında dizel jeneratörler ya da başka güç sistemleri ile birlikte karma olarak kullanılmaları da mümkündür.

Bu sistemlerde yeterli sayıda güneş pili modülü, enerji kaynağı olarak kullanılır. Güneşin yetersiz olduğu zamanlarda ya da özellikle gece süresince kullanılmak üzere genellikle sistemde akümülatör bulundurulur. Güneş pili modülleri gün boyunca elektrik enerjisi üreterek bunu akümülatörde depolar, yüke gerekli olan enerji akümülatörden alınır. Akünün aşırı şarj ve deşarj olarak zarar görmesini engellemek için kullanılan denetim birimi ise akünün durumuna göre, ya güneş pillerinden gelen akımı ya da yükün çektiği akımı keser. Şebeke uyumlu alternatif akım elektriğinin gerekli olduğu uygulamalarda, sisteme bir invertör eklenerek akümülatördeki DC gerilim, 220 V, 50 Hz.lik sinüs dalgasına dönüştürülür. Benzer şekilde, uygulamanın şekline göre çeşitli destek elektronik devreler sisteme katılabilir. Bazı sistemlerde, güneş pillerinin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayan maksimum güç noktası izleyici cihazı bulunur.

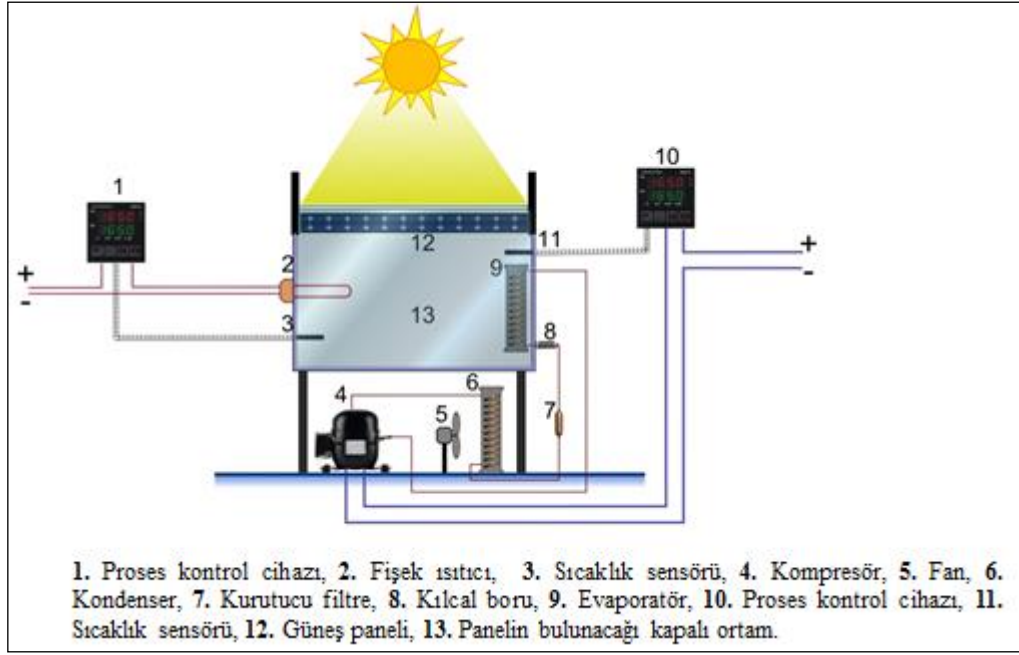
BÖLÜM 4

MATERYAL VE METOD

Çalışmada, fotovoltaik modül sıcaklığının panel verimine etkisini deneysel olarak incelemek amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak bir deney düzeneği tasarlanarak imal edilmiş ve üzerinde gerekli testler yapılmıştır. Deneylede güneş ışınım şiddeti, panel arkası sıcaklık, panelin bulunduğu ortam sıcaklığı, akım ve gerilim değerleri ölçülerek kaydedilmiştir. Elde edilen ölçüm sonuçları kullanılarak panelin verim değerleri hesaplanmıştır.

4.1. MATERYAL

Panel veriminin modül sıcaklığı ile değişiminin gözlemlenebilmesi için fotovoltaik güneş paneli kapalı bir ortam içerisine konumlandırılmıştır. Kapalı ortam cam malzeme ile çevrelenmiştir. Panelin sıcaklık değişimiyle veriminin belirlenebilmesi için iç ortam sıcaklığı 4 farklı sıcaklık değerinde sabitlenmiştir. Kapalı ortamda sabit sıcaklık değerleri elde edebilmek için ortamda hem ısıtıcı hem de soğutucu kullanılmıştır. Isıtma için ısıtıcı rezistanslar kullanılırken soğutma için basit buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi sistemi yapılmıştır. Kapalı ortamın iç hava sıcaklığını otomatik kontrol elemanları sayesinde istenilen sıcaklıkta sabit tutmak mümkün olmuştur. Panel üzerine gelen güneş ışınımı şiddeti ve farklı set sıcaklıklarında panel veriminin belirlenebilmesi için tasarlanan sistemin şematik resmi Şekil.4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1. Deney düzeneğinin şematik resmi.

Şekilde, 12 numara ile gösterilen fotovoltaik panel üzerine gelen güneş ışınımı şiddeti solarmetre cihazı ile ölçülerek kaydedilmiştir. 13 numara ile gösterilen kapalı ortamın sıcaklığı ise 2 numaralı fişek ısıtıcı ve 4-5-6-7-8-9 numaralarından oluşan buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimi elemanları ile oluşturulan soğutma sistemi sayesinde istenilen değerlerde set edilmiştir. Kapalı ortamın sıcaklığı istenilen set değerinin altına düştüğünde 1 numara ile gösterilen otomatik kontrol elemanı 2 numaralı fişek ısıtıcıyı devreye sokarak istenilen set sıcaklığına kadar ısıtır. Benzer şekilde kapalı ortamın sıcaklığı istenilen set değerinin üzerine çıktığında 10 numaralı otomatik kontrol elemanı sayesinde soğutma sistemi devreye girerek istenilen set değerine kadar soğutma işlemini gerçekleştirir. Kapalı ortamın sıcaklık değerini istenilen değerde tutabilmek için dijital termostatlardan yararlanılmıştır. Fotovoltaik güneş panellerinin arka yüzüne monte edilen sensörlerden alınan sıcaklık değerlerine göre dijital termostatlar soğutma ve ısıtma elemanlarını devreye sokarlar.

Tasarımı yapılan deney düzeneğini oluşturmak için sistemi oluşturan standın dış gövdesi profil malzemeler kullanılarak kaynaklı birleştirme işlemi yapılmıştır. Soğutma sistemini oluşturan kompresör ve kondenser bir sunta üzerine sabitlenerek sistemin alt kısmına yerleştirilmiştir. Sunta üzerine kompresör, kondenser, kondenser

fanı ve drayer gibi soğutma sistemi elemanları da yerleştirilmiştir. Sistemimizin üst kısmına ortam sıcaklığını ayarlayabilmek için cam malzemeden bir kapalı hacim imal edilmiştir. Kapalı hacim içerisinde epevaporatör, fotovoltaiik panel, evaporatör fanı ve ısıtıcı rezistans bulunmaktadır. Sistemin imalat ve montaj işlemleri bitirildikten sonra soğutma sistemine gaz basılarak gaz kaçak kontrolleri yapılmıştır. Sistemin otomatik kontrol elemanları küçük bir panelde toplanıp kapalı ortamın üst ön kısmına monte edilmiştir.



Şekil 4.2. İmalatı yapılan deney düzeneği.

Çizelge 4.1. Sistemde kullanılan elemanlar.

Sıra No	Kullanılan Malzeme
1	1/4 Hp Kondenser
2	1/5 Hp Evaporatör
3	12/24 V 70 Watt Kompresör
4	SP127 Akü (12V7AH/20HR)
5	18/120 Sac Salyangoz Fan, 275 m ³ /h debi 220 W 85 Watt
6	10 W kristal silikon güneş paneli
7	JT-830LN Multimetre
8	Lae Dijital termostat
9	TT-T-ECHNI-C Sıcaklık ölçer

Ayrıca sistem üzerindeki otomatik kontrol elemanları tek bir butonda birleştirilerek kullanımı kolaylaştırılmıştır. Tasarlanıp imalatı yapılan sistem Şekil 4.2' de ve sistemde kullanılan elemanlar Çizelge 4.1'de görülmektedir. Sistemde fotovoltaik güneş paneline gelen güneş ışınımı elektrik enerjisine dönüştürerek aküye depolamaktadır. Depolanan elektrik enerjisi sistem üzerinde bulunan led lambalarını çalıştırmaktadır.

4.2. SİSTEMDE KULLANILAN CİHAZLAR

Deney düzeneğini oluşturan elemanlar ayrıntılı olarak aşağıda belirtilmiştir.

4.2.1. Kompresör

Pistonlu kompresörler, günümüzde yavaş yavaş kullanım alanı azalmakla beraber, küçük kapasite olarak atölyelerde veya bazı ağır sanayi tesislerinde yüksek kapasitede kullanım alanı bulmaktadır. Pistonlu kompresörler teorik olarak, termodinamik verimi en yüksek olan kompresör türüdür. Bununla beraber, piston, segman, valflar gibi aşınmaya karşı çalışan parçalarının çok fazla olması önemli dezavantaj olarak karşımıza çıkmaktadır. Sistemde Şekil 4.3' de gösterilen pistonlu kompresör kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Kompresör.

4.2.2. Evaporatör

Soğutma sistemlerinde kullanılan buharlaştırıcının bir diğer adı da evaporatördür. Soğutma serpantini de denir. Buharlaştırıcı; soğutma sisteminde, soğutucu akışkanın sıvı olarak girip buharlaştıktan sonra gaz olarak çıktığı bölümdür. Soğutucu akışkan, evaporatörün kanallarına girince ısıyı, soğutulan maddeden ya da ortamdan soğurur ve ısıyı ortamdan absorbe ederken de kaynamaya başlayarak buharlaşır. Bu işlemler sonucunda evaporatör, tüm sistemin genel amacı olan soğutma olayını gerçekleştirir. Şekil 4.4 'de sistemde kullanılan kanatçıklı bir evaporatör gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Evaporatör.

4.2.3. Kondenser

Yoğuşturucu veya kondenser olarak da isimlendirilmektedir. Soğutucu sistemlerde soğutmayı sağlayan maddenin gaz olarak girdikten sonra ısınımsını çevreye vererek sıvı hale geçtiği bölümdür. Düz boruların kıvrım sayısının artırılması ile yoğuşturucunun ısıyı havaya atması kolaylaştırılmakta ve bu sayede, soğutkan maddenin soğutulmuş sıvı haline geçmesi sağlanmaktadır. Sistemde kullanılan kanatçıklı bir kondanser Şekil 4.5'de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Kondenser.

4.2.4. Fan

Deney sisteminde biri kapalı ortamdaki havanın ortam içerisine homojen bir biçimde dağılmasını sağlamak amacıyla diğeri ise kondenserden ısı atımını kolaylaştırmak için Şekil 4.6’da gösterilen iki adet fan kullanılmıştır.



Şekil 4.6. Fan.

4.2.5. Kılcal Boru

Yoğuşturucu ile buharlaştırıcı arasına yerleştirilmiş iç çapı ve uzunluğu soğutma sisteminin kapasitesine göre seçilmiş olup, çoğunlukla çapı 0.76 ile 2.16 mm arasında değişen çok küçük çaplı bir boru kısmıdır. İç çapı çok küçük olduğu için kılcal boru adı verilir. Esas itibariyle iki görevi vardır. Kondenserden çıkan sıvı haldeki akışkanın basıncını düşürerek ve miktarını ölçerek (gerekli miktarda) evaporatöre ulaştırır. Kompresör durduğu zaman alçak ve yüksek basınç devreleri arasında bir köprü vazifesi görerek yüksek basınç tarafındaki akışkanın alçak tarafına

geçmesini sağlar. Bu suretle her iki devre basıncı birbirine eşit olur ve kompresör tekrar kalkış yaparken büyük bir basınç yükü ile karşılaşmaz. Deney sisteminde kullanılan bakır borudan imal edilmiş olan örnek kılcal boru Şekil 4.7’de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Kılcal boru

4.2.6. Drayer (Kurutucu)

Soğutma sistemi kompresörleri gaz sıkıştırmak üzere tasarlandığı için kompresöre sıvı girmesi ciddi sıkıntılara sebep olabilir. Sistemde dolaşan nemin tutulması için soğutmada drayer (kurutucu) denen elemanlar kullanılır. Şekil 4.8’ de sistemde kullanılan rakorlu drayer görülmektedir.



Şekil 4.8. Drayer.

4.2.7. Akü

Elektrik enerjisini kimyasal enerjiye çevirip depolayan ihtiyaç halinde elektrik enerjisine çevirerek kullanıma sunan bir cihazdır. Akü amper / saat ile ölçülendirilir. Örnek: 12 volt - 42 ah. - 12volt / 60 ah -12 volt / 200 ah gibi. Bunun anlamı 12 volt -

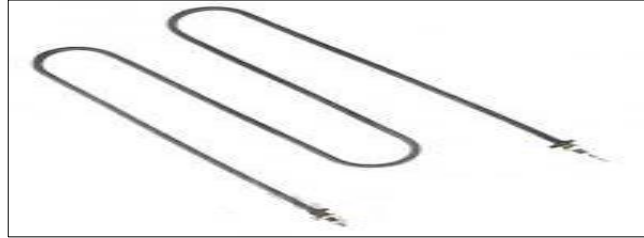
60 amper etiketli bir akü, 60 amperi 1 saat boyunca akımı vermelidir. Akülerde yazan 12 volt ibaresi voltajı, 60 amper ibaresi ise saat bazında ilettiği akımı gösterir. Diğer bir ölçü ibaresi de 12 volt - 60 ah (480 en) şeklindedir. Şekil 4.9’da güneş pilinin üretmiş olduğu enerjiyi depolayan akü görülmektedir.



Şekil 4.9. Akü.

4.2.8. Isıtıcı rezistans

Elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştüren direnç tellerine rezistans olarak tanımlanmaktadır. Sistemde Şekil 4.10’da gösterilen kapalı ortamın ısıtılmasında kullanılan 220 V gerilim ile çalışan hava ısıtılmalı rezistans kullanılmıştır.



Şekil 4.10. Isıtıcı rezistans.

4.2.9. Güneş Paneli

Güneş enerjisinden elektrik üretiminde karşımıza çıkan fotovoltaik (photovoltaic) terimi, ışıktan gerilim üretilmesi anlamına gelir ve genellikle “PV” ile gösterilir. Güneş pilleri, enerjinin korunumu yasasına uygun olarak, ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren cihazlar olup enerjiyi depolayamazlar. Işık kaynağı ortadan kalktığında, pilin ürettiği elektrik de kesilecektir. Eğer gece boyunca da elektrik

kullanılacaksa, sisteme bir elektrik depolayıcı eklenmesi gerekir. Sistemde Şekil 4.11’de gösterilen silikon kristal hücre yapısına ve 10 W kapasiteye sahip fotovoltaik güneş paneli kullanılmıştır.



Şekil 4.11. Fotovoltaik güneş paneli.

4.3. ÖLÇÜM CİHAZLARI

Deneyle esnasında kullanılan ölçü aletlerinin kısa tanımlamaları aşağıda verilmiştir.

4.3.1. Dijital Multimetre

Ampermetreler, elektrik akımının akım şiddetini (iletkenden geçen akım miktarını) ölçen aletlerdir. Elektrik devresinde alıcıya seri bağlanırlar. Deneyle PV modülden elde edilen akım ve gerilim değerleri Şekil 4.12’de gösterilen Multimetreler ile ölçülmüştür.



Şekil 4.12. Dijital multimetre.

4.3.2. Isıtma Ve Soğutma Dijital Termostatı

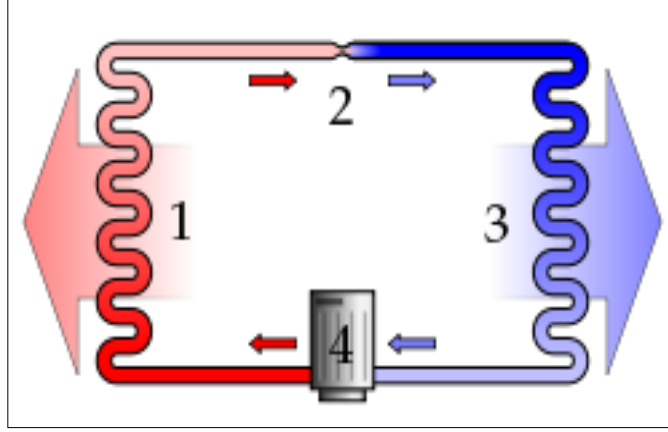
Şekil 4.13' de ısıtma ve soğutma sisteminin devreye girip çıkmasını sağlayan ısıtma ve soğutma dijital termostatı gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Isıtma ve soğutma dijital termostatı.

4.4. SOĞUTMA ÇEVİRİMİ

Soğutma çevrimi, ısıyı emen soğutucu bir akışkanın sonrasında yayması sonucu oluşan ısı değişiklikleri olarak tanımlanabilir. Bu ısı değişiklikleri bir soğutucu içinde gerçekleşir. Çevrim döngüsü şu şekilde ifade edilebilir: Alçak basınçtaki soğutucu akışkan kompresör tarafından yüksek basınca çıkartıldıktan sonra kondensere gönderilir. Kondenserde yoğuşma oluşturularak genleşme valfine yollanır ve buradan geçirilerek alçak basınçlı sıvı haline dönüştürülür. Buradan da evaporatör vasıtası ile soğutma gerçekleştirilir. Basit buhar sıkıştırırmalı soğutma çevrimi olarak adlandırılan sistemin şematik resmi Şekil 4.14'de verilmiştir.

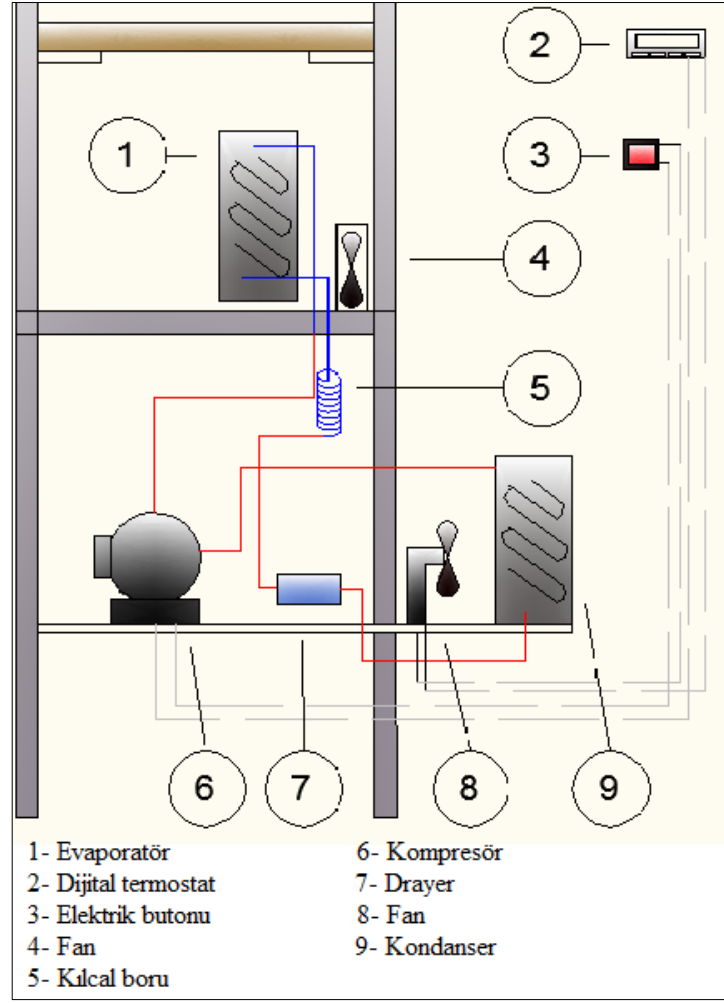


Şekil 4.14. Soğutma çevrimi şematik resmi.

Şekilde;

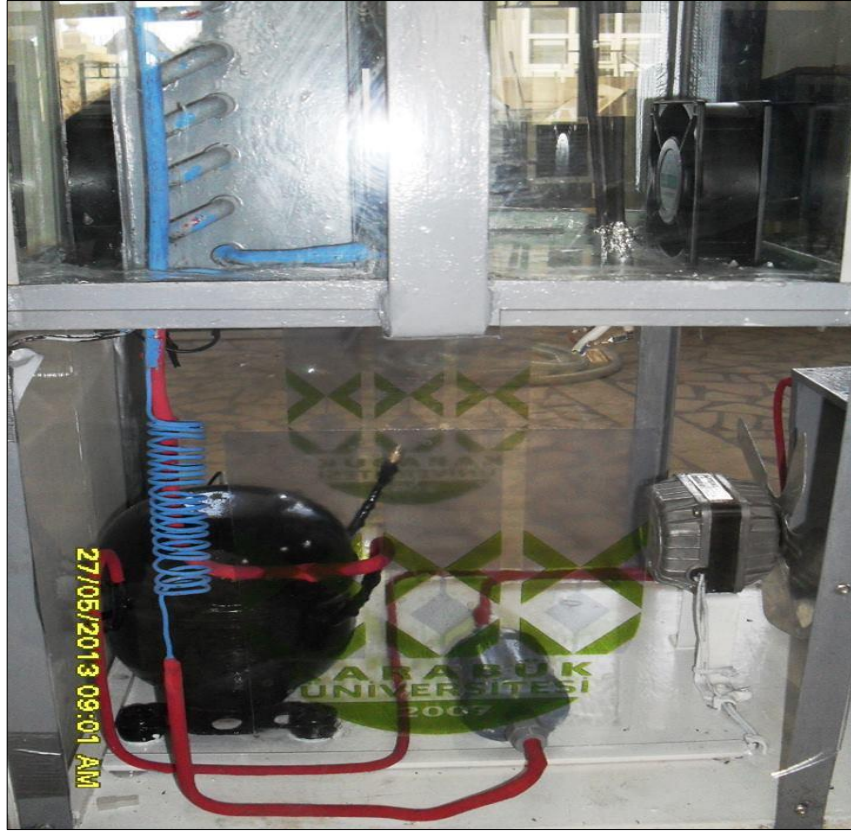
- 1-Kondanser (Yoğuşturucu)
- 2-Genişleme Vanası (Kısılma Vanası olarak da rastlanabilir)
- 3-Evaporatör (Buharlaştırıcı)
- 4-Kompresör

olarak ifade edilir. Bu uygulamalarda, ısının düşük sıcaklıktaki kaynaktan, yüksek sıcaklıktaki ortama yollanması ile depolama alanları ya da yaşam alanları soğutulur. Isı normalde termodinamiğin ikinci kanununa göre yüksek sıcaklıktan, düşük sıcaklığa doğru hareket etmektedir. Bu yüzden yapılan uygulamalarda yalıtımın önemi çok büyüktür. Bu nedenle düşük ısı iletim katsayısına sahip yalıtım malzemeleri kullanılır. Soğutma çevriminin çalışma prensibi, matematik olarak Sadi Carnot tarafından 1824'de bir ısı makinesi ile tanımlanmıştır. En genel haldeki soğutucu sistemler, faz değişimli ısı pompasını temel alan çevrimi kullanır, bununla beraber absorbeli (soğutmalı) ısı pompaları da uygulamaların birçoğunda kullanılır. Şekil 4.15' de deney düzeneğinde kullanılan soğutma sisteminin şematik görünümü verilmiştir.



Şekil 4.15. Deney düzeneğinde kullanılan soğutma sisteminin şematik görünümü.

İmalatı yapılan deney düzeneğinde yer alan soğutma sisteminin elemanları Şekil 4.16 de görülmektedir.



Şekil 4.16. Deney düzeneğinde yer alan soğutma sistemi.

4.5. METOD

Deneysel ölçümler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak panel verimi hesaplanmıştır. Mishra ve Tiwari (2013), Ceylan vd. (2014) yapmış oldukları çalışmalara göre modül hücre verimi;

$$\eta_c = \eta_0 [1 - \beta(T_p - 25)] \quad (4.1)$$

şeklindedir. Burada; η_0 standart test şartlarındaki ($I=1000 \text{ W/m}^2$ ve $T_c=25 \text{ }^\circ\text{C}$) verimi ifade etmektedir ve değeri 0,15 dir. T_p panel sıcaklığı, β ' elektrik verimliliği sıcaklık katsayısıdır. β değeri PV modülün yapıldığı malzemeye bağlıdır. Kristal sikon malzeme için bu değer 0.0045/K dir. PV modül verimi ise; Eşitlik 4.2 ile belirlenir.

$$\eta_m = \eta_c \cdot \tau_g \cdot \alpha_c \cdot \delta_c \quad (4.2)$$

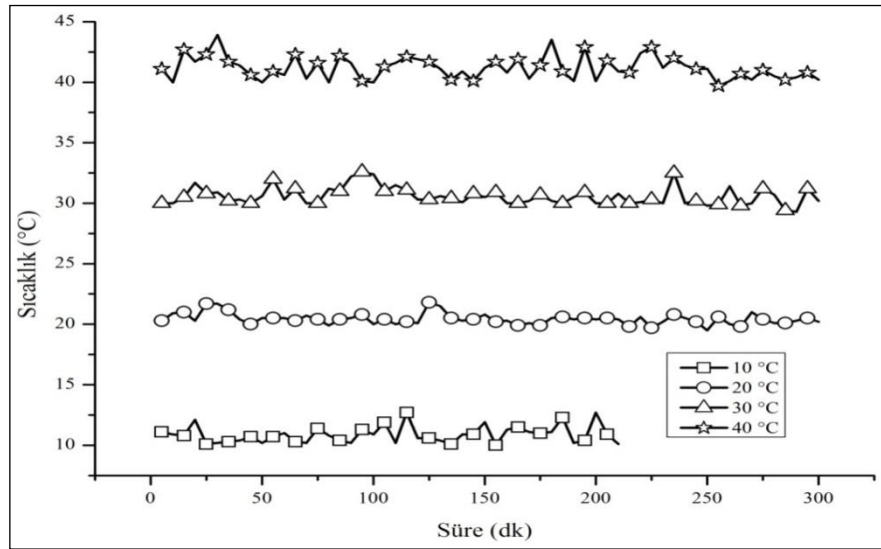
Burada; τ_g , α_c ve δ_c sırasıyla PV modülün geçirgenliği, modülün emiciliği ve packing (paket, sarma) faktörü olmak üzere değerleri 0.90, 0.95 ve 0.90 dır.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Tasarlanan ve imalatı gerçekleştirilen sistem üzerinde modül sıcaklığının panel verimine etkisini gözlemleyebilmek amacıyla deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde güneş ışınımı şiddeti, panelin bulunduğu ortam sıcaklığı, panel arkası sıcaklık, akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür. Elde edilen deneysel ölçümler neticesinde aşağıdaki grafikler oluşturulmuştur.

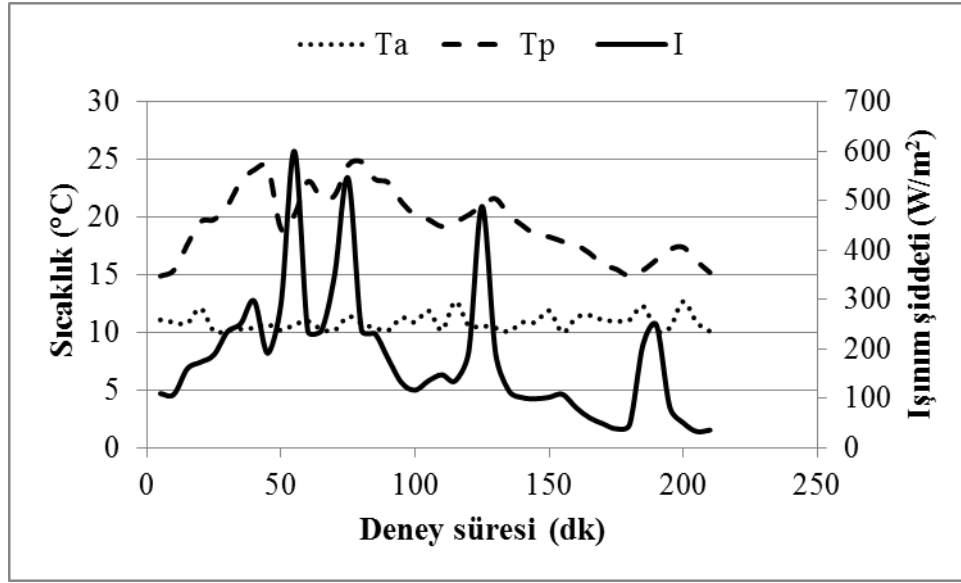
Panelin bulunduğu ortam 10, 20, 30 ve 40 °C olmak üzere 4 farklı sıcaklık değerine set edilmiştir. Panel ortam sıcaklığı bu değerlerde sabit tutulmaya çalışılmıştır. Elde edilen 4 farklı set sıcaklık değeri Şekil. 5.1’de görülmektedir.



Şekil 5.1. Fotovoltaik modülün set edilen ortam sıcaklıkları.

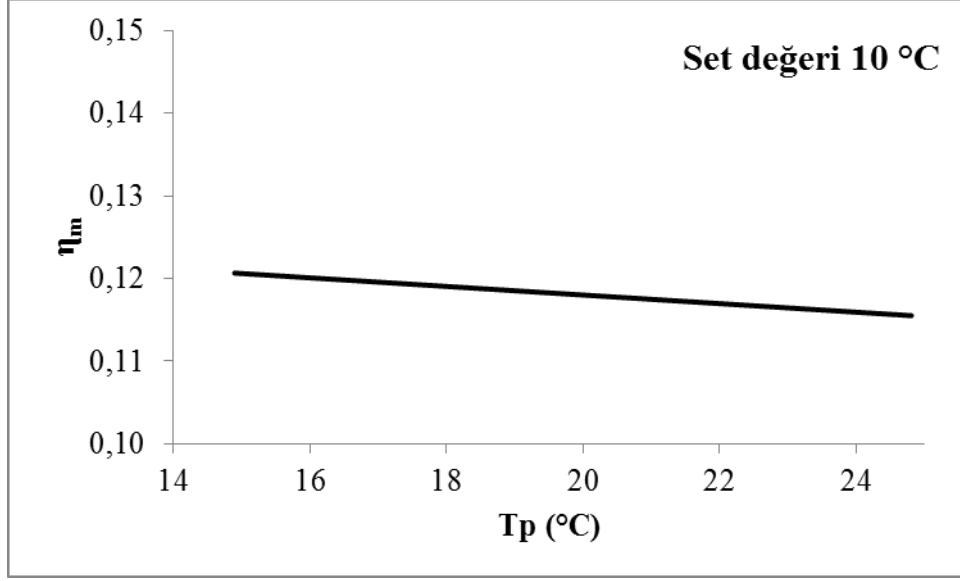
Set sıcaklığı 10°C olduğunda güneş ışınımına bağlı olarak değişen panel arkası sıcaklıkları Şekil.5.2’de görülmektedir. Şekilden de açık bir biçimde görülebileceği gibi güneş ışınım şiddetinde ani değişimler söz konusudur. Bu değişimler deney

yapılan günde hava koşullarının bulutlu/parçalı bulutlu olarak değişiklik göstermesinden kaynaklanmıştır. Güneş ışınımındaki bu değişimler panel arkası sıcaklıkları doğrudan etkilemiştir. Işınım şiddeti ile panel arkası sıcaklık değerleri doğru orantılı olarak artış ya da azalış göstermiştir. Deney yapılan sürede panel arkası sıcaklık değerleri 14,9 ile 24,8 °C arasında değişmiştir.



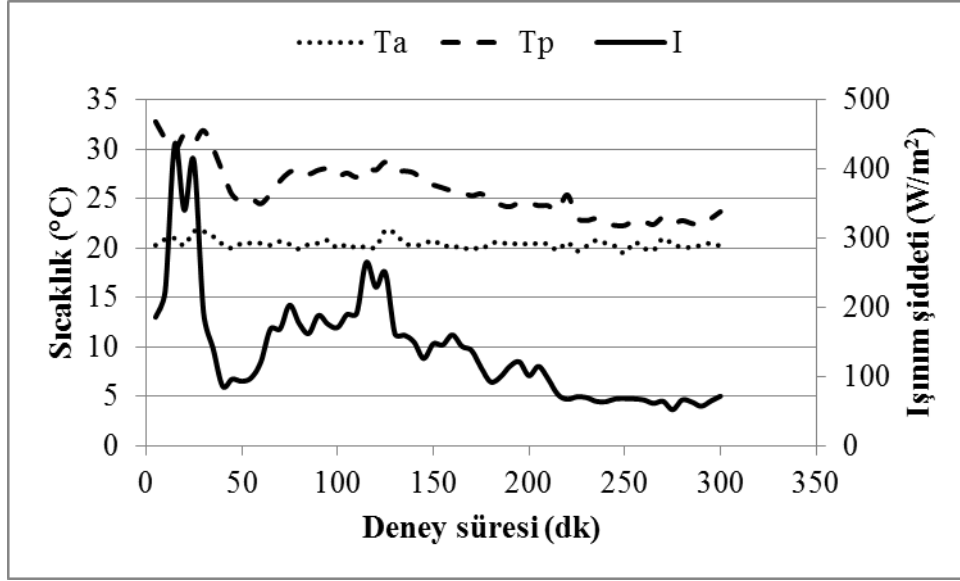
Şekil 5.2. Işınım şiddetine bağlı olarak panel arkası sıcaklığının değişimi, Ta=10 °C.

Set değeri 10 °C iken panel arkası sıcaklık değerlerine göre değişen verim eğrisi Şekil.5.3'de görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi panel arkası sıcaklık artışı verimi düşürmüştür. En düşük 14,9 °C olan panel arkası sıcaklığında modül verim değeri %12,07 olurken, bu değer panel arkası sıcaklığının 24,8 °C değerinde %11,57 olmuştur.



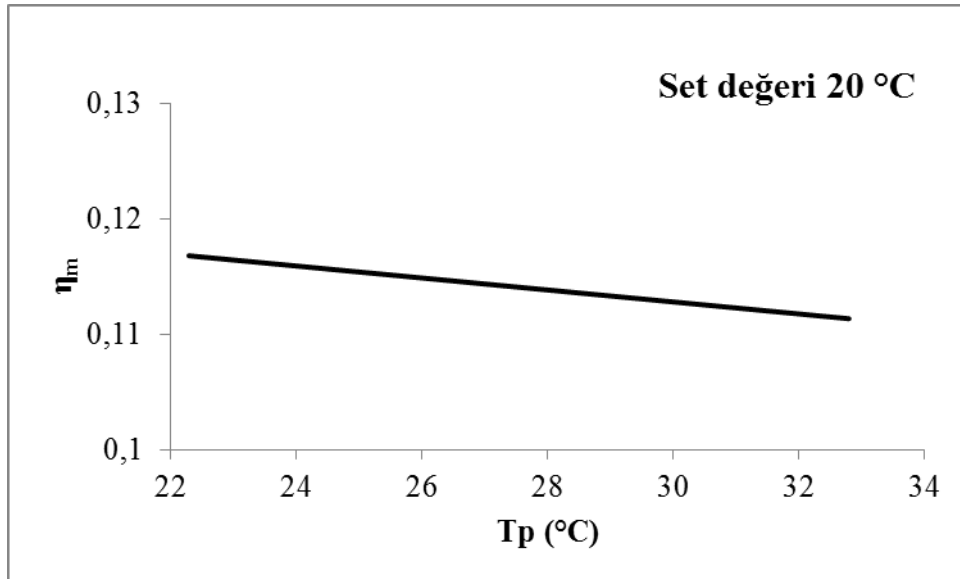
Şekil 5.3. Panel arkası sıcaklık ile modül veriminin değişimi, Ta=10 °C.

Set sıcaklığı 20°C olduğunda güneş ışınımına bağlı olarak değişen panel arkası sıcaklıkları Şekil.5.4’de görülmektedir. Şekilden de açık bir biçimde görülebileceği gibi deneyin başlangıç aşamalarında güneş ışınım şiddeti değerlerinde büyük dalgalanmalar. Bu dalgalanmalar deney yapılan günde hava koşullarının bulutlu/parçalı bulutlu olarak değişiklik göstermesinden kaynaklanmıştır. Deney süresinin 50. dakikalarından sonra ışınım şiddetinde küçük dalgalanmalar olmakla birlikte genel olarak azalma eğilimindedir. Güneş ışınımındaki bu değişimler panel arkası sıcaklıkları doğrudan etkilemiştir. Işınım şiddeti ile panel arkası sıcaklık değerleri doğru orantılı olarak artış ya da azalış göstermiştir. Deney yapılan sürede panel arkası sıcaklık değerleri 22,3 ile 32,8 °C arasında değişmiştir.



Şekil 5.4. Işınım şiddetine bağlı olarak panel arkası sıcaklığının değişimi, $T_a=20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

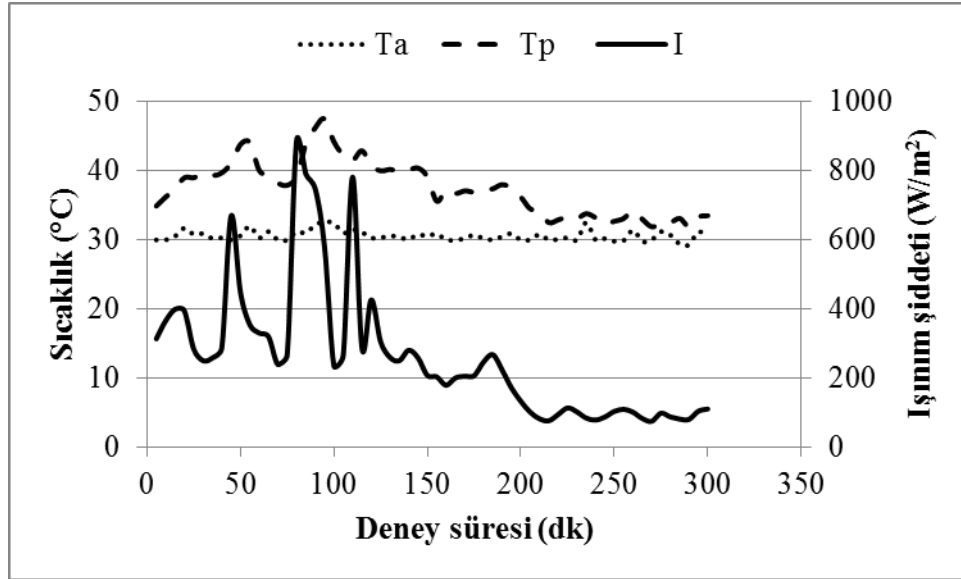
Panel arkası sıcaklık değerlerine göre değişen verim eğrisi Şekil.5.5'de görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi panel arkası sıcaklık artışı verimi düşürmüştür. En düşük $22,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ olan panel arkası sıcaklığında modül verimi %11,68 olurken, bu değer panel arkası sıcaklığının $32,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ değerinde %11,13 olmuştur.



Şekil 5.5. Panel arkası sıcaklık ile modül veriminin değişimi, $T_a=20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

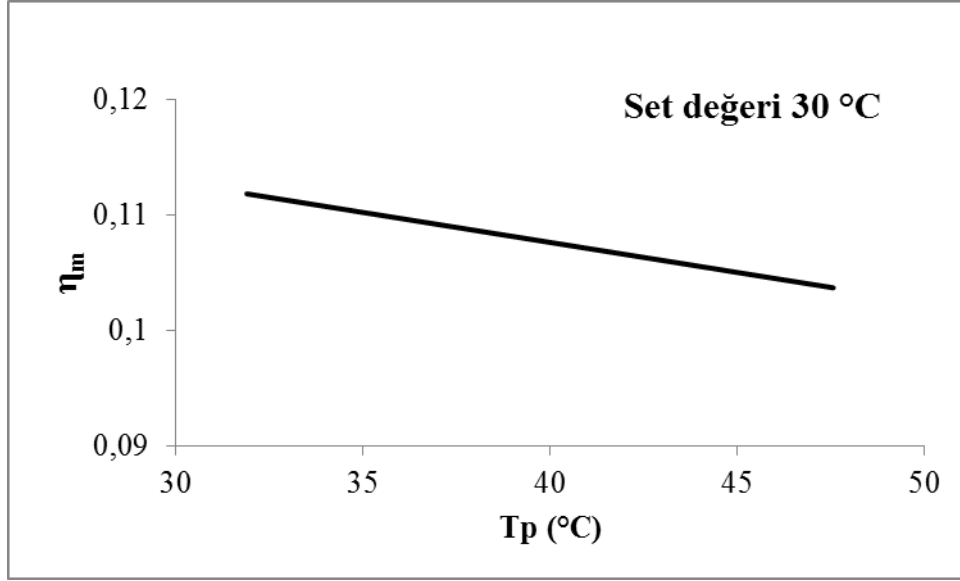
Set sıcaklığı $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ olduğunda güneş ışınımına bağlı olarak değişen panel arkası sıcaklıkları Şekil.5.6'da görülmektedir. Şekilden de açık bir biçimde görülebileceği

gibi deneyin başlangıç aşamalarında güneş ışınım şiddeti değerlerinde büyük dalgalanmalar söz konusudur. Bu dalgalanmalar deney yapılan günde hava koşullarının bulutlu/parçalı bulutlu olarak değişiklik göstermesinden kaynaklanmıştır. Deney süresinin 100. dakikalarından sonra ışınım şiddetinde küçük dalgalanmalar olmakla birlikte genel olarak azalma eğilimindedir. Güneş ışınımındaki bu değişimler panel arkası sıcaklıkları doğrudan etkilemiştir. Işınım şiddeti ile panel arkası sıcaklık değerleri doğru orantılı olarak artış ya da azalış göstermiştir. Deney yapılan sürede panel arkası sıcaklık değerleri 31,9 ile 47,5 °C arasında değişmiştir.



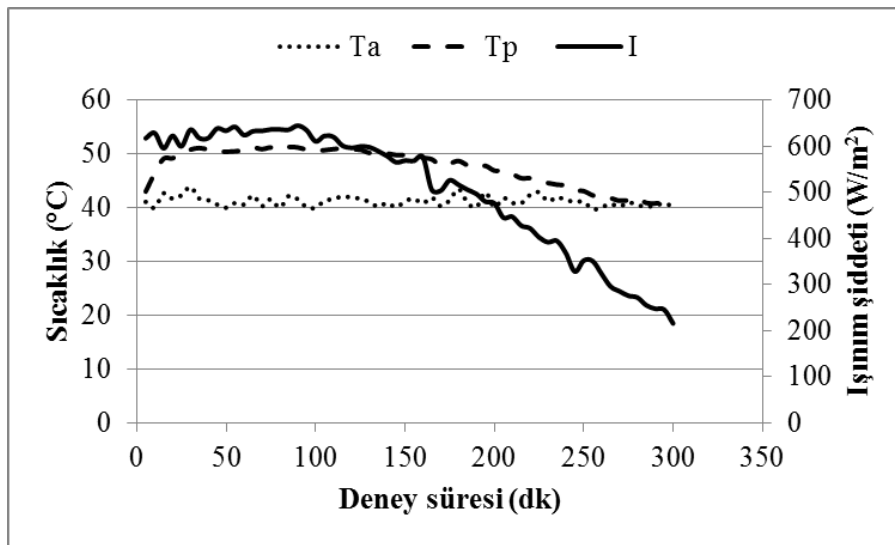
Şekil 5.6. Işınım şiddetine bağlı olarak panel arkası sıcaklığının değişimi, Ta=30 °C.

Panel arkası sıcaklık değerlerine göre değişen verim eğrisi Şekil.5.7'de görülmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi panel arkası sıcaklık artışı verimi düşürmüştür. En düşük 31,9 °C olan panel arkası sıcaklığında modül verimi %11,18 olurken, bu değer panel arkası sıcaklığının 47,5 °C değerinde %10,37 olmuştur.



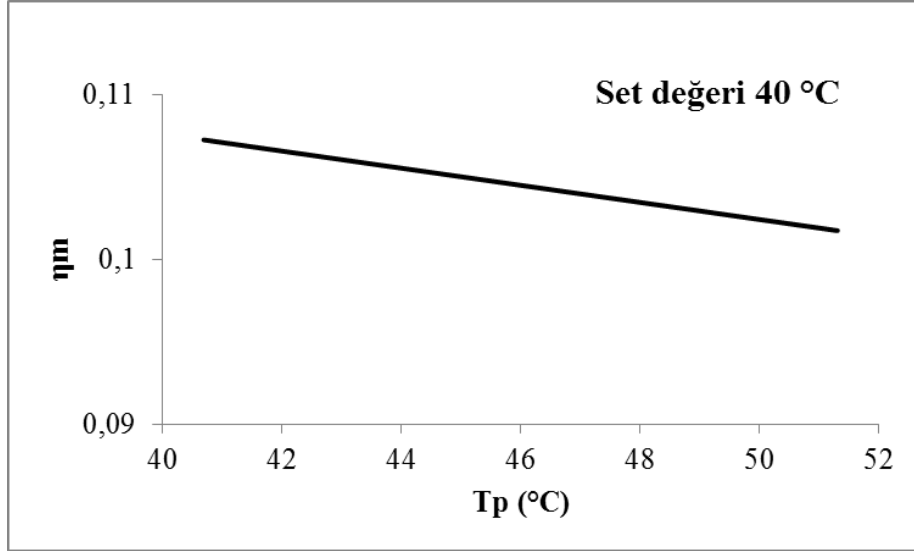
Şekil 5.7. Panel arkası sıcaklık ile modül veriminin değişimi, Ta=30 °C.

Set sıcaklığı 40°C olduğunda güneş ışınımına bağlı olarak değişen panel arkası sıcaklıkları Şekil.5.8’de görülmektedir. Şekilden de açık bir biçimde görülebileceği gibi güneş ışınım şiddeti değerlerinde küçük dalgalanmalar olmakla birlikte genel olarak azalma eğilimindedir. Güneş ışınımındaki bu değişimler panel arkası sıcaklıkları doğrudan etkilemiştir. Işınım şiddeti ile panel arkası sıcaklık değerleri doğru orantılı olarak artış ya da azalış göstermiştir. Deney yapılan sürede panel arkası sıcaklık değerleri 40,7 ile 51,3 °C arasında değişmiştir.



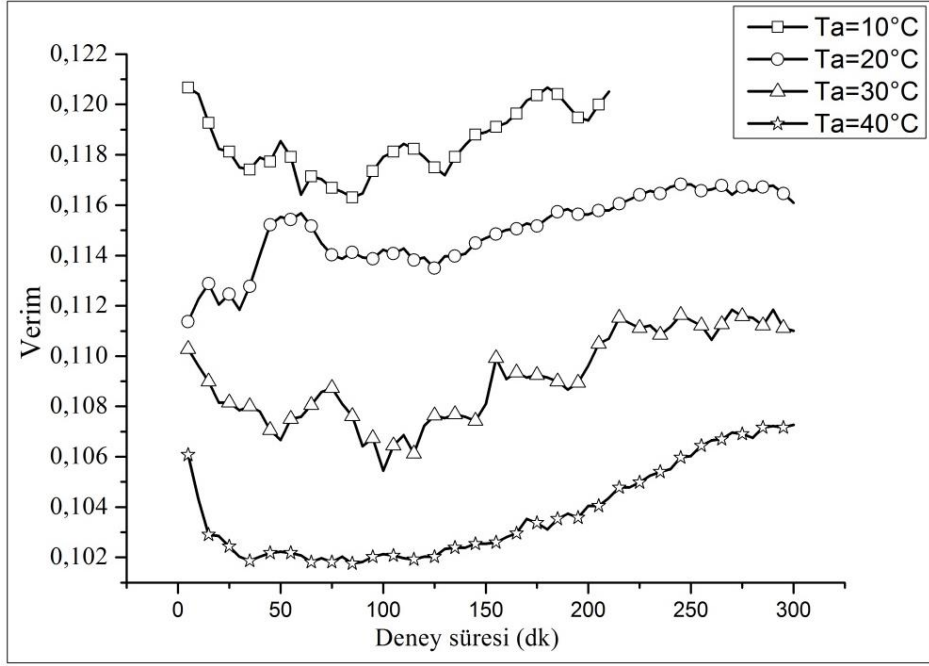
Şekil 5.8. Işınım şiddetine bağlı olarak panel arkası sıcaklığının değişimi, Ta=40 °C.

Panel arkası sıcaklık değerlerine göre değişen verim eğrisi Şekil.5.9'da görölmektedir. Şekilden de görölebileceği gibi panel arkası sıcaklık artışı verimi düşürmüştür. En düşük 40,7 °C olan panel arkası sıcaklığında modül verimi %11,72 olurken, bu değer panel arkası sıcaklığının 51,3 °C değerinde %10,17 olmuştur.



Şekil 5.9. Panel arkası sıcaklık ile modül veriminin değişimi, Ta=30 °C.

Şekil 5.10 da set edilen ortam sıcaklıklarına göre deney süresince değişen verimler görölmektedir. Şekilden de açıkça görölebileceği gibi sıcaklık artışı panel verimini düşürmüştür. Ta'nın 10 ° C olduğu durumda ortalama panel verimi %11.94 olarak hesaplanırken Ta'nın 20, 30 ve 40 °C sıcaklıklarında ortalama panel verimleri sırasıyla %11.30, %10.81 ve %10.27 olarak hesaplanmıştır. Deney süresi boyunca değişiklik gösteren panel verimi panel üzerine gelen güneş ışınım şiddetinin değişiminden kaynaklanmıştır.



Şekil 5.10. Set edilen sıcaklıklara göre panel veriminin değişimi.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında enerjinin gerekliliğine değinilerek, güneş enerjisinin önemi vurgulanmaya çalışılmıştır. Güneş enerjisi uygulama alanları içerisinde yer bulan çalışma güneş pili verimini incelemek için yapılan çalışmadır. Bu bağlamda tasarımı yapılan çalışmada bu etken göz önünde bulundurulmaktadır. Bu araştırma, sözü edilen bu etken dikkate alınarak tasarlanıp imalatı gerçekleştirilen güneş pillerinin Karabük son bahar aylarında güneş ışık şiddeti altındaki performans ölçümlerini içermektedir. Deneysel çalışmada imalatı yapılan sistem ile Karabük son bahar aylarında açık alanda güneşli ve bulutlu havalarda güneş ışık şiddeti kullanarak güneş pilinin verimini gözlemek ve kapalı ortam havasını istenilen değerde ayarlayabilmek hedeflenmiştir. Bu hedef doğrultusunda güneş pilinin Karabük hava şartlarında verimi ve enerji üretim kapasitesi gözlenmiştir. Yapılan deneylerde PV modülün bulunduğu ortam 4 farklı sıcaklık değerine set edilmiştir. Ortam sıcaklığının artışı panel arkası sıcaklığını arttırarak verimi düşürmüştür. Düşük güneş ışınımı şiddetlerinde de ortam sıcaklığı yüksek ise panel verimi düşüş göstermiştir. Yapılan hesaplamalara göre panel arkası sıcaklığının min. 14.9 °C değerinde %12 olan panel verimi, panel arkası sıcaklığının 51.3 °C değerinde %10.7 olmuştur. Paneller çalışma şartlarında güneşten kazandıkları enerjinin büyük bir bölümünü ısı enerjisi olarak açığa çıkardığından ileriki çalışmalarda panellerin soğutulması konularına yer verilerek verimlerinin artışı sağlanabilir.

KAYNAKLAR

Agrawal, S., Tiwari, G. N. and Pandey, H. D., “Indoor experimental analysis of glazed hybrid photovoltaic thermal tiles aircollector connected in series”, *Energy and Buildings*, 53: 145-151 (2012).

Agroui, K. “Indoor and outdoor characterizations of photovoltaic module based on multicrystalline solar cells”, *Energy Procedia*, 18: 857-866 (2012).

Bahaidarah, H., Subhan, A., Gandhidasan, P. and Rehman, S., “Performance evaluation of a PV (photovoltaic) module by back surface water cooling for hot climatic conditions”, *Energy*, 59: 445-453 (2013).

Batman, M. A., “Elektrik üretimi için güneş pillerinin kullanımında verimi artırıcı yeni bir yöntem”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul 35-45 (2001).

Boz, O., “Alternatif enerji kaynakları ve fotovoltatik güneş pillerinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir 18-20 (2011).

Ceylan, İ., Gürel, A. E., Demircan, H. and Aksu, B., “Cooling of photovoltaic module with temperature controlled solar collector”, *Energy and Buildings*, 72: 96-101 (2014).

Chandrasekar, M., Suresh, S., Senthilkumar, T. and Ganesh, M., “Passive cooling of standalone flat PV module with cotton wick structures”, *Energy Conversion and Management*, 71: 43-50 (2013).

Erkul, A., “Monokristal, polikristal ve amorf-Silisyum güneş panellerinin verimliliğinin incelenmesi ve aydınlatma sistemi uygulaması” Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 28-32 (2010).

Gao, L., Dougal, R. A., Liu, S. and Lotova, A. P., “Solar PV system to address partial and rapidly fluctuating shadow conditions” *IEEE Transactions On Industrial Electronics*, 56: 1548-1556 (2009).

Gedik, E., “Düz ve zigzaglı emici plaka yüzeyine sahip farklı iki hava akışkanlı güneş kollektörü tasarımlarının deneysel olarak incelenmesi ve performanslarının kıyaslanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 25-29 (2007).

İnternet: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, “Güneş Enerjisi Teknolojileri”, http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx (2014).

Karamanav, M., “Güneş pilleriyle ilgili deneysel çalışmalar ve güneş enerjisi hakkında istatistiksel bilgilerin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 36-39 (2007).

Kenny, R P., Loannides, A., Müllejans, H., Zaaiman, W. and Dunlop, E. D., “Performance of thin film PV modules”, *Thin Solid Films*, 511: 663-672 (2006).

Küpeli, A. Ö., “Güneş pilleri ve verimleri”, Yüksek lisans Tezi, *Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 18-20 (2005).

Mishra, R. K. and Tiwari, G. N., “Energy and exergy analysis of hybrid photovoltaic thermal water collector for constant collection temperature mode”, *Solar Energy*, 90: 58-67 (2013).

Solanki, S. C., Dubey, S. and Tiwari, A., “Indoor simulation and testing of photovoltaic thermal (PV/T) air collectors”, *Applied Energy*, 86: 2421-2428 (2009).

Teo, H. G., Lee, P. S., and Hawlader, M. N. A., “An active cooling system for photovoltaic modules”, *Applied Energy*, 90: 309-315 (2012).

Ünal, O., “Fotovoltaik etki ile güneş pili işleminin temel ilkeleri incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 43-48 (2006).

ÖZGEÇMİŞ

Erhan ÖZTÜRK 1981 yılında Ordu’da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. 1999 yılında Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü’nde öğrenime başlayıp 2003 yılında iyi derece ile mezun oldu. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı’nda başlamış olduğu yüksek lisans programına devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Fen Bilimler Enstitüsü
Demir çelik kampüsü 100.Yıl / KARABÜK

Tel : (506) 5150204

E-posta : e_ozturk@hotmail.com.tr