



**SİLİNDİRİK KANATÇIKLAR İLE SOĞUTULAN
FOTOVOLTAİK PANELİN ENERJİ
PERFORMANSININ DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ**

Musa DEMİR

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Termodinamik Bilim Dalı
Yrd. Doç. Dr. Gökhan ÖMEROĞLU**

2017

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**SİLİNDİRİK KANATÇIKLAR İLE SOĞUTULAN FOTOVOLTAİK
PANELİN ENERJİ PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

Musa DEMİR

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Termodinamik Bilim Dalı**

**ERZURUM
2017**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

**SİLİNDİRİK KANATÇIKLAR İLE SOĞUTULAN FOTOVOLTAİK PANELİN
ENERJİ PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Yrd. Doç. Dr. Gökhan ÖMEROĞLU'nun danışmanlığında Musa DEMİR tarafından hazırlanan bu çalışma 05/07/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makina Mühendisliği Anabilim Dalı – Termodinamik Bilim Dalı'nda Yüksek lisans tezi olarak oybirliği (3./3..) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Ömer ÇOMAKLI

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gökhan ÖMEROĞLU

İmza :

Üye : Yrd. Doç. Dr. Eyüphan MANAY

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 03.08.2017 tarih ve 31./20..... nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Cavit KAZAZ
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildiriş, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİLİNDİRİK KANATÇIKLAR İLE SOĞUTULAN FOTOVOLTAİK PANELİN ENERJİ PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Musa DEMİR

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Termodinamik Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Gökhan ÖMEROĞLU

Çağımızda yenilenebilir enerji kaynakları gitgide önemini artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük gelişmeyi güneş enerjisi göstermiştir. Güneş enerjisinin farklı teknolojilerde değişik uygulama alanlarına sahip olduğu bilinmektedir.

Fotovoltaik hücrelerin güneşten gelen ışınım akısının teorik olarak yaklaşık %15-20'lik bir kısmını elektriğe çevirdiği bilinmektedir. Gelen ışınım enerjisinin geri kalan kısmı ise ısıya dönüşmektedir. Isısı artan her maddenin sıcaklığı yükseldiği gibi panellerde de sıcaklık artışı görülmektedir. Bu sıcaklık artışının fotovoltaik hücrelerin verimlerini düşürdüğü gerek deneysel veriler sonucunda gerekse de literatür bilgileri incelendiğinde görülmektedir. Fotovoltaik hücreler sıvı ya da gaz bir akışkan ile soğutulunca elektriksel veriminde bir artış olmaktadır. Kullanılan akışkana kazandırılan termal enerji farklı ihtiyaçlar için kullanılabilir. Bahsi geçen bu sıcaklık yükselişinin önüne geçebilmek amacıyla bir deney düzeneği tasarlanıp imal edilmiştir. Güneş ışınımının ısı enerjisi olarak geri dönüşümü için kanala farklı yüzey alanlarına sahip ve zorlanmış taşınımına maruz kalan farklı geometrilere sahip alüminyum kanatçıklar dizilmiştir. Bu kanatçıkların toplam verime olan etkileri tasarlanan kontrol hacmi içerisinde farklı diziliş konfigürasyonları yapılarak değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda şaşırtmalı dizilim de yüzey alanı daha az olmasına rağmen daha iyi bir performansa ulaşıldığı görülmüştür. Deney sisteminde farklı geometrilere (3mm, 6mm eksenel kanala sahip ve helisel şekle sahip kanatçıklar) ve diziliş pozisyonlarına (düz dizilim ve şaşırtmalı dizilim) sahip olan kanatçıklar kullanılmıştır. Bu kanatçıklar kullanıldığında elektriksel verim, kontrol hacmine giren hava hızına (3,3m/s – 3,9m/s – 4,5m/s) ve ışınım şiddetine (700 W/m², 950 W/m², 1200 W/m²) bağlı olarak %13,8-9,7 civarındadır. Bu rakam sıradan PV sisteminde ise %7,9-6,9 seviyelerine düşmektedir. Böylelikle farklı yüzey alanlarına sahip bu kanatçıkların fotovoltaik hücrelerden ısıyı çekerek fotovoltaik panelin sıcaklığının düşmesiyle birlikte verimin artmasında büyük rol oynadığı kanısına varılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda fotovoltaik hücrelerin sürekli çalışma şartları sırasında elektriksel veriminin %7 seviyelerine düşmesinin önüne geçilmiştir. Bu enerji kazancının yanı sıra kontrol hacminden kazanılan termal enerji ise yine hava hızına bağlı olarak 630-304 Watt arasında olmaktadır.

2017, 88 sayfa

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji kaynakları, Güneş enerjisi, Fotovoltaik Panel Soğutma, Kanatçıklar, Verim Artırma

ABSTRACT

Master Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PHOTOVOLTAIC PANELIN ENERGY PERFORMANCE CHANGED WITH CYLINDRICAL FINS

Musa DEMİR

Atatürk University
Faculty of Engineering
Department of Mechanical Engineering
Department of Thermodynamics

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Gökhan ÖMEROĞLU

Renewable energy sources are increasingly important in our time. Solar energy has shown the greatest development among renewable energy sources. It is known that solar energy has different application areas in different technologies. It is known that photovoltaic cells convert about 15% to 20% of the theoretical solar radiation flow to electricity. The rest of the incoming radiation energy is converted into heat. As the temperature of each item increases, the temperature increases in the panels as well. It is seen that this temperature increase decreases the yields of photovoltaic cells both as a result of experimental data and also when literature information is examined. There is an increase in the electrical efficiency of the photovoltaic cells when they are cooled with a gas fluid in the liquid. The thermal energy imparted to the fluid used can be used for different needs. An experimental setup has been designed and manufactured in order to avoid this temperature rise. For recycling solar radiation as thermal energy, the aluminum fins with different geometries have been arranged with different surface areas and different transport surfaces. The effects of these fins on total fertilization were evaluated by making different array configurations within the designed control volume. As a result of the evaluations made, it has been seen that even though the surprise array has a smaller surface area, better performance is achieved. In the test system, wings with different geometries (3mm, 6mm axial flow and wing with helical shape) and alignment positions (straight array and staggered array) were used. When these fins are used, the electrical efficiency depends on the air velocity entering the control volume (3,3m / s - 3,9m / s - 4,5m / s) and the radiation intensity (700W / m², 950W / m², 1200W / m²) is about 13,8-9,7%. This figure falls to 7,9-6,9% in ordinary PV system. Thus, it has come to the conclusion that these fins with different surface areas are attracting heat from the photovoltaic cells and thus play a major role in increasing the efficiency of the photovoltaic panel as the temperature decreases. As a result of the measurements made, the electrical efficiency of the photovoltaic cells is reduced to 7% during continuous operating conditions. In addition to this energy gain, the thermal energy obtained from the control volume is also between 630 and 304 Watts, depending on the air velocity.

2017, 88 pages

Keywords: Renewable energy sources, Solar energy, Photovoltaics Panel Cooling, Fins, Increase Efficiency

TEŞEKKÜR

Araştırmanın konusunun belirlenmesiyle başlayan tez sürecimin her aşamasında bilimsel katkılarıyla bana sabırla yol gösteren, tecrübesini ve bilgi birikimini paylaşan, her konuda desteğini eksik etmeyen değerli danışman hocam Sayın Yrd. Dr. Gökhan ÖMEROĞLU'na müteşekkirim. Uygulama aşamasında deney düzeneğimin hazırlanması esnasında değerli fikirlerinden yararlanmış olduğum, desteğini esirgemeyen Sayın Makine Mühendisi Yiğit Boğaç NAKİPOĞLU'na, Sayın Arş. Gör. Ahmet Numan ÖZAKIN'a ve Mansour NASİRİ'ye teşekkür ederim. Hayatımın her anında ve her konuda bana destek olan aileme çok teşekkür ederim. Deneylerim süresince beni yalnız bırakmayan değerli dostlarım Ahmet ERİŞMİŞ, Halit Çağrı KOYUNOĞLU, Sadrettin ÇODUR'A teşekkür ederim.

Musa DEMİR

Haziran, 2017

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Motivasyon.....	1
1.2. Tezin Amacı	5
2. KURAMSAL TEMELLER.....	7
2.1. Literatür Araştırmaları.....	7
2.2. Güneş Enerjisi Sistemleri	11
2.2.1. Düşük sıcaklıklı güneş enerji sistemleri.....	12
2.2.2. Yüksek sıcaklıklı güneş enerji sistemleri	12
2.3. Fotovoltaik Güneş Sistemleri	12
2.3.1. Güneş spektrumu	15
2.3.2. Fotovoltaik sistemlerin çalışma prensibi.....	16
2.3.3. Fotovoltaik sistemlerde p-n eklemleri.....	21
2.3.4. Fotovoltaik etki.....	23
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	29
3.1. Deney Düzenegi	29
3.1.1. Test bölümü.....	34
3.1.1.a. Monokristal Fotovoltaik Modül.....	35
3.1.1.b. Kanatçıklar	36
3.1.1.c. Eksenel fan	37
3.1.1.d. Nem sıcaklık transmitteri	38
3.1.1.e. Anemometre	39
3.1.1.f. Termoeleman	40
3.1.2. Ölçüm kayıt bölümü.....	42

3.1.2.a. Veri kaydedici (Data logger-field logger)	42
3.1.2.b. Şarj regülatörü	43
3.1.2.c. AC-DC solar dönüştürücü	44
3.1.2.d. Voltaj-Akım Transmitteri	45
3.1.2.e. Termal Kamera	46
3.1.2.f. Solar piranometre	47
3.1.2.g. Çok fonksiyonlu altimetre	48
3.1.2.h. Sıcaklık sensörü	49
3.2. Termodinamik Çözümleme	50
3.3. Belirsizlik Analizi	53
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	55
4.1. Deneysel Ölçümler	55
4.2. Fotovoltaik Sistemlerde Termal Analiz	55
4.3. Alüminyum (Al) kanatçıkların fotovoltaik modülde etkisi	61
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	85
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	89

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

$\dot{m}$	Kütle Debisi
ΔT	Sıcaklık Farkı
λ	Dalga Boyu
ν	Fotonun Frekansı
A	Amper
A_s	Yüzey Alanı
c	Işık Hızı
C_p	Isınma Isısı
CPV	Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik
D_h	Hidrolik Çap
E_f	Fotonun Enerjisi
E_e	Çıkan Enerji
E_i	Giren Enerji
eV	Elektron Volt
GWp	Gigawatt Güç
h	Isı Taşınım Katsayısı
h_p	Planck Sabiti
h_d	DeneySEL Isı Taşınım Katsayısı
Hz	Fotonun Frekansı
I_f	Işınım Şiddeti
I	Güneş Işınımı
k	Isı İletim Katsayısı
kg	Kilogram
kWh	Kilowatt Saat
m	Metre
m_e	Çıkan Kütle

m_i	Giren Kütle
η	Verim
n_f	Foton Sayısı
Nu	Nusselt Sayısı
PVT	Fotovoltaik-Termal
T_e	Çıkış Sıcaklığı
T_i	Giriş Sıcaklığı
Q	Isı Enerjisi
V	Volt
W	Watt
Q_{th}	Termal Enerji
W_{fan}	Fan Gücü
T_b	Kanatçığın Yüzey Sıcaklığı
T_{∞}	Çevre Sıcaklığı
p	Kanatçığın Çevresi
Ac	Kanatçığın Alanı

Kısaltmalar

K3	3mm kanala sahip kanatçık
K6	6mm kanala sahip kanatçık
PV	Kanatçık olmadan yapılan deney (fotovoltaik modul)
VG	6mm vida adımlı (helisel) kanatçık

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Fotovoltaik hücre ve modül gösterimi	14
Şekil 2.2. Fotovoltaik hücre ve modül	14
Şekil 2.3. Fotovoltaik hücre, modül, panel ve dizi	15
Şekil 2.4. Güneş spektrumu	16
Şekil 2.5. n-tipi yarı iletken malzemenin oluşturulması	18
Şekil 2.6. Yarı iletken olan Silisyum elementinin atom düzeni ve valans elektron sayısı	18
Şekil 2.7. (a) Yalıtkan (b) Yarıiletken (c) İletken, metal enerji bantlarının şekli	19
Şekil 2.8. Elektron-hol (boşluk) hareketi	20
Şekil 2.9. Yarıiletken silisyum elementinde elektron boşluk çifti oluşturulabilmesi için ihtiyaç duyulan enerji (Masters 2004)	21
Şekil 2.10. P-tipi yarı iletken malzemenin oluşturulması	22
Şekil 2.11. N ve P -tipi yarıiletkenler	22
Şekil 2.12. P-N eklemi	23
Şekil 2.13. Fotovoltaik etki	24
Şekil 2.14. Fotovoltaik hücre çeşitleri	24
Şekil 2.15. Polikristal ve monokristal	25
Şekil 2.16. Polikristal modül	25
Şekil 2.17. Monokristal modül	26
Şekil 2.18. Amorf-silisyum hücresi	26
Şekil 2.19. Kadmiyum-tellür modülü	27
Şekil 2.20. Bakır-indiyum diselenid modülü	27
Şekil 2.21. Fotovoltaik modül çeşitleri	28
Şekil 3.1. PVT deney düzeneğinin dış görünümü	29
Şekil 3.2. Fotovoltaik modülün alt çerçevesi ve açılı ayarlama mekanizması	30
Şekil 3.3. Alüminyum kanatçıklar	31
Şekil 3.4. Deneyisel sistemde kullanılan kanatçıkların yüzey alanlarının hesaplanmasında kullanılan programın CAD görüntüsü	31

Şekil 3.5. Alüminyum kanatçıkların fotovoltaik modül üzerinde a) düz dizilim, b)şaşırtmalı dizilim.....	32
Şekil 3.6. Deneysel sistemin üç boyutlu CAD görüntüsü.....	32
Şekil 3.7. Deneysel sistemde sensörlerin yerleşim pozisyonları	33
Şekil 3.8. Deney sisteminin iç görüntüsü	34
Şekil 3.9. Deney düzeneğinde kullanılan 100W gücündeki fotovoltaik modülün ön ve arka taraftan görünüşleri	35
Şekil 3.10. Farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıklar	36
Şekil 3.11 a) 3mm orta kanallı kanatçık (K ₃) , b) 6 mm kanallı kanatçık (K ₆), c) vida adımlı kanatçık (VG).....	37
Şekil 3.12. Eksenel fan.....	38
Şekil 3.13. Nem sıcaklık ölçüm cihazı	39
Şekil 3.14. Anemometre cihazı.....	40
Şekil 3.15. Düzenekte kullandığımız anemometre cihazının hot-wire ucunun termal kamera görüntüleri	40
Şekil 3.16. Deney sisteminde kullanılan bakır ve gümüş termoelamanı ile termoelemanların dizilimleri	41
Şekil 3.17. Deney sistemimizde kullanılan veri kaydedici	43
Şekil 3.18. Şarj regülatörü	44
Şekil 3.19. DC- AC dönüştürücü	45
Şekil 3.20. Voltaj-akım transmitteri ve veri kaydedici	46
Şekil 3.21. Deneyde kullanılan termal kamera	46
Şekil 3.22. Deney düzeneğinde kullandığımız solar piranometre cihazı.....	48
Şekil 3.23. Çok fonksiyonlu dijital altimetre	49
Şekil 3.24. Pt 100 sıcaklık sensor cihazı.....	50
Şekil 3.25. Deneysel sistem için belirlenen kontrol hacminin modellemesi	50
Şekil 3.26. Tek kanatçık şematik gösterimi	51
Şekil 4.1. Fotovoltaik sistemde yüzey sıcaklığının elektriksel verime ve elektriksel güce etkisi.....	55
Şekil 4.2. Fotovoltaik modülde sıcaklığa bağlı olarak elektriksel verim değişimi grafığı	56

Şekil 4.3. Kontrol hacmi içerisine yerleştirilen kanatçıkların görüntüsü a) Düz dizilim. b) Şaşırtmalı dizilim.....	57
Şekil 4.4. 700 W/m ² ışınlım akısında monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Elektriksel Verim-Zaman grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim	58
Şekil 4.5. 950 W/m ² ışınlım akısında monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Elektriksel Verim-Zaman grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim	59
Şekil 4.6. 1200 W/m ² ışınlım akısında monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Elektriksel Verim-Zaman grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim	60
Şekil 4.7. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- ΔT_{hava} grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim	62
Şekil 4.8. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- $\Delta T_{yüzey}$ grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim)	63
Şekil 4.9. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- Q_{th} grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim).....	65
Şekil 4.10. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re-Nu grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim	67
Şekil 4.11. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- η_{th} grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim.....	68
Şekil 4.12. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- ΔT_{hava} grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim	69
Şekil 4.13. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- $\Delta T_{yüzey}$ grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim.....	71
Şekil 4.14. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- Q_{th} grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim	72
Şekil 4.15. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- Nu grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim	74
Şekil 4.16. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- η_{th} grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim.....	75

Şekil 4.17. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların $Re-\Delta Th$ grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim	76
Şekil 4.18. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların $Re-\Delta T$ yüzey grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim.....	78
Şekil 4.19. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların $Re-Q$ grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim	80
Şekil 4.20. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların $Re-Nu$ grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim	82
Şekil 4.21. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların $Re-\eta_{th}$ grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Monokristal fotovoltaiik modülün teknik özellikleri.....	35
Çizelge 3.2. Alüminyum silindirik kanatçık fiziksel özellikleri	36
Çizelge 3.3. Eksenel fan teknik özellikleri	37
Çizelge 3.4. Nem sıcaklık cihazının teknik özellikleri.	38
Çizelge 3.5. Anemometre cihazının teknik özellikleri.....	39
Çizelge 3.6. Data kaydedicinin teknik özellikleri.....	42
Çizelge 3.7. Şarj regülatörü teknik özellikleri	43
Çizelge 3.8. 2000W'lık dönüştürücünün teknik özellikleri	44
Çizelge 3.9. Voltaj-akım transmitter cihazının teknik özellikleri.....	45
Çizelge 3.10. Testo 875-1 kodlu termal kamerasının teknik özellikleri.....	47
Çizelge 3.11. Piranometre cihazının teknik özellikleri	48
Çizelge 3.12. Dijital altimetre cihazının teknik özellikleri	49
Çizelge 3.13. Pt 100 sıcaklık cihazının teknik özellikleri.....	49

1. GİRİŞ

1.1. Motivasyon

Enerji geçmişte insanoğlunun hayatta kalabilmek için ihtiyaç duyduğu bir gereksinimken; çağımızda gelişmişliğin ve kalkınmanın göstergesi, medeniyetimizin vazgeçilmez yapı taşlarından birisi haline gelmiştir. Ancak, sanayinin gelişmesiyle ve nüfus artışıyla artan enerji tüketimi, yerine yenisi konulamayacak olan fosil yakıtların gittikçe tükenmesine sebep olacaktır. Sonuç olarak tabiat üzerinde geri dönüşümü mümkün olmayan bir hasara sebep olunmakta ve çevresel kirliliğe sebep olunmaktadır. Bu çevre kirliliği ulusal olduğu kadar uluslararası boyutlara da uzanmaktadır. Dolayısıyla enerjiye bağlı sorunların üstesinden geline bilmesi için gerekli önlemlerin alınmasında, uluslararası anlaşmaların önemi büyüktür. Günümüzde enerji kaynakları yenilenemeyen ve yenilenebilir olmak üzere iki grupta toplanmaktadır. Yenilenemeyen enerji kaynaklarının oluşumu ve kullanıldıklarında yenilenmeleri çok uzun sürede (milyonlarca yılda) gerçekleştiği için yenilenemez enerji kaynakları olarak adlandırılır. Bu enerji kaynaklarını kömür, petrol, doğalgaz ve nükleer enerji olarak belirtebiliriz. Bugün, dünyadaki enerji üretimi çoğunlukla fosil yakıt kullanan termik santraller, hidroelektrik ve nükleer enerji santrallerince karşılanmaktadır. Endüstriyel faaliyetler sonucunda, fosil yakıtlı termik santrallerin kullanımının artışı atmosferdeki karbondioksit miktarını geçtiğimiz yüzyıl içerisinde yaklaşık 1,3 kat artırmıştır. Tahmini olarak yarım yüzyıl içerisinde, bu rakamın, günümüze kıyasla 1,4 kat daha artma ihtimali söz konusudur. Atmosfer içerisindeki karbondioksitin sebep olduğu sera etkisi, geçtiğimiz yüzyıl içinde dünyanın ortalama sıcaklığını 0,7°C artırmıştır. Bahsi geçen sıcaklığın 1°C artması, dünya iklimlerinde görünür değişimlere, 3°C civarına varacak artışlar ise, kutuplardaki buzulların eriyip denizlerin yükselmesine, dolayısıyla verimli ovaların su altında kalmasına, göllerde ise kurumalara ve tarımsal kuraklığa neden olabilecektir. Bu olumsuzlukların artışı, tabi ki insan ve diğer canlıları olumsuz bir şekilde etkileyecektir. Ayrıca insan sağlığını tehdit eden 2 milyon tondan fazla kurşun ve diğer zehirli kimyasal bileşikler çevreye salınmaktadır. Faaliyete geçen bir hidroelektrik santralin baraj kısmı, çevresel etki yaratmaktadır. Baraj gölünün yüzey alanının nehre kıyasla daha büyük olması ve

buharlaşmanın fazla olmasından dolayı iklimsel etkiler oluşmaktadır. Bu sebeple havanın tuttuğu nem oranı artmakta ve hava hareketleri değişerek sıcaklık, rüzgâr, yağış olayları farklılaşmaktadır. Tüm bu farklılaşmaların insan ve çevre üzerine olumsuz etkileri olabilecektir. Nükleer santrallerden elde edilen enerji, fosil yakıtlı termik santraller ve hidroelektrik santrallerle elde edilen enerjiden daha temizdir. Ancak bu üretim santralleri yüksek bir teknoloji gerektirir. Aksi halde bu santrallerde meydana gelebilecek bir radyasyon sızıntısının insan sağlığı ve çevre üzerine telafisi mümkün olmayan zararlara neden olabileceği günümüz dünyasında görülmüştür.

Hiç tükenmeyeceği düşünülen, çevreye zarar vermeyen enerji kaynakları yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu enerji kaynakları güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerjisi, canlı kütle (biokütle) enerjisi, deniz kaynaklı enerji, hidrojen enerjisi şeklinde sınıflandırılmaktadır. Güneş enerjisi, sahip olduğu potansiyel ve kullanım kolaylığı ile diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla büyük bir önem arz etmektedir.

Güneş Sistemi'nin merkezinde yer alan Güneş, Dünyaya en yakın yıldızdır ve temel enerji kaynağı olması sebebiyle günlük hayatımızda büyük bir öneme sahiptir. Bu nedenle üzerinde en çok çalışılması gereken enerji kaynaklarından biridir. Özellikle, dünyada yaşayan canlılar için vazgeçilmez bir kaynaktır. Bir dinamo işlemi ile bir manyetik alan oluşturan iç konvektif (Konveksiyon, sıvıların veya gazların içindeki molekül gruplarının hareketi) harekete sahip, neredeyse mükemmel bir sıcak plazma küresidir (Nasa 2008 and 2011). Güneş 1,5 milyon km çapıyla dünyanın 109 katı büyüklüğünde ve kütlesi Dünya'nın 330.000 katı kadardır. Güneş, güneş sisteminin toplam kütlesinin yaklaşık %99.86'sını oluşturur (Güneş Sistemi; yerçekimine bağlı bir sistem olup, Güneş'i ve dolaylı veya dolaysız olarak yörüngedeki nesneleri içeren sistemdir). Güneş'in kütlesinin yaklaşık dörtte üçü hidrojen (~%73) Geri kalan kısmı çoğunlukla helyumdur (~%25), oksijen, karbon, azot ve demir gibi daha ağır elementlerin çok daha küçük miktarları vardır (Basu *et al.* 2008). Yaklaşık 4,6 milyar yıl önce büyük bir moleküler bulutun bulunduğu bir bölgedeki maddenin çöküşünden oluşmuştur (Bonanno *et al.* 2008 and Connelly *et al.* 2012). Bu maddenin çoğu merkezde toplanmış, geri kalanı ise Güneş Sistemi olan yörüngesel bir diske yayılmıştır. Merkezi kütle o kadar

sıcak ve yoğunlaşmış ki nihayetinde çekirdeğinde nükleer füzyon başlamıştır. Neredeyse tüm yıldızların bu süreçle oluştuğu düşünülmektedir.

Dört milyar yıldan fazla sürede önemli ölçüde değişmeyen güneş, beş milyar yıldan daha uzun süre oldukça istikrarlı kalacaktır. Güneşin merkezinde, temelde hidrojen çekirdeklerinin birleşmesiyle füzyon reaksiyonu meydana gelir ve helyum çekirdekleri oluşur. Bu oluşum Güneş'in yaşamının büyük bir bölümünde ki enerji, p-p (proton-proton) zinciri adı verilen bir dizi adımla çekirdek bölgesinde nükleer füzyonla üretilir. Güneş'te üretilen enerjinin sadece %0,8'i karbon, azot ve oksijen (CNO) döngüsünden gelmektedir. Güneş genişledikçe bu oranın artması beklenmektedir (Goupil *et al* 2011).

Güneş'in çekirdeği, merkezden güneş yarıçapının yaklaşık %20-25'ine kadar uzanır. 150 g/cm³ yoğunluğa (suyun yoğunluğunun yaklaşık 150 katı) ve yaklaşık 13.6 milyon Kelvin'e (K) ve 15.7 milyon Celsius'e (°C) yakın bir sıcaklığa sahiptir. Buna karşılık, Güneş'in yüzey sıcaklığı yaklaşık 5.800 K' ve 5527°C'dir (Ültanır 1996). Güneşin yaydığı ışığın yeryüzüne ulaşabilen miktarı %70 kadardır. Bu kayıp oldukça büyüktür. Buna rağmen yeryüzüne her yıl düşen ışığın enerjisi, yeryüzünde şimdiye kadar belirlenmiş olan fosil yakıt kaynaklarının yaklaşık 160 katı kadardır. Ayrıca yeryüzünde fosil, nükleer ve hidroelektrik tesislerinin bir yılda üreteceği enerjiden 15.000 kat kadar daha fazladır. Bugünün problemi güneş enerjisini elde etmek değil, bunun insanlık yararına uygun bir hale dönüştürülebilmesidir (Şen 2002).

Güneş enerjisi elektromanyetik enerjinin yer kürede ısı enerjisi olarak algılanan şeklidir. Güneşten yayınlanan ışığın, elektromanyetik özelliğe sahip olup gücün spektral dağılımı (birim dalga boyunda birim alana, birim zamanda gelen enerji) sıcaklığın bir fonksiyonudur. Güneşe ilaveten diğer yıldızlardan yeryüzüne elektromanyetik spektrumun değişik aralıklarında enerji gelmektedir. Ancak, yer kürenin temel enerji kaynağı güneş olup, yer küreye gelen ışığın büyükçe bir bölümü spektrumun görünür bölgesindedir.

Günümüzde kullanılan enerji kaynaklarının büyük bir kısmı, güneşin sebep olduğu olaylar sonucu ortaya çıkmaktadır. Günlük güneş enerjisiyle dünya aydınlatıla bilmekte, su döngüsü sağlanabilmekte ve fotosentez ile canlı yaşam sürdürülebilmektedir. Güneş, doğal ve sürekli bir füzyon reaktörü olan enerji kaynağıdır. Füzyon işlemi dört hidrojen atomunun bir helyum atomuna dönüşmesinde gizlidir. Dört hidrojen atomu 4.032 atomik kütleyle sahipken, bir helyum atomu 4.003 atomik kütleyle sahiptir. Bu çekirdek reaksiyonu sonucu oluşan 0.029'luk atomik kütle farkı Einstein'ın madde-enerji bağıntısı sonucu enerjiye dönüşmektedir. Yani güneşte her saniyede beş yüz altmış dört (564) milyon ton hidrojen beş yüz altmış (560) milyon ton helyuma dönüşmekte ve kaybolan 4 milyon ton kütle karşılığı 3.6×10^{26} joule (J) enerji açığa çıkmakta ve bu enerji uzaya yayılmaktadır. Bu değer ürkütücü gelse de, güneşin toplam enerji rezervi yaklaşık olarak 1.8×10^{47} J olduğu düşünüldüğünde bu enerjinin tüketilmesi için daha, yaklaşık 5 milyar yıllık bir süre olduğu ortaya çıkar. Dolayısıyla güneş dünya için sonsuz bir enerji kaynağıdır. Dünyaya gelen güneş enerjisi çeşitli dalga boylarındaki ışınlardan oluşur ve bu ışınlar güneş-dünya arasını yaklaşık 8 dakikada aşarak dünyaya ulaşırlar [YEGM], (2012).

Güneş enerjisinden direkt faydalanılan sistemler, aktif ve pasif sistemler olarak iki açıdan incelenmektedir. Toplayıcılar veya diğer herhangi bir dönüştürücü ile güneşten enerji temini aktif faydalanma olarak isimlendirilir. Özellikle binaların yön, geometri ve yapı elemanlarının değişimiyle güneşten enerji temini pasif faydalanma olarak adlandırılır.

Bu enerjiden faydalanma şekillerinin bazılarını belirtecek olursak, bunlar konut ve iş yerlerinin iklimlendirilmesi (ısıtma-soğutma), sıcak su temini ve yüzme havuzu ısıtılması sayıla bilir. Ayrıca, tarımsal teknolojide, sera ısıtması ve tarım ürünlerinin kurutulması, sanayide güneş ocakları, güneş fırınları, deniz suyundan tuz ve tatlı su üretilmesi, güneş pompaları, güneş pilleri, güneş havuzları, ulaşım-iletişim araçlarında, sinyalizasyon ve otomasyonda, elektrik üretiminde kullanılır (Varınca *et al.* 2005; Tsoutsos 2005).

Güneş enerjisi teknolojik açıdan iki ana grupta toplanabilir. Bunlardan birincisi güneş enerjisinden elde edilen ısı doğrudan kullanılabilir. İkincisi ise güneş pilleri vasıtasıyla

elektrik enerjisi olarak kullanılabilir. Güneş pilleri, üzerine düşen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren aygıtlardır. Bu aygıtlara fotovoltaiik hücreler de denilmektedir. İlk fotovoltaiik etki, 1839'da Becquerel tarafından gözlenmiştir. İyileştirmeler 1960'lara kadar kademeli olarak devam etmiştir. Karasal uygulamalar için 1969'dan 1977'ye kadar güneş enerjisi araştırma ve geliştirme (AR-GE) çalışmaları ön plana çıkmıştır. 1990'lı yıllarda polisilikon hücreler üretilmiş ve bu hücreler, monosilikon hücrelere göre daha az etkinlik sunmuş, ancak maliyeti düşürme nedeniyle giderek popüler hale gelmiştir. Küresel olarak kurulmuş fotovoltaiik (PV) kapasitesi, 2014 yılında dünyanın toplam elektrik tüketiminin yüzde 1'ini karşılayacak kadar azdır. Fakat fotovoltaiik güneş enerjisi, dünyada hızlı bir şekilde büyümektedir. En hızlı büyüme Asya'da özellikle Çin ve Japonya şu anda dünya çapında kullanımının yarısını oluşturmaktadır. Son yıllara kadar en çok kullanılan elektrik enerjisi üretim yöntemleri ile kıyaslandığında yüksek maliyetli olarak değerlendirilen fotovoltaiik sistemler, günümüzde ve gelecekte güç üretimine katkı sağlayabilecek sistemler olarak görülmektedir. Bilhassa elektrik enerjisi üretiminde göz ardı edilen maliyet olarak değerlendirilebilecek “sosyal maliyet” dikkate alındığında, fotovoltaiik sistemler fosile dayalı sistemlerden daha ekonomik olarak değerlendirilebilir. Dolayısıyla güneş enerji sistemleri denince ilk akla gelen PV güneş enerjisi sistemleridir. Teorik olarak tasarımları ve verimleri belirli olan bu sistemlerin gerçek işletme koşullarında ortaya çıkan yüzey sıcaklığı, tozlanma, ışıınım şiddeti ve iklim koşulları gibi bir takım sürdürülebilirlik parametreleri vardır. Bu parametreler PV sistemlerde yatırım geri dönüş süresini belirlemede en öncelikli olarak düşünülmesi gereken parametrelerdir. Bu parametrelerden en önde geleni ise güneş radyasyonuna sürekli maruz kalarak sıcaklığı gittikçe yükselen hücrelerin kısa vadede verim düşüşüyle birlikte uzun vadede deforme olmasıdır (Özakın 2016).

1.2. Tezin Amacı

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan fotovoltaiik modül, pazar payı %35 civarında olup endüstride sıkça kullanılan, verimli ve teknolojik hücrelere sahip olan monokristal yapıya sahiptir. Bu hücrelerin verimliliği %15-%20 arasındadır. Monokristal, tüm maddenin tek

kristal yapıdan oluşması ve materyalin atomik yapısının homojen olması demektir. Monokristal fotovoltaiik güneş hücrelerinin artan hücre sıcaklığıyla birlikte verimleri düşmektedir. Bu düşüşü önlemek amacıyla PV güneş hücrelerinin sıvı ya da gaz gibi bir akışkanla soğutulması, elektriksel verimde bir artışa neden olurken, diğer yandan kullanılan akışkana kazandırılan termal enerji farklı ihtiyaçlar için kullanılabilir. Bu çalışmada bilimsel olarak araştırılan konu ise PV modülü akışkanla soğutulurken, kullanılan akışkana daha fazla ısı geçişi sağlanması için farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların kullanılmasıdır. Bu kanatçıkların kullanılma amacı elektriksel verimliliğin artırılmasıdır. Çeşitli sensörler kullanarak ölçülen veriler veri kaydedicide toplanıp değerlendirilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Literatür Araştırmaları

Güneş enerjisi, termal veya elektrik enerjisine dönüştürülen mevcut en temiz ve en bol yenilenebilir enerji kaynağıdır. Modern teknoloji bu enerjiyi, elektrik üretmek, hafif veya rahat bir iç ortam sağlamak, ev, ticari veya endüstriyel kullanımlar gibi farklı kullanım alanlarında kullanabilir hale getirebilmektedir. Endüstriyel çalışmalar güneş enerjisi üretimini ölçeklendirmek, üretim ve kurulum maliyetlerini düşürmek içinde çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Güneş enerjisinin çeşitli kullanım yollarının en önemlilerinden birisi fotovoltaik cihazlarıdır. Bu cihazlar yarıiletken olarak adlandırılan belirli materyal türlerinde doğal olarak oluşan bir elektronik işlem yoluyla doğrudan güneş ışığından elektrik üretmektedir. 1839 yılında Becquerel tarafından fotovoltaik sistemlerin temelini oluşturan fotovoltaik etkinin belirlenmesinden sonra on dokuzuncu yüzyılda Willoughby Smith, W.G. Adams, R.E. Day, Augustin Mouchot ve Charles Fritts gibi araştırmacılar fotovoltaik sistemlerin verimlerini %1'ler seviyelerine ulaştırmışlardır (Anonymous 2008).

Fotovoltaik sistemler her ne kadar temiz, verimli ve sürdürülebilir sistemlerin başında yer alsa da, bu sistemlerde görünür bölgedeki güneş ışığının çok az bir kısmı elektrik enerjisine dönüştürülürken geri kalan kısmı ise ısı enerjisine dönüşmektedir. Bu ısı enerjisi yapılan böyle bir çalışmada sistemin verimini menfi yönde etkileyeceği açıktır. Rahman vd (2015) tarafından 27°C'deki laboratuvar ortamında yapılan böyle bir çalışmada ışınlam 400-1000 W/m², soğutma suyu debisi 40-160 L/h, bağıl nem ise %40-%60 aralığında değişmiştir. PV modülünün arka yüzünde hücre sıcaklığını soğutmak için bir ısı değiştirici kullanılmıştır. Soğutma kullanılmadığında, ışınlamın 1000 W / m² seviyesinde hücre sıcaklığı 56°C'ye kadar yükselmiştir. Çıkış gücü 20.47 W'a kadar düşerken, elektriksel verimlilik ise %3.13'e kadar azalmıştır. Hücre sıcaklığındaki 1°C'lik artış yaklaşık olarak güçte 0.37 W'lık bir azalma, verimde ise %0.06'lık bir azalma gözlemlenmiştir. Işınım şiddetindeki her 100 W / m²'lik artış için, çıkış gücü, 2.94 W artmış ve hücre sıcaklığında da 4.93°C artmıştır. Soğutma için su kullanılarak modül

sıcaklığının 22.4°C'ye düşürülmesi, çıkış gücünü 8.04 W arttırmış ve elektriksel verim ise %1.23 artmıştır. Bu değer, soğutma olmadan elde edilen verimlilikten %27.33 daha yüksektir. Bağlı nemin %20'lik artışı çıkış gücünü yaklaşık 3.16 W azalmıştır. Ayrıca yüzeyin tozlanması da çıkış gücünü 7.70 W azalmıştır.

Karathanassis *et al.* (2017) tarafından yapılan bu çalışmada, yeni bir parabolik oluklu fotovoltaik / termal (CPVT) sistemin tasarım ve performans değerlendirmesi tartışılmıştır. Başlangıç olarak, sistem tasarımı ve üretim prosedürleri ile sistem alt bileşenlerinin özellikleri ayrıntılı olarak örneklendirilmiştir. İkinci aşamada, parabolik çukurun optik kalitesi ile ilgili bulgular özel bir ölçüm cihazı kullanarak deneysel bir işlem aracılığı ile elde edildiği şekliyle sunulmuştur. Bu ölçüm cihazı alıcının yüzeyinde ışınlama dağılımını ve elde edilen konsantrasyon oranının belirlenebilmesi için bir dizi algılayıcı (fotodiyot) taşımaktadır. Ayrıca, optik kalitesi üzerinde önemli bir etkiye sahip olan başlıca faktörler ışın izleme simülasyonları ile belirlenmiştir. Daha sonra sistemin elektriksel ve termal performansı bu amaç için özel olarak geliştirilen bir test cihazında değerlendirilmiştir. Farklı PV modülü ve ısı soğurucu tasarımları içeren sistem alıcısının üç değişikliği değerlendirilmiştir. Prototip CPVT sisteminin genel olarak %50'ye (sırasıyla %44 termal ve %6 elektrik verimliliği) eşit bir genel verimlilik elde ettiği görülmüştür.

Ekonomik canlılığın sağlanmasına ve güneş radyasyonunun elektrik enerjisine doğrudan dönüştürülmesi için fotovoltaik teknolojinin yaygınlaştırılmasının önünde önemli bir engel, tipik düz tipi PV modüllerinin yüksek çalışma sıcaklıklarıyla ilgili kayıplardır. Bu teknik ve ekonomik inceleme, düşük konsantrasyonlu PV teknolojisi ve bileşik parabolik yoğunlaştırıcılar (CPC'ler) kullanılarak güneş pil verimliliğinin iyileştirilmesi için bir metodoloji önermek suretiyle PV sistemlerinin maliyet indirimini ele almaktadır. Bu amaçla Bahaidarah vd (2017) tarafından PV-CPC sistemlerinin performansını optik, termal ve elektriksel özellikleri göz önüne alınarak değerlendirmek için teorik bir model geliştirmişlerdir. Model, sırlı ve sırsız PV-CPC sistemlerini aktif soğutma olmadan araştırmak için uygulanmış ve deneysel verilere karşı doğrulanmıştır. Sırlamanın etkisi incelenmiş ve elektriksel açıdan sırlamanın güç çıkışını azalttığı tespit edilmiştir. Termal

bakış açısından, sırlama PV-CPC sisteminin termal kazancını artırmıştır. Daha büyük elektrik gücü çıkışı için sırsız PV-CPC sistemi önerilmiş ve yüksek termal kazanç için ise sırlı sistem önerilmiştir.

Güneş fotovoltaiik (PV) hücreleri güneş bandından elde edilmiş olan güneş radyasyonunun %80'ini soğurabilir, ancak bu soğrulan güneş enerjisinin yalnızca ufak bir miktarı, Fotovoltaiik hücrelerinin dönüşüm verimliliğine bağlı olarak elektriğe dönüştürülür. Geri kalan enerji PV hücresinin sıcaklığını artırır. Yüksek güneş radyasyonu ve ortam sıcaklığı, fotovoltaiik hücrenin çalışma sıcaklığının yükselmesine neden olur. Bu da ömrü ve güç çıkışını olumsuz etkiler. Shukla vd (2017) tarafından yapılan çalışmada, fotovoltaiik pillerin sıcaklığını sembolik işletme değerlerine yakın tutmak için çeşitli teknikler denenmiştir. Yapılan çalışmada, doğal ve zorlanmış hava soğutması, hidrolik soğutma, ısı borusu soğutma, faz değiştirme malzemeleri ile soğutma ve PV panellerin termoelektrik soğutması gibi çeşitli soğutma teknikleri tartışılmıştır. Özellikle mega kurulumlarda PV modül sıcaklığını düzenlemek için soğutma tekniklerine son derece ihtiyaç duyulsa da, bunların da ekonomik açıdan uygulanabilir olması çalışmanın önemini artıracaktır.

Fan vd (2017) Dinamik limit koşulları altında sistemin yüksek sıcaklık çıkış havası (60-90°C) sağlama potansiyelinin değerlendirilebilmesi için, boyuna kanatçıklara sahip bir hibrid fotovoltaiik termal kolektör-güneş hava ısıtıcı için dinamik bir model geliştirmişlerdir. Bu model, sistemi bir dizi kontrol hacmine ayıracak yöntemi, her kontrol hacmi için enerji denge denklemlerini ve sayısal çözümün uygulanmasını içermektedir. Model geçerliliği, deneysel bir yöntemle model tahminlerinin ampirik doğrulamasını kullanarak ve model çıktılarını literatürdeki referans verilerle karşılaştırarak başarıyla gerçekleştirilmiştir. Daha sonra dinamik model değişken sınır koşulları altında kullanılmış ve performansı eşdeğer sabit durum modeli ile karşılaştırılmıştır ve önemli zaman sabitleri gözlemlenmiştir. Sabit durum modelinin, dinamik modelin tahminleri ile karşılaştırıldığında, dinamik modelin termal enerji kazanımlarının %35 oranında fazla olduğu görülmüştür. Kanatçıkların dinamik sistemin performansı üzerindeki etkisini göstermek için sabit limit koşulları altında ilave simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Son

olarak, böyle bir dinamik modelin yararlarını göstermek için bir durum çalışması yapılmıştır ve fotovoltaiik termal kolektörün, güneş hava ısıtıcıya olan uzunluk oranının etkisi bir dizi performans kriteri kullanılarak araştırılmıştır.

Fotovoltaiik (PV) hücreler sıcaklık değişimlerine karşı duyarlıdır. Ortam sıcaklığı ve PV hücrelerine düşen güneş ışığının şiddeti arttığında, PV hücrelerinin çalışma sıcaklığı doğrusal olarak artar. PV hücrelerinin çalışma sıcaklığında meydana gelen bu artış, güç uygulamalarının çoğunda kullanılan monokristalin ve polikristalin PV hücrelerinde açık devre voltajında, doldurma faktöründe ve güç çıkışında azalmaya neden olur. Net sonuçlar, dönüşüm verimliliğini kaybetmeye ve PV hücreler malzemesine geri döndürülemez hasara neden olur. Bu nedenle, bu etkilerin üstesinden gelmek ve PV hücrelerinin çalışma sıcaklığını üretici tarafından belirtilen değerde tutmak için uygun soğutma yöntemleri ile PV hücrelerinden ısının uzaklaştırılması gereklidir. Sargunanathan vd (2016) tarafından yapılan mevcut çalışmada, piyasada bulunan PV ve konsantre fotovoltaiik hücrelerin performansını arttırmak için faz değiştirme malzemesi (PCM) kullanılarak pasif soğutma (ısı borusu esaslı ve kanatçıklar), aktif soğutma (su püskürterek), sıvı daldırmalı soğutma ve soğutma ile ilgili genel bir bakış sunulmuştur.

Joy *et al.* (2016) yaptığı bu çalışmada, nispeten düşük sıcaklıklarda aynı anda ısı ve elektrik üreten bir hibrid enerji üretim ünitesinde tekli kristal silikon PV hücreli bir güneş fotovoltaiik / termal (PV/T) kolektörünün performansı analiz edilmiştir. Bağımsız PV ve PV/T kolektörlerin su, etilen glikol (EG) veya soğutucular olarak farklı oranlardaki karışımları ile termal ve elektriksel performansları deneysel olarak incelenmiş ve sonuçlar rapor edilmiştir. Bir PV/T kolektörünün toplam enerji verimliliği, farklı kolektör sıvılarıyla ölçülmüş ve PV/T kolektörünün verimliliği, toplayıcı sıvının termal iletkenliği ile exponansiyel artışı bulunmuştur. Bir PV/T toplayıcı için su, EG'den daha iyi bir soğutma maddesidir. Suyun EG'ye göre %25 veya daha fazla bir genel verimlilik artışı görülmüştür. Bu EG'ye göre suyun yüksek ısı iletkenliğine atfedilir. Su-EG karışımındaki su ve EG oranını değiştirerek, ısı transfer akışkanının termal iletkenliği çeşitlilik göstermiş ve güneş PV/T sistemi için termal verimlilik ve toplayıcı termal iletkenlik arasındaki ampirik bir ilişki elde edilmiş ve raporlanmıştır.

Ebrahimi *et al.* (2015) yaptığı bu çalışma, soğutma sıvısı olarak doğal buhar kullanarak PV hücrenin soğutulması için yeni bir yol araştırmayı amaçlamıştır. Güneş pilinin performansı Simüle edilmiş güneş ışığı üzerinde incelenmiştir. Doğal buhar, çeşitli dağılım ve farklı kütle akış hızlarında dikey olarak PV hücrenin arka tarafıyla yüz yüze getirilmiştir. Ayrıca soğutma performansındaki doğal buhar sıcaklığının etkisi analiz edilmiştir. Sonuçlar, artan doğal buhar kütle akış hızıyla PV hücresinin sıcaklığının önemli ölçüde düştüğünü göstermiştir. Ayrıntılı olarak, PV hücresi sıcaklığı akış hızı 1.6 ile 5 gr / dk'ya ulaştığında yaklaşık 7 ile 16°C düşmüştür. Elektrik verimliliğinin %12 ile %22.9 arasında artmasına neden olmuştur. PV hücrenin en iyi performansı yüksek doğal buhar hızı, düşük doğal buhar sıcaklığı ve elde edilen optimum dağılım koşuluyla elde edilebilir.

Zagorska *et al.* (2012) PV/T hibrit güneş kollektörü üzerine deneysel bir çalışma yapmıştır. Yaklaşık iki ay boyunca günde ortalama 0,418 kWh elektrik enerjisi üretmek üzere toplam 22.99 kWh'lik elektrik enerjisi üretilmiştir. Benzer şekilde sekiz ay boyunca günde ortalama 0,416 kWh elektrik enerjisi ile toplamda 100 kWh değerinde elektrik enerjisi üretilmiştir. Yapılan bu çalışmada en yüksek soğutma suyu sıcaklığı 43°C'dir. Bu değer 15 Ağustos 2011 de saat 15:00'da çevre sıcaklığından 16°C daha yüksektir. Ancak batarya tarafından üretilen en yüksek elektrik enerjisi 146,5 kWh 08 Eylül 2011'de saat 12:45'de kaydedildiği belirtilmiştir.

2.2. Güneş Enerjisi Sistemleri

Güneş enerjisi sistemlerinde kullanılan teknolojiler yöntem, malzeme ve teknolojik gelişmişlik açısından çeşitlilik göstermektedir. Fakat genellikle fotovoltaik ve termal sistemler olarak iki ana grupta incelenebilir.

Termal güneş enerjisi sistemlerinde güneş ışınları vasıtasıyla taşınan ısıdan çeşitli şekillerde faydalanılır. Taşınan ısı direkt kullanılabileceği gibi farklı süreçlerden geçerek elektrik üretiminde de kullanılabilir. Termal güneş enerjisi sistemleri, güneş enerjisi sistemlerinde olduğu gibi kendi içinde iki ana grupta toplanabilir.

2.2.1. Düşük sıcaklıklı güneş enerji sistemleri

Düşük sıcaklıklı güneş enerjisi sistemlerinden faydalanma şekillerinin bazılarını belirtecek olursak, bunlar konut ve iş yerlerinin iklimlendirilmesi (ısıtma-soğutma), sıcak su temini ve yüzme havuzlarının ısıtılması sayılabilir. Ayrıca, tarımsal teknolojide, sera ısıtması ve tarım ürünlerinin kurutulması ve sanayide güneş havuzları, güneş bacaları, güneş destekli su arıtma sistemleri de örnek verilebilir. Bu sistemlerde güneş ışıını sayesinde kazanılan ısıının sıcaklık olarak karşılığı en fazla 100-120°C civarındadır.

2.2.2. Yüksek sıcaklıklı güneş enerji sistemleri

Yüksek sıcaklıklı güneş enerji sistemleri buhar üretiminden tutun maden eritmeye kadar birçok uygulama alanı mevcuttur. Bu sistemlere örnek vermek gerekirse parabolik oluk kolektörleri, parabolik çanak sistemleri, merkezi alıcı sistemleri şeklinde sıralanabilir. Bu tip sistemlerde amaç daha yüksek sıcaklıklar elde etmektir. Yüksek sıcaklıklara çıkmak için toplayıcılar veya dönüştürücüler kullanılmaktadır.

2.3. Fotovoltaik Güneş Sistemleri

Fotovoltaik panel, üzerine düşen güneş ışığını direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürebilen cihazlardır. Endüstride güneş pilleri olarak da ifade edilmektedir. Güneş pillerinin tarihi 1800'lü yıllara kadar dayanmaktadır. İlk fotovoltaik etki 1839'da Becquerel tarafından ortaya sunulmuştur. 1887'de ise Adams ve Day benzer bir fotovoltaik etki gözlemlemişler ve günümüzde kullandığımız fotovoltaik güneş enerji sistemlerinin de temelini oluşturmuşlardır.

Fotovoltaik hücrelerin dünyamızda elektriksel güç sistemi olarak kullanılmasına yönelik araştırma ve geliştirme (AR-GE) çabaları 1954 yıllarında başlamış olsa da gerçek manada çalışmalar 1973'teki birinci petrol bunalımını izleyen yıllarda gerçekleşmiştir. (Anonymous 2016) Amerika, Avrupa ve Japonya'da büyük bütçeli ve geniş kapsamlı AR-GE projeleri başlamıştır. Uzay çalışmalarında kendini ispatlamış olan silikon

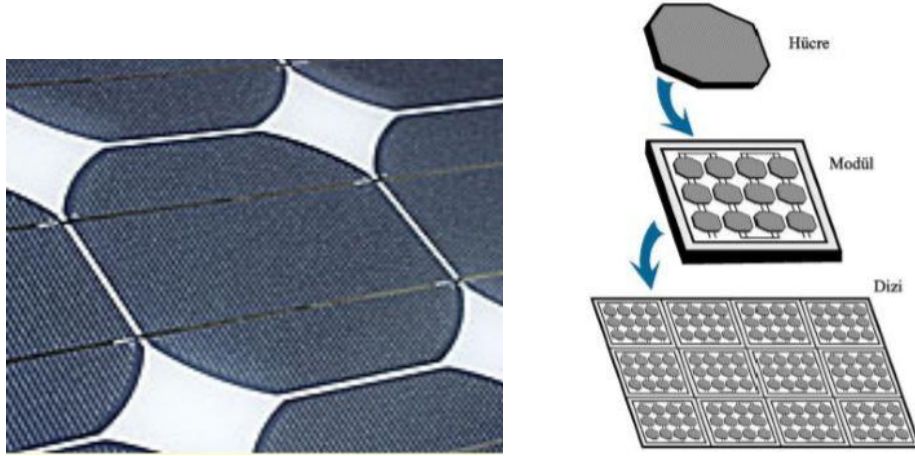
kristaline bağılı fotovoltaiik hücrelerin verimliliğini artırma çabaları aynı zamanda çok daha az yarı iletken malzemeye ihtiyaç duyulan ve bu sebeple daha uygun bir fiyata üretilebilecek ince filim fotovoltaiik piller üzerinde çalışmalara yoğunluk verilmiştir.

Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmenin kolay çevreye zararı olmayan çevre dostu fotovoltaiik hücre sistemlerinin araştırılması ve geliştirilmesi, fiyatlarının düşürölerek daha yaygın hale getirilmesi görevi uzun yıllardır üniversitelerin üstlendiğı ve sürdürdüğü bir misyon olmuştur. Bu sebeple kamuda hep laboratuvarlarda kalan bir çalışma olarak kalmıştır. Fakat son yirmi yıldır dünya genelinde çevreyi koruma konusunda ki duyarlılığın artmasıyla ilişkili olarak toplumdan gelen baskı ve dış ortaklı büyük şirketlerin fosil kaynaklara bağımlı olmayan yeni ve yenilenebilir enerji konusunda çalışma yapmaya zorlanmışlardır. Büyük şirketlerin de sorumluluk almasıyla fotovoltaiik hücreler konusundaki teknolojik ilerleme sağlanmışır.

Fotovoltaiik güç sistemleri yakın gelecekte güç üretimine önemli katkılar sağlayabilecek sistemler olarak değerlendirilecektir. Fotovoltaiik hücre sistemleri fosil kaynaklara dayalı sistemler ile karşılaştırıldığında uzun vadede çok daha ekonomik olacağı görülecektir.

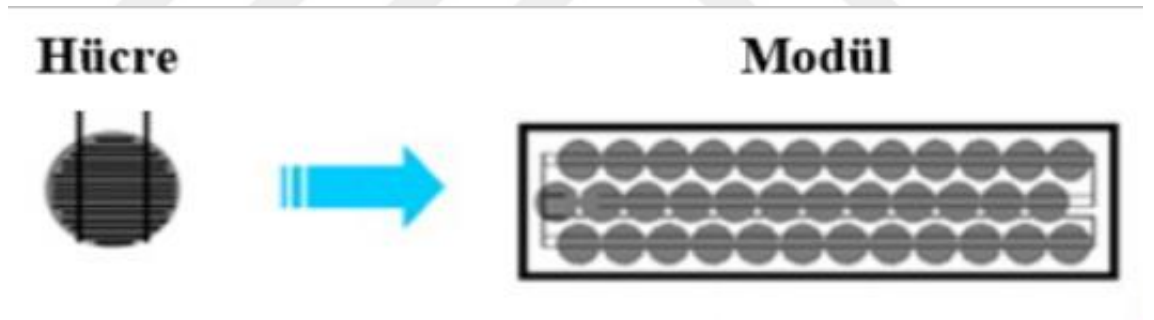
Fotovoltaiik Hücre Nedir?

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin, bir sistem veya donanım gerektirmeden doğrudan elektrik enerjisine çevrilmesini sağlayan elemanlara PV-Hücre denir.



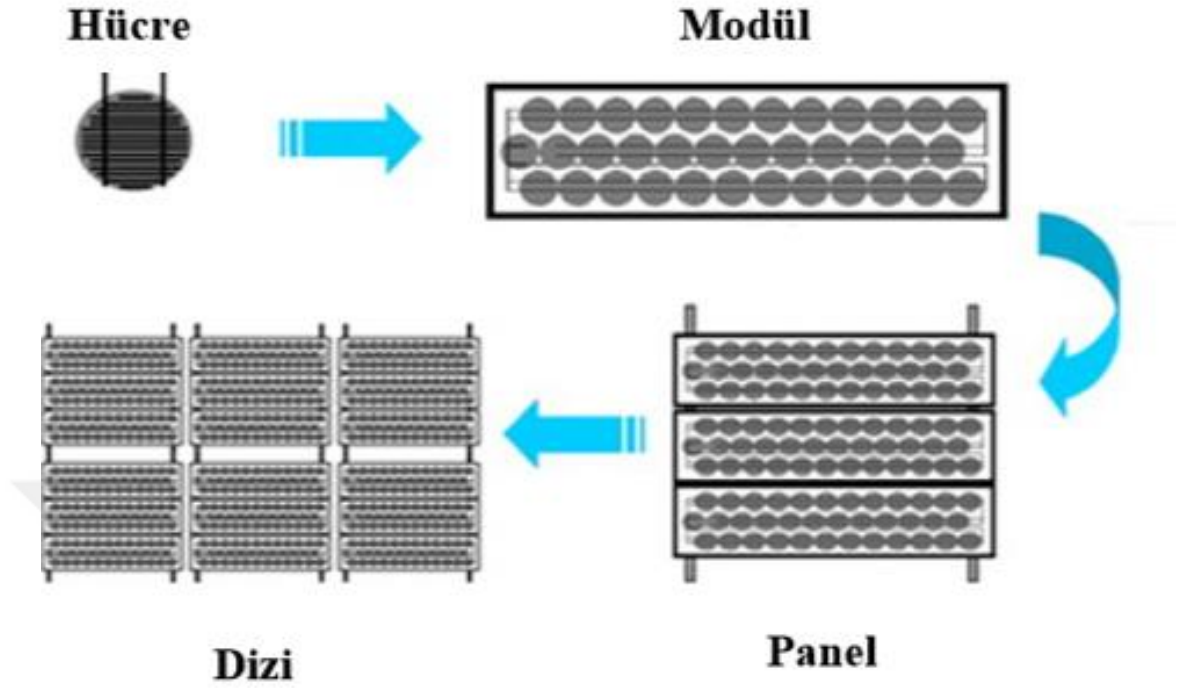
Şekil 2.1. Fotovoltaik hücre ve modül gösterimi
(National Aeronautics and Space Administration, [NASA], 2002)

Fotovoltaik ünitelerinin toplam enerjisinden faydalanabilmek için tüm hücreler birbirine elektrik ağı ile bağlanarak fotovoltaik modüle dönüşür ve bir bütün oluştururlar.



Şekil 2.2. Fotovoltaik hücre ve modül

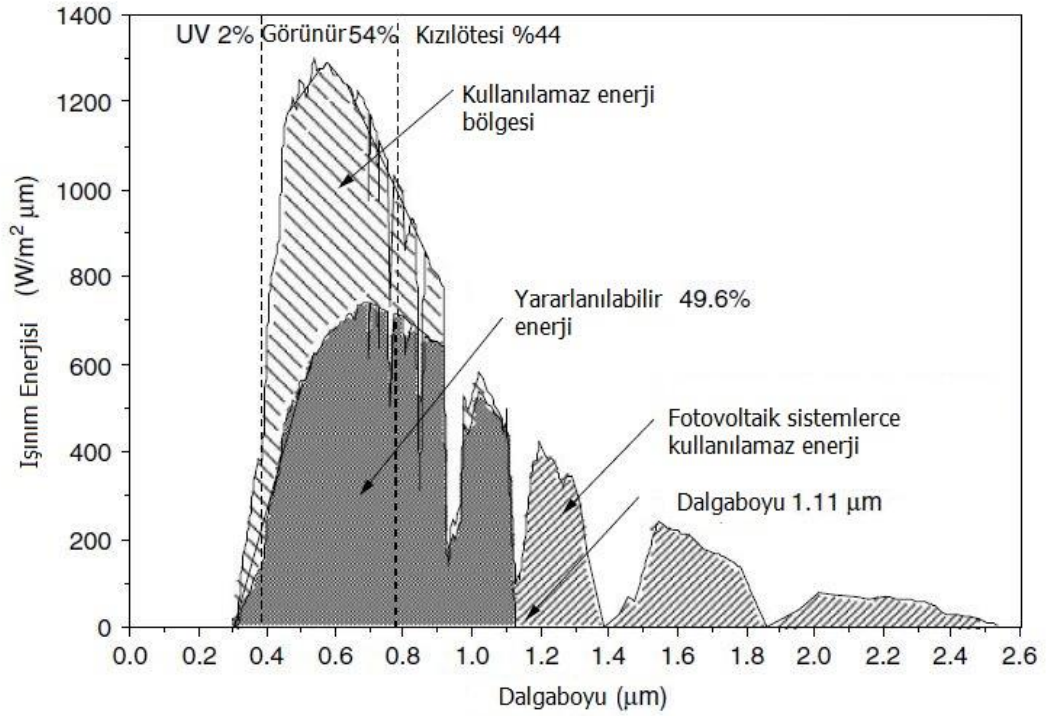
Modüllerin bir metrekarelik bölümünde yaklaşık 100 Wh'lık bir enerji üretilebilir. Modüller toplam enerjiyi oluşturabilmek için birbirlerine bağlı (seri yada paralel) olarak kullanılırlar.



Şekil 2.3. Fotovoltaik hücre, modül, panel ve dizi (Kıncay vd 2007)

2.3.1. Güneş spektrumu

Bir yüzeye ulaşan güneş ışınları, güneşin pozisyonu, coğrafik enlem derecesi ve bulutluluk gibi faktörler sebebiyle günden güne yıldan yıla değişim göstermektedir. Güneş enerjisinin nasıl taşındığını anlama bilmek için güneş yüzey sıcaklığını bilmek gerekir. Güneş'in yüzey sıcaklığı yaklaşık 5527°C 'dir ve yaydığı ışık akısı yaklaşık metre kare başına 1377W 'tır. Bu ise güneşten yeryüzüne taşınan ısıнын ölçülmek istenilen noktaya ne kadarının ulaşabileceğine bağlıdır. Ölçülmek istenen değer hava kütlesi (Air MASS, $AM=1/(\cos \theta)$) denilen sabitle belirlenmektedir. Fotovoltaik sistemler için zenit açısı (θ)'nın genellikle 0° ve 45° değerleri kullanılmaktadır.



Şekil 2.4. Güneş spektrumu

2.3.2. Fotovoltaik sistemlerin çalışma prensibi

Güneş, enerjisini yoğunlaştırılmış enerji paketi diye adlandırılan enerji yüklü tanecikler (foton) aracılığı ile yayar. Bir fotonun enerjisi, Planck Sabiti h_p ($h_p = 6,6249 \times 10^{-34}$ J.s) ve foton frekansı ν bağlı olarak hesaplanır.

$$E_f = h_p \nu \quad (2.1)$$

Atom fiziğinde enerjinin değeri elektronvolt (eV) olarak kullanılır. $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C dir ve $1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ CV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$ değerine eşittir. Foton enerjisi dalga boyu cinsinden aşağıdaki ifade ile verilir.

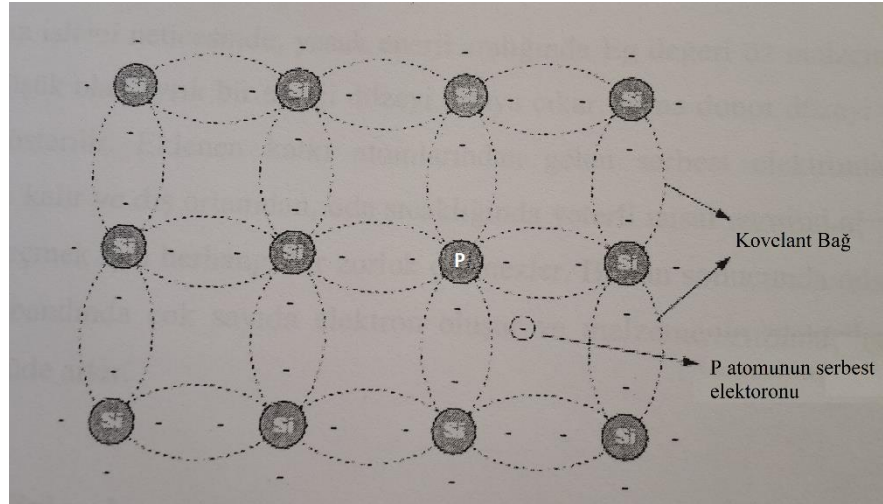
$$E_f = \frac{h_p c}{\lambda} \quad (2.2)$$

Burada c ışık hızı ve λ ise ışığın dalga boyudur. Foton sayısı ve gelen ışığın şiddeti arasındaki ilişki ise gelen ışığın şiddeti ($I_f, W/m^2$) ve foton sayısı (n_f) ile hesaplanır.

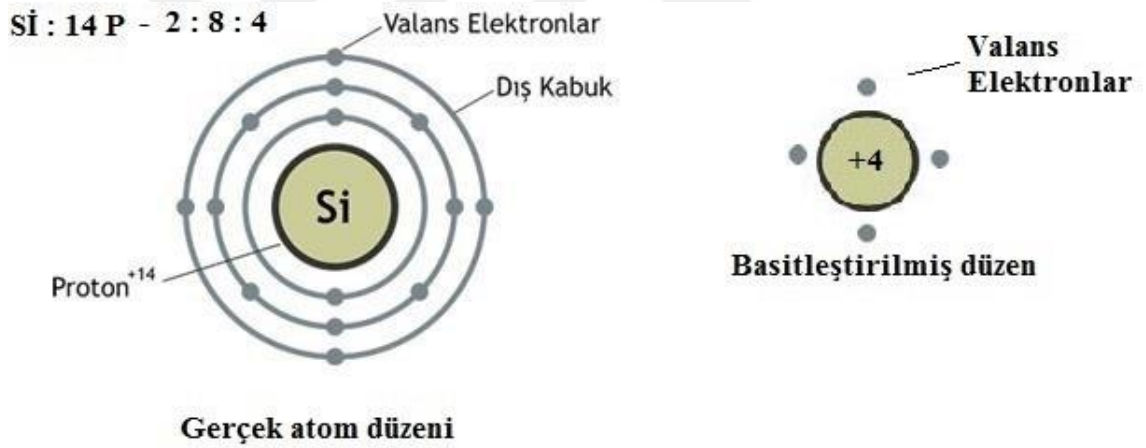
$$n_f = \frac{I_f}{E_f} \quad (2.3)$$

Fotovoltaik güneş hücreleri herhangi bir ilave elemana ihtiyaç duymadan güneşten gelen ışığı direkt olarak elektriksel enerjisine dönüştüren ve fizik kuralları çerçevesinde çalışan teknolojik cihazlardır. Güneş hücrelerindeki etkileri daha iyi kavramak için periyodik cetvelde 4A grubu yarıiletken elementlerin bazı temel özellikleri bilmek gerekir. Bu yarıiletken elementler içerisinde en çok kullanılan element silisyumdur. Bu grupta yer alan materyallerden faydalanabilmek için bunları farklı tiplerde katkılanarak n ya da p-tipi eklemler oluşturulur. Aynı tip ve farklı tip olmak üzere iki çeşidi mevcuttur. Genelde fotovoltaik pil maddesi olarak kullanılan silisyumdan n tipi silisyum elde etmek için silisyuma 5. grup elementlerden biri silisyum erğine katkılanır. Yaygın olarak fosfor elementi katkılanır.

Evrende en çok bulunan elementlerden birisi silisyum elementidir. Proton sayısı 14'tür. "Si" simgesi ile gösterilir ve oda sıcaklığında katı halde bulunmaktadır. Nötr halde ki elektron diziliminde ilk yörüngede 2, ikinci yörüngede 8, dış yörüngede 4 adet valans elektronu vardır. Katkılanan fosfor elementinin dış yörüngesinde 5 elektron olduğu için, fosfor elementinin ilk dört elektronu siliyumun dört elektronu ile kovalent bağ yapar ve fosforun 5. elektronu zayıf bir bağa sahip olduğundan çok az bir enerji aldığında iletkenlik bandına geçebilir. Bu nedenle 5. Grup elementleri verici (donur) veya n tipi katkı maddesi olarak isimlendirilir.



Şekil 2.5. n-tipi yarı iletken malzemenin oluşturulması

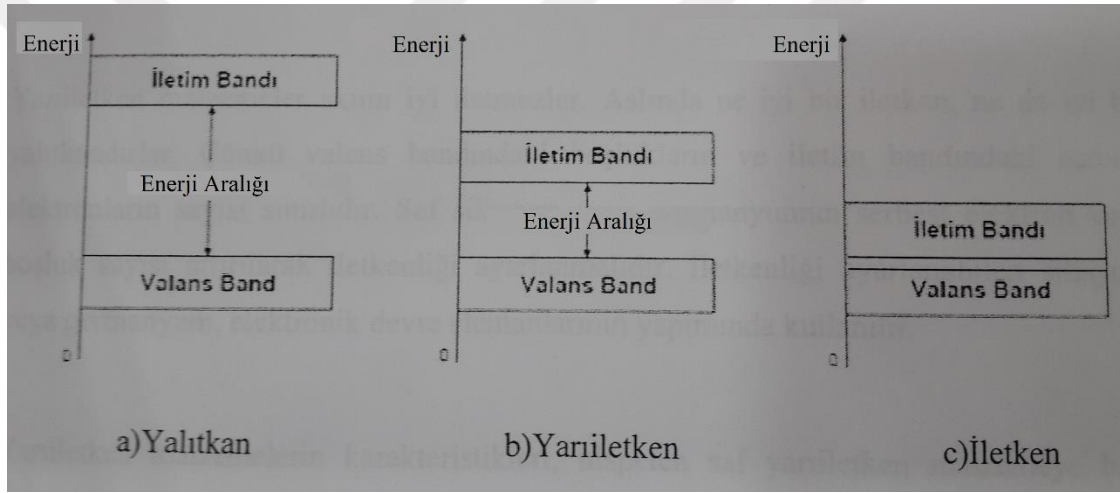


Şekil 2.6. Yarı iletken olan Silisyum elementinin atom düzeni ve valans elektron sayısı (Masters 2004)

Silisyum elementi -273°C ya da başka bir ifade ile mutlak sıfır (0 Kelvin) sıcaklığında çok iyi yalıtkan bir özellik gösterir. Silisyum elementinde sıcaklık artışı olduğu zaman bazı elektronlar bağ enerjilerini yenerler ve iletim bandına geçerler. Mutlak sıfır durumunda silisyumun iletkenlik bandında elektron bulunmamaktadır. Silisyum elementinde sıcaklık arttıkça valans bandındaki elektronların iletkenlik bandına geçme ihtimali artmaktadır. Buna bağlı olarak yarı iletken maddelerde sıcaklık arttıkça genel olarak iletkenlik artmaktadır. Metallerde ise sıcaklık arttıkça serbest elektron yoğunluğu değişmediğinden ve saçılmaların artmasından dolayı iletkenlik azalır. Kuantum teorisi

enerji bant diyagramlarını kullanarak yarıiletkenler ve metaller arasındaki farkları ortaya koymaktadır.

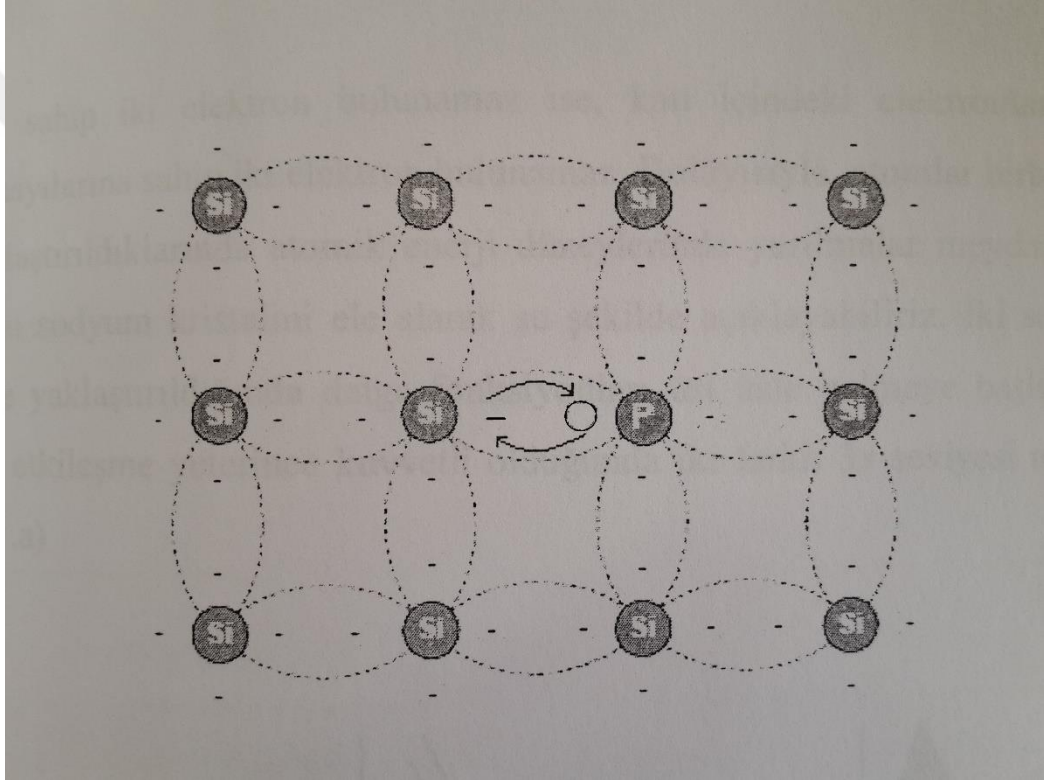
Elektronlar atom çekirdeğinin çevresinde belirli enerji seviyelerinde bulunmaktadır. İşte bu elektronların konfigürasyonu maddenin iletkenlik özelliğini belirler. Şekil 2.7’te görüldüğü gibi mutlak sıfır Kelvin’de yarıiletkenlerin valans bantları dolu ve iletkenlik bantları tamamen boştur. Bu maddeler bu halde yalıtkan olarak davranır. Oda sıcaklığında (20°C) ise yaklaşık olarak 10^{10} elektron iletim bandında bulunur.



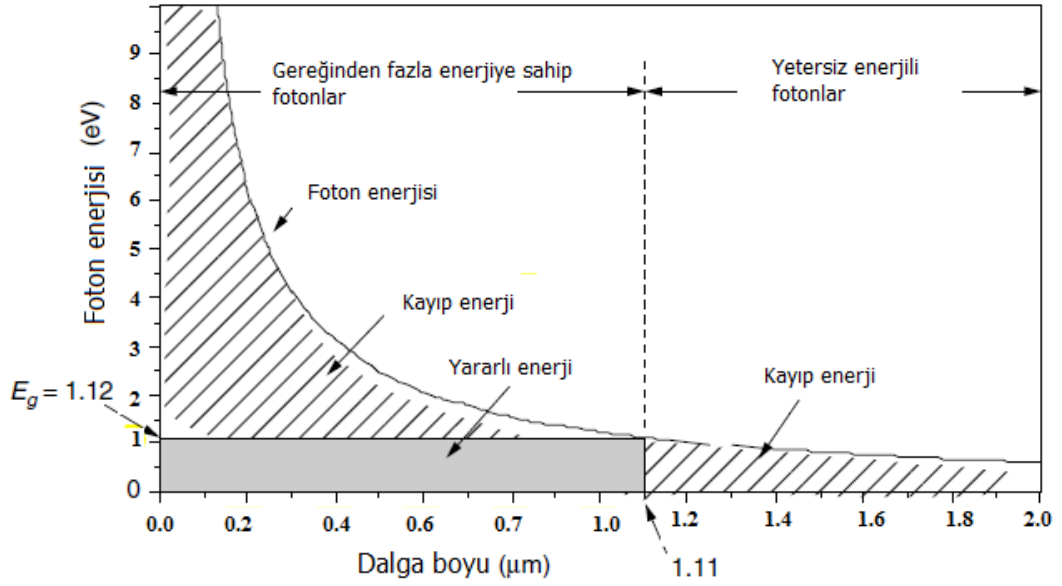
Şekil 2.7. (a) Yalıtkan (b) Yarıiletken (c) İletken, metal enerji bantlarının şekli

İletim bandı ve valans bandı (değerlik bandı) arasındaki bölgeye yasak bant bölgesi (E_g) denir. Bu bölgede elektron bulunması mümkün değildir. Silisyumun yasak enerji aralığı 1,12 eV’tur. Silisyumdan bir elektronu valans bandından iletkenlik bandına getirebilmek için 1,12 eV değerinde ya da bu değerden daha yüksek bir enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu değere eşit veya daha yüksek enerjili bir yoğunlaştırılmış enerji paketi silisyum tabanlı bir fotovoltaiik hücre tarafından soğurulduğunda bir elektron iletim bandına geçer. Geride (valans bandında) pozitif yüklü bir boşluk bırakmış olur. Böylece elektron boşluk çifti oluşturulmuş olur. Silisyum elementinin bir farklı özelliği de elektrik akımını sadece elektron hareketiyle yapmayıp pozitif yükler (holler) vasıtasıyla da olmasıdır. Valans bandındaki hol (boşluk) akımı tıpkı dolu otobüste önde oturmakta olan bir yolcunun otobüsten inmesi ve boşalttığı yere diğer yolcunun oturması ve bu oturan ikinci yolcunun

yerini boşaltarak boşluk oluşturma sırasında boşluğun geriye doğru hareket etmesi gibi, valans bandındaki bir elektronun iletkenlik bandına geçmesiyle valans bandındaki bu boşluğun diğer elektronlar tarafından doldurulmasına benzemektedir. Silisyum tarafından soğrulan fotonun enerjisi yasak enerji aralığından büyükse fazla olan enerji fonon olarak yapıda ısı enerjisi oluşur. Silisyum tarafından soğrulan foton vasıtasıyla koparılmış olan elektronlar tuttukları enerjiyi çok kısa bir süre içinde (yaklaşık 10^{-12} s) kaybederler. Silisyum üzerine foton demeti düşürülürse devamlı bir sirkülasyon söz konusu olur.



Şekil 2.8. Elektron-hol (boşluk) hareketi

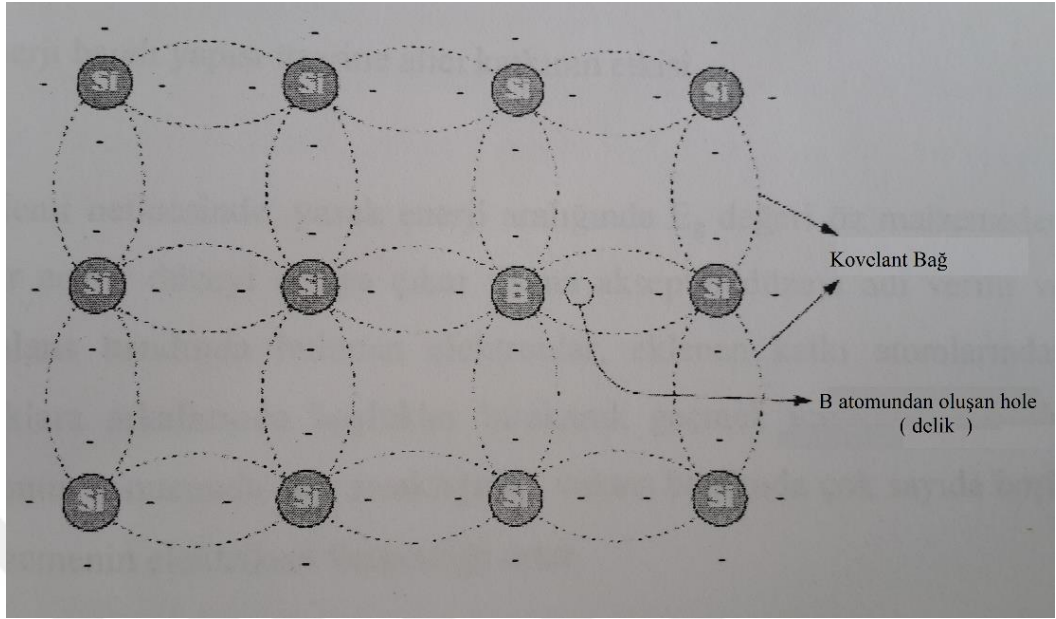


Şekil 2.9. Yarıiletken silisyum elementinde elektron boşluk çifti oluşturulabilmesi için ihtiyaç duyulan enerji (Masters 2004)

Silisyum tarafından soğurulan foton yukarıda ifade edilen yasak enerji değerinden düşük olursa elektron boşluk çifti oluşturamaz ve sadece ısı olarak soğurulur. Bu da bir takım tersinmezliklere neden olacaktır.

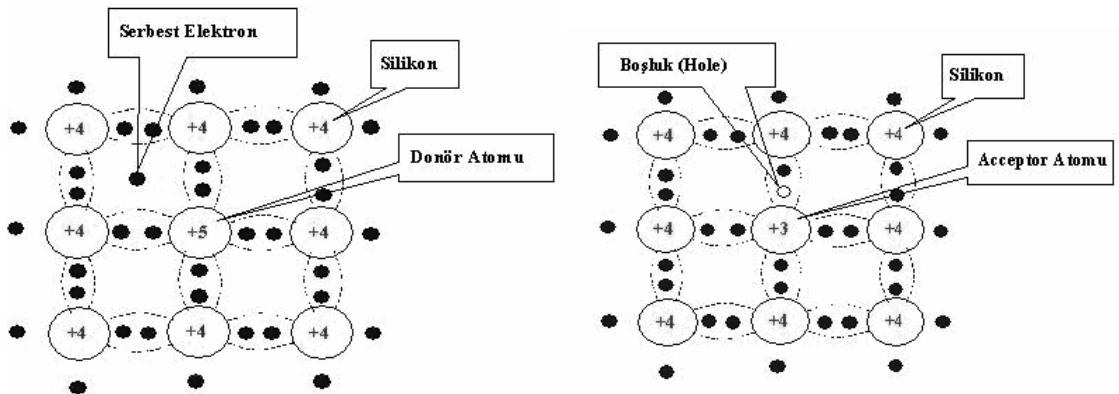
2.3.3. Fotovoltaik sistemlerde p-n eklemleri

Saf silisyum veya germanyum kristaline 3.gruptan üç valans elektronuna sahip katkı atomları eklenerek P-tipi malzeme oluşturulmaktadır. Galyum (Ga), indiyum (İn) ve bor (B) elementleri bu amaç doğrultusunda en çok kullanılanlarıdır. Bu elementler arasında bulunan bor elementinin silisyum taban üzerine etkisi aşağıda ki resimde gösterilmiştir.



Şekil 2.10. P-tipi yarı iletken malzemenin oluşturulması

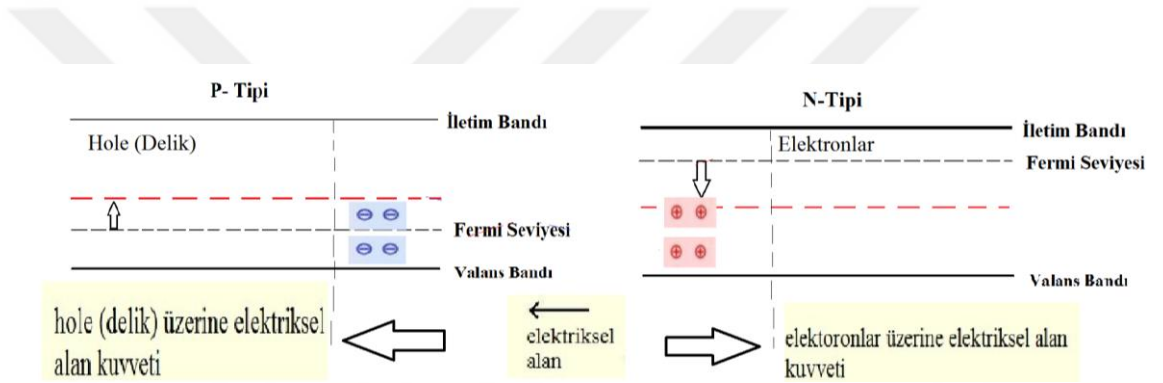
Eklenen katkı atomu üç valans elektrona sahiptir. Yani kovalent bağ için 3 elektron mevcuttur ve dolayısıyla kovalent bağ yapılır. Komşu Si atomundan bir bağ eksik kalır. B atomu bu haliyle valans bandına yakın bir enerji seviyesine yerleşir. Belirli bir sıcaklıkta valans bandından bir elektron koparak eksik olan bağı doldurur. Böylece valans bandında bir boşluk oluşmuştur. Bunun karşılığında iletkenlik bandında bir elektron oluşmadığı için boşluklar çoğunluk taşıyıcıları olarak davranır. Bu malzemeye p-tipi yarıiletken adı verilir.



Şekil 2.11. N ve P -tipi yarıiletkenler

P-N Eklemleri:

p- ve n- tipi iki yarıiletken atomik boyutta üst üste geldiğinde p- tipinde çoğunluk taşıyıcı olan holler n tarafına, n-tipinde çoğunluk taşıyıcı olan elektronlar ise p tarafına doğru bir geçiş gerçekleşir. Bu geçiş işlemi sistem termal dengeye ulaşınca (Fermi seviyesi eşitleninceye) kadar devam etmektedir. Geçiş sırasında birleşme kısmında deplasyon bölgesi adı verilen bir bölge oluşmaktadır. Bu bölgede karşılıklı geçiş bir elektrik alan oluşur. Bu elektrik alan hareket halindeki elektron ve holler deplasyon bölgesinin dışına doğru sürükler.



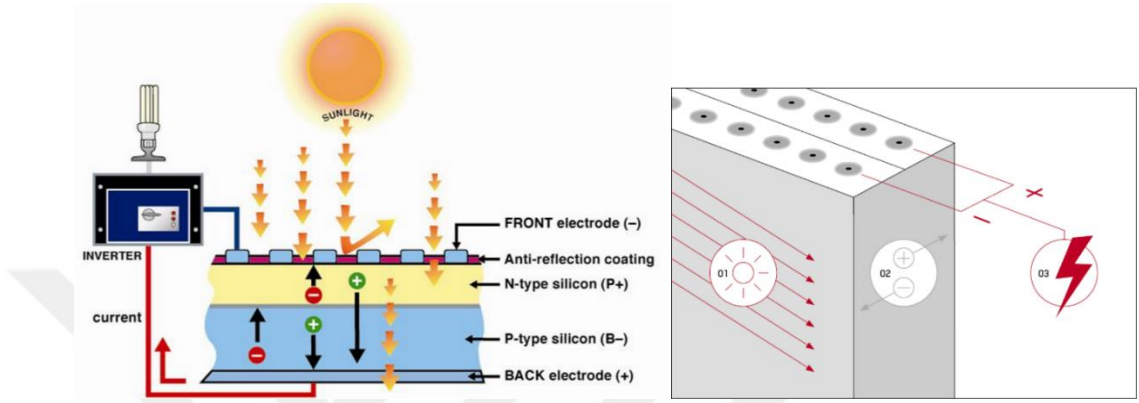
Şekil 2.12. P-N eklemleri

2.3.4. Fotovoltaik etki

Fotovoltaik hücrelerin çalışması, 'fotoelektrik etki' diye bilinen temel bir fizik kuramına dayanır.

- Yarı iletken bir levhaya, örneğin silisyum levhaya, yeterli sayıda foton düştüğü takdirde, bu fotonlar yüzeydeki elektronlar tarafından soğrulur.
- Enerjinin soğrulması elektronların atomlarından ayrılmasına neden olur. Bu sayede elektronlar hareket etmeye başlar ve yarı iletkenin iç kısımlarından gelen başka bir elektron bu boş kalan alanı doldurarak giden elektronun yerine geçer.

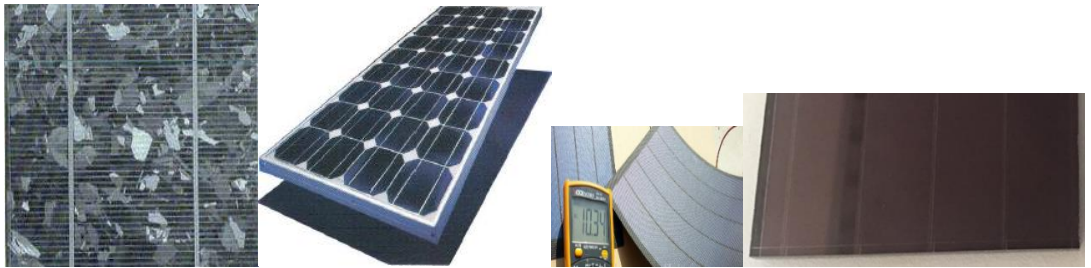
- Bunun sonucunda, levhanın iki ucundan biri daha çok elektronla yüklenir. Bu da, iki uç arasında potansiyel (voltaj veya gerilim) farkı yaratır. İki ucu elektrik teliyle birleştirmek, elektronların, levhanın diğer kısmına akmasını sağlar (elektrik akımı).



Şekil 2.13. Fotovoltaik etki

Fotovoltaik-Hücre Çeşitleri

Fotovoltaik-Hücreler Polikristal, Monokristal, Amorf-Silisyum, Kadmiyum-Tellür (Cd-Te) ve Bakır-İndiyum Diselenid (CuInSe₂) çeşitleri vardır.

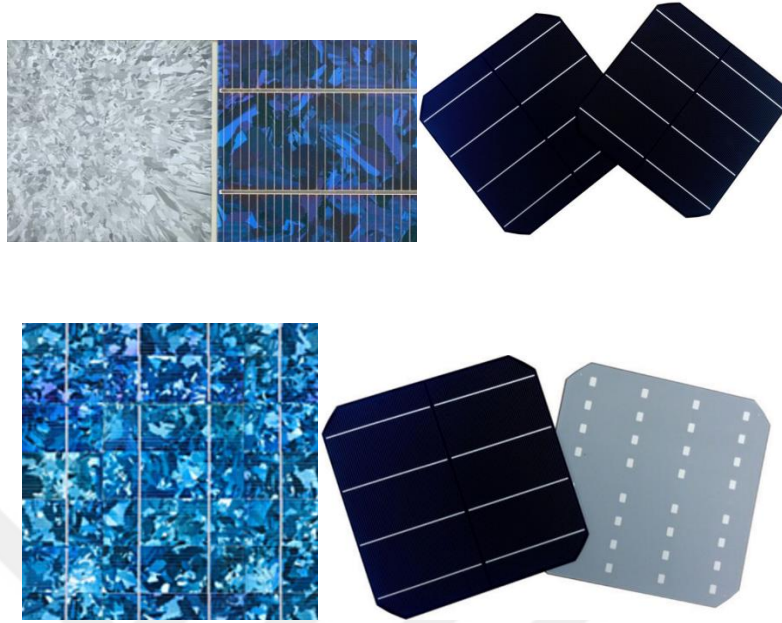


Polikristal Monokristal Amorf-silisyum

Şekil 2.14. Fotovoltaik hücre çeşitleri

a) Polikristal b) Monokristal c) Amorf-silisyum

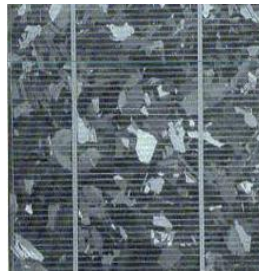
Bunların içerisinde endüstriyel kullanıma uygun olanlar (verimlilik-maliyet oranı bakımından) polikristal ve monokristal hücrelerdir.



Şekil 2.15. Polikristal ve monokristal (Solarwind, bt.)

Polikristal Hücreler

Pazar payı (%49) en yüksek olan paneller Polikristal hücrelerden üretilmişlerdir. Verimleri yaklaşık %13-%14 civarındadır. Polikristal hücrelerdeki malzeme birçok monokristalden oluşur ve bu hücrelerde atomik yapı homojen değildir.



Şekil 2.16. Polikristal modül (One Block off the Grid, bt.)

Monokristal Hücreler

Monokristal demek tüm maddenin tek kristal yapıdan oluşması ve materyalin atomik yapısının homojen olması demektir. Monokristal hücrelerin Pazar payı %35 civarındadır. Bu hücrelerin verimliliği ise %15-%19 değerleri arasındadır. Bugün kullanılan en verimli teknolojik paneller Monokristal hücrelerden üretilmiş olan panellerdir.



Şekil 2.17. Monokristal modül (Horizon Renewables 2010)

Amorf-Silisyum

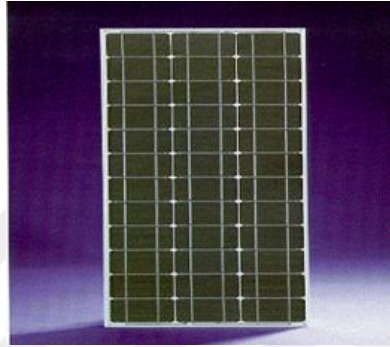
Amorf Silisyum pillerden elde edilen verim ise %5-7 mertebesinde. Daha çok günümüzde küçük elektronik cihazların güç kaynağı olarak kullanılmaktadır.(YEGM, 2012).



Şekil 2.18. Amorf-silisyum hücresi

Kadmiyum-Tellür (Cd-Te)

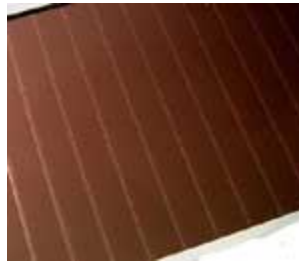
Çoklu kristal yapıda bir malzeme olan Kadmiyum-Tellür ile hücre maliyetinin çok aşağılara çekileceği tahmin edilmektedir. Ticari tip modüllerde %7 civarında verim elde edilmektedir.



Şekil 2.19. Kadmiyum-tellür modülü (GE Energy 2012)

Bakır-İndiyum Diselenid (CuInSe₂)

Enerji üretim amaçlı geliştirilmiş olan CuInSe₂'de ise verim %2-4 civarındadır.



Şekil 2.20. Bakır-indiyum diselenid modülü



Şekil 2.21. Fotovoltaik modül çeşitleri

Verim %4-8 %7 %2-4 (LAB) %15-19 %13-14

Fotovoltaik Hücre Verimi Nelere Bağlıdır?

Fotovoltaik panellerin verimleri birçok parametreye bağlı olmakla beraber en fazla; güneş ışınım şiddeti, ortam sıcaklığı, panel yüzey sıcaklığı, nem, toz ve rüzgâr hızı gibi parametrelere bağlıdır. Belirtilen parametreler iklim şartlarına göre değişkenlik gösterir. Güneş ışığının fazla olduğu coğrafyalarda panel veriminin artması beklenirken, panelin sıcaklığının artması verimin düşmesine neden olur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Deney Düzenegi

Fotovoltaik-Termal (PVT) sisteminin tasarımı ve imalatı Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Laboratuvarlarında yapılmıştır. Amacımız güneş ışınımına direkt olarak maruz kalan fotovoltaik modül hücrelerinin sıcaklıklarının artması sonucu ortaya çıkan verim düşüşlerini azaltmaktır. Tasarlanan sistemin hava kanalında, laboratuvarın pencereleri açık kalması koşuluyla iş gören akışkan olarak ortamın havası kullanılmıştır. Çalışmada iki farklı dizilim konfigürasyonunda (düz ve şaşırtmalı dizilimde) üç farklı ışınlm şiddetinde (700 W/m^2 , 950 W/m^2 , 1200 W/m^2), farklı yüzey alanlarına sahip (3mm, 6mm eksenel kanala sahip ve helisel şekilli kanatçıklar) alüminyum silindirik kanatçıklar yardımı ile soğutulan panelin enerji performansı deneysel olarak incelenmiş ve sistemin elektriksel veriminde artış sağlanmıştır.



Şekil 3.1. PVT deney düzeneginin dış görünümü

Fotovoltaik modülün, üzerine yerleştirileceği düzenek (Şekil 3.2) imal edilmiştir. İmal edilen ve güneşin geliş açısına göre ayarlanabilme özelliğe sahip düzeneğe 100W gücünde olan monokristal fotovoltaik modül yerleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Fotovoltaik modülün alt çerçevesi ve açı ayarlama mekanizması

Kurulan deney düzeneğinde ısı transferini artırmak için çeşitli yüzey alanına sahip alüminyum silindirik kanatçıklar ile deneyler yapılmıştır. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi kanatçıklara termal macun sürülerek ısınan modülün ısısı kanatçıklar tarafından soğrularak modülün ısısı düşürülmüştür. Fakat modülün ısısı düşerken soğurmadan dolayı kanatçıkların ısısı artmıştır. Modül ve kanatçıkların artan ısısı bir fan yardımıyla üç farklı hava hızında (3,3m/s – 3,9m/s – 4,5m/s) soğutulmuştur.



Şekil 3.3. Alüminyum kanatçıklar



a) 3mm orta kanallı kanatçık



b) 6 mm kanallı kanatçık (K₆)



c) vida adımlı kanatçık (VG)

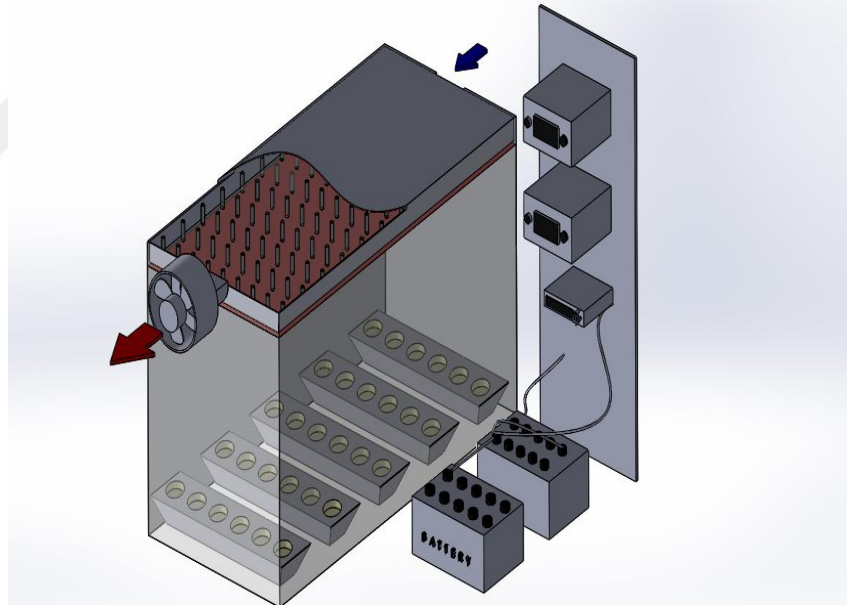
Şekil 3.4. Deneysel sistemde kullanılan kanatçıkların yüzey alanlarının hesaplanmasında kullanılan programın CAD görüntüsü



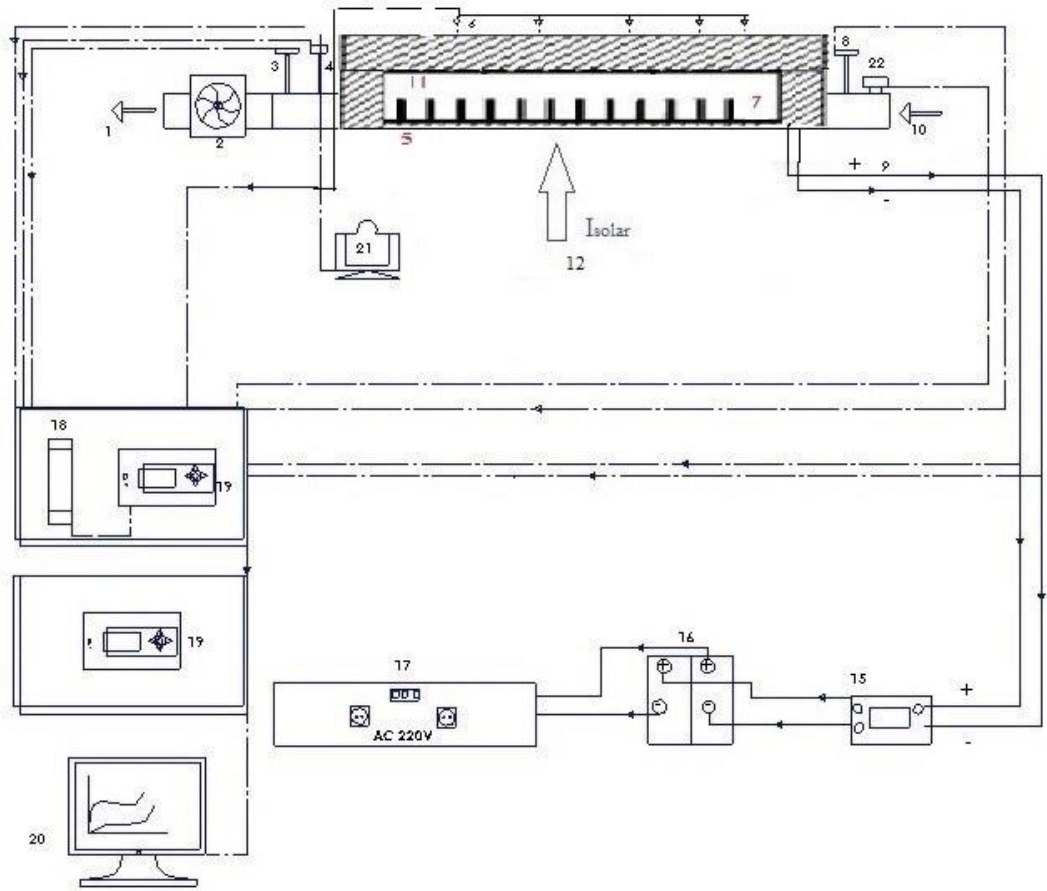
a)

b)

Şekil 3.5. Alüminyum kanatçıkların fotovoltaiik modül üzerinde a) düz dizilim, b)şasıırtmalı dizilim



Şekil 3.6. Deneysel sistemin üç boyutlu CAD görüntüsü



Test Bölümü	Ölçüm ve Kayıt Bölümü
1-Hava Çıkışı	10,22-Hava Girişi, Giriş sıcaklık ölçümü
2-Fan	11-Soğutucu Kanatçıklar
3-Sıcaklık-Nem Transmitteri	12,21-Yapay Güneş Işınımı, Piranometre
4-Çıkış Hızı Anemometresi	15-Solar Şarj Regülatörü
5-Fotovoltaik Panel	16-Asidik Jel Batarya
6- Termo eleman	17-AC-DC İnvertör
7-Kontrol Hacmi	18-Voltaj Ve Akım Transmitteri
8-Giriş Hızı Anemometresi	19-Veri Kaydedici (Data Logger)
9-Fotovoltaik Güç İletimi	20-Bilgisayar

Şekil 3.7. Deneysel sistemde sensörlerin yerleşim pozisyonları



Şekil 3.8. Deney sisteminin iç görüntüsü

3.1.1. Test bölümü

Şekil 3.8 de görüldüğü gibi fotovoltaik modüle $400\text{-}1600\text{ W/m}^2$ değerleri arasında ışınlam akısı gönderebilen ışık kaynağı kullanılmıştır. Yapay güneş ışık kaynağı modül yüzeyine 80 cm uzaklıkta konulmuştur. Kaynaktan gelen ışığın saçılmalarını ve kayıplarını önlemek için düzeneğin etrafı ışığı yansıtıcı alüminyum folyo ile kaplanmıştır. Arka yüzeyinde soğutucu kanatçıkların dizilimini kolaylaştıracak şekilde bir kontrol hacmi tasarlanmıştır. Kontrol hacminin yalıtımı için ise polistren köpük levha kullanılmıştır. Bu kısımda ışığa direkt olarak maruz kalan 100W'lık monokristal fotovoltaik modül, eksenel fan, anemometre, farklı yüzey alanlarına sahip ısı alıcılar, nem-sıcaklık transmitteri, ile farklı noktalara yerleştirilmiş termoelemanlar bulunmaktadır.

3.1.1.a. Monokristal Fotovoltaik Modül

Deney sisteminin en önemli elemanı olarak kullanılan Ningbo Qixin Solar Electrical Appliance firmasının üretimi olan fotovoltaik modülü 100W gücündedir. Deneyde kullanılan modülün teknik özellikleri Çizelge 3.1’de, fotoğrafları ise Şekil 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.1. Monokristal fotovoltaik modülün teknik özellikleri

Türü	Monokristal
Maksimum Güç	100W
Üretim Toleransı	Maksimum %3
Maksimum Güç Voltajı	19,35 V
Maksimum Güç Akımı	5,17 A
Kısa Devre Akımı	5,53 A
Kısa Devre Voltajı	22,6 V
Ağırlık	10 kg
Boyutlar	1195x545x36 mm



Şekil 3.9. Deney düzeneğinde kullanılan 100W gücündeki fotovoltaik modülün ön ve arka taraftan görünümü

3.1.1.b. Kanatçıklar

Deney düzeneğimizde fotovoltaik modülün arka kısmına yerleştirilen farklı yüzey alanlı ısı soğurucu alüminyum kanatçıklara termal macun sürülerek dizilmişlerdir. Bu kanatçıkların kullanılmasının amacı sistemin verimini artırmanın yanı sıra sistemin toplam etkinliğini de artırmaktır. Kanatçıkların teknik özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

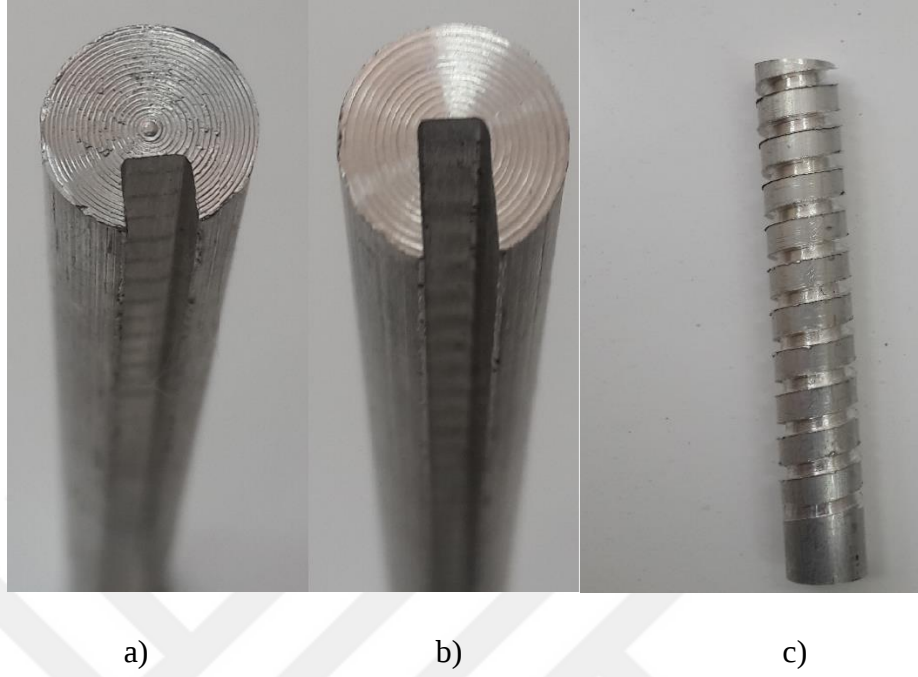
Çizelge 3.2. Alüminyum silindirik kanatçık fiziksel özellikleri

Kompozisyon	Minimum %99,45
Özgül Ağırlık	2,7 (kg/dm ³)
Ergime Sıcaklığı	646...657°C
Isıl İletkenlik	200 (W/ m K)
Ağırlık	1,212 (kg/m)



Şekil 3.10. Farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıklar

Deney düzeneğinde 3mm orta kanallı kanatçık (K₃), 6 mm kanala sahip olan kanatçık (K₆) ve vida adımlı kanatçık diye isimlendirilen kanatçıklar (VG) kullanılmıştır. Her birinden 54 adet olan kanatçıkların fotoğrafları aşağıda Şekil 3.11’de verilmiştir.



Şekil 3.11 a) 3mm orta kanallı kanatçık (K_3) , b) 6 mm kanallı kanatçık (K_6), c) vida adımlı kanatçık (VG)

3.1.1.c. Eksenel fan

Deney sisteminde modülün ve ısı soğuran kanatçıkların ısınısını düşürmek için kullanılan cihazdır. Farklı hızlarda çalışabilme özelliğine sahip olan eksenel fan deney düzeneğine bir kelepçe sayesinde sabitlenmiştir. Çizelge 3.5’de fanın teknik özellikleri verilmiştir. Şekil 3.12’de fan görülmektedir.

Çizelge 3.3. Eksenel fan teknik özellikleri

Devir	1900... 2250 (devir/dakika)
Güç	15...30 (Watt)
Hız Skalası	10 kademe
Giriş Çap	125 (milimetre)
Çıkış Çap	125 (milimetre)
Debi	0...230 (m^3 /saat)



Şekil 3.12. Eksenel fan

3.1.1.d. Nem sıcaklık transmitteri

Deney sistemimizde çıkış havasının nemini ve sıcaklığını ölçmek için kullandığımız cihazdır. Kullanılan cihazın teknik özellikleri Çizelge 3.6’da, Şekil 3.13’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Nem sıcaklık cihazının teknik özellikleri.

Çalışma Sıcaklığı	0...70 (°C)
Sensör Ölçüm Aralığı Sıcaklık	0...130 (°C)
Sensör Ölçüm Aralığı Nem	0...%100 Bağıl nem
Ölçüm Çözünürlüğü Sıcaklık	0,1 (°C)
Ölçüm Çözünürlüğü Nem	%0,1 Bağıl nem
Ölçüm Aralığı	3 saniye
Boyutlar	60x70x35 (milimetre)



Şekil 3.13. Nem sıcaklık ölçüm cihazı

3.1.1.e. Anemometre

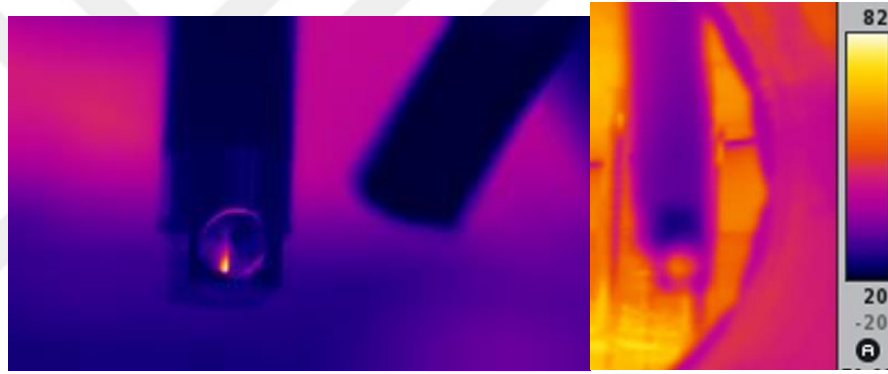
Deney sisteminde giriş ve çıkış için birer tane anemometre kullanılmıştır. Eksenel fan yardımıyla hızı ve basıncı artan havanın kanatçıklara girerken ve bu kanatçıklardan çıkarken anemometrelerle hız ve basınç değerleri ölçülür. Çizelge 3.7’de cihazın teknik özellikleri mevcuttur. Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de ise resimleri verilmiştir. Kullanılan anemometrelerde hız ölçümleri hotwire ile yapılmıştır.

Çizelge 3.5. Anemometre cihazının teknik özellikleri

Ölçüm Aralığı	0...10 (metre/saniye)
Hassasiyet	+-%2 25°C’de



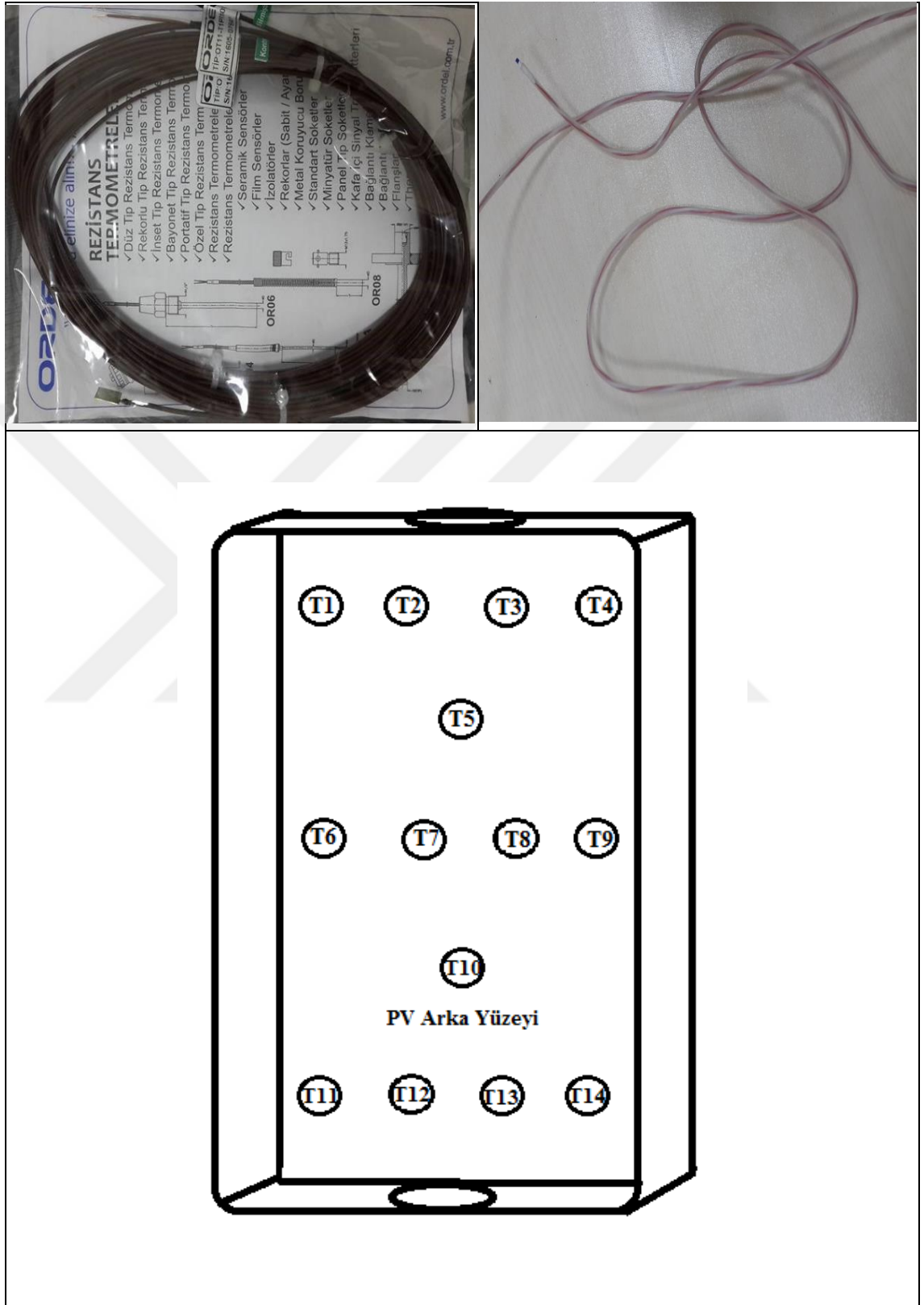
Şekil 3.14. Anemometre cihazı



Şekil 3.15. Düzenekte kullandığımız anemometre cihazının hot-wire ucunun termal kamera görüntüleri

3.1.1.f. Termoeleman

Deney sistemimizde farklı noktalarda sıcaklık ölçümleri termoelemanlarla yapılmıştır. Bu elemanlar bakır ve gümüş konstantan içermektedirler. Bu termoelemanlar -100 ile +300°C aralığında ölçüm yapmamıza olanak sağlamaktadır. Şekil 3.16 düzeneğinde kullanılan termoelemanların resmi görülmektedir.



Şekil 3.16. Deney sisteminde kullanılan bakır ve gümüş termoelemanı ile termoelemanların dizilimleri

3.1.2. Ölçüm kayıt bölümü

Deney sistemimizde farklı ölçüm cihazlarından aldığımız verilerin depoladığı kısımdır. Bu cihazlar; veri kaydedici, şarj regülatörü, voltaj-akım transmittleri, termal kamera, solar piranometre AC-DC invertör ve bataryadan oluşmaktadır.

3.1.2.a. Veri kaydedici (Data logger-field logger)

Deney düzeneğinde ölçülen verileri depoladığımız yerdir. Aynı zamanda deney boyunca bilgisayara gereksinim duymadan verileri kaydedip bu verileri işleyebilme imkânını sağlayan cihazdır. Çizelge 3.8’de cihazın teknik özellikleri mevcuttur. Şekil 3.17’de ise cihazın resmi gösterilmiştir.

Çizelge 3.6. Data kaydedicinin teknik özellikleri

Analog Girişi	8 adet: Termokupol,Pt100, Pt1000, 0-20mA, 4-20mA, 0-20mV, 0-50mV, 0-60mV, -20-20mV, 0-5V ve 0-10V.
Analog Hassasiyeti	Termokupol: +/-%0,2.
Analog Hassasiyeti	Diğer bağlantılar: %0,15.
Dijital Giriş ve Çıkış	Dijital kanalın 8’ide bireysel olarak giriş ve çıkış için ayarlanabilmektedir.
Dâhili Hafıza	2 MB.
SD Kart	16 GB
Güç Besleme	100...240 VAC, 50...60 (Hz)
Boyutlar	165x117x70 (mm)



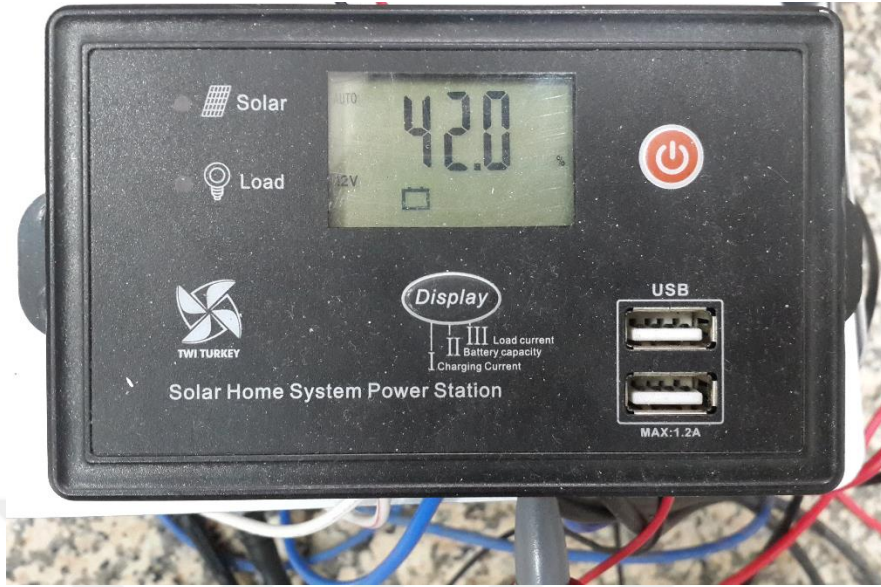
Şekil 3.17. Deney sistemimizde kullanılan veri kaydedici

3.1.2.b. Şarj regülatörü

Doğru akım (DC) üreten tüm sistemlerde olduğu gibi fotovoltaik sistemde de üretilen DC akımı sürekli olarak aynı değerde üretilemez. Bu nedenle bu tür sistemlerde üretilen akımı sabit tutmak için regülatörler kullanılır. Deney düzeneğimizde ürettiğimiz DC akımını sabit bir değerde tutmak için şarj regülatörü kullanılmıştır. Cihazın teknik özellikleri Çizelge 3.10’da verilmiştir. Şekil 3.18’de ise resmi bulunmaktadır.

Çizelge 3.7. Şarj regülatörü teknik özellikleri

Sistem Voltajı	12V/24V Otomatik
Sistem Akımı	10A/20A
Solar Voltaj Giriş	Maksimum 55V
Aşırı Yük ve Kısa Devre Koruması	Mevcut
Çalışma Sıcaklık Aralığı	-20... 50°C
Ağırlık	140g
Boyutlar	120x74x23,6 (mm)



Şekil 3.18. Şarj regülatörü

3.1.2.c. AC-DC solar dönüştürücü

Fotovoltaik modül kullanılan sistemlerde üretilen doğru akımı direkt olarak kullanabildiğimiz gibi, alternatif akıma dönüştürerek de kullanabiliriz. Dönüştürücü (invertör), doğru akımı alternatif akıma, alternatif akımı doğru akıma çevirebilen ve gerilim-frekansları düzgün bir şekilde ayarlayabilen cihazdır. Yapılan deneyler süresince üretilen doğru akımın alternatif akıma çevrilerek kullanılması için bir tane 2000W gücünde solar dönüştürücü kullanılmıştır. Çalışmamızda kullandığımız dönüştürücünün teknik özellikleri ve fotoğrafı Çizelge 3.11’de ve Şekil 3.19’da verilmiştir.

Çizelge 3.8. 2000W’lık dönüştürücünün teknik özellikleri

Güç	2000W
Çalışma Voltaj Aralığı	9,5...12V
Optimum Voltaj Değeri	12V
Düşük Voltaj Kesici	10V’tan az olunca
Yüksek Voltaj Kesici	15V’tan fazla olunca
Çıkış Voltajı	220-240V
Çıkış Frekansı	50Hz



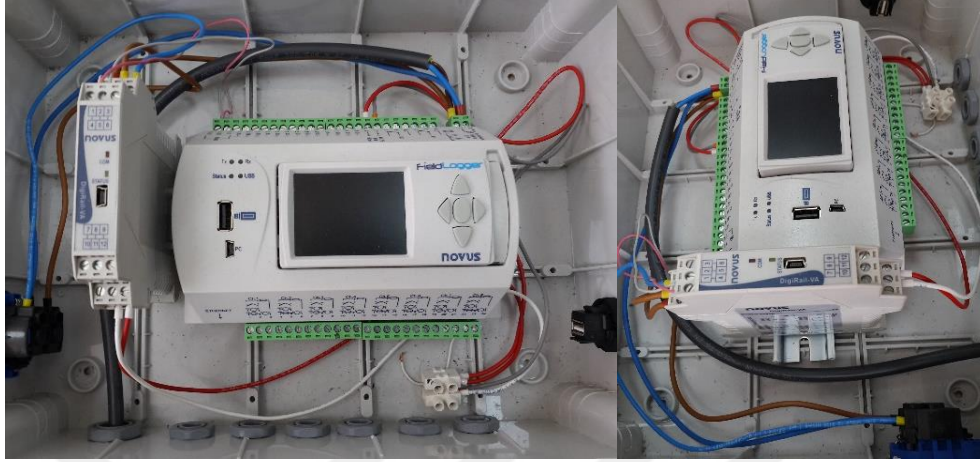
Şekil 3.19. DC- AC dönüştürücü

3.1.2.d. Voltaj-Akım Transmitteri

Deney sistemimizde kullandığımız voltaj-akım transmitteri fotovoltaik modülü akım, gerilim, kısa devre akımı, açık devre gerilimi ve maksimum güç gibi bazı verilerin alınmasında kullanıldı. Cihazın teknik özellikleri Çizelge 3.12’de verilmiştir. Fotoğrafı Şekil 3.20’de mevcuttur.

Çizelge 3.9. Voltaj-akım transmitter cihazının teknik özellikleri

Güç Kaynağı	10-40V DC
Çalışma Koşulları	0... 60°C
Çalışma Koşulları	%80 bağıl nem
AC ölçüm	0-300 V 0-5 A 45-65 Hz
Boyutlar	99,5x114x17,5 (mm)
Ağırlık	96,3g



Şekil 3.20. Voltaj-akım transmitteri ve veri kaydedici

3.1.2.e. Termal Kamera

Deneyimizde ısı çalışmalar yaptığımız için termal kamera kullanılmıştır. Testo firmasının 875-1 kodlu termal kamerası kullanılmıştır. Termal kameranın görüntüsü ve teknik özellikleri aşağıda verilmektedir.



Şekil 3.21. Deneyde kullanılan termal kamera

Çizelge 3.10. Testo 875-1 kodlu termal kamerasının teknik özellikleri

Dedektör Boyutu (piksel)	160 x120
JPEG Kayıt Fonksiyonu (cihazda)	✓
Ekran Tipi	3.5'' LCD, 320 x240 piksel
Termal Duyarlılık (NETD)	< 100 mK
Sıcaklık Ölçüm aralığı	-20.....+280°C
Odaklama	Sabit odak
Görüntü Yenileme Hızı	9 Hz
Süper Resolution (IFOV)	2.3 mrad
Otomatik sıcak/soğuk nokta belirleme	✓
Entegre Dijital kamera	3.1 MP
Geometrik çözünürlük (IFOV)	3.68mrad
Görüş alanı	34° x 26°
Dijital kamera	✓
Tam ekran modu	✓
JPEG depolama	✓
Batarya tipi	Hızlı şarj, Li-ion batarya sahada değiştirilebilir.
Çalışma zamanı	4 saat
Doğruluk	±2 °C, ±2 % ölç. Değ.
Cihaz depolama	Dahili bellek (1.6GB/ >2000 görüntü)
Ağırlık	550 gram
Ölçüler	219 x 96 x 95 mm
Ekran seçeneği	IR görüntü / gerçek görüntü

3.1.2.f. Solar piranometre

Solar piranometre deney düzeneğimizin en önemli cihazlarından birisi olup güneşten gelen ışıyımı ölçmektedir. Solar piranometre cihazımızın teknik özellikleri ve fotoğrafı aşağıda verilmektedir.

Çizelge 3.11. Piranometre cihazının teknik özellikleri

Ölçülen	Güneş ışınımı
Çalışma Sıcaklığı	-40... +80°C
Kablo Uzunluğu	3 metre
Ölçüm Aralığı	0...1600 W/m ²

**Şekil 3.22.** Deney düzeneğinde kullandığımız solar piranometre cihazı

3.1.2.g. Çok fonksiyonlu altimetre

Çalışmamız laboratuvar ortamında yapıldığından laboratuvar ortam sıcaklığı ve basınç gibi parametrelerin bilinmesi gerekir. Çalışma sırasında sıcaklık, basınç gibi parametrelerin ölçümleri için çok fonksiyonlu dijital altimetre, ek olarak veri kaydediciye bağlanmış olan termoelemanlar da bu iş için kullanılmıştır. Cihaza ilişkin teknik özellikler ve cihazın fotoğrafı aşağıda verilmiştir.

Çizelge 3.12. Dijital altimetre cihazının teknik özellikleri

Yükseklik Ölçer (Altimetre)	-2290...29500 m
Barometre	350...1100 hPa
Termometre	-5...50°C
Ekran	LCD

**Şekil 3.23.** Çok fonksiyonlu dijital altimetre

3.1.2.h. Sıcaklık sensörü

Deneyisel çalışmalarımızda laboratuvar ortam sıcaklığını ölçmek için kullanılmıştır. Deney sistemimizde hassas sıcaklık değerini görmek için bu ölçüm gereklidir. Aşağıda cihaza ait teknik özellikler ve fotoğraf verilmektedir.

Çizelge 3.13. Pt 100 sıcaklık cihazının teknik özellikleri.

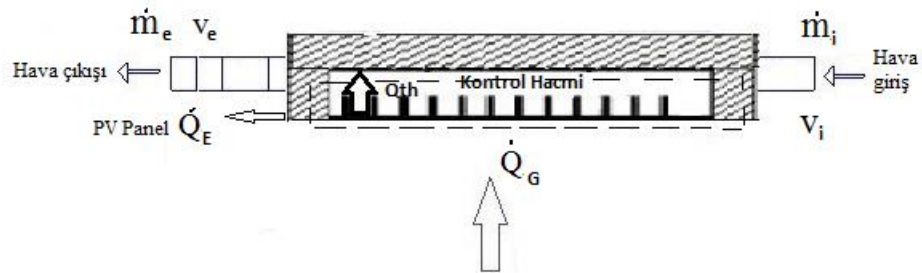
Ölçüm aralığı	0...100°C
Hassasiyet	< +/- 1°C
Reaksiyon süresi	Yaklaşık 20 ms



Şekil 3.24. Pt 100 sıcaklık sensor cihazı

3.2. Termodinamik Çözümleme

Termodinamiğin birinci yasası olan kütle korunum yasası bütün termodinamik hesaplamalarda kullanılır. Fotovoltaik termal sisteminin termodinamik analizini yaparken öncelikle sistemin sürekli akışlı açık sistem (kontrol hacmi) olduğunu söylememiz gerekir. Kontrol hacmi gerçekte var olmayan bir sınır çizerek bir bölgeyi inceleyen, sınırları içerisinde bir kütle akışı olan sistemlerin genel ismidir. Kütle ve enerji, kontrol sınırlarından geçebilir. (Çengel 2008) Şekil 3.25’de deneysel sistem için belirlenen kontrol hacminin modellenmesi verilmektedir.



Şekil 3.25. Deneysel sistem için belirlenen kontrol hacminin modellenmesi

Herhangi bir sistemden kontrol hacmine veya kontrol hacminden bir sisteme Δt zaman aralığında kütle geçişi aynı zaman aralığında kontrol hacmindeki kütledeki değişime eşittir.

Matematiksel ifadesi aşağıda verilmiştir.

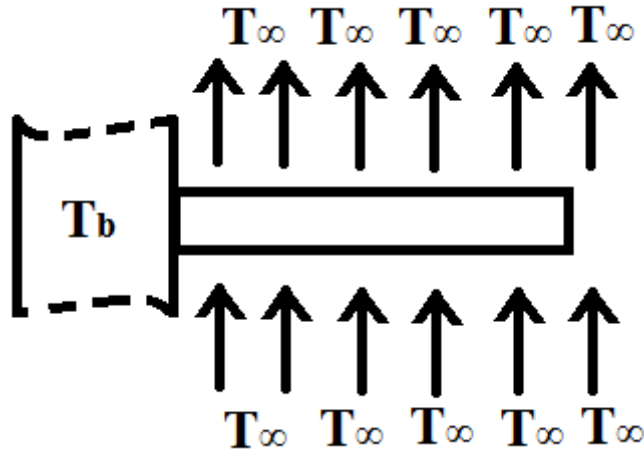
$$\dot{m}_i - \dot{m}_e = \Delta \dot{m}_{kh} [\text{kg/s}] \quad (3.1)$$

Sürekli akışlı bir kontrol hacminde kontrol hacmindeki değişim sifıra eşittir.

$$\sum_i \dot{m} = \sum_e \dot{m} [\text{kg/s}] \quad (3.2)$$

Kontrol hacmi için enerji denklemi (sürekli akışlı deneysel sistem için);

$$\dot{Q}_{th} = \dot{m} \cdot c_p (T_e - T_i) [\text{kW}] \quad (3.3)$$



Şekil 3.26. Tek kanatçık şematik gösterimi

Eşitlikleri ile verilmektedir. Tek bir kanatçık için kanat verimi Şekil 3.26’da görüldüğü gibi kanatçığın gerçek durumda transfer ettiği ısının ideal durumda transfer ettiği ısıya

oranıdır. İdeal durumda kanatçığın transfer ettiği ısı ise kanatçığın tüm yüzeylerinin fotovoltaiik yüzey sıcaklığına eşit olduğu kabulüyle transfer ettiği ısıdır.

$$\eta_{kanat} = \frac{\dot{Q}_{kanat}}{hA_{kanat}(T_b - T_{\infty})} \quad (3.4)$$

$$\eta_{kanat} = \frac{\tanh ml}{ml} \quad m^2 = \frac{hp}{kA_c} \quad (3.5)$$

Eşitlik (3.5) ifadesinde kanadın çevresi p, alanı A_c ' dir.

$$\dot{Q}_{kanat} = \eta_{kanat} hA_{kanat}(T_b - T_{\infty}) \text{ [kW]} \quad (3.6)$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Sistemde kullanılan kanatçık sayısı eşitlik (3.6) ile çarpılırsa

$$\dot{Q}_{kanatlar} = N \eta_{kanat} h A_{kanat} (T_b - T_{\infty}) \quad (3.7)$$

Eşitliği elde edilmiş olur.

$$\dot{Q}_{kanatsız} = (A_{kanatsız}) h (T_b - T_{\infty}) \quad (3.8)$$

$$\dot{Q}_{toplam,kanat} = \dot{Q}_{kanatsız} + \dot{Q}_{kanatlar} \quad (3.9)$$

(3.3)deki eşitlik (3.9) da yerine yazılırsa;

$$\dot{Q}_{th} = \dot{m} \cdot c_p (T_e - T_i) = \dot{Q}_{kanatsız} + \dot{Q}_{kanatlar} \quad (3.10)$$

$$\dot{Q}_{th} = \dot{m} \cdot c_p (T_e - T_i) = [(A_{kanatsız}) + (N \eta_{kanat} A_{kanat})] h (T_b - T_{\infty}) \quad (3.11)$$

ifadesi elde edilmiş olur. Bu ifade h taşınım ısı transfer katsayısına bağlı bir ifadedir. Tasarlanmış olan kontrol hacminde havanın kazandığı enerji ile sistemin toplam ısı taşınım katsayısı hesaplanarak Nusselt hesabına geçilebilir.

$$Nu = \frac{h \cdot D_h}{k_{air}} \quad (3.12)$$

Sistemde soğutucu akışkan olarak çalışan havanın her bir hız kademesindeki Reynolds değeri için farklı bir Nusselt katsayısı çıkacaktır.

Güneşten sağlanan toplam elektriksel güce; fotovoltaik modül ile elde edilen güçten sistemdeki fanın çektiği güç çıkarılarak ulaşılır.

$$\dot{Q}_E = (I_{pv} V_{pv}) - W_{fan} \quad (3.13)$$

Genel olarak birinci yasa verimi;

$$\eta_U = \frac{\dot{Q}_E + \dot{Q}_{th}}{\dot{Q}_G} \quad (3.14)$$

3.3. Belirsizlik Analizi

Deneyisel verilerin doğru değerlendirilmesi açısından bu bulguların belirsizlik analizinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Belirsizlik analizi için literatürdeki standart hesap yöntemleri kullanılmıştır. Eğer 'f' bir bağımlı değişken, x ve y bağımsız iki değişken ise $F=f(x,y)$ yazılır. X ve y'nin mutlak belirsizliği W_x ve W_y olarak verildiğinde, f 'in belirsizliği W_f olarak aşağıda ki gibi yazılabilir:

$$W_f = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} W_x \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} W_y \right)^2 + \dots \right]^{1/2}$$

Hız ölçümünden ortaya çıkan toplam hataların analitik ifadeleri:

a_1 :anemometrenin hassasiyetinden kaynaklanan hata ± 0.02

a_2 :mini anemometrenin hassasiyetinden kaynaklanan hata ± 0.03

Hızın (V) ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata (W_v) (1) numaralı denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$w_v = [(a_1)^2 + (a_2)^2]^{1/2}$$

Sıcaklık ölçümünde ortaya çıkabilecek hatalar deneylerde kullanılan ölçüm aletlerine bağlı olarak değişmektedir. Deneyler sırasında sistemde çeşitli noktalarda yapılan sıcaklık ölçümlerinden kaynaklanan hatalar;

(a3) Termoeleman çiftlerinden(bakır) kaynaklanan hata $= \pm 0.02$

(a4) Termoeleman çiftlerinden(gümüş) kaynaklanan hata $= \pm 0.01$

(a5) Bağlantı elemanları ve noktalarından kaynaklanan hata $= \pm 0.02^\circ\text{C}$

(a6) Fan çıkışının orda ki sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata $= \pm 0.01^\circ\text{C}$,

(a7) Çevre ya da deney ortamı sıcaklığının ölçülmesinde (Pt 100 ile yapılan ölçüm) yapılabilecek ortalama hata $= \pm 0.02^\circ\text{C}$,

$$W_t = [(a_3)^2 + (a_4)^2 + (a_5)^2 + (a_6)^2 + (a_7)^2]^{1/2}$$

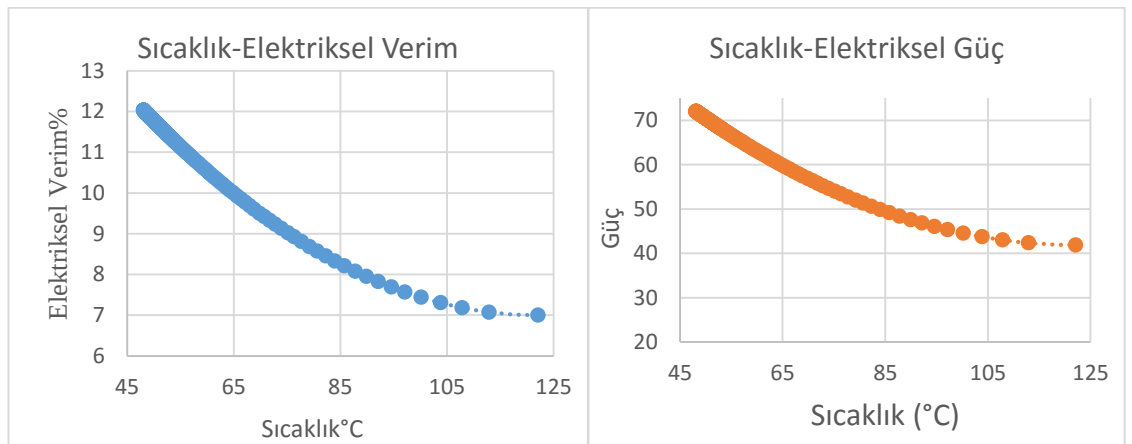
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Deneysel Ölçümler

Deneylere başlamadan önce, deneylerde kullanılacak olan ölçüm cihazlarının kalibrasyon işlemi yapılmıştır. Fotovoltaik panel yüzeyinin altına hücre sıcaklıklarının değerlerini almak için yapıştırılan termo elemanların kalibrasyonu sıcaklık banyosu kullanılarak yapılmış olan bir başka termo eleman ile aynı sıcaklıkta kalibre edilmiştir. Deney sisteminde kullanılan diğer ölçüm elemanlarının da kalibrasyonu yapılmıştır. Hassasiyetlerinin istenilen aralık değerinde olduğu tespit edildikten sonra düzeneğe montajı yapılmıştır. Laboratuvar ortamında yapılan deneylere Aralık 2016'da başlanmıştır.

4.2. Fotovoltaik Sistemlerde Termal Analiz

Fotovoltaik sistemlerde hücre sıcaklığının yükselişine paralel olarak elektriksel verimin düşüşünden daha önce bahsedilmiştir. Bu verim düşüşünü deneysel olarak görebilmek amacıyla yapılan çalışmaların sonucunda Şekil 4.1'de görülen grafik elde edilmiştir.



Şekil 4.1. Fotovoltaik sistemde yüzey sıcaklığının elektriksel verime ve elektriksel güce etkisi

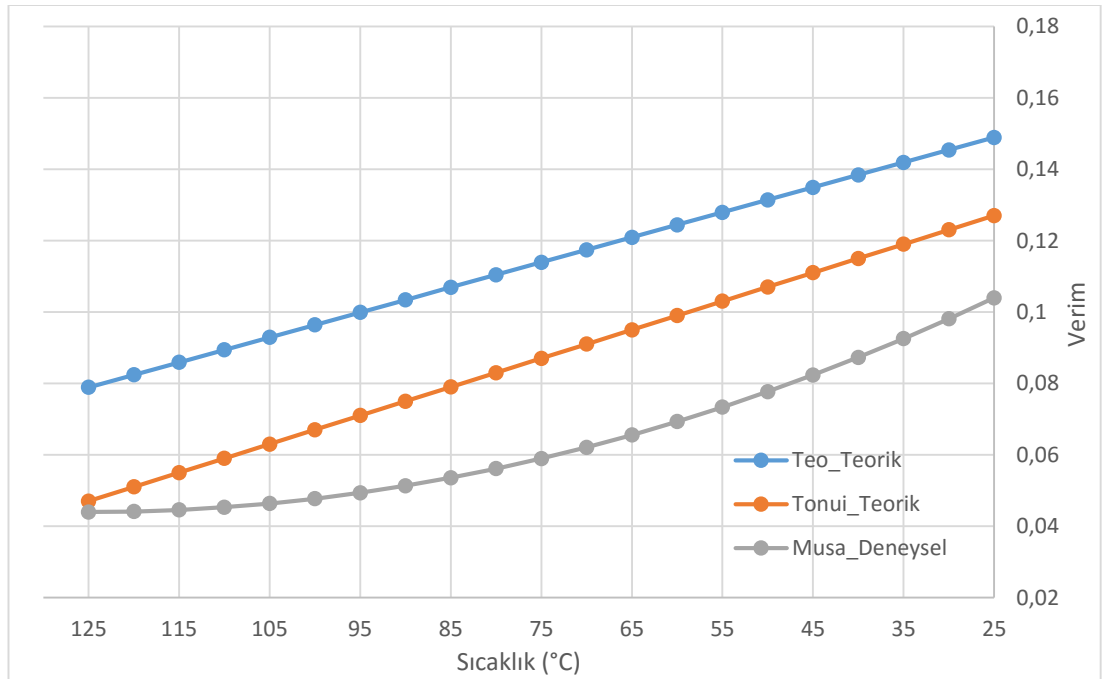
Şekil 4.1 ile gösterilen grafikte deneylerin yapıldığı fotovoltaiik modül için elektriksel verimin ve gücün hücre sıcaklığı ile değişiminin denklemi deneysel olarak çıkarılmıştır. Literatür incelendiğinde 1000 W/m^2 ışınlım akısında teorik olarak iki farklı denklem ortaya konulmuştur. 4.1 grafiği fotovoltaiik sistemlerde hücre sıcaklığı yükselişinin verim düşüşlerine olan etkisini daha doğru bir şekilde ortaya koymaktadır.

$$\eta_{el,Teo_teorik} = -0.0007T_c + 0.1664 \quad (4.1)$$

$$\eta_{el,Tonui_teorik} = -0.0008T_c + 0.147 \quad (4.2)$$

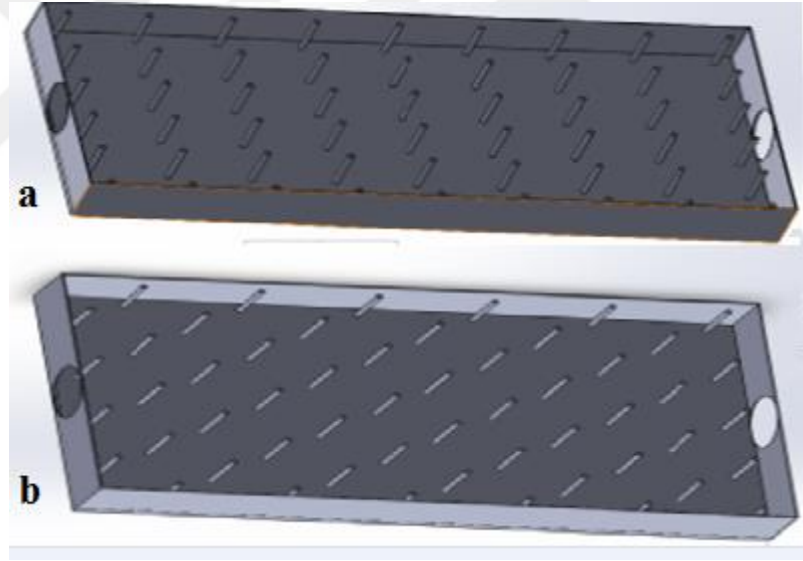
Literatürde bulunan bu teorik denklemlerin her ikisi de doğrusaldır. Fakat yapılan deneysel ölçümlerlerde bu değişimin lineer olmadığı sonucuna varılmıştır ve deneysel olarak aşağıdaki denklem literatüre kazandırılmıştır. 1000 W/m^2 ışınlım akısında yapılan deneysel çalışmada aşağıda ki denklem elde edilmiştir.

$$\eta_{deneysel} = 6 \times 10^{-6} T_c^2 - 0.0015 T_c + 0.1377 \quad (4.3)$$



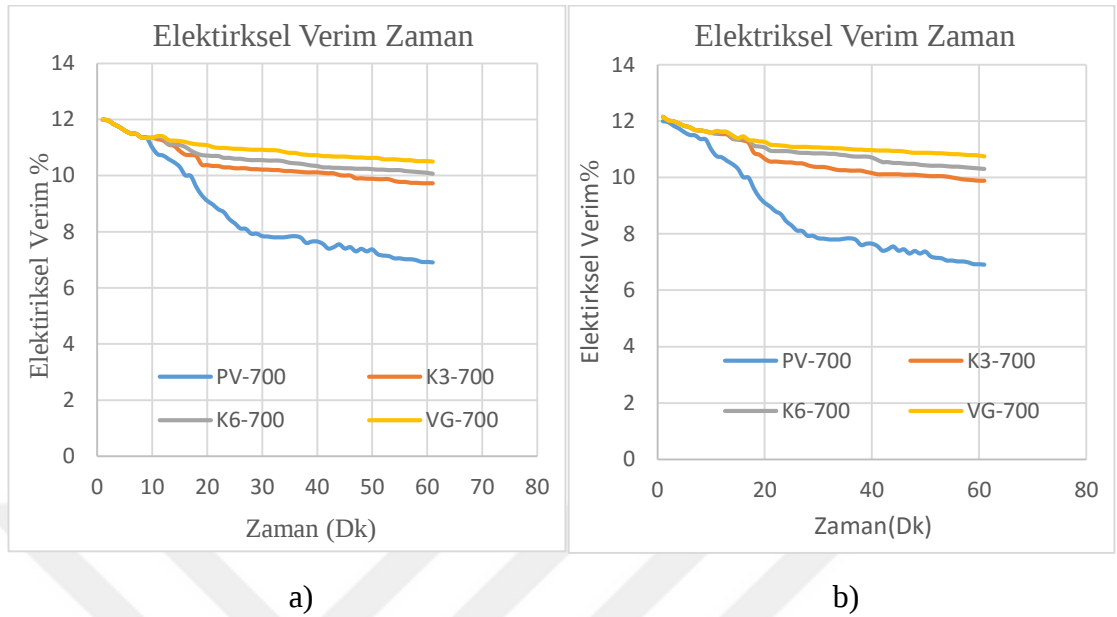
Şekil 4.2. Fotovoltaiik modülde sıcaklığa bağlı olarak elektriksel verim değişimi grafiği

Şekil 4.2’de 1000 W/m^2 ışıınım akısında monokristal fotovoltaik modülün hücrelerinde sıcaklığın artışı ile birlikte verimin düşüşü deneysel olarak ortaya konulmuştur. Denklem 4.1 ve 4.2’de verilmiş olan ifadelerin grafikleri şekil 4.2 de çizilerek, denklem 4.3ün grafiği de bu şekle eklenerek aralarında ki fark net bir şekilde görölmüştür. Şekil 4.2 den görölmektedir ki literatürde ki bir takım teorik hesaplamalar ile ortaya çıkarılan denklemlerin deneysel verilerle ifade edilen denklemlerden bir miktar yüksek sonuç vermiştir. 4.1 denklemi ile ifade edilen grafik 25°C sıcaklıkta 4.2 denkleminin grafiğine göre % 14 civarında yüksektir. 125°C sıcaklıkta ise %46 civarında verimi yüksektir. Bu verilerden görölmektedir ki denklem 4.2 ifadesi sıcaklık değışiminden daha çok etkilenmiştir. 4.2 denklemi ile ifade edilen grafik 25°C sıcaklıkta 4.3 denkleminin grafiğine göre % 23 civarında yüksektir. 125°C sıcaklıkta ise %1 civarında verimi yüksektir.



Şekil 4.3. Kontrol hacmi içersine yerleştiren kanatçıkların görüntüsü a) Düz dizilim. b) Şaşırtmalı dizilim

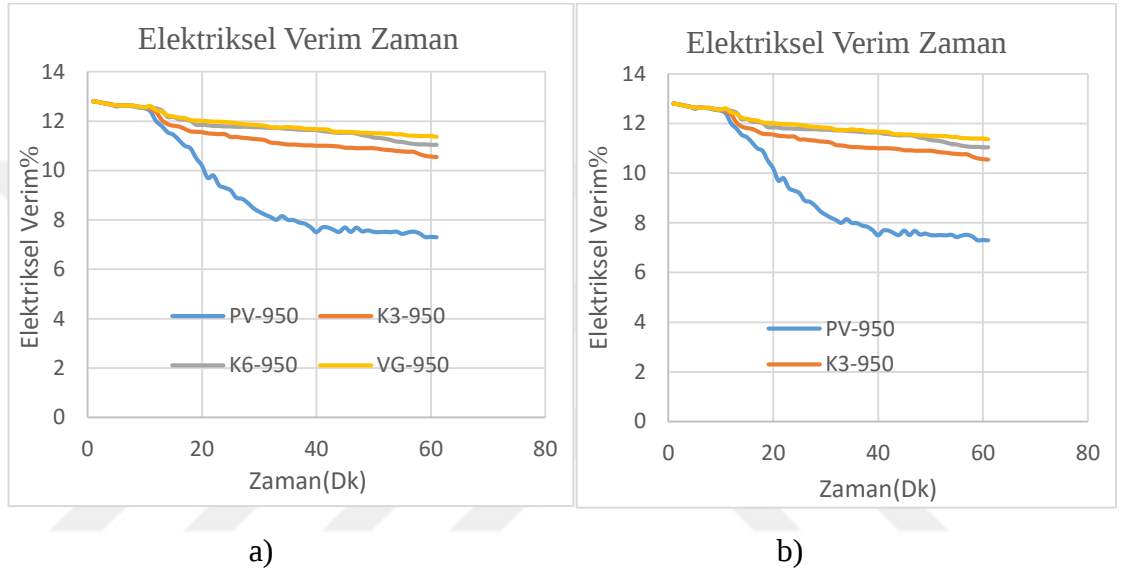
Kontrol hacmi içersine aynı sayıda (54 adet) alüminyum kanatçık farklı dizilişlerde yerleştirilmiştir. Bunun amacı aynı yüzey alanına sahip olan alüminyum kanatçıkları havanın akış yönüne göre daha ideal bir şekilde konumlandırarak fotovoltaik modülün yüzey sıcaklığını daha düşük seviyelere getirmektir.



Şekil 4.4. 700 W/m² ışınlım akısında monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Elektriksel Verim-Zaman grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim

Monokristal fotovoltaik güneş hücrelerinin artan hücre sıcaklığıyla birlikte verimleri düşmektedir. Bu düşüşü önlemek amacıyla PV güneş hücrelerinin sıvı ya da gaz gibi bir akışkanla soğutulması elektriksel verimin artışa neden olmaktadır. 700 W/m² ışınlım akısında, monokristal fotovoltaik modülde kanatçık olmadan, 3 mm orta kanallı kanatçık, 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık ve vida adımlı kanatçıklar kullanılarak deneyler yapılmıştır. 700 W/m² ışınlım akısında, monokristal fotovoltaik modülde kanatçık olmadan yapılan deneyde zaman ilerledikçe ışınlımın etkisi ile fotovoltaik modülün sıcaklığı arttığı için elektriksel verimin düştüğü Şekil 4.4'ten görülmektedir. Düz dizilimlerde ve şaşırtmalı dizilimlerde kanatçık kullanıldığında, bu kanatçıklar modülden ısı çekmekte ve modülün sıcaklığı düşmektedir. Modülün sıcaklığının düşmesi elektriksel verimin artmasına neden olmaktadır. 700 W/m² ışınlım akısında, kanatçık olmadan yapılan deneyde elektriksel verim %6.9'tur. Düz dizilimde 3 mm orta kanallı kanatçıkta elektriksel verim %9.7, 6mm'lik orta kanala sahip kanatçıkta %10 ve vida adımlı kanatçıkta ise verim %10.5'tir. Şaşırtmalı dizilimde ise 3 mm orta kanallı kanatçıkta elektriksel verim %9.88, 6mm'lik orta kanala sahip kanatçıkta %10.3 ve vida adımlı kanatçıkta ise verim %10.74'tür. Düz dizilimde en yüksek verim vida adımlı kanatçıkta olduğu görülmektedir. Şaşırtmalı dizilimde 6mm'lik orta kanala sahip kanatçıklardan

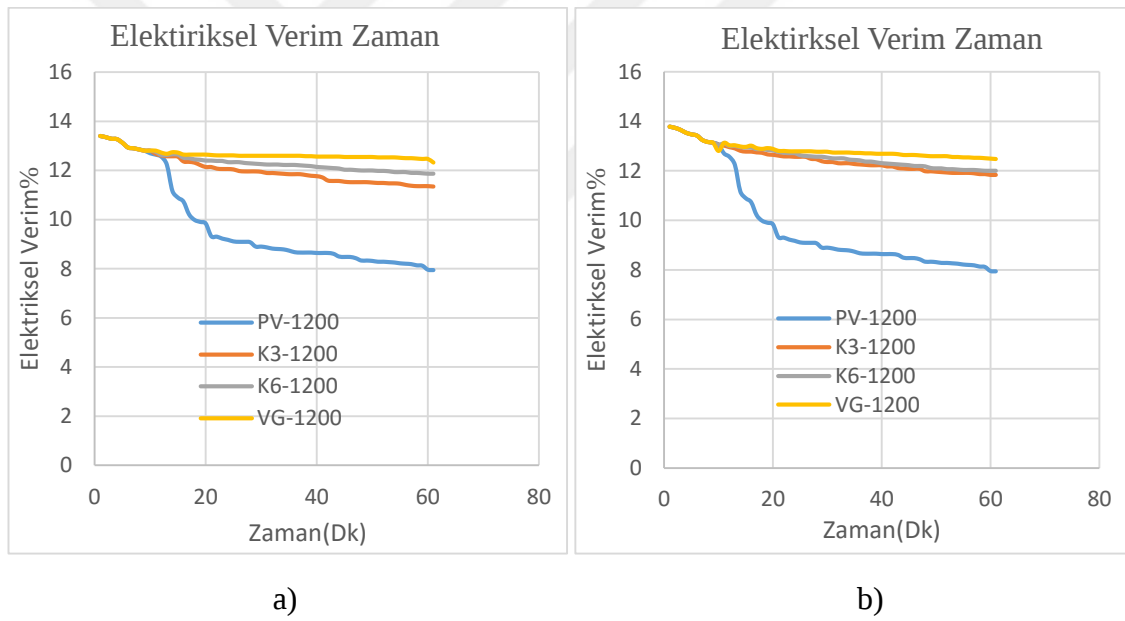
elde edilen sonuç ile düz dizilimde en yüksek verim sağlanan vida adımlı kanatçıklardan elde edilen sonuçlar birbirine yakın olduğu görülmektedir. Buradan kanatçıkların diziliminin ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır. Yüzey alanı az olan kanatçıkların uygun dizilimi yapılabilirse yüzey alanı fazla olan kanatçıklardan daha iyi bir sonuç alınabileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.5. 950 W/m² ışınım akısında monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Elektriksel Verim-Zaman grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim

Monokristal fotovoltaik güneş hücrelerinin artan hücre sıcaklığıyla birlikte verimleri düşmektedir. Bu düşüşü önlemek amacıyla PV güneş hücrelerinin sıvı ya da gaz gibi bir akışkanla soğutulması elektriksel verimin artışa neden olmaktadır. 950 W/m² ışınım akısında, monokristal fotovoltaik modülde kanatçık olmadan, 3 mm orta kanallı kanatçık, 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık ve vida adımlı kanatçıklar kullanılarak deneyler yapılmıştır. 950 W/m² ışınım akısında, monokristal fotovoltaik modülde kanatçık olmadan yapılan deneyde zaman ilerledikçe ışıının etkisi ile fotovoltaik modülün sıcaklığı arttığı için elektriksel verimin düştüğü Şekil 4.5'ten görülmektedir. Düz dizilimlerde ve şaşırtmalı dizilimlerde kanatçık kullanıldığında, bu kanatçıklar modülden ısı çekmekte ve modülün sıcaklığı düşmektedir. Modülün sıcaklığının düşmesi elektriksel verimin artmasına neden olmaktadır. 950 W/m² ışınım akısında, kanatçık olmadan yapılan deneyde elektriksel verim %7.3'tür. Düz dizilimde 3 mm orta kanallı kanatçıkta

elektriksel verim %10.55, 6mm'lik orta kanala sahip kanatçıkta %11.03 ve vida adımlı kanatçıkta ise verim %11.3'tür. Şaşırtmalı dizilimde ise 3 mm orta kanallı kanatçıkta elektriksel verim %11.4, 6mm'lik orta kanala sahip kanatçıkta %11.8 ve vida adımlı kanatçıkta ise verim %12.15'tir. Düz dizilimde en yüksek verim vida adımlı kanatçıkta olduğu görülmektedir. Şaşırtmalı dizilimde 3 mm orta kanallı kanatçıklardan elde edilen sonuç ile düz dizilimde en yüksek verim sağlanan vida adımlı kanatçıklardan elde edilen sonuçlar birbirine yakın olduğu görülmektedir. Buradan kanatçıkların diziliminin ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır. Yüzey alanı az olan kanatçıkların uygun dizilimi yapılabilirse yüzey alanı fazla olan kanatçıklardan daha iyi bir sonuç alınabileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 4.6. 1200 W/m² ışınım akısında monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Elektriksel Verim-Zaman grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim

Monokristal fotovoltaik güneş hücrelerinin artan hücre sıcaklığıyla birlikte verimleri düşmektedir. Bu düşüşü önlemek amacıyla PV güneş hücrelerinin sıvı ya da gaz gibi bir akışkanla soğutulması elektriksel verimin artışa neden olmaktadır. 1200 W/m² ışınım akısında, monokristal fotovoltaik modülde kanatçık olmadan, 3 mm orta kanallı kanatçık, 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık ve vida adımlı kanatçıklar kullanılarak deneyler yapılmıştır. 1200 W/m² ışınım akısında, monokristal fotovoltaik modülde kanatçık

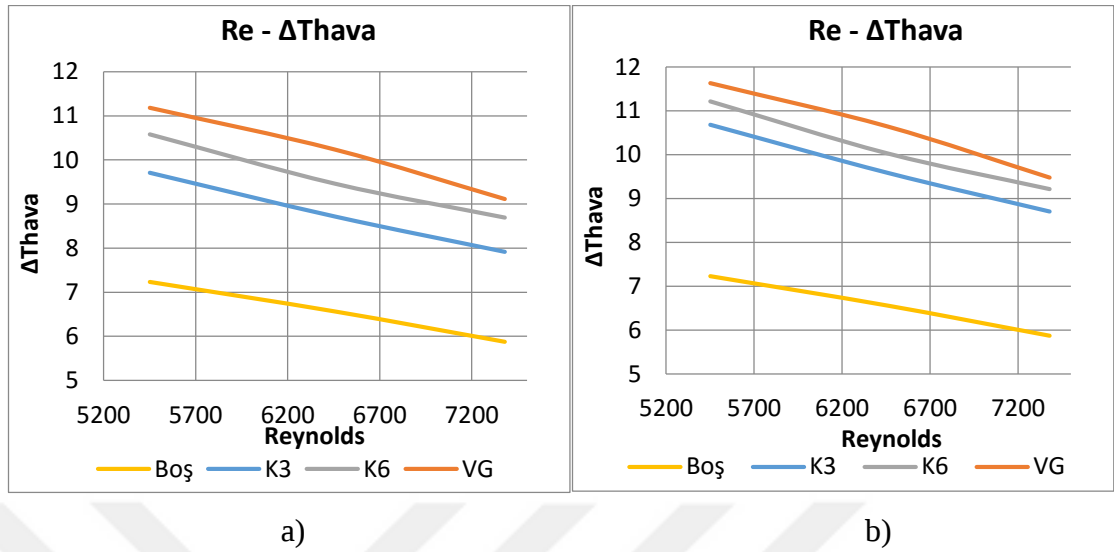
olmadan yapılan deneyde zaman ilerledikçe ışıının etkisi ile fotovoltaik modülün sıcaklığı arttığı için elektriksel verimin düştüğü şekil 4.6'dan görülmektedir. Düz dizilimlerde ve şaşırtmalı dizilimlerde kanatçık kullanıldığında, bu kanatçıklar modülden ısı çekmekte ve modülün sıcaklığı düşmektedir. Modülün sıcaklığının düşmesi elektriksel verimin artmasına neden olmaktadır. 1200 W/m^2 ışıının akısında, kanatçık olmadan yapılan deneyde elektriksel verim %7.9'tur. Düz dizilimde 3 mm orta kanallı kanatçıkta elektriksel verim %11.3, 6mm'lik orta kanala sahip kanatçıkta %11.8 ve vida adımlı kanatçıkta ise verim %12.3'tür. Şaşırtmalı dizilimde ise 3 mm orta kanallı kanatçıkta elektriksel verim %11.8, 6mm'lik orta kanala sahip kanatçıkta %11.9 ve vida adımlı kanatçıkta ise verim %12.4'tir. En yüksek verim vida adımlı kanatçıklarda olduğu görülmektedir.

Ayrıca modül üzerine düşen ışıının değeri arttıkça da (700 W/m^2 , 950 W/m^2 , 1200 W/m^2) elektriksel verimin arttığı görülmektedir. Uygun dizilimlerde iyi bir soğutma yapılabilirse verimin artırılabilceği görülmektedir.

4.3. Alüminyum (Al) kanatçıkların fotovoltaik modülde etkisi

Deney düzeneğinde montajı yapılan hava kanalı içerisine dizilen ve modül ile teması sağlanan kanatçıklar deney için hazırlanmıştır. Bu bölümde 54 adet kanatçık, kullanılmıştır. Bu kanatçıkların ısı transferine etkilerini tam görebilmek için hava kanalında kanatçıklar olmadan da deneyler yapılmıştır. Yani boş kanal deneyleri tamamlanmış ve bu deneylerin verileri alınmıştır. Fotovoltaik sistem için tasarlanan kontrol hacmi içerisine termal verimi artırıp elektriksel verimin düşüşünü engellemek için 3 farklı yüzey alanına sahip alüminyum kanatçıklar yerleştirilmiştir. Fotovoltaik yüzeye tam teması sağlanan kanatçıkların ayrı ayrı performansları incelenmiştir. Bu elemanların kullanılmasının amacı hem sistem verimini artırmaktır.

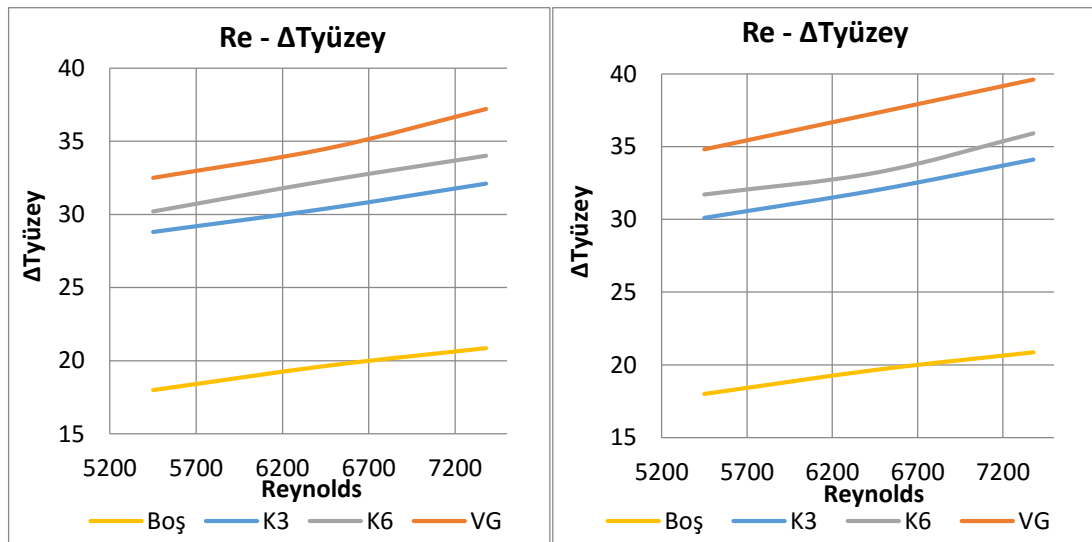
Yapay güneş ışıını projektörü toplam ışıının akısı 700 W/m^2 için



Şekil 4.7. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- ΔT_{hava} grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim

700 W/m² ışıınım akısında, monokristal fotovoltaik modülde kanatçık olmadan yapılan deneyde reynolds yaklaşık 5400 değerinde iken havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı 7.2°C, reynolds değeri yaklaşık 6400 değerinde havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı 6.5°C, reynolds değeri yaklaşık 7300 değerinde ise havanın giriş-çıkış sıcaklık farkının 5.8°C seviyelerine gerilediği görülmektedir. Aynı reynolds değerlerinde düz sıralı dizilim ve 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı değerleri sırasıyla 9.7°C, 8.7°C ve 7.9°C değerlerine gelmiştir. Şaşırtmalı dizilim kullanıldığı zaman ise sıcaklık değerleri sırasıyla 10.6°C, 9.5°C ve 8.7°C olmuştur. Düz dizilimde 3mm orta kanallı kanatçıkta en düşük sıcaklık farkı değeri bile boş kanalın sağladığı en yüksek sıcaklık farkı değerinden % 9,7 mertebelerinde daha iyi bir sonuç verdiğini göstermektedir. Aynı Reynolds değerlerindeki sıcaklık farkları karşılaştırıldığı zaman ise düz sıralı dizilimde yaklaşık % 34 seviyelerinde, şaşırtmalı dizilimde ise yaklaşık %46 seviyelerinde bir artışın meydana geldiği görülmektedir. Düz sıralı dizilimde 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında havanın giriş-çıkış sıcaklık farkları sırasıyla 10.5°C, 9.4°C, 8.6°C değerlerine gelmiştir. Burada ise boş kanala oranla havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı değerlerinde yaklaşık olarak % 45 miktarında bir artış meydana gelmektedir. 6 mm orta kanallı kanatçık ile 3 mm orta kanallı kanatçık arasında bir kıyaslama yapılacak olursa 6 mm kanala sahip olan kanatçık kullanıldığında havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı değeri yaklaşık olarak %8 artmaktadır. Şaşırtmalı dizilim

kullanıldığı zaman ise sıcaklık farkı sırasıyla 11.2°C, 10.03°C, 9.2°C değerlerine ulaşılmıştır. Burada boş kanala oranla havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı değerlerinde yaklaşık olarak %54'lük bir artış meydana gelmiştir. 6 mm orta kanallı kanatçık ile 3 mm orta kanallı kanatçık arasında bir kıyaslama yapılacak olursa 6 mm kanala sahip olan kanatçık kullanıldığında havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı değeri yaklaşık olarak %6 artmaktadır. Vida adımlı kanatçık kullandığında ise havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı değerleri sırasıyla 11.1°C, 10.2°C, 9.1°C olmuştur. Bu kanatçık kullanıldığında ise boş kanala kıyasla sıcaklık farkı değerinde yaklaşık % 54'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Düz sıralı dizilimde vida adımlı kanatçık ile 3mm orta kanallı ve 6mm orta kanallı kanatçıklar kıyaslandığı zaman havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı değerinde sırasıyla %14 ve %6'lık bir artışın olduğu görülmektedir. Şaşırtmalı dizilimde kullanılan vida adımlı kanatçıklarda ise havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı değerleri sırasıyla 11.6°C, 10.6°C, 9.4°C'dir. Boş kanala kıyasla sıcaklık farkı değerinde yaklaşık % 61'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Buradan anlaşıldığı gibi vida adımlı kanatçık kullanılarak en yüksek seviyede sıcaklık farkı değeri elde edilmiştir.



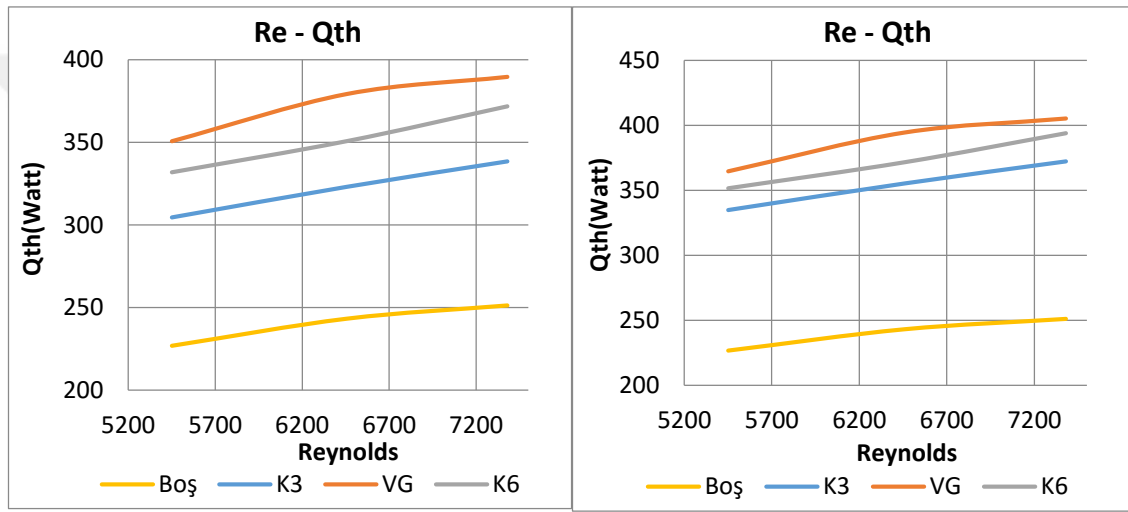
a)

b)

Şekil 4.8. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- $\Delta T_{\text{yüzey}}$ grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim

700 W/m² ışıınım akısında, monokristal fotovoltaiik modülde kanatçık olmadan yapılan deneyde reynolds yaklaşık 5400 değeriinde iken yüzey sıcaklık farkı 18°C, reynolds değeri yaklaşık 6400 değeriinde yüzey sıcaklık farkı 19.6°C, reynolds değeri yaklaşık 7300 değeriinde ise yüzey sıcaklık farkının 20.8°C seviyelerine olduğu görülmektedir. Aynı reynolds değeriinde düz sıralı dizilimde 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise yüzey sıcaklık farkı değeriileri sırasıyla 28.8°C, 30.4°C ve 32.1°C değeriilerine gelmiştir. Bu da kullanılan 3mm orta kanallı kanatçıkta en düşük yüzey sıcaklık farkı değeri bile boş kanalın sağladığı en yüksek yüzey sıcaklık farkı değeriinden 8°C mertebelerinde daha iyi bir sonuç verdiğini göstermektedir. Aynı reynolds değeriindeki yüzey sıcaklık farkları karşılaştırıldığı zaman ise yaklaşık 11°C seviyelerinde bir artışın meydana geldiği görülmektedir. Şaşırtmalı dizilimde 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise 30.1°C, 32°C, 34.1°C'dir. Kanatçıksız yapılan deneyle kıyasladığımızda 12°C'lik bir artış olduğu görülmüştür. Düz sıralı dizilimde yine aynı reynolds değeriinde 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında yüzey sıcaklık farkları sırasıyla 32.2°C, 32.3°C, 34°C değeriilerine gelmiştir. Burada ise boş kanalla kıyasladığımızda yüzey sıcaklık farkı değeriilerinde yaklaşık olarak 13°C seviyelerinde bir artış meydana gelmektedir. 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık ile 3mm orta kanallı kanatçık aynı reynolds değeriilerindeki yüzey sıcaklık farkları karşılaştırıldığı zaman ise yaklaşık 2°C seviyelerinde bir artışın meydana geldiği görülmektedir. Şaşırtmalı dizilimde 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında yüzey sıcaklık farkları sırasıyla 31.7°C, 33.2°C, 35.9°C değeriilerine gelmiştir. Bu dizilimde boş kanalla kıyasladığımızda 14°C arttığı görülmüştür. Şaşırtmalı dizilimde 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık ile 3mm orta kanallı kanatçık kıyaslandığında 2°C 'lik bir fark olmuştur. Düz sıralı dizilimde vida adımlı kanatçık kullandığında ise yüzey sıcaklık farkı değeriileri sırasıyla 32.5°C, 34.5°C, 37.2°C olmuştur. Bu kanatçık kullanıldığında ise boş kanala kıyasla yüzey sıcaklık farkı değeriinde yaklaşık 14.5°C'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Vida adımlı kanatçık ile 3mm orta kanallı kanatçık aynı Reynolds değeriilerindeki yüzey sıcaklık farkları karşılaştırıldığı zaman yaklaşık 4°C, vida adımlı kanatçık ile 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığı zaman yaklaşık 1°C miktarında bir artış meydana gelmektedir. Şaşırtmalı dizilimde vida adımlı kanatçık kullandığında ise yüzey sıcaklık farkı değeriileri sırasıyla 34.8°C, 37.3°C, 39.6°C olmuştur. Şaşırtmalı dizilimde vida adımlı kanatçık ile boş kanalla kıyasladığımızda

17°C'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Şaşırtmalı dizilimde vida adımlı kanatçık ile 3mm orta kanallı kanatçık aynı reynolds değerlerindeki yüzey sıcaklık farkları karşılaştırıldığı zaman yaklaşık 5°C, vida adımlı kanatçık ile 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığı zaman yaklaşık 3°C miktarında bir artış meydana gelmektedir. Buradan anlaşıldığı gibi vida adımlı kanatçık kullanılarak en yüksek seviyede sıcaklık farkı değeri elde edilmiştir. Yani monokristal modülün kontrol hacmine kanatçıkların eklenmesi ile modülün yüzey sıcaklığı daha fazla düştüğü görülmüştür.



a)

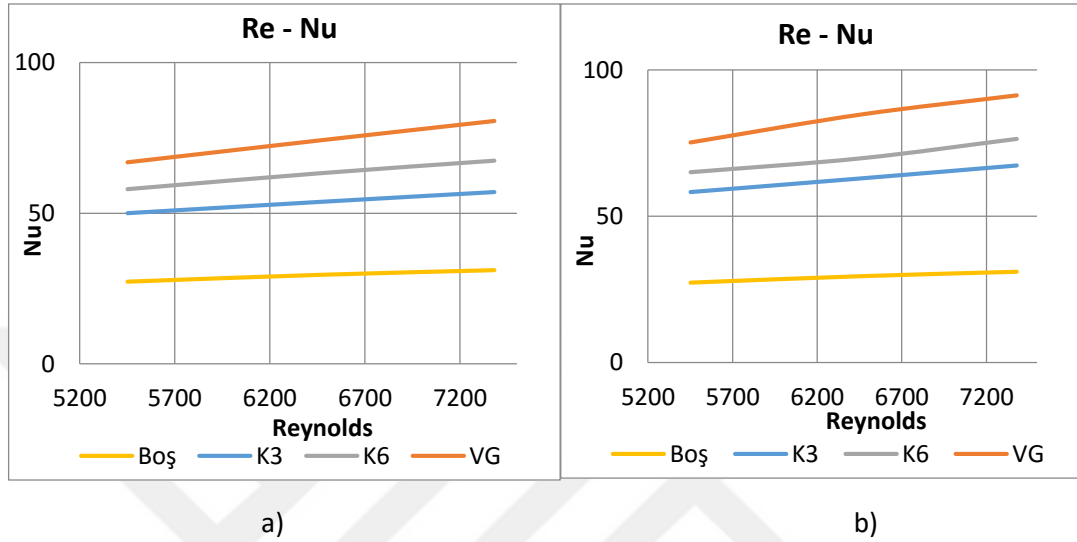
b)

Şekil 4.9. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re-Q_{th} grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim

700 W/m² ışıyım akısında, monokristal fotovoltaik modülde kanatçık olmadan yapılan deneyde reynolds yaklaşık 5400 değerinde iken 226 Watt, reynolds değeri yaklaşık 6400 değerinde 243 Watt, reynolds değeri yaklaşık 7300 değerinde ise 251 Watt seviyelerinde termal enerji kazanıldığı görülmektedir. Kanatçıklar olmadan yapılan deneyin bu aşamasında termal enerjinin artmasının sebebi sistemde çalıştırılan fan hızının yükselmesidir. Fan hızı arttıkça sistemden geçirilen hava debisi de arttığı için; hücre sıcaklığı düşmektedir. Bu düşüş ile kazandığımız termal enerji artmaktadır. Kontrol hacim içerisinde hareket eden hava herhangi bir engel bulunmadığı için sıcak yüzeye fazla temas edemeden çıkmaktadır. Düz dizilimde aynı reynolds değerlerinde 3mm'lik

orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında kazanılan termal enerji değerleri sırasıyla 304Watt, 323Watt ve 338Watt'tır. Aynı reynolds değerlerindeki kazanılan termal enerji kanatçık olmadan yapılan deneyle karşılaştırıldığı zaman ise yaklaşık % 33 seviyelerinde bir artışın meydana geldiği görülmektedir. Şaşırtmalı dizilime yine aynı reynolds değerlerinde 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında kazanılan termal enerji değerleri sırasıyla 335Watt, 355Watt ve 372Watt'tır. Aynı reynolds değerlerindeki kazanılan termal enerji kanatçık olmadan yapılan deneyle karşılaştırıldığı zaman ise yaklaşık %46 seviyelerinde bir artışın meydana geldiği görülmektedir. Düz dizilimde aynı reynolds değerlerinde 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında kazanılan termal enerji değerleri sırasıyla 331Watt, 350Watt, 371Watt değerlerine gelmiştir. Boş kanala oranla kazanılan termal enerji değerleri yaklaşık olarak % 44 miktarında bir artış meydana gelmektedir. 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık ile 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığında yaklaşık % 8'lik bir artış meydana gelmektedir. Şaşırtmalı dizilimde aynı reynolds değerlerinde 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında kazanılan termal enerji değerleri sırasıyla 351Watt, 371Watt, 394Watt değerlerine gelmiştir. Boş kanala oranla kazanılan termal enerji değerleri yaklaşık olarak % 53 miktarında bir artış meydana gelmektedir. 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık ile 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığında yaklaşık % 4.5'lik bir artış meydana gelmektedir. Düz dizilimde vida adımlı kanatçık kullandığında ise kazanılan termal enerji değerleri sırasıyla 350Watt, 379Watt, 389Watt'tır. Bu kanatçık kullanıldığında ise boş kanala kıyasla kazanılan termal enerji değerinde yaklaşık % 55'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Vida adımlı kanatçık ile 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığında yaklaşık %15, vida adımlı kanatçık ile 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığında yaklaşık %5'lik bir artış meydana gelmektedir. Şaşırtmalı dizilimde vida adımlı kanatçık kullandığında ise kazanılan termal enerji değerleri sırasıyla 364Watt, 394Watt, 405Watt'tır. Bu kanatçık kullanıldığında ise boş kanala kıyasla kazanılan termal enerji değerinde yaklaşık %61'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Vida adımlı kanatçık ile 3mm orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığında yaklaşık %9, vida adımlı kanatçık ile 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığında yaklaşık %3'lük bir artış meydana gelmektedir. Fotovoltaik kontrol hacmine yerleştirilen kanatçıklar modülden ısıyı çekmekte ve kontrol hacminin içinden geçen havayla daha çok temas halinde olduğundan kazanılan termal

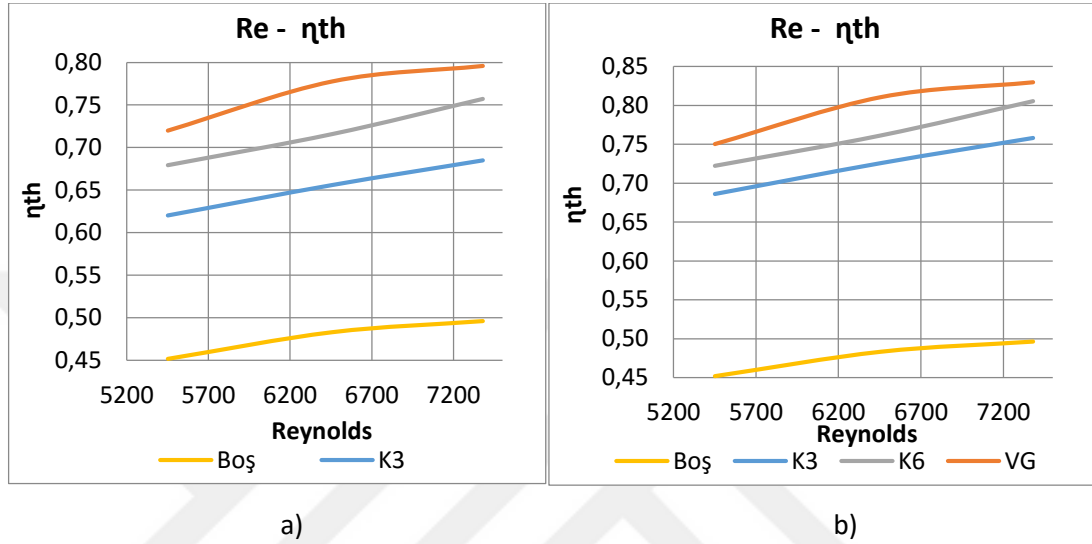
enerji değerleri kanatçıksız yapılan deneyden daha etkili sonuçlar almamıza yardımcı olmuştur.



Şekil 4.10. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re-Nu grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim

700 W/m² ışıınım akısında, monokristal fotovoltaik modülde kanatçık olmadan yapılan deneyde reynolds yaklaşık 5400 değerinde iken nusselt değeri 27.2, reynolds değeri yaklaşık 6400 değerinde nusselt değeri 29.5, reynolds değeri yaklaşık 7300 değerinde ise nusselt değeri 31 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Düz dizilimde aynı reynolds değerlerinde 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise nusselt değerleri sırasıyla 50, 53.7 ve 57'tir. Yine aynı reynolds değerlerinde 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında nusselt değerleri sırasıyla 58, 63, 67.4 değerlerine gelmiştir. Vida adımlı kanatçık kullandığında ise nusselt değerleri sırasıyla 66.8, 74,80.6 olmuştur. Şaşırtmalı dizilimde ise 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise nusselt değerleri sırasıyla 58, 62.9 ve 67'dir. 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında nusselt değerleri sırasıyla 65, 69.7 ve 76 değerlerine gelmiştir. Vida adımlı kanatçık kullandığında ise nusselt değerleri sırasıyla 75.2, 84.7,91.2 olmuştur. Buradan anlaşıldığı gibi vida adımlı kanatçık kullanılarak en yüksek seviyede nusselt değeri elde edilmiştir. Denklem 3.12' de boyutsuz bir sayı olan Nusselt tasarlanan sistemde iletim katsayısı çok küçük seviyelerde değiştiği için (bütün malzemeler alüminyum) iletim katsayısının

değişimi ihmal edilemez ama sistemde etkisi çok azdır. Bu sebepten Nusselt sayısı taşınım katsayısı ile orantılı kabul edilebilir. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi nusselt sayısı reynolds sayısına bağlı olarak artmaktadır.

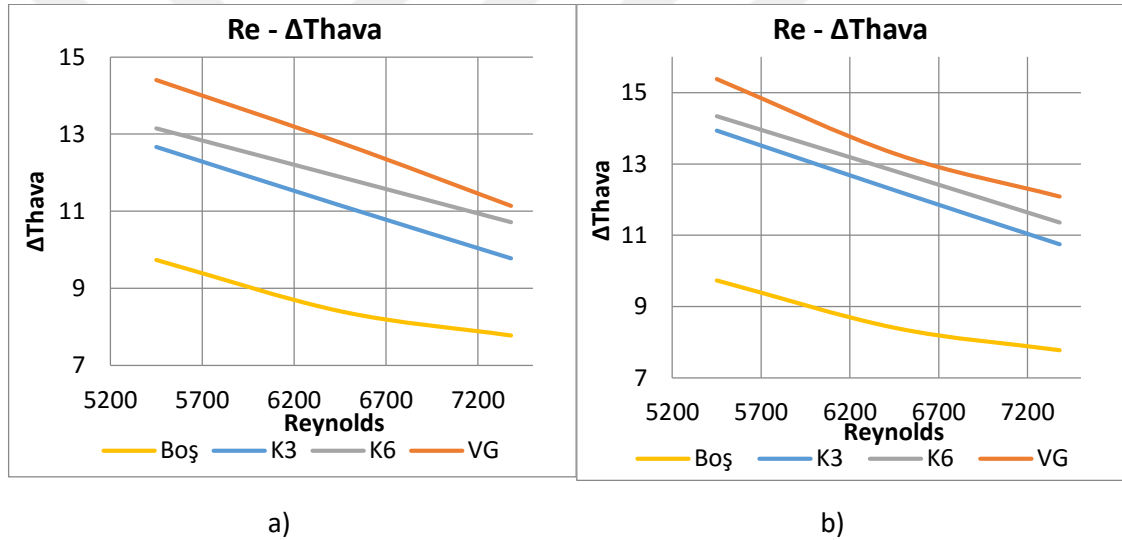


Şekil 4.11. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- η_{th} grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim

700 W/m² ışıyım akısında, monokristal fotovoltaik modülde kanatçık olmadan yapılan deneyde Reynolds yaklaşık 5400 değerinde iken termal verim %45, reynolds değeri yaklaşık 6400 değerinde termal verim %48, reynolds değeri yaklaşık 7300 değerinde ise termal verim %49 olduğu görülmektedir. Düz dizilimde aynı reynolds değerlerinde 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise termal verim değerleri sırasıyla %62, %65 ve %68'tir. Bu tip kanatçık kullanılarak termal verim değerini % 17 civarında artırmak mümkün olmuştur. Yine aynı reynolds değerlerinde 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında termal verim değerleri sırasıyla %67, %71, %75 değerlerine gelmiştir. 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığı zaman termal verimin %22'lik bir artışa uğradığı görülmüştür. Vida adimli kanatçık kullandığında ise termal verim değerleri sırasıyla %72, %77, %79 olmuştur. Vida adimli kanatçık kullanılması halinde ise % 45-49 olan termal verim değeri %72-79 seviyelerine kadar çıkmıştır. Şaşırtmalı dizilimde ise 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise termal verim değerleri sırasıyla %68, %72 ve %75'tir. Bu tip kanatçık kullanılarak termal verim

değerini % 23 civarında artırmak mümkün olmuştur. 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında termal verim değerleri sırasıyla %72, %76, %80 değerlerine gelmiştir. 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığı zaman termal verimin %27'lik bir artışa uğradığı görülmüştür. Vida adimli kanatçık kullandığında ise termal verim değerleri sırasıyla %75, %81, %82 olmuştur. Vida adimli kanatçık kullanılması halinde ise %45-49 olan termal verim değeri %82 seviyelerine kadar çıkmıştır. Buradan anlaşıldığı gibi vida adimli kanatçık kullanılarak en yüksek seviyede termal verim elde edilmiştir.

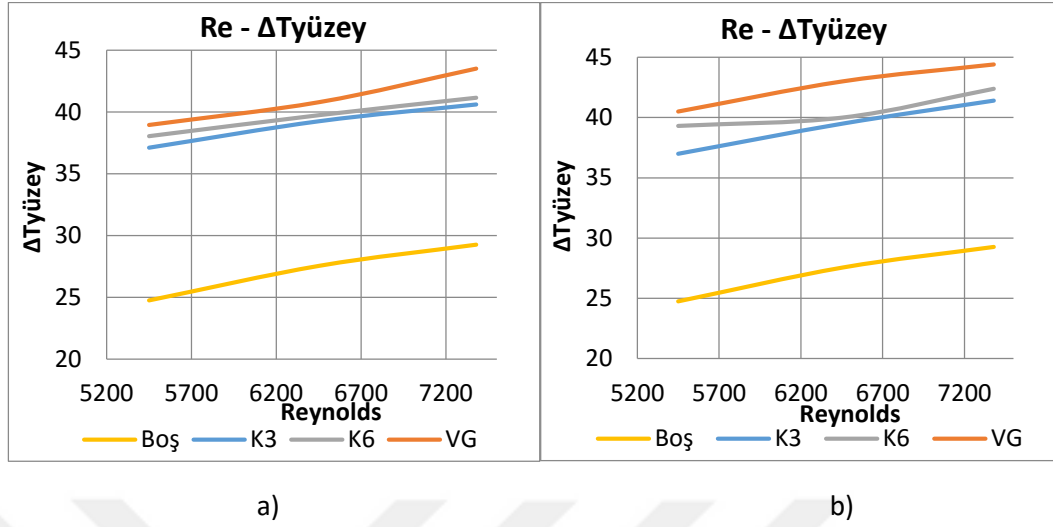
Yapay güneş ışınımı projektörü toplam ışıınım akısı 950 W/m^2 için



Şekil 4.12. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- ΔT_{hava} grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim

950 W/m^2 ışıınım akısında, monokristal fotovoltaik modülde kanatçık olmadan yapılan deneyde reynolds yaklaşık 5400 değerinde iken havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı 9.6°C , reynolds değeri yaklaşık 6400 değerinde havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı 8.4°C , reynolds değeri yaklaşık 7300 değerinde ise havanın giriş-çıkış sıcaklık farkının 7.8°C seviyelerine gerilediği görülmektedir. Aynı reynolds değerlerinde düz sıralı dizilim ve 3mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı değerleri sırasıyla 12.6°C , 11.1°C ve 9.7°C değerlerine gelmiştir. Şaşırtmalı dizilim kullanıldığı zaman ise sıcaklık değerleri sırasıyla 13.9°C , 12.2°C ve 10.7°C olmuştur. Dü z dizilimde

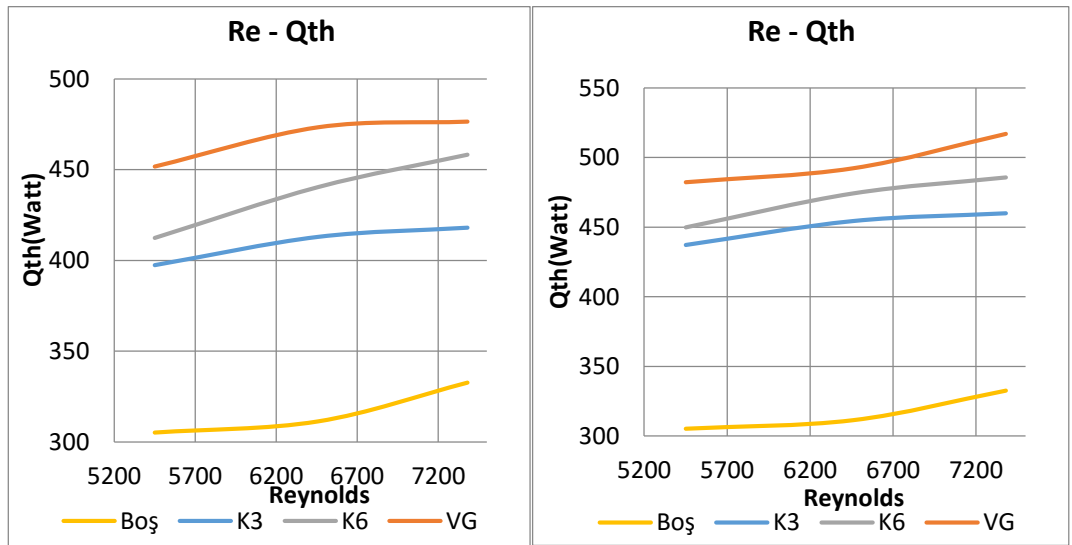
3mm orta kanallı kanatçıkta en düşük sıcaklık farkı değeri bile boş kanalın sağladığı en yüksek sıcaklık farkı değerinden %1 mertebelerinde daha iyi bir sonuç verdiğini göstermektedir. Aynı reynolds değerlerindeki sıcaklık farkları karşılaştırıldığı zaman ise düz sıralı dizilimde yaklaşık %24 seviyelerinde, şaşırtmalı dizilimde ise yaklaşık %37 seviyelerinde bir artışın meydana geldiği görülmektedir. Düz sıralı dizilimde 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında havanın giriş-çıkış sıcaklık farkları sırasıyla 13.1°C, 11.8°C, 10.7°C değerlerine gelmiştir. Burada ise boş kanala oranla havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı değerlerinde yaklaşık olarak %36 miktarında bir artış meydana gelmektedir. 6 mm orta kanallı kanatçık ile 3 mm orta kanallı kanatçık arasında bir kıyaslama yapılacak olursa 6 mm kanala sahip olan kanatçık kullanıldığında havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı değeri yaklaşık olarak %4 artmaktadır. Şaşırtmalı dizilimde 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığı zaman ise sıcaklık farkı sırasıyla 14.3°C, 12.7°C, 11.3°C değerlerine ulaşılmıştır. Burada boş kanala oranla havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı değerlerinde yaklaşık olarak % 45'lik bir artış meydana gelmiştir. 6 mm orta kanallı kanatçık ile 3 mm orta kanallı kanatçık arasında bir kıyaslama yapılacak olursa 6 mm kanala sahip olan kanatçık kullanıldığında havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı değeri yaklaşık olarak %3 artmaktadır. Vida adımlı kanatçık kullandığında ise havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı değerleri sırasıyla 14.4°C, 12.7°C, 11.1°C olmuştur. Bu kanatçık kullanıldığında ise boş kanala kıyasla sıcaklık farkı değerinde yaklaşık %42'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Düz sıralı dizilimde vida adımlı kanatçık ile 3mm orta kanallı ve 6mm orta kanallı kanatçıklar kıyaslandığı zaman havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı değerinde sırasıyla %14 ve %4' lük bir artışın olduğu görülmektedir. Şaşırtmalı dizilimde kullanılan vida adımlı kanatçıklarda ise havanın giriş-çıkış sıcaklık farkı değerleri sırasıyla 15.3°C, 13.2°C, 12.1°C'dir. Boş kanala kıyasla sıcaklık farkı değerinde yaklaşık %55'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Buradan anlaşıldığı gibi vida adımlı kanatçık kullanılarak en yüksek seviyede sıcaklık farkı değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.13. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- $\Delta T_{\text{yüzey}}$ grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim

950 W/m² ışıınım akısında, monokristal fotovoltaiik modülde kanatçık olmadan yapılan deneyde reynolds yaklaşık 5400 değeriinde iken yüzey sıcaklık farkı 24.7°C, reynolds değeri yaklaşık 6400 değeriinde yüzey sıcaklık farkı 27.5°C, reynolds değeri yaklaşık 7300 değeriinde ise yüzey sıcaklık farkının 29.2°C seviyelerine olduğu görölmektedir. Aynı reynolds değeriinde düz sıralı dizilimde 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise yüzey sıcaklık farkı değeriileri sırasıyla 37.1°C, 39.2°C ve 40.6°C değeriilerine gelmiştir. 3mm orta kanallı kanatçıkta en düşük yüzey sıcaklık farkı değeri bile boş kanalın sağladığı en yüksek yüzey sıcaklık farkı değeriinden 7.9°C mertebelerinde daha iyi bir sonuç verdiğini göstermektedir. Aynı reynolds değeriindeki yüzey sıcaklık farkları karşılaştırıldığında zaman ise yaklaşık 11°C seviyelerinde bir artışın meydana geldiği görölmektedir. Şaşırtmalı dizilimde 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise 37.8°C, 39.5°C, 41.4°C'tür. Kanatçiksız yapılan deneyle kıyasladığımızda 12°C'lik bir artış olduğu görölmüştür. Düz sıralı dizilimde 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında yüzey sıcaklık farkları sırasıyla 38°C, 39.7°C, 41.15°C değeriilerine gelmiştir. Burada ise boş kanalla kıyasladığımızda yüzey sıcaklık farkı değerilerinde yaklaşık olarak 12°C seviyelerinde bir artış meydana gelmektedir. 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık ile 3mm orta kanallı kanatçık aynı reynolds değeriindeki yüzey sıcaklık farkları karşılaştırıldığında zaman ise yaklaşık 1°C seviyelerinde bir artışın meydana geldiği görölmektedir. Şaşırtmalı dizilimde 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında yüzey sıcaklık farkları sırasıyla 39.3°C, 40°C, 42.4°C değeriilerine gelmiştir. Bu dizilimde

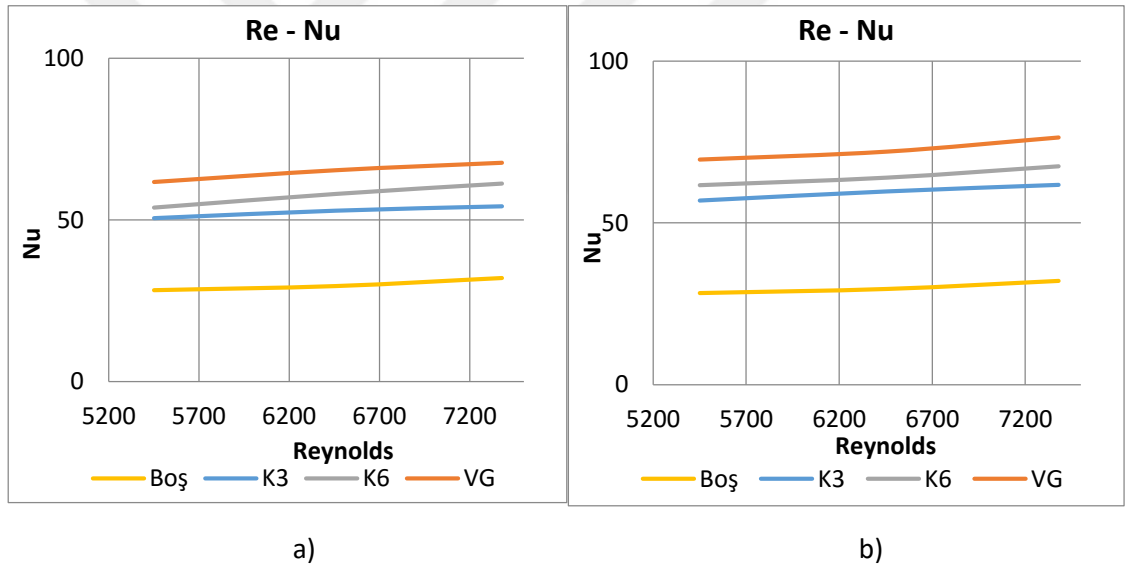
boş kanalla kıyasladığımızda 12°C arttığı görülmüştür. Şaşırtmalı dizilimde 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık ile 3mm orta kanallı kanatçık kıyaslandığında yaklaşık olarak 1°C 'lik bir fark olmuştur. Düz sıralı dizilimde vida adımlı kanatçık kullandığında ise yüzey sıcaklık farkı değerleri sırasıyla 39°C , 40.8°C , 43.5°C olmuştur. Bu kanatçık kullanıldığında ise boş kanala kıyasla yüzey sıcaklık farkı değerinde yaklaşık 13°C 'lük bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Vida adımlı kanatçık ile 3mm orta kanallı kanatçık aynı reynolds değerlerindeki yüzey sıcaklık farkları karşılaştırıldığı zaman yaklaşık 2°C , vida adımlı kanatçık ile 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığı zaman yaklaşık 1°C miktarında bir artış meydana gelmektedir. Şaşırtmalı dizilimde vida adımlı kanatçık kullandığında ise yüzey sıcaklık farkı değerleri sırasıyla 40.5°C , 43°C , 44.4°C olmuştur. Şaşırtmalı dizilimde vida adımlı kanatçık ile boş kanalla kıyasladığımızda 15°C 'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Şaşırtmalı dizilimde vida adımlı kanatçık ile 3mm orta kanallı kanatçık aynı reynolds değerlerindeki yüzey sıcaklık farkları karşılaştırıldığı zaman yaklaşık 3°C , vida adımlı kanatçık ile 6mm orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığı zaman yaklaşık 1°C miktarında bir artış meydana gelmektedir. Buradan anlaşıldığı gibi vida adımlı kanatçık kullanılarak en yüksek seviyede sıcaklık farkı değeri elde edilmiştir. Yani monokristal modülün kontrol hacmine kanatçıkların eklenmesi ile modülün yüzey sıcaklığı daha fazla düştüğü görülmüştür.



Şekil 4.14. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- Q_{th} grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim

950 W/m² ışınlam akısında, monokristal fotovoltaiik modülde kanatçık olmadan yapılan deneyde Reynolds yaklaşık 5400 değeriinde iken 305 Watt, reynolds değeri yaklaşık 6400 değeriinde 311 Watt, reynolds değeri yaklaşık 7300 değeriinde ise 332 Watt seviyelerinde termal enerji kazanıldığı görülmektedir. Kanatçıklar olmadan yapılan deneyin bu aşamasında termal enerjinin artmasının sebebi sistemde çalıştırılan fan hızının yükselmesidir. Fan hızı arttıkça sistemden geçirilen hava debisi de arttığı için; hücre sıcaklığı düşmektedir. Bu düşüş ile kazandığımız termal enerji artmaktadır. Kontrol hacim içerisinde hareket eden hava herhangi bir engel bulunmadığı için sıcak yüzeye fazla temas edemeden çıkmaktadır. Düz dizilimde aynı reynolds değerlerinde 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında kazanılan termal enerji değerleri sırasıyla 397Watt, 412Watt ve 418Watt'tır. Aynı reynolds değerlerindeki kazanılan termal enerji kanatçık olmadan yapılan deneyle karşılaştırıldığı zaman ise yaklaşık % 26 seviyelerinde bir artışın meydana geldiği görülmektedir. Şaşırtmalı dizilime yine aynı reynolds değerlerinde 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında kazanılan termal enerji değerleri sırasıyla 437Watt, 454Watt ve 459Watt'tır. Aynı reynolds değerlerindeki kazanılan termal enerji kanatçık olmadan yapılan deneyle karşılaştırıldığı zaman ise yaklaşık % 38 seviyelerinde bir artışın meydana geldiği görülmektedir. Düz dizilimde aynı reynolds değerlerinde 6mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında kazanılan termal enerji değerleri sırasıyla 412Watt, 440Watt, 458Watt değerlerine gelmiştir. Boş kanala oranla kazanılan termal enerji değerleri yaklaşık olarak %35 miktarında bir artış meydana gelmektedir. 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık ile 3mm orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığında yaklaşık % 4'lük bir artış meydana gelmektedir. Şaşırtmalı dizilimde aynı reynolds değerlerinde 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında kazanılan termal enerji değerleri sırasıyla 449Watt, 474Watt, 485Watt değerlerine gelmiştir. Boş kanala oranla kazanılan termal enerji değerleri yaklaşık olarak % 46 miktarında bir artış meydana gelmektedir. 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık ile 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığında yaklaşık %2.7'lik bir artış meydana gelmektedir. Düz dizilimde vida adımlı kanatçık kullandığında ise kazanılan termal enerji değerleri sırasıyla 451Watt, 473Watt, 476Watt'tır. Bu kanatçık kullanıldığında ise boş kanala kıyasla kazanılan termal enerji değeriinde yaklaşık %43'lük bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Vida adımlı kanatçık ile 3mm orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığında yaklaşık %13, vida adımlı kanatçık ile 6mm orta kanala sahip kanatçık

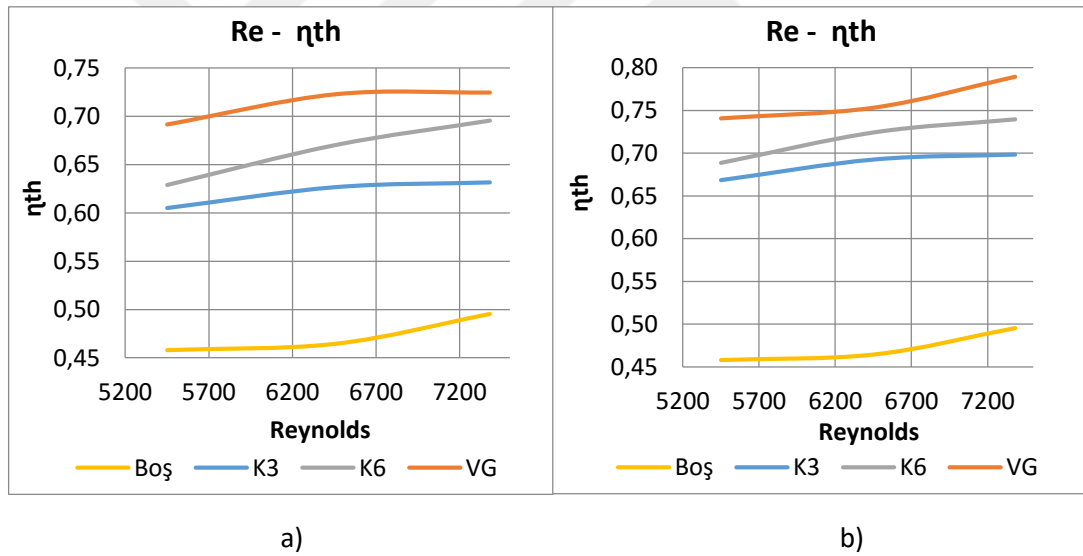
karşılaştırıldığında yaklaşık %4'lük bir artış meydana gelmektedir. Şaşırtmalı dizilimde vida adımlı kanatçık kullandığında ise kazanılan termal enerji değerleri sırasıyla 482Watt, 492Watt, 516Watt'tır. Bu kanatçık kullanıldığında ise boş kanala kıyasla kazanılan termal enerji değerinde yaklaşık % 55'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Vida adımlı kanatçık ile 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığında yaklaşık %8, vida adımlı kanatçık ile 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığında yaklaşık % 3.7'lik bir artış meydana gelmektedir. Fotovoltaik kontrol hacmine yerleştirilen kanatçıklar modülden ısıyı çekmekte ve kontrol hacminin içinden geçen havayla daha çok temas halinde olduğundan kazanılan termal enerji değerleri kanatçıksız yapılan deneyden daha etkili sonuçlar almamıza yardımcı olmuştur.



Şekil 4.15. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- Nu grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim

950 W/m² ısıtım akısında, monokristal fotovoltaik modülde kanatçık olmadan yapılan deneyde reynolds yaklaşık 5400 değerinde iken nusselt değeri 28, reynolds değeri yaklaşık 6400 değerinde nusselt değeri 29.5 reynolds değeri yaklaşık 7300 değerinde ise nusselt değeri 32 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Düz dizilimde aynı reynolds değerlerinde 3mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise nusselt değerleri sırasıyla 50.5, 52.8 ve 54'tür. Yine aynı reynolds değerlerinde 6mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında nusselt değerleri sırasıyla 53.8, 58, 61 değerlerine gelmiştir. Vida adımlı

kanatçık kullandığında ise nusselt değerleri sırasıyla 61.7, 65.3, 67.6 olmuştur. Şaşırtmalı dizilimde ise 3mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise nusselt değerleri sırasıyla 56.8, 59.7 ve 61.7'tür. 6mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında nusselt değerleri sırasıyla 61.6, 63.9, 67.5 değerlerine gelmiştir. Vida adımlı kanatçık kullandığında ise nusselt değerleri sırasıyla 69.5, 71.9, 76.3 olmuştur. Buradan anlaşıldığı gibi vida adımlı kanatçık kullanılarak en yüksek seviyede nusselt değeri elde edilmiştir. Denklem 3.12' de boyutsuz bir sayı olan Nusselt tasarlanan sistemde iletim katsayısı çok küçük seviyelerde değiştiği için (kullanılan kanatçıkların hepsi alüminyum malzeme) iletim katsayısının değişimi ihmal edilemez ama sistemde etkisi çok azdır. Bu sebepten nusselt sayısı taşınım katsayısı ile orantılı kabul edilebilir. Şekil 4.15'de görüldüğü gibi nusselt sayısı reynolds sayısına bağlı olarak artmaktadır.

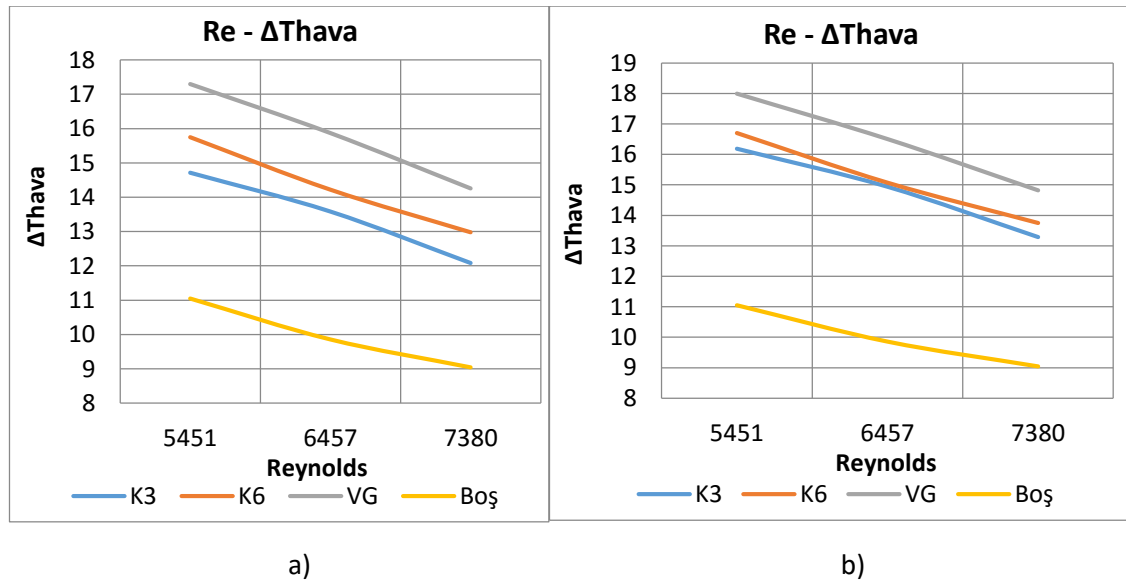


Şekil 4.16. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- η_{th} grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim

950 W/m² ışıınım akısında, monokristal fotovoltaik modülde kanatçık olmadan yapılan deneyde reynolds yaklaşık 5400 değerinde iken termal verim %45, reynolds değeri yaklaşık 6400 değerinde termal verim %46, reynolds değeri yaklaşık 7300 değerinde ise termal verim %49 olduğu görülmektedir. Düz dizilimde aynı reynolds değerlerinde 3mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise termal verim değerleri sırasıyla %60, %62 ve %63'tür. Bu tip kanatçık kullanılarak termal verim değerini %14 civarında artırmak

mümkün olmuştur. Yine aynı reynolds değerlerinde 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında termal verim değerleri sırasıyla %63, %67, %69 değerlerine gelmiştir. 6mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığı zaman termal verimin %18'lik bir artışa uğradığı görülmüştür. Vida adımlı kanatçık kullandığında ise termal verim değerleri sırasıyla %69, %72, %72.4 olmuştur. Vida adımlı kanatçık kullanılması halinde ise % 45-49 olan termal verim değeri %69-72 seviyelerine kadar çıkmıştır. Şaşırtmalı dizilimde ise 3mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise termal verim değerleri sırasıyla %66, %69 ve %70'tir. Bu tip kanatçık kullanılarak termal verim değerini % 21 civarında artırmak mümkün olmuştur. 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında termal verim değerleri sırasıyla %68, %72, %73 değerlerine gelmiştir. 6mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığı zaman termal verimin %23'lik bir artışa uğradığı görülmüştür. Vida adımlı kanatçık kullandığında ise termal verim değerleri sırasıyla %74, %75, %78 olmuştur. Vida adımlı kanatçık kullanılması halinde ise % 45-49 olan termal verim değeri %75 seviyelerine kadar çıkmıştır. Buradan anlaşıldığı gibi vida adımlı kanatçık kullanılarak en yüksek seviyede termal verim elde edilmiştir.

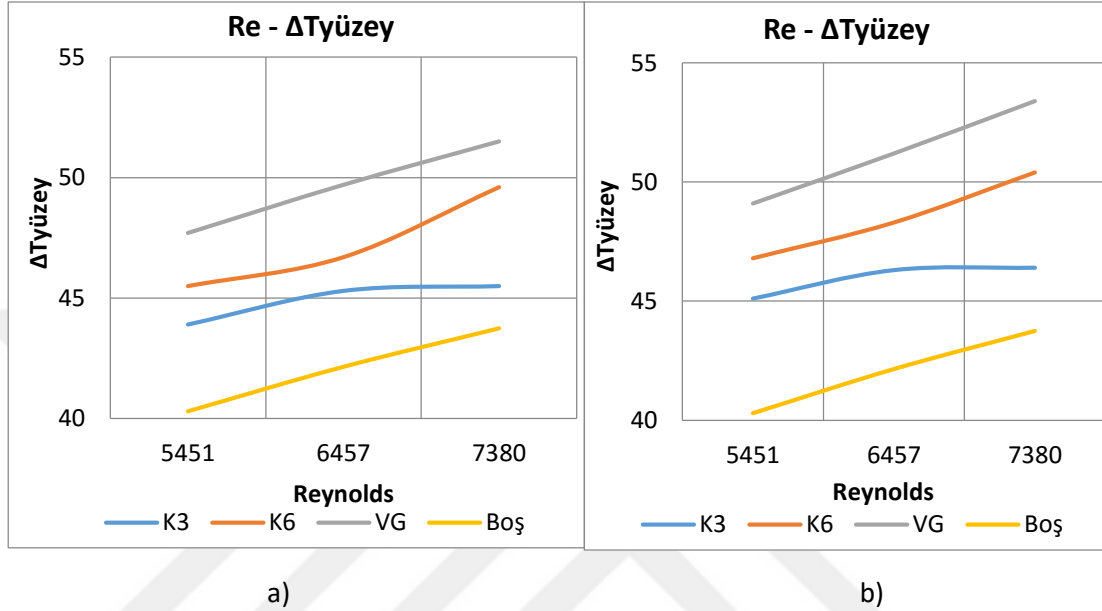
Yapay güneş ışıınımlı projektörü toplam ışıınımlı akısı 1200 W/m² için



Şekil 4.17. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re-ΔTh grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim

1200 W/m² ışınlam akısında, monokristal fotovoltaiik modülde kanatçık olmadan yapılan deneyde reynolds yaklaşık 5400 değerinde iken havanın giriş  ıkış sıcaklık farkı 11 C, reynolds değeri yaklaşık 6400 değerinde havanın giriş  ıkış sıcaklık farkı 9.9 C, reynolds değeri yaklaşık 7300 değerinde ise havanın giriş  ıkış sıcaklık farkının 9 C seviyelerine gerilediği g r lmektedir. Aynı reynolds değerlerinde düz sıralı dizilim ve 3mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise havanın giriş  ıkış sıcaklık farkı değerleri sırasıyla 14.7 C, 13.5 C ve 12 C değerlerine gelmiştir. şaşırtmalı dizilim kullanıldığı zaman ise sıcaklık değerleri sırasıyla 16 C, 14.9 C ve 13.2 C olmuştur. Düz dizilimde 3mm orta kanallı kanatçıkta en düşük sıcaklık farkı değeri bile boş kanallı sağladığı en yüksek sıcaklık farkı değerinden %9 mertebelerinde daha iyi bir sonuç verdiğini göstermektedir. Aynı reynolds değerlerindeki sıcaklık farkları karşılaştırıldığı zaman ise düz sıralı dizilimde yaklaşık %33 seviyelerinde, şaşırtmalı dizilimde ise yaklaşık % 45 seviyelerinde bir artışın meydana geldiği g r lmektedir. Düz sıralı dizilimde 6mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında havanın giriş  ıkış sıcaklık farkları sırasıyla 15.7 C, 14.2 C, 13 C değerlerine gelmiştir. Burada ise boş kanala oranla havanın giriş  ıkış sıcaklık farkı değerlerinde yaklaşık olarak %43 miktarında bir artış meydana gelmektedir. 6 mm orta kanallı kanatçık ile 3 mm orta kanallı kanatçık arasında bir kıyaslama yapılacak olursa 6 mm kanala sahip olan kanatçık kullanıldığında havanın giriş  ıkış sıcaklık farkı değeri yaklaşık olarak %5 artmaktadır. şaşırtmalı dizilimde 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığı zaman ise sıcaklık farkı sırasıyla 16.6 C, 15 C, 13.7 C değerlerine ulaşılmıştır. Burada boş kanala oranla havanın giriş  ıkış sıcaklık farkı değerlerinde yaklaşık olarak %51'lik bir artış meydana gelmiştir. 6 mm orta kanallı kanatçık ile 3 mm orta kanallı kanatçık arasında bir kıyaslama yapılacak olursa 6 mm kanala sahip olan kanatçık kullanıldığında havanın giriş  ıkış sıcaklık farkı değeri yaklaşık olarak %1 artmaktadır. Vida adımlı kanatçık kullandığında ise havanın giriş  ıkış sıcaklık farkı değerleri sırasıyla 17.3 C, 15.9 C, 14.2 C olmuştur. Bu kanatçık kullanıldığında ise boş kanala kıyasla sıcaklık farkı değerinde yaklaşık % 57'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Düz sıralı dizilimde vida adımlı kanatçık ile 3mm orta kanallı ve 6mm orta kanallı kanatçıklar kıyaslandığı zaman havanın giriş  ıkış sıcaklık farkı değerinde sırasıyla %18 ve %9'luk bir artışın olduğu g r lmektedir. şaşırtmalı dizilimde kullanılan vida adımlı kanatçıklarda ise havanın giriş  ıkış sıcaklık farkı değerleri sırasıyla 17.9 C, 16.5 C, 14.8 C'dir. Boş kanala kıyasla sıcaklık farkı değerinde yaklaşık

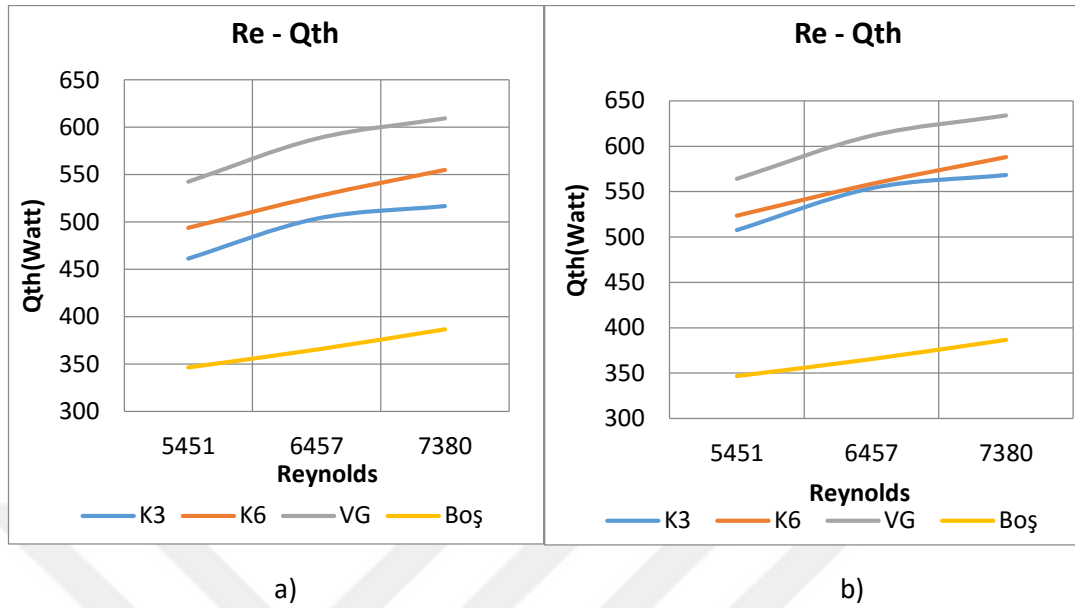
% 63'lük bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Buradan anlaşıldığı gibi vida adımlı kanatçık kullanılarak en yüksek seviyede sıcaklık farkı değeri elde edilmiştir.



Şekil 4.18. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- $\Delta T_{\text{yüzey}}$ grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim

1200 W/m² ışıınım akısında, monokristal fotovoltaik modülde kanatçık olmadan yapılan deneyde reynolds yaklaşık 5400 değerinde iken yüzey sıcaklık farkı 40.3°C, reynolds değeri yaklaşık 6400 değerinde yüzey sıcaklık farkı 42°C, reynolds değeri yaklaşık 7300 değerinde ise yüzey sıcaklık farkının 43.1°C seviyelerine olduğu görülmektedir. Aynı reynolds değerlerinde düz sıralı dizilimde 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise yüzey sıcaklık farkı değerleri sırasıyla 43.9°C, 45°C ve 45.5°C değerlerine gelmiştir. 3mm orta kanallı kanatçıkta en düşük yüzey sıcaklık farkı değeri bile boş kanalın sağladığı en yüksek yüzey sıcaklık farkı değerinden yaklaşık 1°C mertebelerinde daha iyi bir sonuç verdiğini göstermektedir. Aynı reynolds değerlerindeki yüzey sıcaklık farkları karşılaştırıldığı zaman ise yaklaşık 2.4°C seviyelerinde bir artışın meydana geldiği görülmektedir. Şaşırtmalı dizilimde 3mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise 45.1°C, 46.3°C, 46.4°C'dir. Kanatçıksız yapılan deneyle kıyasladığımızda 3.3°C'lük bir artış olduğu görülmüştür. Düz sıralı dizilimde 6mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında yüzey sıcaklık farkları sırasıyla 45.5°C, 46.7°C,

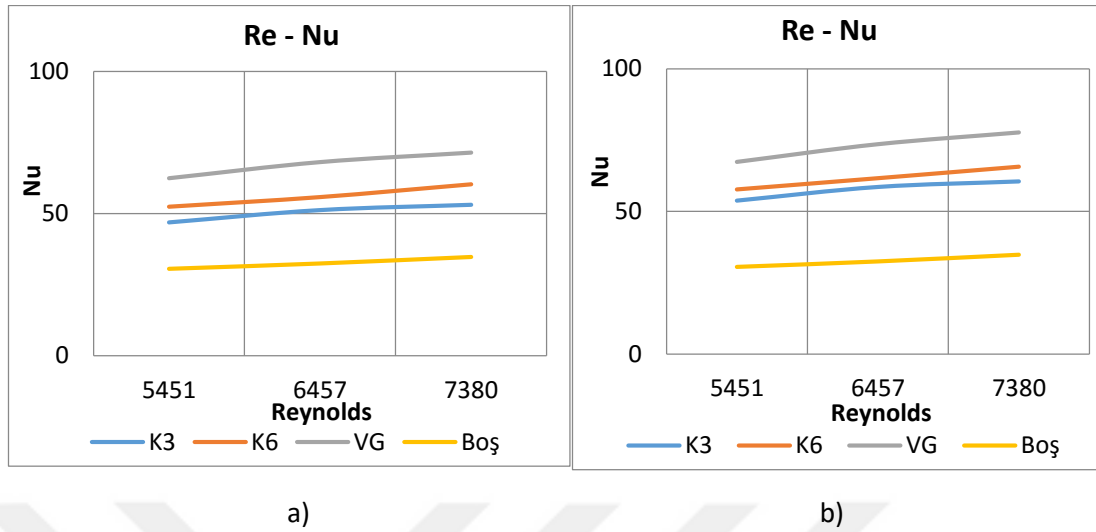
49.6°C değerlerine gelmiştir. Burada ise boş kanalla kıyasladığımızda yüzey sıcaklık farkı değerlerinde yaklaşık olarak yaklaşık 4.6°C seviyelerinde bir artış meydana gelmektedir. 6mm orta kanala sahip kanatçık ile 3mm orta kanallı kanatçık aynı reynolds değerlerindeki yüzey sıcaklık farkları karşılaştırıldığı zaman ise yaklaşık 1°C seviyelerinde bir artışın meydana geldiği görülmektedir. Şaşırtmalı dizilimde 6mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında yüzey sıcaklık farkları sırasıyla 46.8°C, 48.3°C, 50.4°C değerlerine gelmiştir. Bu dizilimde boş kanalla kıyasladığımızda 6.2°C arttığı görülmüştür. Şaşırtmalı dizilimde 6mm orta kanala sahip kanatçık ile 3mm orta kanallı kanatçık kıyaslandığında yaklaşık olarak 2°C'lik bir fark olmuştur. Düz sıralı dizilimde vida adımlı kanatçık kullandığında ise yüzey sıcaklık farkı değerleri sırasıyla 47.7°C, 49.7°C, 51.5°C olmuştur. Bu kanatçık kullanıldığında ise boş kanala kıyasla yüzey sıcaklık farkı değerinde yaklaşık 7.4°C'lük bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Vida adımlı kanatçık ile 3mm orta kanallı kanatçık aynı reynolds değerlerindeki yüzey sıcaklık farkları karşılaştırıldığı zaman yaklaşık 4°C, vida adımlı kanatçık ile 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığı zaman yaklaşık 2°C miktarında bir artış meydana gelmektedir. Şaşırtmalı dizilimde vida adımlı kanatçık kullandığında ise yüzey sıcaklık farkı değerleri sırasıyla 49.1°C, 51.2°C, 53.4°C olmuştur. Şaşırtmalı dizilimde vida adımlı kanatçık ile boş kanalla kıyasladığımızda 8.8°C'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Şaşırtmalı dizilimde vida adımlı kanatçık ile 3mm orta kanallı kanatçık aynı reynolds değerlerindeki yüzey sıcaklık farkları karşılaştırıldığı zaman yaklaşık 4°C, vida adımlı kanatçık ile 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığı zaman yaklaşık 2.5°C miktarında bir artış meydana gelmektedir. Buradan anlaşıldığı gibi vida adımlı kanatçık kullanılarak en yüksek seviyede sıcaklık farkı değeri elde edilmiştir. Yani monokristal modülün kontrol hacmine kanatçıkların eklenmesi ile modülün yüzey sıcaklığı daha fazla düştüğü görülmüştür.



Şekil 4.19. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re-Q grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim

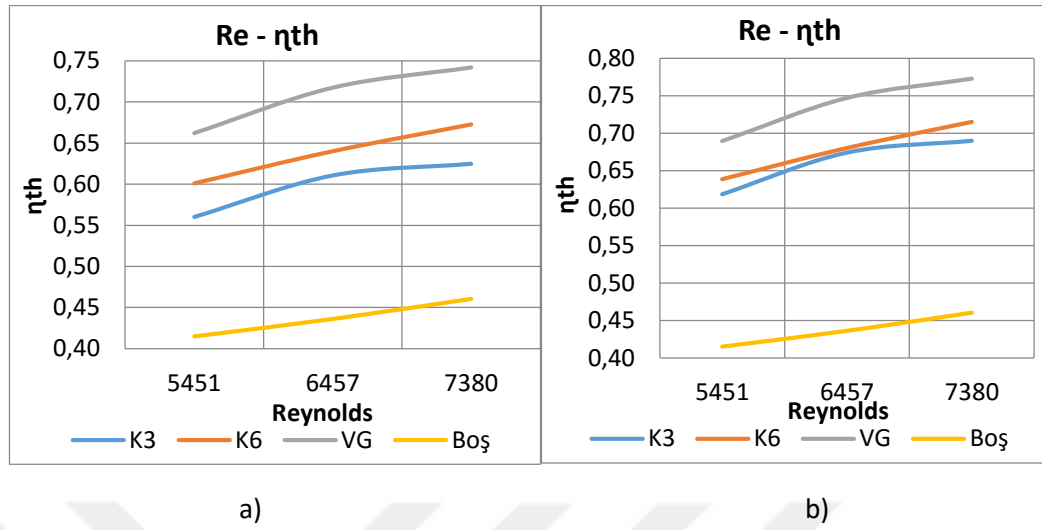
1200 W/m² ışınlam akısında, monokristal fotovoltaik modülde kanatçık olmadan yapılan deneyde reynolds yaklaşık 5400 değerinde iken 346.6 Watt, reynolds değeri yaklaşık 6400 değerinde 365 Watt, reynolds değeri yaklaşık 7300 değerinde ise 387 Watt seviyelerinde termal enerji kazanıldığı görülmektedir. Kanatçıklar olamadan yapılan deneyin bu aşamasında termal enerjinin artmasının sebebi sistemde çalıştırılan fan hızının yükselmesidir. Fan hızı arttıkça sistemden geçirilen hava debisi de arttığı için; hücre sıcaklığı düşmektedir. Bu düşüş ile kazandığımız termal enerji artmaktadır. Kontrol hacim içerisinde hareket eden hava herhangi bir engel bulunmadığı için sıcak yüzeye fazla temas edemeden çıkmaktadır. Düz dizilimde aynı reynolds değerlerinde 3mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında kazanılan termal enerji değerleri sırasıyla 462Watt, 503Watt ve 516Watt'tır. Aynı reynolds değerlerindeki kazanılan termal enerji kanatçık olmadan yapılan deneyle karşılaştırıldığı zaman ise yaklaşık %33 seviyelerinde bir artışın meydana geldiği görülmektedir. Şaşırtmalı dizilime yine aynı reynolds değerlerinde 3mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında kazanılan termal enerji değerleri sırasıyla 507.7Watt, 553.8Watt ve 568Watt'tır. Aynı reynolds değerlerindeki kazanılan termal enerji kanatçık olmadan yapılan deneyle karşılaştırıldığı zaman ise yaklaşık % 46 seviyelerinde bir artışın meydana geldiği görülmektedir. Düz dizilimde aynı reynolds

değerlerinde 6mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında kazanılan termal enerji değerleri sırasıyla 494Watt, 527Watt, 555Watt değerlerine gelmiştir. Boş kanala oranla kazanılan termal enerji değerleri yaklaşık olarak %43 miktarında bir artış meydana gelmektedir. 6mm orta kanala sahip kanatçık ile 3mm orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığında yaklaşık % 5'lik bir artış meydana gelmektedir. Şaşırtmalı dizilimde aynı reynolds değerlerinde 6mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında kazanılan termal enerji değerleri sırasıyla 523.6Watt, 558.6Watt, 588.1Watt değerlerine gelmiştir. Boş kanala oranla kazanılan termal enerji değerleri yaklaşık olarak %51 miktarında bir artış meydana gelmektedir. 6mm orta kanala sahip kanatçık ile 3mm orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığında yaklaşık % 1'lik bir artış meydana gelmektedir. Düz dizilimde vida adımlı kanatçık kullandığında ise kazanılan termal enerji değerleri sırasıyla 542.4Watt, 588Watt, 610Watt'tır. Bu kanatçık kullanıldığında ise boş kanala kıyasla kazanılan termal enerji değerinde yaklaşık %56'lık bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Vida adımlı kanatçık ile 3mm'lik orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığında yaklaşık %17, vida adımlı kanatçık ile 6mm'lik orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığında yaklaşık % 10'luk bir artış meydana gelmektedir. Şaşırtmalı dizilimde vida adımlı kanatçık kullandığında ise kazanılan termal enerji değerleri sırasıyla 564Watt, 611.6Watt, 633.9Watt'tır. Bu kanatçık kullanıldığında ise boş kanala kıyasla kazanılan termal enerji değerinde yaklaşık %62'lik bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Vida adımlı kanatçık ile 3mm orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığında yaklaşık %10, vida adımlı kanatçık ile 6mm orta kanala sahip kanatçık karşılaştırıldığında yaklaşık % 7'lik bir artış meydana gelmektedir. Fotovoltaik kontrol hacmine yerleştirilen kanatçıklar modülden ısıyı çekmekte ve kontrol hacminin içinden geçen havayla daha çok temas halinde olduğundan kazanılan termal enerji değerleri kanatçıksız yapılan deneyden daha etkili sonuçlar almamıza yardımcı olmuştur.



Şekil 4.20. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re-Nu grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim

1200 W/m² ışınlam akısında, monokristal fotovoltaik modülde kanatçık olmadan yapılan deneyde reynolds yaklaşık 5400 değerinde iken nusselt değeri 30.6, reynolds değeri yaklaşık 6400 değerinde nusselt değeri 32.5, reynolds değeri yaklaşık 7300 değerinde ise nusselt değeri 34.7 seviyelerinde olduğu görülmektedir. Düz dizilimde aynı reynolds değerlerinde 3mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise nusselt değerleri sırasıyla 46.8, 51.3 ve 53.1'dir. Yine aynı reynolds değerlerinde 6mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında nusselt değerleri sırasıyla 52.9, 55.8, 60.3 değerlerine gelmiştir. Vida adımlı kanatçık kullandığında ise nusselt değerleri sırasıyla 62.4, 68.1, 71.5 olmuştur. Şaşırtmalı dizilimde ise 3mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise nusselt değerleri sırasıyla 53.8, 58.5 ve 60.5'tür. 6mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında nusselt değerleri sırasıyla 57.7, 61.6, 66 değerlerine gelmiştir. Vida adımlı kanatçık kullandığında ise nusselt değerleri sırasıyla 67.4, 73.6, 77.7 olmuştur. Buradan anlaşıldığı gibi vida adımlı kanatçık kullanılarak en yüksek seviyede nusselt değeri elde edilmiştir. Denklem 3.12' de boyutsuz bir sayı olan nusselt tasarlanan sistemde iletim katsayısı çok küçük seviyelerde değiştiği için iletim katsayısının değişimi ihmal edilemez ama sistemde etkisi çok azdır. Bu sebepten nusselt sayısı taşınım katsayısı ile orantılı kabul edilebilir. Şekil 4.20'de görüldüğü gibi nusselt sayısı reynolds sayısına bağlı olarak artmaktadır.



Şekil 4.21. Monokristal modülde farklı yüzey alanlarına sahip alüminyum kanatçıkların Re- η_{th} grafiği a) düz dizilim, b) şaşırtmalı dizilim

1200 W/m² ışıma akısında, monokristal fotovoltaik modülde kanatçık olmadan yapılan deneyde reynolds yaklaşık 5400 değerinde iken termal verim %41, reynolds değeri yaklaşık 6400 değerinde termal verim %43, reynolds değeri yaklaşık 7300 değerinde ise termal verim %46 olduğu görülmektedir. Düz dizilimde aynı reynolds değerlerinde 3mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise termal verim değerleri sırasıyla %56, %61 ve %62'dir. Bu tip kanatçık kullanılarak termal verim değerini % 15 civarında artırmak mümkün olmuştur. Yine aynı reynolds değerlerinde 6mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında termal verim değerleri sırasıyla %60, %64, %67 değerlerine gelmiştir. 6mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığı zaman termal verimin %19'luk bir artışa uğradığı görülmüştür. Vida adimli kanatçık kullandığında ise termal verim değerleri sırasıyla %66, %71, %74 olmuştur. Vida adimli kanatçık kullanılması halinde ise % 43 olan termal verim değeri %70 seviyelerine kadar çıkmıştır. Şaşırtmalı dizilimde ise 3mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında ise termal verim değerleri sırasıyla %61, %67 ve %68'dir. Bu tip kanatçık kullanılarak termal verim değerini % 20 civarında artırmak mümkün olmuştur. 6mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığında termal verim değerleri sırasıyla %64, %68, %71 değerlerine gelmiştir. 6mm orta kanala sahip kanatçık kullanıldığı zaman termal verimin %23'lük bir artışa uğradığı görülmüştür. Vida adimli kanatçık kullandığında ise termal verim değerleri sırasıyla %69, %74, %77 olmuştur. Vida adimli kanatçık kullanılması halinde ise % 43 olan termal verim değeri %76

seviyelerine kadar çıkmıştır. Buradan anlaşıldığı gibi vida adımlı kanatçık kullanılarak en yüksek seviyede termal verim elde edilmiştir.



5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada silindirik kanatçıklar ile soğutulan fotovoltaik panelin enerji performansı deneysel olarak incelenmiştir. Deneyler türbülanslı akış şartlarında yapılmıştır.

- Fotovoltaik modüllerin verimleri güneşin veya ışık kaynağının geliş açısına büyük oranda bağlı olmaktadır.
- Fotovoltaik modülün yüzeyinin tozlanması ve kirlenmesi verimi düşürmektedir.
- Işınım değeri arttıkça (700 W/m^2 , 950 W/m^2 , 1200 W/m^2) elektriksel verimin arttığı görülmüştür. Modül üzerine düşen ışıının miktarının artması aynı zamanda modülün sıcaklığı ile doğrudan alakalı olduğu için yüksek ışıının alan modül daha kısa zamanda yüksek sıcaklıklara ulaşmaktadır. Bu yüksek sıcaklığın sistemin veriminin düşmesine neden olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Yüzey alanı fazla olan alüminyum kanatçık kullanıldığında en yüksek performans elde edilmiştir.
- Hava hızı arttıkça kanala giren hava kütlesi artmakta ve bu hava kütlesi modülden daha çok ısı çekmektedir. Bu durum sistemin verimini artırmaktadır. Bu sayede yüzeyin, yani modülün ısınması engellenerek verim düşüşünün önüne geçilebilir.
- Yüksek ışıının akılarında sıcaklık yükselmelerini önlemek ve verimin düşmesine engel olmak için daha fazla sayıda kanatçık kullanılmalı ya da yüzeyden çekilen ısı miktarı kanatçık yüzey alanı ile doğrudan bağıntılı olduğu için kullanılan kanatçıkların yüzey alanları artırılmalıdır.
- Fotovoltaik modülde yüzey sıcaklığının artması modülün verimini azaltmaktadır. Ancak yüzey sıcaklığının artması yüzeye temas halinde olan havaya transfer edilen ısıyı da artırmaktadır. Bu ısının farklı alanlarda faydalı hale getirilebilir olduğu sonucuna ulaşılmıştır. (ortam ısıtması, meyve sebze kurutması vs.) Farklı çalışmalarda yol gösterici olacağı öngörülmektedir.

Bu uygulama alanında ilk yatırım maliyetleri minimize edilmeli, yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan Güneş enerjisinden daha fazla yararlanma olanaklarının incelenmesi konusunda çalışmalara, araştırmacılar yönlendirilmelidir.



KAYNAKLAR

- Ananonym, 2016. https://en.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protocol/ (17/01/2016)
- Anonymous, 2008. https://en.wikipedia.org/wiki/Timeline_of_solar_cells/ (16/01/2016)
- Basu, S.; Antia, H. M. (2008). "Helioseismology and Solar Abundances". *Physics Reports*. 457 (5–6): 217-283.
- Bonanno, A., Schlattl, H.; Paternò, L. (2008). "The age of the Sun and the relativistic corrections in the EOS". *Astronomy and Astrophysics*. 390 (3): 1115–1118.
- Chegaar, M. 2004. Extracting DC Parameters of Solar Cells Under Illumination. *Vacuum*, 75(4), 367-72.
- Connelly, James N.; Bizzarro, Martin; Krot, Alexander N.; Nordlund, Åke; Wielandt, Daniel; Ivanova, Marina A. (2 November 2012). "The Absolute Chronology and Thermal Processing of Solids in the Solar Protoplanetary Disk". *Science*. 338 (6107): 651–655.
- Çengel, Y. A. B., M.A. 2008. *Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik*, Palme Yayıncılık.
- Ebrahimi, Mortaza., Rahim, Masoud., Rahimi, Alireza. 2015 An experimental study on using natural vaporization for cooling of a photovoltaic solar cell. *International Communications in Heat and Mass Transfer* 65: 22-30
- Fan, Wenke., Kokogiannakis, Gergios., Ma Zhenjün., Cooper, Paul 2017 Development of a dynamic model for a hybrid photovoltaic thermal collector – Solar air heater with fins. *Renewable Energy* 101: 816-834
- "First Ever STERO Images of the Entire Sun " NASA. 6 February 2011. Retrieved 7 March 2011.
- GE Energy, (2012). Thin film solar panel 78W, 80W, 83W. 21 Mart 2012. http://www.ge-energy.com/products_and_services/products/solar_power/cdte_thin_film_solar_module78.jsp
- Goupil, M. J.; Lebreton, Y.; Marques, J. P.; Samadi, R.; Baudin, F. (2011). "Open issues in probing interiors of solar-like oscillating main sequence stars 1. From the Sun to nearly suns". *Journal of Physics: Conference Series*. 271 (1): 012031.
- Haitham, M. Bahaidarah., P. Gandhidasan, Ahmer, A. B. Baloch., Bilal. Tanweer., M. Mahmood. 2017. A comparative study on the effect of glazing and cooling for compound parabolic concentrator PV systems – Experimental and analytical investigations. *Energy Conversion and Management* 129: 227–239.
- "How Round is the sun? " NASA. 2 October 2008. Retrieved 7 March 2011.
- Horizon Renewables, 2010. Not all photovoltaic panels are created equal. 12 Nisan 2012. <http://www.horizonrenewables.co.uk/solar-photovoltaics/solar-pvtechnology.html>

- Joy, Blessy., Philip, J., Zachariah, Richu. 2016 Investigations on serpentine tube type solar photovoltaic/thermal collector with different heat transfer fluids: Experiment and numerical analysis, *Solar Energy* 64: 12-20
- Karathanassis, I.K., Papanicolaou, E., Belessiotis, V., Bergeles, G.C. 2017 Design and experimental evaluation of a parabolic-trough concentrating photovoltaic/thermal (CPVT) system with high-efficiency cooling *Renewable Energy* 101: 467-483
- Masters, G.M. 2004. G. M. Renewable and Efficient Electric Power Systems.
- National Aeronautics and Space Administration, [NASA], (2002). How do photovoltaics work?. 17 Nisan 2012. <http://science.nasa.gov/sciencenews/science-atnasa/2002/solarcells>
- O. Kıncay vd 2007 <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/gunespilleri1bolum.pdf>
- One Block off the Grid, (bt.). Different types of solar panels. 4 Mart 2012. <http://howsolarworks.1bog.org/different-types-of-solar-panels/>
- Özakın 2016 Hava Soğutmalı fotovoltaik termal (pvt) sisteminin termodinamik analizi
- Rahman, M. M. 2015. Effects of various paramaters on PV-module power and efficiency. *Energy Conversion and Management* 103: 348-358.
- Sargunanathan, S., Elango, A., Mohideen, Tharyes, S. 2016 Performance enhancement of solar photovoltaic cells using effective cooling methods, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 64: 382-393
- Shukla, A., Kant, Karunesh., Shama, Atul., Biwole, P. Henry. 2017 Cooling methodologies of photovoltaic module for enhancing electrical efficiency. *Solar Energy Materials and Solar cells* 160: 275- 286
- Solarwind, (bt.). Latest solar pv industry news. 5 Mart 2012. http://www.solarwind.co.uk/pv_solar_panels.html
- Şen, Z., “Temiz Enerji ve Kaynakları”, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2002.
- Teo, H. G. 2012. An active cooling system for photovoltaic modules. *Applied Energy* 90: 309-315.
- Tonui, J. K. 2008. Performance improvement of PV/T solar collectors with natural air flow operation. *Solar Energy* 82: 1-12.
- Tsoutsos, T., vd., “Environmental Impacts From The Solar Energy Technologies”, *Energy Policy*, 33, 289-296, 2005.
- Ültanır, M.Ö., “21. Yüzyılın Eşiğinde Güneş Enerjisi”, *Bilim ve Teknik*, Sayı: 340, S: 50-55, Mart 1996şen
- Varınca, K. B., Varank, G., “Güneş Kaynaklı Farklı Enerji Üretim Sistemlerinde Çevresel Etkilerin Kıyaslanması ve Çözüm Önerileri”, *Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi*, İçel, 24–25 Haziran 2005
- Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü [YEGM], (2012). Güneş Pilleri (Fotovoltaik Piller). 14 Mart 2012. <http://www.eie.gov.tr/turkce/YEK/gunes/gunespv.html>.
- Zagorska, V. 2012. Experimental investigation of photovoltaic-thermal hybrid solar collector. 1(Agronomy Research Biosystem Engineering Special Issue): 227-234.

ÖZGEÇMİŞ

Musa DEMİR, 03.02.1990 tarihinde Erzurum’da doğdu. İlköğrenimini Erzurum’da Sabancı İlköğretim Okulunda tamamladı. Erzurum Lisesinden 2009 yılında mezun oldu ve aynı yıl yapılan öğrenci seçme sınavıyla Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümüne yerleşti. 2014 yılında Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde Termodinamik Anabilim Dalına tezli yüksek lisans programına kayıt yaptırdı, halen devam etmekte...