



**PV/T PANELİN ALÜMİNYUM KANATÇIK  
ELEMENLARI İLE SOĞUTULARAK ENERJİ  
PERFORMANSININ DENEYSEL  
OLARAK İNCELENMESİ**

**Köksal NAKIŞDÜZER**

**Yüksek Lisans Tezi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
Termodinamik Bilim Dalı  
Prof. Dr. Ömer ÖZYURT  
Dr.Öğr.Üyesi Gökhan ÖMEROĞLU  
2019**

**Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**PV/T PANELİN ALÜMİNYUM KANATÇIK ELEMANLARI İLE  
SOĞUTULARAK ENERJİ PERFORMANSININ DENEYSEL  
OLARAK İNCELENMESİ**

**Köksal NAKIŞDÜZER**

**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
Termodinamik Bilim Dalı**

**ERZURUM  
2019**

**Her hakkı salıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
TEZ ONAY FORMU



**PV/T PANELİN ALÜMİNYUM KANATÇIK ELEMANLARI İLE SOĞUTULARAK  
ENERJİ PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Prof.Dr. Ömer ÖZYURT danışmanlığında Köksal NAKİŞDÜZER tarafından hazırlanan bu çalışma 19/09/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı – Termodinamik Bilim Dalı'nda Yüksek lisans tezi olarak oybirliği/oyçokluğu (...../.....) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. Ömer ÖZYURT

İmza:

Üye : Prof.Dr. Kadir BAKIRCI

İmza:

Üye : Doç.Dr. Şendoğan KARAGÖZ

İmza:

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Gökhan ÖMEROĞLU

İmza:

Üye : Dr.Öğr.Üyesi Faraz ASHARI

İmza:

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 26/09/2019 tarih ve 38/78 nolu kararı ile onaylanmıştır.

  
Prof. Dr. Mehmet KARAKAN  
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

### PV/T PANELİN ALÜMİNYUM KANATÇIK ELEMANLARI İLE SOĞUTULARAK ENERJİ PERFORMANSININ DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Köksal NAKIŞDÜZER

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

Danışman: Prof. Dr. Ömer ÖZYURT  
Ortak Danışman: Dr.Öğr.Üyesi Gökhan ÖMEROĞLU

Bilim, sanayi ve teknoloji gibi birçok alanda gelişim sağlanan günümüzde enerji ihtiyacı da çok hızlı artmaktadır. Hızla artan enerji ihtiyacının karşılanması için fosil yakıtların sürekliliğinin olamaması, pahalı olması ve çevreye zararları nedeniyle alternatif enerji kaynaklarının geliştirilmesine neden olmuştur. Alternatif enerji kaynakları içinde en hızlı gelişim gösteren kaynak diğer enerji kaynaklarına nazaran güneş enerjisi olmuştur. Güneş enerjisinden elektrik üretimi fotovoltaik paneller ile yapılmaktadır. Fotovoltaik paneller güneşten gelen ışınların %15-20'lik bir kısmını elektriğe kalan kısmını da ısı enerjisine dönüştürmektedir. Fotovoltaik panelin ısı üretmesi, panelin ısınmasına panel sıcaklığının artması da elektrik üretimini negatif yönde etkilediği hem literatür araştırmalarından hem de deneysel sonuçlar incelendiğinde görülmektedir. Fotovoltaik panellerin enerji performansını iyileştirilebilmek hem de üretilen ısı enerjisinden yararlanmak amacıyla bir deney düzeneği tasarlanmıştır. Burada ısı enerjisi kullanılan akışkana aktarılmıştır. Elde edilen termal enerji, uygun tasarım yapılarak birçok ısıtma ihtiyacı karşılanabilir. Deney düzeneği tasarımı ısıyı panel yüzeyinden uzaklaştırarak kullanılan akışkan sıcaklığını artırmak için 1,8 mm kalınlığında 16 mm çapında silindirik ve yarı silindirik alüminyum kanatçıklar ile iki farklı diziliş şekliyle ve Reynolds değeri yaklaşık 1500, 2000, 2500,3000 olmak üzere dört farklı hava hızında ve 600W/m<sup>2</sup>, 800 W/m<sup>2</sup>, 1000 W/m<sup>2</sup> ışınım seviyelerinde deneysel olarak incelenmiştir. Yapılan deneylerin sonuçları incelendiğinde tam silindir kanatçıkla şaşırtmalı dizimde ve Reynolds yaklaşık 3000 değerinde toplam verim, 600 W/m<sup>2</sup>ışınımında %32,8 oranında, 800 W/m<sup>2</sup> ışınımında %34,5 oranında, 1000 W/m<sup>2</sup>ışınımında ise %39,1 kadar artış göstermiştir.

**2019, 69 sayfa**

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

## ABSTRACT

Master Thesis

### EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE ENERGY PERFORMANCE OF THE PV / T PANEL COOLED WITH ALUMINUM FINS

Köksal NAKIŞDÜZER

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering  
Science of Thermodynamic

Supervisor: Prof. Dr. Ömer ÖZYURT  
Co-Supervisor: Asst. Prof. Dr. Gökkan ÖMEROĞLU

In many areas such as science, industry and technology, the need for energy is increasing rapidly. The lack of continuity of fossil fuels in order to meet the rapidly increasing energy needs has led to the development of alternative energy sources due to its expensive and harmful effects on the environment. Among the renewable energy sources, solar energy has been the fastest developing source compared to other energy sources. Solar energy is used in different applications. Photovoltaic panels are used to generate electricity from solar energy. Photovoltaic panels the rays coming from the sun convert 15-20% to electricity and the rest to heat energy. It is seen that photovoltaic panel heat generation, panel heat up and panel heat increase negatively affect electricity production both from literature researches and experimental results. An experimental setup was designed to improve the energy performance of the photovoltaic panels and to utilize the heat energy produced. Here, the heat energy is transferred to the fluid used, many heating needs can be met by making the appropriate design. In order to increase the temperature of the fluid used to remove heat from the panel surface in the design of the test apparatus, 1,8 mm thick 16 mm diameter cylindrical and semi-cylindrical aluminum fins with two different array shapes and Reynolds at approximately 1500, 2000, 2500, 3000 at four different air speeds and  $600\text{ W / m}^2$ ,  $800\text{ W / m}^2$ ,  $1000\text{ W / m}^2$  radiation levels were investigated experimentally. When the results of the experiments were examined, the total efficiency with a full cylinder fin and at the nearly 3000 Reynolds significantly increased by 32.8% at  $600\text{ W / m}^2$  radiation, by 34.5% at  $800\text{ W / m}^2$  radiation and by 39.1% at  $1000\text{ W / m}^2$  radiation.

**2019, 69 papers**

**Keywords:** Renewable energy sources, Solar energy, Fotovoltaic Panel Cooling, Fins, increase efficiency

## TEŞEKKÜR

Hazırladığım bu tez çalışmamda planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde, kısacası her aşamasında benden ilgisini, desteğini ve kıymetli vaktini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden her konuda yararlandığım hayatım boyunca da yararlanacağım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalışmamı bilimsel temellerle oluşmasına büyük katkı sağlayan hocam Sayın Prof. Dr. Ömer ÖZYURT'a teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca çalışmalarım boyunca kıymetli vaktini bana ayıran, her türlü soru ve sorunumla sabırla ilgilenen ortak danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Gökhan ÖMEROĞLU'na, tez jürimin değerli üyeleri Sayın Prof.Dr. Kadir BAKIRCI'ya, Sayın Doç.Dr. Şendoğan KARAGÖZ'e, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Faraz ASHARI'ya ayrıca tez çalışmalarımda bana yardımcı olan değerli arkadaşlarım Yiğit Boğaç NAKİPOĞLU ve Arş. Gör. Numan ÖZAKIN'a da teşekkürlerimi sunarım. Son olarak benim bu hayattaki en büyük şansım hayatım boyunca bana her konuda destek olan aileme teşekkürlerimi sunarım

**Köksal NAKİŞDÜZER**

**Temmuz, 2019**

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER .....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
1.1. Motivasyon.....	1
1.2. Literatür Taraması .....	5
1.3. Tezin Amacı .....	11
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>12</b>
2.1. Güneş Enerjisi Sistemleri .....	12
2.2. Güneş Teknolojileri.....	12
2.3. Isıl Güneş Teknolojileri.....	12
2.3.1. Düşük sıcaklık sistemleri.....	12
2.3.2. Yoğunlaştırıcı güneş sistemleri .....	13
2.4. Fotovoltaik Sistemler .....	13
2.4.1. Fotovoltaik hücre.....	17
2.4.2. Güneş spektrumu .....	18
2.4.3. Fotovoltaik sistemlerin çalışma prensibi.....	20
2.4.4. Fotovoltaik sistemlerde p-n eklemleri .....	24
2.4.5. Fotovoltaik etki.....	26
<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>28</b>
3.1. Deney Düzeneği .....	28
3.2. Test Bölümü .....	32
3.2.1. Salyangoz tipi fan.....	33
3.2.2. Polikristal fotovoltaik hücre modülü.....	34
3.2.3. Termoeleman.....	35

3.2.4. Kanatçıklar .....	36
3.3. Ölçüm Kayıt Bölümü .....	38
3.3.1. Fark basınç transmitteri .....	38
3.3.2. Anemometre .....	39
3.3.3. Solar piranometre .....	40
3.3.4. Veri kaydedici (Data logger-field logger) .....	41
3.3.5. Voltaj-akım transmitteri .....	42
3.4. Termodinamik Çözümleme .....	43
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....</b>	<b>47</b>
4.1. Deneysel Ölçümler .....	47
<b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER .....</b>	<b>66</b>
KAYNAKLAR .....	68
ÖZGEÇMİŞ .....	70



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

I	Amper
Ac	Kanatçığın Alanı
Aph	Yüzey Alanı
<i>c</i>	Işık Hızı
Cp	Isınma Isısı
CPV	Yoğunlaştırılmış Fotovoltaik
Dh	Hidrolik Çap
Ee	Çıkan Enerji
Ef	Fotonun Enerjisi
Ei	Giren Enerji
eV	Elektron Volt
GWp	Gigawatt Güç
h	Isı Taşınım Katsayısı
hd	Deneysel Isı Taşınım Katsayısı
hp	Planck Sabiti
Hz	Fotonun Frekansı
I	Güneş Işınımı
If	Işınım Şiddeti
k	Isı İletim Katsayısı
kWh	Kilowatt Saat
<i>m</i>	Kütle Debisi
me	Çıkan Kütle
mi	Giren Kütle
$\eta$	Verim
nf	Foton Sayısı
Nu	Nusselt Sayısı
p	Kanatçığın Çevresi
PV/T	Fotovoltaik-Termal
Q	Isı Enerjisi

$Q_{th}$	Termal Enerji
$T_{\infty}$	Çevre Sıcaklığı
$T_b$	Kanatçığın Yüzey Sıcaklığı
$T_e$	Çıkış Sıcaklığı
$T_i$	Giriş Sıcaklığı
$\nu$	Fotonun Frekansı
$V$	Volt
$W$	Watt
$W_{fan}$	Fan Gücü
$\Delta T$	Sıcaklık Farkı
$\lambda$	Dalga Boyu
$P_e$	Üretilen Elektrik Gücü

### **Kısaltmalar**

DT	Tam silindirik kanatçık düz dizilim
DY	Yarı silindirik kanatçık düz dizilim
ŞT	Tam silindirik kanatçık şaşırtmalı dizilim
ŞY	Yarı silindirik kanatçık şaşırtmalı dizilim
Re1	Reynolds yaklaşık 1500'te yapılan deney
Re2	Reynolds yaklaşık 2000'de yapılan deney
Re3	Reynolds yaklaşık 2500'de yapılan deney
Re4	Reynolds yaklaşık 3000'de yapılan deney

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<b>Şekil 1.1.</b> 2018 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretim oranları (Anonim 2019b).....	3
<b>Şekil 1.2.</b> 2005-2016 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretim oranlarındaki değişiklikler (Anonim 2019b) .....	4
<b>Şekil 2.3.</b> 2009-2017 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretim maliyetlerindeki değişim (Anonim 2019b).....	14
<b>Şekil 2.4.</b> 2004-2017 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım miktarlarındaki değişim (Anonim 2019b).....	15
<b>Şekil 2.5.</b> Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretim miktarlarının kıtalara göre dağılımı (Anonim 2019b).....	15
<b>Şekil 2.6.</b> Ülkelerin 2018 yılında fotovoltaik panellerden elektrik üretim miktarları (Anonim 2019b) .....	16
<b>Şekil 2.7.</b> Ülkemizde dış cephesinde fotovoltaik paneller yerleştirilen bir kamu binası .....	16
<b>Şekil 2.8.</b> Fotovoltaik panel katmanları (Anonim 2017) .....	17
<b>Şekil 2.9.</b> Fotovoltaik hücre, modül, dizi.....	18
<b>Şekil 2.10.</b> Fotovoltaik hücre çeşitleri, ortalama verim değerleri, 1 kW elektrik üretimi için alan ihtiyacı (Anonim 2019a) .....	18
<b>Şekil 2.11.</b> Güneş spektrumu (Masters 2004).....	19
<b>Şekil 2.12.</b> Güneş ışınlarının gelme açısı ( $\theta$ ) (Kıncay 2009) .....	20
<b>Şekil 2.13.</b> Fotovoltaik panelin elektrik üretimi basit gösterimi (Leblebicioğlu 2018).....	20
<b>Şekil 2.14.</b> Silisyum elementinde elektron boşluk çifti oluşturulabilmesi için ihtiyaç duyulan enerji (Masters 2004).....	22
<b>Şekil 2.15.</b> Fotovoltaik hücrenin kısaca çalışması şekille anlatım (Anonim 2019e).....	23
<b>Şekil 2.16.</b> Bantlar modeli .....	24
<b>Şekil 2.17.</b> Bir yarı iletkenin bant modeli.....	24
<b>Şekil 2.18.</b> Silisyum yarı iletkeninin P-N tipi eklememesi (Sarigül 2014).....	25

<b>Şekil 2.19.</b> Silisyum yarı iletkeninin elektronların hareketleri (Sezgin 2016).....	26
<b>Şekil 2.20.</b> Fotovoltaik etki şematik gösterim (Öztürk 2007).....	26
<b>Şekil 3.1.</b> Deney düzeneği CAD çizimi .....	28
<b>Şekil 3.2.</b> Yarım silindirik kanatçık CAD çizimi.....	29
<b>Şekil 3.3.</b> Silindirik kanatçık CAD çizimi .....	29
<b>Şekil 3.4.</b> Silindirik kanatçıklara ait fotoğraflar.....	30
<b>Şekil 3.5.</b> Yarı silindirik kanatçıklara ait fotoğraflar .....	30
<b>Şekil 3.6.</b> a) Yarım silindir kanatçık düz dizilim b) Yarım silindirik kanatçık şaşırtmalı dizilim, c) Tam silindirik kanatçık şaşırtmalı dizilim, d) Tam silindirik kanatçık düz dizilim (CAD çizimi) .....	30
<b>Şekil 3.7.</b> Deney düzeneğine ait resimler.....	31
<b>Şekil 3.8.</b> Deney düzeneğine ait resimler.....	31
<b>Şekil 3.9.</b> Deney yapılan farklı kanatçık ve diziliş şekillerine ait resimler.....	32
<b>Şekil 3.10.</b> Deney düzeneği şematik gösterimi .....	33
<b>Şekil 3.12.</b> Salyangoz tip fan .....	34
<b>Şekil 3.13.</b> Hız kumandası .....	34
<b>Şekil 3.13.</b> Polikristal fotovoltaik panel (20 W) .....	35
<b>Şekil 3.14.</b> Termoelemanların deney düzeneğindeki yerleşimi .....	36
<b>Şekil 3.15.</b> Deney düzeneğinde kullanılan termoelemanlara ait resim .....	36
<b>Şekil 3.16.</b> Silindirik kanatçık ölçüleri .....	37
<b>Şekil 3.17.</b> Yarı silindirik kanatçık ölçüleri .....	37
<b>Şekil 3.18.</b> Fark basınç transmitterinin katalog fotoğrafı .....	39
<b>Şekil 3.19.</b> Anemometreye ait resim.....	39
<b>Şekil 3.20.</b> Piranometreye ait resimler .....	41
<b>Şekil 3.21.</b> Data logger'a ait resim .....	42
<b>Şekil 3.22.</b> Voltaj-akım transmitterine ait resim.....	43
<b>Şekil 3.23.</b> Deney düzeneği kontrol hacmi modellemesi.....	43
<b>Şekil 4.1.</b> 600 W/m <sup>2</sup> ışınım altında Süre-Elektriksel verim grafiği .....	47
<b>Şekil 4.2.</b> 1000 W/m <sup>2</sup> ışınım altında Süre-Elektriksel verim grafiği .....	48
<b>Şekil 4.3.</b> 600 W/m <sup>2</sup> ışınım altında Süre-Yüzey sıcaklığı grafiği.....	49
<b>Şekil 4.4.</b> 1000 W/m <sup>2</sup> ışınım altında Süre-Voltaj değişim grafiği .....	50
<b>Şekil 4.5.</b> 600 W/m <sup>2</sup> ışınım altında Reynolds- $\Delta T$ yüzey değişim grafiği.....	51

<b>Şekil 4.6.</b> 800 W/m <sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds- $\Delta T$ yüzey değişim grafiği.....	52
<b>Şekil 4.7.</b> 1000 W/m <sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds- $\Delta T$ yüzey değişim grafiği.....	53
<b>Şekil 4.8.</b> 600 W/m <sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds- $\Delta T$ hava değişim grafiği.....	54
<b>Şekil 4.9.</b> 800 W/m <sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds- $\Delta T$ hava değişim grafiği.....	55
<b>Şekil 4.10.</b> 1000 W/m <sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds- $\Delta T$ hava değişim grafiği.....	56
<b>Şekil 4.11.</b> 600 W/m <sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds- $\bar{Q}$ termal değişim grafiği .....	57
<b>Şekil 4.12.</b> 800 W/m <sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds- $\bar{Q}$ termal değişim grafiği .....	58
<b>Şekil 4.13.</b> 1000 W/m <sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds- $\bar{Q}$ termal değişim grafiği .....	59
<b>Şekil 4.14.</b> 600 W/m <sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds- Termal verim değişim grafiği .....	60
<b>Şekil 4.15.</b> 800 W/m <sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds- Termal verim değişim grafiği .....	61
<b>Şekil 4.16.</b> 1000 W/m <sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds-Termal verim değişim grafiği .....	62
<b>Şekil 4.17.</b> 600 W/m <sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds-1.yasa verimi değişim grafiği.....	63
<b>Şekil 4.18.</b> 800 W/m <sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds-1.yasa verimi değişim grafiği.....	64
<b>Şekil 4.19.</b> 1000 W/m <sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds-1.yasa verimi değişim grafiği.....	65

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Salyangoz tipi fan teknik özellikleri .....	34
Çizelge 3.2. Polikristal fotovoltaik panel teknik özellikleri .....	35
Çizelge 3.3. Alüminyum silindirik kanatçık fiziksel özellikleri .....	37
Çizelge 3.4. Fark basınç transmitterinin teknik özellikleri .....	38
Çizelge 3.5. Anemometre teknik özellikleri .....	40
Çizelge 3.6. Piranometre teknik özellikleri.....	40
Çizelge 3.7. Data logger'in teknik özellikleri.....	41
Çizelge 3.8. Voltaj-akım transmitteri teknik özellikleri .....	42

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Motivasyon

Enerji ilk insandan beri yaşamsal faaliyetlerin devamı için bir gerekliliktir. Daha sonra farklı ihtiyaç ve konfor isteklerini zekâları ve tasarım kabiliyetleri sayesinde enerjiyi farklı şekillerde kullanmayı başarmışlardır. Örneğin hayvanların mekanik gücünden yararlanarak ağır yükler taşıyabilmiş, tarla sürebilmiştir. Rüzgârdan ve nehirlerden yararlanıp tasarladıkları tahıl değirmenleriyle un üretimi yapmışlardır. Yelkenli gemiler vasıtasıyla rüzgârdan faydalanmışlardır. İnsanoğlu ilk çağlardan beri ısıtma ve aydınlatma ihtiyacını odun yakarak karşılamıştır. Odunun daha sonra endüstride de kullanılmaya başlanması aşırı odun tüketimine neden olmuş ve Avrupa'da ormanların yok olma tehlikesiyle karşılaşmıştır. İnsanların tarımı bırakıp kentlerde yaşamaya başlaması ile sanayileşmenin bir sonucu olarak artan enerji ihtiyacı kömürün çıkarılmasıyla önce Avrupa'da sonra Asya'da özellikle endüstri alanında odunun yerini almıştır. İhtiyaçların artması ve elektriğinde icadıyla ürünler el tezgâhlarından daha çok ürün, daha az işçilik, daha az işletme maliyetiyle birçok yönden olumlu gelişme sağlayan makineleşmeye başladı. Makineleşme evresi ikinci sanayi devrimi ile seri üretime geçilerek hızla gelişti. Buna bağlı olarak da enerji ihtiyacı gün geçtikçe daha fazla ihtiyaç haline geldi. 1860 yılında ilk defa petro-gaz çıkarılmış ve kullanılmaya başlanmıştır. Petro-gazdan imal edilen yakıtlar sayesinde makineleşme büyük oranda artmıştır. İçten yanmalı motorlarda da kullanımıyla 20.yy dan itibaren en çok kullanılan yakıt maddesi olmuştur (Küçükbayrak ve Gürbüz-Beker 1993). Ancak enerji ihtiyacını sınırlı olan ve kendini yenilenemeyen fosil yakıtlardan karşılanmaya çalışılması bu kaynakların tükenmesinde ve yaşam alanımıza ve doğaya da ciddi kalıcı zararlar vermektedir. Fosil yakıtların kullanıldığı endüstriyel tesislerden atmosfere her yıl yaklaşık 20 milyon ton karbon monoksit, 100 milyon ton kükürt bileşikleri ve diğer zehirli gazlar salınmaktadır. Bu çevre için büyük bir yüküdür ve kalıcı zararlarının etkisi çok büyük problemlere neden olabilir. Dünyada üretilen enerjinin yaklaşık %60'ı fosil yakıtlardan karşılanmaktadır (Kadioğlu ve Tellioglu 1996). Bu çevresel sorunların yanı sıra 1973 yılı sonrasında çıkan petrol krizi sanayileşen ülkelerde enerji bağımlılıklarının

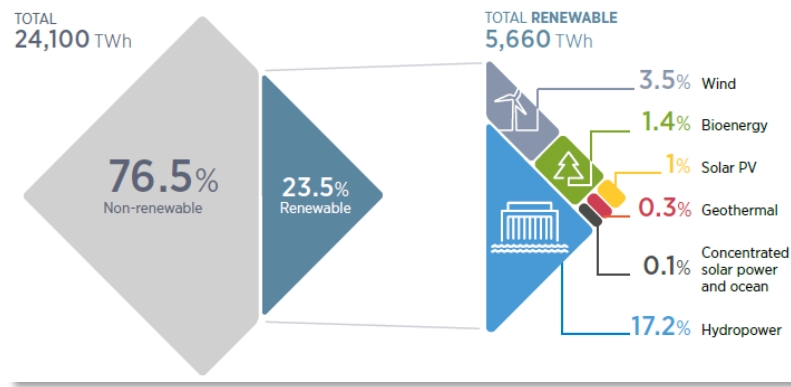
sonuçlarıyla yüzleşmelerine neden oldu. Bu kriz enerjiyi ithal eden ülkeleri farklı enerji kaynaklarının araştırılmasına yöneltti. Bu tarihten sonra yenilenebilir enerji kaynakları kullanımını hızlı bir ivme kazanmıştır (Karagöl ve Kavaz 2017).

Yenilenebilir enerji doğada var olan ve tüketim hızından daha hızlı yenilenen ve kullanımını sonucu tükenmesi mümkün olmayan enerji kaynağına denir. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerji, biokütle enerjisi ve hidrojen enerjisi olarak ayrılabilir. Bu enerjilerin tümü dolaylı olarak Güneş kaynaklıdır (Anonim 2019a). Yenilenebilir enerji kaynakları içinde güneş enerjisi neredeyse çevreye hiç zarar vermemesi, kolay ulaşılabilir olması, uzun ömürlü olması, güvenli bir sistem olması, ucuzlayan maliyetleri ile kısa sürede amortisman sağlaması vs. birçok avantajından dolayı kullanımını çok hızlı şekilde yaygınlaştırmaktadır. Dünyadan 8 ışık dakikada yani 150 milyon km uzaklıkta olan güneş, füzyon patlamamalarıyla oluşan enerjisinin yaklaşık 2 milyarda birini ulaştırabilmektedir. Ancak yeryüzüne ulaştırdığı bir saatlik enerji bile şu anda dünyadaki enerji ihtiyacının bir yıllık ihtiyacından fazladır. Güneş yüzeyinde saniyede açığa çıkan enerji  $3,86 \cdot 10^{20}$  MW'tır ve bu ihtiyacı 5 milyon ton kütle kaybederek sağlar. Bu devasa enerji çekirdek tepkimeleriyle meydana gelmektedir. En önemli olan çekirdek tepkimesi olan çekirdek birleşmesi (Füzyon) zinciri, çekirdeklerinde birer adet proton olan iki adet hidrojenin birleşerek döteryum atomu (ağır hidrojen) oluşturması daha sonra hidrojen atomları helyum atomlarına dönüşür. Bu çekirdek birleşmesinin sonucunda helyum atomlarının büyük kısmı gama ışınını oluşturarak enerji açığa çıkarır. Güneşte her saniye 62.000 kW enerji açığa çıkmaktadır (Anonim 2012a). Buna rağmen atmosfere ulaşan enerji  $1370 \text{ W/m}^2$ 'dir. Güneş ışınların yeryüzüne ulaşmadan önce %16'lık kısmı atmosferde soğurulur, %6'lık kısmı da yansıtılır, sonuç olarak yeryüzüne ulaşan bulutsuz açık havada en çok  $1100 \text{ W/m}^2$  civarındadır (Anonim 2019b).

Günümüzde güneş kaynaklı elektrik üretimi fotovoltaik panellerle yapılmaktadır. Fotovoltaik panel içindeki yarı iletken malzeme teknolojisiyle güneş ışınlarına maruz kalınca kendiliğinden elektrik akımı üretmektedir. Fotovoltaik etkiden 1839 yılında A.E. Becquerel ilk defa bahsetmiştir. Bazı malzemelerin ışıktan etkilenecek elektrik



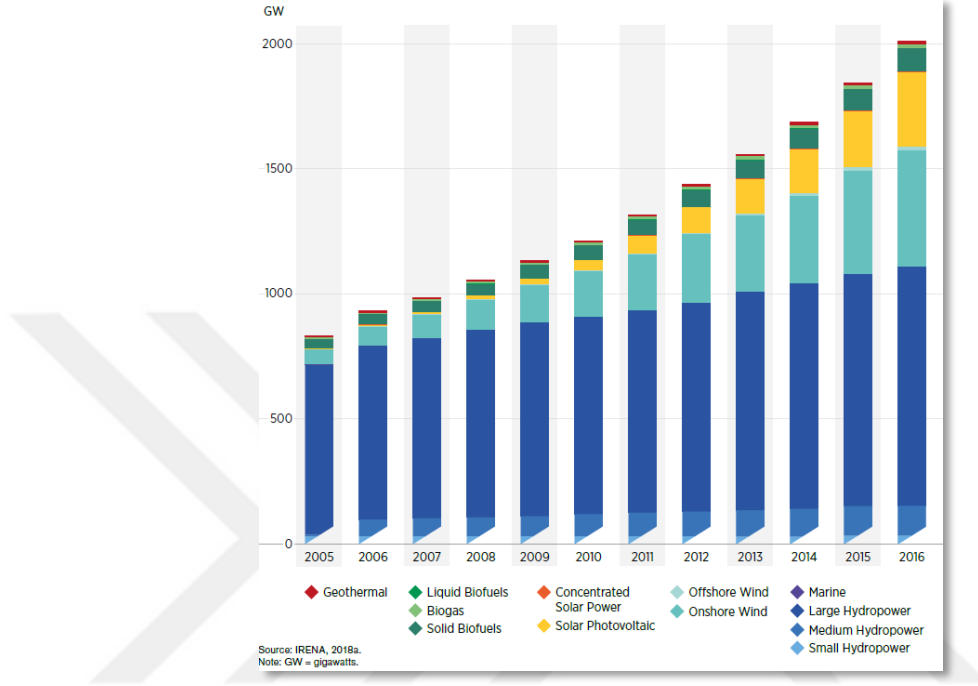
akımı ürettiğini gözlemlemiştir. 1954 yılında G.Pearson, C.Fuller ve D.Chapin silikon esaslı güneş hücresiyle güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirmeyi başarmışlardır. Her ne kadar bu ilk sistem %4 gibi düşük bir verimle çalışsa da verimi çok kısa sürede %6'ya çıkarmışlardır. Ancak bu sistemlerin maliyeti 1000\$/W civarındaydı. 1960'lardan sonra verimi %14'e kadar çıkarılmış 1976 yılında ise ilk amorf silikon hücre düşük maliyetle üretilmiştir (Anonim 2012b). Bu tarihten sonra petrol krizinin de etkisiyle AR-Ge çalışmalarına önem verilmiş ve maliyet ve verimi artırma konusundaki çalışmalar hız kazanmıştır. Bu geçen süre içinde hem maliyet hem de verim açısından olumlu gelişmeler olmuştur. Verim ortalama %20'ye kadar artırılmış, maliyet ise Watt başına 1\$'ın altına düşürülmüştür. Fiyatlardaki düşüşünde etkisiyle 2000'li yıllardan itibaren yatırımcıların yeni gözdesi haline gelmiştir. Dünyada ve Türkiye'de güneş enerjisinden elektrik üretimi son yıllarda hızlı bir ivme kazanmıştır. Dünyada Çin, ABD, Almanya gibi bazı ülkeler enerjilerinin yaklaşık %30'unu güneş enerjisiyle karşılarken Dünya ortalaması %1 seviyesindedir (Şekil 1.1).



**Şekil 1.1.** 2018 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretim oranları (Anonim 2019b)

Türkiye ise son yıllarda artan güneş enerjisi yatırımları sayesinde 2018 yılı itibariyle 7.477,3 GWh üretim ile toplam elektrik üretiminin %2,5'ini güneş enerjisinden yapmaktadır (Anonim 2019a). Uluslararası Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ajansı 2018 raporuna göre Türkiye güneş enerji üretimi sıralamasında bir önceki yıla göre 12 sıra yükselerek 13. sıraya yerleşmiştir (Anonim 2019b). Son yıllardaki Dünyadaki

yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimi ve güneş enerjisinin payı aşağıdaki tabloda incelenebilir.



**Şekil 1.2.** 2005-2016 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretim oranlarındaki değişiklikler (Anonim 2019b)

Ancak hızla gelişen bu ürünün teorik verimleri belirli olduğu halde verimin sürdürülebilirliği panelin tozlanması, sıcaklığı, güneşten gelen ışınım değeri, iklim koşulları gibi bir takım değişkene bağlıdır. Bu parametreler fotovoltaik panelin amortisman süresini doğrudan etkilemektedir. Panel sıcaklığı da güneş ışınım değeri ile doğru orantılı olarak artmaktadır ve bu sıcaklık artışı anlık olarak panelin verimini düşürmekte uzun vadede panelin ekonomik ömrünü azaltmaktadır (Özakın 2016).

## 1.2. Literatür Taraması

Fudholi *et al.* (2019) yaptıkları çalışmada Fotovoltaik Panelin V-oluklu emicili bir PV/T hava toplayıcısının ekserji analizini yapmışlardır. Oluklu hava kollektöründen çıkan hava sıcaklığını teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. Deney düzeneği laboratuvarında Fotovoltaik panel arkasında V oluklu hava kollektörü yaparak farklı hız ve farklı ışınım değerlerinde çıkan sonuçları sayısal sonuçlarla karşılaştırmışlardır. Deney düzeneğine ışınım yapay olarak sağlanmış,  $522 \text{ W/m}^2$  ve  $820 \text{ W/m}^2$  olmak üzere iki farklı ışınım değerinde ölçümler yapılmıştır. Hava hızları olarak  $0,0069 \text{ kg/s}$  -  $0,0249 \text{ kg/s}$  -  $0,0353 \text{ kg/s}$  -  $0,0407 \text{ kg/s}$  -  $0,0491 \text{ kg/s}$  değerlerinde 5 farklı hava hızı seçilmiştir. V oluklu emicili hava kollektörle yapılan deney sonuçları incelendiğinde teorik ve deneysel çalışmaların sırasıyla %13,36 ve %12,89 ekserji verimliliğinde artış olmuştur. Fotovoltaik ve hava çıkış sıcaklıklarında teorik ve deneysel çalışmalar sonuçlarında sırasıyla %5,49 ve %3,75 hata payı oluşmuştur. Deney sonuçları hava debisinin artırarak v oluklu emicili hava kollektörlerinden daha fazla hava geçmesiyle yüzeyden daha çok ısı alarak Fotovoltaik panelin yüzey sıcaklığının daha fazla düştüğü görülmüştür. Deneylelerden alınan verilerin teorik verilerle karşılaştırıldığında sonuçların %95 tutarlı olduğu görülmüştür.

Huo *et al.* (2019) yaptıkları bu çalışmalarında su borulu plakalı PV/T sisteminin demir talaş dolgulu şekilde enerji üretimindeki değişimi deneysel olarak çalışmışlardır. Çalışılan deney sisteminde fotovoltaik panelin arka kısmına güneş ışığının elektriğin yanında ısı üretimi yapması için borulu kollektör yerleştirmişlerdir. Deneylelerde borulu kollektörün yan kısımlarında kalan hava boşluğu yerine daha fazla ısı çekmek için demir talaş dolgusu doldurularak enerji performansı incelenmiştir. Deneylelerde  $400 \text{ W/m}^2$  -  $800 \text{ W/m}^2$  ışınım arasında değişen 5 farklı ışınım değeri kullanılmıştır. Sonuçlar IFTP modülünün sıcaklığının  $3,5-6,5^\circ\text{C}$  arasında etkin bir şekilde azaldığını ve fotoelektrik verimin geleneksel boru plakalı PV / T sistemine kıyasla %19,8 oranında arttığını göstermektedir.

Nasrin *et al.* (2018) tarafından yapılan çalışmada laboratuvar ortamında Fotovoltaik paneli saf su ve su/MWCNT nanoakışkan ile soğutarak elektrik ve ısı üretimindeki verim değişikliklerini incelemiştir. PV/T sisteminin performansını incelemek için yapılan deneyler laboratuvar ortamında iç ortam sıcaklığı 25°C, giriş akışkanı sıcaklığı 32 °C ve akışkan debisi 0,5 lt/dak. olarak sabit tutularak, ışıma değerleri 200-1000 W/m<sup>2</sup> arasında 200 W/m<sup>2</sup> aralıklarla ve nanoakışkanın ağırlık yüzdeleri %0-1 arasında 4 farklı oranda değiştirilerek yapılmıştır. Saf su ile soğutulan gelişmiş PV sistemlerinde verim artışı %9,2 olmaktadır. Akışkan ağırlıkça %1'i Su/MWCNT konsantresi seçildiğinde her 100W/m<sup>2</sup> ışıma artışında deneysel ve sayısal olarak elektrik üretiminde sırasıyla 17,48 W ve 17,68 W arasında, termal enerji üretiminde ise sırasıyla 113,14 W ile 114,84 W artış sağlandığı görülmüştür. Su/MWVCNT %1 konsantresinde su ile soğutulan panelde olan %9,2'lik verim artışına ilave olarak sayısal ve deneysel olarak sırasıyla %4,0 ve %3,67 oranında verim artışı sağlandığı görülmüştür.

Tiwari *et al.* (2018) fosil yakıtlara bağımlılığı azaltmak ve yenilenebilir enerji kaynaklarından daha fazla yararlanmak amacıyla, seralarda ürünlerin daha iyi korunması için kurutma işlemini fotovoltaik panel kullanarak deneysel olarak incelemek amacıyla bir çalışma yapmıştır. Önceki çalışmalarda da PV/T ile sera cebri kurutmanın hem iyi bir sonuç verdiğini hem de PV elektrik üretimine olumlu etkisi olduğu bilinmektedir. Yapılan çalışmada PV/T hava toplayıcısına entegre sera kurutma sisteminin termal modellemesi de ayrıntılarıyla yapılmıştır. Deneysel çalışma laboratuvar ortamında fotovoltaik panele ışıma yapay olarak verilmiştir. Deney düzeneği fotovoltaik panel altında bir kontrol hacmi oluşturularak kontrol hacmi arkasına hava yönlendirici plakalar yerleştirilmiş farklı hava 0,01kg/s den başlayarak 0,05 kg/s debiye kadar 5 farklı hava hızında deneyler yapılmıştır. Deneyler göstermiştir ki geçmişte üzerine birçok araştırma yapılan doğal ve cebri sera kurutma sistemine göre hava debisi ve kontrolü ve hava toplayıcıdaki tasarımı değiştirerek paketleme faktörünü değiştirerek daha iyi bir sıcaklık kontrolü yapılabildiği için daha kontrollü bir sistemdir. Deneylerin sayısal sonuçları ortalama ısıl verim ( $\eta_{th}$ ), elektriksel verim ( $\eta_{el}$ ) ve genel ısıl verim ( $\eta_{ov, th}$ ), 0.01 kg / s kütle hava debisinde sırasıyla %26,68, %11,26 ve %56,30 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlar diğer araştırmacılarla aynı paraleldedir ayrıca

bu sonuçlar araştırmacılar ve bilim insanları için farklı hibrit güneş enerjisi sitemleri için faydalı olabilir.

Çakmakçı *et al.* (2018) güneş ışınlarını alarak elektriğe çeviren fotovoltaik pil ya da güneş pili adı verilen paneller güneşten gelen ışınımı soğurarak bir kısmını elektrik üretiminde bir kısmını da ısı üretiminde kullanır. Isının üretiminin artması panel sıcaklığında artma elektrik üretiminde düşmesine neden olmaktadır. Yapılan bu çalışmada amaç bir fotovoltaik panelin arka kısmına iki adet farklı tip bakır borulu eşanjör yerleştirilerek içinden su geçirilmek suretiyle panelden ısı çekerek panelden ısı üretimi yapmak ve elektrik enerjisi üretimindeki verimi artırmak, yararlı iş potansiyelini belirlemek ve sistemin toplam verimini artırmaktır. Yazar ve arkadaşları tarafından yapılan hesaplamalar sonucunda; 120 W güce sahip bir güneş pilinden 0.003 kg/s ortalama kütleli debideki akışkanı geçirmek suretiyle 62,79 W termal güç üretilip, birleşik sistemin veriminde %17.49 oranında artış sağlanabileceği tespit edilmiştir.

Bulut *et al.* (2017) yaptıkları çalışmada fotovoltaik panellerin ışınım ile sıcaklıklarının artmasından dolayı elektrik üretiminin olumsuz etkilendiğine değinilmiş, paneli soğutma amacıyla Toprak Hava Isı Değıştiricisi ile toprak altına döşenen borulardan bir fan vasıtasıyla hava kanallar içinde belirli derinliğe kadar toprak altında dolaştırılarak fotovoltaik paneller arasında kapalı bir sistem oluşturulmuştur. Deney sonunda elde edilen verilere göre fotovoltaik panelin sıcaklığının yaklaşık 20°C düşürüldüğü panelin veriminin de yaklaşık %5 arttığı gözlemlenmiştir.

Salem *et al.* (2017) fotovoltaik panelin arkasına yerleştirdikleri düz ve helisel kanallı alüminyum soğutma plakası kullanarak kanalların içinden akışkan geçirmek suretiyle panelin performansını deneysel olarak incelemişlerdir. Bu deney için her biri 0,37 m<sup>2</sup> polikristal fotovoltaik paneller kullanılarak üç ayrı sistem kurulmuştur. Düz ve helisel kanallı soğutucu plakalar deneysel sonuçlar alındıktan sonra her ikisi de soğutmasız panellerle karşılaştırılmıştır. Deneylerde 0,25 l/dak ile 1,0 l/dak arasında akışkan debisi arasında çalışılmıştır. Sonuçlar, elektrik verimliliğinde soğutma yapılmayan panellerle kıyaslandığında %17,7'den %38,4'e kadar arttığını göstermiştir. Termal verimde de düz

kanallar için %31,6dan %47,2'ye, helisel kanallar için %34,6'dan %57,9'a yükseldiği görülmüştür. Buna karşılık toplam ekserji verimliliğinde düz kanallar için %11,1'den %12,9'a, helisel kanallar içinde %11,5'ten %13,5'e yükseldiği görülmüştür.

Ömeroğlu (2017) tarafından, hibrit bir PV/T modülün zorlanmış hava sirkülasyonu ile soğutularak elektriksel veriminin artırılması ve CFD analizinin yapıldığı çalışmada bir fotovoltaik panele yerleştirilen 54 adet ve 108 adet bakır silindirik kanatçığın iki farklı dizilim şekliyle, 1100 W/m<sup>2</sup> ışınım altında ve kontrol hacminden geçirilen 3,3 m/s, 3,9 m/s ve 4,5m/s olmak üzere üç farklı hava hızı ile deneysel olarak incelenmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki fotovoltaik panelin elektriksel verimi 108 adet kanatçık kullanılarak %12,02'de olmuştur. 108 adet kanatçıkta da elektriksel verim %11,85'te tutulabilirken 54 adet kanatçığın tip 2 diziliminde de elektriksel verim çok yakın olarak %11,55 olarak elde edilmiştir.

Alüminyum kanatçık kullanılarak aktif soğutma yapılan fotovoltaik/termal sistemin deneysel ve hesaplamalı olarak akışkan dinamiğinin analizinin yapıldığı başka bir çalışmada fotovoltaik panele yerleştirilen alüminyumdan imal 54 adet şaşırtmalı dizilim ve 108 adet sıralı dizilimle panel yüzeyinden üç farklı hava hızı geçirilerek, 1350 W/m<sup>2</sup> ışınım değerinde deneysel olarak incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre aktif soğutma yapılmayan fotovoltaik panelin elektriksel verimi %12'den %6,8'e kadar neredeyse %50 ye yakın verim kaybı olduğu ancak 108 adet kanatçık kullanımında ve 4,5 m/s hız uygulanarak yapılan deneyde elektriksel verimin %11,5'te tutulduğu gözlemlenmiştir (Ömeroğlu 2017).

Demir (2017) tarafından yapılan çalışmada silindirik kanatçıklar ile soğutulan fotovoltaik panelin enerji performansının deneysel olarak incelenmiştir. Fotovoltaik panel diğer çalışmalara benzer şekilde alüminyum malzemeden üretilmiş 3mm ve 6 mm helisel ve eksenel kanallı kanatçık kullanılarak üç farklı hava hızında ve 700 W/m<sup>2</sup>, 950 W/m<sup>2</sup> ve 1200 W/m<sup>2</sup> olmak üzere üç farklı ışınım değeri uygulanarak soğutulmaya çalışılmıştır. Çalışmadan elde edilen bilgilere dayanarak aktif soğutma yapılmayan fotovoltaik panelin verimindeki düşüş ışınımına bağlı olarak %7,9-6,9 seviyelerine

düşüğünü, alüminyum kanatçık kullanılarak %13,8 - %9,7 olduğunu dolayısıyla yaklaşık %7'lik bir verim kaybının önüne geçildiği görülmüştür.

Zhang *et al.* (2015) farklı sirkülasyon tank hacimlerinde, ısı borusu kullanarak farklı eğim açılarda sistemin elektrik ve sıcak su üretimi miktarlarını incelemiştir. Yazarlar önce bir simülasyon programıyla elde edilecek ısı ve elektrik üretimini optimize etmiş ve daha sonra deney sonuçlarıyla teorik verimleri kıyaslamışlardır. Sonuçlar, ısı ve elektrik üretiminin başlangıçta azaldığını daha sonra sirkülasyondaki tank hacmiyle birlikte arttığını, en yüksek birleşik verimin 80 lt. tank hacmiyle %67,5 olduğunu göstermiştir. PV/T sisteminin yıllık ortalama enerji üretim verimliliği, yıllık 1062,77 MJ / yıl üretim ile %15,69'dur. Yıllık ortalama toplama etkinliği %34,37 ve ısı üretiminin ise yıllık 2328,16 MJ olduğunu kaydetmişlerdir.

Gang *et al.* (2011) tarafından yapılan çalışmada PV/T sistem ısı borusu ile tasarlanarak fotovoltaik panelden elektriğin yanında termal verimde elde etmeye çalışmışlardır. Isı borusu ek olarak donma tehlikesine karşı sulu sistemlere göre daha güvenle kullanılabilmesi düşünülmektedir. Çalışmada ısı borulu termal/fotovoltaik sistemin performansını analiz etmek için bir dinamik bir model geliştirilmiş daha sonra bu simülasyondan elde edilen sonuçları doğrulamak için de deneysel çalışma yapmışlardır. Yapılan çalışmada deney düzeneği fotovoltaik panelin arka kısmında her fotovoltaik dizinin arkasına bir adet olmak üzere ısı borusu yerleştirilerek panelin arka kısmı izole edilmiştir. Isı borularının üst kısmında bir kontrol hacmi oluşturularak buradan su ile ısı borularında oluşan ısının alınması sağlanmıştır. Isı borusu panelden su da ısı borusundan ısı almak suretiyle panelden ısı çekilmesi sağlanmıştır. Panelden alınan ısı suyun sirkülasyon pompası ile sirkülasyon yaptırılarak 500 lt'lik bir boylere aktarılmıştır. Isı borusu kullanılan fotovoltaik / termal sistemin günlük termal ve elektriksel verimlerinin sırasıyla %41,9 ve %9,4 arttığını, ortalama ısı ve elektrik kazançlarının sırasıyla 276,9 W ve 62,3 W olduğunu göstermiştir.

Jin *et al.* (2010) çalışmalarında yine aynı şekilde fotovoltaik panelin ısı olarak veriminin düşmesi ve ısıl enerjinin de atıl enerjiyi faydalı enerjiye dönüştürmeyi hedeflemişlerdir.

Goh Li Jin ve arkadaşlarının yaklaşımları da diğer birçok çalışmada olduğu gibi fotovoltaiik paneli soğutarak hem elde edilen ısı enerjisiyi kurutma uygulamalarında kullanmayı, hem de üretilen elektrik enerjisinin verimini artırmayı amaçlamışlardır. Bunun için PV panelin arka kısmına bir dikdörtgen bir tünel dizayn etmiş, deneysel çalışmalarında 0-0,08 kg/s arasında değişen debilerde havayı bu tünelden geçirmişlerdir. Fotovoltaiik panelin arkasındaki bu tünelden akışkanın geçişi ile panelden ısı alınmıştır. Panelden uzaklaştırılan bu ısı bir yandan elektrik voltaj değerlerinde bir artışa neden olmuş öteki yandan da tünelden geçen akışkana ısı yüklemesi yapıldığı görülmektedir. Deney sonucunda görmüşlerdir ki hava akış hızının artmasıyla fotovoltaiik termal kollektörün verimi artmaktadır. Ancak Verimlilik belirli bir akış hızına kadar artmakta daha sonra neredeyse sabitlenmektedir. Bu çalışmada 0,0754 kg/s kütle akış hızında, elektrik verimi %10,06 artış kaydedilmiş ve termal verim %75,16 olmuştur.

Akpınar (2010) çalışmasında yaş nane yapraklarının fotovoltaiik panelden alınacak termal enerjiyle kurutmaya amaçlamıştır. Düzenek fotovoltaiik panelin arka kısmına dikdörtgen bir tünel tasarlanarak tünele bir noktadan bir fan vasıtasıyla hava girişi sağlanmış, sisteme giren hava 0,4-0,5 mm kalınlığında kanatçıklar yardımıyla yönlendirilerek panelden alınarak diğer uçtan bir yuvarlak hava kanalı vasıtasıyla nane kurutma kabine aktarılmıştır. Aktarılan bu ısı ile nanein kurutulmasında kullanılmıştır. Kurutma işlemlerinde enerjinin analizi için kullanılan önemli bir parametre olan EUR güneşli kurutma dolabında %7,826 ve %46,285 arasında değişmektedir. Bu sistemde 0 ile 0,017 kJ/s arasında bir iyileşme görülmektedir. Ancak zaman geçtikçe iyileşme azalmaktadır. Sonuç olarak ekserjetik verim kabin için %34,760 ve %87,717 arasında değişmektedir.

Adnan *et al.* (2009) fotovoltaiik panellerden farklı debilerde hava geçirerek elektriksel, termal ve kombine verimlerini araştırmak için bir çalışma yapmışlardır. Bu tasarlanan spiral akışlı ısı değiştiricili kollektöre birinci kollektör, sıcak hava ve elektrik üretimi için tasarlanan dikdörtgen tünel içinde tek geçişli ısı değiştirici ikinci kollektör adını vermişlerdir. Her iki kollektörde çok kristalli silikon fotovoltaiik panel arkasındaki düz



levhaya sabitlenmişlerdir. Deneyler laboratuvar ortamında her iki kollektör içinde 800 W/m<sup>2</sup> sabit ışınlama ile yapılmıştır. Birinci spiral akışlı kollektör için akışkan hızları 0.004-0.02 kg/s arasında, tek geçişli dikdörtgen tünel için de kütle akış hızları 0,0110-0,0754 kg/s arasında değişmektedir. Yapılan deneyler sonucunda spiral akışlı sulu kollektörde panel sıcaklığı 55°C ve 0011 kg/s'de en iyi kütle akış hızına ulaştığını, 25,35 W güç üretimi ile %11 elektrik verimi, %64 oranında birleşik PV / T verimlilik sağlandığı, tek geçişli dikdörtgen tünel ısı değiştiricisinde ise en iyi kütle akış hızının 0,0754 kg/s'de, 39°C yüzey sıcaklığında 22,45 W güç ile %10 elektrik verimi %55'lik birleşik PV / T verim sağladığı sonucuna varılmıştır.

### **1.3. Tezin Amacı**

Bu tez çalışmasında monokristal panele göre daha düşük maliyetiyle öne çıkan polikristal fotovoltaik panelin güneş ışınlama değeriyle artan sıcaklığı panelden uzaklaştırarak panelin soğumasını sağlayarak düşen elektrik üretimini artırmaya çalışmak bunu yaparken atıl enerji olan ısıyı da faydalanabilir hale getirmesi amaçlanmıştır. Deney düzeneğinin önce CAD ortamında tasarımı yapılmış daha sonra ölçüm yapılacak noktalar belirlenmiş ve bunlara uygun sensörler düzeneğe ilave edilerek deneyler yapılarak gerçek zamanlı olarak kaydedilmiş, çıkan sonuçlar irdelenmiştir.

## **2. KURAMSAL TEMELLER**

### **2.1. Güneş Enerjisi Sistemleri**

Güneş, enerji kaynakları içinde her yerde bulunması, sürdürülebilir olması, ekolojik yapıya zarar vermeyen yenilenebilir enerji kaynağı olması ve kullanımı için hiçbir bedel ödenmemesine gerek olmamasından dolayı son yıllarda en çok tercih edilen enerji kaynakları arasındadır. Güneş, nükleer enerjinin dışında kalan tüm enerji kaynaklarının da dolaylı kaynağıdır (Anonim 2019a). Güneşte meydana gelen Nükleer füzyon reaksiyonlarının birim zamanda  $3,47 \times 10^{24}$  kJ gibi çok yüksek bir enerji açığa çıkardığı bilinmektedir. Bu büyük enerjinin yeryüzüne  $5 \times 10^{11}$ 'i kadarının ulaşabildiği bilinmektedir (Çelik-Bedeloğlu vd 2010). Ancak bu enerji bile yeryüzündeki tüm insanların bir yıllık enerji ihtiyacını karşılayabilecek güçtedir. Ayrıca diğer enerji kaynaklarına göre daha güvenli ve daha çevre dostu olması güneş enerjisi kullanımının yaygınlaşmasının sebeplerinden biridir.

### **2.2. Güneş Teknolojileri**

Güneş Enerjisi kullanımı teknoloji, malzeme ve yöntemleri açısından birçok çeşidi vardır ancak ısıl güneş teknolojileri ve fotovoltaik güneş teknolojisi olarak iki ana gruba ayrılmaktadır (Anonim 2019a).

### **2.3. Isıl Güneş Teknolojileri**

#### **2.3.1. Düşük sıcaklık sistemleri**

Güneş ışınlarını toplayarak alınan ısıyı bir akışkana aktaran en fazla  $120^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa çıkabilen daha çok konutlarda, otellerde, endüstride sıcak su ihtiyacını karşılamak için kullanılan aygıtlardır. Bunlara örnek olarak düzlemsel güneş kollektörü, vakumlu güneş kollektörü, güneş havuzu sıcak su üreten sistemlerden bazılarıdır. Kullanımı daha az

olmakla beraber güneş çanağı yemek yapımında, su arıtma sistemlerinde arıtma görevinde, ürün kurutma sistemleri seralarda hava hareketini sağlayarak kurutma yapmak için kullanılmaktadır. Sayılan sistemlere ilave olarak güneş bacalarını da sayabiliriz burada güneşe maruz şeffaf yüzeyli uzun bir bacanın çevresine göre daha fazla ısınması ve baca içinde 10-15 m/s hızda hava akışı olmaktadır, bu hava akışından elektrik üretimi yapılabilir. Bu sistem henüz deneysel olarak uygulanmıştır, kullanımı yoktur. Düşük sıcaklıklı sistemler Türkiye de oldukça yaygındır. 2018 yılında Türkiye'nin güneş enerjisinden ısı üretimi 876.720 TEP (Ton Eşdeğer Petrol)'e ulaşmıştır (Anonim 2019a).

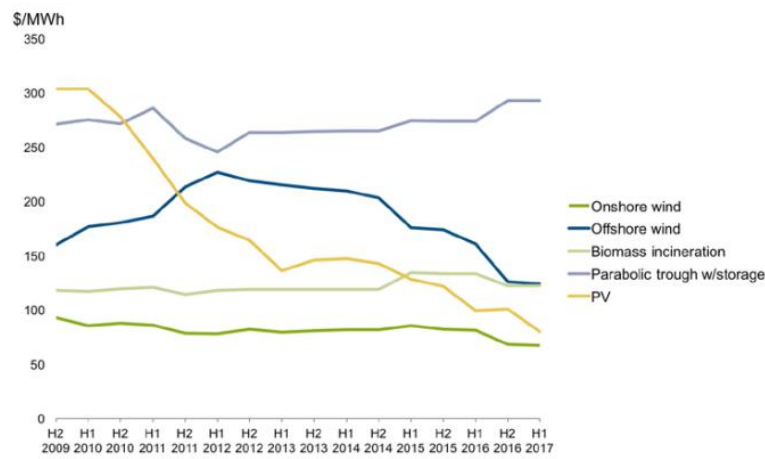
### **2.3.2. Yoğunlaştırıcı güneş sistemleri**

Yoğunlaştırıcı güneş sistemleri güneş ışınlarını tek bir noktaya, bir düzleme, ya da bir yüzeye odaklayarak odaklanan noktanın yüksek sıcaklıklara çıkarılarak burada oluşan ısıyı bir akışkana aktarmak aktarılan bu enerjiyi de elektrik enerjisine dönüştürmek amacıyla tasarlanan sistemlerdir. Yoğunlaştırıcı sistemler parabolik oluk kollektörler, parabolik çanak sistemler, Merkezi alıcı sistemler, Fresnel oluk teknolojileri şeklinde farklı uygulamaları vardır. Bu sistemler güneşten alınan ısıdan kızgın buhar üretildikten sonra konvansiyonel sistemlerdeki gibi buhardan elektrik üretir. Dünya'da farklı uygulamaları vardır, parabolik oluk kollektörünün en büyük uygulaması Amerika'da Kramer&Junction da 354 MW gücünde Luz Santrali, merkezi alıcı sistemlerin en büyük uygulaması İspanya da 20 MW gücünde PS20 santrali, fresnel teknolojisinde de en büyük uygulama İspanya'da kurulmuş 31,4 MW gücündeki Puerto Errad santralidir (Anonim 2019a).

### **2.4. Fotovoltaik Sistemler**

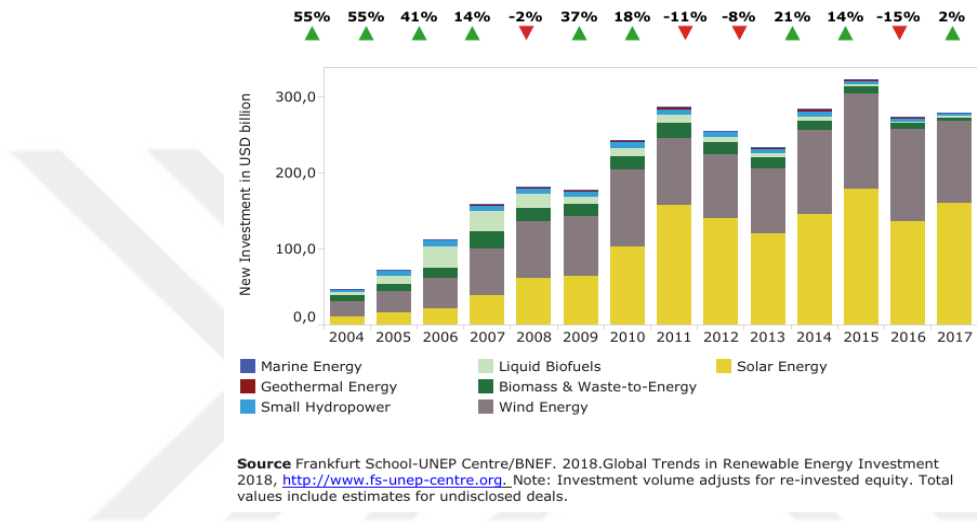
Fotovoltaik sistemler güneş ışığına maruz kaldıklarında uçlarında elektrik gerilimi oluşan yarıiletken maddelerden oluşan güneş enerjisiyle doğrudan elektrik üreten sistemlerdir. "Fotovoltaik" terimi, ışık anlamında olan "foto" ve elektrik anlamına gelen "voltaik" kelimelerinden türetilmiştir. Fotovoltaik pillere, Graf (1999) tarafından

hazırlanan sözlükte “bariyer tabakalı fotopil”, “kendi kendine üreten pil”, “güneş pili” de geçmektedir (Çelik-Bedeloğlu et al. 2010). A.E. Becquerel, 1839 yılında laboratuvarında deney yaparken platin elektrotlarının, gümüş klorür ve gümüş bromür ile kapladıktan sonra ışıkla birlikte voltaj ve akım ürettiğini keşfetti. Bu nedenle fotovoltaik etkiye “ Becquerel etkisi” de denmektedir (Anonim 2019c). Ancak bugünkü anlamda ilk modern güneş hücresini 1954 yılında Pearson, Fuller ve Haplin adında Amerikalı üç bilim adamı icat etmiştir. İlk güneş hücrelerinin verimleri %3-4 arasında bir verime sahipti kısa sürede verim %6'lara ulaştı ancak maliyet 1000\$/W gibi çok yüksek seviyelerdeydi. 1960'lara gelindiğinde Hoffman elektronik şirketi, verimi %14'lere kadar çıkarmayı başarmıştır ancak maliyet hala çok yüksekti. 1973 yılındaki petrol krizi gelişmiş ülkeler açısından fosil yakıtlara olan bağımlılıktan kurtularak yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmelerine ve bu alandaki araştırmaların artmasına neden oldu. Artan çalışmalar neticesinde 1976 yılında ilk amorf silikon hücre düşük maliyetle yapıldı. Özellikle 2000'li yıllardan sonra daha fazla rağbet gören fotovoltaik paneller üretimde hızlı bir ivme yakalanmıştır (Karagöl ve Kavaz 2017). 1960'larda Watt başına 1000 \$ olan maliyet son yıllarda 0,65 \$'a kadar düşürülmüştür. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretim maliyetlerinin son yıllardaki değişimi özellikle PV teknolojisinde ciddi oranlarda düşmeye devam etmektedir (Şekil 2.3).

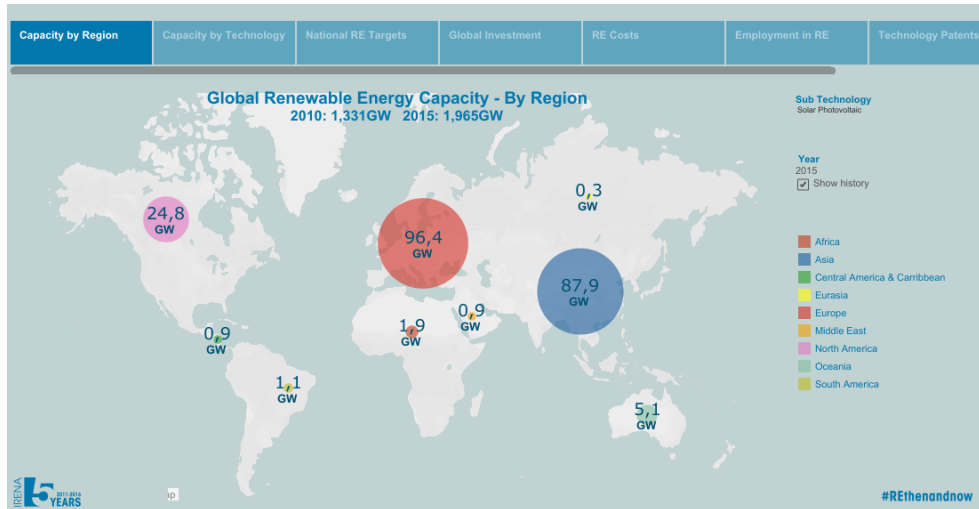


**Şekil 2.3.** 2009-2017 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretim maliyetlerindeki değişim (Anonim 2019b)

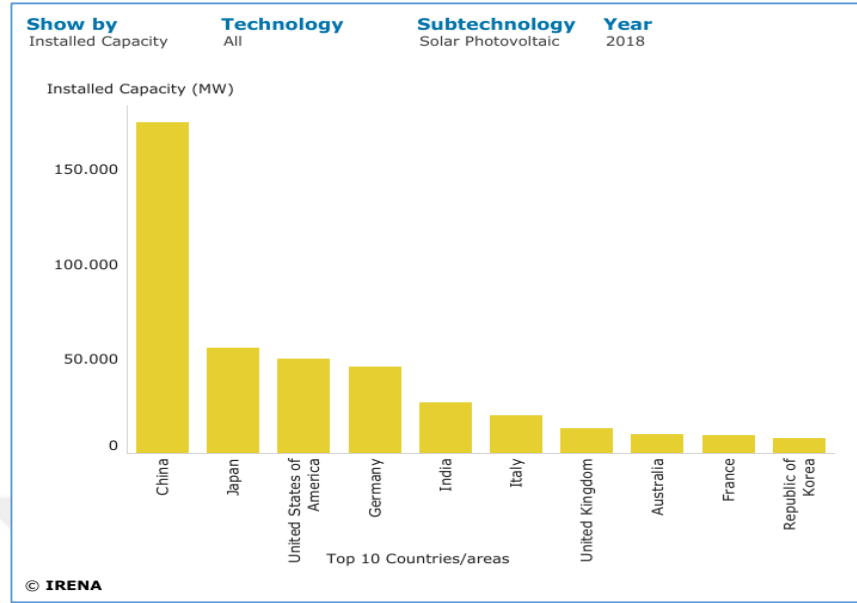
2018 yılı itibariyle Dünya enerji ihtiyacının %1'lik kısmını fotovoltaik panellerden karşılamaktadır. Ancak yatırımlar her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerjilerindeki yatırım miktarları ve fotovoltaik panellerin bu kaynaklar içindeki oranları yıllara göre değişimi Şekil 2.4'te, kıtalara göre üretim miktarları Şekil 2.5'te ülkelerin ve üretim sıralamaları aşağıdaki Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.4. 2004-2017 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım miktarlarındaki değişim (Anonim 2019b)



Şekil 2.5. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretim miktarlarının kıtalara göre dağılımı (Anonim 2019b)



**Şekil 2.6.** Ülkelerin 2018 yılında fotovoltaik panellerden elektrik üretim miktarları (Anonim 2019b)

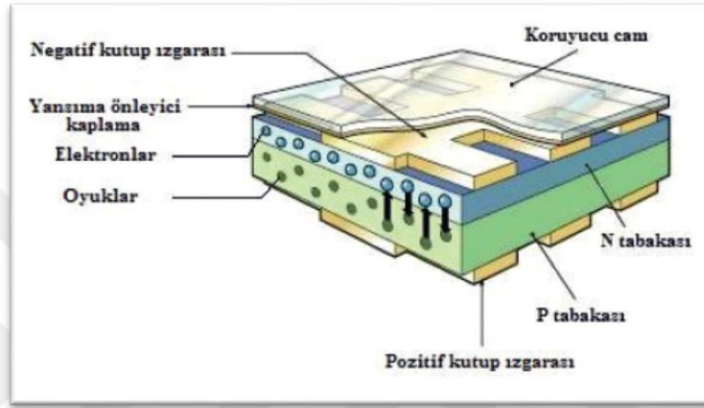
Türkiye fotovoltaik panellerle elektrik üretiminde %1 olan dünya ortalamasının üzerindedir, IRENA (Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı)'nın raporuna göre 2017 yılı itibariyle ülkeler sıralamasında 13. Sıradadır (Anonim 2019b) ve 2018 yılı itibariyle 7.477,3 GWh ile elektrik üretimindeki oranı %2,5'a yükselmiştir (Anonim 2019d). Son yıllarda ülkemizde fotovoltaik panellere verilen önem gittikçe artmakta ve bazı kamu binaların cephelerinde bile uygulanmaya başlanmıştır (Şekil 2 .7).



**Şekil 2.7.** Ülkemizde dış cephesinde fotovoltaik paneller yerleştirilen bir kamu binası

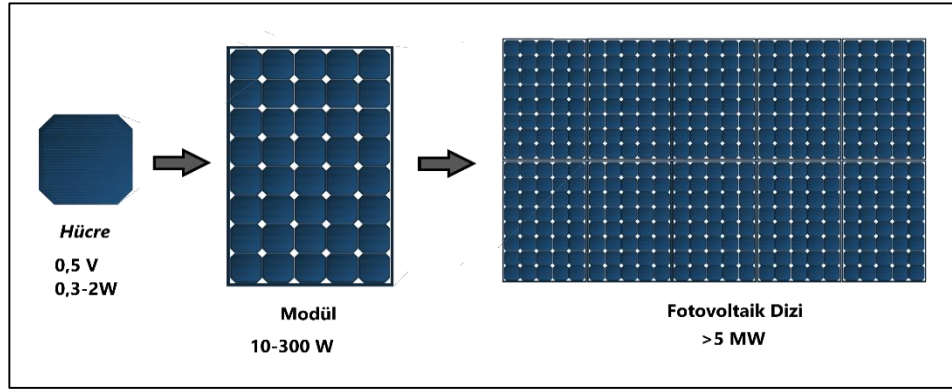
### 2.4.1. Fotovoltaik hücre

Güneş pili; fotovoltaik malzeme, yansımayı önleyici kaplama tabakası, pozitif ve negatif kutup metal ızgaraları ve destekleme malzemelerinin bir araya gelmesiyle oluşur.



**Şekil 2.8.** Fotovoltaik panel katmanları (Anonim 2017)

Aldığı ışını doğrudan elektrik enerjisine çeviren fotovoltaik hücreler kare, dikdörtgen veya daire şeklindedirler, 0,2mm-0,4 mm arasında kalınlığa sahiptir ve alanları yaygın olarak 100 cm<sup>2</sup> civarındadır (Şahin 2008). 0,5 V kadar gerilim üreten fotovoltaik piller metal şeritlerle birbirlerine paralel ya da seri şekilde bağlanarak modülleri oluştururlar. İki güneş pili birbirine paralel bağlanması durumunda voltaj sabit kalırken akım iki katına çıkar seri bağlanması durumunda ise akım sabit kalırken voltaj iki katına çıkarılabilir. Gerilim bu şekilde paralel ya da seri bağlanarak 14-16 V kadar çıkarılabilir. Modüllerde birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak 12-600 V arasında bir gerilim sağlanabilir (Çelik *et al.* 2010).



Şekil 2.9. Fotovoltaik hücre, modül, dizi

Fotovoltaik pillerin verimleri %5-%20 arasında değişmektedir (Şahin 2008). Fotovoltaik pillerin yapısına göre verimleri değişkenlik göstermektedir (Şekil 2.10).

Technology	Thin Film					Crystalline Silicon	
	(a-Si)	(CdTe)	Cl(G)S	a-Si $\mu$ c-Si	Dye s. cells	Mono	Multi
Cell efficiency	~4-8%	~10-11%	~7-11%	~7-9%	~2-4% (LAB)	~13-19%	~11-15%
Module efficiency	~4-8%	~10-11%	~7-11%	~7-9%	~2-4% (LAB)	~13-19%	~11-15%
Area Needed per KW (for modules)	~15 m <sup>2</sup>	~9m <sup>2</sup>	~10m <sup>2</sup>	~12m <sup>2</sup>		~7m <sup>2</sup>	~8m <sup>2</sup>

Source: EPIA 2010, Photon International, March 2010, EPIA analysis  
Efficiency based on Standard Test conditions.

Şekil 2.10. Fotovoltaik hücre çeşitleri, ortalama verim değerleri, 1 kW elektrik üretimi için alan ihtiyacı (Anonim 2019a)

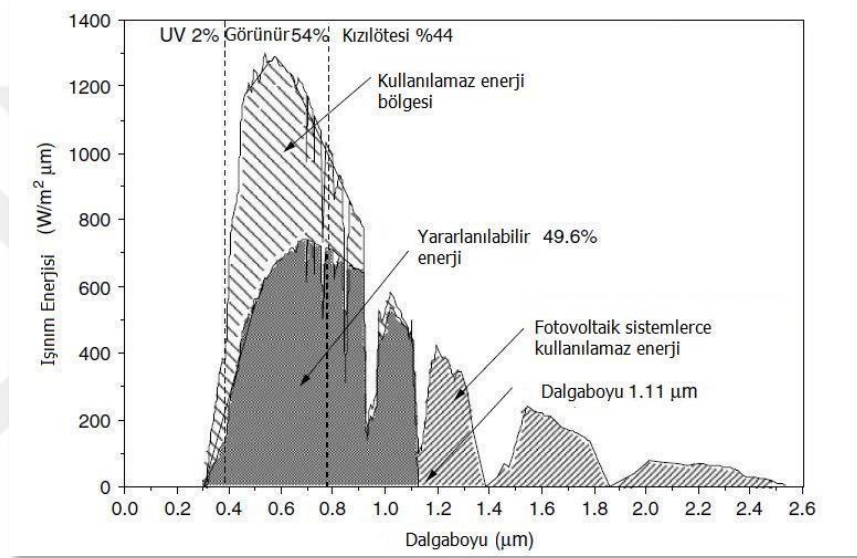
## 2.4.2. Güneş spektrumu

Güneşten yayılan değişik dalga boylarının sıralı görünümü güneş spektrumu olarak isimlendirilir.(5)

\*Gama Işımları (En kısa dalga boyuna ve en yüksek enerjiye sahip)

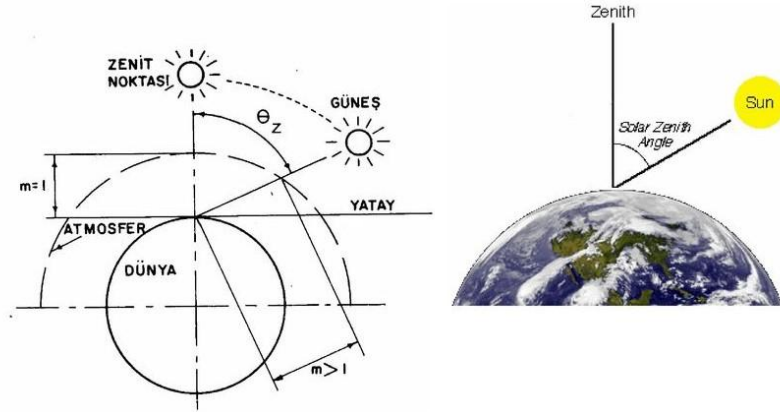


- \*X-Işınları
- \*Ultraviöle (morötesi) Işık
- \*Görünür (visible) Işık
- \*Infrared (kızılötesi) Işık
- \*Mikrodalgalar
- \*Radyo Dalgaları (En uzun dalga boyuna ve en düşük enerjiye sahip)



**Şekil 2.11.** Güneş spektrumu (Masters 2004)

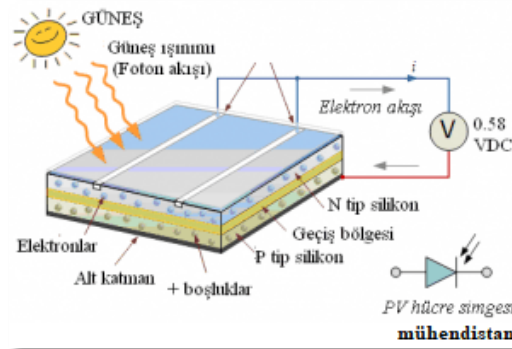
Dünyadan yaklaşık 150 milyon km uzaklıktaki güneşin yüzey sıcaklığı 5778 K. Güneşten çıkan enerjinin tümü dünyaya ulaştırdığı enerji 1377W/m<sup>2</sup>'dir. Güneş ışınları atmosferden geçerken güneş ışığının bir kısmı soğurulur ve saçılarak (yansyarak) azalmasına neden olur. Güneş ışınlarının içinden geçtiği atmosfer ne kadar çoksa zayıflaması da o kadar artar. Ancak belirlenen yere bu enerjinin ne kadar geldiğini hesaplayabilmek için hava kütlesi (air mass, AM=1/cos θz) denen eşitlikle bulunur. Burada θz güneş ışınları ile yatay yüzeyin normalinin arasındaki açıdır (Şekil 2.12).



**Şekil 2.12.** Güneş ışınlarının gelme açısı ( $\theta_z$ ) (Kıncay 2009)

### 2.4.3. Fotovoltaik sistemlerin çalışma prensibi

Einstein ışığının sadece dalga olmadığını çok küçük tanecik ya da parçacıklarında hareketlerini göstermiştir. Bu tanecikler elektromanyetik parçacıklar olan fotonlardır. Yani güneş ışınımı fotonların akışı olarak da tanımlanabilir. Fotonların enerjileri oldukça yüksektir. Fotosentez reaksiyonlarında olduğu gibi foto reaksiyonların oluşmasını sağlayabildiği gibi yarı iletkenlerin elektronlarının iletkenliğini etkileyerek aktif hale gelmelerini sonucunda elektrik üretilmesini sağlayabilir. Güneş enerjisi, enerji yüklü foton tanecikleriyle yayılmaktadır. Güneş spektrumunda dalga boylarına göre farklı miktarlarda enerji taşıyan fotonlar fotovoltaik hücreye ulaştığında, hücre tarafından bir kısmı yansıtılır, bir kısmı da soğurur. Soğurulan fotonların enerjileri yarıiletkenin atomundaki elektrona aktarılır (Şekil 2.13).



**Şekil 2.13.** Fotovoltaik panelin elektrik üretimi basit gösterimi (Leblebicioğlu 2018)

Bir fotonun enerjisi Plankton Sabiti( $h=6,625 \times 10^{-34} \text{J.s}$ ) ile fotonun frekansının ( $\nu, \text{Hz}$ ) çarpımı ile hesaplanmaktadır (Öztürk 2007) Plankton Sabiti fotonun enerjisi olarak kabul edilir.

$$E_f = h \cdot \nu \text{ [J]} \quad (2.1)$$

Fizikte  $1,6 \times 10^{-19} \text{ J}$  olan değere karşılık gelen enerjiye elektronvolt denmektedir. Elektronvolt (eV) , bir elektronun boşlukta bir voltluk elektostatik potansiyel farkı kat ederek kazandığı kinetik enerji miktarına elektronvolt (eV) denmektedir. Daha basit bir tanımla 1 volt ile elektronun yükünün çarpımına eşit olan değere elektronvolt denir. 1 volt ( $1 \text{ joule/coulomb} = \text{J/C}$ ) ile temel yük ( $e 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$ )'ün çarpımından çıkan eşitliğe eV denmektedir. Ayrıca fotonun frekansı ( $\nu, \text{Hz}$ ), ışık hızının ( $c$ ) dalga boyuna ( $\lambda$ )bölünmesiyle bulunur.

$$\nu = \frac{c}{\lambda} \text{ [Hz]} \quad (2.2)$$

Burada (2.1) deki formülde  $\nu$  yerine (2.2) eşitlik kullanılacak olursa

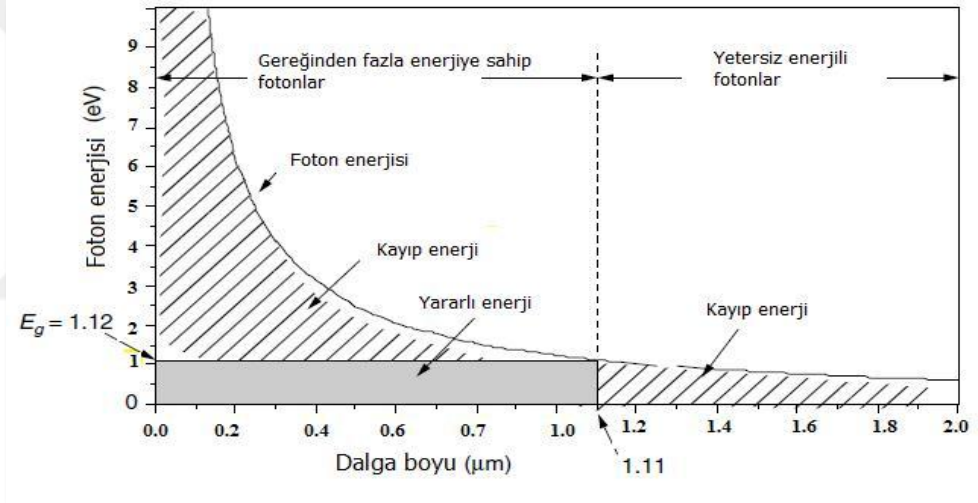
$$E_f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \text{ [J]} \quad (2.3)$$

Elde edilir. Fotonun enerjisi ışık hızına, dalga boyuna ve Plank sabitine bağlı bir değer olarak karşımıza çıkar. Foton sayısı ( $n_f$ ) ise gelen ışınımın şiddetinin ( $I_f, \text{W/m}^2$ ) , fotonun enerjisine bölünmesiyle bulunur

$$n_f = \frac{I_f}{E_f} \quad (2.4)$$

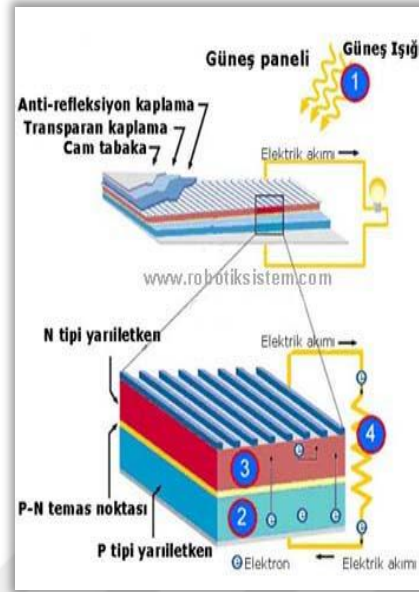
Fotovoltaik hücreler sadece güneş ışığıyla başka hiçbir enerjiye gerek duymadan kendiliğinden elektrik üretirler. Bu hücreler periyodik cetvelde 4A gurubu elementleri olarak bilinen yarıiletken elementlerden oluşmaktadır. Yarı iletkenler yapıları itibariyle

basitçe p ve n tipi eklemlerden oluşan diyotlara benzemektedirler. Yapıları özelliği fotoelektrik prensibiyle hücreden koparılan elektroların eklemde harekete geçer ve elektrik akımı oluştururlar. Böylece kopan elektron-boşluk çiftleri, fotovoltajik hücrenin uçlarında güç çıkışı oluşumunu sağlarlar. Fotovoltajik hücre güneş ışığına maruz kaldığında bu elektrik alanı momentum (kuvvet) ve ışığın etkisiyle uyarılmış elektronlar oluşturur. Yasak enerji bandı iletkenlik bandı ile valans bandı arasında elektron bulunmayan bölgeye verilen addır. Yasak enerji aralığı da bir elektronu valans bandından iletkenlik bandına çıkarmak için gereken en düşük enerjiye denir. Bu aralık silisyum için 1,12 eV değerindedir (Şekil 2.14).



**Şekil 2.14.** Silisyum elementinde elektron boşluk çifti oluşturulabilmesi için ihtiyaç duyulan enerji (Masters 2004)

Fotovoltajik ilkenin gerçekleşmesi sürecinde, p-n eklem diyotun p ve n bölgelerine gelen güneş ışınımında enerji taşıma parçacıkları olan fotonlar soğurulduğunda, fotonların enerjisi yasak enerji aralığından eşit ya da büyükse, elektronları değerlik bandından iletkenlik bandına çıkararak elektron-boşluk çiftlerinin oluşmasını sağlarlar. Elektron-boşluk çiftleri birbirinden ayrılırlar ve dış yük üzerinden bir fotoakımı başlar, yüksek enerjili elektronlar da enerjisini dış yüke aktararak tekrar fotovoltajik hücreye geri dönerek bir çevrim oluştururlar (Şekil 2.15).



**Şekil 2.15.** Fotovoltaik hücrenin kısaca çalışması şekille anlatım (Anonim 2019e)

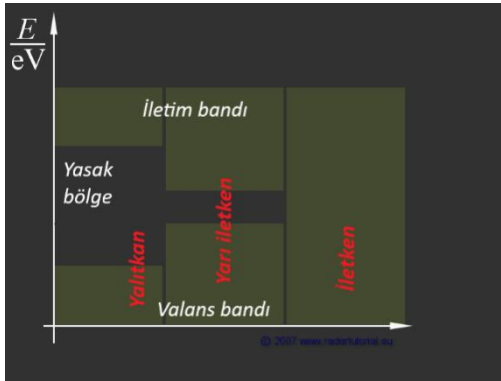
- 1) Güneş pili, güneş ışığını aldıktan sonra fotovoltaik hücreler tarafından soğurulur. Güneş pilinde çoğunluk taşıyıcısı P tipi yarı iletken madde ve azınlık taşıyıcısı N tipi yarı iletken madde bulunur.
- 2) Fotonlar P tipi yarı iletken maddeden elektron koparır
- 3) Enerji kazanan elektronlar N tipi yarı iletken maddeye doğru akmaya başlarlar.
- 4) Bu tek yönlü elektron akışı doğru akımı (DC) oluşturur. Elektronlar kurulan devreler boyunca kullanılır ve P tipi yarı iletken maddeye geri döner.

Fotovoltaik hücre yapımında en çok Silisyum (Si), galyum arsenit (GaAs), kadmiyum tellür (CdTe) gibi anorganik yarı iletken malzemeler kullanılır. Yarı iletkenlerden elektrik üretiminin yapılabilmesi için n ya da p tipi eklemesi gerekmektedir. Eklemesi, saf yarı iletken madde içine istenilen katkı maddesinin kontrollü olarak katılmasıyla oluşur. N ya da P tipi yarı iletkenin elde edilmesi katkı maddesinin özelliğine bağlıdır.

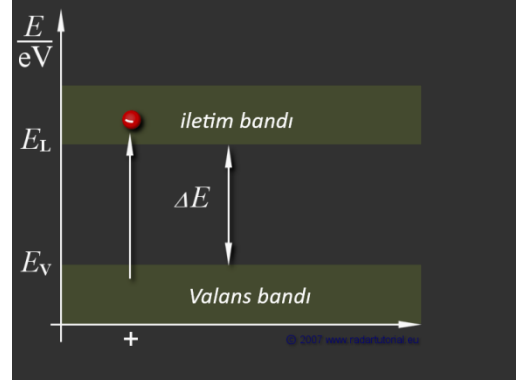
Güneş pilleri için en çok tercih edilen elementlerden birisi silisyum (Si) elementidir. Silisyum normal şartlar altında katı haldedir. Proton sayısı 14 olan silisyum, ilk

yörüngesinde 2, ikinci yörüngesinde 8, son yörüngesinde ise 4 adet valans elektrona sahiptir. Güneş pilleri için en çok tercih edilen n tipi silisyum oluşturmak için silisyum eriyiğine periyodik cetvelin 5. grubundan bir elementle, yaygın olarak da fosfor ile katkılanır. Dış yörüngesinde 5 elektronu olan fosfor ile katkılandığı silisyumun dış yörüngesindeki 4 adet elektrona kovalent bağ yapar, kalan bir adet elektron ise zayıf bir bağla bağlı olduğundan küçük bir enerji aldığında bağını koparır ve iletkenlik bandına geçer. Bundan dolayı periyodik cetvelin 5. grup elementlerine verici veya n tipi katkı maddesi olarak adlandırılırlar.

Kuantum teorisi metaller ile yarı iletkenlerin farkları enerji bant diyagramlarını kullanarak sunmaktadır. Buna göre belirli enerji seviyelerinde bulunan elektronların en üst seviyedeki bulunduğu bant iletim bandı olarak adlandırılır ve malzemenin iletkenlik düzeyini belirlerler (Şekil 2.16-2.17). Mutlak sıfır ( $0^0\text{K}$ ) sıcaklığında metallerin iletim bantları kısmen dolu olduğu halde yarıiletkenlerin iletim bantlarında hiç elektron bulunmamaktadır.



Şekil 2.16. Bantlar modeli



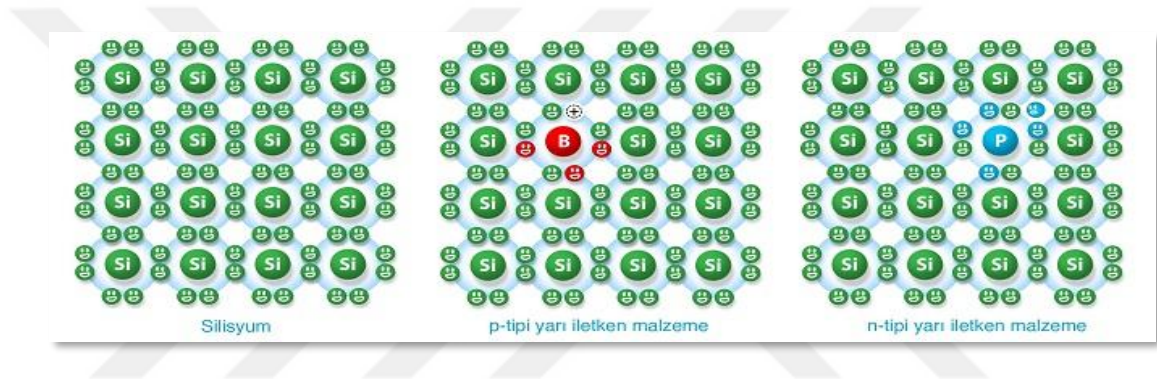
Şekil 2.17. Bir yarı iletkenin bant modeli

#### 2.4.4. Fotovoltaik sistemlerde p-n eklemleri

Yarıiletken malzemeler fotovoltaik pil olarak kullanılabilmesi için n ya da p tipi katkılanmaları gereklidir. Bu eklemler yapılmak istenen eklem türüne göre periyodik

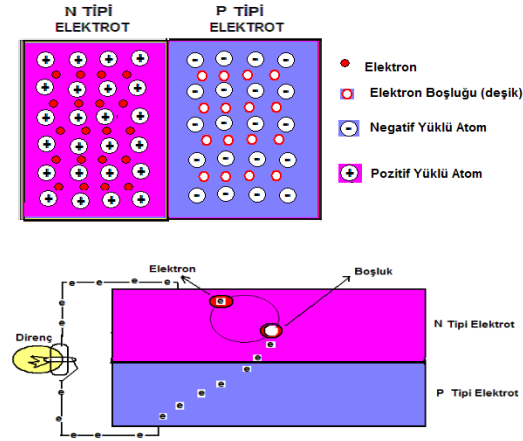
çetveldeki 4A grubu yarı iletkenlerinin saf eriyik hallerine p veya n tipine göre 3 veya 5. grup elementlerini kontrollü olarak katkılanmaları ile oluşturulur.

N tipi silisyum elde etmek için eriyik silisyum içine periyodik çetvelin 5. grubundaki elementlerden fosfor ile eklenmesiyle silisyumun dış yörüngesindeki 4 elektronun, fosforun dış yörüngesindeki 5 elektrondan 4'ü ile kovalent bağ kurar arta kalan 5. elektronu kristal yapıya verir. Bundan dolayı 5. grup elementlere “verici” (donör) veya “n tipi katkı maddesi” de denmektedir.



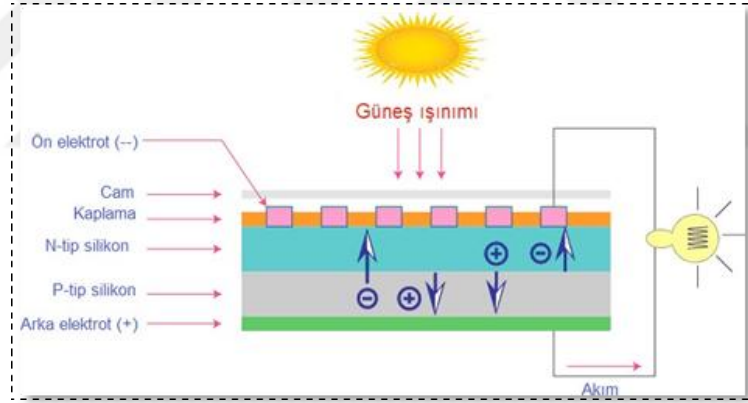
**Şekil 2.18.** Silisyum yarı iletkeninin P-N tipi eklemelenmesi (Sarıgül 2014)

P tipi silisyum elde etmek için ise yine eriyik haldeki silisyumun içine periyodik çetvelin 3. grubundaki alüminyum, indiyum, bor gibi bir element katkılanır. Bu elementler son yörüngelerinde 3 elektron taşırlar bundan dolayı son yörüngelerinde hol ya da elektron boşluğu adı verilen bir boşluk oluşur ve bu boşluğun pozitif yüklü olduğu kabul edilir. P-n eklem oluştuğunda n-tipi bölgedeki çoğunluk taşıyıcısı elektronlar, p-tipi bölgeye hızlı bir geçiş yaparlar. Yük dengesi oluşuncaya kadar bu olay devam eder.



Şekil 2.19. Silisyum yarı iletkeninin elektronların hareketleri (Sezgin 2016)

#### 2.4.5. Fotovoltaik etki



Şekil 2.20. Fotovoltaik etki şematik gösterim (Öztürk 2007)

Yarı iletkenin fotovoltaik pil olarak elektrik üretebilmesi için fotovoltaik dönüşümün yapılması gereklidir. Eklem bölgesi ışık adlığında elektron-hol çiftleri oluşturulur, sonrasında ise elektrik alanı ile bunlar birbirinden ayrılır. Şekil 2.20’de de görüldüğü gibi birbirinden ayrılan bu çiftler güneş pilinin iki ucu arasında akım oluşturur.

P-n eklem diyotun eklem bölgesindeki elektriksel alan nedeniyle, aldığı ışık üzerine iletkenlik bandına çıkarılmış ve eklem sınırına ulaşmış azınlık taşıyıcı elektronlar, hızlı bir şekilde n-tipi bölgeye geçiş yaparlar. N-tipi bölgede elektronların iletkenlik bandına



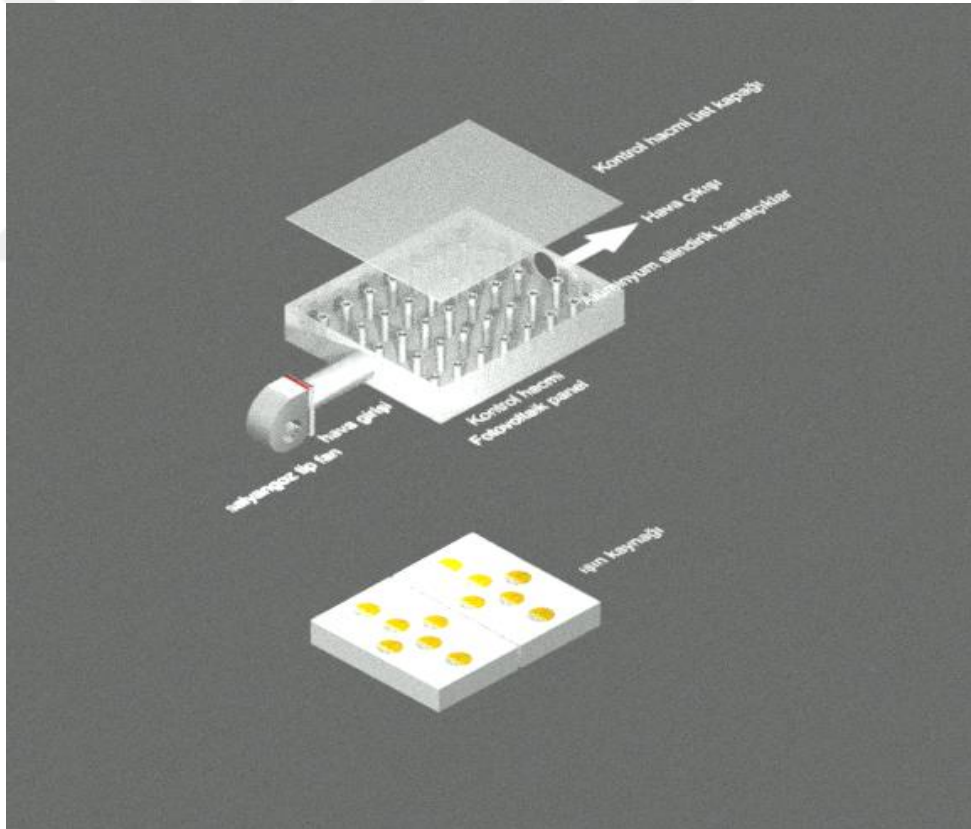
geçerek değerlik bandında kalan azınlık taşıyıcısı boşluklar eklem bölgesi sınırına geldiklerinde, p-tipi bölgeye geçiş yaparlar. Kısaca, eklem bölgesi sınırına ulaşmış azınlık taşıyıcıları, çoğunluk taşıyıcısı olarak tanımlandıkları bölgeye geçer.



### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Deney Düzenegi

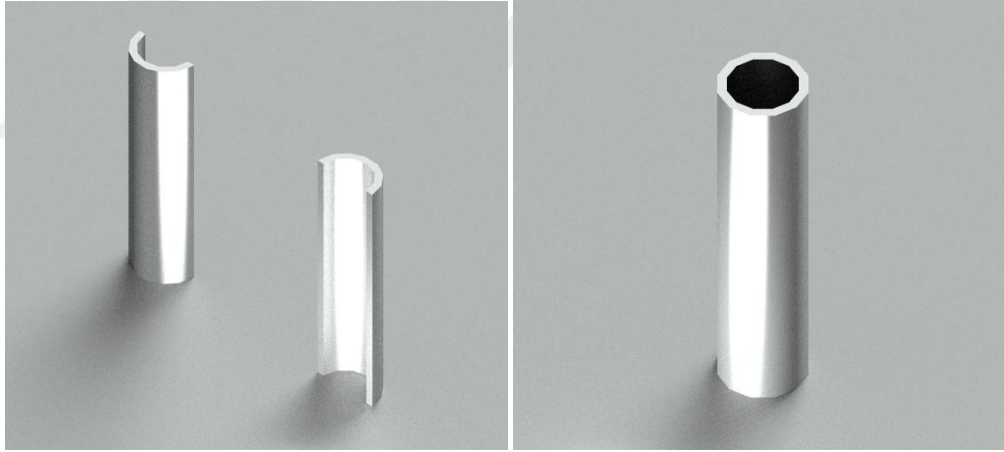
Fotovoltaik sistemlerin elektrik üretmesinin yanında ısı da ürettiği diğer bir deyişle sıcaklığının arttığı bunun da fotovoltaik panelin veriminin düşmesine neden olduğu ayrıca üretilen ısıdan da fayda üretilmediği görülmüştür. Daha sonra bu konu ile ilgili literatür araştırması yapılmış ve ülkemizde ve dünyada yapılan çalışmalar incelenmiştir. İnceleme sonucunda deney düzenegini CAD ortamında tasarlanmıştır (Şekil 3.1)



Şekil 3.1. Deney düzenegi CAD çizimi

Yaptığımız çalışmada fotovoltaik panelin arka kısmına basit bir kontrol hacmi oluşturularak farklı geometride ve farklı dizilişlerde alüminyum kanatçıklar yerleştirilmiştir, farklı debilerde hava ile soğutma yapılarak fotovoltaik panelden ısı

çekilerek üretilen elektriğin veriminde artış sağlamak, ilave olarak da ısı üretiminin faydalı enerjiye dönüştürülmesidir. PV/T'den en yüksek verimi almak için etkin deney düzeneği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yenilenebilir Enerji Laboratuvarında imal edilmiş, tüm deneyler bu laboratuvarında yapılmıştır. Yapılan çalışmada en çok tercih edilen fotovoltaik panel tipi olan polikristal silikon panel seçilmiştir. Fotovoltaik panel gücü ise 20 W olarak belirlenmiştir. Kanatçık olarak alüminyumdan imal edilmiş 58 mm uzunluğunda 1,8 mm et kalınlığında 16 mm dış çapında tam silindirik ve yarı silindirik olmak üzere iki farklı tip kanatçık kullanılmıştır. Kanatçıklara ait CAD çizimi görüntüleri Şekil 3.2 - Şekil3.3'te, resimleri ise Şekil3.5'te görülmektedir. Kanatçıklara termal macun uygulanarak panelle ısı iletiminin daha iyi olması sağlanmıştır. Her iki kanatçık tipi de düz ve şaşırtmalı dizilim olarak uygulanmıştır (Şekil 3.6)



**Şekil 3.2.** Yarı silindirik kanatçık CAD çizimi

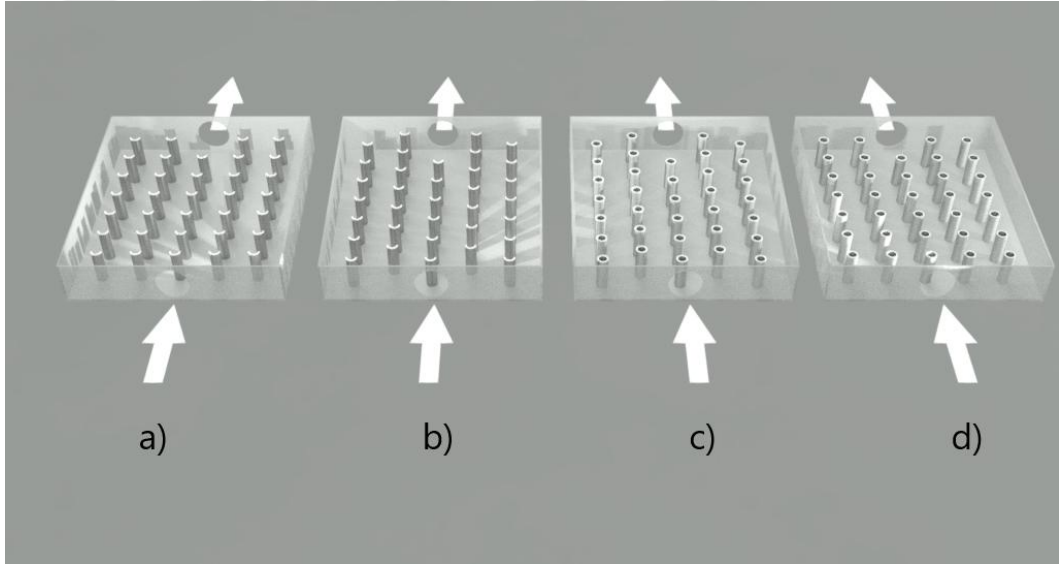
**Şekil 3.3.** Silindirik kanatçık CAD çizimi



**Şekil 3.4.** Silindirik kanatçıklara ait fotoğraflar



**Şekil 3.5.** Yarı silindirik kanatçıklara ait fotoğraflar



**Şekil 3.6.** a) Yarı silindir kanatçık düz dizilim b) Yarı silindirik kanatçık şaşırtmalı dizilim, c) Tam silindirik kanatçık şaşırtmalı dizilim, d) Tam silindirik kanatçık düz dizilim (CAD çizimi)

PV/T'nin elektrik ve ısı üretimi yapması için gerekli olan ışınım laboratuvar ortamında cebri olarak sağlanmıştır. Fotovoltaik modüle verilen ışınım  $600 \text{ W/m}^2$ ,  $800 \text{ W/m}^2$  ve  $1000 \text{ W/m}^2$  olmak üzere üç farklı ışınım değerinde ışınım ile çalışma yapılmıştır. Fotovoltaik panelin soğutulması için akışkan olarak hava kullanılmıştır. Sisteme hava salyangoz tip bir fanla hızı kademeli olarak artırılarak, kontrol hacmi girişindeki 44 mm çapındaki plastik boru içinde 3,20 m/s, 4,30 m/s, 5,4m/s ve 6,50 m/s hızlarda, Reynolds



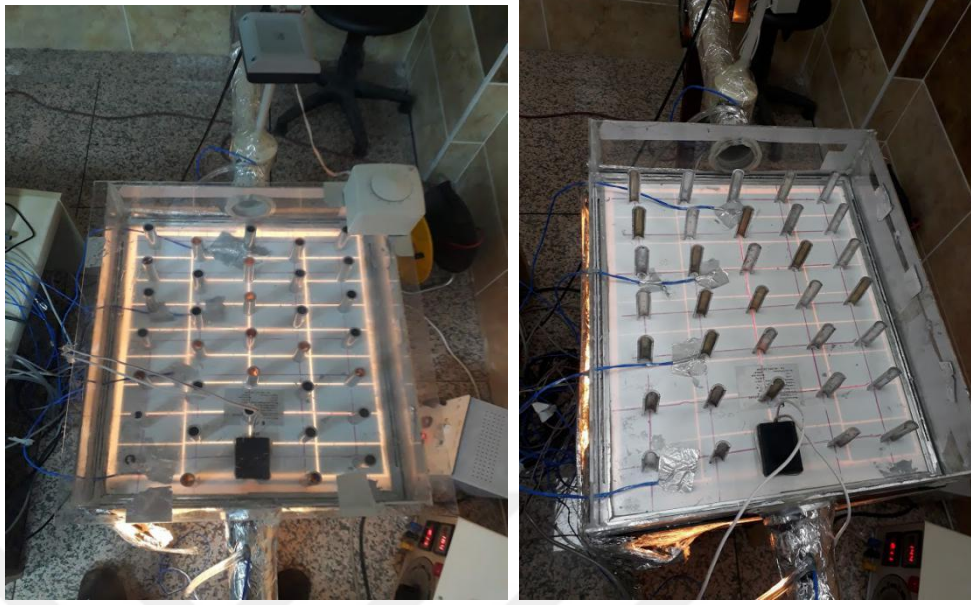
değerleri yaklaşık 1500, 2000, 2500, 3000 olmak üzere dört farklı hava debisinde panelin performansı incelenmiştir. Deney düzeneği genel görüntüsü Şekil 3.7’de görülmektedir. Işık kaynağı panel alt kısmında oluşturulan sehpa üzerine monte edilerek, fotovoltaik panel yüzeyine ışınım yukarı yönde uygulanmıştır.(Şekil3.8)



Şekil 3.7. Deney düzeneğine ait resimler



Şekil 3.8. Deney düzeneğine ait resimler

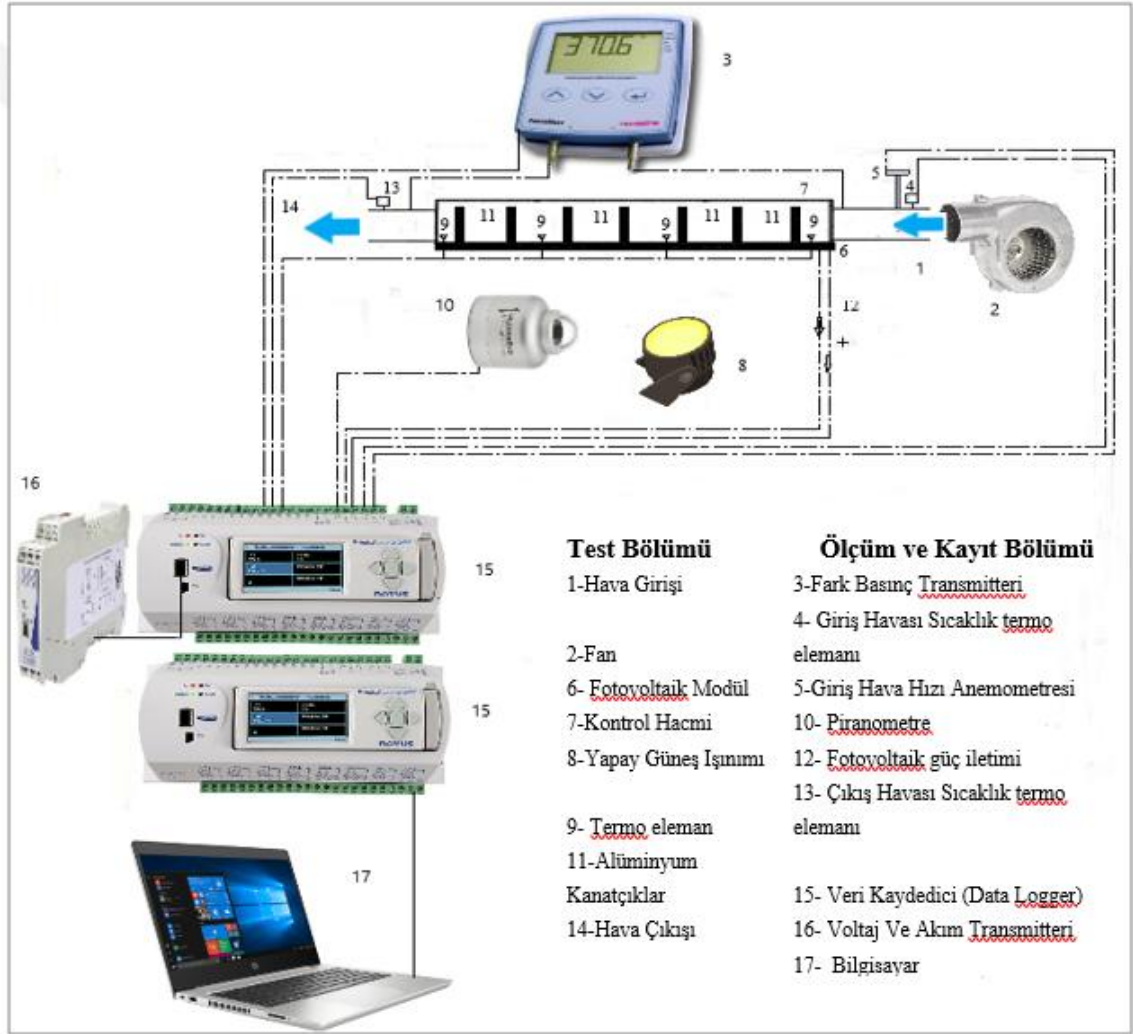


**Şekil 3.9.** Deney yapılan farklı kanatçık ve diziliş şekillerine ait resimler

Yapılan deneylerden tam silindirik kanatçık şaşırtmalı dizilim ve yarı silindirik kanatçık düz dizilim modellerine ait resimler Şekil 3.9.'da verilmiştir.

### 3.2. Test Bölümü

Deneysel çalışma yapılan düzenekte ışınlam yapay olarak ayarlanabilir ışık kaynağı kullanılarak sağlanmıştır. Fotovoltaik panel alt kısımdaki ışık kaynağına doğru bakacak şekilde sabitlenmiştir. Işık kaynağı panelden 50 cm uzaklıkta olacak şekilde sehpa üzerine sabitlenmiştir. Işık kaynağı ile panel arasında kalan 3 yüzey alüminyum folyo kaplı malzeme ile kapatılmıştır. Işıktan yayılan ısının ekstra yük oluşmasını engellemek amacıyla bir yüzey açık bırakılmıştır. Işınım pıranometre ile ölçülerek istenilen ışınlam değerine ayarlanabilmesi sağlanmıştır. Fandan çıktıktan sonra sisteme giren ve sistemden çıkan havanın, debi değerlerini ölçmek için kullanılan anemometre ve sıcaklık değerlerini ölçmek için kullanılan termoelemanlar kontrol hacmi giriş ve çıkışına yerleştirilmiştir. PV/T panel arka yüzeyinin ortalama sıcaklığını ölçmek için ayrıca 4 adet termoeleman kullanılmıştır.



Şekil 3.10. Deney düzeneği şematik gösterimi

### 3.2.1. Salyangoz tipi fan

Deneyisel çalışmalarda fotovoltaik panelden ısı alarak sıcaklığını düşürmek için kullanılan hava kontrol hacminden Air Col – marka AKS 680 h model salyangoz tip bir fan vasıtasıyla geçirilmiştir. Fan ayrıca bir hız kumandası ile istenilen değerde hava verecek şekilde ayarlanabilmektedir. Fan için kutu profilden bir düzenek yaptırılarak deney sistemine sabitlenmiştir. Fan ve hız kumandasına ait resimler Şekil 3.12’de, teknik özellikleri ise Çizelge 3.1’de verilmiştir.





Şekil 3.12. Salyangoz tip fan



Şekil 3.13. Hız kumandası

Çizelge 3.1. Salyangoz tipi fan teknik özellikleri

Teknik Özellikler	
Akım	0-0,39 (A)
Basınç	0-410 (Pa)
Debi	0-170 (m <sup>3</sup> / saat)
Devir	0-1850 (Rpm)
Güç	0-44 (Watt)
Gürültü Seviyesi	0-38 (dB (A))
Koruma Sınıfı	I
Malzeme	Alüminyum Gövde Galvanize Çelik Sac Fan
Ortam Sıcaklığı	-30 / 180 (°C)
Hız skalası	10 eşit aralık
Boy	192 mm
Montaj Çapı	58 mm
Genişlik	155 mm
Yükseklik	132 mm

### 3.2.2. Polikristal fotovoltaik hücre modülü

Deney düzeneğinde kullanılan fotovoltaik panel 20 W gücünde polikristal yapılı bir fotovoltaik paneldir. Üreticisi Gesper Enerji A.Ş. olan modülün teknik özellikleri Çizelge 3.2’de fotoğrafı da Şekil 3.13’te verilmiştir.



**Çizelge 3.2.** Polikristal fotovoltaik panel teknik özellikleri

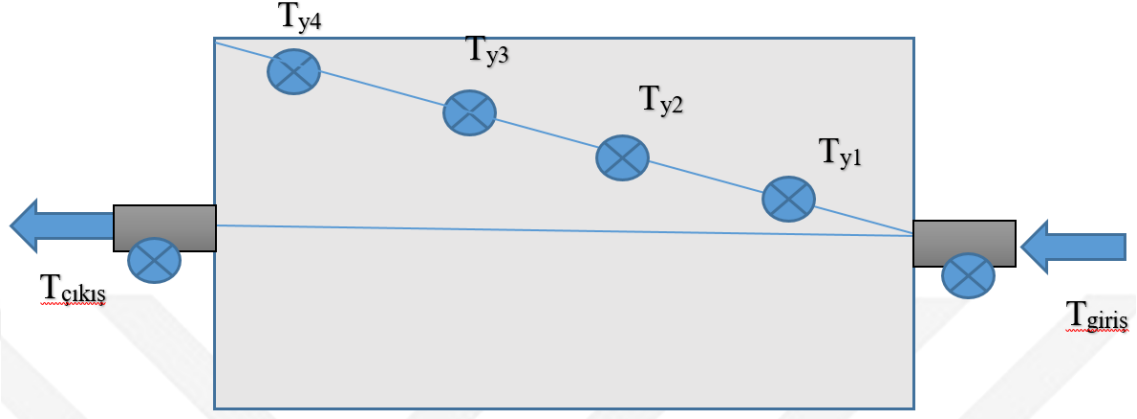
## ELEKTİRİKSEL ÖZELİKLER

Maksimum Güç	20 Watt
Güç Toleransı :	Sadece pozitif
Açık Devre Voltajı (VOC)	21,6
Kısa Devre Akımı (ISC)	1,21
Yükteki maksimum Voltaj (VPM)	17,38
Yükteki Maksimum Akım (IMP)	1,15
Maksimum Sistem Voltajı	600 V
Ölçüler	485 x350 x22 mm
Ağırlık	2,50 kg
Cam	Düşük demirli 3,2 mm Temperli-cam
Çerçeve	Alüminyum
Hücre	Multikristal-Poly
Bağlantı Kutusu	IP65-67

**Şekil 3.13.** Polikristal fotovoltaik panel (20 W)**3.2.3.Termoeleman**

Deney düzeneğinin sıcaklık değerlerini ölçmek için belirlenen noktalara termoelemanlar yerleştirilmiştir. Bakır-konstantan içeren ve T tipi olan bu elemanlar (-100...+300°C)

arasındaki değerleri ölçebilecek kapasitededir. Şekil 3.14'te termoelemanların deney düzeneğindeki yerleri Şekil 3.15'te de termoelemanın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.14. Termoelemanların deney düzeneğindeki yerleşimi



Şekil 3.15. Deney düzeneğinde kullanılan termoelemanlara ait resim

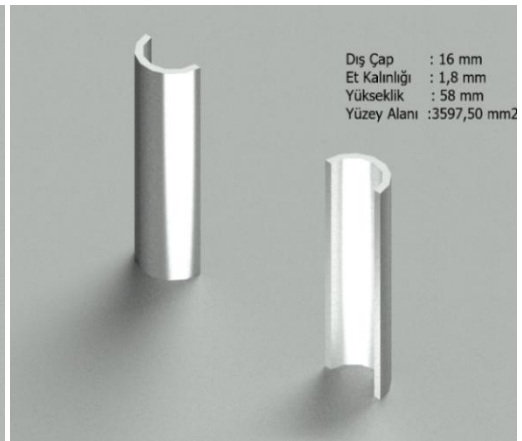
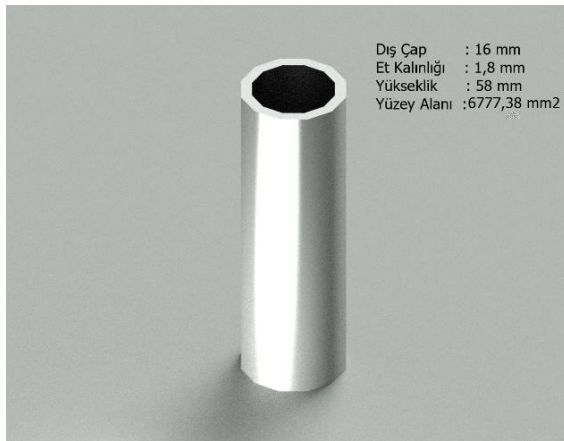
### 3.2.4. Kanatçıklar

Deney düzeneğimizde fotovoltaik modülün arka kısmına yerleştirilen farklı yüzey alanlı ısı soğurucu alüminyum kanatçıklara termal macun sürülerek dizilmiştirlerdir. Bu kanatçıkların kullanılmasının amacı sistemin verimini artırmanın yanı sıra sistemin toplam etkinliğini de artırmaktır.

Şekil 3.6-3.7’de görüldüğü üzere kontrol hücresi içinde fotovoltaik panelin arka kısmında alüminyum kanatçıklar bulunmaktadır. Bu kanatçıklar PV/T’ye termal macun uygulanarak tutturulmuş panelden olacak ısı transferinde artış olmasına ayrıca kontrol kutusundaki akışkanın dağılımını da etkileyeceği düşünülerek sisteme entegre edilmiştir. Kanatçıkların teknik özellikleri Çizelge 3.3’te, resimleri ve CAD çizimleri ise Şekil 3.16-3.17’de verilmiştir.

**Çizelge 3.3.** Alüminyum silindirik kanatçık fiziksel özellikleri

Kompozisyon	Minimum %99,45
Özgül Ağırlık	2,7 (kg/dm <sup>3</sup> )
Ergime Sıcaklığı	646...657°C
Isıl İletkenlik	200 (W/ m K)
Ağırlık	1,212 (kg/m)
Dış Çapı	16 mm
Et kalınlığı	1,8 mm
Uzunluğu	58 mm



**Şekil 3.16.** Silindirik kanatçık ölçüleri

**Şekil 3.17.** Yarı silindirik kanatçık ölçüleri

### 3.3. Ölçüm Kayıt Bölümü

Deney düzeneğinde farklı bölge ve farklı nitelikte ölçümlerin yapıldığı ve kaydedildiği bölümdür. Bu bölümde, fark basınç transmitteri, giriş ve çıkış akışkan sıcaklıklarını ölçmeye yarayan termoelemanlar, solar piranometre, voltaj-akım transmitteri, tüm verileri okuma ve kaydetme işine yarayan veri kaydedici bulunmaktadır.

#### 3.3.1. Fark basınç transmitteri

Fotovoltaik paneli soğutmada kullanılan havanın kontrol hacminin girişinden çıkışına kadar, kontrol hacminden ve kanatçıklardan kaynaklanan basınç düşümü Pascal Maxx 500 Z marka bir basınç transmitteri ile ölçülmüştür. Cihaz %1 toleransla ölçüm yapabilmektedir. Cihazla ilgili teknik özellikler aşağıdaki Çizelge 3.4'te katalog fotoğrafı ise Şekil 3.18'de verilmiştir.

**Çizelge 3.4.** Fark basınç transmitterinin teknik özellikleri

Teknik Özellikler	
Ölçüm aralığı	0...500 Pa
Maksimum çözünürlük	0,1 Pa
Hassasiyet (20°C de)	+/- %1
Sıcaklık etkisi	Maksimum 0,2 Pa/°C
Ölçüm Elemanı	Piezo rezistif membran
Maksimum Yüksek Basınç	+/- 35000 Pa
Çalışma Sıcaklığı	0...50°C
Analog Çıkış	0/2... 10V
Analog Çıkış Çözünürlüğü	Tipik 2,5mV, 5uA
Ölçüler	110 x 118 x 50mm
Koruma	IP 41
Kasa Malzemesi	ABS
Ağırlık	0,2 kg



Şekil 3.18. Fark basınç transmitterinin katalog fotoğrafı

### 3.3.2. Anemometre

Deney düzeneğine giriş kısmına giren hava hızını ölçmek için bir adet anemometre kullanılmıştır. Kullanılan anemometrenin resimleri Şekil3.19.'da teknik özellikleri ise Çizelge 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.19. Anemometreye ait resim

**Çizelge 3.5.** Anemometre teknik özellikleri

Ölçüm Aralığı	0...10 m/s
Çıkış	4-20mA / 10VDC
Sinyal Bağlantısı	3-tel
Hassasiyet	+-%2 25°C de

**3.3.3. Solar piranometre**

Deney düzeneğimizde ışınım değerini ölçmek için Hukseflux marka piranometre kullanılmıştır. Piranometreye ait teknik özellikleri ve katalog fotoğrafı aşağıdadır.

**Çizelge 3.6.** Piranometre teknik özellikleri

Ölçülen	Hemisferik güneş ışınımı
ISO sınıfı	2
Belirsizlik	Maksimum % 1,8
Çalışma Sıcaklığı	-40... +80°C
Kablo Uzunluğu	3 m
Çalışma Voltajı	5...30 VDC
İletişim	RS485
Analog Çıkış	0-1 V
Ölçüm Aralığı	0...1600 W/m <sup>2</sup>
Analog Çıkış	4-20 mA



Şekil 3.20. Piranometreye ait resimler

### 3.3.4. Veri kaydedici (Data logger-field logger)

Deney düzeneğinde ölçülmesi istenen tüm verilerin okunduğu ve kaydedildiği cihaz Novus marka veri kaydedicidir. Bu cihaza ait teknik özellikler aşağıda Çizelge 3.7’de katalog fotoğraf görüntüsü ise Şekil 3.21’de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Data logger’in teknik özellikleri

Analog Giriş	8 adet analog pin
Analog Hassasiyet	Termokupol: +-%0,2 -Diğer bağlantılar:%0,15.
Dijital Giriş ve Çıkışlar	8 adet dijital pin
Röle Çıkışı	2 röle SPST-NO/NC, 3A/250Vac.
RS485 Arayüzü	Modbus RTU olarak kullanılabilir.
Ethernet Arayüzü	10/100 Mbps.
Dâhili Hafıza	2MB.
SD Kart	16 GB
Çalışma Ortamı	0...50°C, bağıl nem maksimum %80, rakım maksimum
Güç Besleme	100...240 VAC, 50...60 Hz
Ölçüler	165x117x70 mm



**Şekil 3.21.** Data logger'a ait resim

### 3.3.5. Voltaj-akım transmitteri

Voltaj akım transmitteri Deney düzeneğinde fotovoltaiik panellerin akım, gerilim, gücünü ölçmek amacıyla Novus marka bir voltaj akım transmitteri kullanılmıştır. Kullanılan voltaj akım transmitterine ait teknik özellikleri ve fotoğrafı sırasıyla Çizelge 3.8'de ve Şekil 3.22'de verilmiştir.

**Çizelge 3.8.** Voltaj-akım transmitteri teknik özellikleri

Güç Kaynağı	10-40V DC
Çalışma Koşulları	0... 60°C, %80 bağıl nem
AC ölçüm	300 V'a kadar voltaj 5 A'e kadar akım 45...65 Hz frekans
Ölçüler	99,5x114x17,5 mm
Ağırlık	96,3g

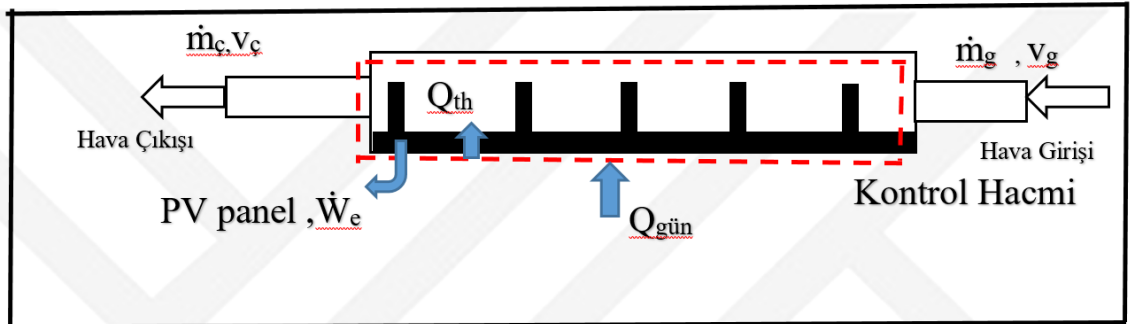




Şekil 3.22. Voltaj-akım transmitterine ait resim

### 3.4. Termodinamik Çözümleme

Termodinamiğin birinci yasası ya da enerjinin korunumu ilkesi, enerjinin var veya yok edilemeyeceğini ancak birbirine dönüşebileceğini vurgular. Belirli bir kontrol yüzeyi ile sınırlanan ve çevre ile etkileşimin olabildiği, içinden madde geçebilen hayali hacme kontrol hacmi denir. Sürekli akışlı açık sistemde kontrol hacmindeki toplam kütle zamanla değişmez. Burada deneysel çalışmaya konu olan PV/T için çizilen kontrol hacmi de sürekli akışlı açık sistemdir. Düzenekle ilgili modelleme aşağıdaki Şekil 3.23'te gösterilmiştir.



Şekil 3.23. Deney düzeneği kontrol hacmi modellemesi

Kütlenin korunumu ilkesine göre sürekli akışlı açık sistemlerde  $\Delta t$  zaman aralığında sistemin çevreyle olan kütle geçişi ile kontrol hacminin kütle değişimi birbiriyle aynıdır. Buradan özetle aşağıdaki formülü yazacak olursak

$$\begin{aligned} & (\text{KH'ine giren kütle}) - (\text{KH'den çıkan kütle}) \\ & = (\text{KH'deki toplam kütle değişim}) \end{aligned}$$

Yani

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

Sürekli akışlı açık sistemde kontrol hacminde kütlede değişim olmadığından yani  $\Delta \dot{m}_{kh} = 0$  olduğundan,

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

Denklemleri yazılabilir. Termal enerjinin formülü de aşağıdaki gibi

$$\bar{Q}_{th} = \dot{m}(h_ç - h_g) \text{ [kW]} \quad (3.3)$$

$$\bar{Q}_{th} = \dot{m}c_p(T_ç - T_g) \text{ [kW]} \quad (3.4)$$

Hesaplanmaktadır. Ayrıca sistem enerji dengesi;

$$E_{giren} = E_{çıkan} \text{ [kW]} \quad (3.5)$$

Kontrol hacmine birim zamanda giren enerjilerin toplamı çıkan enerjilerin toplamına eşittir. Buradan çıkışla aşağıdaki denklemi yazacak olursak

$$\bar{Q}_g + \dot{W}_g + \sum_g (h + \frac{v^2}{2} + gz_g) = \bar{Q}_\zeta + \dot{W}_\zeta + \sum_\zeta (h + \frac{v^2}{2} + gz_\zeta) \text{ [kW]} \quad (3.5)$$

Denklem aşağıdaki gibi düzenlenirse;

$$\bar{Q}_{güneş} + \dot{W}_{fan} = \bar{Q}_{th} + P_{elektrik} \text{ [kW]} \quad (3.6)$$

Denklemini elde edilir. Kanatlardan olacak ısı transferinde ise, kanatçıklar için;

$$\bar{Q}_{kanatçik} = \eta_{kanatçik} h A_{kanatçik} (T_b - T_\infty) \text{ [kW]} \quad (3.7)$$

$$\eta_{kanatçik} = \frac{\tanh ml}{ml}, m = \sqrt{\frac{hp}{kA_{kanatçik}}} \quad (3.8)$$

Burada tek bir kanatçık için hesaplanan  $\bar{Q}_{kanatçik}$  tüm kanatçıklar için hesaplanırsa N adet kanatçık sayısı için,

$$\bar{Q}_{kanatlar} = N \eta_{kanatçik} h A_{kanatçik} (T_b - T_\infty) \text{ [kW]} \quad (3.9)$$

Denklemini elde edilir.

$$\bar{Q}_{kanatsız} = h A_{kanatsız} (T_b - T_\infty) \text{ [kW]} \quad (3.10)$$

$$\bar{Q}_{toplam} = \bar{Q}_{kanatsız} + \bar{Q}_{kanatlar} \text{ [kW]} \quad (3.11)$$

Buradan Denklem (3.0) da yerine yazıldığında

$$\bar{Q}_{th} = \dot{m} c_p (T_\zeta - T_g) = \bar{Q}_{kanatsız} + \bar{Q}_{kanatlar} \text{ [kW]} \quad (3.12)$$

$$\bar{Q}_{th} = \dot{m} c_p (T_\zeta - T_g) = [(A_{kanatsız}) + (N \eta_{kanatçik} A_{kanatçik})] h (T_b - T_\infty) \text{ [kW]} \quad (3.13)$$

Eşitliği elde edilir. Yüzeydeki boyutsuz sıcaklık gradyanına eşit olan Nusselt sayısı yüzeyden taşınım ile olan ısı transferinin bir ölçüsüdür.

$$Nu = \frac{h \cdot D_h}{k_{hava}} \quad (3.14)$$

$$D_h = \frac{4A_c}{P} \text{ [m]} \quad (3.15)$$

Birinci yasa verimi ise genel olarak

$$\eta_I = \frac{\bar{Q}_{th+Pe}}{\bar{Q}_G + W_{fan}} \quad (3.16)$$

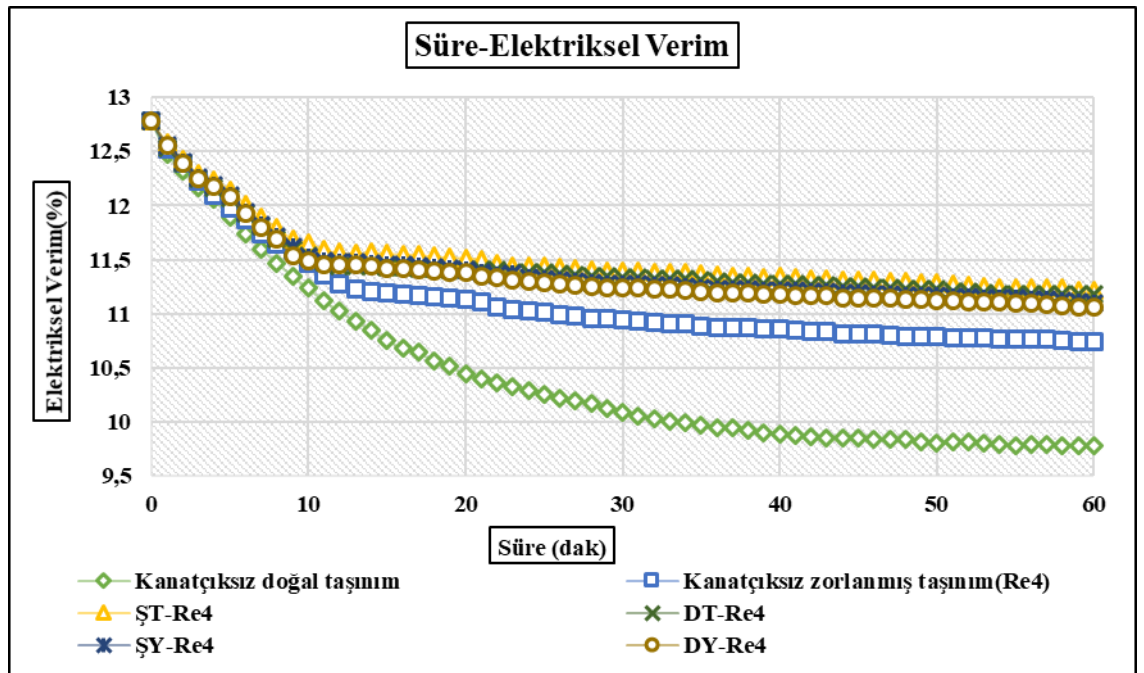
Üstteki formülde  $\bar{Q}_G$  ışıınım şiddetinin fotovoltaik panel yüzey alanının çarpımıdır

$$\bar{Q}_G = I_f \cdot A_{ph} \text{ [W]} \quad (3.17)$$

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

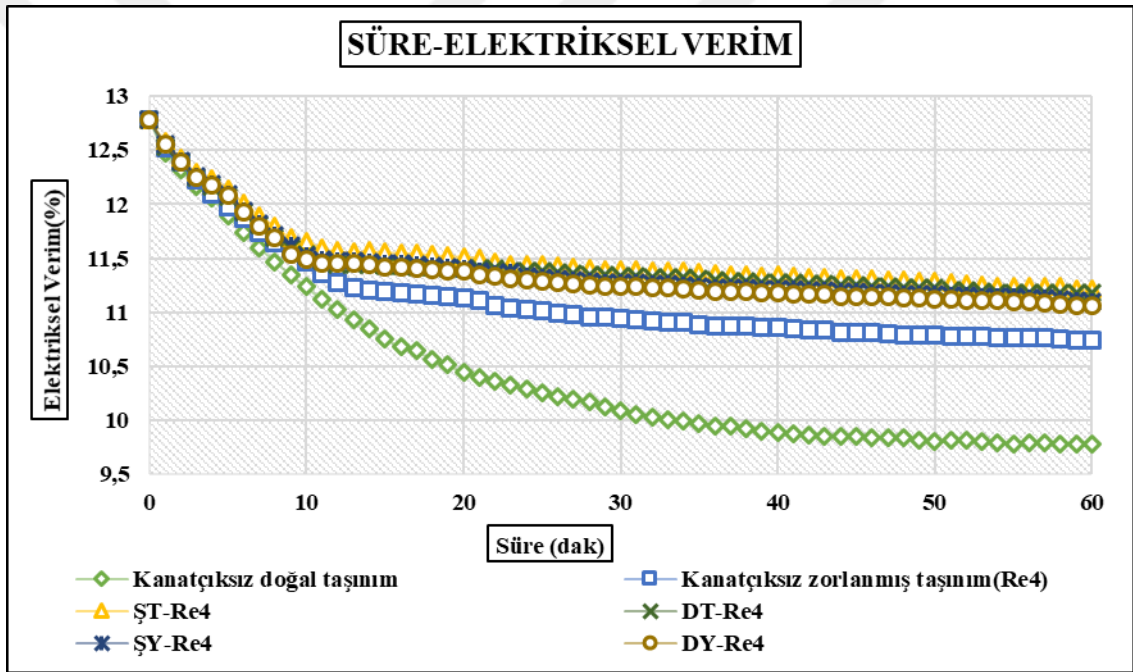
### 4.1. Deneysel Ölçümler

Deney düzeneği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yenilenebilir Enerji Laboratuvarında yapılmıştır. 20 W polikristal bir adet fotovoltaik panel kullanılarak yapılan deneyler panel arkasında bir kontrol hacmi oluşturularak ölçümler yapılmıştır. Güneş enerjisi olarak yapay ışınım kaynağı kullanılmıştır. Deneyler tam silindirik kanatçık, yarı silindirik kanatçık, kanatçiksiz-zorlanmış taşınım durumunda dört farklı hava hızıyla üç farklı ışınım değeriyle yapılmıştır. Kontrol hacmine 6 sıra 5 adet, 1 sıra 4 adet olmak üzere toplam 34 adet kanatçık kullanılmıştır. Elde edilen sonuçların değerlendirilebilmesi açısından fotovoltaik panelin üç farklı ışınımda soğutma yapılmadan performansı da ayrıca ölçülmüştür. Deney düzeneğinde kullanılan tüm ölçüm aletleri kalibrasyonu yapıldıktan sonra deneylere başlanmıştır. Deneylerin amacı kanatçık tiplerinin, dizilim şekillerinin ve hava debilerinin enerji verimliliğini artırmak ve verimlilik performansları üzerine odaklanmaktır.



Şekil 4.1. 600 W/m<sup>2</sup> ışınım altında Süre-Elektriksel verim grafiği

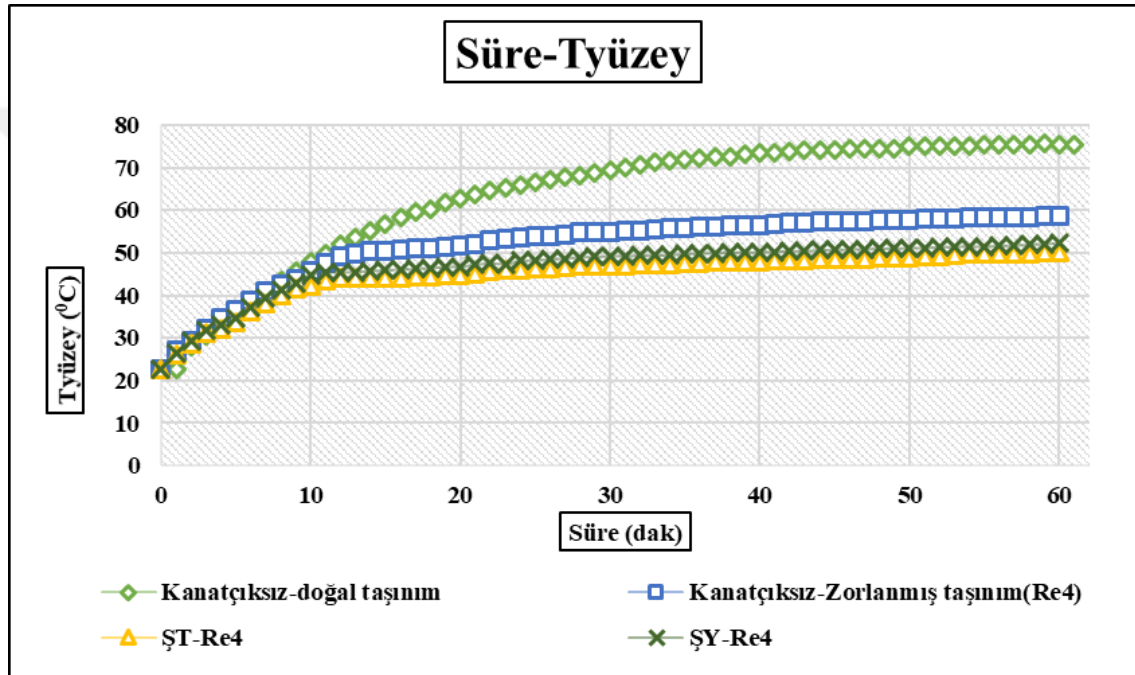
Şekil 4.1’de görüleceği üzere fotovoltaik panel  $600 \text{ W/m}^2$  ışınımına maruz kaldığında kısa bir süre sonra panel yüzeyinin ısınmasına bağlı olarak elektriksel verimi %10,33’den %8,58’e kadar düşmüştür. Bu verim düşüşünü azaltmak amacıyla yapılan panel yüzeyini soğutma işleminde kanatçık kullanılmadan bile verimin %9,25 gibi bir değerde tutulabildiği görülmüştür. Kullanılan kanatçık tiplerinden yarım silindirik kanatçık ile bu düşüş daha az olmuş, verim şaşırtmalı dizilimde %9,40’da kalmıştır. Tam silindirik kanatçık kullanımında ve düz dizilime elektriksel verim %9,46 olurken, şaşırtmalı dizilimde yakın olarak , %9,48 seviyeleri yakalanmıştır.



Şekil 4.2.  $1000 \text{ W/m}^2$  ışınım altında Süre-Elektriksel verim grafiği

Şekil 4.2’de  $1000 \text{ W/m}^2$  ışınım için verilen süre – elektriksel verim grafiğinde geleneksel fotovoltaik panelin elektriksel verim %12,78’den %9,78’e düştüğü görülmektedir. Fotovoltaik panelin kanatçısız-doğal taşınımlı durumu ile kontrol hacmine giren havanın Reynolds 3000 değerinde, farklı kanatçık tiplerinin farklı dizilimlerinde ve kanatçık kullanmadan zorlanmış taşınımlı durumundaki fotovoltaik panelin elektriksel verimindeki durum grafikte görülmektedir. Kanatçık kullanılmadan doğal taşınımlı durumda elektriksel verim %9,78’de kalırken ,kontrol hacmine giren havanın Reynolds değeri 3000 olduğunda yapılan deney sonucunda elektriksel verim

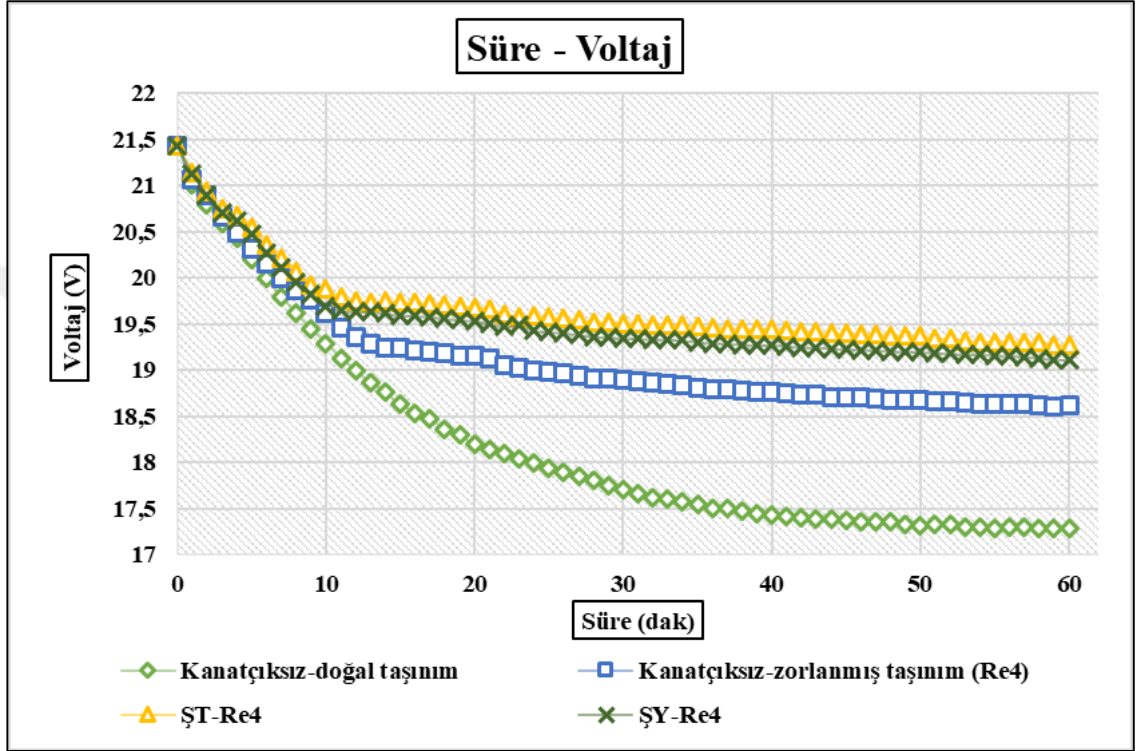
%10,74 civarında kalmıştır. Elektriksel verim yarım silindirik kanatçık tipinde şaşırtmalı dizilimde %11,10 civarında olurken, düz dizilimde de %11,06 seviyelerinde olmuştur. Grafikteki sonuçlar irdelendiğinde verimin 60 dakika sonunda en iyi olduğu durum tam silindirik kanatçık ve şaşırtmalı dizilim modeliyle dizilim uygulandığında yakalanmıştır. Elektriksel verim %11,22 seviyesinde kalmıştır. Aynı kanatçık tipinde düz dizilimde de buna çok yakın olarak %11,18 seviyelerindedir.



Şekil 4.3. 600 W/m<sup>2</sup> ışınlam altında Süre-Yüzey sıcaklığı grafiği

Şekil 4.3.'te 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlamaya maruz kaldığında fotovolt panelin, ışınlamaya maruz kaldığı süre içindeki yüzey sıcaklığındaki değişim görülmektedir. Grafikten de görüleceği gibi fotovoltaik panele aktif soğutma yapılmadığında kanatçiksız-doğal taşınımlı durumda panel arka yüzey sıcaklığı, geçen 60 dak. içinde 75,5 °C'ye kadar yükselirken kanatçiksız zorlanmış taşınım durumunda Reynolds 3000 değerindeki hava hızında bile 58,53 °C'ye kadar düşmektedir. Kanatçık kullanımının panel arka yüzeyinin sıcaklığına etkisi grafikten de net bir şekilde görülmektedir. Fotovoltaik panel yüzey sıcaklığı yine aynı süre içinde, yarı silindirik kanatçığın şaşırtmalı diziliminde 52,2°C olurken tam silindirik kanatçığın şaşırtmalı diziliminde ise 50,2 °C'ye kadar düşmektedir. Görüleceği üzere fotovoltaik panel yüzey sıcaklığı, kontrol hacminden

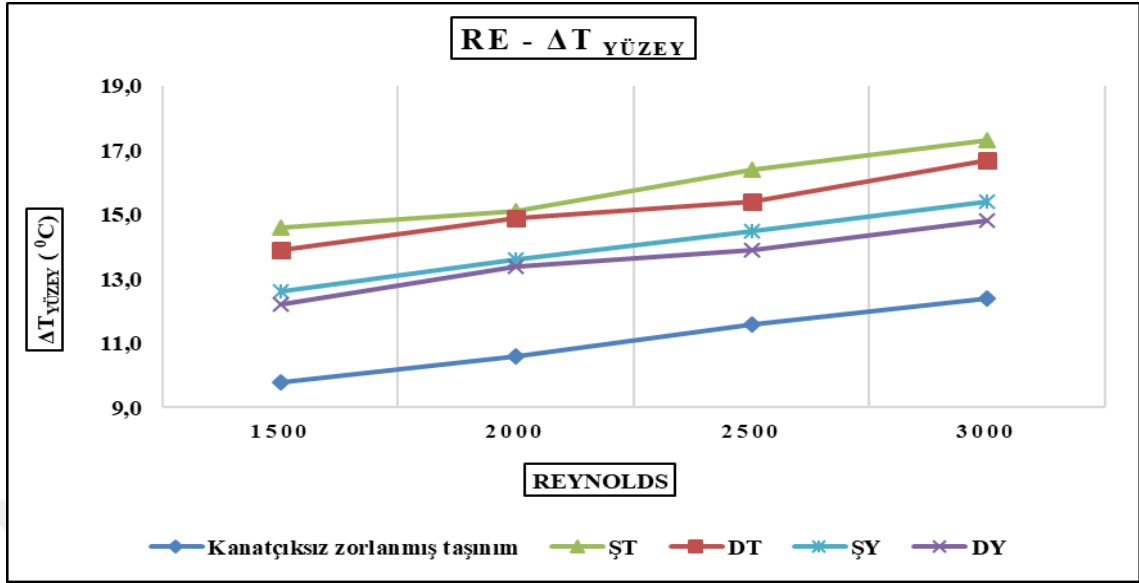
geçen hava ile yapılan soğutmada kanatçık kullanımı ile yaklaşık 23-25 °C kadar düşürülmüştür. Panel yüzeyinin sıcaklığının düşürülmesinde kanatçık kullanımı kullanılmayan duruma göre 6-8°C kadar ilave katkı sağlamıştır.



Şekil 4.4. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınım altında Süre-Voltaj değişim grafiği

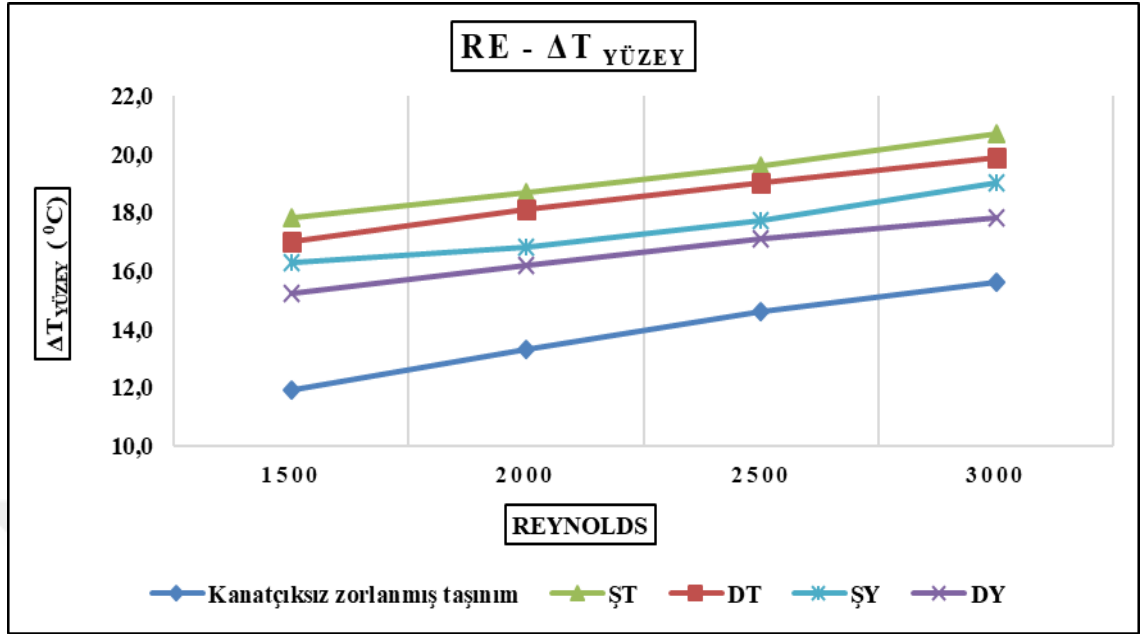
Fotovoltaik panelin 1000 W/m<sup>2</sup> ışınım altındaki voltaj değerinin süreyle değişim grafiği Şekil 4.4.'te gösterilmiştir. Deney çalışmasında fotovoltaik panel yüzeyi oda sıcaklığındayken yaklaşık 21,3 V gerilim oluşurken panel yüzeyinin ısınması sonucu 60 dakika içinde kanatçiksız-doğal taşınımlı durumda 17,28 V'a kadar düşmüştür. Kontrol hacminden hava geçirilerek Reynolds 3000 değerinde yapılan deney sonucunda ise aynı süre içinde kanatçiksız-zorlanmış taşınımlı durumda voltaj değeri 18,61 V, yarı silindirik kanatçığın şaşırtmalı diziliminde 19,10 V, tam silindirik kanatçığın şaşırtmalı diziliminde ise 19,26 V gerilim oluşmuştur. Fotovoltaik panelin yüzeyinin soğutulması kanatçık kullanılarak daha etkin olmuş, oluşan gerilim fotovoltaik panelin oda sıcaklığındaki değerinden daha az düşüş göstermiştir.





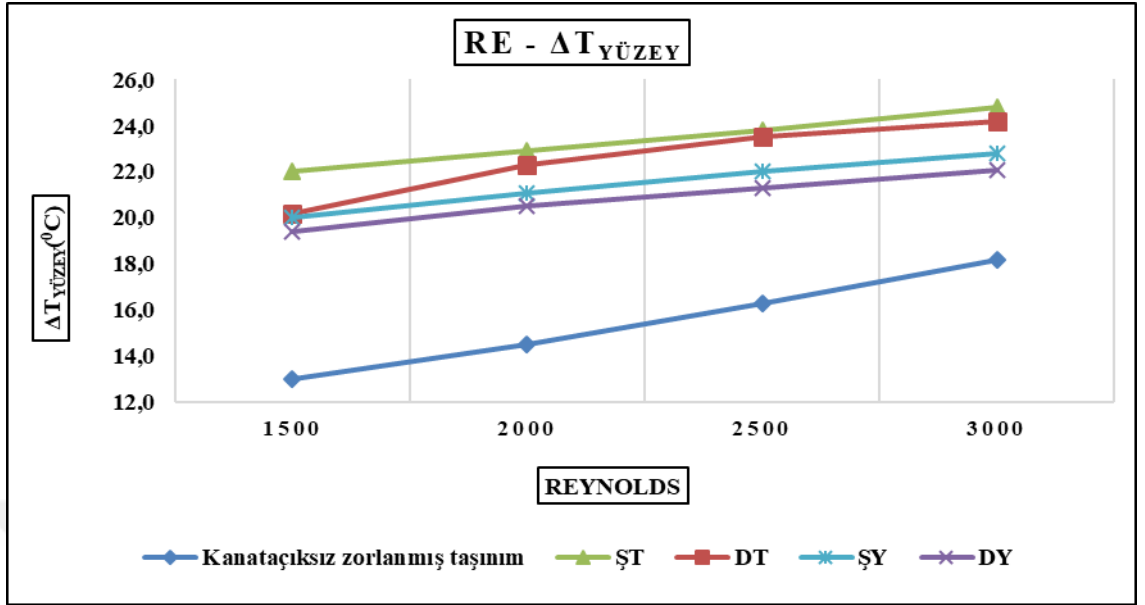
Şekil 4.5. 600 W/m<sup>2</sup> ışınım altında Reynolds- ΔTyüzey değişim grafiği

Fotovoltaik panelin 600 W/m<sup>2</sup> ışınım altında dört farklı hava hızında, kanatçksız, tam silindirik ve yarı silindirik kanatçık tipleri ve bunların iki farklı dizilimlerinin panel yüzeyini soğutma kapasitesini Şekil 4.5.'te gösterilmektedir. Bu grafikte de görüleceği gibi fotovoltaik panel yüzeyi kanatçık kullanılmadan Reynolds, 1500 iken 9,8°C, 3000 olduğunda ise 12,4°C civarında soğutulmuştur. Şekildeki grafikten de görüleceği üzere panel yüzeyindeki sıcaklık değişimi miktarı, kontrol hacminden geçen havanın Reynolds değeri 1500 iken yarı silindirik kanatçık düz dizilimde 12,2°C, şaşırtmalı dizilimde 12,6°C olurken, tam silindirik kanatçık tipinde düz dizilimde 13,9 °C, şaşırtmalı diziliminde de 14,6°C olmuştur. Fotovoltaik panel yüzey sıcaklığındaki değişim Reynolds değeri 3000 olduğunda ise yarı silindirik kanatçığın düz diziliminde 14,8 °C, şaşırtmalı diziliminde 15,4°C civarında olurken , tam silindirik kanatçıkta da düz dizilim modelinde 16,7 °C, şaşırtmalı dizilimde ise 17,3°C civarında olmuştur. Buna göre, 600 W/m<sup>2</sup> ışınım değerinde yarı silindirik ve tam silindirik kanatçık tiplerinde düz dizilimde kullanılan hava hızı Reynolds 1500 iken sırasıyla 12,2°C ve 13,9°C, Reynolds 3000 olduğunda ise yine sırasıyla 14,8°C ve 16,7°C arasında panel yüzeyi soğutulabilmiştir. Panel yüzeyindeki sıcaklık düşüşü en çok tam silindirik kanatçık tipinde şaşırtmalı dizilimde ve kontrol hacmindeki havanın Reynolds değeri 3000 olduğunda kaydedilmiştir.



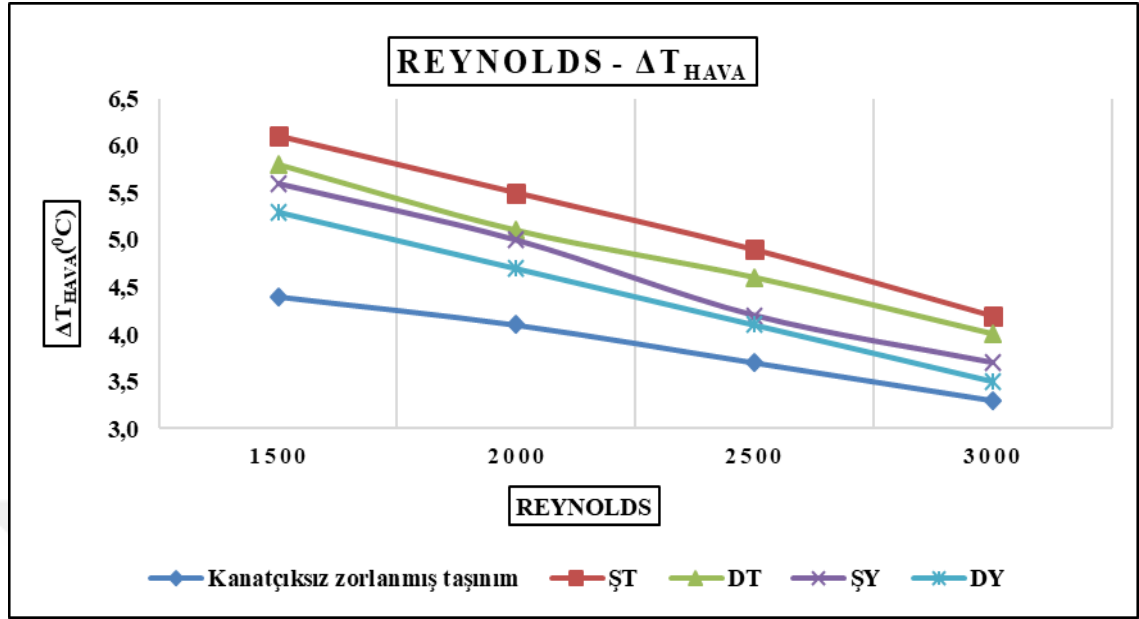
Şekil 4.6. 800 W/m<sup>2</sup> ışınlm altında Reynolds- ΔTyüzey değışim grafiği

Fotovoltaik panele uygulanan 800 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetinde ve dört farklı hava hızında Şekil 4.6'te kanatçksız, tam silindirik ve yarı silindirik kanatçıklarla şaşırtmalı ve düz dizilim modeliyle sıcaklık değışimi grafiği verilmiştir. 800 W/m<sup>2</sup> ışınlm şiddetinde kanatçık kullanılmadan doğrudan kontrol hacminden hava geçirilmek suretiyle yapılan soğutma sonuçları, kontrol hacminden geçen havanın Reynolds değeri 1500 ve 3000 olduğunda sırasıyla 11,9°C ve 15,6°C olmuştur. Fotovoltaik panel yüzeyindeki sıcaklık düşüşü kontrol hacminden geçen havanın Reynolds değeri 1500 ve 3000'e doğru artırıldığında yarı silindirik kanatçıkta düz dizilimde olarak 15,2°C'den başlayarak 17,8 °C şaşırtmalı dizilimde ise 16,3°C'den 19,0°C'ye kadar çıkmaktadır. Aynı Reynolds değerlerindeki panel sıcaklığındaki düşüş, tam silindirik kanatçıkta ise düz dizilimde 17 °C ila 19,9°C olurken, şaşırtmalı dizilimde ise 17,8 °C ile 20,7 °C olarak ölçülmüştür. Şekil 4.6. incelendiğinde panel yüzeyindeki sıcaklık düşüşü yarı silindirik ve tam silindirik kanatçığın panel yüzeyinde hava hızına paralel olarak artmaktadır. Şekillerden de anlaşılacağı üzere kanatçık kullanımıyla yapılan aktif soğutma kanatçık kullanılmadan yapılan soğutmaya göre yüzey sıcaklığındaki farkı yaklaşık 5-6°C bandında artmaktadır.



Şekil 4.7. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlm altında Reynolds- ΔTyüzey değışim grafiği

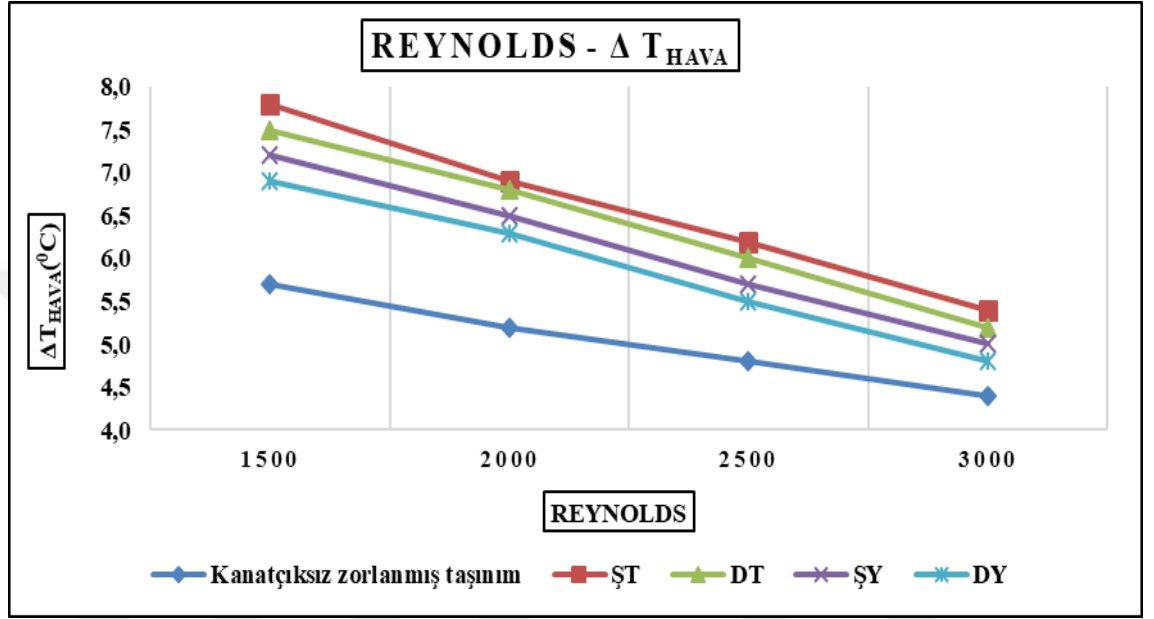
Fotovoltaik panel yüzeyine uygulanan ışınlm şiddeti 1000 W/m<sup>2</sup> olduğunda panel yüzeyini aktif soğutma yapmak için kanataçksız zorlanmış taşınım, tam ve yarı silindirik kanataçıkların şaşırtmalı ve düz diziliminin panel yüzeyindeki sıcaklık değışiminin kontrol hacminden geçen havanın Reynolds değeriine bağlı değışimi Şekil 4.7.'de grafik halinde verilmiştir. Buna göre kanataçık kullanılmadan sadece kontrol hacminden hava geçirilmek suretiyle yapılan soğutma işleminde panel yüzeyi hıza bağlı olarak 13°C ila 18,2°C arasında soğutulmuştur. Bu değerler şaşırtmalı dizilimde yarı silindirik kanataçık kullanıldığında 20°C-22,8°C arasında tam silindirik kanataçık kullanımında ise 22,0°C -24.8°C arasında olmuştur. Kanataçıkların düz diziliminde ise Fotovoltaik panel yüzeyindeki sıcaklık değışimi yarı silindirik kanataçıkta 19,4°C -22,1°C arasında tam silindirik kanataçıkta ise 20,2°C ila 24,2°C arasında yine hıza bağlı olarak değışmektedir. Kanataçık kullanımı fotovoltaik panel yüzeyini soğutmada kanataçık kullanılmayan duruma göre 8-10°C arasında daha etkin soğutmaya neden olmuştur.



Şekil 4.8. 600 W/m<sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds- ΔThava değişim grafiği

600 W/m<sup>2</sup> ışınımına maruz kalan fotovoltaik panelden geçirilen havanın sıcaklık değişiminin hava hızıyla değişim grafiği Şekil 4.8.'de, kanatçıksız-zorlanmış taşınım durumu, kanatçıkların düz ve şaşırtmalı dizilimleri ile yapılan deneylerin sonuçları gösterilmiştir. Fotovoltaik panel yüzeyinden kanatçık kullanılmadan kontrol hacmi içinden geçen hava panel yüzeyini soğutarak başka bir deyişle geçen havanın ısı yüklenmesine neden olmuştur. Kontrol hacminden geçirilen havanın debisi artırıldıkça sıcaklık farkı ters orantılı şekilde düşmüştür. Kanatçıksız durumda giriş ve çıkış havası arasındaki sıcaklık artışı havanın hızına bağlı olarak 4,4°C ile başlamış hava hızı artırıldıkça 3,3°C'ye kadar düşmüştür. Hava sıcaklığındaki değişim şaşırtmalı dizilimde yarı silindirik kanatçık kullanıldığında Reynolds değeri, 1500'de 5,6°C olurken 3000'e çıkarıldığında 3,7°C olarak ölçülmüştür, tam silindirik kanatçık kullanıldığında ise aynı hava hızlarında sırasıyla 6,1°C ve 4,2°C değişmiştir. Yarı silindirik kanatçıkla düz dizilimde yapılan deneyde ise hava sıcaklığındaki değişim 5,3°C ila 3,5°C bandında oluşurken tam silindirik kanatçıkta 5,8°C ila 4,0°C arasında değiştiği gözlenmiştir. Kanatçıklar ve dizilim şekilleri arasında en iyi performans tam silindirik kanatçıkta ve şaşırtmalı dizilimde olmuştur. Giriş ve çıkış havası sıcaklıkları arasındaki değişim, tam silindirik kanatçığın şaşırtmalı dizilimiyle, kanatçıksız-zorlanmış taşınımli durum mukayese edildiğinde kontrol hacmine giren havanın Reynolds değeri 1500 olduğunda

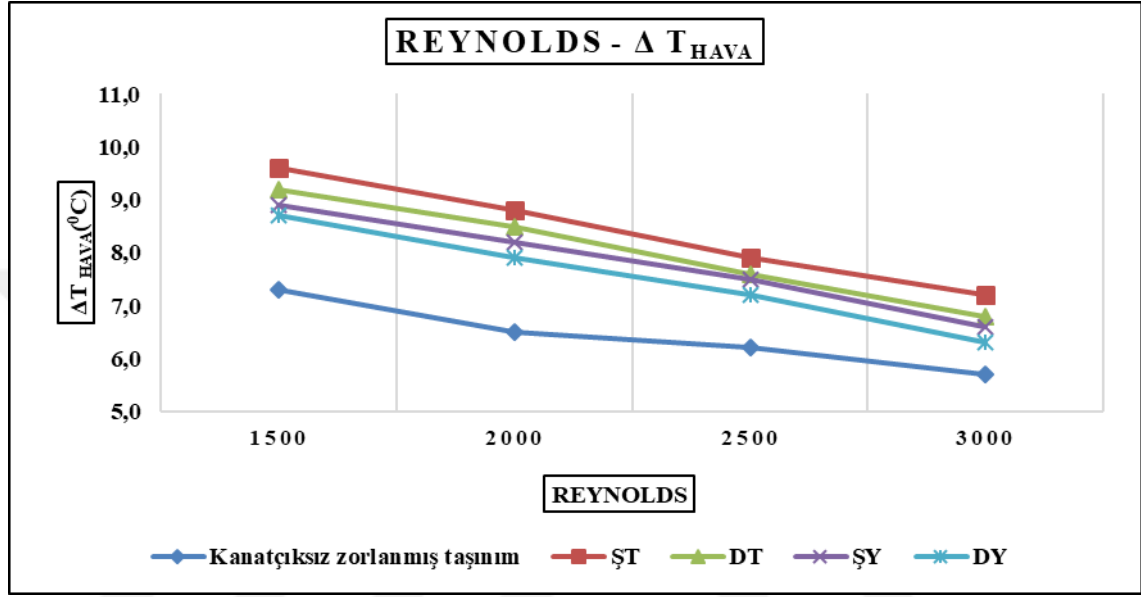
%38,6 artarken Reynolds 3000 değerinde %27,2 artış sağlanmıştır. Yapılan deneylerde tüm kanatçıkların kanatçiksız duruma göre yaklaşık hava sıcaklığında 0,4°C ila 1,7°C arasında ilave artış olmuştur.



Şekil 4.9. 800 W/m<sup>2</sup> ışınım altında Reynolds- ΔThava değişim grafiği

Şekil 4.9.'de fotovoltaik panelin 800 W/m<sup>2</sup> ışınımına maruz kaldığında fotovoltaik panel arkasında kontrol hacmi içinde yerleştirilen kanatçıkların düz ve şaşırtmalı dizilimleri ile kanatçiksız-zorlanmış taşınım durumunun kontrol hacmine giren ve çıkan havanın Reynolds değeriyle sıcaklığındaki değişimi gösterilmiştir. Kontrol hacminden geçen havanın sıcaklığı, kanatçiksız-zorlanmış taşınımlı durumda yapılan deneyde uygulanan en düşük hızda 5,7°C en yüksek hızda 4,4°C arasında artmıştır, kanatçıkların şaşırtmalı diziliminde yarı silindirik kanatçık hıza bağlı olarak 7,2°C ila 5,0°C arasında artış sağlanırken tam silindirik kanatçık kullanımında ise 7,8°C ila 5,4°C arasında arttığı tespit edilmiştir. Aynı kanatçık tiplerinin düz dizilimlerine ait hava sıcaklığı değişimi, yarı silindirik kanatçık kullanıldığında Reynolds 1500 iken 6,9°C, Reynolds 3000 olduğunda 4,8°C, tam silindirik kanatçıkta sırasıyla 7,5°C ila 5,2°C arasında artmıştır. Bu verilere göre kanatçık kullanımı kontrol hacminden geçen havanın sıcaklığının artmasını olumlu etkilemiştir. Kontrol hacminden geçen havanın sıcaklığının artmasında en etkin parametre tam silindirik kanatçık tipinde şaşırtmalı dizilim modeliyle olmuştur.

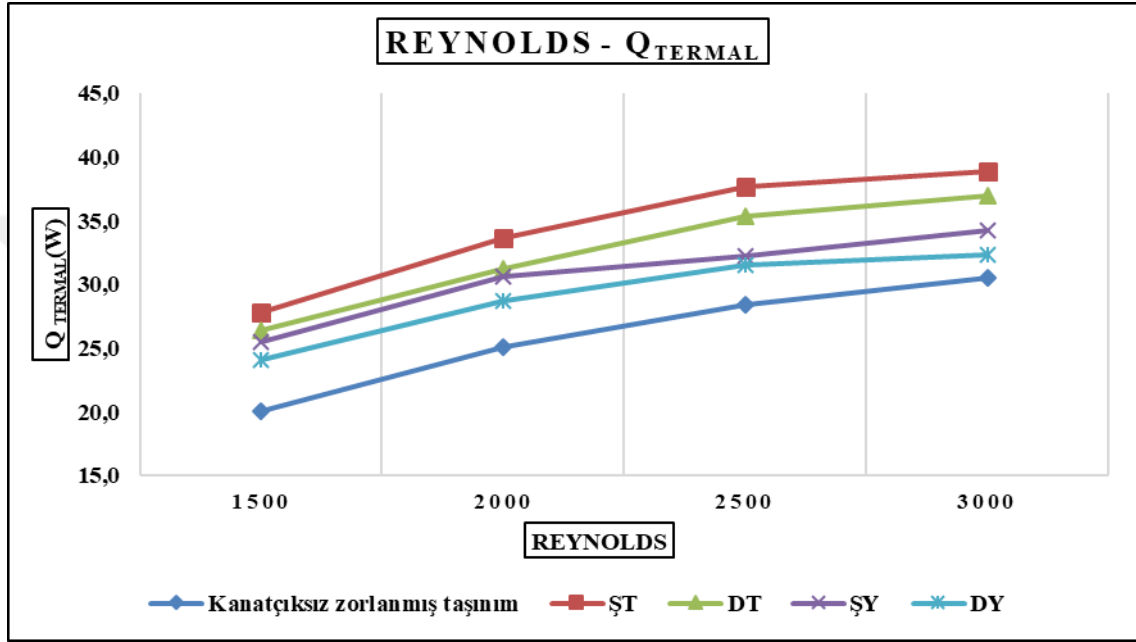
Tam silindirik kanatçık tipi şaşırtmalı dizilimi durumu kanatçiksız-zorlanmış taşınımlı duruma duruma göre kontrol hacminden geçen havanın sıcaklığını, Reynolds değerine bağlı olarak %22 ila %36 arasında artırmıştır.



Şekil 4.10. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds- ΔThava değişim grafiği

Şekil 4.10.'da fotovoltaik panel üzerine uygulanan 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlım şiddetinde fotovoltaik panele yerleştirilen tam ve yarı silindirik alüminyum kanatçıkların düz ve şaşırtmalı dizilimi ile kanatçık olmayan zorlanmış taşınım durumunun kontrol hacminden geçen havanın sıcaklığının değişim grafiği verilmiştir. Şekil 4.10.'daki grafik eğrileri incelenecek olursa fotovoltaik panel yüzeyinden geçirilen havanın Reynolds değeri 1500'den 3000'e artarken kontrol hacminden geçen havanın sıcaklığı kanatçiksız-zorlanmış taşınımlı durumda 7,3°C ila 5,7°C arasında, şaşırtmalı dizilimde yarı silindirik kanatçık kullanıldığında 8,9°C ila 6,6°C arasında, tam silindirik kanatçık kullanıldığında ise 9,6 ila 7,2°C arasında arttığı gözlemlenmiştir. Aynı hava hızlarında aynı kanatçık tipleriyle düz dizilimde kontrol hacminden geçen havanın sıcaklığında ise yarı silindirik kanatçıkta 8,7°C ila 6,3°C arasında, tam silindirik kanatçık kullanıldığında da 9,2°C ila 6,8°C arasında artış sağlanmıştır. Kontrol hacminden geçen hava en fazla tam silindirik kanatçık kullanımı şaşırtmalı dizilimde 9,6°C ila 7,2°C arasında olmuştur. Kanatçiksız-zorlanmış taşınımlı duruma göre geçen havanın ısı

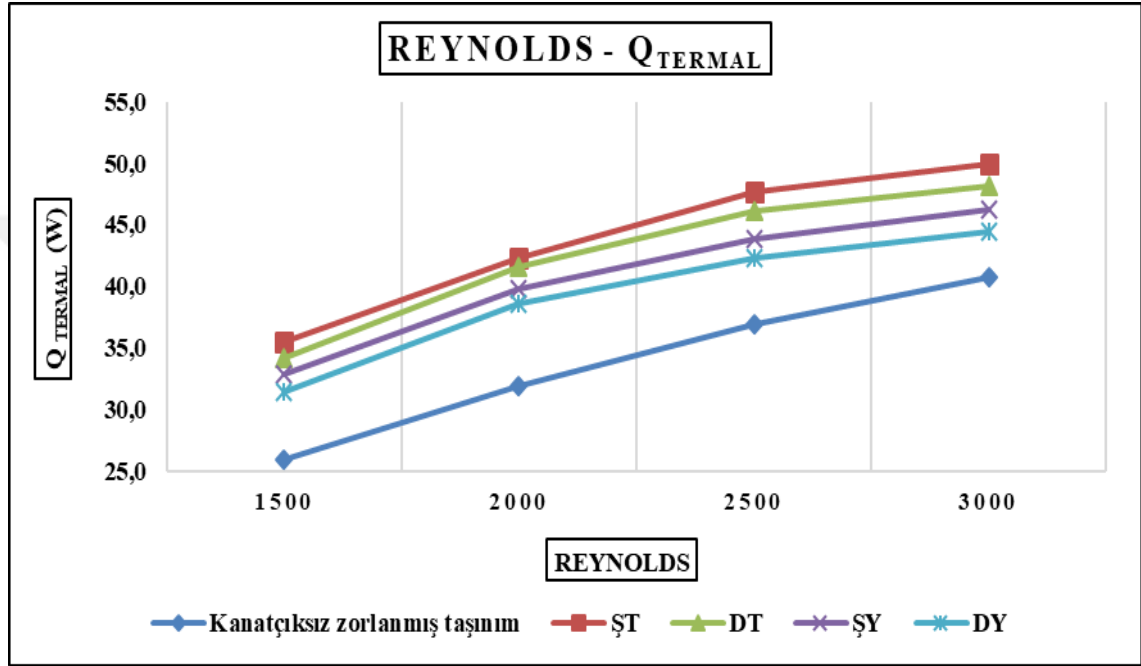
yüklenmesinde %26 - %31 arasında daha etkili olmuştur. Bu sonuçlardan da görüldüğü gibi kanatçık kullanımı hava sıcaklığının artmasında bir başka ifadeyle fotovoltaik panelin yüzeyinin soğumasında olumlu yönde katkı sağlamıştır. Fotovoltaik panel yüzeyinin soğumasıyla birlikte elektriksel verimin artması sağlanmıştır.



Şekil 4.11. 600 W/m<sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds-  $\dot{Q}_{\text{termal}}$  değişim grafiği

Fotovoltaik panel yüzeyine 600 W/m<sup>2</sup> ışınlım uygulandığında Reynolds sayısı ile termal enerjinin değişim grafiği Şekil 4.11’de verilmiştir. Fotovoltaik panel 600 W/m<sup>2</sup> ışınlıma maruz bırakıldığında elde edilen ısı miktarı, kanatçıksız-zorlanmış taşınımli durumda Reynolds değeri yaklaşık 1500 iken 20,03 W iken, Reynolds değeriyle birlikte paralel olarak artmış Reynolds yaklaşık 3000 olduğunda 30,53W’a kadar çıkmıştır. Yarı silindirik kanatçığın şaşırtmalı dizilimiyle elde edilen sonuçlarda elde edilen ısı miktarı ise Reynolds’a bağlı olarak 25,50 W ile 34,23 W arasında değişirken, tam silindirik kanatçıkla yapılan deneyde de 27,78 W ile 38,85 W arasında olmuştur. Düz dizilim modeliyle yapılan deneylerde yarı silindirik kanatçık Reynolds yaklaşık 1500 olduğunda 24,13 W iken Reynolds’la birlikte artmaya devam etmiş Reynolds 3000’e ulaştığında 32,38 W kadar ısı elde edilirken, tam silindirik kanatçık kullanıldığında da aynı Reynolds değerleri için sırasıyla 26,42 W ila 37,01W arasında ısı kazanımı

olmuştur. Şekil'den de görüleceği üzere elde edilen ısı miktarı kanatçiksız-zorlanmış taşınımlı durumla kıyaslandığında 7-8 W bandında bir başka ifadeyle %36-%27 arasında ilave bir artışla en fazla tam silindirik kanatçığın şaşırtmalı diziliminde olmuştur.

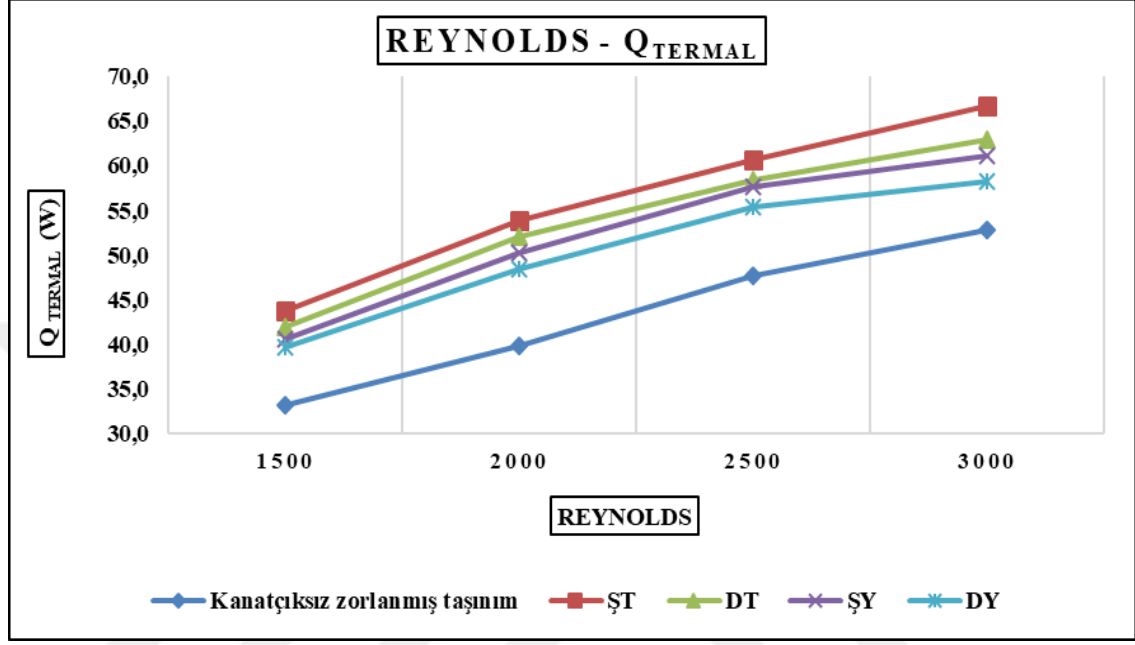


Şekil 4.12. 800 W/m<sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds-  $\bar{Q}$ termal değişim grafiği

Kontrol hacminden fotovoltaik panelden üzerinden belirli Reynolds değerlerinde geçirilen hava panel yüzeyinden aldığı ısı miktarı Şekil 4.12.'de verilmiştir. Şekil 4.12.'deki grafik eğimlerini incelediğimizde panele uygulanan ışınlım 800 W/m<sup>2</sup> olduğunda kanatçiksız-zorlanmış taşınımlı durumda alınan toplam termal enerji, Reynolds 1500 değerindeyken 25,96 W iken Reynolds 3000 olduğunda 40,70 W olmaktadır. Kanatçık kullanımında ise ışınlım değeri değiştirilmeden termal enerji kazancı kanatçık türü ve dizilişine bağlı olarak değişmekle birlikte Reynolds 1500 iken 31,0 W -35,5 W aralığında Reynolds 3000'e çıkarıldığında ise 44,40 W – 49,96 W değerlerine çıkmaktadır. Aynı ışınlım değerinde bile kanatçık kullanımı termal enerji kazancının kanatçiksız-zorlanmış taşınımlı duruma göre %36 - %22 oranında artış sağlanmıştır. En yüksek ısıl enerji kazancı tam silindirik kanatçık şaşırtmalı dizilimde sağlanmış en düşük ısıl enerji kazancı ise yarım silindirik kanatçık türünde ve düz



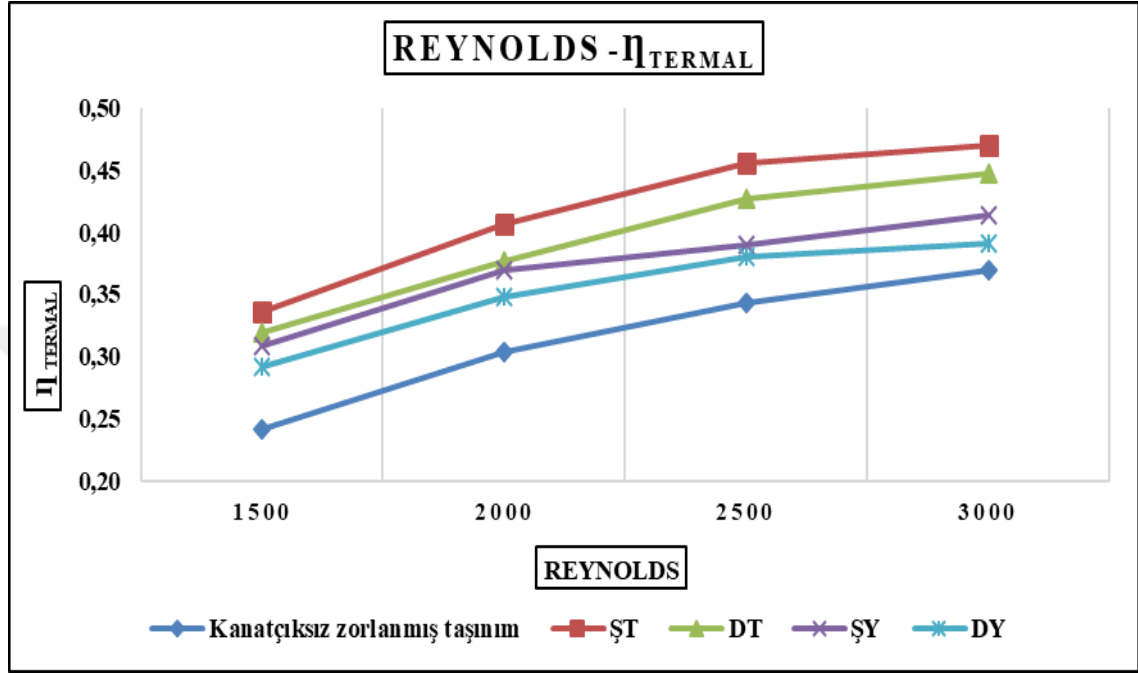
dizilim şekliyle olmuştur. Grafikten de görüleceği üzere eğilimler genel hatlarıyla aynı olmuştur.



Şekil 4.13. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds-  $\dot{Q}_{\text{termal}}$  değişim grafiği

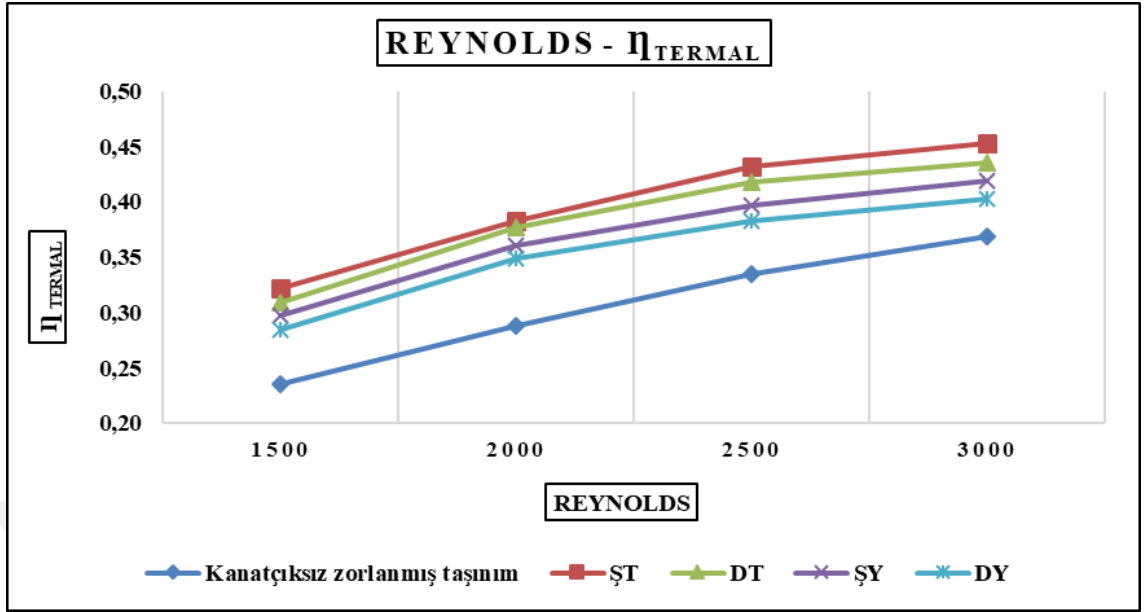
Fotovoltaik panele uygulanan ışınlım şiddeti 1000 W/m<sup>2</sup> olduğunda kontrol hacminden geçirilen havanın panel yüzeyinden çektiği ısı miktarının Reynolds değeriyle değişim grafiği Şekil 4.13'te verilmiştir. Grafik incelendiğinde Reynolds değeri 1500 olduğunda kanatçıksız-zorlanmış taşınımlı durumda panelden alınan termal enerji miktarı 33,25 W iken bu değer Reynolds değeri artışına paralel olarak artmakta uygulanan en büyük Reynolds değeri 3000 olduğunda ise 52,73 W olmuştur. Yarı silindirik kanatçıkta şaşırtmalı dizilimde panel yüzeyinden çekilen ısı miktarı, Reynolds yaklaşık 1500 değerinde 40,53 W, Reynolds yaklaşık 3000 değerine yükseltildiğinde ise 61,05 W olurken, tam silindirik kanatçık ve şaşırtmalı dizilimde deneyde kullanılan Reynolds 1500 iken 43,73 W, Reynolds yaklaşık 3000 olduğunda ise 66,60 W'a kadar çıktığı görülmektedir. Kanatçıkların düz dizilimlerinde ise yarı silindirik kanatçıkta Reynolds'a bağlı olarak 39,62 W ile 58,28 W arasında, tam silindirik kanatçıkta ise 41,90 W ile 62,91 W arasında termal enerji elde edilmiştir. Sonuçlardan da görüleceği gibi alınan ısı miktarı en fazla tam silindirik kanatçıkta olmuştur, kanatçıksız-zorlanımlı duruma göre

panel yüzeyinden çekilen ısı miktarı, Reynolds değeri yaklaşık 1500 iken %31, Reynolds değeri 3000 olduğunda ise %26,3 daha fazla olmuştur.



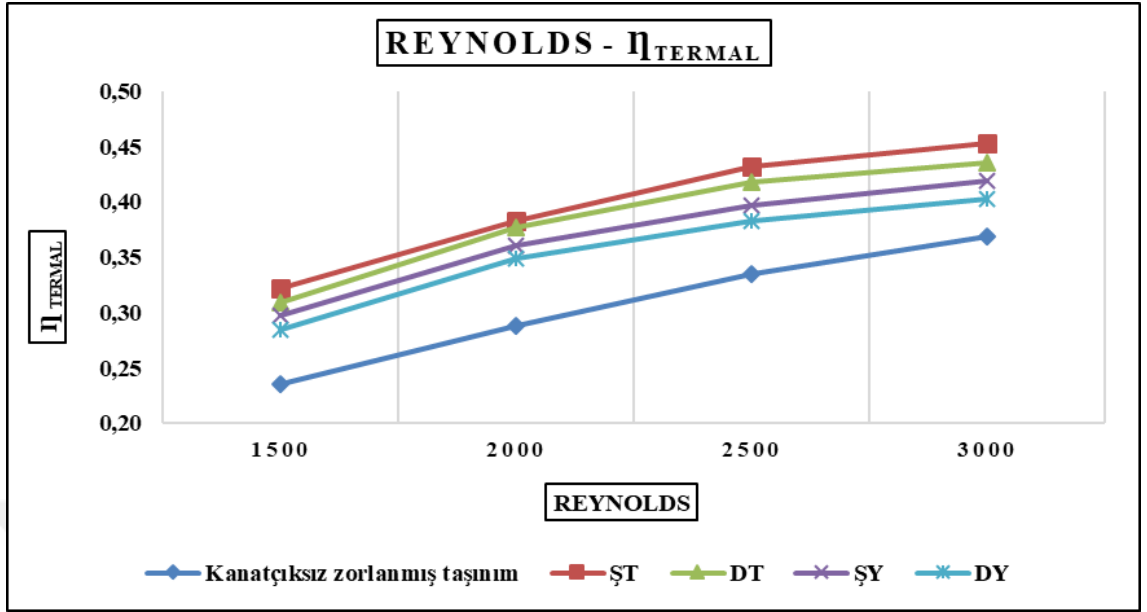
Şekil 4.14. 600 W/m<sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds- Termal verim değışim grafiği

600 W/m<sup>2</sup> ışınlım şiddeti uygulanan fotovoltaik panelin termal verimin Reynolds değeriyle değışim grafiği Şekil 4.14'te verilmiştir. Grafikten de görüleceği üzere termal verim, Reynolds 1500 ile 3000 arasında değışirken kanatçksız-zorlanmış taşınımlı durumda %24,21 ila %36,88, yarı silindirik kanatçığın şaşirtmalı diziliminde %30,81 ila %41,35, düz diziliminde %29,16 ila %39,12, tam silindirik kanatçığın şaşirtmalı diziliminde %33,57 ila %46,94, düz diziliminde ise %31,91 ila %44,71 arasında olmuştur. Termal verimin kanatçıklar arasında en düşük değeri yarı silindirik kanatçığın düz diziliminde olurken en yüksek değeri tam silindirik kanatçıkta şaşirtmalı dizilimde meydana gelmiştir. Tam silindirik kanatçık, kanatçksız-zorlanmış taşınımlı duruma göre termal verimde yaklaşık %9-10 arasında artış sağlanmıştır.



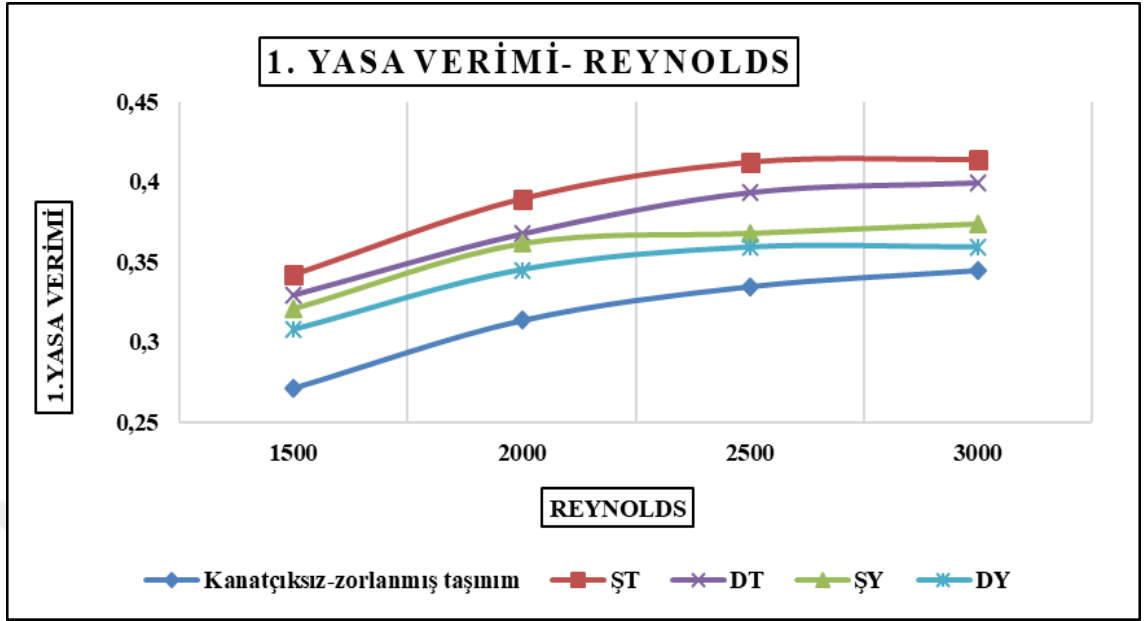
**Şekil 4.15.** 800 W/m<sup>2</sup> ışınım altında Reynolds- Termal verim değişim grafiği

800 W/m<sup>2</sup> ışınım şiddeti uygulanan fotovoltaik panelin termal verimin Reynolds değeriyle değişim grafiği Şekil 4.15'te verilmiştir. Şekil 4.15.'teki grafikten görüleceği üzere termal verim, Reynolds 1500 ile 3000 arasında değişirken kanatçksız-zorlanmış taşınım durumunda %23,52 ila %36,88, yarı silindirik kanatçığın şaşkırtmalı diziliminde %29,71 ila %41,91, düz diziliminde %28,48 ila %40,24, tam silindirik kanatçığın şaşkırtmalı diziliminde %32,19 ila %45,27, düz diziliminde ise %30,95 ila %43,59 arasında olmuştur. Termal verimin kanatçıklar arasında en yüksek değeri tam silindirik kanatçıkta şaşkırtmalı dizilimde meydana gelmiştir. Tam silindirik kanatçık, kanatçksız-zorlanmış taşınımlı duruma göre termal verimde yaklaşık %9 arasında artış sağlanmıştır.



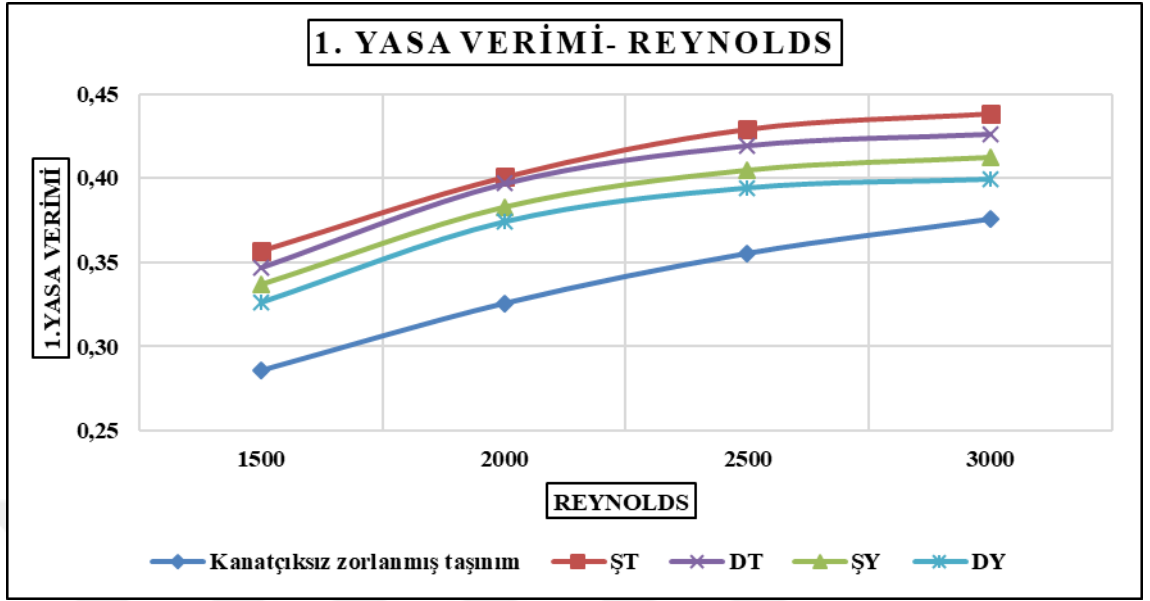
**Şekil 4.16.** 1000 W/m<sup>2</sup> ışınım altında Reynolds-Termal verim değişim grafiği

Şekil 4.16'da görüldüğü gibi fotovoltaik panel 1000 W/m<sup>2</sup> ışınımına maruz kaldığında kontrol hacminden geçirilen havanın Reynolds değeri arttıkça diğer bir deyişle kontrol hacminden geçme hızı arttıkça termal verimin arttığı gözlemlenmektedir. Termal verim değeri, fotovoltaik panele kanatçksız-zorlanmış taşınım durumunda kontrol hacminden 4 farklı hızda geçirilen hava ile en düşük Reynolds değerinde %24,10 iken, en yüksek Reynolds değerinde ise %38,23 değerine çıkmaktadır. Fotovoltaik panele kanatçık yerleştirildiğinde ise termal verim en düşük Reynolds değerinde kullanılan kanatçık tipi ve diziliş şekline göre %28,7 ila %31,69 arasında değişirken, Reynolds değeri arttıkça artmaya devam etmiş en yüksek Reynolds değerinde ise %42,25 ila %48,28 değerleri arasında olmuştur. Sonuçlar göstermektedir ki; termal verim kanatçık kullanılan durum kanatçık kullanılmayan duruma göre yaklaşık %5-%10 daha yüksek olmuştur. Aynı ışınım şiddeti ve aynı hava hızında termal verim kanatçık tipine ve diziliş şekline göre değişmektedir. Kullanılan kanatçık tipleri kıyaslandığında termal verim, tam silindirik kanatçık tipinin şaşırtmalı diziliş durumunda en yüksek olurken yarım silindirik kanatçık tipinde ve düz dizilimde de en düşük olduğu görülmüştür. Şekil 4.14. ve Şekil 4.15.'deki grafikler incelendiğinde de kanatçık kullanımının ve hava hızının değişmesi ile termal verim arasındaki değişimin benzer olduğu, görülmüştür.



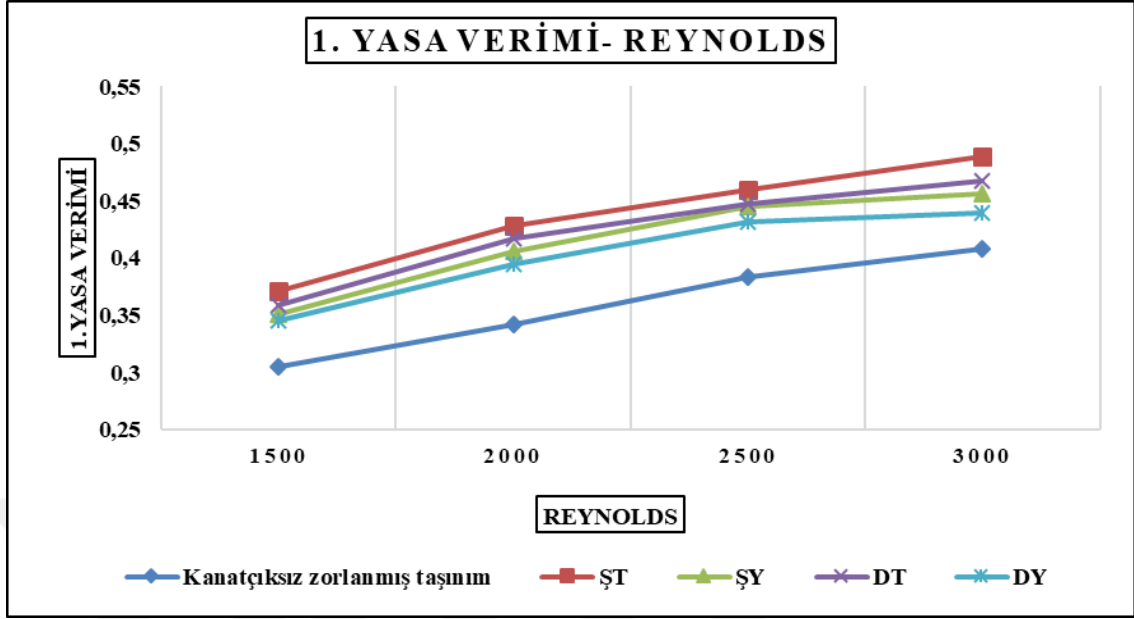
Şekil 4.17. 600 W/m<sup>2</sup> ışınım altında Reynolds-1.yasa verimi değişim grafiği

Şekil 4.17’de 600 W/m<sup>2</sup> ışınımına maruz kalan fotovoltaik panelin termodinamiğin 1. Yasasına göre verimin Reynolds’a bağlı değişim grafiği verilmiştir. Grafikte kanatçiksız-zorlanmış taşınımlı durum, şaşırtmalı ve düz dizilim şekliyle tam ve yarı silindirik kanatçıklar kullanılarak elde edilen birleşik verimin Reynolds’a bağlı olarak değişimleri gösterilmiştir. Reynolds 1500 iken birinci yasa verimi kanatçiksız-zorlanmış taşınımlı durumun %27,12, şaşırtmalı dizilimde yarı silindirik kanatçık kullanılarak %32,06, tam silindirik kanatçıkta %34,20, düz dizilimde ise yarı silindirik kanatçık kullanıldığında %30,78, tam silindirik kanatçıkta kullanıldığında da %32,92 olarak hesaplanmıştır. Birinci yasa verimi, Şekil 4.19.’dan da görüleceği üzere Reynolds sayısı artırıldıkça, kontrol hacminden geçen hava debisi artırıldıkça arttığı görülmektedir. En yüksek verim yakalandığı durum tam silindirik kanatçık kullanımında ve şaşırtmalı dizilim modelinde %41,41 ile olurken, fotovoltaik panelin soğutma yapılmayan durumuna göre, toplam verimde yaklaşık %32’lik artış olmuştur.



Şekil 4.18. 800 W/m<sup>2</sup> ışınlım altında Reynolds-1.yasa verimi değışim grafiği

PV/T yüzeyine uygulanan ışınlım şiddeti 800 W/m<sup>2</sup> olduğunda birleşik verimin Reynolds değeriyle değışim grafiği Şekil 4.18.'de verilmiştir. Şekildeki grafik incelendiğinde birinci yasa verimi, Reynolds değeri yaklaşık 1500'den 3000'e kademeli olarak çıkarılması ile kanatçksız-zorlanmış taşınımlı durumda %28,61'den %37,56'ya, yarı silindirik kanatçık kullanımında düz dizilimde %32,61'den %39,95'e, şaşirtmalı dizilimde %33,65'ten %44,24'e çıktığı, tam silindirik kanatçık kullanımında da benzer olarak düz dizilimde %34,67'den %42,63'e, şaşirtmalı dizilimde ise %35,69'dan başlayıp %43,83'e kadar çıktığı görülmektedir. Kanatçıklar içinde verimin en yüksek olduğu kanatçık tipi tam silindirik kanatçık dizilim modelleri arasında da en yüksek verim şaşirtmalı dizilimde olmuştur. Tam silindirik kanatçık şaşirtmalı dizilim modeliyle dizilim yapıldığında verim fotovoltaik panelin aktif soğutulmadığı durumdaki verimine göre yaklaşık %35 artmıştır.



Şekil 4.19. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınım altında Reynolds-1.yasa verimi değişim grafiği

Şekil 4.19'da PV/T yüzeyine uygulanan ışınım şiddeti 1000 W/m<sup>2</sup> olduğunda birinci yasa veriminin Reynolds değeriyle değişim grafiği verilmiştir. Işınım şiddeti 1000 W/m<sup>2</sup> birinci yasa verimi, Şekil 4.19.'dan da görüleceği üzere Reynolds değeri 1500'den 3000'e kademeli olarak artırılırken kanatçıksız-zorlanmış taşınımli durumda %30,45'ten %40,78'e, yarı silindirik kanatçıkta düz dizilimde %34,50'den %43,97'ye, şaşırtmalı dizilimde %35,06'dan %45,58'e yükseldiği, tam silindirik kanatçıkta ise düz dizilimde %35,89'dan %46,78'e, şaşırtmalı dizilimde de %37,08'den %48,88'e kadar arttığı görülmektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere Reynolds değeri arttıkça bir diğer ifadeyle kontrol hacminden geçen akışkan miktarı arttıkça birleşik verim artmaktadır. Kanatçık modelleri içinde en düşük verim artışı yarı silindirik kanatçıkta düz dizilimde olurken en yüksek verim ise tam silindirik kanatçıkta şaşırtmalı dizilimde olmuştur. Tam silindirik kanatçığın şaşırtmalı diziliminin toplam verime etkisi kanatçıksız-zorlanmış taşınımli duruma göre %7-%8 oranında olumlu katkısı olmuştur. Kanatçıkların aynı Reynolds değerinde şaşırtmalı ve düz dizilimi mukayese edildiğinde verimin, şaşırtmalı dizilimin düz dizilime göre bir miktar daha fazla olduğu görülmüştür. Soğutma yapılmayan fotovoltaik panelin toplam verimi %9,78 iken şaşırtmalı dizilimde tam silindirik kanatçığın birleşik verimi, Reynolds yaklaşık 3000 olduğunda %48,88'e kadar ulaşabilmiştir, toplam birleşik verim %39 artış göstermiştir.

## 5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Fotovoltaik panel yüzeyi, iki farklı alüminyum malzemedan imal edilen silindirik ve yarı silindirik kanatçıklar ile düz ve şaşırtmalı olmak üzere iki farklı dizilim şekli uygulanarak soğutulmuş ve panelin enerji verimliliğinin artırılması amaçlanmıştır. Fotovoltaik panele,  $600 \text{ W/m}^2$ ,  $800 \text{ W/m}^2$  ve  $1000 \text{ W/m}^2$  olarak üç farklı ışınım değeri uygulanmıştır. Deneyler dört farklı hava hızında yapılmıştır. Hava hızları ikisi laminer bölgede ikisi türbülanslı bölgede kalacak şekilde belirlenmiştir. Deneysel sonuçlardan görülmüştür ki;

- Fotovoltaik panel verimi, soğutma yapılmadığı takdirde kısa bir süre sonra büyük oranda düşmektedir. Bu süre ışınım değeri arttıkça daha da kısalmaktadır.
- Fotovoltaik panel yüzeyine tatbik edilen ışınım değeri arttıkça, hem elektriksel verimi hem de termal verimin arttığı net bir şekilde görülmektedir.  $600 \text{ W/m}^2$  ışınımında kanatçiksız doğal taşınım ile %8,58 olurken, tam silindirik kanatçık kullanımında bu oran %9,48'de kalmıştır. Aynı şekilde  $800 \text{ W/m}^2$  ışınımında bir saat içinde %9,40'a kadar düşen elektriksel verim %10,3'lerde tutulabilmiş,  $1000 \text{ W/m}^2$  ışınımında bir saat içinde %9,78'e kadar düşen elektriksel verim %11,21'lerde kalmıştır.
- Hava debisi arttırıldıkça fotovoltaik panel yüzeyinden büyük oranda ısı enerjisi elde edilmiştir. Reynolds 3000 değerinde, tam silindirik kanatçıkla ve şaşırtmalı dizilimde,  $600 \text{ W/m}^2$  ışınımında 38,85W,  $800 \text{ W/m}^2$  ışınımında 49,95 W,  $1000 \text{ W/m}^2$  ışınımında ise 66,60 W ısı enerjisi elde edilmiştir.
- Fotovoltaik panelden elde edilen verim, ışınım değeri arttıkça hem elektriksel verim hem de termal verim artmıştır. Reynolds 3000 değerinde tam silindirik kanatçık kullanıldığı durumdaki birleşik verimde, aktif soğutma yapılmayan fotovoltaik panelin verimine göre  $600 \text{ W/m}^2$  ışınımında %32,  $800 \text{ W/m}^2$  ışınımında %35,  $1000 \text{ W/m}^2$  ışınımında %39 artış sağlanmıştır.
- Yüzey alanı daha büyük olan silindirik kanatçıkla yapılan deneylerde daha etkin soğutma yapıldığı görülmüştür. Bu nedenle üretilen termal enerjinin ve elektrik



enerjisinin artırılması için fotovoltaik panele yerleştirilen kanatçıkların yüzey alanının artırılması fayda sağlayacaktır.

- Fotovoltaik panelin soğutulması yani kontrol hacminden geçirilen havanın ısıtılması faydalı enerji olarak elde edilmiştir. Bu enerji farklı tasarımlarla birçok ısıtma ihtiyacını karşılamak üzere araştırmacıların çalışmalarına ışık tutacağı öngörülmektedir.

Sonuçlardan görüldüğü gibi sonsuz enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinden daha fazla yararlanılması amacıyla fotovoltaik panelin soğutulması için gerekli olan tasarımın ilk yatırım maliyeti düşürülmeli, fayda – maliyet analizi yapılarak optimizasyonunun yapılması için araştırmacılar yönlendirilmelidir.

## KAYNAKLAR

- Anonymous 2012a., 2012. Güneş Enerjisi. [http://www.abcsolarenerji.com/SayfaDetaySol\\_GuNEs\\_ENERJiSi\\_58.html](http://www.abcsolarenerji.com/SayfaDetaySol_GuNEs_ENERJiSi_58.html) (10.03.2019).
- Anonymous 2017., 2017. Güneş Paneli Nasıl Çalışır. <http://www.teorileri.com/gunes-paneli-nasil-calisir/> (25.05.2019).
- Anonymous 2019a., 2019. Güneş Enerjisi ve Teknolojileri. <http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/gunes.aspx> (12.05.2019).
- Anonymous 2019b.,2019. Renewable. International Renewable Energy Agency, <https://www.irena.org/solar> (23.04.2019).
- Anonymous 2019c., 2019. [https://en.wikipedia.org/wiki/Edmond\\_Becquerel](https://en.wikipedia.org/wiki/Edmond_Becquerel) (18.05.2019).
- Anonymous 2019d., 2019. Güneş., <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> (30.04.2019).
- Anonymous 2019e., 2019. Güneş Pilleri. [http://www.robotiksystem.com/gunes\\_pilleri\\_nedir.html](http://www.robotiksystem.com/gunes_pilleri_nedir.html) (04.05.2019).
- Bulut, H., Demirtaş, Y., Işiker, Y., İlkhan, M.A. (2017). Fotovoltaik Panellerin Verimliliğini Toprak-Hava Isı Değiştirici Sistemi ile Artıran Deneysel Bir Çalışma. First International Conference on Energy Systems Engineering, Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Çakmakçı, B.A., Hüner, E., Dindar, T., Bektaş, Y. (2018).Fotovoltaik Termal Sistemlerin Yararlı İş Potansiyeli. Mesleki Bilimler Dergisi, 7(2): 16 -23.
- Çelik-Bedeloğlu,A., Demir, A., Bozkurt, Y. (2010). Fotovoltaik Teknolojisi: Türkiye ve Dünyadaki Durumu, Genel Uygulama Alanları ve Fotovoltaik Tekstiller. Tekstil Teknolojileri Elektronik Dergisi, 4(2):43-58.
- Demir, M; 2017. Silindirik Kanatçıklar ile Soğutulan Fotovoltaik Panelin Enerji Performansının Deneysel Olarak İncelenmesi. (Y.lisans Tezi), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Fudholi, A., Zohri, M., Rukman, N.S.B., Nazri, N.S., Sopian, K., (2019). Exergy and sustainability index of photovoltaic thermal (PV/T) air collector, A theoretical and experimental study. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 100, 44-51.
- Gang, P., Huide, F., Tao, Z., Jie, J., (2011). A numerical and experimental study on a heat pipe PV/T system. Solar Energy, 85(5),911-921.
- Huo, Y., Lv, J., Li, X., Fang, L., Ma, X., Shi, Q., (2019). Experimental study on the tube plate PV/T system with iron filings filled. Solar Energy, 185, 189-198.
- Ibrahim, A., Jin, G.L., Daghigh, R., Salleh, M.H.M., Othman, M.Y., Ruslan, M.H., Mat, S., Sopian, K., (2009). Hybrid Photovoltaic Thermal (PV/T) Air and Water Based Solar Collectors Suitable for Building Integrated Applications. American Journal of Environmental Sciences, 5 (5), 618-624.
- Jin, G.L., Ibrahim, A., Chean, Y.K., (2010). Evaluation of single-pass photovoltaic thermal air collector with rectangle tunnel absorber. American Journal of Applied Sciences, 7(2) , 277-282
- Kadıoğlu, S., Telliöğlu, Z., 1996. Enerji kaynaklarının kullanımı ve çevreye etkileri. TMMOB 1. Türkiye Enerji Sempozyumu, Ankara.

- Kavak-Akpinar, E., (2010). Drying of mint leaves in a solar dryer and under open sun Modelling performance analyses. *Energy Conversion and Management*, 51(12), 2407-2418.
- Kıncay, O., 2009. Güneş Enerjisi. <http://www.yildiz.edu.tr/~okincay/dersnotu/gun-iki.pdf> (18.04.2019).
- Küçükbayrak, S., Gürbüz-Beker, Ü., 1993. Enerji Kaynakları. *Termodinamik Dergisi*, <https://www.termodinamik.info/makale/enerji-kaynaklari> (16.05.2019).
- Leblebicioğlu E., 2018. Güneş Paneli Nedir? Nasıl Çalışır?. <https://muhendistan.com/gunes-pilleri-nasil-calisir/> (12.06.2019).
- Masters, G.M., 2004. *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. John Wiley & Sons Inc., 676, Canada
- Nasrin, R., Rahim, N.A., Fayaz, H., Hasanuzzaman, M.(2018). Water/MWCNT nanofluid based cooling system of PV/T Experimental and numerical research. *Renewable Energy*, 121, 286-300.
- Ömeroğlu; G., 2017. Experimental and computational fluid dynamics analysis of a photovoltaic/thermal system with active cooling using aluminum fins. *Journal of Photonics for Energy*, 7(4),045503-(1-16).
- Ömeroğlu; G., 2018. CFD Analysis and Electrical Efficiency Improvement of a Hybrid PV/T Panel Cooled by Forced Air Circulation. *International Journal of Photoenergy*, 2018,1-11.
- Özakın, A.N., 2016. Hava soğutmalı fotovoltaiik termal (PV/T) sisteminin termodinamik analizi. (Y.lisans Tezi), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Öztürk H.H., 2007. Güneş Enerjisinden Fotovoltaiik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi ve Etkili Etmeler. EMO, [http://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0\\_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/3a921ffad054cb0_ek.pdf) (16.06.2019)
- Salem, M. R., Ali, R. K., Elshazly, K. M., (2017). Experimental investigation of the performance of a hybrid photovoltaic/thermalsolar system usingaluminium cooling plate with straight andhelical channels. *Solar Energy*, 157, 147-156.
- Sarıgül, T., 2014. Led Teknolojisinde Beyaz Işığın Kayıp Parçası: Mavi Led. *Bilim Genç Tubitak*, <http://www.bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/led-teknolojisinde-beyaz-isingin-kayip-parcasi-mavi-led> (10.06.2019).
- Sezgin, O., 2016. Yarı İletkenler ve İnce Film Teknolojisi Ne İşe Yarar. <https://www.gercekbilim.com/yari-iletkenler-ince-film-teknolojisi/> (18.05.2019).
- Şahin, B.; 2008. Yenilenebilir Enerji Dönüşüm Sistemleri. *Makine ve Techizat*. Atatürk Üniversitesi Açıköğretim Fakültesi Yayınları Ünite:10, 1-25.
- Tanas-Karagöl,E., Kavaz, İ., 2017. Dünyada ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji. *Analiz*, 197 (1), 7-30.
- Tiwari, S., Agrawal, S., Tiwari, G. N.,(2018). PV/T air collector integrated greenhouse dryers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 142-159.
- Zhang, B., Lv, J., Yang, H., Tailu L., Ren, S., (2015). Performance analysis of a heat pipe PV/T system with different circulation tank capacities. *Applied Thermal Engineering*, 87, 89-97.

## ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında dünyaya gelen Köksal NAKIŞDÜZER, ilk ve orta öğrenimini Erzurum'da tamamladı. Üniversiteden ise Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Bölümünde 2005 yılında bitirerek mezun oldu. 2005-2009 yılları arasında İstanbul'da çeşitli şirketlerde mühendis pozisyonunda çalıştıktan sonra 2009'dan 2010'a kadar kısa bir süre kendi kurduğu Pozitif Mühendislik Şirketinin işletmesini yaptı. 2010 yılından 2016 yılında kadar Muş Alparslan Üniversitesinde Uzman kadrosuyla işe başladıktan sonra burada kontrol mühendisliği, Şube müdürlüğü gibi çeşitli idari görevlerde bulundu.2016 yılından beri Erzurum Teknik Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Dairesi Başkanlığına bağlı makine mühendisi olarak çalışmaktadır.