

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI**

**FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE TERMOELEKTRİK
ETKİ VE VERİM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BEYZA NUR ÖZMEN

DENİZLİ, NİSAN- 2022

**T.C.
PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM
DALI**



**FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE TERMOELEKTRİK
ETKİ VE VERİM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BEYZA NUR ÖZMEN

DENİZLİ, NİSAN - 2022

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

Beyza Nur ÖZMEN

ÖZET

FOTOVOLTAİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE TERMOELEKTRİK ETKİ VE VERİM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BEYZA NUR ÖZMEN

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

(TEZ DANIŞMANI: PROF. DR. BEKİR SAMİ SAZAK)

DENİZLİ, NİSAN-2022

Enerji insanların dünyada ihtiyaçlarını daha kolay sağlayabildikleri, karşılaştığı her türlü zorlukların üstesinden gelebildiği temel kaynaklardandır. Günümüze bakıldığında, her geçen gün gelişen teknolojik sistemlerle birlikte enerjinin tüketimi de artmaktadır. Enerjinin kullanımında dikkat edilecek özelliklerden biri verimliliği arttırmak olmalıdır. Bu nedenle de petrol, doğalgaz gibi yenilenemez enerji kaynakları kullanmak yerine yenilenebilir güneş, rüzgâr, hidroelektrik gibi enerji kaynaklarına yönelmek gerekmektedir. Bunlardan devamlı ve temiz enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi üzerinde önemle durulmalıdır. Fotovoltaik modüllerin yüzeyinde biriken ısı enerjisi modüllerin verimlerini düşürmektedir. Ayrıca sıcaklığın yükselmesi sonucunda fotovoltaik modüllerin verimli çalışma süreleri de azalmaktadır.

Bu çalışmada fotovoltaik panellerle bütünleştirilen pasif soğutma yöntemlerinden olan termoelektrik soğutucu seçilerek sistem performansına olan etkileri araştırılmıştır. Termoelektrik modüllerin soğutma özelliğini kullanarak, güneş panellerinde ortaya çıkan sıcaklık artışı sebebiyle performansının azalmasının önüne geçilmesi mümkündür. Fotovoltaik modülün yüzey sıcaklığı deneyler sırasında maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Fotovoltaik modülün arka yüzeyine bağlanan termoelektrik modül sayesinde fotovoltaik modül yüzeyinin sıcaklığı bu seviyenin altına düşürülerek soğutulabilmektedir. Sonuç olarak fotovoltaik modülün sıcaklığının artmasına engel olunarak modül veriminin artırılması için çalışılmıştır.

Deneylerde kullanılacak PV panelin modellenmesi yapıldıktan sonra bu bölümde gölgelenmenin ve sıcaklığın panel üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca bu deneyde uygulanan gölgelenme etkisi için fotovoltaik panelin akım, gerilim, güç, sıcaklık değerleri ile ışınım, çevre sıcaklığı, rüzgâr hızı değerleri ölçülmüştür. Ayrıca gölgelenme etkisi olmayan bir panelin arka yüzeyine de bir termoelektrik modül bağlantısı yapılarak oluşturdukları verimlerin birbiriyle karşılaştırılması için ölçülen bu değerlerden faydalanarak sistemlerin grafikleri çizdirilerek verimlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

ANAHTAR KELİMELELER: Yenilenebilir Enerji, Fotovoltaik Sistem, Termoelektrik, Performans Analizi, Verim

ABSTRACT

THERMOELECTRIC EFFECT AND EFFICIENCY IN PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEMS

MSC THESIS

BEYZA NUR ÖZMEN

**PAMUKKALE UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING**

(SUPERVISOR:PROF. DR. BEKİR SAMİ SAZAK)

DENİZLİ, APRIL 2022

Energy is one of the main sources where people can more easily meet their needs in the world and overcome all kinds of challenges they face. Looking at the present day, the consumption of energy increases with the technological systems that are developing day by day. One of the features to be considered in the use of energy should be to increase efficiency. Therefore, instead of using non-renewable energy sources such as oil and natural gas, it is necessary to turn to energy sources such as renewable solar, wind and hydroelectricity. Of these, solar energy, which is a continuous and clean energy source, should be emphasized. The heat energy accumulated on the surface of photovoltaic modules reduces the efficiency of the modules. In addition, the efficient working times of photovoltaic modules decrease as a result of the rising temperature.

In this study, thermoelectric cooler, which is one of the passive cooling methods integrated with photovoltaic panel, was selected and its effects on system performance were investigated. By using the cooling feature of thermoelectric modules, it is possible to prevent the performance of solar panels due to the increase in temperature. The surface temperature of the photovoltaic module reaches the maximum level during the experiments. Thanks to the thermoelectric module connected to the back surface of the photovoltaic module, the temperature of the photovoltaic module surface can be cooled by reducing it below this level. As a result, it was worked to increase the efficiency of the module by preventing the temperature of the photovoltaic module from increasing.

After modeling the PV panel to be used in the experiments, the effects of ghosting and temperature on the panel are examined in this section. In addition, for the ghosting effect applied in this experiment, the current, voltage, power, temperature values and radiation, ambient temperature, wind speed values of the photovoltaic panel were measured. In addition, thermoelectric modules were connected on the back surface of a panel without the effect of ghosting and graphs of the systems were drawn using these measured values to compare their efficiency with each other.

KEYWORDS: Renewable Energy, Photovoltaic System, Thermoelectric, Performance Analysis, Efficiency

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	viii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
ÖNSÖZ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	2
1.2 Literatür Özeti	3
2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER	7
2.1 Fotovoltaik Teknolojisi ve Tarihsel Gelişimi	7
2.2 Fotovoltaik Etki	10
2.3 Fotovoltaik Hücre Parametreleri ve Karakteristikleri.....	13
2.4 Fotovoltaik Panellerin Bağlantısı	15
2.4.1 PV Panellerin Seri Bağlanması	16
2.4.2 FV Panellerin Paralel Bağlanması	17
2.5 Fotovoltaik Sistemlerde Performansı Etkileyen Faktörler.....	17
2.5.1 Fotovoltaik Sistemlerde Kayıplar	18
2.5.2 Fotovoltaik Sistemlerin Enerji Verimliliği	19
3. TERMOELEKTRİK SİSTEMLER	21
3.1 Elektrik, Termoelektrik Etki ve Termoelektrik Elemanlar	21
3.1.1 Joule Etkisi.....	21
3.1.2 Termoelektrik Etkiler.....	21
3.1.2.1 Seebeck Etkisi	22
3.1.2.2 Peltier Etkisi	24
3.1.2.3 Thomson Etkisi	25
3.1.3 Termoelement ve Termoelektrik Modül	25
3.1.3.1 Termoelement	25
3.1.3.2 Termoelektrik Modül	28
3.1.4 Termoelektrik Soğutucular	29
3.1.4.1 Termoelektrik Soğutucuların Avantajları.....	30
3.1.4.2 Termoelektrik Soğutucuların Dezavantajları	31
3.1.5 Termoelektrik Jeneratörler.....	31
4. Fotovoltaik Panelin Matematiksel Modellemesi ve Termoelektrik Modüllerle Deneysel Çalışma	33
4.1 Matlab Programı Hakkında Kısa Bilgi	33
4.2 Simulink Benzetim Programı	34
4.3 Fotovoltaik Sistemlerin Modellemesi.....	35
4.4 Matematiksel Modeller ve Matlab/Simulink Benzetim Programı	35
4.4.1 Güneş Pilinin Eşdeğer Devresi ve Denklemleri.....	36
4.4.2 Fotovoltaik Panelin Simulink Benzetimi	38
4.5 Deneysel Çalışmada Kullanılan Malzeme	42
4.5.1 Termoelektrik Modül ve Özellikleri	43

4.5.2	Solar Şarj Kontrol Cihazının Özellikleri.....	48
4.5.3	Bakım Gerektirmeyen Kuru Akü.....	50
4.5.4	Ayarlanabilir Sabit Elektronik Yük	51
4.5.5	Lüxmetre (Işık Ölçer).....	51
4.5.6	Sıcaklık Ölçüm Cihazı	51
4.5.7	Dijital Multimetre	52
4.5.8	Güç Kaynağı	52
4.6	PV Panel ve Arka Yüzeyine Termoelektrik Modül Bağlanmış PV Panelin Performanslarının Karşılaştırılması için Kurulan Sistem	53
5.	BULGULAR VE TARTIŞMA	55
5.1	Deneyin Düzenegi ve Analizi.....	55
5.1.1	Bulutluluk Yüzdesi, Rüzgâr Hızı ve Nemlilik Yüzdesi.....	56
5.1.2	Güneş Işınımı	58
5.1.3	PV Panel Yüzeyindeki Sıcaklık Ölçümleri	59
5.1.4	Termoelektrik Modül Yüzeyinin Sıcaklık Ölçümleri	60
5.1.5	Sıcaklığa Bağlı Olarak Elde Edilen Akım, Gerilim ve Güç Değişimleri.....	60
5.1.6	Gölgelenme Etkisi Olan Fotovoltaik Paneldeki Zamana Bağlı Güç Değişimi	61
5.1.7	Gölgelenme Etkisi Olmayan Fotovoltaik Paneldeki Zamana Bağlı Güç Değişimi.....	62
5.1.8	Termoelektrik Modüllü Fotovoltaik Panelden Ölçülen Zamana Bağlı Güç Değişimi.....	63
5.1.9	Güç Değerlerinin Karşılaştırılması	64
5.1.10	Gölgelenme Etkisi Olan PV Panelin Verimi.....	67
5.1.11	Gölgelenme Etkisi Olmayan PV panelin verimi.....	68
5.1.12	Termoelektrik Modüllü PV Panelin verimi	69
6.	SONUÇLAR.....	72
7.	KAYNAKLAR.....	74

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Fotovoltaik teknolojilerin nesillerine göre sınıflandırılması	10
Şekil 2.2: PV hücrenin çalışma ilkesi (Öztürk 2013).....	11
Şekil 2.3: P-N eklemine oluşması a) Değdirildiği an, b) Termal dengeye ulaşıldığı an	13
Şekil 2.4: PV hücrenin ayarlanabilen direnç bağı devresi.....	13
Şekil 2.5: PV hücredeki a) Kısa devre akımı, b) Açık devre gerilimi	15
Şekil 2.6: Güneş panellerinin seri bağlanması	16
Şekil 2.7: Güneş panellerinin paralel bağlanması	17
Şekil 2.8: Güneş enerjisinden elektrik enerjisine dönüşümde oluşan kayıp faktörleri	18
Şekil 3.1: Basit termik çift devresi	22
Şekil 3.2: Peltier etkiyi gösteren termoelektrik devre	24
Şekil 3.3: Thomson etkiyi gösteren termoelektrik devre.....	25
Şekil 3.4: Termoelementin temel yapısı.....	26
Şekil 3.5: Termoelementin soğuyan levhasında akıma bağı ısı değışimi	27
Şekil 3.6: Termoelektrik modülün genel görüntüsü (Murat ve Kahraman 2016)	28
Şekil 3.7: Termoelektrik modülün yapısı	29
Şekil 3.8: TES modda bir TEM.....	30
Şekil 3.9: TEJ modda bir TEM	32
Şekil 4.1: Güneş gözesine ait eşdeğer devre	36
Şekil 4.2: Matlab / Simulink fotovoltaik modülü.....	40
Şekil 4.3: Simule edilmiş I-V Karakteristiğı, $G = 1000 \text{ W / m}^2$, $T = 25^0 \text{ C}$	41
Şekil 4.4: Simule edilmiş I-P Karakteristiğı, $G = 1000 \text{ W / m}^2$, $T = 25^0 \text{ C}$	41
Şekil 4.5: Simule edilmiş V-P Karakteristiğı, $G = 1000 \text{ W / m}^2$, $T = 25^0 \text{ C}$	42
Şekil 4.6: TEC1- 12706 Peltier modülün ebatları	43
Şekil 4.7: $T_H = 27^0 \text{ C}$ ' de sıcaklık farkı $DT (^0 \text{ C})$ ' ye göre soğutma gücünün (Q_C) grafiğı.....	44
Şekil 4.8: $T_H = 50^0 \text{ C}$ ' de sıcaklık farkı $DT (^0 \text{ C})$ ' ye göre soğutma gücünün (Q_C) grafiğı.....	45
Şekil 4.9: $T_H = 27^0 \text{ C}$ ' de sıcaklık farkı $DT (^0 \text{ C})$ ' ye göre farklı akımlarda gerilim(V) grafiğı.....	45
Şekil 4.10: $T_H = 50^0 \text{ C}$ ' de sıcaklık farkı $DT (^0 \text{ C})$ ' ye göre farklı akımlarda gerilim(V) grafiğı	46
Şekil 4.11: $T_H = 27^0 \text{ C}$ ' de sıcaklık farkı $DT (^0 \text{ C})$ ' ye göre Q_C ve gerilim(V) grafiğı	46
Şekil 4.12: $T_H = 50^0 \text{ C}$ ' de sıcaklık farkı $DT (^0 \text{ C})$ ' ye göre Q_C ve gerilim(V) grafiğı	47
Şekil 4.13: Kullanıma hazır termoelektrik modülün resimleri. (a) Birden çok termoelektrik bacak çiftleri.	

(b) Modülün iç kısmı elektrik ara ve lehim bağlantıları.	
(c) Modülün görüntüsü (LeBlanc 2014).....	48
Şekil 4.14: Şarj kontrol cihazı (Şarj regülatörü).....	49
Şekil 4.15: Kuru bakımsız akü	50
Şekil 4.16: Işık yoğunluğunu fotoelektrik ile algılayan lüksmetre (Işık ölçer)	51
Şekil 4.17: PV ve TEM için kullanılan sıcaklık ölçüm cihazı.....	52
Şekil 4.18: Dijital multimetre.....	52
Şekil 4.19: Kullanıma hazır 12V 10A güç kaynağı.....	53
Şekil 4.20: Termoelektrik modül eklenmeden ölçüm için kurulan devrenin bağlantısı	54
Şekil 4.21: Termoelektrik soğutuculu bir fotovoltaik panelin termodinamik modellemesi	54
Şekil 5.1: Fotovoltaik sistemle kurulan deney düzenekleri (a)TEM bağlantısı yapılmayan deneyin kurulumu (b) Gölgeleme etkisinin gözlenmesi için kurulan sistem	55
Şekil 5.2: 1 gün içindeki bulutluluk yüzdesine ait grafik.....	56
Şekil 5.3: 1 gün içindeki rüzgâr hızına ait grafik	57
Şekil 5.4: 1 gün içindeki nemlilik yüzdesine ait grafik	57
Şekil 5.5: 1 gün içindeki bulutluluk yüzdesi, rüzgâr hızı ve nemlilik yüzdesine ait grafik	58
Şekil 5.6: 1 gün içinde ölçülen güneş ışınım(radyasyon) değerleri	59
Şekil 5.7: 1 gün içindeki PV panel yüzeyinde ölçülen sıcaklık ölçümleri.....	59
Şekil 5.8: 1 gün içindeki Termoelektrik modül yüzeyinden ölçülen sıcaklık ölçümleri	60
Şekil 5.9: 1 gün içinde PV panelden elde edilen akım ve gerilim ve güç değişimleri	61
Şekil 5.10: 1 gün boyunca gölgeleme etkisi olan PV panelin güç değişimleri	62
Şekil 5.11: 1 gün boyunca gölgeleme etkisi olmayan fotovoltaik panelden ölçülen güç değişimleri	63
Şekil 5.12: 1 gün boyunca Termoelektrik modüllü Fotovoltaik Panelden ölçülen güç değişimleri.....	64
Şekil 5.13: Saat 08:00'dan 11:30' a kadar ölçülen PV panelin güç değişimleri	65
Şekil 5.14: Saat 11:45'den 15:15' e kadar ölçülen PV panelin güç değişimleri	65
Şekil 5.15: Saat 15:30'dan 19:00' a kadar ölçülen PV panelin güç değişimleri	66
Şekil 5.16: 1 gün boyunca PV panelden elde edilen güç değişimlerinin karşılaştırması.....	67
Şekil 5.17: Gölgeleme etkisi olan PV panelin verimi	68
Şekil 5.18: Gölgeleme etkisi olmayan PV panelin verimi	69
Şekil 5.19: Termoelektrik modüllü PV Panelin verimi	70

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Fotovoltaik sistemlerin tarihsel gelişimi	7
Tablo 3.1: Platinyuma göre Seebeck katsayıları	23
Tablo 4.1: Denklemlerdeki isimlendirmeler	38
Tablo 4.2: PV Modülün Elektriksel ve Mekanik Özellikleri	39
Tablo 4.3: TEC1- 12706 Peltier modül performans özellikleri.....	43
Tablo 4.4: Şarj kontrol cihazının özellikleri.....	49

SEMBOL LİSTESİ

P_{max}, P_m	:	Maksimum güç (W)
I_{max}, I_m	:	Maksimum akım (A)
V_{max}, V_m	:	Maksimum gerilim (V)
V_{oc}	:	Açık devre gerilimi (V)
I_{sc}	:	Kısa devre akımı (A)
FF	:	Dolum faktörü
U	:	Çıkış gerilimi (V)
r	:	İç direnç (Ω)
R	:	Yük (İletken) direnci
R_t	:	Toplam iç direnç
I	:	Yükün çektiği akım
\dot{U}_e	:	Üretilen enerji
R_e	:	Referans enerji
η	:	Enerji verimliliği
A	:	Panelin alanı
Q_L	:	Isının miktarı
Q_J	:	Joule ısısı
Q_P	:	Peltier ısısı
t	:	Akımın geçme süresi
$\Delta T, DT$:	Sıcaklık farkı
α_{ab}	:	Seebeck katsayısı
π_{ab}	:	Peltier katsayısı
T_1, T_2	:	Sıcaklık ($^{\circ}C$)
$Q_{peltier}$:	Peltier ısı oranı
R_S	:	Seri direnç
R_{Sh}	:	Paralel direnç
I_D	:	Diyot akımı
I_e	:	Elektronların akımı
I_h	:	Boşlukların akımı
N_P	:	Paralel kol sayısı
N_S	:	Seri kol sayısı
V^M	:	Modül gerilimi
I^M	:	Modül akımı
K	:	Boltzmann sabiti
k_i	:	Hücrenin kısa devre akımı
Q_C	:	Soğutma gücü
E_g	:	Diyot bant genişliği
T_n	:	Nominal Sıcaklık
T_C	:	Çalışma Sıcaklığı
q	:	Elektron Yüğü
G	:	Solar Işınlama (W/m^2)
n	:	Diyotun ideallik faktörü
I_{0Ref}	:	Referans akımı
I_{ph}	:	Foto-akımı
T_h	:	Sıcak Yüzeyin Sıcaklığı ($^{\circ}C$)
DT_{max}	:	Soğuk ve sıcak tarafı arasındaki maksimum sıcaklık farkı ($^{\circ}C$)
Q_{Cmax}	:	Maksimum ısı

KISALTMALAR LİSTESİ

DC	:	Doğru Akım
MPP	:	Maksimum Güç Noktası
TES	:	Termoelektrik Soğutucu
TEJ	:	Termoelektrik Jeneratör
STK	:	Standart Test Koşulları
IEEE	:	Institute of Electrical and Electronics Engineer
MPPT	:	Maksimum Güç Noktası Takibi
PV	:	Fotovoltaik
TD	:	Termodinamik Referans akımı
TEM	:	Termoelektrik Modül
PV+TEG	:	Fotovoltaik-Termoelektrik Jeneratör
HÜS	:	Hibrit Üretim Sistemi
PO	:	Performans Oranı
KW	:	KiloWatt
MW	:	MegaWatt
GW	:	GigaWatt
mV	:	MiliVolt
COP	:	Isıtma-soğutma Performans Katsayısı
Matlab	:	MATrix LABoratory
TE	:	Termoelektrik
FF	:	Dolum Faktörü
AM	:	Air Mass
LCD	:	Sıvı Kristal Ekran

ÖNSÖZ

Bu tezde açıklanan “Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Termoelektrik Etki ve Verim” başlığı altında yapılan çalışmanın herkese faydasının olmasını ve bu konularda araştırma yapacak kişilere yol gösterici olmasını dilerim.

Öncelikle, Yüksek Lisans eğitimim boyunca bana desteklerini esirgemeyen, akademik kariyerim boyunca zorlukların üstesinden gelmemde yardımcı olan, yoğun çalışma temposuna rağmen beni hiç geri çevirmeyen, zorlandığım anlarda problemleri çözmeme yardımcı olan değerli hocam ve danışmanım sayın Prof. Dr. Bekir Sami Sazak’a teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak bana bütün ömrüm boyunca destek verip sahip çıkan ve akademik hayatımı destekleyen, haklarını asla ödeyemeyeceğim sevgili Annem ve Babama, zor günlerde bana çok destek veren ve her zaman yanımda olan kardeşlerim başta olmak üzere tüm aileme ve benim bugünlere gelmeme katkısı olan tüm dostlarıma teşekkürü borç bilirim.

1. GİRİŞ

Enerji insanların dünyada gereksinimlerini daha kolay sağlayabildikleri, karşılaştığı her türlü zorlukların üstesinden gelebildiği temel kaynaklardandır. Enerji sınıflandırıldığında nükleer enerji kaynağı, fosil kökenli enerji kaynağı ve yenilenebilir enerji kaynağı olmak üzere üçe ayrılabilir. Fosil kökenli enerji kaynakları yenilenemez enerji kaynaklarından meydana gelmektedir. Günümüze bakıldığında, her geçen gün gelişen teknolojik sistemlerle birlikte enerjinin tüketimi de artmaktadır. Enerjinin kullanımında dikkat edilecek özelliklerden biri verimliliği arttırmak olmalıdır. Bu nedenle de petrol, doğalgaz gibi yenilenemez enerji kaynakları kullanmak yerine yenilenebilir güneş, rüzgâr, hidroelektrik gibi enerji kaynaklarına yönelmek gerekmektedir. Ayrıca yenilenemez enerji kaynaklarının üretiminde ve kullanımında görülen avantajların yanında küresel ısınmayla birlikte etkili olan çevre ve sağlık sorunları üzerinde de olumsuz etkileri bulunmaktadır (Karaçavuş 2017). Bu yüzden kullanılacak enerji kaynaklarının temiz enerji kaynaklarından olması gerekmektedir. Devamlı ve temiz bir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi üzerinde önemle durulmalıdır (Yılmaz 2019).

Güneş enerjisi, yenilenebilir bir enerji kaynağı olduğundan yaygın kullanımıyla birlikte karmaşık teknolojiye gerek duyulmayan bir yapısı vardır. Ayrıca gelişen teknoloji ile birlikte gelişim gösteren Güneş enerjisi uygulamalarına ait çalışmaların üretimi ve kullanımında belirgin bir çevre kirliliği oluşmamaktadır (Aydın 2020). Fakat Fotovoltaik sistemlerin çalışması sırasında yüzeylerinde ısı enerjisi birikir ve biriken bu ısı enerjisine atık ısı denilmektedir. Yüksek sıcaklığa ulaştığında fotovoltaik modülleri etkileyerek verimleri azaltmaktadır.

Son yıllarda fotovoltaik (PV) sistem bileşenlerinde birçok gelişme yaşanırken ayrıca fotovoltaik panellerin kullanımında ve panellerin konumlandırılmasında da değişiklikler olmuştur. PV panellerin verimliliğinin yükselmesi ve maliyetlerinin azalması sebebiyle son yıllarda PV panel üzerinde yapılan uygulamalar daha yaygın hale gelmektedir. PV paneller elektrik üretirken ortama zarar vermezler, sessiz çalışırlar ve hareketli parça gerektirmezler (Başak ve Sazak 2013).

Gün geçtikçe soğutma elektroniğine olan ilgi artmaktadır. Bu ilgiden dolayı da bilim ve teknolojiye alternatif yollar bulunmuştur. Bu alternatif yollardan biri de termoelektriktir. Isıl ve elektriksel parametrelerin birlikte bulunduğu, yarı iletkenlerden meydana gelen devreye termoelektrik devre denilmektedir. Termoelektrik devreyle birlikte çalışan sistemlere de termoelektrik sistemler adı verilmektedir.

Bu çalışma kapsamında; fotovoltaik panellerle bütünleştirilen pasif soğutma yöntemlerinden olan termoelektrik soğutucu seçilerek sistem performansına olan etkileri araştırılmıştır. Termoelektrik modüllerin soğutma özelliğini kullanarak, güneş panellerinde ortaya çıkan sıcaklık artışı sebebiyle performansın azalmasının önüne geçilmesi mümkündür. Fotovoltaik modüllerin yüzey sıcaklığı deneyler sırasında maksimum sıcaklığa ulaşırken fotovoltaik modülün arka yüzeyine bağlanan termoelektrik modül sayesinde fotovoltaik modül yüzeyi soğuyarak bu sıcaklık düşürülebilmektedir. Sonuç olarak fotovoltaik modülün sıcaklığının artışına engel olunarak modül veriminin artırılması için çalışılmıştır.

Deneylerde kullanılacak PV panelin modellenmesi yapıldıktan sonra bu bölümde gölgelenmenin ve sıcaklığın panel üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca bu deneyde uygulanan gölgelenme etkisi için fotovoltaik panelin akımı, gerilimi, gücü, sıcaklık değerleri, çevre sıcaklığı, ışınımı, bulutluluk yüzdesi ve nem yüzdesiyle birlikte rüzgâr hızı değerleri ölçülmüştür. Ayrıca Gölgelenme etkisi olmayan bir panelin arka yüzeyine de bir termoelektrik modül bağlantısı yapılarak oluşturdukları verimlerin birbiriyle karşılaştırılması için ölçülen bu değerlerden faydalanarak sistemlerin grafikleri çizdirilerek verimlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında PV panelin modellenmesini yaparak gölgelenmenin ve sıcaklığın panel üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca üç ayrı deney düzeneğinde aynı fotovoltaik panel için ilk deneyde gölgelenme etkisi olan fotovoltaik panel ikinci deneyde gölgelenme etkisi olmayan fotovoltaik panel ve son

deneyde de termoelektrik modül bağlanmış fotovoltaik panelden ölçülen değerler tablolara yazılmıştır.

Gölgelenme etkisi olan ve olmayan iki ayrı deney için fotovoltaik panelin akımı, gerilimi, gücü, sıcaklık değerleri, çevre sıcaklığı, ışınımı, bulutluluk yüzdesi ve nem yüzdesiyle birlikte rüzgâr hızı değerleri ölçülmüştür. Ayrıca gölgelenme etkisi olmayan bir panelin arka yüzeyine de bir termoelektrik modül bağlantısı yapılarak oluşturdukları verimlerin birbiriyle karşılaştırılması için ölçülen bu değerlerden faydalanarak sistemlerin grafikleri çizdirilmiştir. Performanslarının analizi yapılarak verimlerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

1.2 Literatür Özeti

Zhang ve Chau, çalışmalarında otomotivde termoelektrik ve fotovoltaik hibrit enerji sistemi için maksimum güç noktası takibi yapmışlardır. Makalelerinde otomobillerde TE-PV hibrit enerji sistemi için önerilerini uygulamışlardır. Önerilerinde daha çok oluşturdukları sistemin çıkış gücünü maksimuma getirebilmek için çalışmışlar bunun içinde maksimum güç noktası takibi yapmışlardır. Geçerliliğini doğrulamak için önerilen sistemin deneysel bir sistemini prototipleyerek testlerini yapmışlardır. Prototipi 1 kW'a kadar ölçeklendirerek orantılı şekilde arttırarak gözlemlenmişler ve farklı otomobiller için de çok umut verici olacağını göstermişlerdir (Zhang ve Chau 2011).

Najafi ve Woodbury, makalelerinde MATLAB üzerinde bir kombine PVT termoelektrik sistem tasarlamışlar ve simule etmişlerdir. Termoelektrik modülü fotovoltaik panelin arkasında fotovoltaik/ termal toplayıcıya ekleyerek aşırı ısıyı kullanmaya çalışmışlardır (Najafi ve Woodbury 2012).

Deng, Chau, Wang ve Shi, çalışmalarında silikon ince film güneş pilinden oluşan hibrid üretim sistemini tasarlamışlardır. Entegre bir tasarıma sahip bu sistem güneş enerjisiyle çalışmaktadır. Sistem güneş pili, termoelektrik jeneratörler (TEG) ve ısı toplayıcısından oluşmaktadır. Güneş pili güneş enerjisinin parçalarını emerek doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Güneş pilinde güneş enerjisi parçalarının oluşturduğu istenmeyen atık ısı, termoelektrik dönüşüm üretmek için ısı

kolektörü tarafından toplanmaktadır. Bu da TEG' e iletilmektedir. Ayrıca sonlu elemanlar yöntemini kullanarak ısı akışının dağılımını belirlemek için TEG üzerinde sayısal bir simülasyon da yapmışlardır. Sonuç olarak da termoelektrik jeneratör ve silikon ince film güneş pili performanslarının, entegre tasarımıyla eşzamanlı olarak değişerek artış olduğunu görmüşlerdir. Tasarladıkları hibrit üretim sistemi, güneş spektrumunun kullanımını etkin bir biçimde gösterebilen ve güneş enerjisi dönüşümünde güç çıkışının artmasına yol açan önemli bir güç sistemi olmuştur (Deng ve diğ. 2013).

He, Zhou, Chen ve Ji, yapmış oldukları çalışmada enerji ve ekserji analizini incelemişlerdir. Bir ısı borusu ve PV/T yani fotovoltaik/ termal paneliyle birlikte çalıştırılan termoelektrik ısıtma ve soğutma sisteminin teorik ve deneysel ölçümlerini sunmuşlardır. Bu incelemeler kış çalışma modu ve yaz çalışma modları olarak ayrı ayrı analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde kış çalışma modu sıcaklığının değişmeyeceği belirli bir sıcaklıktaki deney odasında test edilmiştir. Sonucunda sistemde termoelektrik modülün ortalama performansının katsayısının alabileceği değeri bularak fotovoltaik/termal panelinin elektrik verimliliğinin ulaşabileceği değeri göstermişlerdir. Aynı zamanda sistemdeki termal verimliliğinin değerini de bulmuşlardır. Karşılaştırdıkları enerji ve ekserji analizi için kış ve yaz çalışma modları ile yaptıkları hesaplamalarda sistemin enerji verimliliğinin yaz çalışma modunda daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Fakat yazın çalışma modunda ekserji verimliliğinin kış çalışma moduna göre daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir (He ve diğ. 2014).

Makki, Omer, Sabir ise yine benzer bir konuyu ele almışlardır. Fotovoltaik sistemlerde soğutma işlemi için farklı türler kullanılabilir. Fotovoltaik (PV) hücrelerde güneş spektrumuyla gelen radyasyonun büyük bir kısmını emebilmektedir. Fakat emilerek gelen enerjinin belirli bir parçası fotovoltaik hücre teknolojisinin dönüştürme verimine göre değişim göstererek elektriğe dönüştürebilmektedir. Fotovoltaik modüllerde modül yüzeyinin soğutulması verim için önemli bir konudur. Güneşten gelen enerjinin bir kısmı hücrelerin yüzeyine artık ısı olarak dağılmaktadır. Bu da panellerin performansını etkileyerek ciddi derecedeki bozulmalara yol açmaktadır. Aynı zamanda hücrelerin ömürlerini de azaltmaktadır. Çalışmalarında daha çok bu konu üzerinde durarak araştırmalar yapmışlardır. Gelişmiş bir

performansa sahip fotovoltaik sistemler için soğutma kapasitesini değiştiren tasarımlar yapmışlardır (Makki ve diğ.2015).

Zhu, Deng, Wang, Shen ve Gulfam' da termal konsantre bir fotovoltaik ve termoelektrik hibrit performansının yüksek olduğu güç üretim sistemini imal etmişlerdir. Termoelektrik ve Fotovoltaik hibrit sisteminin ısı yönetimi, termal giriş çıkışı ve kayıplarını hesaplamışlardır. Fotovoltaik ve termoelektrik teknolojilerinin yapısı güneş spektrumunun çalışmasını etkili bir biçimde ilerletebilmekte olup toplam güç çıkışını arttırabilmektedir. Belirli ısı akışıyla birlikte termoelektrik modül arasındaki sıcaklık farkını anahtarlardan biri sağlamaktadır. Bu makalelerinde de ısı geçişi ile sıcaklık farkının değişimini teorik ve sayısal olarak hesaplamışlar, fotovoltaik ve termoelektrik hibrit sisteminin tasarımını yapmışlardır (Zhu ve diğ 2016).

Kane, Verma ve Singh ise çalışmalarında termoelektrik modül kullanarak fotovoltaik sistemden gelen ısının azalışını incelemişlerdir. Aktif bir soğutma yöntemini tasarlayarak modellemesini yapmışlardır. Fotovoltaik panelin yüzeyinde oluşan sıcaklığın artışından dolayı panelin elektriksel verimliliği olumsuz bir şekilde etkilenir. Bu da beraberinde panel hücrelerinin bozulmasını arttırarak fotovoltaik modüllerin çalışma sürelerinin azalmasına neden olmaktadır. Panel yüzeyinde oluşan atık ısının atılmamasıyla fotovoltaik modül çıkış gücünde azalış olmaktadır. Bu yüzden gelişen teknoloji içerisinde çıkış gücünün azalmaması için çalışmalar yapılmaktadır. Böyle bir sistemi soğutmak için fotovoltaik modüle eklenmiş entegrasyonlar kullanılmaktadır. Kane ve diğerleri de araştırmalarını yaparak termoelektrik modelin matematiksel modeli ve malzeme özelliklerinin sıcaklığa bağlı değişimini göz önüne almışlardır. Matlab ortamında maksimum güç noktası takibi (MPPT) şeması, akım kontrolörü ve dönüştürücü analizlerini yapmışlardır (Kane ve diğ. 2017).

Kohan, Lotfipour, Eslami bu araştırmada da bir polikristalin fotovoltaik performansı donanımlı ticari termoelektrik jeneratörler ile sayısal üç boyutlu bir kullanımı incelenmiştir. Bir fotovoltaik modüle TEG bağlantısı yapılmıştır. Yapılan çalışma da Hibrit fotovoltaik ve termoelektrik jeneratörlerdeki güç üretim sisteminin çalışmasını belirlemek amaçlanmıştır. Öncelikle bir sayısal model önermişlerdir. Modelin elektriksel çıkış gücü, enerji alıcısına dahil edilerek modellemesini yapmışlardır. PV+TEG' in elektriksel özelliklerini hesaplayarak belirledikleri

modelde hibrit bir sistemin çevre şartlarına göre değişimi sonucu fotovoltaikten daha fazla güç üretimi yapılabileceğini görmüşlerdir. Fakat güç üretimi artışı termoelektrik jeneratör sistemi için sıcaklık farkının yetersizliğinden dolayı aykırı olmuştur. Çeşitli termoelektrik jeneratör modüllerinin ve bu modüllerin de farklı optik konsantrasyon değişimleri için simülasyonlarını yapmışlardır (Kohan ve diğ. 2018).

2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

2.1 Fotovoltaik Teknolojisi ve Tarihsel Gelişimi

Fosil enerji kaynaklarının yenilenememesiyle birlikte çevrede oluşturduğu olumsuz etkilerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi her geçen gün artmıştır. Dünyadaki enerjinin önemli bir kısmını oluşturan güneş, pahalı olmasına rağmen tasarım ve kurulumunun kolay olması sebebiyle en yaygın kullanılan enerji kaynaklarından biri olmuştur. Güneş sistemlerinde ihtiyaç duyulan enerji her zaman ve bedava bulunabilir özelliktedir. Diğer enerji üretim sistemleriyle karşılaştırıldığında böyle bir durum söz konusu değildir. Örneğin rüzgâr türbinlerinin çalışması için rüzgârın yıl boyu, belli bir hız seviyesinin üstünde esmesi gerekmektedir. Fakat PV sistemlerin çalışabilmesi için, gün ışığının üzerine düşmesi yeterli olmaktadır (Çetin ve Sazak 2011). Tablo 2.1’ de Fotovoltaik sistemlerin tarihsel gelişimi gösterilmiştir.

Uzun zamandır bilinen bir etki olan fotovoltaik etkisi için ilk fotovoltaik hücre üretimi yapılmıştır. 1957 yılında Bell laboratuvarında üretimi yapılan fotovoltaik hücre için yapılan incelemelerde maliyetinin fazla olup enerji veriminin az olması nedeniyle ticareti yapılamamıştır (Bayrak 2017).

Tablo 2.1: Fotovoltaik sistemlerin tarihsel gelişimi

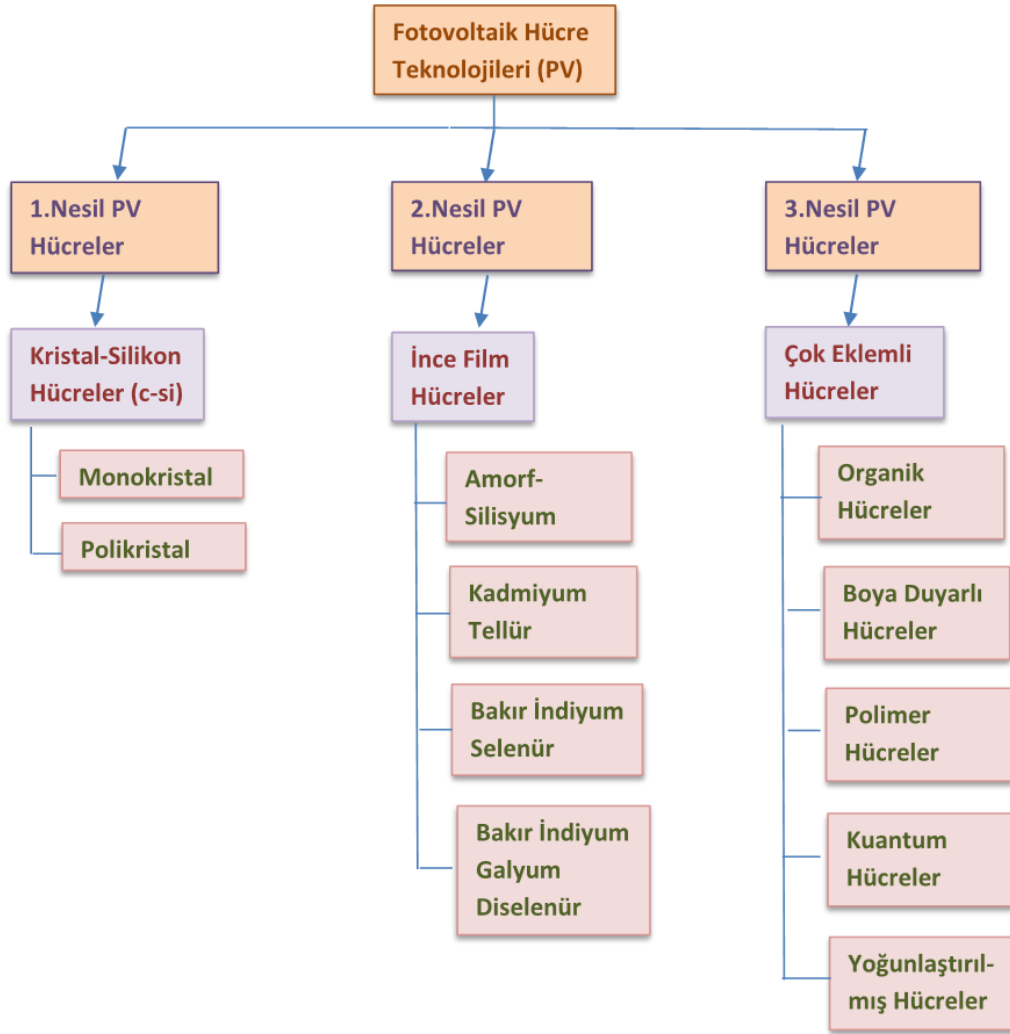
<i>Yıl</i>	<i>Yapılan çalışmalar</i>	<i>Yıl</i>	<i>Yapılan Çalışmalar</i>
1600	➤ Merceğin Galile tarafından bulunması	1958	➤ 1958 Kearns ve Calvin magnezyum fosfor (MgPh) ile çalışarak 200 mV'luk bir fotogerilimi ölçtü. ➤ Kadmiyum sülfid hücresi yapısının Reynolds ve arkadaşları tarafından tasarlanması
1725	➤ Güneş enerjisi ile çalışan su pompasının Belidor tarafından geliştirilmesi	1959	➤ %10 veriminde ticari güneş pilinin Hoffman Elektronik tarafından yapılması

1839	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cisimler üstünde görülen ışığın elektrik akımı oluşturduğu fotovoltaik etkinin Becquerel tarafından bulunması ➤ Fotovoltaik etkinin çıkış noktası olması 	1960	<ul style="list-style-type: none"> ➤ %14 verimli silisyum fotovoltaik hücrenin Hoffman Elektronik tarafından tasarlanması
1860	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Güneş pompaları ve güneş ocakları üzerinde çalışmaların Mohuchok tarafından yapılması ➤ Saraylara ayna konulması ile güneş enerjisi kullanımına başlanması 	1967	<ul style="list-style-type: none"> ➤ İlk defa güneş pilleriyle desteklendirilen insanlı uzay aracı olan Soyuz1'in yapılması
1873	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Selenyumda bulunan fotoiletkenliğin Smith tarafından keşfedilmesi 	1972	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Karasal uygulamaları (IEEE) ele alan bir oturumu içeren ilk Fotovoltaik konferansı
1877	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Selenyumda fotovoltaik etkinin Adams ve Day tarafından incelenmesi ➤ Katılarda PV etkinin ilk defa gözlemlenmesi 	1975	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Hovel tarafından Fotovoltaik bilim ve teknoloji için adanmış ilk kitap (ABD)
1883	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Güneş ışığını selenyum ve altınla birlikte elektriğe çeviren ilk solar hücrenin Charles Fritts tarafından bulunması 	1981	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 350 kW Koncentor dizisinin Suudi Arabistan'da kurulması
1888	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dış fotoelektrik etkiye dayalı ilk güneş pilinin Stoletov tarafından yapılması 	1989	<ul style="list-style-type: none"> ➤ %19 verimli iki-eklemlili fotovoltaik hücrelerin Applied Solar Energy şirketi tarafından geliştirilmesi
1891	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Işık frekansı ile elektron enerjisindeki değişimin Lenard tarafından gözlemlenmesi 	1997	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dünya çapında fotovoltaik üretiminin yılda 100 MW'a ulaşması
1900	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Işığın kuantum yapısının Planck tarafından ortaya atılması 	1999	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Dünya çapında kurulu fotovoltaik üretiminin 1000 MW'a ulaşması
1904	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Yarı iletkenlerin bir araya getirilerek güneş pilinin 	2000	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Endüstrimizin küresel ilerleyişi için önemli bir dönüm noktası olan güneş

	Hallwachs tarafından yapılması		enerjisi kurulumunun 1 GW'yi aşması
1930	➤ Katıların teorinin tarafından öne atılması	kuantum Wilson	

Yunanca da ışık olarak bilinen “photo” ile elektrik akımı üzerine araştırmalar yapan Alessandra Volt’un çalışmasından esinlenerek voltaj anlamında kullanılan “voltaic” ifadelerinin birleştirilmesiyle fotovoltaik adını almıştır. Güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir.

Elektriğe gereksinim duyulan her sistemde güneş hücreleri kullanılabilir. Fotovoltaik modüller çalışma şekillerine göre bağlantısı yapılan destek devreleri ile birlikte kullanıldığında Fotovoltaik sistemleri oluştururlar. Bu fotovoltaik sistemin içerisinde akümülatörler, invertörler, akü şarj denetim aygıtları ve farklı elektronik devreler yer almaktadır. Fotovoltaik hücreler üretildiği malzemelerin farklılığına göre sınıflara ayrılmıştır. Bu sınıflandırma Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Fotovoltaik teknolojilerin nesillerine göre sınıflandırılması

2.2 Fotovoltaik Etki

Güneş hücreleri fotovoltaik etkiye dayalı olarak çalışmaktadırlar. Fotovoltaik etki güneş hücreleri için temel prensiplerden olup güneş ışığını oluşturan fotonların yarı iletken bir silisyum malzeme yüzeyine çarpmasıyla oluşur. Şekil 2.2’de PV hücrenin çalışma ilkesi gösterilmiştir Çarpma sonucunda fotondaki atomlardan elektronlar serbest bırakılmış olur. Yapıya katılan az miktardaki bileşenler ile bu reaksiyonlar basitleştirilir ve daha hızlı çalıştırılmaktadır.

Güneşten gelen ışınım, enerjiye sahip fotonların bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Güneş ışınım spektrumuna göre çeşitli dalga boylarına dayalı olan bu fotonla, çeşitli miktarlarda enerji içerirler. Bu fotonlar fotovoltaik bir hücrenin üstüne

düştüğünde bir kısmı hücre içerisinde geçerken diğer kısımları da hücre tarafından soğurulur ya da yansıtılmaktadır. Fotovoltaik hücre ile soğurulan fotonlar elektrik üretir. Fotondaki enerji yarı iletken malzemeye ait atomda bulunan elektrona geçişi yapar (Öztürk 2013).

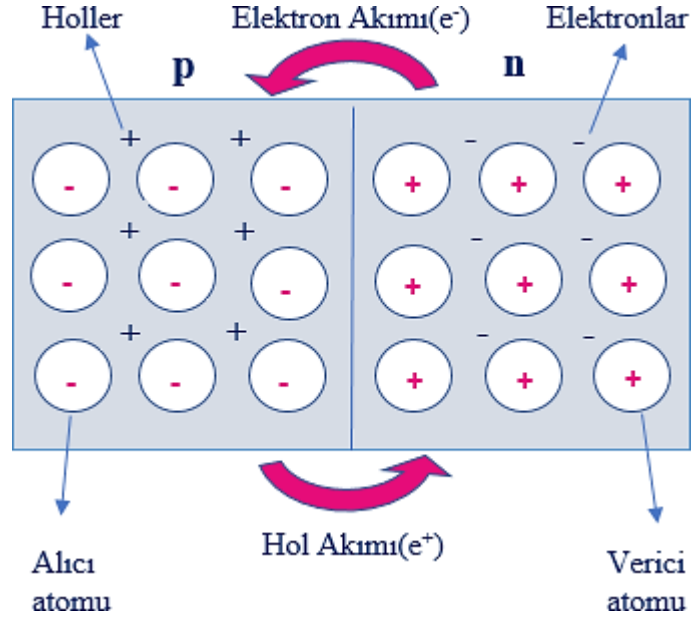


Şekil 2.2: PV hücrenin çalışma ilkesi (Öztürk 2013)

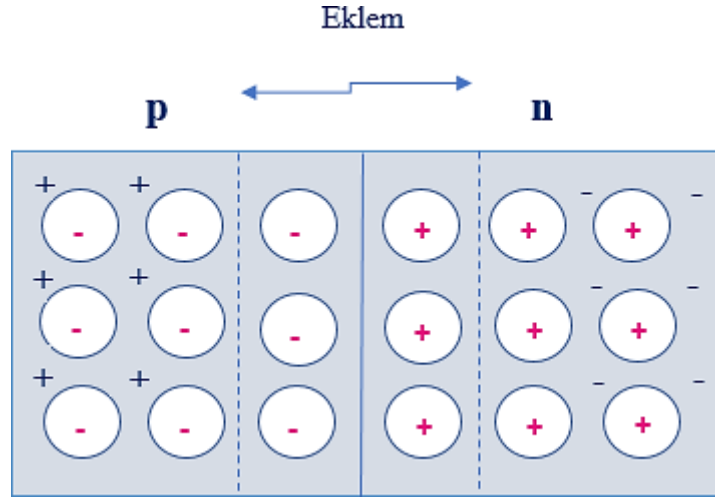
P-N eklemine oluşumunda ki değdirildiği an Şekil 2.3 (a)'da ve termal dengeye ulaştığı an ise Şekil 2.3 (b)'de gösterilmiştir. Şekilleri de ele alarak fotovoltaik panellerin çalışma prensibini inceleyecek olursak p-n eklemelerinden meydana gelen diyota benzediği görülmektedir. Fotoelektrik yapısını esas alan PV panellerde fotonlar sayesinde ayrılan elektronlar eklemde harekete geçer ve elektrik akımını oluşturur. PV panel, içerisinde kullanılan silisyum, galyum gibi yarı iletken malzemelerden oluşur. N veya P tipi katkılanması ile yarı iletken bir malzemenin güneş pili olarak yararlanılabilmektedir. Katkılanmanın oluşumu için saf yarı iletken eriyik içerisinde katkı maddesini belirli bir şekilde eklemek gerekir.

Örnek verecek olursak N tipi bir katkılama için; yarı iletkenlerden olan silisyum eriyiğine periyodik cetvelde yer alan 5.grup elementinden olan fosfor eklenir. Silisyumun son katmanındaki 4 ve fosforun son katmanında bulunan 5 elektron kristal bir yapı oluşturduğunda elektronlar fazla gelir. N tipindeki katkılama bölgesi verici bölge olarak bilinmektedir. P tipi katkılanmasında da silisyum eriyiğine periyodik cetveldeki 3.grup elementlerinden olan alüminyum, bor gibi malzemeler eklenir. P tipi

katkı maddesinde 3 elektron bulunur ve yeni oluşacak kristal bir yapıda elektron eksikliği meydana gelir. Bu durumda P tipi katkılama bölgesine de alıcı bölge adı verilir. N tipi bölgede yer alan ve sayısı fazla olan elektronlar ile güneş ışınlarında bulunan fotonlar, elektron eksikliği görülen P tipi bölgeye doğru yönelirler. Bunun sonucunda da elektron-hol çiftleri oluşur. Elektron azlığı veya çokluğunda P ve N bölgelerinde elektrik alan meydana getirir. Elektrik alan sayesinde birbirinden kopan elektron hol çiftleri PV panelin uçlarında güç çıkışı oluşturur.



(a)

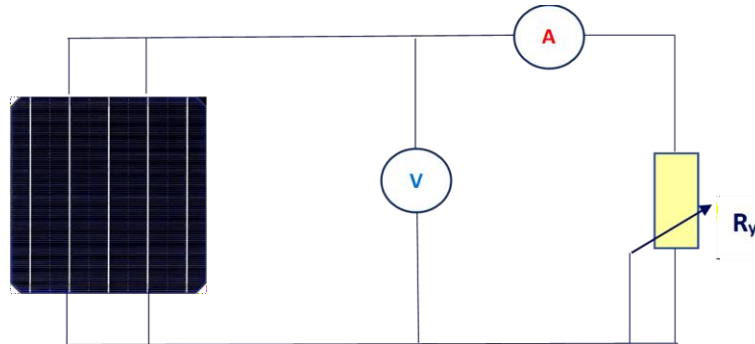


(b)

Şekil 2.3:P-N eklemine oluşması a) Değdirildiği an, b) Termal dengeye ulaşıldığı an

2.3 Fotovoltaik Hücre Parametreleri ve Karakteristikleri

Fotovoltaik bir hücreye herhangi bir yük bağlı olmadığı durumda ışıının düştüğünde 0,6 V civarında bir gerilim oluşur. Pozitif ve negatif kutuplar arasından ölçülebilen bu gerilim açık devre gerilimi “ V_{oc} ” olarak bilinir. Bu kutuplar arasına ampermetre bağlandığında da kısa devre akımı “ I_{sc} ” ölçülebilmektedir. Bir PV panele ait karakteristiklerin belirlenmesi için devreye bir ayarlanabilen direnç bağlanır, Şekil 2.4’ de devresi görülmektedir. Bu sayede de maksimum güç noktasının tespiti yapılabilmektedir.



Şekil 2.4: PV hücrenin ayarlanabilen direnç bağlı devresi

PV hücrenin karakteristik eğrisinde 6 özellik yer almaktadır. Bunlar, kısa devre akımı (I_{sc}), Açık devre gerilimi (V_{oc}), Maksimum akım değeri (I_m), Maksimum güç noktası (MPP), Dolum faktörü (FF) olarak ayrılmaktadır.

Kısa devre akımında üstteki ve alttaki katmanlar sifira yakın bir tel ile birleştirildiğinde telin içinden elektronlar geçer ve alt kısımda bulunan boşluklarda bir araya gelir. İç direnci çok küçük olan ampermetre genel olarak hücrenin kutup noktaları arasına bağlanır. Kısa devre akımı Şekil 2.5(a)'da görülmektedir.

Açık devre geriliminde PV sistemin pozitif ve negatif uçları arasındaki gerilim farkıdır. Şekil 2.5(b)'de de açık devre gerilimi görülmektedir. Devreye ait açık devre gerilimi; hücrenin yapıldığı malzemeye, ışınım şiddetine dayalı farklılıklar gösterebilmektedir.

Maksimum akım değeri, fotovoltaik sistemin yüklü durumda elde ettiği maksimum akım değeri olarak bilinir.

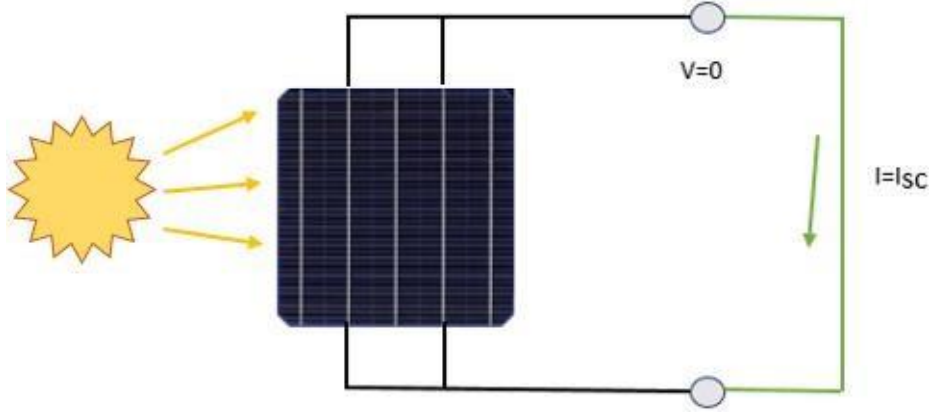
Maksimum gerilim değeri ise fotovoltaik sistemin yüklü durumda elde ettiği maksimum gerilim değeridir.

Maksimum güç noktası, hücre veya modülün maksimum güçte çalıştığı noktadır. Maksimum akım ve gerilim değeri çarpılarak yük direncine bağlı fotovoltaik sistemin güç noktasının en yüksek değeri bulunur.

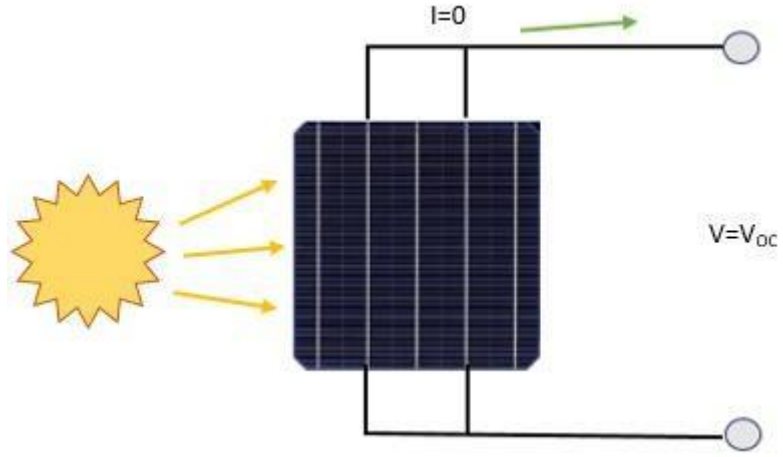
$$Dolum\ Faktörü(FF) = \frac{V_{max} I_{max}}{V_{oc} I_{sc}} = \frac{P_{max}}{V_{oc} I_{sc}} \quad (2.1)$$

Son olarak dolum faktörü (FF) ise PV hücrenin toplam değerini gösterir ve bu değer de birim değere doğru ilerledikçe kalitesi artmaktadır. Hücrenin çıkış gücünün en yüksek değerinin (P_{max}), açık devre gerilimi olan V_{oc} ile kısa devre akımı I_{sc} 'nin çarpımının oranı ile bulunmaktadır.

Şekil 2.5'te Fotovoltaik hücrenin kısa devre akımı ve açık devre gerilimine ait devreler görülmektedir.



(a)



(b)

Şekil 2.5: PV hücredeki a) Kısa devre akımı, b) Açık devre gerilimi

2.4 Fotovoltaik Panellerin Bağlantısı

Fotovoltaik panellerin üç türlü bağlantısı vardır. Bu bağlantılardan biri panellerin seri bağlanması diğeri panellerin paralel bağlanması ve son olarak da hem paralel hem seri olarak bağlanmalarıdır. Bağlantıları gerçekleştirildiğinde güç çıkışı artırılmış olur. Bağlantıları yapılırken kurşun içerikli olmayan lehimler kullanılmaktadır. Elde edilmek istenen güç çıkışına göre fotovoltaik sistemin

durumunu da göz önüne alarak bazen akımı arttırmak bazen de gerilimi arttırmak gerekmektedir.

2.4.1 PV Panellerin Seri Bağlanması

Fotovoltaik panellerin seri bağlanması ile elde edilen akım değeri,

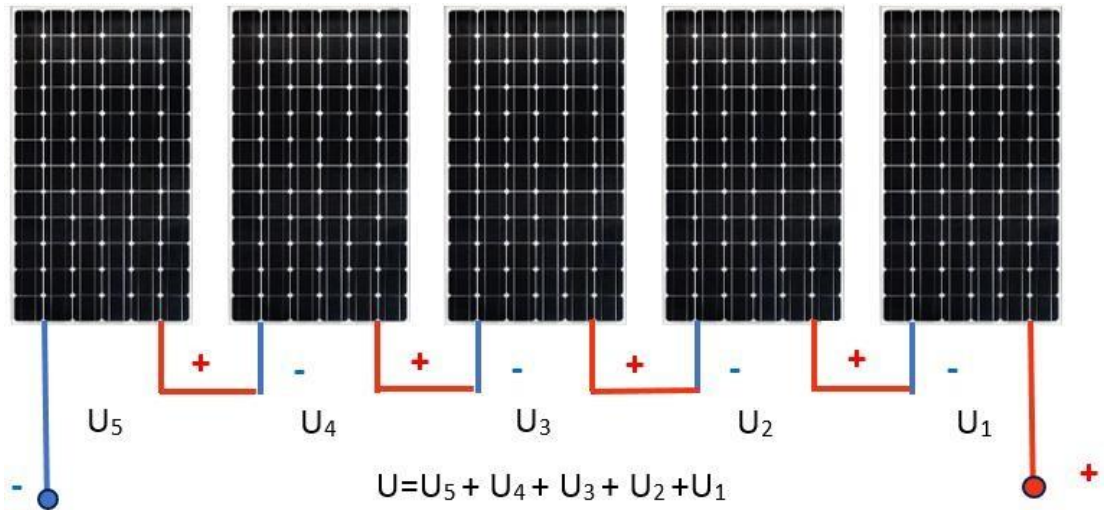
$$I = \frac{U_1+U_2+\dots+U_n}{R+(r_1+r_2+\dots+r_n)} \quad (2.2)$$

formülü ile bulunur. Seri bağlantısı yapılan fotovoltaik panellerin çıkış gerilimi için U, iç direnci için de r ifadesi kullanılacak olursa, PV güç sisteminin R yükünü beslemesi durumunda akım değeri (I), Denklem (2.2)' de verildiği gibi bulunmaktadır.

Tüm r değerleri için toplam iç dirence R_t ifadesi verildiğinde ise elde edilen formül,

$$I = \frac{U}{R+R_t} \quad (2.3)$$

şeklinde hesaplanır. Şekil 2.6' da seri bağlantısı yapılan panellere ilişkin şema verilmiştir.



Şekil 2.6: Güneş panellerinin seri bağlanması

Seri bağlanan fotovoltaik panellerin çıkış gerilim değerleri artmaktadır. Daha yüksek gerilim elde edileceğinde seri bağlanacak PV panellerin sayısı arttırılır. Seri bağlantısı yapılan paneller üzerinden değeri aynı olan akım değeri geçer. Seri bağlantı yapılırken bir panelin artı tarafı arkasından gelen diğer panelin eksi tarafıyla birleştirilir.

2.4.2 FV Panellerin Paralel Bağlanması

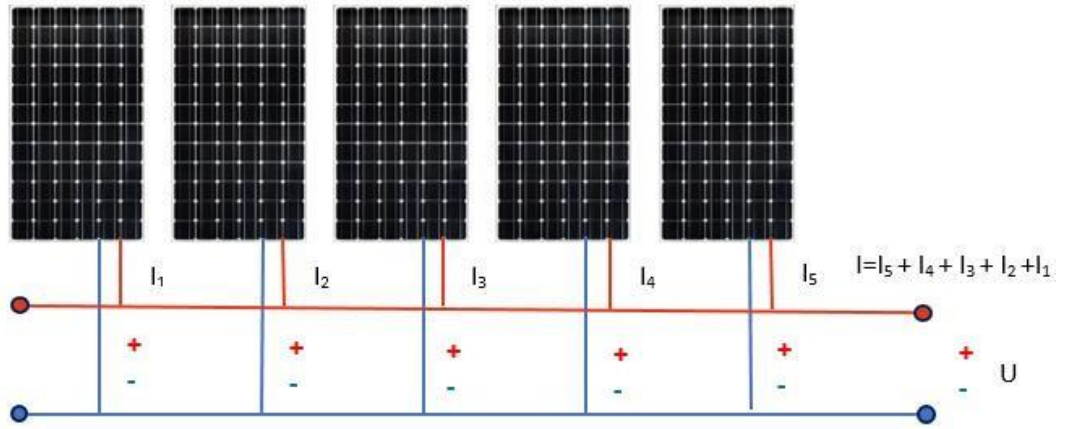
Paralel bağlantısı yapılan fotovoltaik panellerin çıkışındaki akım artar. Bu bağlantı da çıkış gerilimi sabit kalır. Çıkış gerilimleri;

$$U=U_1=U_2=\dots=U_n \quad (2.4)$$

olup buradaki U , fotovoltaik dizinin çıkış gerilimidir. 1' den n ' e kadar olan tüm gerilim değerlerinin birbirine eşit olduğu görülmektedir. Bir PV panelin iç direnci için r ifadesi kullanılırsa birinci PV panelin iç direnci;

$$I = \frac{U}{R+(r1/n)} \quad (2.5)$$

formülü ile bulunur. Fotovoltaik dizine bağlı yükün çektiği akım için I , sisteme bağlı yük direnci için R , sisteme bağlı birinci panelin iç direnci $r1$, sistemde bulunan panel sayısı için n ifadeleri kullanılmıştır. Şekil 2.7' de paralel bağlantısı yapılan panellere ilişkin şema verilmiştir.

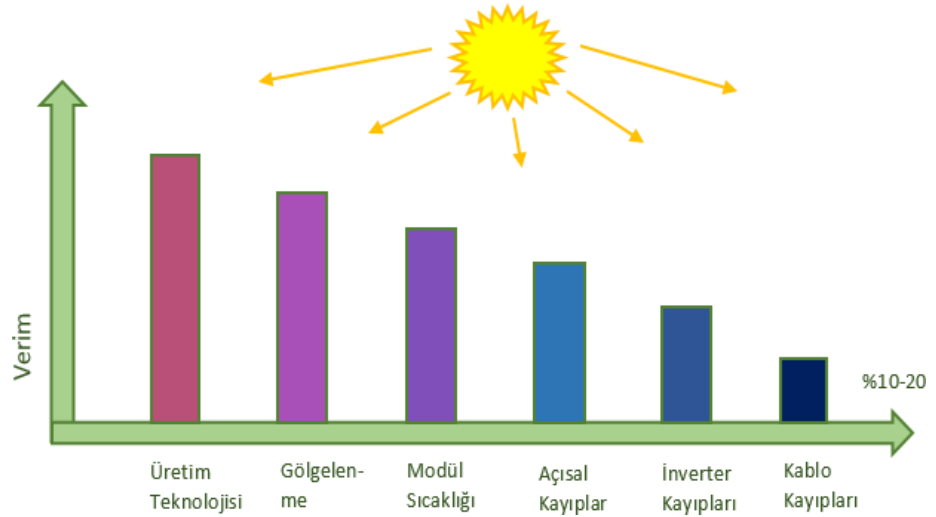


Şekil 2.7: Güneş panellerinin paralel bağlanması

Fotovoltaik sistemde bir panelin artı tarafı diğer panelin artısıyla birleştirilerek paralel bağlantıları yapılmış olur. Panellerin fotovoltaik güç sisteminde oluşturduğu yapıya dizin denilmektedir (Süleyman ve Cangi 2019).

2.5 Fotovoltaik Sistemlerde Performansı Etkileyen Faktörler

Kullanım ömürlerinin yaklaşık 20 yıl olacağı düşünülerek tasarlanan PV modüllerin finansal projelendirmesi de bulunan hesaplamalarla yapılmaktadır. Sistemin verimliliğine etki edecek en düşük kayıp göz önüne alınarak 20 yıllık hesaplaması yapıldığında bulunan kayıp değeri önemli noktalara çıkmaktadır. Üretilen enerjide ortaya çıkan bu kayıplar sisteme ait verimi oluşturur. Tasarımı, yapımındaki işçiliği, çevresel etkileri gibi çok sayıda faktörlere dayanmakta olup sistem üzerinde çalışan proje uzmanları da kayıpları önlemek için ayrıntılara dikkat etmesi gerekmektedir. PV sistemlerin çalışmasını değiştiren birçok faktör vardır. Sistemler enerji üretirken kayıplara uğramasına neden olan bu faktörlere modül sıcaklığı, gölgelenme, açısal kayıplar, ışınlım, çevresel (karlanma veya tozlanma) etkiler sayılabilmektedir. Şekil 2.8’ de de bu faktörler görülmektedir.



Şekil 2.8: Güneş enerjisinden elektrik enerjisine dönüşümde oluşan kayıp faktörleri

2.5.1 Fotovoltaik sistemlerde kayıplar

Fotovoltaik sistemlerde üretilen enerjinin verimliliği çok sayıda etkene dayanmaktadır. Sistemdeki bileşenlerin nominal karakteristik değerleri, coğrafi alandaki koşulları, gölgelenmeye sebep olan sistemin çevresindeki yapılar, çalışması sırasında meydana gelebilecek elektronik arızalar gibi bazı sorunlar sistemin verimliliğini de etkilemektedir (Öztürker 2016).

Fotovoltaik sistemlerin Performans Oranı (PO);

$$PO = \frac{\text{Üe (Şebeke Çıkışı)}}{Re} \quad (2.6)$$

formülü ile hesaplanır. Formüldeki üretilen enerji için Üe, referans enerji için ise Re ifadeleri kullanılmıştır. Referans enerji hesabı;

$$Re = Işınım \times Sistem Alanı \times STK'daki Modül verimi \quad (2.7)$$

şeklinde bulunur.

Şebeke bağlantısı olan bir fotovoltaik sistemin performans oranında, Standart Test Koşulları 1000 W/m² ışınım, 25°C sıcaklık ve 1,5 hava kütesindedir. Fotovoltaik sistem enerjisi için şebekenin çıkışında bulunan standart test koşullarına bağlı modüllerden elde edilebilecek enerjiden sisteme ait kayıpların çıkarılmasıyla bulunabilmektedir. Sistemde görülen kayıplar ne kadar düşükse o kadar fazla performans oranı hesaplanmış olur.

2.5.2 Fotovoltaik sistemlerin enerji verimliliği

Fotovoltaik sistemlerde ortaya çıkan sorunlardan biri fotovoltaik panelin verimliliğinin arttırılmasında görülmektedir. Bir fotovoltaik panelin verimini değiştiren birçok etken yer almaktadır. Bu etkenlerden güneş takip sistemleri, soğutma sistemleri ve yoğunlaştırıcılar gibi bazı faktörler verimi arttırılması için geliştirilmiştir. Bu sistemlerin hepsi aynı anda birlikte de kullanılabilir. Fakat bazen fotovoltaik sistem için belirlenen maliyet buna izin vermemektedir. Fotovoltaik panelin verimini etkileyen bileşenler içinde güneş takip sistemlerinde bölgeden bağımsız çalışarak %40'a varan ekstra verim elde edilebilirken soğutma ünitelerinde ise verimde %1-50 aralığında artış görülebilmektedir (Başak ve Sazak 2014).

Fotovoltaik sistemlerde enerji verimliliği hesabı yapılırken fotovoltaik yüzeyin güneş ışınımı yani sistemin çıkış enerjisinin, giriş enerjisine oranı bulunmaktadır. Fotovoltaik panellerin enerji verimliliği veya birinci kanunu aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\eta = \frac{Vm \cdot Im}{I A} \quad (2.8)$$

Denklem (2.8)' de yer alan V_m ile I_m değerleri çarpılarak elektriksel güç olan P_m tanımlanmaktadır. Bir fotovoltatik sistemin g, akım (I_m) ve gerilim (V_m) değerlerinin çarpımı ile aşağıda verildiği denklemle bulunabilir (Bayrak ve diğ. 2017);

$$P_m = V_m \cdot I_m \quad (2.9)$$

Aynı zamanda PV sistemin g, sıcaklığın bir fonksiyonu olarak da aşağıdaki denklemle hesaplanabilir.

$$P_m = P_{mi} [1 + (T - 25) \cdot \beta] \quad (2.10)$$

Literatürde daha çok tercih edilen maksimum güç denklemleri Denklem (2.9) ve Denklem (2.10) 'da verilmiştir (Bayrak 2017).

3. TERMOELEKTRİK SİSTEMLER

3.1 Elektrik, Termoelektrik Etki ve Termoelektrik Elemanlar

Bir maddenin elektriksel özelliğini 2 etki karakterize eder. Bunlardan biri Joule etkisi, diğeri ise Termoelektrik etkidir.

3.1.1 Joule Etkisi

Joule etkisi, James Prescott Joule' dan adını alıp, elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşümünü gösteren kanundur. Elektrik devresinde birim zamanda ortaya çıkan Joule ısı (Q_J) miktarı Watt olarak;

$$Q_J = I^2 \cdot R \quad (3.1)$$

formülü ile ifade edilir. Bu Kanuna göre bir iletkende ortaya çıkan ısı miktarı, iletkenin direnci(R) 'ne bağlı olarak üzerinden geçirilen akımın karesi(I) ve akımın geçme süresi(t) ile doğru orantılıdır.

3.1.2 Termoelektrik Etkiler

1821 yılında Alman fizikçi Thomas Seebeck tarafından ilk kez keşfedilmiştir. Bu etkiler Seebeck, Peltier ve Thomson etkileridir. Isı enerjisinin elektrik enerjisine veya tam tersi elektrik enerjisinin ısı enerjisine dönüşümüne termoelektrik olay denilmektedir. Katı haldeki güç kaynakları termoelektrik jeneratörler olup Seebeck etkisinden yararlanır. Katı haldeki ısı pompaları ise termoelektrik soğutuculardır. Burada da Peltier etkisinden yararlanılmaktadır. Genel anlamda termoelektrik etkinin araştırması yapılarak kullanılacak malzemenin de seçimiyle termoelektrik jeneratör veya termoelektrik soğutucu yapılabilmektedir. Kimyasal yollarla birbirine eklenen yarıiletken iki farklı malzemedan oluşan devre üzerinden geçen elektrik akımı ile yarıiletkenler farklı sıcaklık değerlerine ulaşır. Farklı sıcaklık değerlerine ulaşan bu

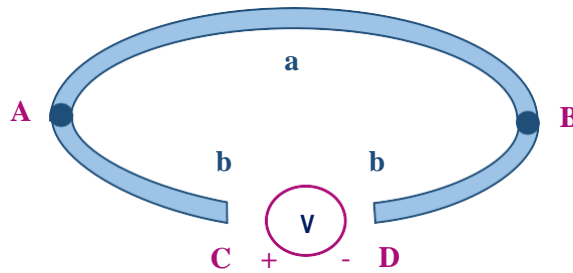
yarıiletkenlerinde farklı etkileri olduğu aynı anda görülmektedir. Bunlar bu etkileri keşfeden kişilerin isimleri olan Seebeck, Peltier, Thomson etkileridir (Çevik 2011).

3.1.2.1 Seebeck Etkisi

1821’de Alman fizikçi Thomas Johann Seebeck termokupl olarak isimlendirilen metalleri farklı olan iki iletkenin uçlarını birleştirmesiyle oluşan kapalı bir termoelektrik devre meydana getirmiştir. Bu devrede iletkenlerin birleştikleri kısımda oluşan sıcaklık farkıyla gerilim değerinin doğru orantılı olduğunu bulmuştur.

İki farklı metalin sıcaklığı aynı olduğunda ortalama hızları ve serbest elektron yoğunlukları da aynı olmaz. Daha çok elektrokimyasal potansiyeline sahip olan elektronlar bu iki metal birleştirildiğinde diğer metale geçer. Metallerde artı ve eksi yükler arasında geçiş olmadan önce bir denge vardır. Geçiş olduktan sonra denge de bozulur. Metaller arasında elektrik alan meydana gelir. Elektrik alanın büyüklüğü sıcaklığa bağlı olup birleşme noktasının sıcaklığına göre değişir. Birleşme noktalarının sıcaklığı aynı olduğunda gerilimlerinin genlikleri eşit ve ters yönde olur. Bu durumda da birbirlerinin gerilimlerinin yok olmasına neden olurlar. Bazı durumlarda yok etme gerçekleşmez ve net bir potansiyel fark meydana gelir, bu durumda birleştikleri noktanın farklı sıcaklıkta olmasıyla meydana gelir (Şahin 2012).

İki farklı metalin uçları arasında oluşturulan sıcaklık farkının oluşturduğu elektriksel potansiyel fark olarak tanımlanan etkiye seebeck etkisi denilmektedir. Basit termik çift devresi Şekil 3.1’de verilmiştir. Bu şekilde a ve b iletkenleri ile termal yönden paralel ve elektriksel yönden seri bir devre gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Basit termik çift devresi

Oluşturulan devre üzerinde A bağlantı noktasında T1 ve B noktasında da T2 sıcaklık farkı meydana gelirse, açık uçlar olan C ve D 'de V elektriksel potansiyel farkı oluşur. Oluşan V geriliminin değeri;

$$V = \alpha_{ab} \cdot (T1 - T2) \quad (3.2)$$

Şeklinde ifade edilir. Burada;

$$\alpha_{ab} = V / \Delta T \quad (3.3)$$

seebeck katsayısı olup termal emk şeklinde tanımlanır. Birim olarak V/K veya daha yaygın olarak $\mu\text{V}/\text{K}$ olarak ifade edilebilir.

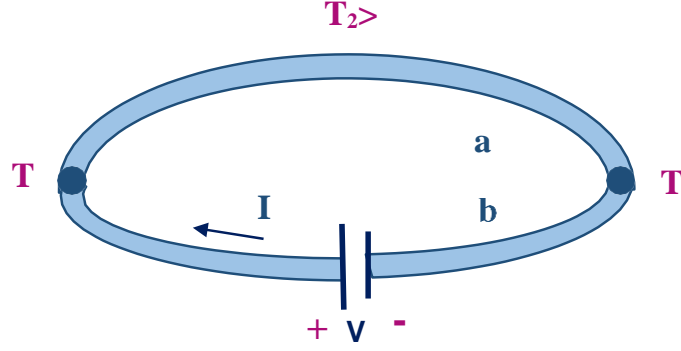
Tablo 3.1' de Platinyum referans alınarak bazı metaller için Seebeck katsayılarının nasıl değiştiği gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Platinyuma göre Seebeck katsayıları

Metal	Seebeck Katsayısı ($\mu\text{V}/\text{K}$)
Antimon	47
Nikrom	25
Molibden	10
Kadmiyum	7.5
Tungsten	7.5
Altın	6.5
Gümüş	6.5
Bakır	6.5
Rodyum	6.0
Tantal	4.5
Kurşun	4.0
Alüminyum	3.5
Karbon	3.0
Cıva	0.6
Platinyum	0
Sodyum	-2.0
Potasyum	-9.0
Nikel	-15
Konstantan	-35
Bizmut	-72

3.1.2.2 Peltier Etkisi

1834'te Fransız fizikçi Jean Charles Athanese Peltier 'in bulduğu Peltier etki, Seebeck etkisinin tam tersi olan bir durumdur. Peltier etkiyi gösteren termoelektrik devre Şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2: Peltier etkiyi gösteren termoelektrik devre

Metalleri farklı olan elektrik devresinde bu metallerin farklı gerilimlere de sahip olmasıyla metallerin biri sıcak iken diğeri soğuk olacaktır. Meydana gelen bu olayın 1838'de Lenz tarafından akımın yönüne bağlı olduğu belirtilmiştir. Bir DC akım termokupl içerisinde geçtiğinde Joule ısısı ile birlikte akım yönüne göre de iki farklı temas noktasının birinden ısı emilirken soğutma gerçekleşirken diğerinden ısı açığa çıkarak ısıtma olayı gerçekleşmektedir. Ortaya çıkan bu ısıya Joule ısısından farklı olarak Peltier Isısı denilmiştir.

Bağlantı kısmında Peltier etkiden dolayı uzaklaştırılan veya emilen ısı oranı, elektrik akımının miktarıyla orantılı olarak Denklem 3.4' de verilmiştir.

$$Q_{Peltier} = \pi_{ab} \cdot I \quad (3.4)$$

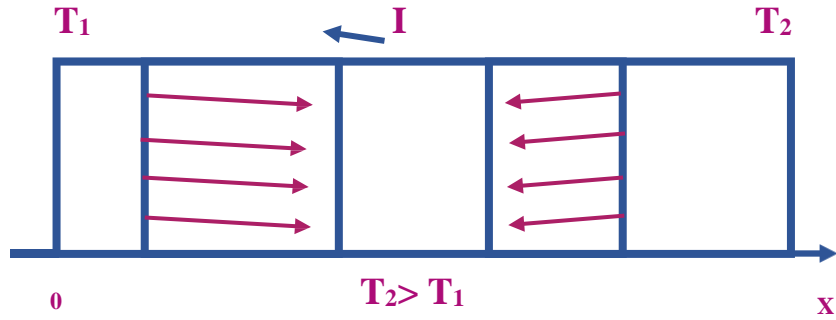
Burada iki farklı malzemeye ait Peltier katsayısı π_{ab} (V) ifadesi ile gösterilmiştir. Bu ifade iki farklı malzemenin birleşmesiyle birlikte ortaya çıkan ısıtma ve soğutmanın büyüklüğünü belirtmektedir. Termokupl üzerinden geçen elektrik akımını ise I (A) ifadesi temsil etmektedir. Seebeck etkisi gibi Peltier etkisi de iki farklı malzemenin birleştikleri kısımda oluşan bir olgudur. Minimum enerji kaybından dolayı bu cihazlarda Peltier etki ile elektrikten ısıtma ya da soğutma gerçekleşirken Seebeck etki sayesinde de ısıtma ya da soğutma ile elektrik enerjisi sağlanabilmektedir.

3.1.2.3 Thomson Etkisi

1856'da William Thomson (Lort Kelvin) tarafından termoemk için α_{ab} ve Peltier katsayısı içinde π_{ab} ifadelerini kullanarak

$$\alpha_{ab} = \pi_{ab} / T (^\circ K) \quad (3.5)$$

eşitliği ifade edilmiştir. 1867'de ise Leru tarafından deneylerle ispatlanarak aynı zamanda kendi adını da taşıyan Thomson etkisinin hipotezi ortaya atılmıştır (Mamur 2013). Şekil 3.3' de Thomson etkiyi açıklayan termoelektrik devre görülmektedir.



Şekil 3.3: Thomson etkiyi gösteren termoelektrik devre

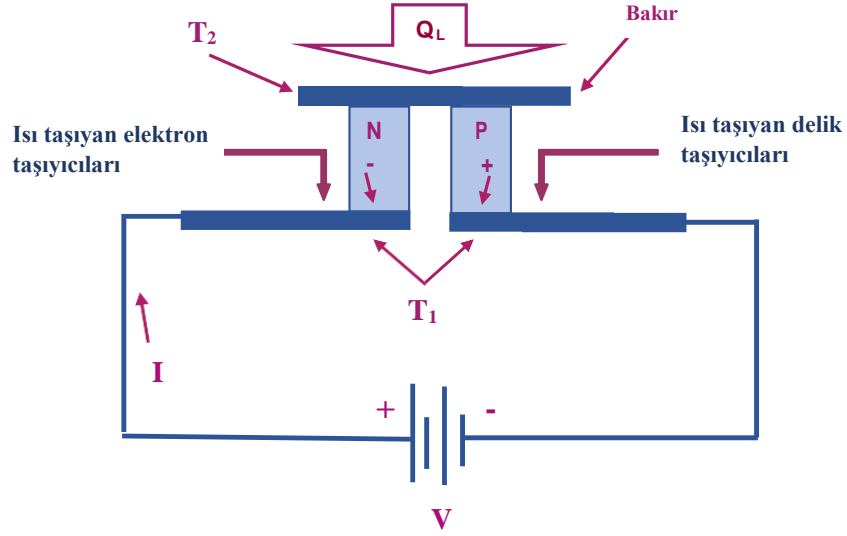
3.1.3 Termoelement ve Termoelektrik Modül

Termoelektrik sistemlerin yapısında termoelementlerden meydana gelen termoelektrik modüller yer almaktadır. Termoelektrik modüller oluşturulurken termoelementlerin termal olarak paralel, elektriksel olarak ise seri bağlantıları yapılmaktadır.

3.1.3.1 Termoelement

Bir termoelektrik sistemin yapısında, Peltier Soğutuculardan olan TEM 'ler bulunur ve bu modüller ısı pompası olarak çalışmaktadırlar. Şekil 3.4' de temel yapısı görülen bir termoelement, n ve p tipteki yarıiletkenlerin iletkenlerle birlikte elektriksel yönden seri bağlanması ile oluşur. Burada termoelementin negatif kolu için n tipi yarıiletkenler, pozitif kolu için de p tipi yarıiletkenler kullanılmıştır. Bir

termoelementin çalışma prensibi incelendiğinde, eğer bir termoelemente DC gerilim uygulanırsa yük taşıyıcılarının, enerji seviyesi az olan üstteki bakırdan yarıiletkenine geçtiği görülür. Üstteki bakırın sıcaklığı da bu sayede düşmüş olur. Enerji seviyesi yüksek olandan düşük olana geçen yük taşıyıcıları üzerinde bulunan fazla enerjiyi altındaki iletkenine geçirerek ısınmasına yol açar. Geçiş esnasında yüzeyi soğuk olandan ısı emilirken yüzeyin sıcaklığı azalırken, pompalanan ısı ile yüzeyi sıcak olanın ise sıcaklığı yükselecektir. Şekil 3.4’ de görülen devreye uygulanan akımın yönü diğer yöne çevrilirse soğuyan yüzeyin bu defa ısındığı, ısınan yüzeyinde soğuduğu görülür.



Şekil 3.4: Termoelementin temel yapısı

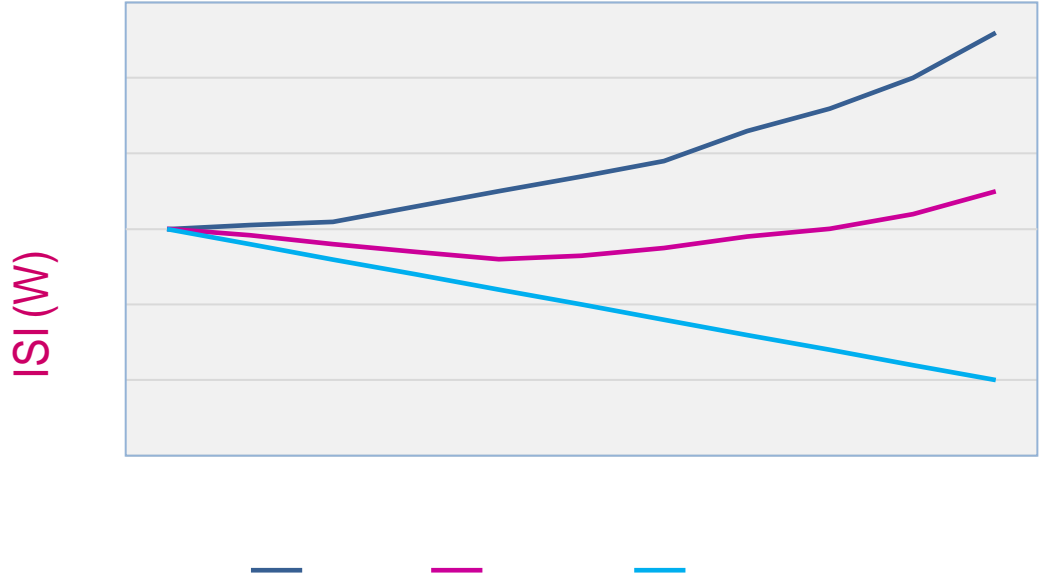
Bir termoelektriğin çalışmasıyla sıcak yüzeyinde oluşan ısıyı, ısı transfer sistemi sayesinde çevreye yayarak sıcaklığın değişmemesi sağlanırsa devreden geçen I akımının şiddetine göre soğuk yüzeyin sıcaklığı da belli bir değere kadar azalır. Termoelemente uygulanan I akımının sabit kalması sağlandığında ise; ısınan yüzey sıcaklığı, soğuyan yüzeyden gelen ve emilen ısı yüküne bağlı olarak değişir. Bu ısı yükü; ilk olarak ısı iletim yolu sayesinde çevrenin etkisiyle ısınan levhadan soğuyan levhaya gelen ısıdan ve termoelement devresinde I akım şiddetine bağlı olarak açığa çıkan Joule ısısından oluşmaktadır.

Şekil 3.5’ de bir termoelementin soğuyan levhasına düşen Joule ısısı olan Q_J ve Peltier ısısı olan Q_P ’ nin toplanmasıyla oluşan;

$$Q = Q(I) = Q_J + Q_P \quad (3.6)$$

toplamlarının akım şiddeti olarak ifade edilen I 'ya göre değişim grafikleri görölmektedir. Aynı elektrik devrede Peltier ve Joule olaylarının meydana gelmesiyle uygulanan herhangi bir akım şiddeti için bir termoelementin ısısal dengesi Q ifadesi ile karakterize edilmektedir.

Şekil 3.5' de Q ya ait grafik minimum noktasından geçmektedir. Maksimum akım (I_{max}) toplam ısının minimum noktasına ulaştığı akım şiddetidir.



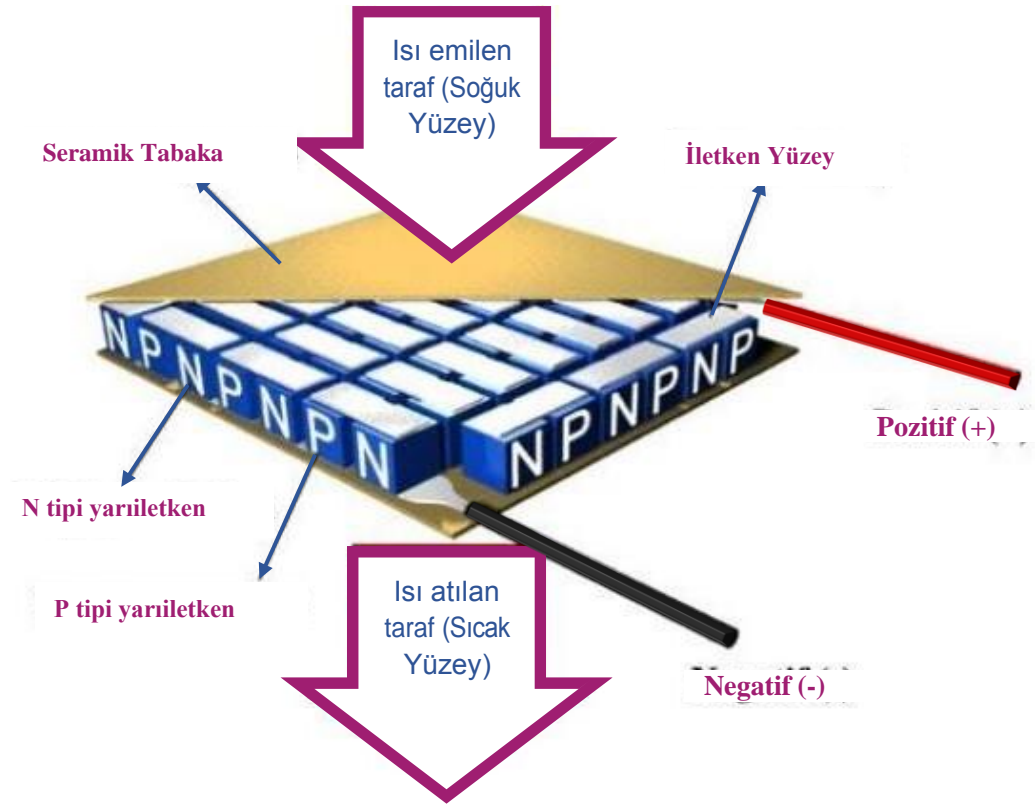
Şekil 3.5: Termoelementin soğuyan levhasında akıma bağlı ısı değişimi

Maksimum akım bir termoelemente uygulanırsa soğuyan levhanın üzerindeki sıcaklığın azaldığı görülür. Bu sıcaklık düşümü maksimum olur. Bir termoelementin yapımında yer alan termoelektrik yarıiletkenlerin kalitelerinin, boyutlarının ve yapısal özelliklerinin değişmesiyle termoelement ya da termoelementlerin birlikte kullanılmasıyla oluşturulan termoelektrik modüllerin maksimum akım şiddetlerinin değerleri de değişir. Bir termoelemente uygulanan akımın şiddeti maksimum akımdan fazla olduğunda Joule ısısı Peltier ısısına göre fazla olur. Soğuma etkisi de bu yüzden azalır. Maksimum akımın 2 katına ulaşan akım değeri ($I=2I_{max}$) nedeniyle soğutma işlemi gerçekleşmez. Bu durumda Peltier ısısı Joule ısısını dengeler. Maksimum akım değerini geçen akım değeri daha da arttığında ($I>I_{max}$) ısısal denge bozulur. Joule ısısının Peltier ısısından fazla olması sonucunda termoelement soğutma özelliğini kaybeder ve ısınır. Termoelement de rezistans gibi davranır. Bir termoelektriğin

çalışmasını daha çok Joule ısıyı değiştirir. Joule ısıyı akım şiddetinin karesi ile doğru orantılıken Peltier ısıyı ise akım şiddeti ile doğru orantılıdır.

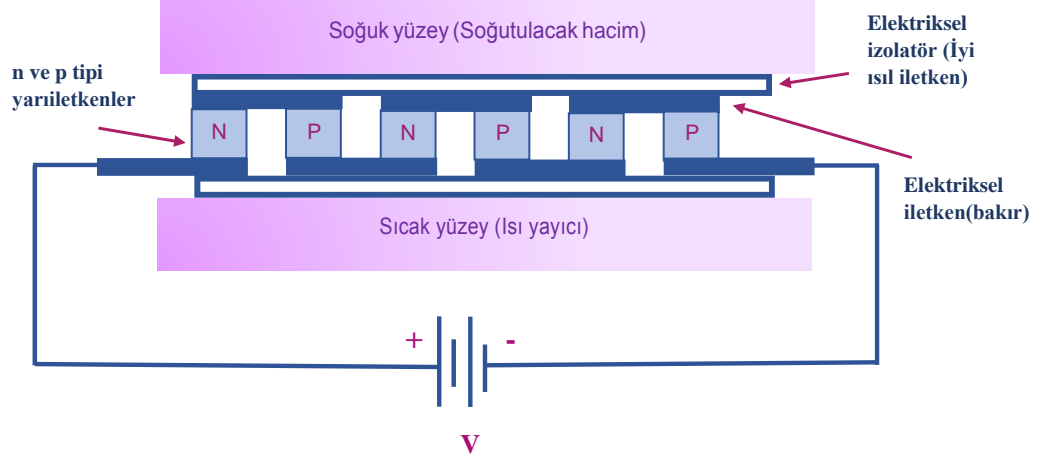
3.1.3.2 Termoelektrik Modül

Birçok termoelementin farklı amaçlar için elektriksel olarak seri, termal olarak ise paralel bağlanmasıyla farklı boyutlarda termoelektrik modüller yapılabilmektedir. Şekil 3.6’ da termoelektrik modülün genel görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 3.6: Termoelektrik modülün genel görüntüsü (Murat ve Kahraman 2016).

TEM’ler hareket eden kısımları bulunmayan küçük birer ısı pompasıdır. TEM’ler genellikle sınırlı alanın bulunduğu, güvenilirlik bakımından önemli olan ve zararlı soğutucu gazların yer alması istenmeyen yerlerde tercih edilirler. Termoelektrik soğutucu, DC gerilimde çalışarak akım yönünün değiştirilmesi sayesinde soğutma ya da ısıtma sistemine basitçe geçebilmektedir. Termoelektrik modülün bir yüzeyinde bulunan ısıyı diğer yüzeye iletilmesiyle soğutma gerçekleşmektedir. Şekil 3.7’ de bir termoelektrik modüle ait yapı görülmektedir.



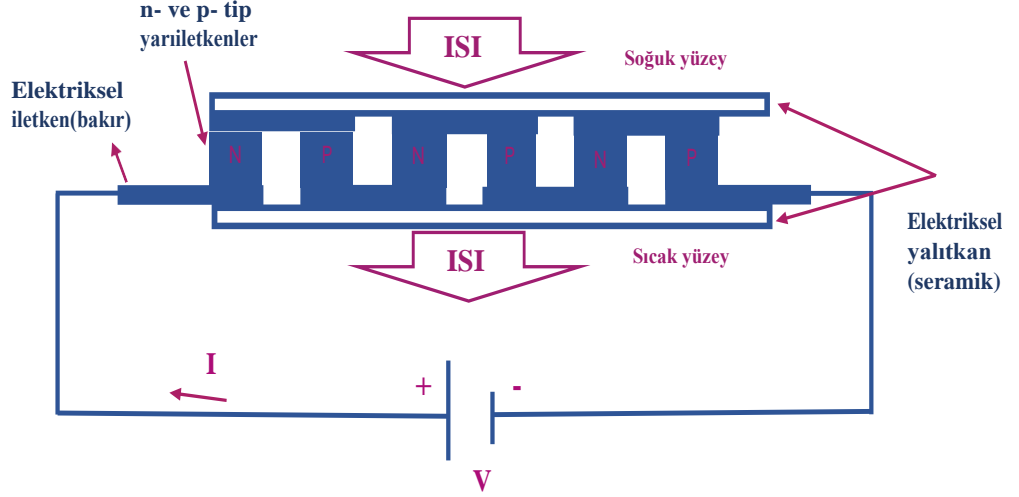
Şekil 3.7: Termoelektrik modülün yapısı

3.1.4 Termoelektrik Soğutucular

Son zamanlarda dayanıklı, küçük boyutlu, uzun süre kullanılabilen, kompakt, yapım maliyeti düşük olan, enerjisi az ve bakımına gerek olmayan soğutucular kullanmaya çalışılmaktadır. Çok fazla tercih edilen, mekanik biçimde hareketi sağlayan parçalardan oluşan mevcut kompresörlü soğutma sistemleri aynı zamanda boyutları büyük olduğundan çok da ideal özelliklerde değildirler. Teknolojinin ilerlediği dönemlerde soğutmaya duyulan ihtiyacın sadece rahatlık için ya da gıdaların saklanması amacıyla kullanılmasının yeterli görülmemesi gerekmektedir. Üretimi yapılan elektronik cihazların içinde meydana gelen ve etrafında oluşan ısının bertaraf edilmesi ile buhar sıkıştırımlı konvansiyonel soğutma sistemlerinden ayrılan daha farklı soğutma cihazları geliştirilmeye çalışılmıştır. Termoelektrik soğutucular bireysel ihtiyaçlar dışında askeri, elektronik gibi farklı alanlarda da kullanılabilen cihazlardır (Çevik 2011).

Termoelektrik soğutma, termoelektrik etkilerde yer alan Peltier etkisine dayanmaktadır. Yarıiletkenleri N ve P tipi olan metal çiftlerinden meydana gelen bir veya birden fazla modülün üzerinden doğru akım geçmesi ile oluşur. Şekil 3.8’ de bir N ve P yarı iletken çiftinden oluşan termoelektrik modülün TES modunda kullanıldığı TE devre görülmektedir. N ve P tipindeki termo elemanlar seri bağlandığında elektriksel, paralel bağlandığında ise ısıl olarak seramiklerin aralarında bulunurlar. Isıtma veya soğutma elde edilebilmesi de akımın yönüne göre değişmektedir. Soğutma

elde edilirken Şekil 3.8’ de de görüldüğü gibi N tipi bir yarı iletkenden P tipine doğru akım geçer. Bu sırada akım, enerji seviyesi az olan P tipi yarı iletken malzemeden enerji seviyesi çok olana geçtiğinde soğutulması gereken ortamdan ısı olarak soğutma meydana getirmektedir. Alınan ısı da soğuk ortamdan sıcak ortama elektronlar yoluyla transfer edilmiş olur (Özkaymak ve diğ. 2014).



Şekil 3.8: TES modda bir TEM

3.1.4.1 Termoelektrik Soğutucuların Avantajları

Termoelektrik soğutucuların ısıl güç yoğunlukları yüksektir. Termoelektrik soğutucuları diğer soğutma sistemlerinden ayıran avantajları şöyle özetlenebilir:

- Hareketli herhangi bir parçası bulunmaz.
- Hareket eden bir parçası olmadığından ömürleri uzundur. Ayrıca bakımlarının yapılmasına da gerek kalmaz.
- Çift seri bağlanarak farklı boyutlarda TE’ ler üretilmektedir.
- TES’ ler konuma veya şekle bağlı sistemlerden olmadığı için dikey veya yatay biçimde de çalışabilmektedirler. Yerçekimi olmayan ortamlarda dahi çalışabilirler. Bu sayede uzay ve havacılıkta da tercih edilmektedirler.
- Hareketli parçası bulunmadığından sessiz çalışırlar.

- Bölgesel soğutma yetenekleri vardır. Doğru şekilde bir cihaza bağlandığında cihazın soğutulmak istenen kısmının sıcaklığı değiştirilebilmektedir.
- Birçok soğutucu kloroflorokarbon gazı sayesinde çalışabilirken TES'lerin çalışabilmesi için sadece elektrik enerjisine gerek duyulmaktadır.
- Termoelektrik soğutucular potansiyel farklardan dolayı yüzeyinin bir tarafı ısıyı soğururken diğer tarafı ısı atabildiği için ısı pompası görevi görürler. Bu özellikleriyle de hem ısıtma hem soğutma yapabilmektedirler. Isının yönü DC akımın yönünün değiştirilmesiyle basit bir şekilde değiştirilebilir.
- $\pm 0,1$ °C arasındaki sıcaklık hassasiyeti ile sınır koşulları içinde çok hassas sıcaklık kontrolü sağlanabilir.

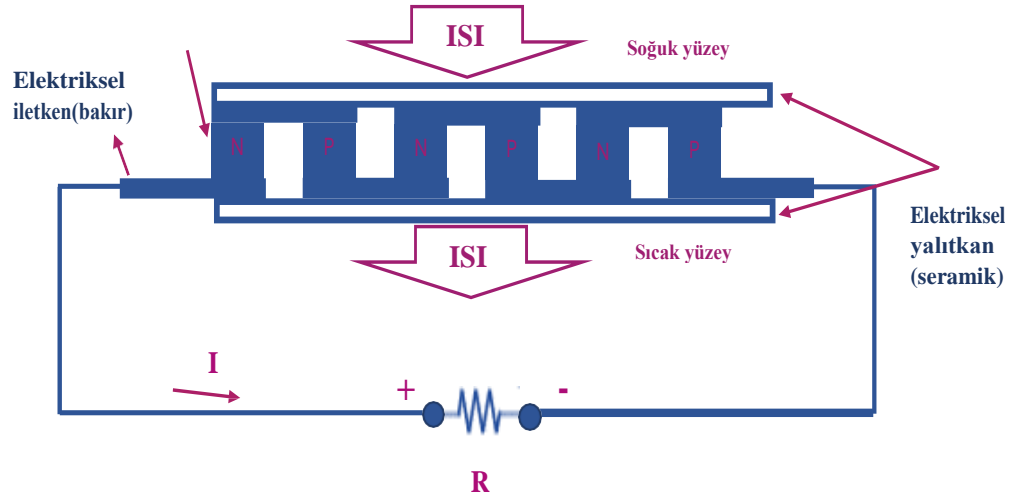
3.1.4.2 Termoelektrik Soğutucuların Dezavantajları

Termoelektrik soğutucuların çeşitli dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- Soğutma ve ısıtma performans katsayıları olan COP düşüktür. İstenilen soğutma yüklerinin elde edilebilmesi için gereken güç fazla olmalıdır. Genelde COP değerleri 1'den daha düşüktür.
- Pahalıdırlar.
- DC beslenmelerine ihtiyaç duyulur.
- Yüksek soğutma yükleri için uygun olmayıp buhar sıkıştırırmalı soğutma sistemleri ile aralarında çok farklar bulunmaktadır.
- İstenilen soğutma değerlerine ulaşması için daha çok termoelektrik modüle gerek vardır.

3.1.5 Termoelektrik Jeneratörler

Birçok termoelektriğin birbirine eklenmesi ile TEM'ler meydana gelmektedir. TEM'ler termoelektrik etkilerden biri olan Seebeck etkisi sayesinde jeneratör olarak da kullanılabilirler. Şekil 3.9' da görülen TEM' ün termoelektrik jeneratör modundaki termoelektrik devresidir. Bir TEJ sistemi ısıtıcı blok, soğutucu blok ve TEM olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. TEJ' ler de bir yüzeyle diğer yüzey arasında sıcaklık farkı görüldüğünde doğru akım üretmektedirler. Devrede yer alan modülün sayısı artırılarak temiz ve basit bir şekilde üretilen jeotermal enerjinin dönüştürülmesiyle elektrik enerjisi elde edilebilir. Metalleri farklı olan kapalı bir devrede birleşen kısımları da farklı sıcaklıkta olduğunda, bu yüzeylerin arasında Fourier etkisi, Joule etkisi, Seebeck etkisi ve Peltier etkisi görülebilir.



Şekil 3.9: TEJ modda bir TEM

Termoelektrik modülün yüzeyleri arasında bir sıcaklık farkı meydana getirildiğinde yüzeyi sıcak olandan soğuk olana ısı aktarılır ve bu sayede de TEJ uçlarında DC gerilimin düştüğü gözlemlenmektedir. Dışarıdan herhangi bir yük TEJ uçlarına bağlandığında bu yük üzerinden I akımını geçirir. Harici R yük direnci değerleri, Δt sıcaklık farkı ve yarıiletken maddelerin özelliklerine göre TEJ' den elde edilebilen gücün veya akımın değeri değişebilmektedir (Mamur 2013).

4. Fotovoltaik Panelin Matematiksel Modellemesi ve Termoelektrik Modüllerle Deneysel Çalışma

4.1 Matlab Programı Hakkında Kısa Bilgi

MATLAB, Matematiksel işlemler yaptırmaya yönelik tasarlanmış bir bilgisayar programı ve aynı zamanda yüksek performanslı bir teknik programlama dilidir. Matlab ismi de İngilizce açılımı olan MATrix LABoratory kelimelerinin birleşiminden gelmektedir. Matlab ilk defa 1985’de Fortran dili ile Cleve Moler tarafından yazılarak matematik ve özellikle de matris esaslı matematiksel ortamlarda kullanılmak üzere geliştirilmiştir. Yıllar boyunca gelişen Matlab’ın matris algoritmasına ‘LINPACK’ ve ‘EISPACK’ projelerinde çalışan kişiler de yardım etmişlerdir. Şu anda kullanılan sürümü de MathWorks firması tarafından C dili ile yazılmıştır. MathWorks firmasının çıkardığı ilk sürümde Matlab’ın grafiklerini Steve Kleiman; analitik rutinlerini, Matlab içi fonksiyonları (M-Fonksiyon) ve kullanıcı kitapçığını da John Littel ve Cleve Moler yazmışlar ve geliştirmişlerdir (Uzunoğlu, Onar, 2003).

Bir matris laboratuvarı olan Matlab’ın temelindeki yapı, boyutlandırma gerektirmeyen matrislerdir. Gerçekleştirilen tüm girdiler ve çıktılar, diğer programlama dillerindeki belirteçleri gerektirmeksizin bir matris tanımlar. Bu özelliği ile Fortran, Basic ve C gibi programlama dillerine kıyasla işlemlere ve programlamaya ayrılacak zamanı minimuma indirgeyerek, programlama dilleri arasında kendine has bir yer edinmiştir. Matlab programını kullananlar matris işleme, fonksiyon ve veri çizme, kullanıcı ara yüzleri oluşturma gibi işlemleri kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Matlab programı matematik ve mühendislik dersleri olan Lineer cebir, optimizasyon, istatistik, nümerik analiz, Fourier analizi gibi pek çok matematiksel hesaplamaların etkili ve hızlı şekilde yapılmasına olanak sağlar.

Matlab programının tipik kullanım alanları:

- Matematiksel (nümerik ve sembolik) hesaplama işlemleri
- Algoritma geliştirme ve kod yazma (programlama)
- Bilimsel ve mühendislik alanında grafik işlemleri

- 2D ve 3D grafiklerinin çizimi
- Modelleme, simülasyon (benzetim) ve prototipleme
- Grafik kullanıcı arayüz yapısını da içine alan uygulamalar oluşturma
- Veri analizi ve kontrolü
- Gerçek dünya şartlarında uygulama geliştirme

şeklinde özetlenebilir (İnan 2005).

4.2 Simulink Benzetim Programı

Simulink, dinamik sistemli modellerin kurulmasıyla benzetimi ve çözümlenmesinde kullanılan etkileşimli bir Matlab aracıdır. Dinamik sistemlerin farklı domenlerde modellenmesi, simülasyonu ve analizi için geliştirilmiştir. Simulink kullananlar blok diyagramlar halinde sistemi modelleme, sistem davranışını simule etme, sistem performansını değerlendirme ve tasarımını iyileştirme gibi özellikleri gerçekleştirebilmektedirler. Simulink birçok matematiksel ifadelerden başlayarak; elektrik, elektronik, sinyal, kontrol sistemleri gibi birtakım alanlara kadar dağılmış blok diyagramlara sahiptir. Ayrıca Matlab' ı kullananlar kendi bloklarını yaratabilme imkanını da Matlab' ın geliştirilebilme özelliği ile bulabilmektedirler. Bir çift tıklama işlemi sayesinde modellere ait ayrıntılar değiştirilebilmektedir. Her türlü oluşum ve değişimin yapılabildiği modeller üzerinde çalışabilir ve hemen analizsel veriler elde edilebilir. Simulink, içerisinde bulunan araç kutuları sayesinde en kısa sürede çözümler sunabilmektedir.

Simulink kullanımda belirleyici olan özellikler;

- Görsel hata ayıklayıcı,
- Veri analiziyle birlikte görselleşme ve ara yüzün yapılabilmesi için Matlab ile tam iletişim,
- Farklı benzetim programlarıyla bağlantı kurma, elle Matlab algoritmalarını dâhil edebilme,
- Model katlarının kolay çalışabilmesini sağlayan "Model Gezgini",
- Ayrıntılı önceden tanımlı bloklar,
- Blok şemalarını oluşturmak için etkileşimli grafiksel editör,

- Karmaşık modelleri basite indirgemek için hiyerarşik modele ait yapı,
- Değişken veya sabit adım aralığı sayesinde benzetimleri gerçekleştirilebilme

şeklinde ifade edilebilir(Uzunoğlu ve Onar 2003).

4.3 Fotovoltaik Sistemlerin Modellemesi

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan fotovoltaik sistemler; fotovoltaik pillerin seri veya paralel bağlanarak meydana gelen PV panelin talep edilen güçle birlikte oluşturdukları sistemler olarak bilinmektedirler. PV panellerin ürettikleri güçler sıcaklık ve güneş ışınım şiddeti gibi birtakım çevre şartlarından etkilenerek değişim gösterebilmektedirler. Başka bir ifadeyle bu çevre şartları fotovoltaik panellerin ürettiği akım ve gerilim değerlerini değiştirmektedir. Fotovoltaik panellerin akım ve gerilim değerlerine ait grafiklerinde doğrusal olmayan bir yapı vardır. Yüksek değerlerde verimi olmayan PV sistemlerin kurulum maliyetleri de elektrik üretim sistemlerine göre pahalı olduğundan, maksimum gücü elde edebilecek biçimde çalıştırılmaları gerekmektedir (Duman ve diğ. 2014).

Fotovoltaik güneş pillerinin kullanımının yaygınlaşmasıyla simülasyon modelleri üzerinde yapılan çalışmalar da artmaktadır. Klasik doğru akım ve alternatif akım kaynaklarına göre karakteristiklerinin değişiklik göstermesine bağlı olarak çalışma koşullarından da etkilenmeleriyle PV pillerin simülasyon modellerinin oluşturulmasında zorlanılmaktadır. Çalışma sıcaklığı, Ortam sıcaklığı ve güneş ışığı şiddeti dinamik olarak değişiklik göstermektedir. Geliştirilen model de bu değişikliklere bağlı olarak çözüm üretecek dinamiğe sahip olmalıdır (Yılmaz ve diğ. 2012).

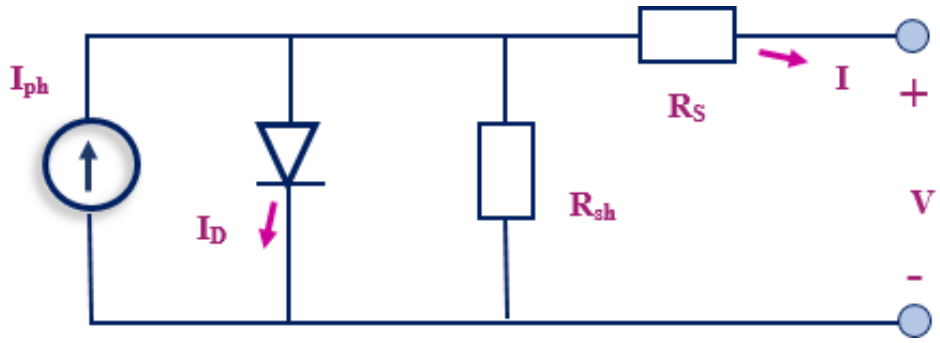
Bu bölümde öncelikle güneş pilinin literatür taramasında en yaygın kullanıldığı tespit edilen devresine bağlı olarak Matlab/Simulink ile PV panel bloğunun modellenmesi yapılmıştır. Geliştirilen model ile PV panelin akım- gerilim ve güç-akım karakteristiklerine ait grafikler elde edilmiştir.

4.4 Matematiksel Modeller ve Matlab/Simulink Benzetim Programı

Burada, deneyde kullanılan fotovoltaik panele ait matematiksel modeller ve Matlab/Simulink benzetim programında yapılan benzetim çalışmasından elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

4.4.1 Güneş Piline Eşdeğer Devresi ve Denklemleri

Şekil 4.1’ de güneş piline ait eşdeğer devre görülmektedir. Güneş gözesi diyota paralel bağlı olan bir akım kaynağı olarak ifade edilebilir.



Şekil 4.1: Güneş gözesine ait eşdeğer devre

Burada güneş göze verimini etkileyen seri ve paralel dirençlerinin etkileri gösterilmektedir. Paralel direnç (R_{sh}) etkisi kristal kusurları yaratır. Seri direnç etkisini ise yarıiletken malzemeye yapılan metal kontaklar, yarıiletken malzeme içindeki tabakalarda bulunan iç dirençleri ve gözenin üst yüzeyindeki metalik parmak kontak dirençleri oluşturur. Paralel direnç etkisi güneş pilinin açık devre gerilimini ve dolun faktörünü azaltırken seri direnç etkisi gözenin kısa devre akımını ve dolun faktörünü azaltmaktadır.

Eşdeğer devreye Kirchoff’un akımlar kanunu uygulandığında;

$$I = I_{ph} - I_D - I_{Sh} \quad (4.1)$$

elde edilir. P-n jonksiyonundan geçen toplam akım diyot akımıdır. I_D diyot akımı olup matematiksel olarak fotonlar tarafından harekete geçirilen elektronların akımı (I_e) ile boşluklar tarafından oluşturulan akımların (I_h) toplamıdır. İletim bandındaki elektron durumlarının ve valans bandındaki boşluk akımlarının Boltzmann dağılımı ile net elektron akımı ve boşluk akımları;

$$I_e = I_{e0} \cdot (e^{qV_D/KT} - 1) \quad (4.2)$$

$$I_h = I_{h0} \cdot (e^{qV_D/KT} - 1) \quad (4.3)$$

olarak ifade edilirler. Diyot akımı ise;

$$I_D = I_e + I_h \quad (4.4)$$

olur. Şekil 4.1’ de Kirchoff ‘un gerilimler kanunu kullanılarak oluşturulan güneş piline ait devrede Denklem (4.5)’ deki kaynak akımı ifadesi elde edilir.

$$I_D = I_0 \cdot (e^{qV_D/n.N_s.K.T} - 1) = I_0 \cdot (e^{q(V_{pv} + I.R_s)/n.N_s.K.T} - 1) \quad (4.5)$$

$$I_{sh} = V_D/R_{sh} = (V_{pv} + I.R_s)/R_{sh} \quad (4.6)$$

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} \quad (4.7)$$

şeklinde ifade edildiğinden ,

$$I = I_{ph} - I_0 \cdot (e^{q(V_{pv} + I.R_s)/n.N_s.K.T} - 1) - (V_{pv} + I.R_s)/R_{sh} \quad (4.8)$$

olur.

Güneş panellerinde paralel kol sayısı N_p , seri kol sayısı ise N_s ile ifade edilir. Her bir paralel kol (N_p), seri olarak bağlantıları yapılan N_s sayıda güneş pili ile birbirlerine bağlanmıştır. Birbirlerine seri bağlantısı yapılmış güneş pillerinin toplam gerilim değeri, aynı akım değeri için her bir güneş pili gerilim değerinin toplanmasıyla bulunur. Birbirlerine paralel bağlanmış güneş pillerinin akım değerinin toplamı, aynı gerilim değerlerinde üretilen akım değerlerinin birbirine eklenmesi ile bulunur. Modül uçlarında oluşan V^M modül gerilimi ve I^M akımı olmak üzere;

$$V^M = N_s \cdot V_{yeni} \quad (4.9)$$

$$I^M = N_p \cdot I_{yeni} \quad (4.10)$$

olur. Sıcaklığın etkisine bağlı olarak bir fotovoltaik modülün karanlıktaki doyma akımı;

$$I_0 = I_{0ref} \cdot (T_c / T_{cref})^3 \cdot \exp[(q.E_g/n.K)(1/T_{cref} - 1/T_c)] \quad (4.11)$$

şeklinde ifade edilir. Foton akımı;

$$I_{Ph} = [I_{sc} + k_i \cdot (T_c - 298)] \cdot G / 1000 \quad (4.12)$$

şeklinde hesaplandığında güneş gözesinin üretmiş olduğu akım elde edilir. Denklemlerde yer alan ifadeler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1: Denklemlerdeki isimlendirmeler

I _{sc}	Kısa devre akımı	K	Boltzmann sabiti, 1.38 * 10 ⁻²³ J / K
k _i	25oC'de hücrenin kısa devre akımı ve 1000 W / m ² , 0.003.	E _g	Diyot bant genişliği, 1.1eV
T _c	Çalışma Sıcaklığı (K)	N _s	Seri bağlı hücre sayısı
T _n	Nominal Sıcaklık, 298 K.	N _p	Paralel bağlı hücre sayısı
G	Solar Işınlama (W / m ²)	R _s	Seri direnç
q	Elektron Yüğü, 1.6 * 10 ⁻¹⁹ C	R _{sh}	Şönt direnci
V _{oc}	Açık devre voltajı (V).	n	Diyotun ideallik faktörü, 1.3
I _{ph}	Foto-akımı (A)	I _{0ref}	Referans akımı

4.4.2 Fotovoltaik Panelin Simulink Benzetimi

Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde yer alıp önemli olanlarından biri PV sistemlerdir. PV pillerin seri veya paralel olarak bağlanması ile paneller oluşur. Fotovoltaik sistemler panellerin talep edilen güç doğrultusunda meydana gelen sistemler olarak ifade edilirken, panellerin ürettikleri güçler de ışık şiddeti (W/m²), sıcaklık (°C) gibi çevresel şartlara göre değişim göstermektedirler.

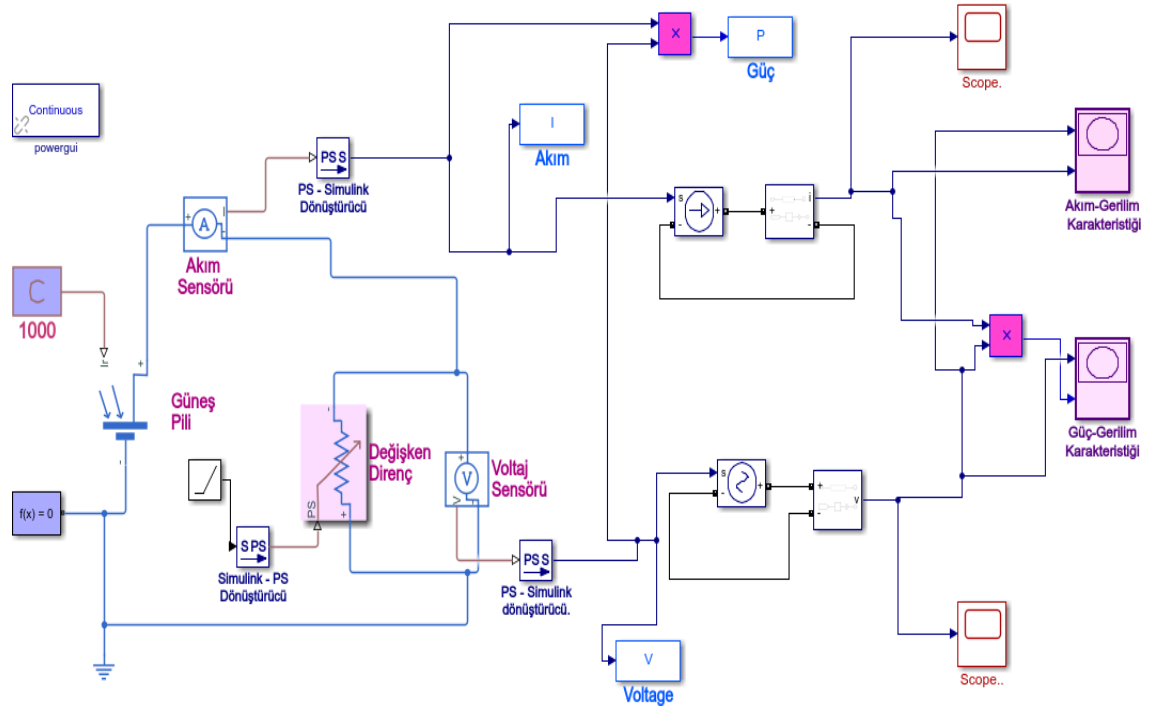
Bu çalışmada örnek olarak simülasyonu yapılan güneş paneli 10 W gücünde polikristal bir güneş panelidir ve aşağıda da gösterilmiş olan parametrelerin çoğunluğu güneş paneline ait bilgi sayfasından alınmıştır. Tüm parametreler $T = 25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $G=1000\text{W/m}^2$ olduğu ortam koşullarını referans almaktadır.

Fotovoltaik modülün elektriksel ve mekanik özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 4.2). Modülün üretici tarafından test edilen açık devre voltajı 21,6 V ve kısa devre akımı 0,62 A olarak verilmiştir.

Tablo 4.2: PV Modülün Elektriksel ve Mekanik Özellikleri

	Polikristal Özellikleri
Maksimum güç (P_M)	10 W
Güç Toleransı	%5 W
Açık Devre Voltajı (V_{OC})	21.6 V
Kısa Devre Akımı (I_{SC})	0.62 A
Yükteki Maksimum Voltaj (V_M)	18.5 V
Yükteki Maksimum Akım (I_M)	0.54 A
Hücre Sayısı	36
Hücre tipi	Polikristal
Ölçüleri	(254x364x25)mm/Alüminyum
Ağırlık	1,3 kg

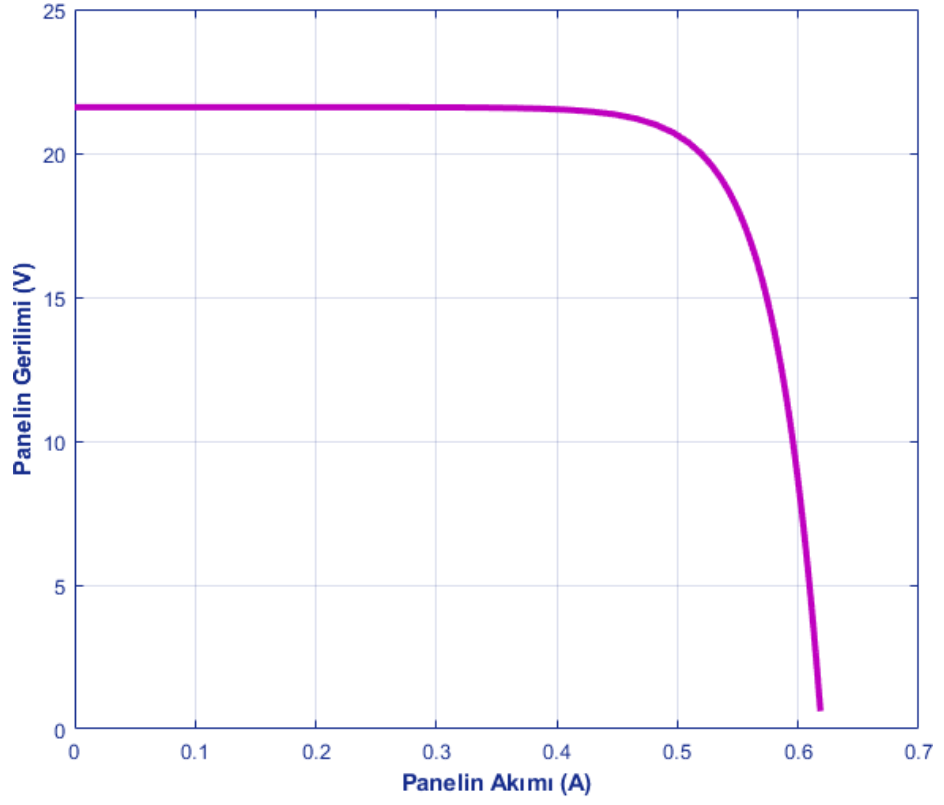
Deneyden önce Matlab/Simulink programını kullanarak PV modülün modellenmesini gerçekleştirerek benzetim çalışmaları yapılmıştır. Şekil 4.2’ de Matlab/Simulink’ de modellenen fotovoltaik modülü gösterilmiştir.



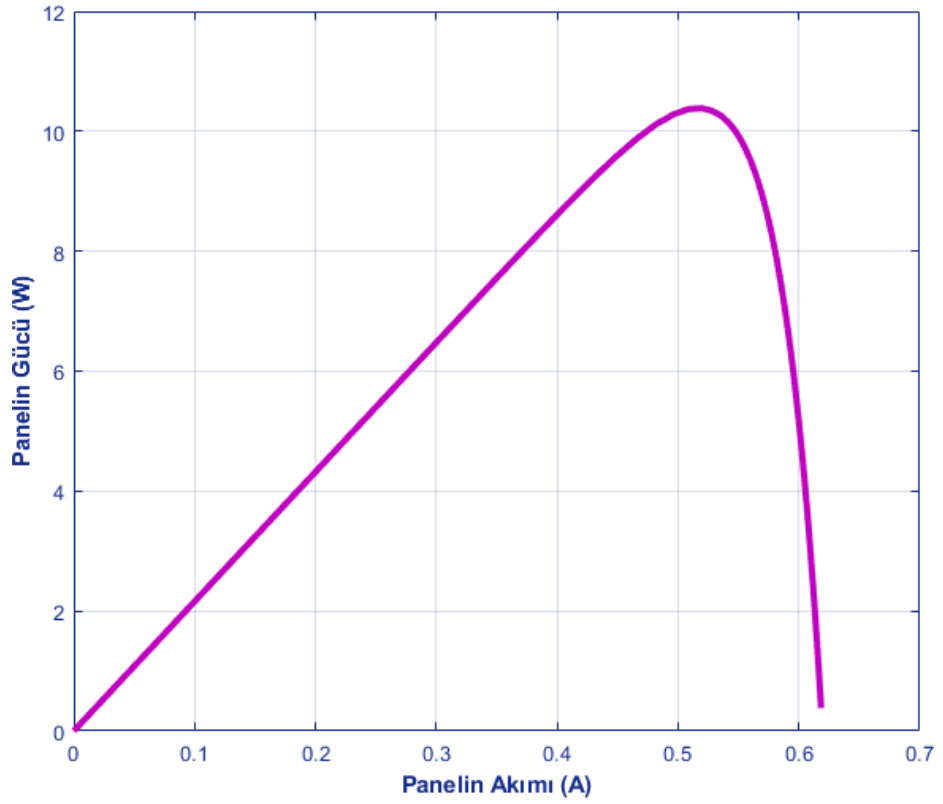
Şekil 4.2: Matlab / Simulink fotovoltaik modülü

Yenilenebilir enerji kaynakları arasındaki sistemlerden biri de fotovoltaik sistemlerdir. Fotovoltaik pillerin seri ya da paralel olarak bağlanmasıyla talep edilen güç doğrultusunda oluşturuldukları sistemler olarak isimlendirilirler. Fotovoltaik paneller çevresel koşullara bağlı olarak farklılıklar gösterdiğinden çıkış akım ve gerilim değerleri de değişmektedir. Bu değişim gösterdikleri koşullar altında maksimum güç üretecek şekilde çalıştırılmaları gerekmektedir. Ayrıca çevresel koşulların etkisiyle akım ve gerilim büyüklükleri değiştiği için bu büyüklüklere ait eğriler arasında da doğrusal olmayan bir yapı söz konusudur. Aşağıdaki şekillerde doğrusal olmayan yapıya ait grafikler gösterilmektedir.

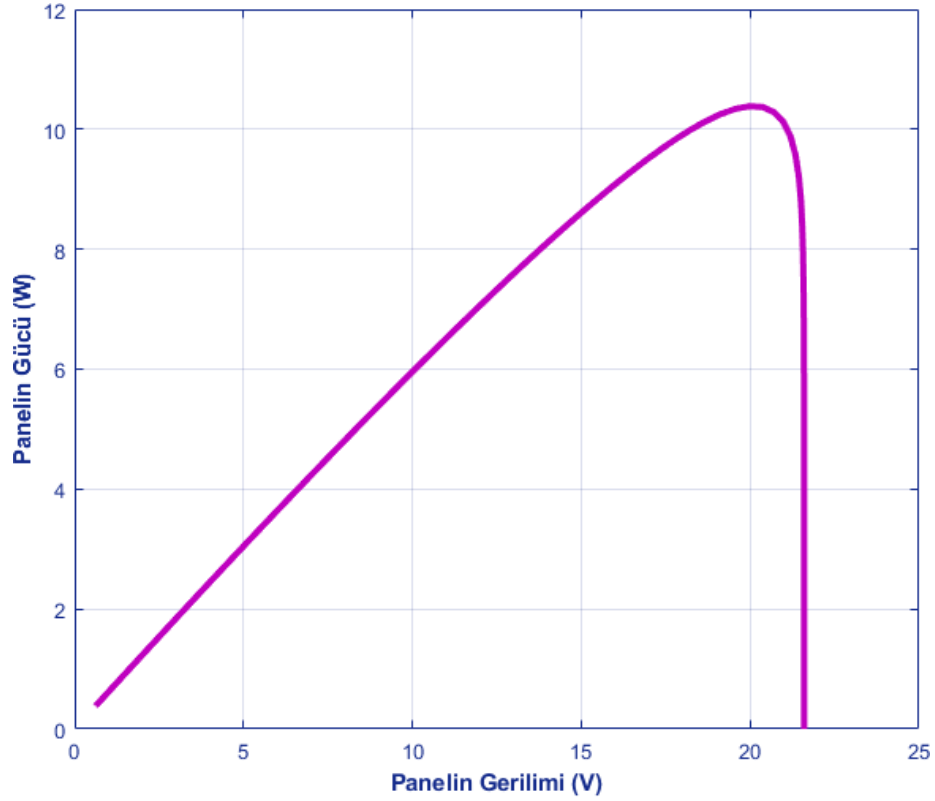
Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’ de 1000 W / m^2 ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta simülasyonu yapılan sırasıyla I-V, I-P ve V-P 'ye ait karakteristik eğriler gösterilmektedir.



Şekil 4.3: Simülasyonu yapılan I-V Karakteristiği, $G = 1000 \text{ W / m}^2$, $T = 25^\circ\text{C}$



Şekil 4.4: Simülasyonu yapılan I-P Karakteristiği, $G = 1000 \text{ W / m}^2$, $T = 25^\circ\text{C}$



Şekil 4.5: Simülasyonu yapılan V-P Karakteristiği, $G = 1000 \text{ W / m}^2$, $T = 25^\circ\text{C}$

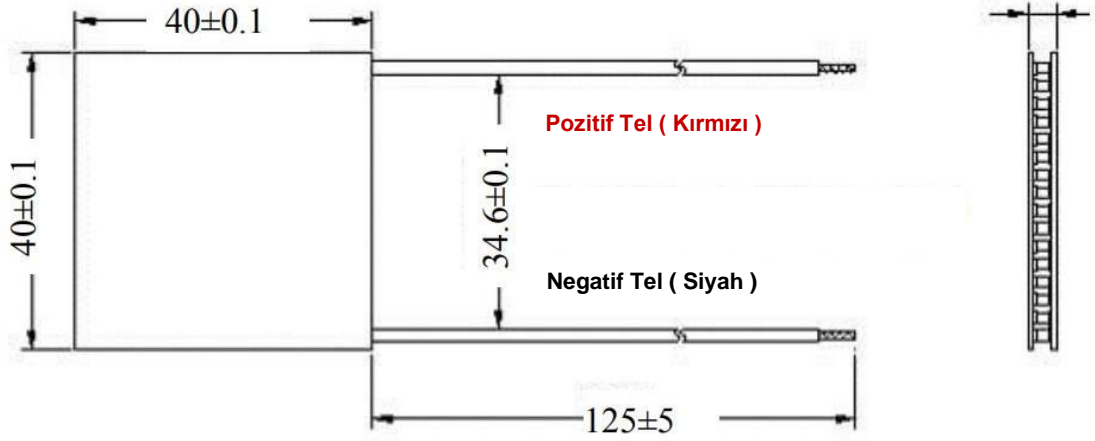
Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’ de standart test koşulları (STK) altındaki örnek bir güneş piline ait akım-gerilim eğrisi verilmiştir. Güneş pilinden çekilen akım belli bir voltajın üzerine çıktığında hızlı bir şekilde düştüğü görülmektedir.

Düşmenin başladığı ve bükülerek devam ettiği kısmın en tepedeki noktası panelin maksimum güç ürettiği gerilim değerini verir. Şekildeki panel için maksimum güç voltajı 21.6 Volttur ve panel bu gerilim değerinde 10 W güç üretebilmektedir. Matlab Simulink ’den oluşturulan modül ile çizilen grafikler sayesinde, belirli koşullar altındaki panel için akım ve gerilim değişimleri gözlemlenebilir. Ayrıca maksimum gücün elde edildiği noktayı bularak panelin çalışabileceği maksimum güç ve gerilim değerleri de belirlenebilmektedir.

4.5 Deneylede Kullanılan Malzeme

4.5.1 Termoelektrik Modül ve Özellikleri

Kuracağımız sistemde 12 voltluk termoelektrik modül tercih edilmiştir. Deneyde kullanılacak modül belirlenirken; 12 volt gerilimin birçok ortamda daha kolay elde edilmesi nedeniyle 12 voltluk modülün kullanılmasının daha doğru olacağına dikkat edilmiştir. Şekil 4.6' de TEC1- 12706 modülün boyutları görülmektedir. Bu termoelektrik soğutucu sayesinde bir buzun donma ya da bir sıvının kaynama derecesindeki sıcaklık değerleri çok kısa süre içerisinde elde edilebilmektedir. Bu özelliği ile konut ve işyerlerinde, endüstriyel tesislerde, alternatif güç kaynaklarında, araçlarda veya soğuk hava depoları gibi çok fazla sayıda uygulamada kullanılabilirler.



Şekil 4.6: TEC1- 12706 Peltier modülün ebatları

Kullanılan Peltier modülün performans parametreleri Tablo 4.3' de verilmiştir. Bu tabloya göre; 6,1 A akım geçerken yüzeyler arası sıcaklık farkı (DT_{max}) 79 °C olduğunda termoelektrik modülün soğutma kapasitesi 0(sıfır) W, yüzeyler arası sıcaklık farkı (DT_{max}) sıfır olduğunda da termoelektrik modülün soğutma kapasitesi 66,7 W olmaktadır.

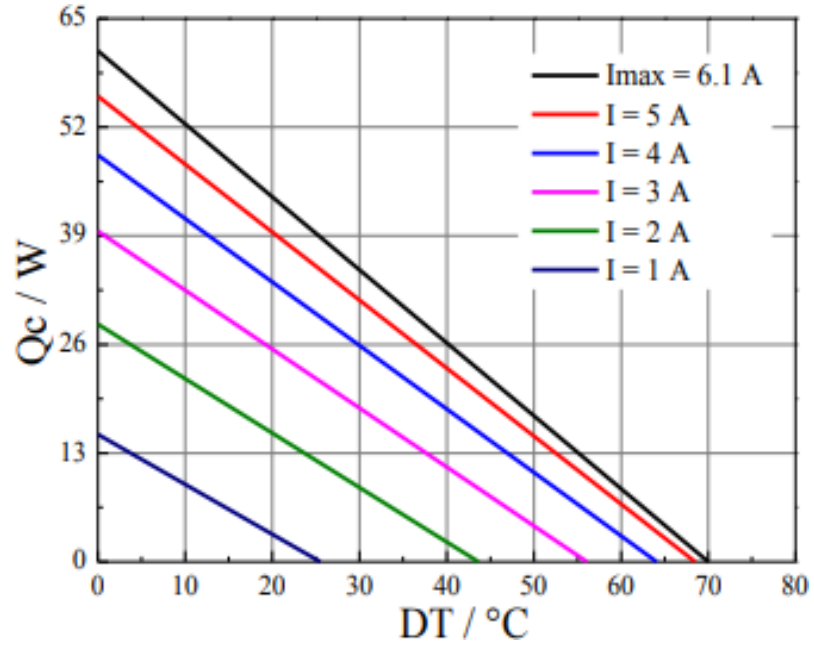
Tablo 4.3: TEC1- 12706 Peltier modül performans özellikleri

Th = Sıcak Yüzey (°C)	Farklı yüzey sıcaklığına göre değişen özellikleri	
	27	50

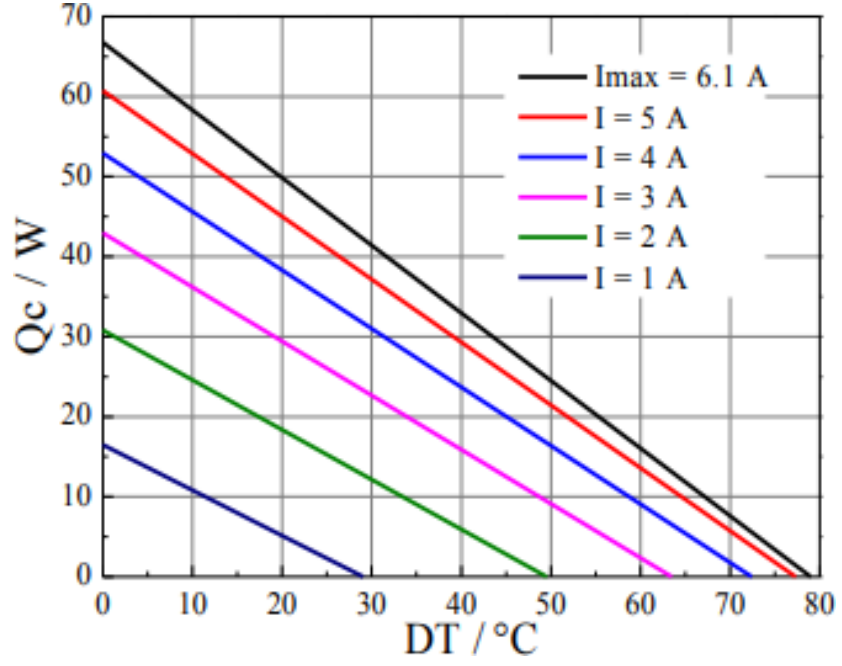
DT_{max} = Modülün soğuk ve sıcak tarafı arasındaki sıcaklık farkı (°C)	70	79
V_{max} = Modüle DT_{max}'ta uygulanan gerilim (Volt)	16.0	17.2
I_{max} = DT_{max}'ta modülden geçen akım (Amper)	6.1	6.1
Modül Direnci (Ohm)	1,8 ~ 2,2	2,0 ~ 2,4
Q_{Cmax} (Watt)	61,4	66,7

Şekil 4.7' den Şekil 4.12' ye kadar, üretici firmanın örnek alınan termoelektrik modül için performans grafikleri verilmektedir.

Q_C soğutma gücünün, DT sıcaklık farkı altındaki davranışları T_H = 27°C için Şekil 4.7 ve T_H = 50°C için Şekil 4.8' de grafikleri verilmiştir.

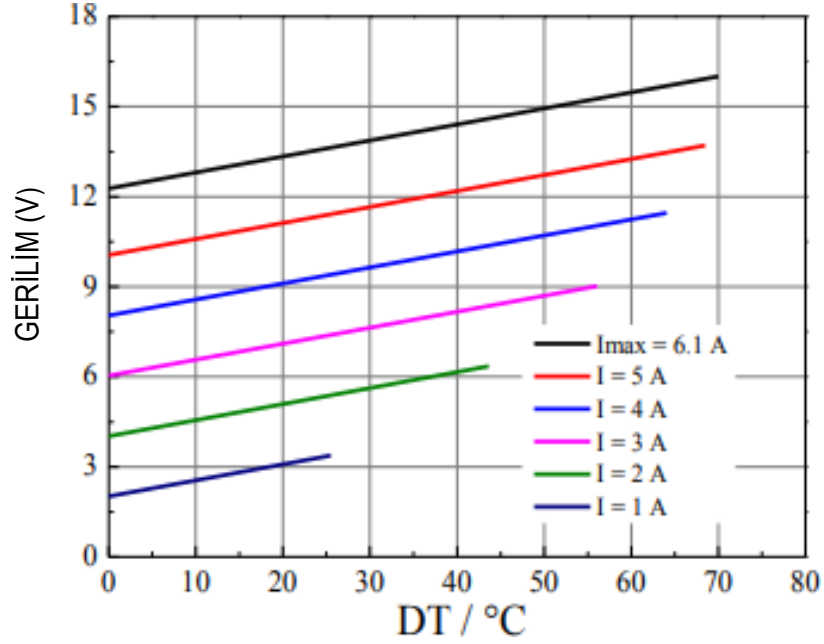


Şekil 4.7: T_H = 27°C' de sıcaklık farkı DT (°C)' ye göre soğutma gücünün (Q_C) grafiği

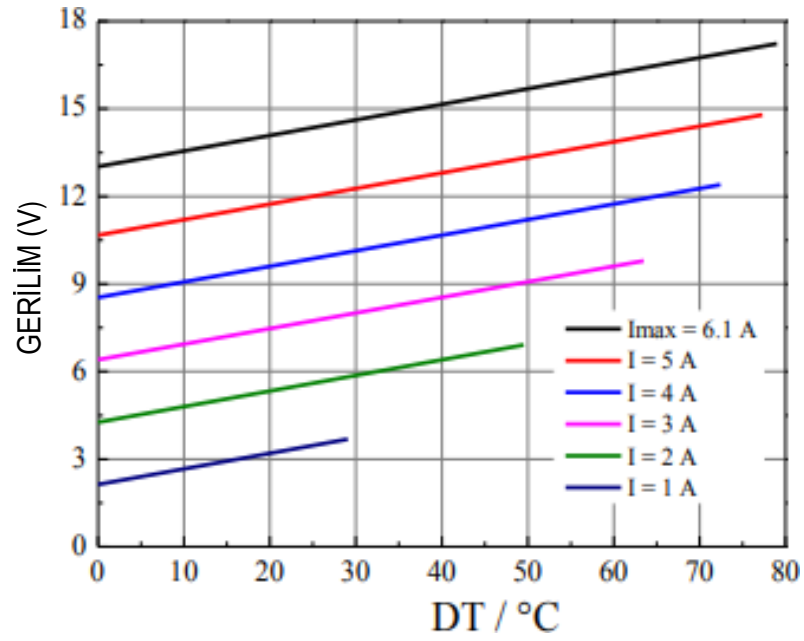


Şekil 4.8: $T_H = 50^\circ\text{C}$ ' de sıcaklık farkı DT ($^\circ\text{C}$)' ye göre soğutma gücünün (Q_c) grafiği

Şekil 4.9' de $T_H = 27^\circ\text{C}$ ve Şekil 4.10' de ise $T_H = 50^\circ\text{C}$ için Q_c sabit tutulmuştur. Farklı akımlarda DT sıcaklık farkı arttırılmak istendiğinde, uygulanacak gerilimin de aynı Q_c yükünü oluşturabilmek için sabit akım altında artmasının gerekli olduğunu göstermektedir.

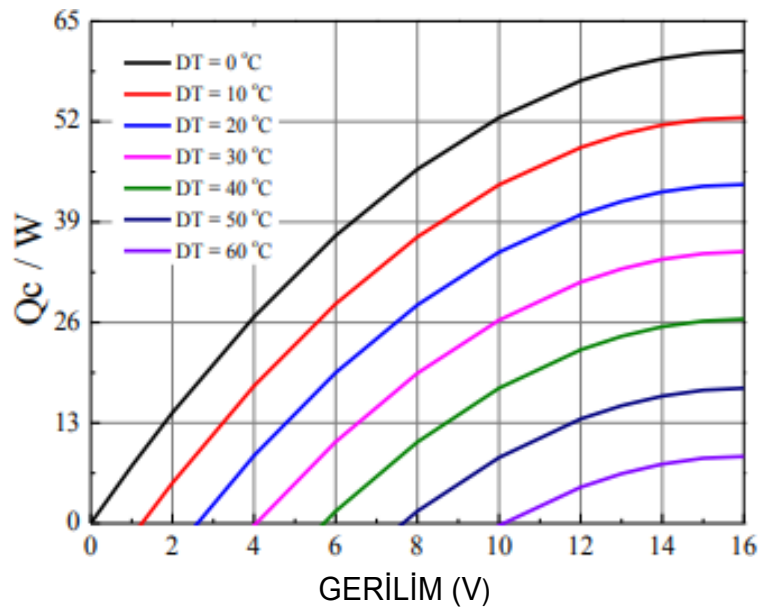


Şekil 4.9: $T_H = 27^\circ\text{C}$ ' de sıcaklık farkı DT ($^\circ\text{C}$)' ye göre farklı akımlarda gerilim(V) grafiği

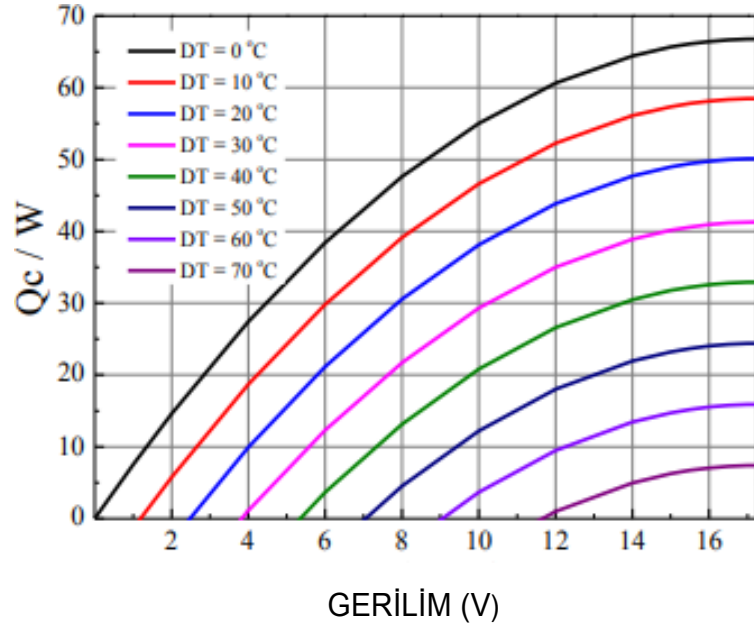


Şekil 4.10: $T_H = 50^\circ\text{C}$ ' de sıcaklık farkı DT ($^\circ\text{C}$)' ye göre farklı akımlarda gerilim(V) grafiği

Q_c , V ve DT arasındaki bağlantılı ilişkiler, $T_H = 27^\circ\text{C}$ için Şekil 4.11 ve $T_H = 50^\circ\text{C}$ için de Şekil 4.12' de gösterilmiştir.



Şekil 4.11: $T_H = 27^\circ\text{C}$ ' de sıcaklık farkı DT ($^\circ\text{C}$)' ye göre Q_c ve gerilim(V) grafiği

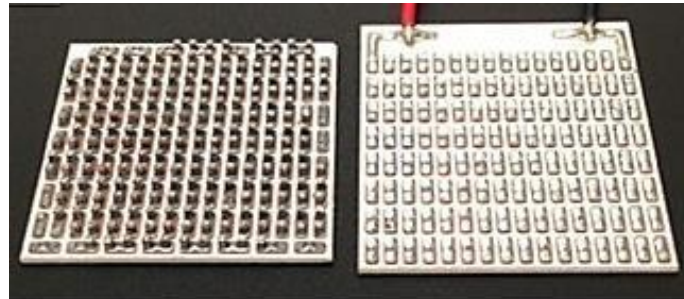


Şekil 4.12: $T_H = 50^\circ\text{C}$ ' de sıcaklık farkı DT ($^\circ\text{C}$)' ye göre Q_c ve gerilim(V) grafiği

Şekil 4.13' de kullanıma hazır termoelektrik modülün resimleri verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.13: Kullanıma hazır termoelektrik modülün resimleri. (a) Birden çok termoelektrik bacak çiftleri. (b) Modülün iç kısmı elektrik ara ve lehim bağlantıları. (c) Modülün görüntüsü (LeBlanc 2014)

4.5.2 Solar Şarj Kontrol Cihazının Özellikleri

Şarj kontrol cihazı, güneş panellerinden gelen akımı ve gerilimi dengeleyerek akünün aşırı derecede şarj edilmesine izin vermeyen bir cihazdır. Güneş enerjisi ile elektrik üretim sistemlerinde güvenlik göz önünde bulundurulduğunda, sistemde bir solar şarj regülatörü mutlaka bulunması gerekir. Standart olarak güneş panelleri, 12 veya 24 Volt gerilim değerlerinde üretilir. Ancak bu panellerin açık devre gerilimleri 18V – 31V seviyelerindedir. Bu farkın nedeni, panellerin bulutlu havalarda ve yüksek sıcaklık altında da verimli çalışmasını sağlamaktır. Örneğin, 160W gücündeki bir panelin açık devre gerilimi 18V yerine 12V olsaydı, panel sadece dik açılı tam güneş ışığı altında ve 25°C altında 12V gerilim üretebilirdi. Ek olarak şarj akımı altında akü voltajı 13,6 – 14,4V arasında olacağından akü grubunu doldurmak için yeterli enerji üretilmezdi. 12 Volt' luk bir akünün tamamen şarj olabilmesi için yaklaşık 13,6-14,4 Volt gerilime ihtiyaç duyulmaktadır ve şarj regülatörü bu gerilime ulaştığı an akülerin şarj olmasını sağlar. Şarj regülatörü aküler dolduktan sonra akımı keser. Böylece, akü fazla şarja tabii tutulmamakta ve akü ömrü daha uzun olmaktadır.

Solar şarj kontrol cihazı güneş panelinden gelen akıma ve toplam güneş paneli gücüne göre seçilir. Şarj regülatörü güneş enerjisi sisteminin performansını ve ömrünü

etkileyen en önemli cihazdır. Şarj kontrol cihazı kalitesiz ise güneş enerjisi sisteminin ömrü çok uzun olmayacaktır. Solar sistemlerde çıkan yangınların en önemli sebeplerinden biriside bu cihazların yanlış seçimidir.

Şarj kontrol cihazı seçimi yaparken ilk dikkat edeceğimiz nokta sistemin gücüne göre seçimdir. Solar şarj kontrol cihazı seçiminde dikkat edilecekler şu şekildedir;

- Güneş paneli gücüne göre seçim
- Güneş paneli sayısına göre seçim
- Akü voltajı ve Akü sayısına göre seçim
- Akü çeşidi ve Akü türüne göre seçim

gibi önemli olanlarından bazıları sıralanabilir. Şekil 4.14' de şarj kontrol cihazıyla birlikte bağlantıları ve Tablo 4.4' de Şarj kontrol cihazının özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.14: Şarj kontrol cihazı (Şarj regülatörü)

Tablo 4.4: Şarj kontrol cihazının özellikleri

	Özellikler
Sistem voltajı	12V/24V otomatik tanıma
Maksimum solar akım/ yük akımı	6A/ 10A
Hızlı voltaj	14.0V/28.0V (25°C)

Maksimum solar voltajı	55V
Maksimum akü voltajı	40V

4.5.3 Bakım Gerektirmeyen Kuru Akü

Bakımsız kuru akü, içerisinde depolanan kimyasal enerjiyi, elektrik enerjisine sorunsuz bir şekilde dönüştürülmesini sağlar. Herhangi bir asit veya su ilavesi yapılmasına gerek olmadan, pratik bir şekilde kullanabilen bir üründür. Bakım gerektirmeyen ve zahmetsiz bir kullanım imkânı yaratan Aküler sayesinde birçok alandaki cihazların elektrik enerjisi ihtiyacı anında karşılanabilmektedir. Tıbbi elektronik cihazlar, kesintisiz güç kaynakları, bilgisayar destekli ürünler, aydınlatma sistemleri gibi daha birçok farklı sistem ile birlikte uyumlu bir şekilde kullanılabilir. Şekil 4.15’ de deneyde kullanılan akünün görüntüsü verilmiştir. Bakımsız kuru akünün bazı avantajları şu şekildedir;

- Bakımsız kuru akünün tasarım özelliği sayesinde sıvı veya asit sızması söz konusu olmaz.
- 0 (sıfır) Volt değerine kadar boşaltıp daha sonra tekrar şarj edebileceğiniz akü, deşarj işlemi neticesinde oluşabilecek hasar oranını asgari düzeye indirir.
- Uygun kapasiteli cihaza verimli bir şekilde enerji akışını sağlayarak, cihazların çalışma performansını yüksek bir seviyede tutar.
- Gelişmiş aşınma ve direnç özellikleri sayesinde, akü üzerinde taşıma esnasında hiçbir hasar oluşmaması sağlanır.



Şekil 4.15: Kuru bakımsız akü

4.5.4 Ayarlanabilir Sabit Elektronik Yük

Ayarlanabilir Sabit Elektronik Yük; güç aralığı 35 W olup uzun süre sürekli deşarj olabilir. Doğrudan USB güç kaynağı veya mobil güç kaynağının USB çıkışı üzerinden deşarj ve yaşlanma testi yapabilir. Akıllı sıcaklık kontrolüyle birlikte hava soğutmalı yük, geniş sabit deşarj akımı aralığı 0-3A'dir. Elektronik yükün akıllı sıcaklık kontrol eşiği 55°C/131°F olup bu eşikten yüksekse, fan otomatik olarak açılırken; eşikten daha düşükse, fan otomatik olarak kapanmaktadır.

4.5.5 Lüksmetre (Işık Ölçer)

Işık yoğunluğunu elektrik sinyalleriyle etkili bir şekilde temsil edebilen, daha sonra verileri işleyen ve sonucu LCD (sıvı kristal ekran) 'de görüntüleyen, fotoelektrik algılama teknolojisi ile donatılmış bir ışık ölçerdir. Şekil 4.16' da deneyde kullanılan ışık ölçer gösterilmiştir. Dalga boyunun monokromatik ışığı için belirli bir ışınım miktarı için aydınlatma miktarı maksimum, lux başına 683.002 W /m²'dir. Bu dalga boyunda bir lux yapmak için gereken ışık şiddeti yaklaşık 1.464 mW /m²'dir.



Şekil 4.16: Işık yoğunluğunu fotoelektrik ile algılayan lüksmetre (Işık ölçer)

4.5.6 Sıcaklık Ölçüm Cihazı

Deneyde fotovolttaik panel yüzeyi ile termoelektrik modülün soğuk ve sıcak yüzeylerini ölçmek için kullanılan sıcaklık ölçüm cihazı Şekil 4.17' de verilmiştir.



Şekil 4.17: PV ve TEM için kullanılan sıcaklık ölçüm cihazı

4.5.7 Dijital Multimetre

Şekil 4.18’ de gösterilen dijital multimetre, kapsamlı fonksiyonlara sahip bir cihaz olup akım ve voltaj direnci ölçümlerine ek olarak, termokupullarla sürekliliği ve sıcaklığı ölçmek için de kullanılabilir.



Şekil 4.18: Dijital multimetre

4.5.8 Güç Kaynağı

Peltier ile yapılan deneylerimizde soğutma modül deneylerimizi yapabilmek için 220V 50/60Hz giriş, DC 12V 10A çıkışlı güç kaynağı kullanıldı. Şekil 4.19’ da güç kaynağı gösterilmiştir.

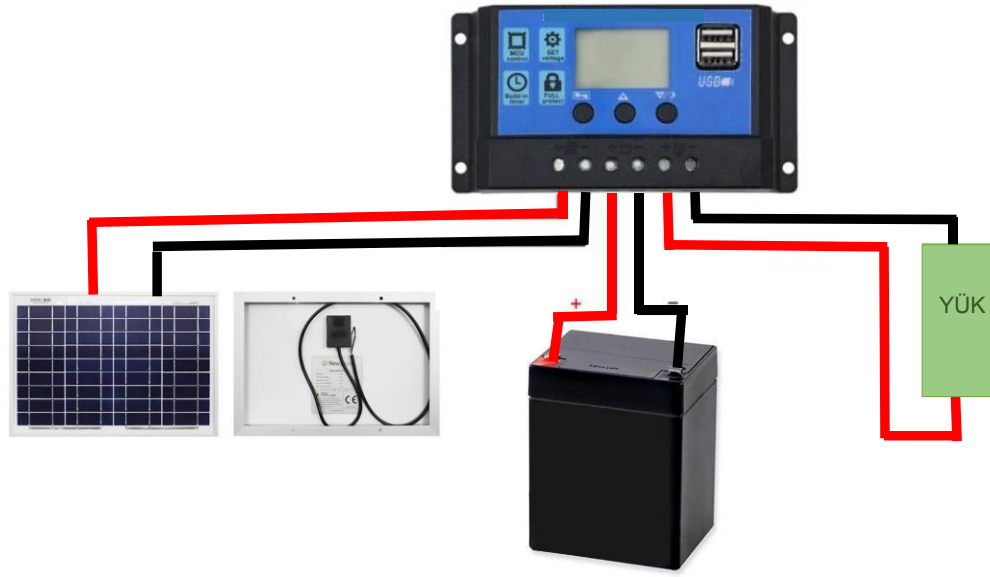


Şekil 4.19: Kullanıma hazır 12V 10A güç kaynağı

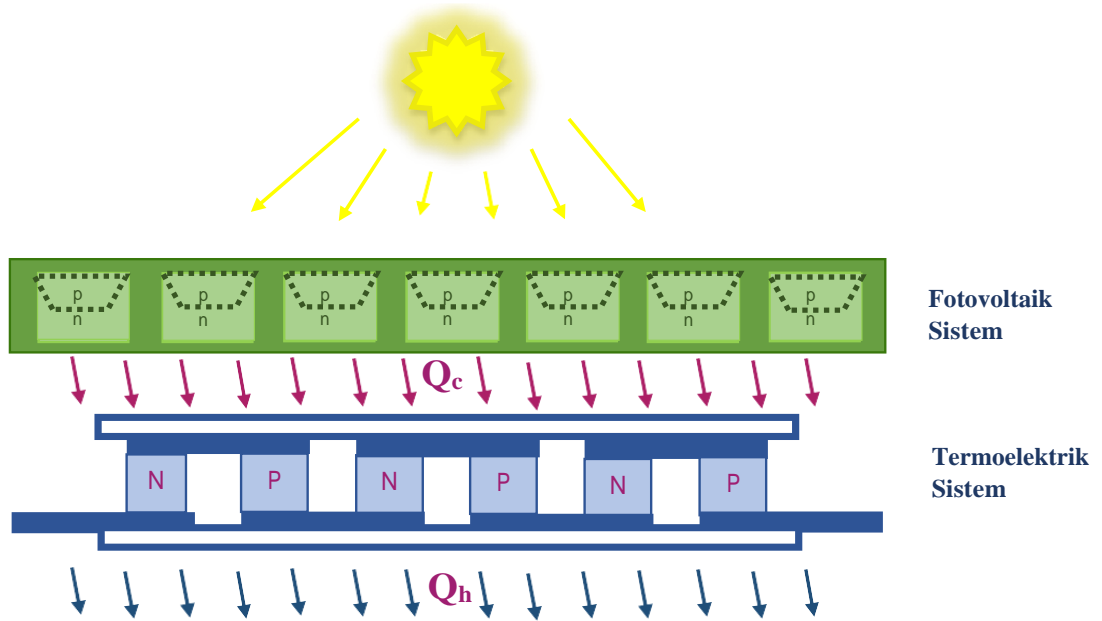
4.6PV Panel ve Arka Yüzeyine Termoelektrik Modül Bağlanmış PV Panelin Performanslarının Karşılaştırılması için Kurulan Sistem

PV paneller çalışma şartlarında güneş ışınlarına maruz kaldıklarında elektrik enerjisi üretmeye başlarlar. PV sistemin elektrik ürettiği sırada sistemde istenilmeyen durumlarda yaşanmaya başlamaktadır. PV sistemin sıcaklığı yükselmekte ve sıcaklığa bağlı verim düşümü olmaktadır. Tasarlanan sistemde Panel arka yüzeyine yerleştirilen termoelektrik soğutucu sayesinde panel yüzeyinde ısı birikmesi sonucunda sıcaklık yükselmesi engellenmiştir.

PV panel ve arka yüzeyine termoelektrik modül bağlanmış PV panelin performanslarını karşılaştırabilmek için kurulumlarının gerçekleştirilen bu çalışma sonucunda 2 ayrı deney düzeneği hazırlanmıştır. Şekil 4.20’de 10W’ lık güneş paneliyle birlikte Şarj regülatörü devresinin bağlantıları gösterilmiştir. Şekil 4.21’ de ise 10W’ lık güneş paneli ve termoelektrik modüle ait termodinamik (TD) modelleme gösterilmiştir.



Şekil 4.20: Termoelektrik modül eklenmeden ölçüm için kurulan devrenin bağlantısı



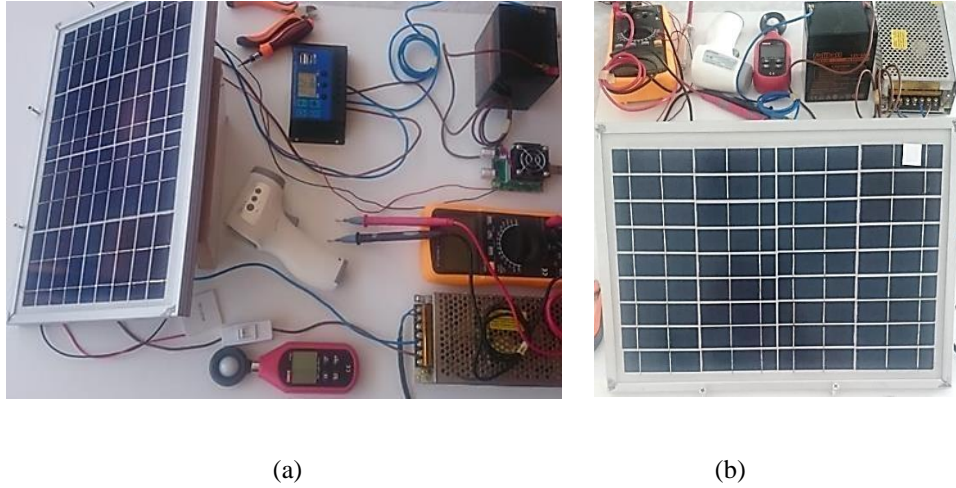
Şekil 4.21: Termoelektrik soğutuculu bir fotovoltaik panelin termodinamik modellemesi

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Deneyin Düzenegi ve Analizi

Deneylerde kullanılacak PV panelin modellemesi yapıldıktan sonra bu bölümde gölgelenmenin ve sıcaklığın panel üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca bu bölümde iki ayrı deney düzeneginde aynı fotovolttaik panel için ikinci deneyde fotovolttaik panele termoelektrik modül bağlanarak 2 Haziran günü Denizli’de saat 8:00’den 19:00’ a kadar 11 saat boyunca 15 dakikada bir ölçümler alınarak tablolara yazılmıştır. Oluşturulan deney düzenegi Şekil 5.1’de gösterilmiştir.

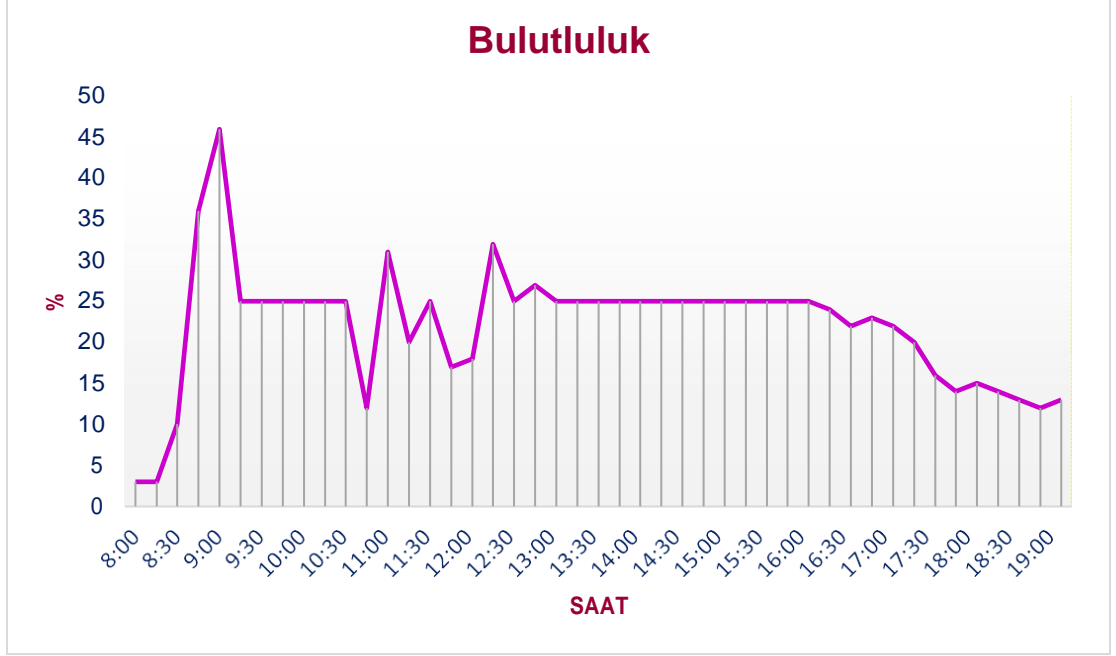
Grafiklerde bulunan GE şeklindeki kısaltma panel yüzeyinde oluşan gölgelenme etkisini tanımlamaktadır. Uygulanan gölgelenme etkisi (GE) için fotovolttaik panelin akımı, gerilimi, gücü, sıcaklık değerleri, çevre sıcaklığı, ışınımı, bulutluluk yüzdesi ve nem yüzdesiyle birlikte rüzgâr hızı değerleri ölçülmüştür. Ayrıca Gölgelenme etkisi olmayan bir panelin arka yüzeyine de bir termoelektrik modül bağlantısı yapılarak oluşturdukları verimlerin birbiriyle karşılaştırılması için ölçülen bu değerlerden faydalanarak sistemlerin grafikleri çizdirilmiştir.



Şekil 5.1: Fotovolttaik sistemle kurulan deney düzenekleri (a)TEM bağlantısı yapılmayan deneyin kurulumu (b) Gölgelenme etkisinin gözlenmesi için kurulan sistem

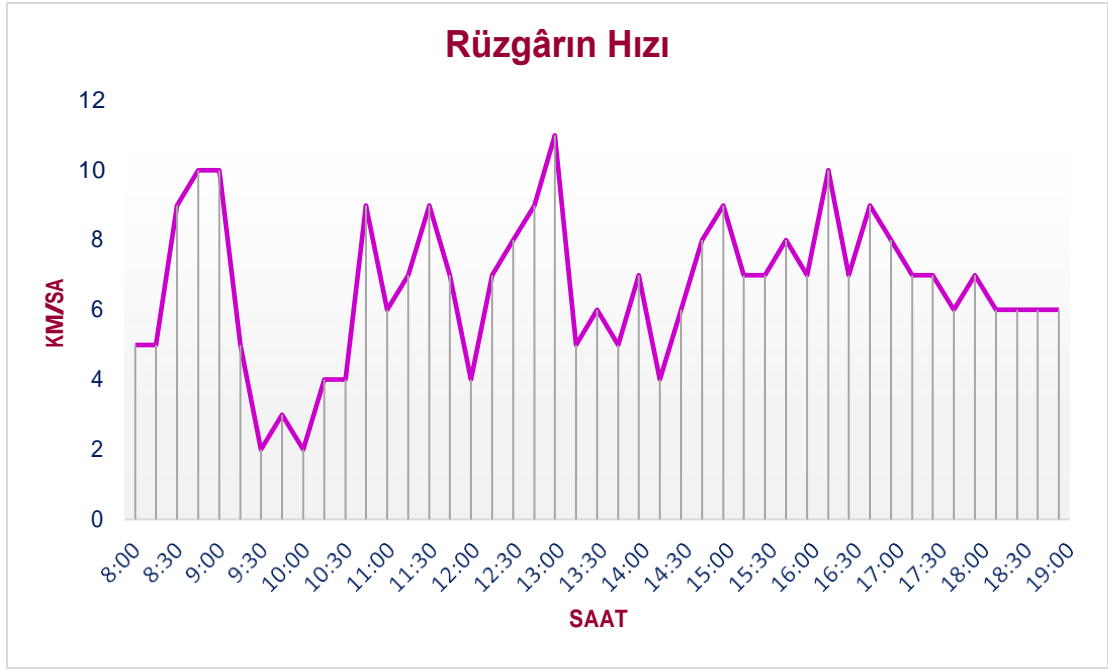
5.1.1 Bulutluluk Yüzdesi, Rüzgâr Hızı ve Nemlilik Yüzdesi

Şekil 5.2' de 1 gün içinde yapılan deneylerdeki bulutluluk yüzdesinin grafiği gösterilmiştir.



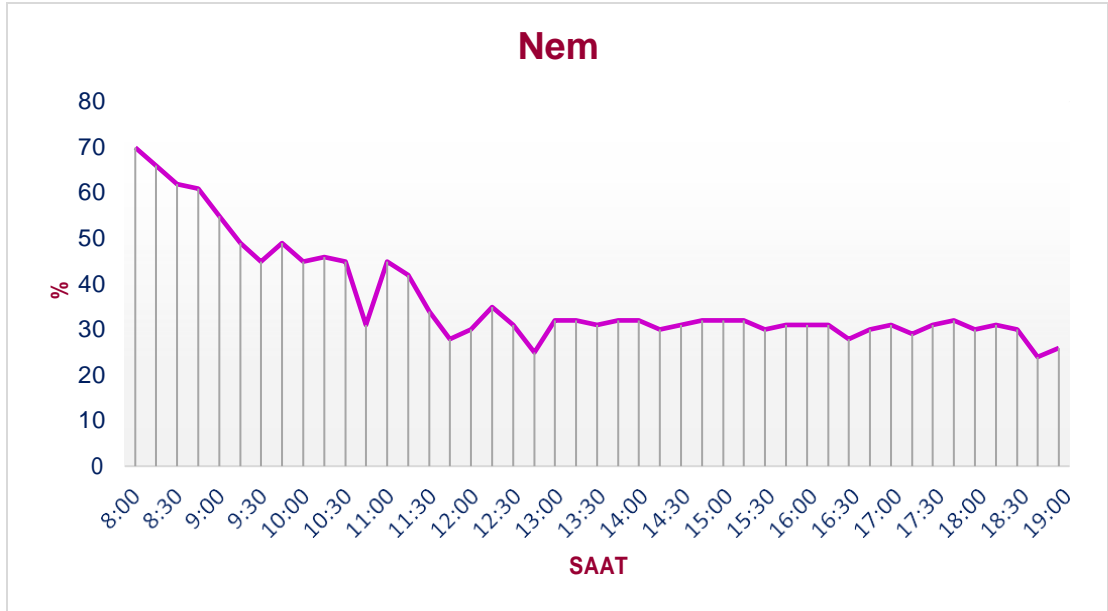
Şekil 5.2: 1 gün içindeki bulutluluk yüzdesine ait grafik

Şekil 5.3' de 1 gün içinde yapılan deneylerdeki rüzgâr hızının grafiği gösterilmiştir.



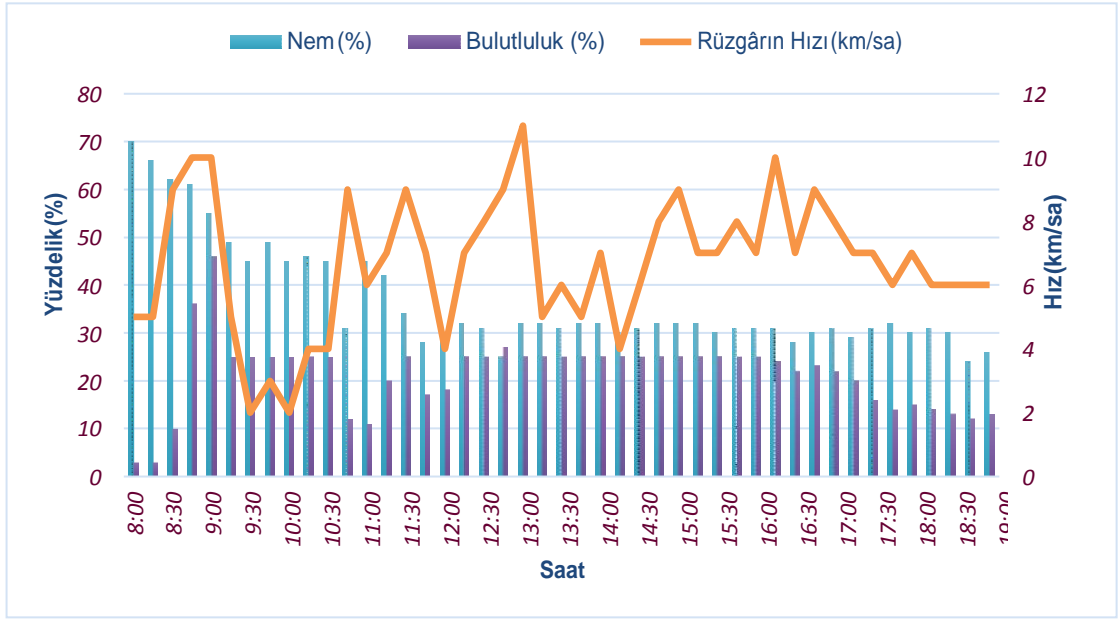
Şekil 5.3: 1 gün içindeki rüzgâr hızına ait grafik

Şekil 5.4' de 1 gün içinde yapılan deneylerdeki yüzde olarak nem değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.4: 1 gün içindeki nemlilik yüzdesine ait grafik

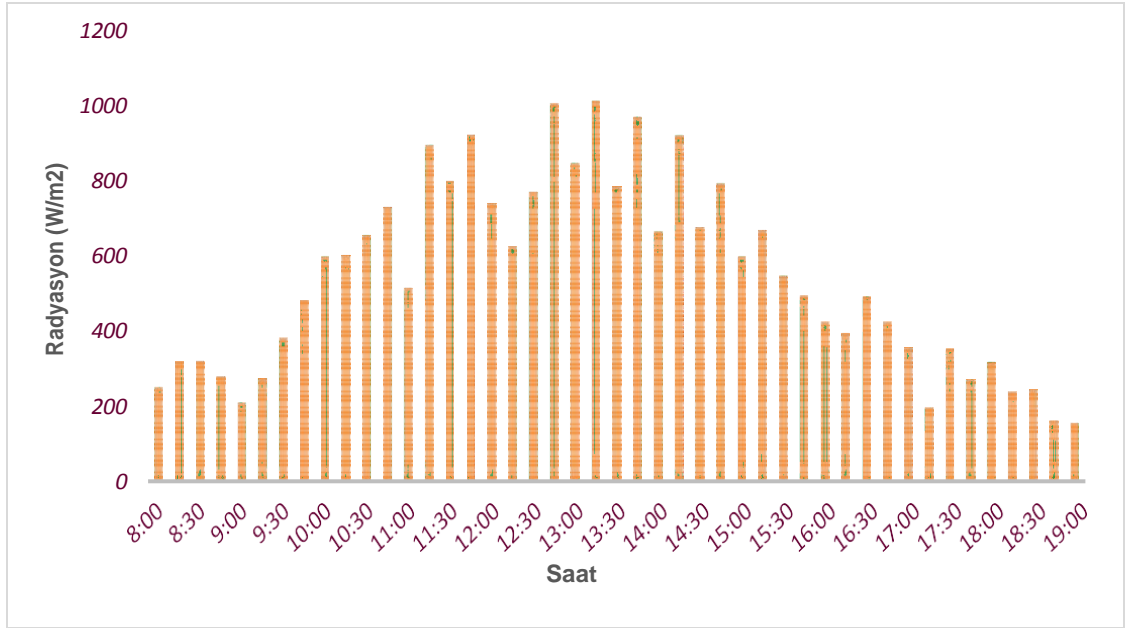
Şekil 5.5’ de 1 gün içinde yapılan deneylerdeki bulutluluk yüzdesi, rüzgâr hızı ve yüzde olarak nem değerleri tek bir grafikte toplanmıştır.



Şekil 5.5: 1 gün içindeki bulutluluk yüzdesi, rüzgâr hızı ve nemlilik yüzdesine ait grafik

5.1.2 Güneş Işınımı

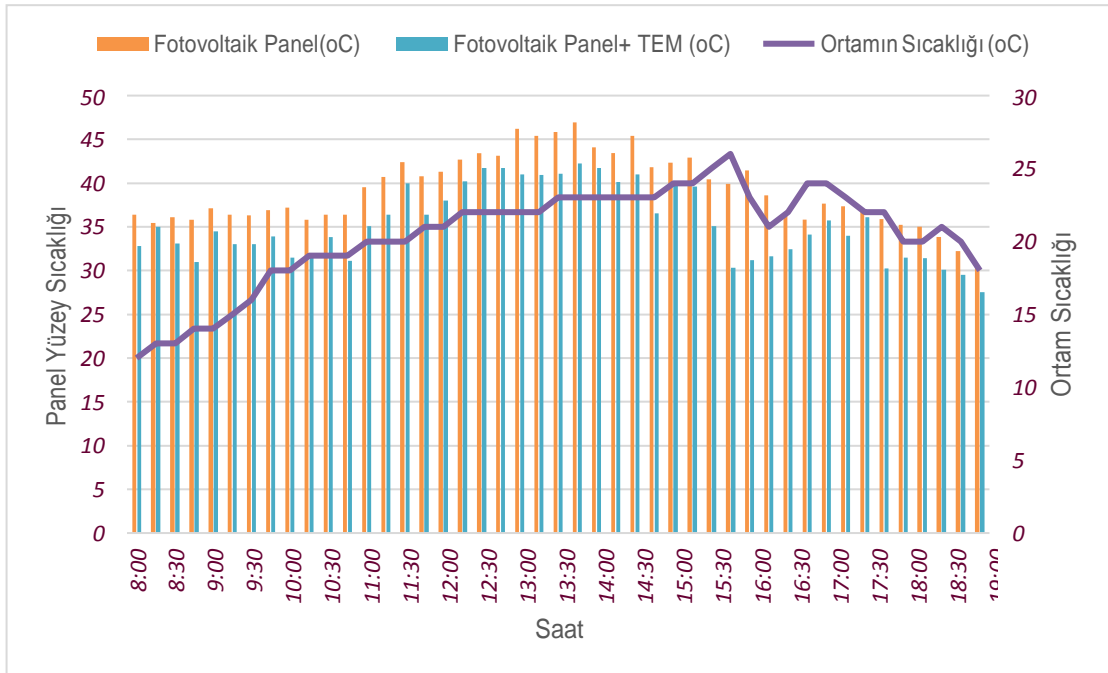
Şekil 5.6’de 1 gün içinde yapılan deneylerde ölçülen güneş ışınımı(radyasyon) değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.6: 1 gün içinde ölçülen güneş ışınlam(radyasyon) değerleri

5.1.3 PV Panel Yüzeyindeki Sıcaklık Ölçümleri

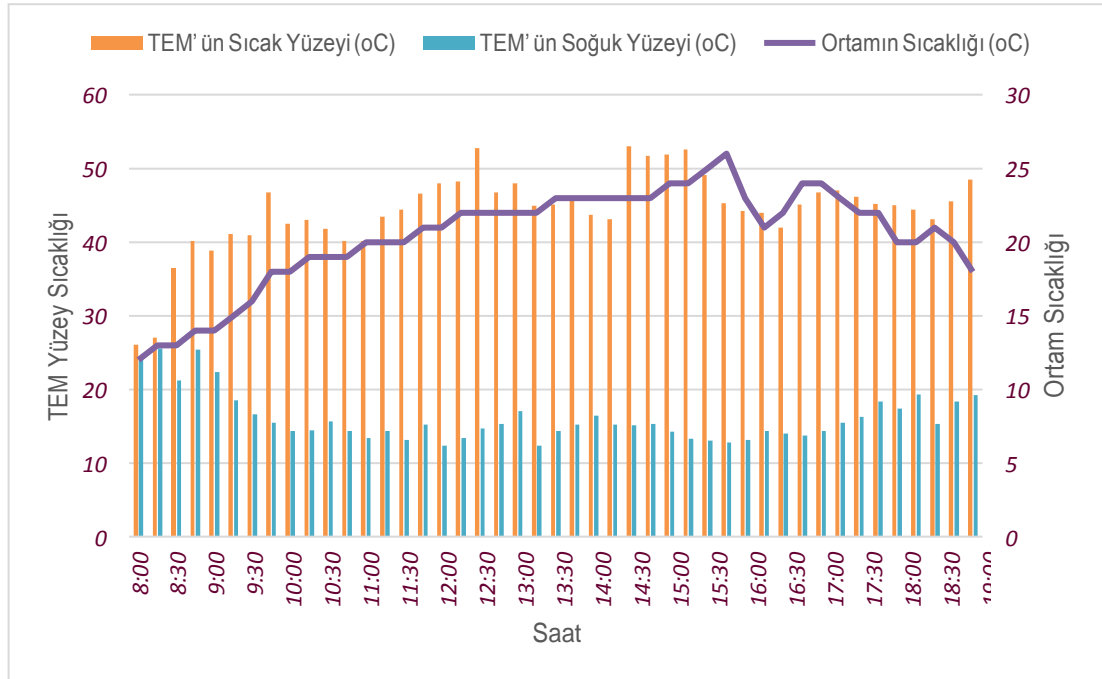
Şekil 5.7' de 1 gün içinde fotovoltaik panel yüzeyinde oluşan zamana bağlı sıcaklık değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 5.7: 1 gün içindeki PV panel yüzeyinde ölçülen sıcaklık ölçümleri

5.1.4 Termoelektrik Modül Yüzeyinin Sıcaklık Ölçümleri

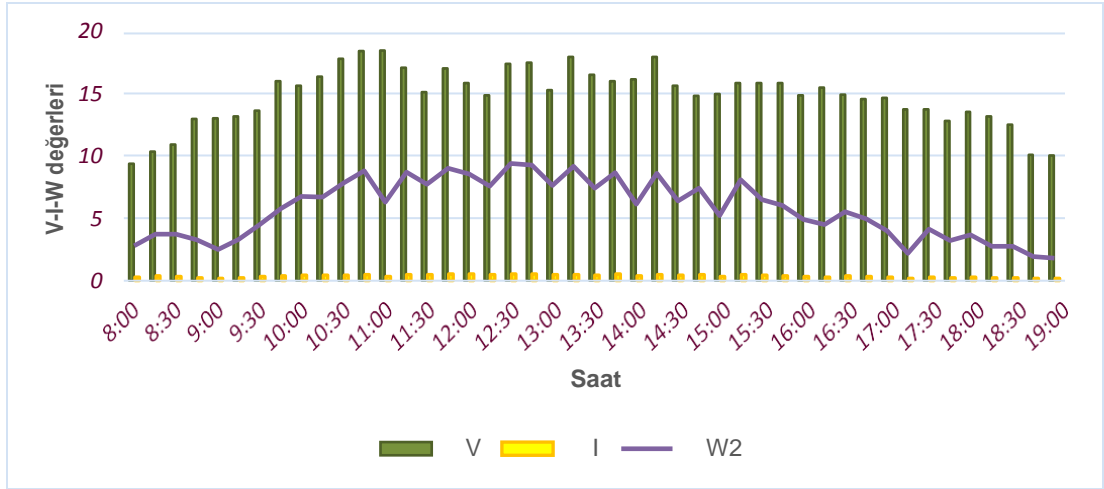
Şekil 5.8’ de ise 1 gün içinde termoelektrik modülün soğuk ve sıcak yüzeyinde oluşan zamana bağlı sıcaklık değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 5.8: 1 gün içindeki Termoelektrik modül yüzeyinden ölçülen sıcaklık ölçümleri

5.1.5 Sıcaklığa Bağlı Olarak Elde Edilen Akım, Gerilim ve Güç Değişimleri

Güneş panelleri üzerinde oluşan sıcaklığa bağlı olarak elde edilen akım, gerilim ve güç değişimleri incelenmiştir. 1 gün içindeki PV panel üzerinden saatlik olarak elde edilen akım ve gerilim değişimleri ölçülerek Şekil 5.9’ da gösterilmiştir.



Şekil 5.9: 1 gün içinde PV panelden elde edilen akım ve gerilim ve güç değişimleri

Pasif fotovoltaik soğutma yöntemleri uygulanmamış fotovoltaik panelin yüzey sıcaklıkları, çevre sıcaklığına ışıınma ve güneş ışık şiddetinin geliş açısına bağlı faktörlere göre değişmektedir. Haziran ayında ölçülen maksimum sıcaklık değeri 13:45 saatinde 46,2 °C olarak ölçülmüştür. Elde edilen bu en yüksek sıcaklık değerleri panellerin verimini negatif yönde etkilemektedir. Bu sistemi örneklendirmek için; 1,5 hava kütlesi ve 25 °C sıcaklığındaki Standart test koşulları altında bulunan 10 W gücündeki bir panelin verimi

$$\eta = \frac{V_m I_m}{I A} = \frac{P_m}{I A} = \frac{10}{1000.00924} \quad (5.1)$$

$$\eta = \% 10,82 \quad (5.2)$$

olarak bulunurken, sistemin 45 °C sıcaklığındaki verimi

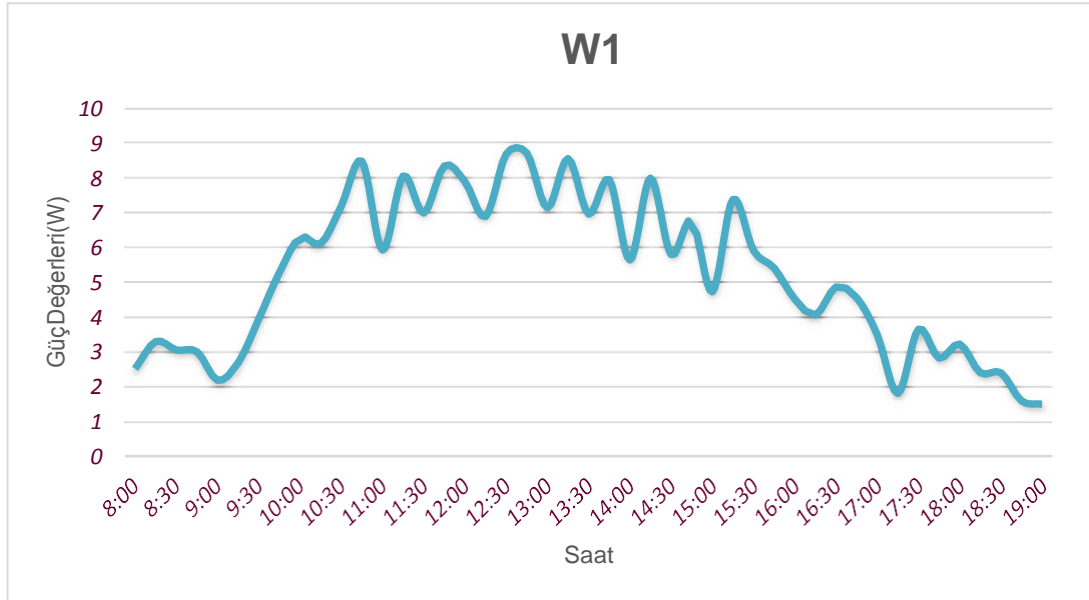
$$P_m = 10.[1 + (45 - 25).(-0,004)] = 9,2 \quad (5.3)$$

$$\eta = \% 9,95 \quad (5.4)$$

olarak bulunmaktadır.

5.1.6 Gölgeleme Etkisi Olan Fotovoltaik Paneldeki Zamana Bağlı Güç Değişimi

Şekil 5.10’ da 1 gün içinde gölgelenme etkisi olan fotovoltaik panele ait zamana bağlı güç değişimi gösterilmiştir. W1, Gölgeleme etkisi olan fotovoltaik panelden ölçülen güç değişimlerini ifade etmektedir. Ağaçlar, dağlar, yüksek binalar vb. birçok sebeple panel yüzeyinin bir kısmına güneş ışınımı düşmez. Fotovoltaik panel kurulacak bir yer seçileceğinde bu örneklerle göre dağ veya bina gölgesine denk gelmeyen daha uygun bir konum seçilebilir. Fakat bir kuş geçerken bırakacağı dışkıdan panel yüzeylerini korumak mümkün değildir. Bir kuş dışkısı düştüğünde panel yüzeyinin bir kısmına güneş ışınımı düşmez. Dışkının çapı yaklaşık 2 cm olarak ölçülmüştür. Bu durumda dışkının alanı da ortalama 4 cm² olarak bulunmuştur. Ölçümler 2 Haziran günü Denizli’de saat 8:00’den 19:00’a kadar 11 saat boyunca 15 dakikada bir tablolara yazılarak kaydedilmiştir.

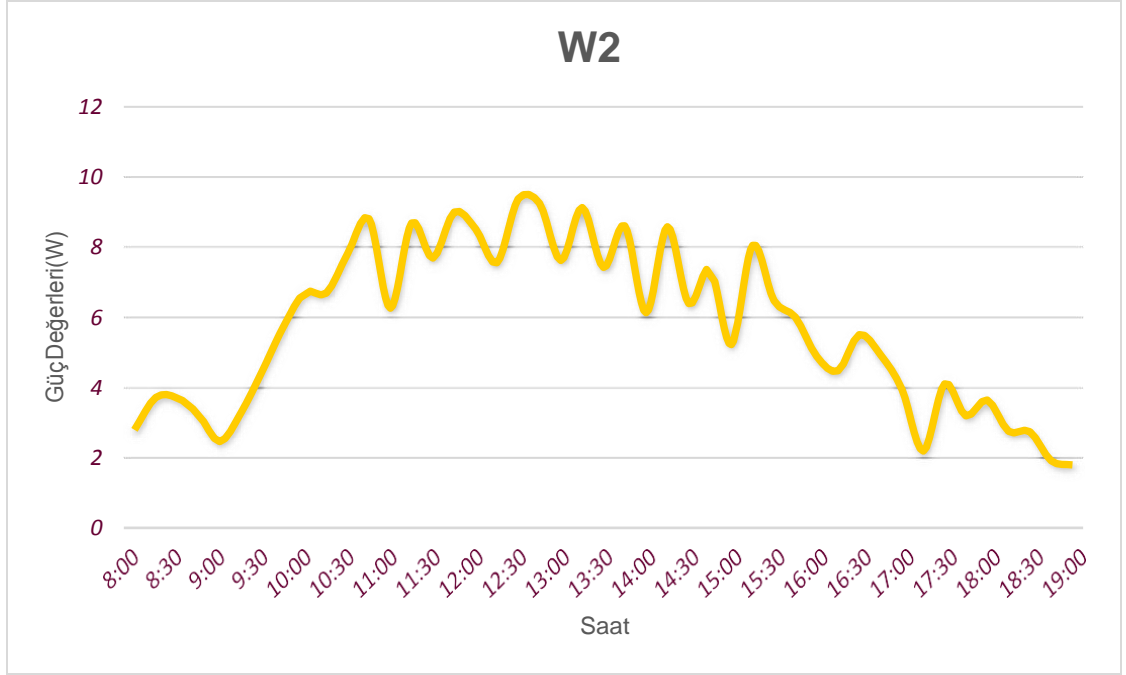


Şekil 5.10: 1 gün boyunca gölgelenme etkisi olan PV panelin güç değişimleri

Fotovoltaik paneller gölgede durdurduğunda panellerin güç üretimi de etkilenmektedir. Fotovoltaik panellerde gölgelenme dağlar, ağaçlar ve yüksek binalar gibi birçok nedenle oluşabilmektedir. Fotovoltaik hücre üzerinde küçük bir gölgelenme hem güç üretimini oldukça düşürür hem de diğer paneldeki hücrelerin performansını da etkiler.

5.1.7 Gölgeleme Etkisi Olmayan Fotovoltaik Paneldeki Zamana Bağlı Güç Değişimi

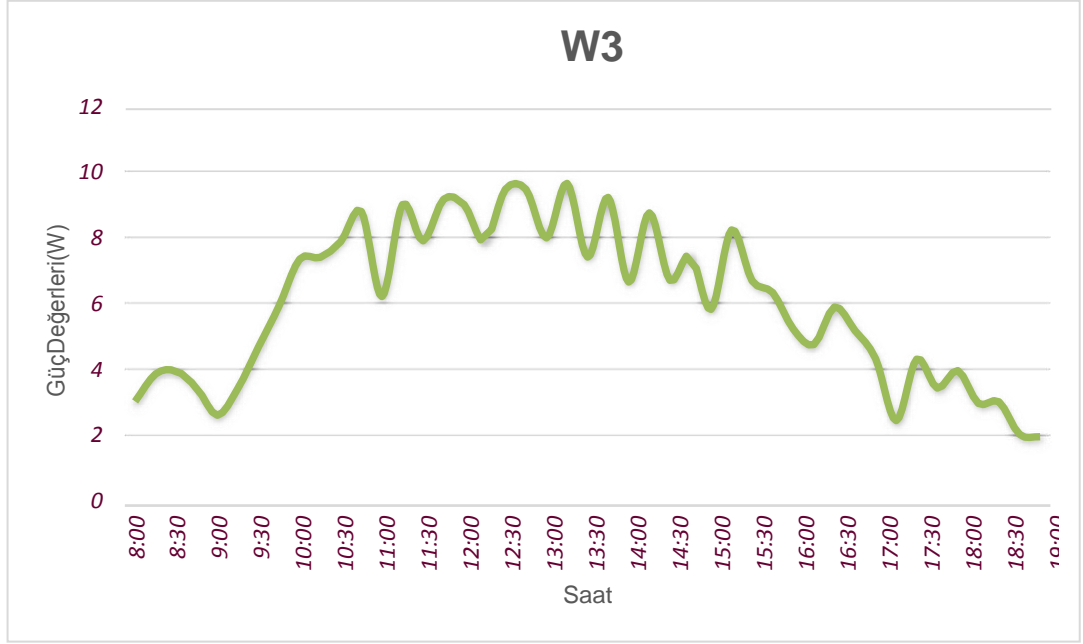
Şekil 5.11’ de 1 gün gölgelenme etkisi olmayan fotovoltaik panelden ölçülen zamana bağlı güç değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.11: 1 gün boyunca gölgelenme etkisi olmayan fotovoltaik panelden ölçülen güç değişimleri

5.18 Termoelektrik Modüllü Fotovoltaik Panelden Ölçülen Zamana Bağlı Güç Değişimi

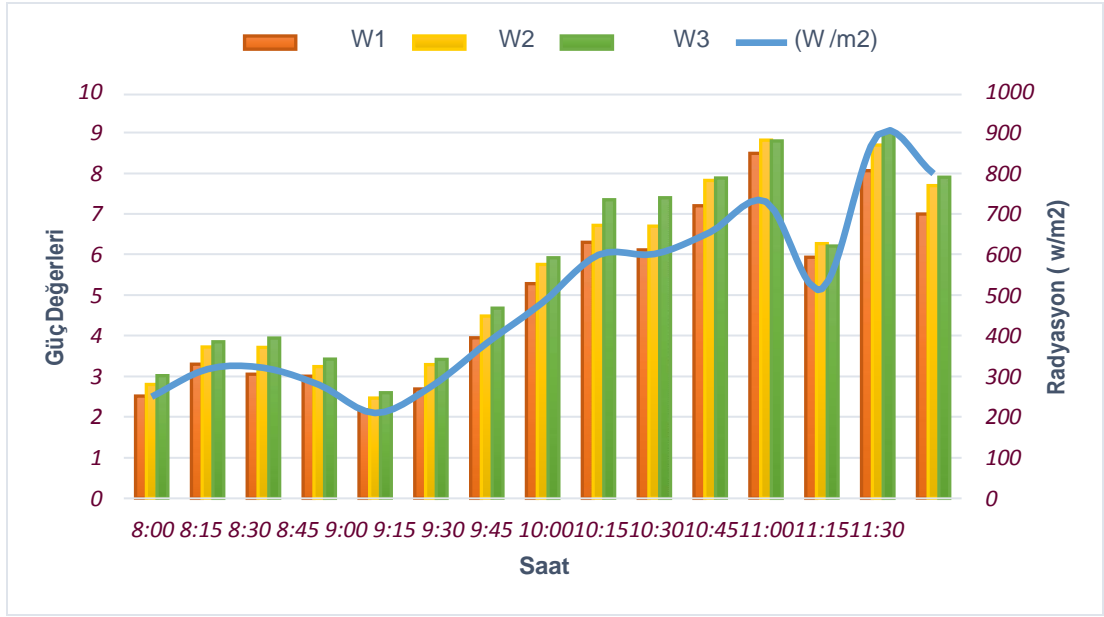
Şekil 5.12’ de 1 gün Termoelektrik modül ile Fotovoltaik Panelden ölçülen zamana bağlı güç değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.12: 1 gün boyunca Termoelektrik modüllü Fotovoltaik Panelden ölçülen güç değişimleri

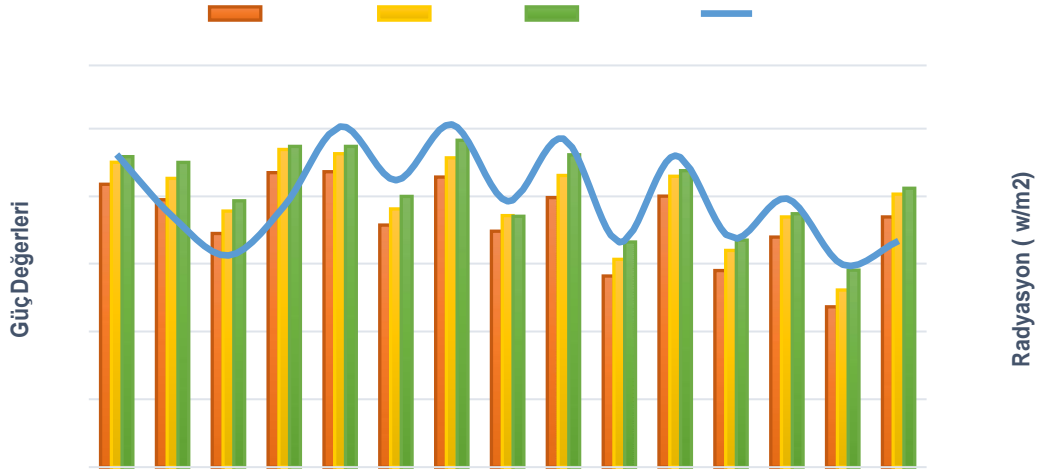
5.1.9 Güç Değerlerinin Karşılaştırılması

Şekil 5.13' de ise saat 08:00'dan 11:30' a kadar ölçülen PV panelin ayrı deneylerdeki güç değişikliği grafiği gösterilmiştir.



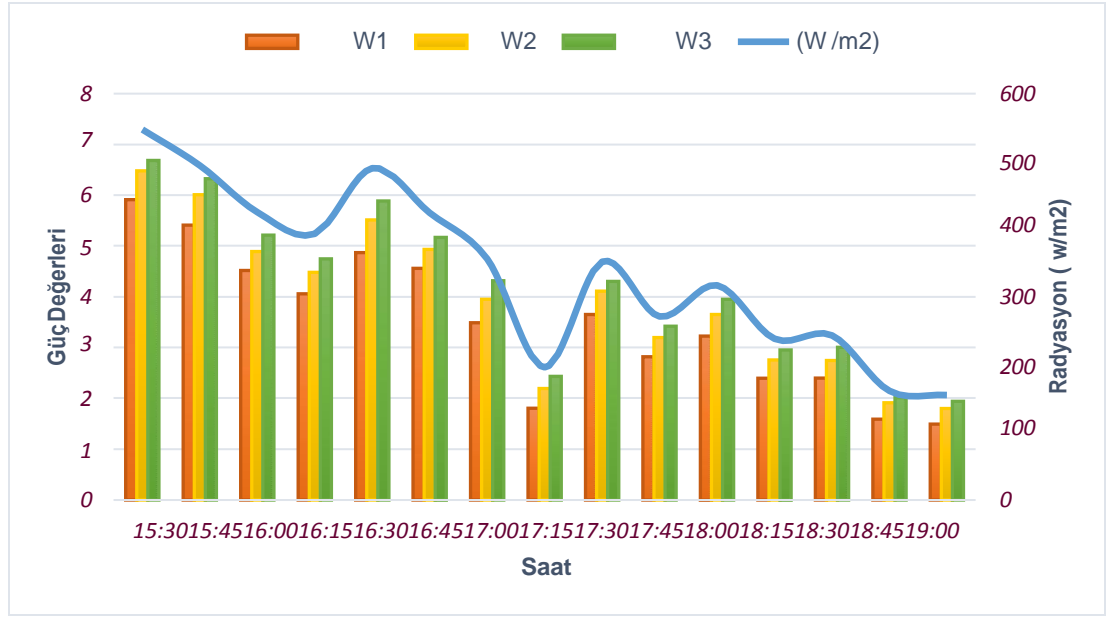
Şekil 5.13: Saat 08:00'dan 11:30' a kadar ölçülen PV panelin güç değişimleri

Şekil 5.14' de ise saat 11:45'den 15:15' e kadar ölçülen PV panelin ayrı deneylerdeki güç değişikliği grafiği gösterilmiştir.



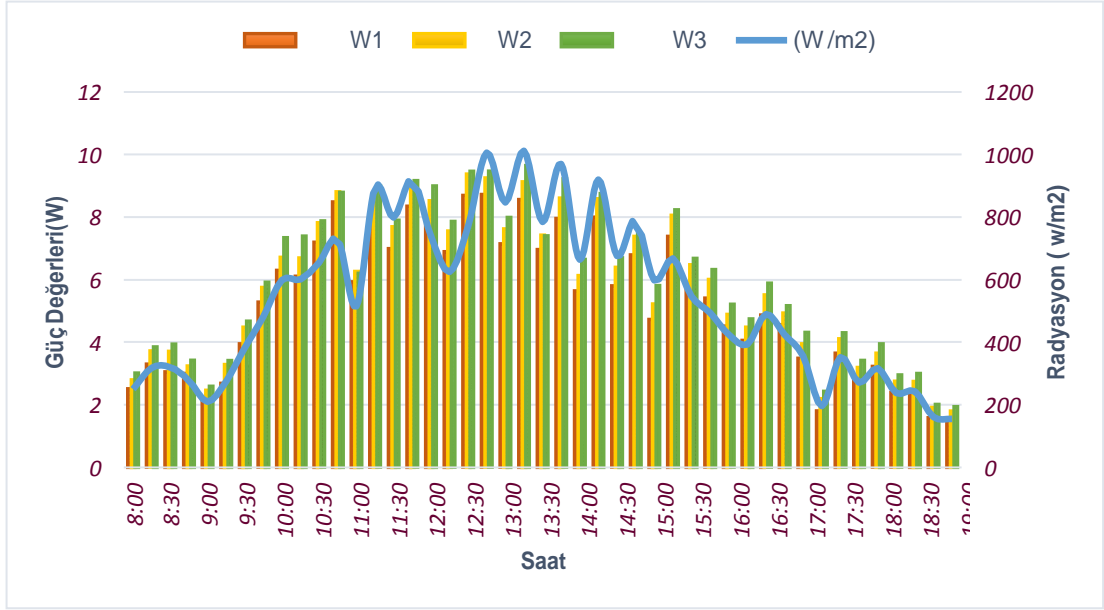
Şekil 5.14: Saat 11:45'den 15:15' e kadar ölçülen PV panelin güç değişimleri

Şekil 5.15’ de ise saat 15:30’dan 19:00’ a kadar ölçülen PV panelin ayrı deneylerdeki güç değişikliği grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.15: Saat 15:30'dan 19:00' a kadar ölçülen PV panelin güç değişimleri

Deneylerde kullanılacak fotovoltaik panelin modellenmesi yapıldıktan sonra panel üzerindeki etkilerini gözlemleyebilmek için 3 ayrı deney düzeneği hazırlanmıştır. W1 Gölgeleme etkisi olan fotovoltaik panelden ölçülen güç değişimlerini, W2 Gölgeleme etkisi olmayan fotovoltaik panelden ölçülen güç değişimlerini, W3 ise Termoelektrik modüllü Fotovoltaik Panelden ölçülen güç değişimlerini ifade etmektedir. Şekil 5.16' da ise 1 gün boyunca PV panel ile yapılan 3 ayrı deneyden elde edilen güç değerlerinin grafikleri birlikte çizdirilerek karşılaştırılması yapılmıştır.

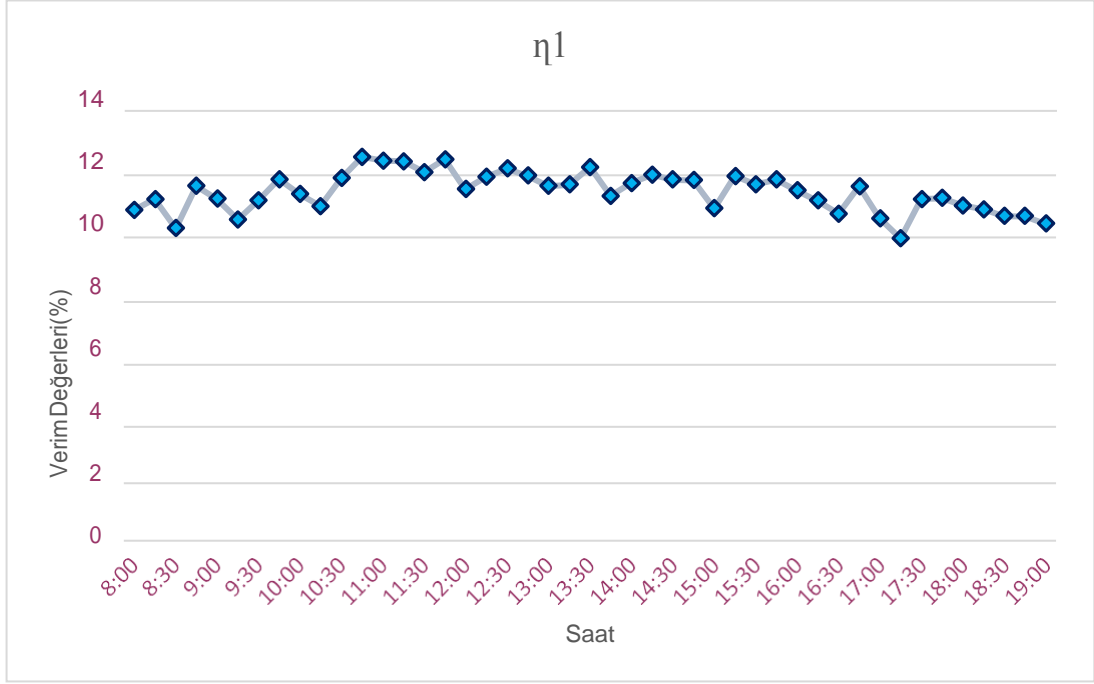


Şekil 5.16: 1 gün boyunca PV panelden elde edilen güç değişimlerinin karşılaştırması

Buna göre 1 gün boyunca; gölgelenme etkisi olan fotovoltaik panelin maksimum gücü 8,723 W iken ortalama gücü 5,262 W, gölgelenme etkisi olmayan fotovoltaik panelin maksimum gücü 9,378 W iken ortalama gücü 5,756 W ve Termoelektrik modüllü Fotovoltaik Panelin maksimum gücü 9,651 W iken ortalama gücü 6,013 W olduğu gözlemlenmiştir. Bu oranların W1'den W3'e doğru giderek iyileştiği ve güç değerlerinin hem maksimum da hem de ortalama da yükseldiği görülmektedir.

5.1.10 Gölgeleme Etkisi Olan PV Panelin Verimi

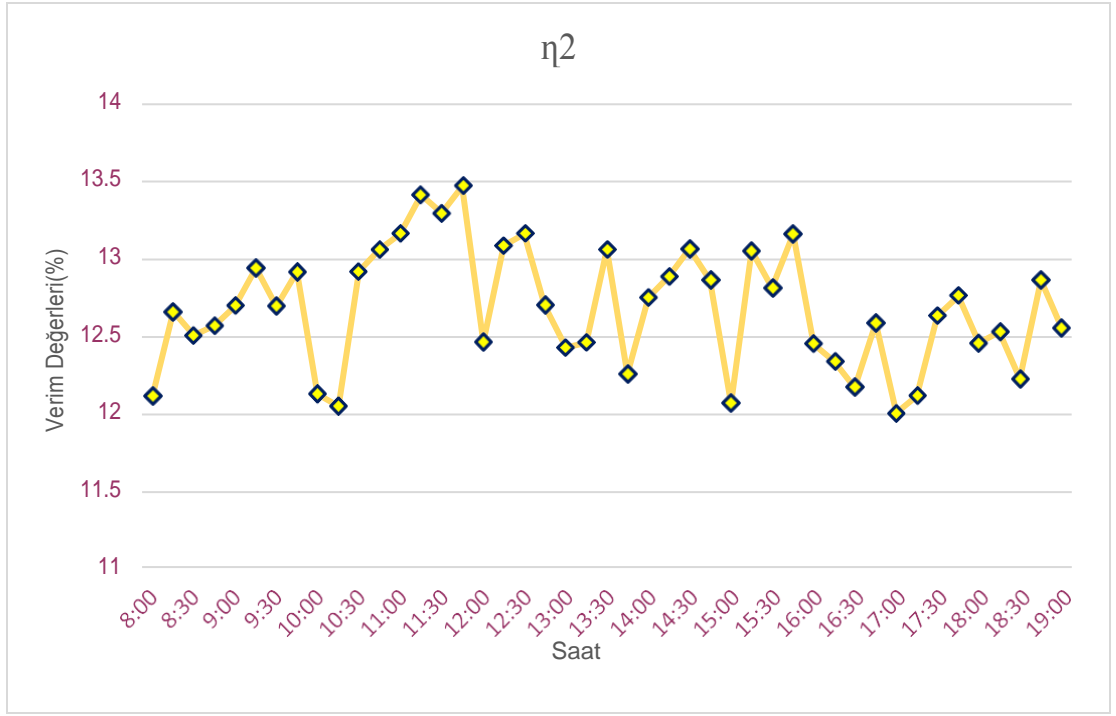
Gölgeleme etkisi olan fotovoltaik panele ait zamana bağlı verim hesaplanarak Şekil 5.17' de gösterilmiştir.



Şekil 5.17: Gölgeleme etkisi olan PV panelin verimi

5.1.11 Gölgeleme Etkisi Olmayan PV Panelin Verimi

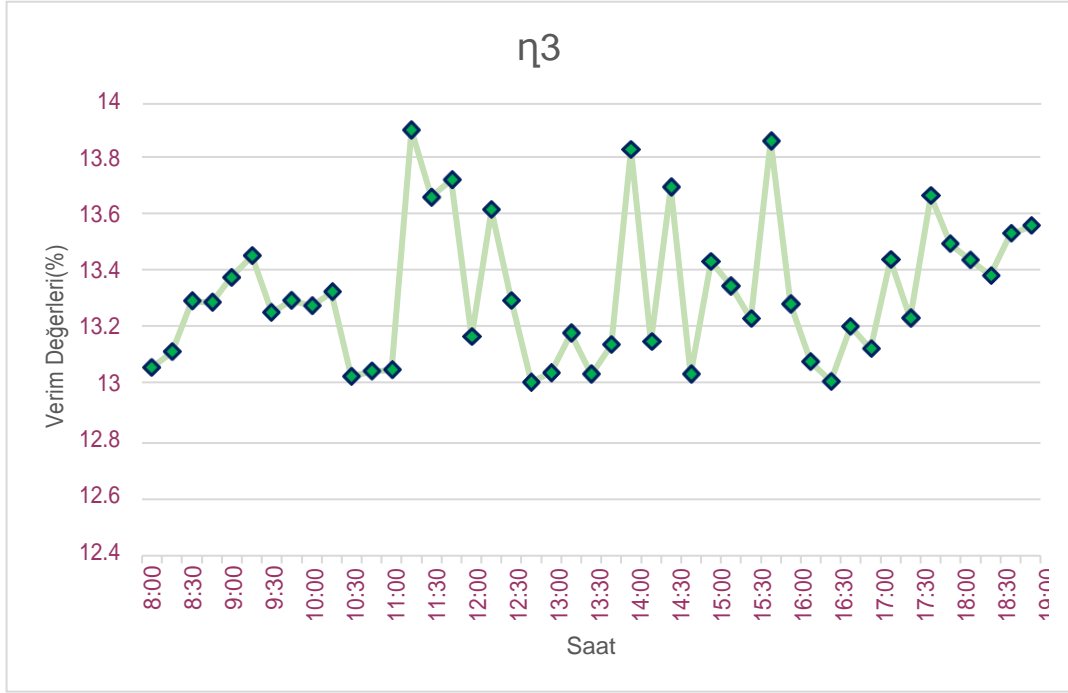
Gölgeleme etkisi olmayan fotovoltaik panele ait zamana bağlı verim hesaplanarak Şekil 5.18' de gösterilmiştir.



Şekil 5.18: Gölgenme etkisi olmayan PV panelin verimi

5.1.12 Termoelektrik Modüllü PV Panelin verimi

Termoelektrik modüllü Fotovoltaik Panele ait zamana bağlı verim hesaplanarak Şekil 5.19' da gösterilmiştir.



Şekil 5.19: Termoelektrik modüllü PV Panelin verimi

Saat 13:15'de gölgelenme etkisi olan panelin gücü;

$$P_m = V_m \cdot I_m = 17.1 \times 0.50 = 8.564 \text{ W} \quad (5.5)$$

olup 10 W gücündeki gölgelenme etkisindeki panelin verimi;

$$\eta = \frac{P_m}{I \cdot A} = \frac{100 \times 8.564}{793 \times 0.0924} = \%11,69 \quad (5.6)$$

Saat 13:15'de gölgelenme etkisi olmayan panelin gücü;

$$P_m = V_m \cdot I_m = 17.9 \times 0.51 = 9.129 \text{ W} \quad (5.7)$$

olup 10 W gücündeki gölgelenme etkisi olmayan panelin verimi;

$$\eta = \frac{P_m}{I \cdot A} = \frac{100 \times 9.129}{793 \times 0.0924} = \%12,46 \quad (5.8)$$

Saat 13:15'de termoelektrik modüllü panelin gücü;

$$P_m = V_m \cdot I_m = 18.6 \times 0.52 = 9.651 \text{ W} \quad (5.9)$$

olarak bulunur. 10 W gücündeki termoelektrik modüllü panelin verimi;

$$\eta = \frac{P_m}{I \cdot A} = \frac{100 \times 9651}{793 \times 00924} = \%13,17 \quad (5.10)$$

hesaplama yapılarak bulunmuştur.1 gün boyunca; gölgelenme etkisi olan fotovoltaik panelin maksimum verimi %12,58 iken ortalama verimi %11,45, gölgelenme etkisi olmayan fotovoltaik panelin maksimum verimi %13,47 iken ortalama verimi %12,68 ve termoelektrik modüllü fotovoltaik panelin maksimum verimi %13,89 iken ortalama verimi %13,32 olduğu gözlemlenmiştir. Bu oranların η_1 'den η_3 'e doğru giderek iyileştiği ve verim değerlerinin hem maksimum da hem de ortalama da yükseldiği görülmektedir.

Deneyin tamamı değerlendirildiğinde, kullanılan enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi olması ve soğutma sistemi sayesinde etrafında zararlı gazların çıkmaması yönünden çevre dostu bir sistem olduğu görülmüştür. Bu deneyde enerji yönünden ek bir maliyete gerek yoktur. Kurulan deney sisteminin ağırlık ve hacim açısından küçük olması da başka bir avantajı olmuştur. Ayrıca deney içerisinde hareketli elemanın az olmasıyla birlikte bakım maliyetlerini en aza indirirken termoelektrikli soğutma sistemi kullanılarak kurulan fotovoltaik sistemde de güç ve verim artışı olmuştur.

6. SONUÇLAR

PV paneller standart test koşulları (STK) olan 1000 W/m^2 güneş ışınımı, 1,5 hava kütleinde ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta test edilirler. Bu koşulların etkisindeki PV panellerin gücü ile enerji verimlilik değerleri ölçülür. Fotovoltaik pillerin verimleri fotovoltaik pilin üretildiği hammaddeye, ölçüm şartlarına ve yapısına göre değişmekle birlikte; verimi %5 ile %35 arasında değişiklik göstermektedir ve Fotovoltaik modülün verimi; PV malzeme bileşimine, güneş ışınım şiddetine, ortam sıcaklığı ve modül sıcaklığına bağlıdır. Fotovoltaik modüllerin verimleri büyük oranda çalışma sıcaklığına bağlıdır. PV sistemlerde verim düşüşüne neden olan etkilerden sıcaklık artışı dışında; gölgelenme kayıpları, tozlanma sonucunda oluşan kayıplar, kablo kayıpları gibi verilen birçok kayıp bulunmaktadır. Bu kayıplar verim düşümünü değiştirerek sistemin toplam verimini olumsuz etkilemektedirler.

Bu tez çalışmasında da deneylerde kullanılan 10W polikristal panelin fotovoltaik sistemlerin pasif soğutma teknikleriyle güç ve sıcaklık ilişkisi ile enerji verimliliğinin analizleri yapılmadan önce Matlab/Simulink programını kullanarak benzetim çalışmaları yapılmıştır. Daha sonra kurulan deneylerle fotovoltaik panellere bütünleştirilmiş farklı pasif yöntemlerin sistem verimliliğine etkisi araştırılmıştır.

Deneylerde fotovoltaik panel ile tek bir yük direncinde ve güneş ışınımı etkisinde test edilmiş ve gölgelenme kaybı etkisi olan panel ile termoelektrik soğutucu etkisi olan panel için güç değerleri ayrı ayrı ölçülerek üzerinde verimliliğine etki eden herhangi bir kayıp olmayan fotovoltaik panelden ölçülen güç değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Her bir sistem için güç ve verim eğrileri ile üzerinde verimliliğine etki eden bir kayıp olmayan fotovoltaik panelden ölçülen akım-gerilim ile güç eğrileri çizdirilmiştir.

Bir panel yüzeyi üzerine güneş ışınımı düştüğünde güneş hücrelerinde bulunan elektronlarda hareketsizlikten kurtularak elektrik üretmeye başlarlar. Fakat üretilen gücün; sistemdeki bazı kayıplardan dolayı ya da ısınmaların etkisi ile bu yenilenebilir enerji türünün tüm performans değerlerini olumsuz yönde etkileyerek düşmesine neden olmaktadır. Isınmadan kaynaklı olan bu olumsuz durum karşısında güneş hücrelerinin ısınmasıyla akım değeri artarak gerilim değeri azalmış olur. Gerilimin düşüşü akımın artışına göre fazla olması ise çıkış gücünün de azalmasına neden olur.

PV panellerin enerji çıktısı ise akım (I_m) ve gerilim (V_m) değerlerinin çarpımı olduğundan enerji verimleri de bu durumdan olumsuz etkilenmektedir. Bu sistem kurulan küçük modüllerde yatırım maliyetleri yönünden elde edilecek kazancın az olmasına sebep olabilir fakat daha büyük sistemlerin kurulmasıyla elde edilecek bu g ve verimin yükselişi de önem kazanacağından bu tür araştırmaların yapılmasının önemini göstermektedir.

7. KAYNAKLAR

Bayrak, F., Ertürk, G. and Öztıp H.F., “Effects of Partial Shading on Energy and Exergy Efficiencies for Photovoltaic Panels”, *Journal of Cleaner Production*, 164, 58-69, (2017).

Başak, Ö. D. and Sazak, B. S., “Effect of Components on A Solar Panel System Efficiency”, *Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET)*, IACEIT-2014, 3, 7-11, (2014).

Başak, Ö. D. and Sazak, B. S., “Effect of Developments on A PV System Efficiency”, *In 2013 4th International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE)*, 1-6, (2013).

Çetin, E., ve Sazak, B. S., “Fotovoltaik Enerji Dönüşüm Sistemlerinde Kullanılabilecek Bir Seri Rezonans İntertör Devresinin İncelenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(3), 339-346, (2011).

Karaçavuş, B., “Türkiye'nin Belirli İklim Bölgeleri için Güneş Enerjili Sıcak Su Sisteminin Optimizasyonu”, *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 32(3),843-853, (2017).

Zhang, X. and Chau, K. T., “An Automotive Thermoelectric–Photovoltaic Hybrid Energy System Using Maximum Power Point Tracking”, *Energy Conversion and Management*, 52(1), 641-647, (2011).

Najafi, H. and Woodbury, K., “Modeling and Analysis of a Combined Photovoltaic-Thermoelectric Power Generation System”, *J. Sol. Energy Eng.*, 44816, 939-945, (2012).

Deng, Y., Zhu, W., Wang, Y. and Shi, Y., “Enhanced Performance of Solar-Driven Photovoltaic–Thermoelectric Hybrid System in an Integrated Design”, *Sol. Energy*, 88, 182-191, (2013).

He, W., Zhou, J., Chen, C. and Ji, J., “Experimental Study and Performance Analysis of a Thermoelectric Cooling and Heating System Driven by a Photovoltaic/Thermal System in Summer and Winter Operation Modes”, *Energy Conversion and Management*, 84, 41-49, (2014).

Makki, A., Omer, S. and Sabir, H., “Advancements in Hybrid Photovoltaic Systems for Enhanced Solar Cells Performance”, *Renewable and sustainable energy reviews*, 41, 658-684, (2015).

Zhu, W., Deng, Y., Wang, Y., Shen, S. and Gulfam, R., “High-Performance Photovoltaic-Thermoelectric Hybrid Power Generation System with Optimized Thermal Management”, *Energy*, 100, 91-101, (2016).

Kane, A., Verma, V. and Singh, B., “Optimization of Thermoelectric Cooling Technology for an Active Cooling of Photovoltaic Panel”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 1295-1305, (2017).

Kohan, H. F., Lotfipour, F. and Eslami, M., “Numerical Simulation of a Photovoltaic Thermoelectric Hybrid Power Generation System”, *Sol. Energy*, 174, 537-548, (2018).

Adak, S., Cangi, H. ve Yılmaz, A. S., “Fotovoltaik Sistemin Çıkış Gücünün Sıcaklık ve Işımaya Bağlı Matematiksel Modellemesi ve Simülasyonu”, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 11(1), 316-327, (2019).

Özkaymak, M., Baş, Ş., Acar, B., Yavuz, C., Boran, K., Tabak, A. S., Variyenli, İ. ve Asal, Ö., “Atık Baca Gazı Kullanımı ile Termoelektrik Jeneratörlerde Elektrik Üretiminin Faydalı Kullanımının İncelenmesi”, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım ve Teknoloji*, 2(4), 289-298, (2014).

Hacı, M. ve Kahraman, Z., “Termoelektrik Sistemli Yemek Taşıma Modülü Tasarımı ve Analizi”, *Uluslararası Yakıtlar Yanma ve Yangın Dergisi*, 4, 65-71, (2016).

Duman, S., Yörükere, N. ve Altaş, İ. H., “Fotovoltaik Enerji Sistemlerinin Modellenmesi, Benzetimi ve Uygulaması”, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 3(1), 9-23, (2014).

LeBlanc, S., “Thermoelectric Generators: Linking Material Properties and Systems Engineering for Waste Heat Recovery Applications”, *Sustainable Materials and Technologies*, 1, 26-35, (2014).

Öztürk, H. H. ve Kaya, D., *Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi: Fotovoltaik Teknoloji*, Kocaeli: Umuttepe Yayınları, (2013).

Uzunoğlu, M., Kızıl, A. ve Onar, Ö. Ç., *Her Yönü ile Matlab*, İstanbul:Türkmen Kitapevi, (2003).

Yılmaz, C., “Güneş Enerjili Isı Borusu Kullanılarak Termoelektrik Modüller ile Elektrik Üretimi Deneysel İncelemesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yenilenebilir Enerji ve Uygulamaları Anabilim Dalı*, Samsun, (2019).

Aydın, M., “Türkiye Koşullarında Güneş Panelleri için Optimum Sabit ve Ayarlanabilir Eğim Açılarının Belirlenmesi Üzerine bir Araştırma”, Yüksek Lisans Tezi, *Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı*, Bursa, (2020).

Bayrak, F., “Fotovoltaik Panellere Bütünleştirilmiş Farklı Pasif Yöntemlerin Sistem Verimliliğine Etkisinin Sayısal ve Deneysel Analizi”, Doktora Tezi, *Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Eğitimi Anabilim Dalı*, Elâzığ, (2017).

Öztürker, H., “Batman'da Farklı Teknolojilere Sahip Fotovoltaik Modüllerin Performans Karşılaştırması”, Yüksek Lisans Tezi, *Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fizik Anabilim Dalı*, Batman, (2016).

Çevik, Ö., “Termoelektrik Tabanlı Portatif Bir Jeneratörün Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik – Elektronik Anabilim Dalı*, Kırıkkale, (2011).

Mamur, H., “Termoelektrik Jeneratörün Elektriksel, Termoelektriksel ve Isıl Parametrelerinin İncelenmesi İçin Bilgisayarlı Bir Veri Edinim ve Test Sisteminin Gerçekleştirilmesi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü*, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara, (2013).

Şahin, T., “Termoelektrik Soğutucuların Modellenmesi ve Karakterizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü*, Enerji Bilim ve Teknoloji Anabilim Dalı, İstanbul, (2012).

Yılmaz, Ş., Aksu, M., Özer, Z. ve Özçalık, H. R., “Matlab ile Gerçekleştirilen Fotovoltaik (PV) Güneş Pili Modeli ile Güneş Enerjisi Üretimindeki Önemli Etkenlerin Tespit Edilmesi”, *ELECO '2012 Elektrik- Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*, Bursa, (2012).

İnan, A., “Simulink temel seviye semineri[online]”, (6 Mayıs 2021), <https://www.muhendisarsivi.com/matlap-notlarslayt-1475>, (2005).