



T.C.

HİTİT ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**MATLAB SİMULINK İLE FARKLI İŞLETME ŞARTLARINDA PV VE
PV/T SİSTEMLERİNİN PERFORMANS ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

Sabeeha Salim Murad AL-GBURI

Çorum 2023

**MATLAB SİMULINK İLE FARKLI İŞLETME ŞARTLARINDA PV VE PV/T
SİSTEMLERİNİN PERFORMANS ANALİZİ**

Sabeeha Salim Murad AL-GBURI

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Sinan ÇALIŞKAN

Çorum 2023

Sabeeha Salim Murad AL-GBURI tarafından hazırlanan “Matlab Simulink ile Farklı İşletme Şartlarında PV ve PV/T Sistemlerinin Performans Analizi” adlı tez çalışması 10/04/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ali KILIÇARSLAN

.....

Prof. Dr. Sinan ÇALIŞKAN

.....

Doç. Dr. Burak KURŞUN

.....

Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun .../.../..... tarih ve

Sayılı kararı ile Sabeeha Salim Murad AL-GBURI'ın Enerji Sistemleri Anabilim Dalında Yüksek Lisans Derecesi alması onanmıştır.

Prof. Dr. Muhammed Asif YOLDAŞ

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.

Sabeeha Salim Murad AL-GBURI

MATLAB SİMULİNK İLE FARKLI İŞLETME ŞARTLARINDA PV VE PV/T SİSTEMLERİNİN PERFORMANS ANALİZİ

Sabeeha Salim Murad AL-GBURI

ORCID: 0009-0000-6250-5280

HİTİT ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Yüksek Lisans Tezi

Nisan 2023

ÖZET

Teknolojinin hızla geliştiği ve yaygın olarak kullanıldığı günümüz dünyasında enerji tüketimi artmaktadır. Enerji ihtiyacının ucuz ve çevreci bir şekilde karşılanabilmesi için yenilenebilir enerji kaynakları ve özellikle güneş enerjisinin önemi gün geçtikçe artmaktadır. Bu çalışmada, Matlab/Simulink yazılımı kullanılarak fotovoltaik (PV) sistemi ve fotovoltaik ısı (PV/T) sistemi için bir simülasyon programı yapılmıştır. Bu amaçla, elektrik enerji üretimi ve sıcak su karşılama için uygun olan tek diyotlu eşdeğer devresi ve sıvı tip düzlemsel PV/T kolektör sistemleri tercih edilmiştir. Tek diyotlu eşdeğer devresi ve sıvı tip düzlemsel PV/T kolektör sistemi tarafından üretilen enerjiyi belirlemek için Matlab/Simulink ile yapılan bilgisayar programında Hottel-Whillier denklemleri kullanılmıştır. Burada akım ve gerilim hesaplanmış ayrıca sıvı tip düzlemsel PV/T kolektör sisteminin ısı verimi ve elektriksel verimi hesaplanmıştır. PV sistemi için, kolektör alanı, açık devre gerilimi, kısa devre akımı, maksimum gerilim, maksimum akım, güneş radyasyonu, kısa devre akımı sıcaklık katsayısı, açık devre gerilimi sıcaklık katsayısı, seri ve paralel direnci değişkenleriyle, sistemin her bir parçasını karakterize eden matematiksel modeller incelenmiş ve bağımsız sistemdeki tüm bileşenlerin uygun tahmini değeri hesaplanmıştır.

Ayrıca PV/T sistemi için, akışkan hızı, kolektör alanı, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu, montaj açısı, sızdırmazlık faktörü, camlı/camsız yüzey, emicilik katsayısı ve kapak sayısı değişken parametrelerinin ısı ve elektriksel verimleri elde edilmiştir. PV sistemin, güneş radyasyonuna bağlı olarak; kolektör akımı, kolektör gerilimi, doldurma faktörü ve elektriksel verimi hesaplanmıştır.

Camlı PV/T ve camsız PV/T sistemlere sahip düzlemsel sıvı tip kollektörün ısı ve elektriksel verim analizi yapılmış ve teorik olarak Hottel-Whillier modeli kullanılarak $(G/T_i - T_a)$ ve ısı iletkenlik katsayısı hesaplanmıştır. Simülasyon sonuçlara göre, PV sistemi için kollektör akımı 4,3A, kollektör gerilimi 9,26V, kollektör doldurma faktörü 0,66 ve elektriksel verimi ise %14,37 olarak hesaplanmıştır. Camlı PV/T sistemlerde ısı verim değeri %76,86, elektriksel verim değeri ise %20,13 olarak hesaplanmıştır. Camsız PV/T sistemlerde ise ısı verim değeri %72,34, elektrik verimi ise %21,11 olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerji, PV sistemler, PV/T sistemler, Matlab/Simulink Performans Analizi.

Bilim Kodu: 90544, 90612, 92802

PERFORMANCE ANALYSIS OF PV AND PV/T SYSTEMS IN DIFFERENT OPERATING CONDITIONS WITH MATLAB SIMULINK

Sabeeha Salim Murad AL-GBURI

ORCID: 0009-0000-6250-5280

HITIT UNIVERSITY

GRADUATE EDUCATION INSTITUTE

Master of Science Thesis

April 2023

ABSTRACT

In today's world, where technology is developed and widely used, energy consumption is increasing. Renewable energy sources and especially the importance of solar energy is increasing day by day in order to meet the energy needs in a cheap and environmentally friendly way.

In this study, a separate simulation program was performed for the photovoltaic (PV) system and the photovoltaic thermal (PV/T) system using Matlab/simulink software. For this purpose, single diode equivalent circuit and liquid type planar PV/T collector systems, which are suitable for electricity generation and hot water supply, are preferred. Hottel-Whillier equations were used in the computer program made with Matlab/Simulink to determine the energy produced by the single diode equivalent circuit and liquid type planar PV/T collector system. Here, the current and voltage are calculated and the thermal efficiency and electrical efficiency of the liquid type planar PV/T collector system are calculated. Mathematical models for the PV system characterizing each part of the system with variables such as collector area, open circuit voltage, short circuit current, maximum voltage, maximum current, solar radiation, short circuit current temperature coefficient, open circuit voltage temperature coefficient, series and parallel resistance. Analyzed and the appropriate estimated value of all components in the independent system was calculated.

In addition, the thermal and electrical efficiencies of the variable parameters of fluid velocity, collector area, wind speed, solar radiation, mounting angle, sealing factor, glazed/non-glass surface, absorbency coefficient and number of covers were obtained for the PV/T system.

Depending on the solar radiation of the PV system; collector current, collector voltage, filling factor and electrical efficiency were calculated. Thermal and electrical efficiency analysis of the planar liquid type collector with glassed PV/T and glassless PV/T systems was made and theoretically (G/Ti-Ta) and thermal conductivity coefficient were calculated using the Hottel-Whillier model. According to the simulation results, the collector current for the PV system is 4.3A, the collector voltage is 9.26V, the collector filling factor is 0.66, and the electrical efficiency is 14.37%. In glass PV/T systems, the thermal efficiency value is calculated as 76.86% and the electrical efficiency value is calculated as 20.13%. In unglazed PV/T systems, it was determined that the thermal efficiency value was 72.34% and the electrical efficiency was 21.11%.

Keywords: Solar energy, PV systems, PV/T systems, Matlab/Simulink, PV/T System Performance Analysis.

Science Code: 90544, 90612, 92802

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca bana daima zaman ayırmayı ihmal etmeyen, bilgi ve tecrübelerini benden esirgemeyen, değerli gürüş ve destekleriyle bana her türlü katkıyı sağlayan ve yardımcı olan değerli danışmanım Prof. Dr. Sinan ÇALIŞKAN'a, en içten teőekkürlerimi sunarım. Tez savunma jürimde bulunan değerli hocalarım Prof. Dr. Ali KILIÇARSLAN ve Doç. Dr. Burak KURŞUN'a sonsuz teşekkür ederim. Yalnızca yüksek lisans tezimin hazırlanması aşamasında değil, her zaman yanımda olan ve beni destekleyen ailem ve arkadaşlarım, çalışmam sırasında küçük veya büyük yardımın esirgemeyen herkese teşekkür ederim.

Sabeeha Salim Murad AL-GBURI

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
GİRİŞ.....	1

1. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

2. BÖLÜM

GÜNEŞ ENERJİSİ

2.1. Güneş Enerjisi Uygulamaları	4
2.1.1. Şebekeden bağımsız PV sistemler.....	4
2.1.2. Şebeke bağlantılı PV sistemler	5
2.1.3. Hibrit sistemler.....	5
2.2. Fotovoltaik Malzemeler ve Çalışma Prensipleri.....	5
2.2.1. Fotovoltaik panel türleri.....	5
2.2.2. Fotovoltaik sistemler.....	6
2.2.3. Fotovoltaik çalışma prensipleri	7
2.3. Düzlemsel güneş kolektörleri	8
2.3.1. Düzlemsel güneş kolektör avantajları.....	8
2.3.2. Düzlemsel güneş kolektör prensibi.....	9
2.3.3. Düzlemsel kolektör bileşenleri	9

3. BÖLÜM

PV/T TOPLAYICI TEKNOLOJİSİ

3.1. Fotovoltaik Termal Sistemlerin Sınıflandırılması.....	12
3.1.1. Havalı PV/T sistemler	12
3.1.2. Sıvılı PV/T sistemler	12
3.1.3. Isı borulu PV/T sistemler	12
3.1.4. FDM'li PV/T sistemler.....	12
3.2. Fotovoltaik Isıl Sistemlerin Avantajları	13
3.3. Fotovoltaik Isıl Sistemlerin Uygulamaları.....	13

4. BÖLÜM

MATLAB / SİMULİNK

4.1. Matlab Sistemi	14
4.1.1. Geliştirme ortamı	14
4.1.2. Matlab matematiksel fonksiyon kütüphanesi.....	14
4.1.3. Matlab dili	14
4.1.4. Matlab uygulama programı ara yüzü (API).....	14
4.2. Matlab Çalışma Ortamı.....	15
4.3. Simulink	15
4.4. Simulink Temel Kavramları	15
4.5. Simulink Temel Öğeleri.....	15

5. BÖLÜM

PV ve PV/T SİSTEMLERİ ELEKTRİKSEL/ISIL MODELLEME

5.1. PV Sistemi.....	16
5.1.1. Açık devre gerilimi	18
5.1.2. Kısa devre akımı.....	18
5.1.3. Seri direnci.....	19

5.1.4. Paralel direnci	19
5.1.5. Işık tarafından üretilen akım	19
5.1.6. Ters doyma akım.....	19
5.1.7. PV hücre gerilimi.....	20
5.1.8. Elektriksel verimi.....	20
5.1.9. Doldurma faktörü	20
5.2. PV/T Sistemi.....	21
5.2.1. Isı kazancı.....	21
5.2.2. Kollektör ısı giderme faktörü.....	22
5.2.3. Üst kayıp katsayısı.....	22
5.2.4. Hücre sıcaklığı veya yutucu plaka sıcaklığı.....	22
5.2.5. Elektriksel verimliliği.....	23
5.2.6. Isıl verimliliği.....	23

6. BÖLÜM

PV ve PV/T SİSTEMLER SİMULİNK MODELİ

6.1. PV Sistemi.....	24
6.1.1. Işık tarafından üretilen akım	24
6.1.2. Fotovoltaik akım	25
6.1.3. PV hücre gerilimi.....	28
6.1.4. Elektriksel verimi.....	29
6.1.5. Doldurma faktörü	30
6.2. PV/T Sistemi.....	31
6.2.1. Isı kazancı simulink modeli	31
6.2.2. Hücre sıcaklığı veya yutucu yüzey sıcaklığı simulink modeli.....	31
6.2.3. $((T_i - T_a) / G)$ simulink modeli	32
6.2.4. Elektrik verimliliği simulink modeli	33

6.2.5. Isıl verimliliği simülasyon modeli	34
---	----

7. BÖLÜM

ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

7.1. PV ve PV/T Sistemi Simülasyonu ve Sonuçları	35
7.1.1. PV sistemi.....	35
7.1.2. PV/T sistemi.....	36
7.2. Güneş Radyasyonunun PV Kollektörleri Üzerindeki Etkisi	38
7.3. Güneş Radyasyonunun PV/T Kollektörleri Üzerindeki Etkisi	42
SONUÇ VE ÖNERİLER	61
KAYNAKÇA	63
EKLER.....	67
EK-1. Çalışmada kullanılan panel bilgileri 1	67
EK-2. Çalışmada kullanılan panel bilgileri 2	68
EK-3. Çalışmada kullanılan panel bilgileri 3	70
ÖZ GEÇMİŞ.....	72

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Fotovoltaik sistem yapısı.....	7
Şekil 2.2. PV hücresinin elektrik üretme kademeler	8
Şekil 2.3. Düzlemsel kollektör çalışma prensibi.....	9
Şekil 2.4. Düzlemsel kollektör bileşenleri.....	10
Şekil 5.1. Temsili olarak akım-gerilim eğrilerinin simülasyonu.....	16
Şekil 5.2. Tek diyotlu eşdeğer devresi	17
Şekil 5.3. Güncel model parametrelerinin hesaplanması.....	18
Şekil 5.4. Düzlemsel güneş kollektöründe ısı kayıpları.....	21
Şekil 6.1. Işık tarafından üretilen akım simulink devresi.....	25
Şekil 6.2. Fotovoltaik akım simulink devresi.....	28
Şekil 6.3. PV hücre gerilim simulink devresi	29
Şekil 6.4. PV elektriksel verimi simulink devresi.....	30
Şekil 6.5. Doldurma faktörü simulink devresi.....	30
Şekil 6.6. Isı kazancı simulink devresi	31
Şekil 6.7. Hücre sıcaklığı simulink devresi	32
Şekil 6.8. $((T_i - T_a) / G)$ simulink devresi.....	33
Şekil 6.9. Elektriksel verimi simulink devresi.....	33
Şekil 6.10. Isıl verimi simulink devresi.....	34
Şekil 7.1. Değişken güneş radyasyona göre PV kollektör akımının değişimi.....	39
Şekil 7.2. Değişken güneş radyasyona göre PV kollektör geriliminin değişimi	40
Şekil 7.3. Değişken güneş radyasyona göre PV kollektör doldurma faktörünün değişimi.....	41
Şekil 7.4. Değişken güneş radyasyona göre PV kollektörün elektriksel veriminin değişimi.....	42
Şekil 7.5. Değişken güneş radyasyona göre camlı PV/T kollektör ısı kazancı değişimi	44

Şekil 7.6. Değişken güneş radyasyona göre camlı PV/T kollektör hücre sıcaklığı değişimi	45
Şekil 7.7. Değişken güneş radyasyona göre camlı PV/T kollektör üst kayıp katsayısı değişimi.....	46
Şekil 7.8. Değişken güneş radyasyona göre camlı PV/T kollektör elektriksel verim değişimi.....	47
Şekil 7.9. Değişken güneş radyasyona göre camlı PV/T kollektör ısı verim değişimi.....	48
Şekil 7.10. Değişken güneş radyasyona göre camsız PV/T kollektör ısı kazancı değişimi.....	49
Şekil 7.11. Değişken güneş radyasyona göre camsız PV/T kollektör ısı kazancı değişimi.....	50
Şekil 7.12. Değişken güneş radyasyona göre camsız PV/T kollektör üst kayıp katsayısı değişimi..	51
Şekil 7.13. Değişken güneş radyasyona göre camsız PV/T kollektör elektriksel verim değişimi	52
Şekil 7.14. Değişken güneş radyasyona göre camsız PV/T kollektör ısı verim değişimi.....	53
Şekil 7.15. Değişken güneş radyasyona göre PV/T kollektör ısı kazancı	54
Şekil 7.16. Değişken güneş radyasyona göre PV/T kollektörün hücre sıcaklığı.....	55
Şekil 7.17. Değişken güneş radyasyona göre PV/T kollektörün üst kayıp katsayısı	56
Şekil 7.18. Değişken güneş radyasyona göre PV/T kollektörün elektriksel verimi.....	57
Şekil 7.19. Değişken güneş radyasyona göre PV/T kollektörün ısı verimi.....	58
Şekil 7.20. Değişken güneş radyasyona göre kollektörün elektriksel verimi	59
Şekil 7.21. Değişken güneş radyasyona göre kollektörün elektriksel verimi	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 7.1. PV sistemi için sabit parametreleri	35
Çizelge 7.2. PV sistemi için değişken parametreler	35
Çizelge 7.3. PV sistemi için simulasyon sonuçlar.....	35
Çizelge 7.4. PV/T sistemi için sabit parametreleri.....	36
Çizelge 7.5. PV/T sistemi için değişken parametreleri.....	36
Çizelge 7.6. Camlı PV/T sistemi için simülasyon sonuçları	37
Çizelge 7.7. Camsız PV/T Sistemi için simülasyon sonuçlar	37
Çizelge 7.8. PV sistem elektriksel verim değişimi	38
Çizelge 7.9. Camlı/camsız PV/T sistemin elektriksel ve ısı verimi.....	43

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
A_C	Kollektör alanı [m^2]
C_p	Özgül ısı [$J/kg K$]
d	Boru genişliği [mm]
dh	Boru hidrolik çapları [mm]
d/w	Boru genişliği / boru aralığı oranı
F_R	Düzenleme faktörü
G	Güneş radyasyonu [W/m^2K]
G_{ref}	Güneş radyasyon referans değeri [W/m^2K]
GT	Gelen güneş radyasyon [W/m^2]
GT_{τ}	Camın geçirdiği enerji [W/m^2]
$GT_{\tau\alpha}$	Plakanın yuttuğu enerji [W/m^2]
h_f	Hücre emiciye ısı transfer katsayısı [W/m^2K]
h_{fi}	Tüp içi ısı transferi [W/m^2K]
h_{pv}	Hücreden emiciye ısı transfer katsayısı [W]
h_w	Rüzgâr ısı transfer katsayısı [W]
I_0	Ters doyma akımı [A]
I_d	Diyot akımı [A]
I_L	Işık tarafından üretilen akımı [A]
I_m	Maksimum akımı [A]
I_{pv}	PV hücre akımı [A]
I_{sc}	Kısa devre akımı [A]
I_t	Termal akımı [A]

Simgeler	Açıklama
K_{abs}	Emici iletkenliği [W/mK]
K_B	Boltzman sabiti [J/K]
K_b	Arka yalıtım iletkenliği [W/mK]
k_e	Yalıtım iletkenliği [W/mK]
k_f	Akışkan ısı iletkenliği [W/mK]
K_i	Sıcaklık katsayısı [1/K]
K_{pv}	PV iletkenliği [W/mK]
L_{abs}	Emici kalınlığı [mm]
L_b	Arka yalıtım kalınlığı [m]
l_e	Kanal yalıtım kalınlığı [m]
L_{edge}	Kenar yalıtım kalınlığı [m]
L_{pv}	PV kalınlığı [mm]
m	Akışkan hızı [lps]
n	Diyot faktörü
N_c	Modül verimi [%]
N_e	PV Elektrik modeli elektriksel verimi [%]
N_{el}	PV Isıl modeli elektriksel verimi [%]
N_g	Cam kapak Sayısı
NOCT	Nominal sıcaklık [K]
N_p	Paralel hücre sayısı
N_{pvt}	PV Isıl modeli toplam verimi [%]
N_s	Seri hücre sayısı
N_{th}	PV Isıl modeli ısı verimi [%]
Q	Isı kazancı [W]
q	Elektron yükü [coulomb]

Simgeler	Açıklama
R_S	Seri direnci [Ω]
R_{SH}	Paralel direnci [Ω]
S	Soğrulan güneş ışınım [W/m^2]
T_a	Ortam sıcaklık [K]
$T_{\alpha PV}$	PV transfer/emici
T_C	Hücre sıcaklık [K]
T_i	Giriş sıcaklık [K]
T_M	Çalışma sıcaklık [K]
T_{ref}	Nominal sıcaklık [K]
U_{loss}	Genel ısı kaybı [W/m^2K]
U_t	Üst kayıp katsayısı [W/m^2K]
v	Rüzgar hızı [m/s]
V_m	Maksimum gerilim [V]
V_{OC}	Açık Devre gerilimi [V]
V_{pv}	PV Hücre gerilim [V]
w	Boru aralığı [mm]
α	Kısa devre akımı sıcaklık katsayısı [A/K]
α_c	Absorpsiyon
β	Açık devre gerilimi sıcaklık katsayısı [V/K]
β_c	Güneş pillerinin paketleme faktörü
δ	Kanat kalınlığı [m]
ϵ_c	Kapaktaki ışıma
ϵ_g	Cam yayma katsayısı
ϵ_p	Yüzeydeki ışıma
\emptyset	Montaj açısı [$^\circ$]

Simgeler σ τ $\tau\alpha T$ **Açıklama**

Stefan-Boltzmann sabiti

Geçirgenlik

Termal transfer/emici



GİRİŞ

Enerji, insan yaşamının önemli bir parçasıdır. Ülkelerin sosyal ve ekonomik düzeylerini, gelişmişlik düzeylerini ve sanayi, teknoloji, bilim ve güvenlik alanlarındaki konumlarını belirleyen en önemli faktörlerden biridir. Günümüzün enerji ihtiyacı fosil yakıtlarla karşılanmaktadır. Ancak bu tür enerjinin kullanılması, insan hayatını ve diğer canlıları etkileyen hava kirliliğine, asit yağmurlarına, iklim değişikliğine ve toprak verimliliğinin düşmesine neden olur. Çevreye ve insan yaşamına zarar vermeyen temiz enerji kaynakları bulmak için geleneksel enerji üretim kaynaklarının alternatif kaynaklarının araştırılması gerekir. Bu kaynaklar yenilenebilir enerji kaynakları veya temiz enerji olarak bilinir. Bu kaynaklardan en önemlileri güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisidir.

Güneş enerjisi kavramı ilk kez yetmişli yılların başındaki petrol kriziyle ortaya çıkmıştır. Güneş, yenilenebilir enerji kaynakları arasında büyük önemi ile dünyadaki enerji kaynaklarının temelini oluşturmaktadır. Güneş enerjisi kullanılarak elektrik enerjisi ve ısı enerjisi üretilir. Güneş panelleri, doğrudan güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretmek için kullanılır. Güneş ışınlarındaki fotonun enerjisini elektriğe dönüştürülür. Üretilen enerji doğrudan kullanılabilir veya daha sonra kullanılmak üzere pillerde depolanabilir. Güneş kollektörü aynı zamanda evleri ısıtmak ve suyu ısıtmak için bir miktar güneş enerjisini kollektördeki sıvıya aktararak ısı enerjisi üretmek için kullanılır.

Son zamanlarda, güneş panelleri ile güneş kollektörü tek bir cihazda birleştirilerek, PV/T olarak elde edilmiştir. Bu sistemler hem elektriksel hem de ısı endüstriyel yüklerin karşılanmasına etkin bir şekilde katkıda sağlamaktadır. Bu sistem güneş ışınımını doğrudan ısı enerjisi ve elektrik enerjisine dönüştürdüğü için PV/T kollektörlerin en yaygın uygulamalarından biridir. Son yıllarda hızlı bir gelişim gösteren hava ve su bazlı sistemlerdir. PV/T sisteminin birçok avantajı vardır. Bunlardan en önemlisi; düşük çevresel etkisi, kurulum alanlarının kullanımını en aza indirir, çekici ve çatı malzemesi PV/T sistemi ile değiştirilebilir.

Bu çalışmada, Matlab/Simulink yazılımı kullanılarak PV sistemi ve PV/T sistemi için ayrı ayrı bir simülasyon programı yapılmıştır. PV sistem simülasyon programında, sistemin her bir parçasını karakterize eden matematiksel modeller incelenmiş ve bağımsız sistemdeki tüm bileşenlerin uygun tahmini değeri hesaplanmıştır. Sistemin güneş radyasyonuna ve sıcaklığa tepkisine alınarak akım, gerilim, doldurma faktörü ve elektriksel verimi hesaplanmıştır. PV/T sistem simülasyon programında camlı ve camsız sistemlere sahip düzlemsel sıvı tip kollektörün ısı ve elektriksel verim analizi yapılmış ve teorik olarak Hottel-Whillier modeli kullanılarak ısı iletkenlik katsayısı dayalı olarak gerçekleştirilmiştir.

1. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

Abdullah ve ark. (2019), çalışmalarında; Matlab kullanılarak hibrit PV/T teorik verilere dayanan modelin analiz simülasyonu yoluyla normal PV teknolojisi (soğutma sistemi olmadan) ile karşılaştırmışlardır. Her güneş radyasyonu seviyesinde 300-1000 W/m² güneş radyasyon seviyeleri ve 0,01-0,049 kg/s kütle akış hızı aralığında bir test yapılmıştır. Sonuç olarak, azalan güneş radyasyonu ve hücre sıcaklığı ile hücre verim değerlerinin arttığını görülmüştür. Hücre sıcaklığı ve çıkış suyu; güneş ışınımının artmasıyla artar ve kütleli debinin artmasıyla azaldığını tespit edilmiştir.

Adnan ve ark. (2009), yutucu kollektörlerin yedi yeni tasarım konfigürasyonu tasarlanmış, araştırılmış ve karşılaştırılmıştır. En yüksek verimi (toplam verim) veren ve en iyi emici tasarımı belirlemek için simülasyonlar yapılmıştır. Bu simülasyonlarda sistem güneş radyasyonu, ortam sıcaklığı ve debi koşulları gibi çeşitli parametrelerle analiz edilmiştir. Anderson ve ark. (2009), yeni bir bina entegre fotovoltaik/ısı (BIPV/T) güneş kollektörünün tasarımı, değiştirilmiş bir Hottel-Whillier modeli kullanılarak teorik olarak analiz edilmiş ve bir prototip BIPV/T kolektörü üzerinde test edilen deneysel verilerle doğrulanmıştır. Sonuç olarak, kanat verimliliği, PV hücreleri ve destekleyici yapıları arasındaki ısı iletkenlik ve laminasyon yöntemi gibi temel tasarım parametrelerinin BIPV/T'nin hem elektriksel hem de ısı verimliliği üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu gösterilmiştir. Jallad (2012), Matlab/Simulink kullanılarak şebeke bağlantılı bir PV sisteminin tasarımı ve bu sistem üzerinde değişen güneş radyasyonunda dinamik davranışın test etmiştir.

Çarkıt (2017), çalışmasında; fotovoltaik panellerin aydınlatmasına bağlı olarak yüke aktarılan enerji üzerindeki termal miktarını gösteren pratik test simülasyonunun sonuçları analiz etmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından gelen elektriği depolamak için kullanılan enerji depolama sistemleri incelenerek bir depo sistemi analizi tamamlamıştır.

Farghally ve ark. (2015), dondurma fabrikası için PV/T sistem tasarımını sunulmuştur. Ayrıca, PV/T toplayıcının tam matematiksel modellemesi ve Matla/Simulink'i tanıtılmıştır. PV/T kollektörün üretim parametreleri için duyarlılık analizi, bunların hem ısı hem de elektriksel verimlilik üzerindeki etkilerini incelemişlerdir.

Fudholi ve ark. (2014), çalışmalarında; fotovoltaik ısı (PV/T) su kollektörlerinin elektriksel ve ısı performansları 500-800 W/m² güneş radyasyon seviyeleri altında olduğunu belirlemişlerdir. Her bir güneş radyasyonu seviyesinde, 0,011 kg/s ile 0,041 kg/s arasında değişen kütle akış hızları tanıtılmıştır. PV/T kollektörleri, PV verimliliği, ısı verimlilik ve her ikisinin birleşimi (PV/T verimliliği) açısından test edilmiştir. Sonuç olarak, spiral akışlı soğurucunun 800 W/m² güneş

radasyonu seviyesinde ve 0.041 kg/s kütle akış hızında en yüksek performansı sergilediğini gösterilmiştir.

Kenar (2019), çalışmasında; tüketicilerin paneller tarafından üretilen enerjiyi kullanmalarını sağlamak için gizemli mantık ve kayıt kontrol teknikleri kullanmıştır. Aynı zamanda, üretilen enerji, güç üretimi mümkün olmadığında yük sağlamak için kullanılan akü grubu tarafından depolama yapıldığı, ayrıca, güneş panellerinden gelen enerjinin en verimli şekilde üretilmesini sağlamak için maksimum güç noktası izleme sistemi kullanılarak sistemin verimliliği artırıldığını bulmuştur.

Koç ve Başaran (2019, çalışmalarında; PV/T toplayıcının Matlab/Simulink modeli matematiksel denklemler hazırlamışlardır. Tasarım parametreleri ve bunların ısı ve elektrik verimliliği üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sonuçlara bağlı olarak PV/T toplayıcının maksimum ısı verimliliği %64,5, elektrik verimliliği %13,5 ve toplam getiri %78 olduğunu bulmuşlardır.

Marimuthu ve ark. (2015), çalışmalarında PV/T su sistemlerinin dezavantajları üzerine araştırma yapmışlardır. Elektriksel ve ısı performans açısından daha iyi performansların olduğu ve mevcut PV/T sisteminden daha yüksek olduğunu çalışmalarında tespit etmişlerdir.

Şentürk (2018), fotovoltaik ünite performansını elde etmek için mevcut gerilim eğrilerini simüle etmek için kullanılan üç farklı yöntem belirlenmiş kriterlerle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma, en uygun simülasyon yönteminin tanımlanmasını sağlamıştır. Sonuçlar temel alınarak, yöntemler, yeterli doğruluk gerekmeden ve hesaplama gerçekleştirilirken mevcut gerilim eğrisi simüle edilirken birimlerin bilgilerine göre belirlenmiştir.

Şerefoğlu (2014), karmaşıklığı ortadan kaldırmak ve üretim maliyetlerini azaltmak amacıyla güneş enerjisi dönüştürme sistemlerinin akıllı tasarımı için çeşitli kontrol algoritmaları uygulamıştır.

Tezcan ve ark. (2001), çalışmalarında; Türkiye'deki çeşitli şirketler tarafından üretilen seçici yüzey ve seviye güneş üniversiteleri için panellerin performans toleransını test etmek amacıyla iç medya test ünitesi kullanılarak verimlilik testleri gerçekleştirilmiştir. Soto (2004), bu çalışmada incelenen 5 parametrelilik model, belirtilen hücre parametreleri ve çalışma koşulları için enerji üretimini tahmin etmek için üreticiler tarafından sağlanan verileri ve yarı deneysel korelasyon denklemlerini kullanılmıştır. Bu veriler, enerji üretimi tahminlerinin doğruluğunu doğrulamak için kullanılmıştır.

2. BÖLÜM

GÜNEŞ ENERJİSİ

Güneş enerjisi, Güneş'in merkezindeki füzyon sürecinden yayılan ışınım enerjisidir. Dünya yörüngesinde ölçüldüğünde güneş ışığı 1366 W/m^2 bu değer güneş sabiti olarak da bilinir. Gezegen atmosferi bu enerjinin %6'sını yansıtır ve %16'sını emer, bu nedenle deniz seviyesinde elde edilebilecek en yüksek güneş enerjisi 1020 W/m^2 'dir. Bulutlar gelen güneş ışınımını yansıma yoluyla yaklaşık %20 ve solma yoluyla yaklaşık %16 azaltır. Bu değer elde edilebilecek en yüksek değerdir ancak bu güneş enerjisi teknolojisinin sağlayacağı en yüksek değer olduğu anlamına gelmez. Bu nedenle aynı alana yerleştirilen güneş panelleri günde 19 ile 56 W/m^2 veya $0,45-1,35 \text{ kWh/m}^2$ enerji elde eder. Belirlenen alanlara yerleştirilen güneş panelleri, kaynaklardan gelen tüm fosil yakıtı dayalı santrallerden, hidroelektrik enerjiden vb. daha fazla elektrik enerjisi üretebilmektedir (Anonim, 2008).

2.1. Güneş Enerjisi Uygulamaları

2.1.1. Şebekeden bağımsız PV sistemler

Şebekeden bağımsız çalışan PV sistemler, küçük güç ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kurulurlar. Elektrik şebekesinin ulaşmadığı coğrafi bölgeler, kırsal kesimler, elektrik hattı çekmenin çok maliyetli olacağı bölgeler ve enerji ihtiyacının karşılanamadığı ve sıkıntı yaşandığı yerleşim birimlerinde şebekeden bağımsız olarak enerji üretebilen PV sistemler kullanılmaktadır. Şebeke bağlantısı olmayan PV sistemlerin direk bağlantılı ve bataryalı PV sistemler olarak iki farklı uygulaması bulunmaktadır (Kılıç, 2007).

2.1.1.1. Direk bağlantılı PV sistemler

Direk bağlantılı sistemlerde PV panel ya da PV dizi, arada akü grubu gibi depolama elemanı olmadan yükü direkt olarak beslenir. Bu sistemlerde güneş ışınımı olduğu sürece ya da yüke besleyecek kadar akım üretebildiği sürece DC yük beslenir. Fakat direk bağlantılı PV sistem uygulamaları güneş olduğu sürece kullanılabilirdiği için çok sık tercih edilmezler (Durusu, 2011).

2.1.1.2. Bataryalı PV sistemler

Şebeke bağlantısının mümkün olmadığı yerlerde elektrik enerjisi temini için kullanılan direk bağlantılı PV sistemlerin güneş olmadığı durumlarda kullanılamaması dezavantajını ortadan kaldırmak için bu sistemlere batarya grubu ilave edilerek bataryalı PV sistemler geliştirilmiştir. Şebeke ile bağlantısı olmayan bataryalı PV sistemlerde güneş ışınımı olduğu sürece yükler beslenir ve üretilen enerjinin fazlası da akü grubu ile depolanır. Gündüz yeterli ışınımın olmadığı ve gece PV sistemin enerji üretmediği durumlar da yükün enerji ihtiyacı akü gruplarından karşılanmaktadır. Bataryalı PV sistemlerde PV panel ve bataryaya ek olarak AC yükler de beslenilmek istendiğinde

DA'yı AA'ya çeviren evirici de sisteme eklenmelidir. Bu sistemlerle şebekeden uzak bölgelerde bulunan ev aletleri, aydınlatma ve su pompası gibi yüklere enerji sağlanabilir (Durusu, 2011).

2.1.2. Şebeke bağlantılı PV sistemler

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler, bölgedeki elektrik şebekesine doğrudan bağlı olan fotovoltaik sistemlerdir. Bu sistemler, bölgesel güç gereksinimlerini karşılamak için 10 KW ile 392 MW arasında güç seviyeleri üretebilir. Kayıplar minimuma indirilir ve enerji talebinin yüksek olduğu zamanlarda şebeke aktif hale getirilerek enerji sistemi desteklenir. Bu sistemlerde piller depolama için kullanılmaz, ihtiyaç halinde fazla enerji alınır veya şebekeye satılmaktadır (Şerefoğlu, 2014).

2.1.3. Hibrit sistemler

Hibrit yani karma elektrik üretim sistemlerinde, PV modüllere / dizilere ek olarak rüzgâr türbinleri, hidroelektrik santraller, biyogaz, fosil yakıtlar gibi farklı elektrik üreteçleri bir araya getirilir. Hibrit sistemler bir arada çalıştırıldığı zaman farklı seviyelerde DC üretim aküleri şarj etmeye çalışırsa bu farklı dolun seviyeleri akülere zarar verebilir. Bu yüzden hibrit sistemlerde akü denetimi yapmak bu sistemlerin bir arada sağlıklı çalışması açısından önemlidir (Şerefoğlu, 2014).

2.2. Fotovoltaik Malzemeler ve Çalışma Prensipleri

2.2.1. Fotovoltaik panel türleri

2.2.1.1. Kristal silikon PV hücreler

Kristal silikon PV hücrelerin verimleri %12-16 arasında değişmektedir. %93 pazar payına sahip olan kristal silikon hücreler tek-kristal ve çoklu-kristal olmak üzere iki tipte üretilmekte ve 25 yıllık ürün garantisi verilmektedir. 0,17 mm'ye kadar düşen silikon dilim kalınlıkları ile PV pazarında çok önemli bir konuma sahiptir (Ayküz 2010, Girgin 2010, Çetinbaş 2014).

2.2.1.1.1. Tek-kristal (monokristal) PV hücreler (c-Si)

PV hücre yapımında en çok kullanılan element olan silisyum yarıiletken özelliğe sahiptir. Ticari modüllerde verimleri %15'in üstünde olmakla birlikte, laboratuvar ortamında %24'lük verim elde edilmiştir. Yüksek verimleri nedeniyle uzun vadeli yatırımlar için uygundur. Fakat saf kristal gereksinimi ve kesim işleminde ki malzeme kaybı nedeniyle maliyetleri yüksektir. Maliyetini geri ödeme süresi 4-6 yıl arasındadır. 20 yıllık bir sürede %7 verim kaybı meydana gelir (Karamanav 2007, Ayküz 2010, Girgin 2010, Çetinbaş 2014).

2.2.1.1.2. Çoklu-kristal (polikristal) PV hücreler (mc-Si)

Tek kristal PV hücre yapımında maliyetleri aşağı çekebilmek için çoklu kristal PV hücreler üretilmiştir. Bu hücreler dökme yöntemi ile elde edilmektedir. Kristal yapıları homojen olmayan bu panellerin maliyetleri ucuzdur. Ticari modüllerde verimleri %14 civarında olmakla birlikte laboratuvar ortamında %18 seviyelerindedir (Chauhan ve ark. 2018). Tek kristal PV panellere göre

daha ucuzdurlar. İlk yatırım maliyetini geri ödeme süresi 2- 4,5 yıl arasındadır. 20 yıllık bir sürede %14 verim kaybı meydana gelir (Ayküz 2010, Girgin 2010, Çetinbaş 2014).

2.2.1.2. İnce film PV hücreler

%7 pazar oranına sahip olan bu hücrelerin ışık tutma oranları yüksektir. Dilim kalınlıkları 1-4µm arasında değişen çok ince yapılı panellerdir. %7-14 arasında değişen verimleri ile kristal PV panellere göre düşük fiyatlı ürünlerdir (Ayküz 2010, Girgin 2010, Çetinbaş 2014).

2.2.1.2.1. Amorf silisyum PV hücreler (a-Si)

Amorf silisyum PV hücreler ince film güneş pili teknolojisinde sıklıkla kullanılan panel türüdür. Teorik verimleri %10 civarında olmasına karşın pratikte verimleri %5-7 arasında değişmektedir (Chauhan ve ark. 2018). Maliyetini geri ödeme süresi 1,5 - 3,5 yıl arasındadır. Zaman içerisinde %21'lere yakın verim kaybı oluşmaktadır. İlk üretim sürecinde yüksek maliyetli donanımlar gerekirse de üretim süreci ucuz olduğu için tercih edilen panel türleridir (Ayküz 2010, Girgin 2010, Çetinbaş 2014).

2.2.1.2.2. Kadmiyum tellür (CdTe) PV hücreler

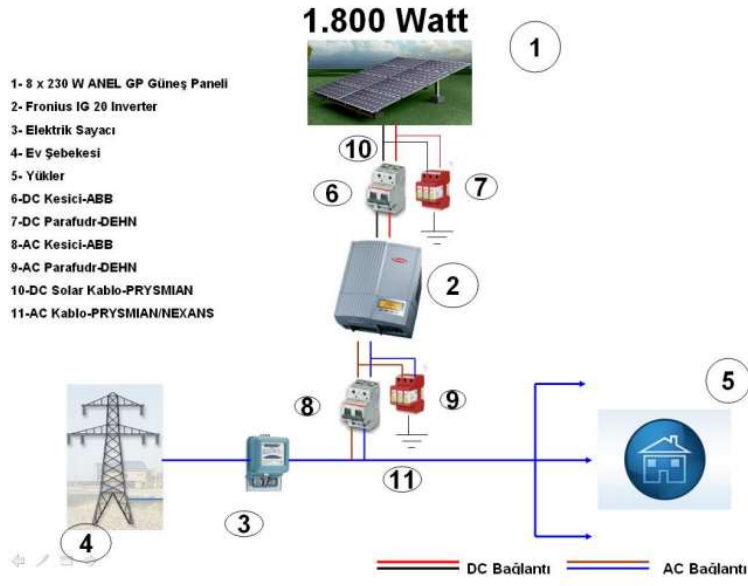
Yasak enerji aralığı, 1.5 eV olan Kadmiyum tellür ile oda sıcaklığında maksimum enerji dönüşümü için uygun bir enerji aralığına sahiptir. Genellikle 2.4 eV bant aralığında kadmiyum sülfür ile eklem diyot oluşturularak birlikte kullanılır ve ikili eklemler oluşturur. Üretim maliyeti düşük olan kadmiyum tellür güneş pilleri ile 1 cm²'de %17'lik, 8390 cm² 'de %11'lik bir verime ulaşılmıştır. Sadece rijit cam ile kullanılabilir (Ayküz 2010, Girgin 2010, Çetinbaş 2014).

2.2.1.2.3. Bakır indiyum galyum (di) selenyum (CIGS) PV hücreler

Üç ya da daha fazla elementin bir araya gelerek bileşik oluşturduğu bileşikte yarıiletkenlerin soğurma katsayıları yüksektir. Yasak enerji bant aralığı güneş spektrumu uyumlu olacak şekilde ayarlanabilmektedir (Kumbasar, 2010). Galyum elementi kullanılarak verimi artırılabilir (Ayküz 2010, Girgin 2010, Çetinbaş 2014). %10,2 civarında değişen verimleri ile cam ve esnek yüzey ile kullanılabilir. Pahalı üretim süreci ile geniş alan gereksinimi bulunmasına rağmen artan bir pazar payına sahiptir (Anonim, 2014).

2.2.2. Fotovoltaik sistemler

Fotovoltaik (PV), fotoelektrik etkisi olan yarı iletken malzemeler kullanılarak ışığın elektriğe dönüştürülmesi işlemidir. Bu fenomen fizik, fotokimya ve elektrokimya da incelenmiştir (Anonim, 2022).



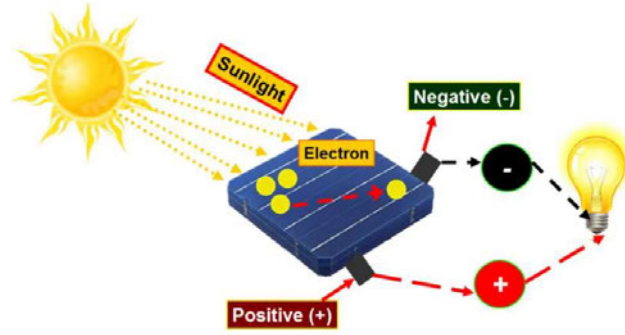
Şekil 2.1. Fotovoltaik sistem yapısı (Girgin, 2010)

Güneş panelleri dışındaki güneş sistemlerinde farklı ekipmanlar kullanılır. Güneş panelleri doğru akım ürettiği için alternatif akım çeşitli dönüşümlerle elde edilmelidir. Bu dönüştürmede, sistemde birçok cihaz kullanılır. Bu cihazların, sistemin güvenilirliğini artırmak, sistem verilerini izlemek ve uzaktan kumanda sağlamak gibi amaçlar için çeşitlendirilebildiği belirtilmiştir (Girgin, 2010).

Şekil 2.1’de gösterildiği gibi, güneş enerjisi sistemlerinde, güneş ışınlarına ve yüksek sıcaklıklara dayanıklı özel güneş kabloları ve doğrudan devre kesiciler ile güneş panellerinden doğrudan akım aktarılır. Sistemin güvenilirliğini artırmak için güneş panellerinden oluşan her bir paralel kol üzerinde doğrudan devre kesiciler bulunur. Sistem içinde meydana gelebilecek yüksek voltaj seviyeleri için bir önlem olarak, fotovoltaik sistemler için özel olarak tasarlanmış parafudur modülleri, sistemin doğrudan akım bölümündeki doğrudan devre kesicilerle paralel olarak yerleştirilir. Yansıtıcıların panellerden gelen doğru akımı (DC) alternatif akıma (AC)'ye dönüştürdüğü bilinmektedir. AC'ye dönüştürülen güç, uygun alternatif akım kesici ve parafudur ile ana akıma bağlanır (Girgin, 2010).

2.2.3. Fotovoltaik çalışma prensipleri

Güneş pilleri, güneş ışığındaki enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Güneş pilleri, ışık enerjisini emen silikon gibi bir malzeme içerir. Enerji, elektronları serbest bırakır, böylece serbestçe akabilirler ve elektrik potansiyel enerjisinde veya voltajda bir fark yaratabilirler. Elektronların akışı veya negatif yük, elektrik akımı oluşturur. Güneş pilleri, bir Pildeki terminaller gibi pozitif ve negatif kontaklara sahiptir. Kontaklar iletken bir tel ile bağlanırsa, akım negatiften pozitif kontağa akar. Şekil 2.2’de, bir PV hücresinin elektrik üretmek için nasıl çalıştığını göstermektedir (Das, 2022).



Şekil 2.2. PV hücresinin elektrik üretme kademeler

Tek bir fotovoltaik hücre yaklaşık 1-2 Watt elektrik üretebilir ve bu elektriği çıkışını artırmak için, birkaç fotovoltaik hücre bir fotovoltaik modül oluşturmak üzere elektriksel olarak birbirine bağlanır ve bu modüller ayrıca bir fotovoltaik panel/fotovoltaik dizi oluşturmak için elektriksel olarak bağlanır. Bir dizi oluşturmak için bağlanan modüllerin sayısı, ihtiyaç duyulan güneş elektrik enerjisi miktarına bağlıdır (Das, 2022). PV hücrelerden üretilen elektrik doğru akımdır (DC) ve bu doğru akım (DC) elektriği, bir ev aydınlatma sisteminde veya çalışan cihazlarda kullanılabilmesi için (AC) alternatif akıma dönüştürülmelidir. DC'yi AC'ye dönüştürmek için bir invertör kullanılır. Fazla üretilen elektriği daha sonra kullanmak için depolanması gerekmektedir. Bu fazla elektrik enerji güneş bataryada ile depolanır (Das, 2022).

2.3. Düzlemsel güneş kolektörleri

Düzlemsel plakalı kolektörler, ortam sıcaklığından 60'a kadar düşük sıcaklık aralığında veya ortam sıcaklığından 100'e kadar olan düşük sıcaklık aralığında çalışmak üzere tasarlanmış herhangi bir güneş enerjisi toplama sisteminin ısısını oluşturur. İyi tasarlanmış düzlemsel plakalı bir kolektör, ısıyı nispeten düşük bir maliyetle iletir (Anonim, 2015).

2.3.1. Düzlemsel güneş kolektör avantajları

Düzlemsel plakalı kolektör, diğer güneş enerjisi kolektör türlerine göre aşağıdaki avantajlara sahiptir (Anonim, 2015):

- Güneş radyasyonunun doğrudan, dağınık ve yansıyan bileşenlerini emer.
- Eğim ve yönelimde sabittir ve bu nedenle güneş'i izlemeye gerek yoktur.
- Yapılması kolay ve maliyeti düşüktür.
- Nispeten düşük bakım maliyetine sahiptir.
- Nispeten yüksek verimlilikte çalışmaktadır.

2.3.2. Düzlemsel güneş kollektör prensibi



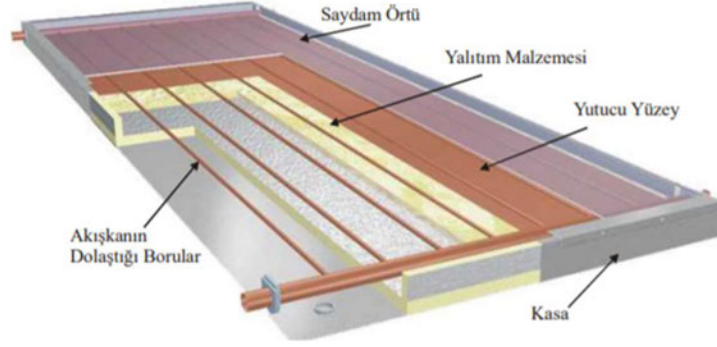
Şekil 2.3. Düzlemsel kollektör çalışma prensibi (Anonim 2015)

Birçok farklı tipte su toplayıcı vardır ve ısı transfer akışkanı olarak su kullanıldığında, emici plakaların maliyeti daha yüksektir. Su dışında bazı sıvılar da ısı transfer akışkanı olarak kullanılabilir. Ancak diğer sıvılarda yüksek yanıcılık ve kaynama noktası sıcaklığı, düşük donma sıcaklığı ve korozif etki olmaması gibi aranacak özellikler vardır (Anonim, 2012). Gelen güneş enerjisinin bir kısmı saydam örtüden yansıtılırken, geri kalanı soğurucunun yüzeyine gelir. Yüzeydeki radyasyonun çoğu soğurucu yüzey tarafından emilir ve bir kısmı uzun dalga radyasyonu olarak saydam tabakaya geri yansıtılır. Saydam kapaktan yansıyan bu radyasyonların bir kısmı emici yüzeye geri yansır, bir kısmı da saydam kapaktan geçerek ortama karışır. Sıcak soğurma yüzeyi enerjisinin çoğunu ısı transfer akışkanına aktarır. Bazıları muhafazadan çevreye taşıma ve konveksiyon yoluyla yayılır (Anonim, 2012).

Sıvı toplayıcılarda akış kanalları emici plakanın tüm yüzeyini kaplayamaz. Bu nedenle ısı, absorpsiyon plakasından iletim yoluyla sıvıya ulaşır. Soğurucu plaka üzerine aralıklarla ısı taşıyan tüpler yerleştirilmiştir. Emici plakanın tüpler arasındaki yüzeyleri, tüplere bağlı kanatlar görevi görür. Isı bu kanallardan tüplere aktarılır ve sıvı (genellikle su) tüplerin içine taşınır. Isı iletkenliği yüksek olan ve korozyondan etkilenmeyen bakır ve alüminyum iyi emici levha malzemeleridir (Anonim, 2012).

2.3.3. Düzlemsel kollektör bileşenleri

Düzlemsel toplayıcılar genelde 5 ana bölümden oluşur. Bunlar; saydam örtü, ısı borular, enerji toplayan yüzey, kasa ve yalıtım malzemesidir (Anonim, 2012)



Şekil 2.4. Düzlemsel kollektör bileşenleri (Anonim, 2012)

2.3.3.1. Saydam örtü

Saydam örtünün esas görevi, konveksiyon yoluyla kollektörden ısı kaybını azaltmak ve emici yüzeyi yağmur, dolu ve toz gibi dış etkenlerden korumaktır. Yüzey ısı kaybını azaltmak için soğuk alanlarda tek kapak yerine iki kapak kullanılmalıdır. Bunlar; cam ve plastik kapaklardır (Anonim, 2012).

2.3.3.2. Yutucu yüzey

Güneş ışınımını emen ve borulardaki akışkana ısı aktaran kısımdır. Yüzey emici malzemeler genel olarak bakır, alüminyum ve çelik kullanılmaktadır. Bakır ve alüminyumun ısı iletkenlik katsayıları yüksek olmasına rağmen çeliğe göre daha pahalıdır ancak çelik korozyona karşı dayanıklı değildir. Kısa dalga radyasyonunun absorpsiyon hızı büyük ve uzun dalga boylu ısı radyasyonunun emisyon oranı düşük olmalıdır. Ayrıca, emici olarak seçilen malzemelerin kaynak gibi fabrikasyon özellikleri de önemlidir. Toplayıcılarında iki çeşitli yutucu yüzey vardır. Bunlar; siyah yüzeyler ve seçici yüzeylerdir (Anonim, 2012).

2.3.3.3. Isı yalıtımı

Toplayıcılarda yalıtım malzemesi olarak cam yünü, taş yünü, poliüretan köpük ve benzeri yalıtım malzemeleri kullanılmaktadır (Anonim, 2012);

2.3.3.4. Toplayıcı kasa

Kollektör kasa yapısının tasarımında alüminyum, paslanmaz çelik, galvanizli çelik ve plastik gibi çeşitli malzemeler kullanılmaktadır. Alüminyum profilinin, galvanizli sac veya paslanmaz çeliği göre hafif, ünite boyutlarında çok esnek olması ve maliyetinin çok düşük gibi birçok avantajı vardır. Muhafaza imalatı izolatörün ıslanmaması için sızdırmaz olmalı ve kasanın özellikle giriş ve çıkışlarda tamamen kapalı olması gerekmektedir. Yapılarında kullanılan malzemelerin ısı genleşmeleri de dikkate alınmalıdır (Anonim, 2012).

2.3.3.5. Akışkan boruları

Bakır, paslanmaz çelik ve alüminyum borular kullanıldığı için borular ısı transfer katsayısı yüksek malzemelerden yapılmalıdır. Bu borular, emici yüzeyle temas halindeki ısı direnç çok küçük olacak şekilde kaynak kullanılarak bağlanır. Absorpsiyon yüzeyine gelen enerjinin çoğu termik akışkan borularına geçtiğinden bir kısmı kollektörde depolanır, kalanı radyasyon, konveksiyon ve iletim yoluyla çevreye gider (Anonim, 2012).



3. BÖLÜM

PV/T TOPLAYICI TEKNOLOJİSİ

3.1. Fotovoltaik Termal Sistemlerin Sınıflandırılması

3.1.1. Havalı PV/T sistemler

Sıcaklık arttıkça fotovoltaik hücrelerin elektrik verimliliği azalır. Hava soğutmalı PV/T sistemleri yoğun olarak binalara entegre PV sistemler (BEPV/T) olarak karşımıza çıkmaktadır. BEPV/T uygulamalarında fotovoltaik paneli soğutmak için hava kullanılır. Bu sıcak hava, binanın ısı ihtiyaçlarını karşılamak içinde kullanılabilir. Bina cephesine entegre edilmiş sistemlerin avantajlarından biri, inşaat malzemelerinin kullanımını işçilik maliyetleriyle dengeleyerek ilk kurulum maliyetlerinin azaltılabilmesidir. Ayrıca, bu sistemler genellikle binanın dış cepheleri için daha uygundur ve diğer güneş sistemlerine göre daha estetik bir görünüme sahiptir. Sisteme yayılan havanın hızı ve kanalın tasarımı ünitenin verimliliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir (Yıldız & Gürel, 2019).

3.1.2. Sıvılı PV/T sistemler

PV/T sıvı sistemi, hava sistemlerine göre daha yüksek verimliliğe sahiptir. Su, ısı ve soğutma fotovoltaiklerini daha düzenli olarak iletmenin bir yolu olarak kullanılır. Sıvılar yüksek ısı iletkenliğe sahip olduğundan, bu sistemler hava sistemlerine göre büyük bir avantaja sahiptir. PV/T kollektör verimliliği, soğutucuların kanal boyunca dağıtımına bağlıdır. Isı aktarımı için maksimum alan ve montajdan ısı taşıyan sıvıya etkili geçiş için daha yüksek ısı tutma süresi sağlamak üzere kanal tasarımı iyileştirilmelidir. Sıvı PV/T sistemlerinde kullanılan sıvı türüne bağlı olarak ısı aktarımı miktarı değişebilir. Bu, fotovoltaik hücrelerin sıcaklığında ve elde edilen ısı ve elektrik verimliliğinde de önemli farklılıklar yapabilir. Sıvı PV/T sistemleri, temel sıvı olarak çok büyük miktarda su kullanır (Yıldız & Gürel, 2019).

3.1.3. Isı borulu PV/T sistemler

Isı tüpü, önemli bir sıcaklık düşüşü olmadan ısının hızlı bir şekilde iletilmesini sağlayan çok yüksek ısı iletkenliğe sahip bir sistemlerdir (Yıldız & Gürel, 2019). Isı tabanlı PV/T sistemlerinin önündeki en büyük engel, yüksek maliyettir. Isı tüpü sistemi hala araştırma aşamasında ve yaygın uygulamasına yönelik bazı teknik ve ekonomik engeller uygulanmaya devam etmektedir. (Zhang ve ark. 2012).

3.1.4. FDM'li PV/T sistemler

Faz değişimi malzemeleri, ısı depolaması için neredeyse tüm ısı enerji yönetimi tabanlı uygulamalarda kullanılır. Faz değiştirme malzemeleri ısıtılıp erime noktasına ulaştığında, makul ısıya maruz kalırlar. Faz füzyonu ısını kullanır ve katı bir aşamadan sıvı bir faza geçer.

Isı gücü girişi mevcut olmadığında, sıvı fazı depolanan enerjiyi serbest bırakır ve orijinal fazına geri döner. Çözünabilen süre ve sıcaklık gereksinimleri büyük ölçüde aşamanın füzyon sıcaklığına ve ısı iletkenliğine bağlıdır. Fotovoltaik birimi soğutmak için uygun faz, yüksek kaynaşma sıcaklığı, yüksek sıcaklık iletkenliği ve yüksek kimyasal stabilite içermelidir. Yapı malzemeleri de hasar görmemelidir. Organik bileşikler, yukarıdaki tüm kriterleri karşıladıkları için genellikle tercih edilir (Yıldız & Gürel, 2019).

3.2. Fotovoltaik Isıl Sistemlerin Avantajları

- PV hücreleri işletme sıcaklıklarını düşürürler ve böylece PV hücrelerini elektriksel çıkışı artar.
- Sistemin genel enerji verimini artırır.
- Bir PV/T sisteminin daha fazla ısı ve elektrik enerjisi elde edilir.
- Bir hibrit kollektör, 2 ayrı sistem kullanımının aksine, çatıda mimari bir bütünlük sağlar ve daha estetik bir görünümü vardır (Yıldız & Gürel, 2019).

3.3. Fotovoltaik Isıl Sistemlerin Uygulamaları

- Bina uygulamaları.
- Güneş enerjili damıtma uygulamaları.
- Güneş enerjili kurutma uygulamaları.
- Sera uygulamaları.
- Termoelektrik jeneratör ve ısı pompaları (Yıldız & Gürel, 2019).

4. BÖLÜM

MATLAB / SİMULİNK

Matlab, bilgi işlem, görselleştirme ve programlamayı, tanıdık matematiksel semboller biçiminde ifade edilecek kullanımı kolay bir ortama entegre eden yüksek performanslı bir teknik bilgi işlem dilidir. Orijinal olarak LINPACK ve EISPACK projeleri tarafından geliştirilen bir matris programına kolay erişim sağlamak ve özellikle matris ve vektör formülleri içeren birçok teknik hesaplama probleminin bir program yazmak için gereken süreden çok daha kısa sürede çözülmesini sağlamak için yazılmıştır. Üniversite ortamlarında matematik, mühendislik ve fen alanlarında giriş ve ileri düzey dersler için standart öğretim aracına dönüşmüştür. Aynı zamanda endüstride yüksek verimli araştırma, geliştirme ve analiz için tercih edilen bir araçtır (Anonim, 2001).

4.1. Matlab Sistemi

4.1.1. Geliştirme ortamı

Bu, Matlab fonksiyonlarını ve dosyalarını kullanmanıza yardımcı olan araçlar ve olanaklar setidir. Bu araçların çoğu grafiksel kullanıcı ara yüzleridir. Matlab masaüstünü ve komut penceresini, bir komut geçmişini ve yardımcı, çalışma alanını, dosyaları ve arama yolunu görüntülemek için tarayıcıları içerir (Anonim, 2001).

4.1.2. Matlab matematiksel fonksiyon kütüphanesi

Bu, toplam, sinüs, kosinüs ve karmaşık aritmetik gibi temel işlevlerden matris tersi, matris öz değerleri, bessel işlevleri ve hızlı fourier dönüşümleri gibi daha karmaşık işlemlere kadar uzanan geniş bir hesaplama algoritmaları koleksiyonudur (Anonim, 2001).

4.1.3. Matlab dili

Bu, kontrol akışı deyimleri, işlevler, veri yapıları, giriş/çıkış ve nesne yönelimli programlama özelliklerine sahip üst düzey bir matris/dizi dilidir. Hem "küçükte programlamanın" hızlı ve kirli programları hızlı bir şekilde oluşturmasına, hem de "büyük programlamanın" eksiksiz büyük ve karmaşık uygulama programları oluşturmasına olanak tanır (Anonim, 2001).

4.1.4. Matlab uygulama programı ara yüzü (API)

Bu, Matlab ile etkileşime giren C ve fortran programları yazmanıza izin veren bir kütüphanedir. Matlab'den rutinleri çağırmak (dinamik bağlantı), Matlab'ı bir hesaplama motoru olarak çağırmak ve Mat dosyalarını okumak ve yazmak için olanaklar içerir (Anonim, 2001).

4.2. Matlab Çalışma Ortamı

Matlab çalışma ortamının klasik görünümü 4 ana bölümden oluşur. Bunlar (Özel, 2018);

- Kullanılan klasör (Current folder)
- Komut ekranı (Command window)
- Çalışma alanı (Workspace)
- Komut geçmişi (Command history)

4.3. Simulink

Simulink, model tabanlı bir blok diyagram oluşturma platformudur. Yani kod yazmadan sürükle bırak şeklinde çalışan bir Matlab ortamıdır. Simulink, sistem düzeyinde tasarımları, simülasyonu, otomatik kod üretimini ve gömülü sistemlerin test edilmesini ve doğrulanmasını destekler. Dinamik sistemleri modellemek, simüle etmek ve analiz yapmak için görsel olarak bir çok imkan ve kolaylık sağlar. Matlab ile birlikte bütünleşik çalışarak Matlab kısmında bulunan algoritmalar ve veriler Simulink modellerine aktarılabilirdiği gibi aynı zamanda Simulink'te bulunan simülasyon sonuçları da daha fazla analiz için Matlab'a aktarılabilir. Simulink içinde hâlihazırda bulunan blok diyagramları veya blok kütüphaneleri özelleştirilerek kullanılabilir (Anonim, 2021).

4.4. Simulink Temel Kavramları

- Simulink kütüphanesi
- Bloklar, blok diyagramlar ve blok parametreleri
- Durumlar ve altsistemler
- Değiştirilebilir parametreler
- Sinyaller ve veri tipleri

4.5. Simulink Temel Öğeleri

Simulink'te esas olarak blokları ve çizgileri kullanılır. Bloklar sinyalleri oluşturur, değiştirir, birleştirir, çıkarır ve görüntülerken sonra çizgileri bu bildirimleri bir bloktan diğerine iletir (Anonim, 2021).

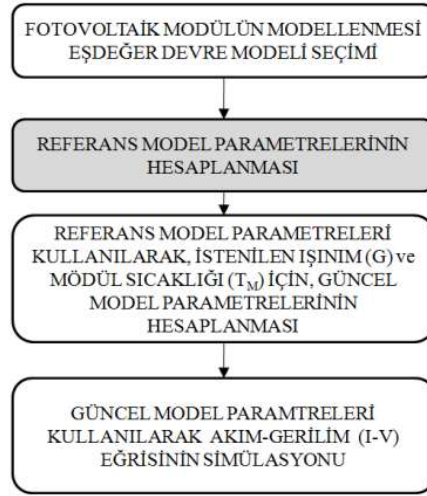
5. BÖLÜM

PV ve PV/T SİSTEMLERİ ELEKTRİKSEL/ISIL MODELLEME

5.1. PV Sistemi

Bir güneş pilinin en basit eşdeğer devresi, bir diyot ile paralel bir akım kaynağıdır. Akım kaynağının çıkışı, güneş piline çarpan güneş enerjisi (ışık tarafından üretilen akım I_L) ile doğru orantılıdır. Karanlıkta güneş pili aktif bir cihaz değildir; diyot, yani p-n bağlantısı olarak çalışır. Ne akım ne de gerilim üretir, ancak, harici bir kaynağa (büyük voltaj) bağlanmasına izin verilirse, diyot (D) akımı veya karanlık akım adı verilen bir akım I_d üretir ve aynı anda bu diyod hücrenin I-V özelliklerini belirler (Marimuthu ve ark. 2015).

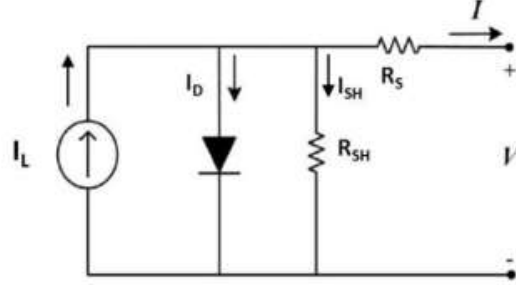
Belirli bir radyasyon ve birim sıcaklıkta I-V eğrisini elde etmek için Şekil 5.1'de gösterilen adımlar uygulanır. Çünkü yöntemleri birbirinden ayıran fark, model parametrelerinin referans koşullar altında hesaplanma şeklidir (Şekil 5.1'deki karanlık alan). Radyasyonun $1000 \text{ W/m}^2\text{K}$ (G_{ref}), spektral dağılımın AM1,5 (airmass) olması ve birim sıcaklığının $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (T_{ref}) olması gibi belirli koşulların da karşılanması gerekir (Şentürk, 2018).



Şekil 5.1. Temsili olarak akım-gerilim (I-V) eğrilerinin simülasyonu (Şentürk, 2018)

I-V modüllerinin eğrilerini simüle etmek için tek ve çift diyot modelleri kullanılır. Çift diyot eşdeğer devre modeli daha iyi sonuçlar vermesine rağmen, tek diyot eşdeğer devre modeli, doğruluğu ve hesaplama kolaylığı açısından en çok kullanılan modeldir. Bu çalışmada, belirli bir radyasyon derecesi ve birim sıcaklığında simülasyon gerçekleştirme yöntemi kullanılmıştır. Şekil 5.2'de görüldüğü gibi tek diyot eşdeğer devre modelinden seçilmiştir.

Değişkenler daha sonra modeli belirlemek için hesaplanır. Fotovoltaik temsil eden akım kaynağı, bu akım kaynağına paralel bağlanmış bir diyot, paralel bir direnç ve bunlara seri bağlanmış bir dirençten oluşur (Abdullah ve ark. 2019).

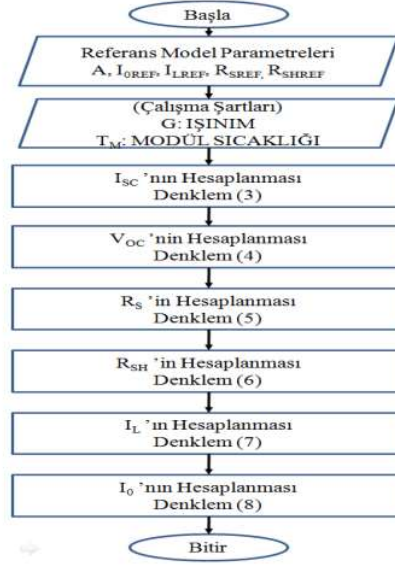


Şekil 5.2. Tek diyotlu eşdeğer devresi (Şentürk, 2018)

Tek diyot eşdeğer devre modelinin genel akım matematiksel ifadesi Denklem 5.1'de verilmiştir.

$$I_{PV} = I_L - I_0 \left(e^{\frac{q(V+IR_S)}{nK_B T_M}} - 1 \right) \quad (5.1)$$

Burada; I_L : Işık tarafından üretilen akım, I_0 : Ters doyma akımı, q : Elektron yükünü, V : Yük direnci üzerine düşen gerilimi, I : Yük direnci üzerinden geçen akımı, R_S : Seri direnci, n : Diyot faktörü, K_B : Boltzmann sabitini ve T_M : Çalışma sıcaklığını ifade etmektedir. Tek bir diyotun eşdeğer devre modelini belirleyen model parametreleri ışık tarafından üretilen akım (I_L), karanlıkta ters doyma akımı (I_0), düzeltilmiş diyot faktörü (A), seri direnç (R_S) ve paralel dirençtir (R_{SH}). Tek bir diyotun eşdeğer devre modelinin genel ifadesi aşkın olduğu için denklemin doğrudan veya analitik bir çözümü yoktur. Bu nedenle, 5 parametresini hesaplamak için en az 5 bağımsız denklem gereklidir (Abdullah ve ark. 2019). Bu noktalar, açık devre gerilimi ($I = 0, V = V_{OC}$), kısa devre akımı ($I = I_{SC}, V = 0$), maksimum çıkış gücü sağlayan nokta akım ve gerilim değerleri ($I = I_M, V = V_M$), kısa devre -açık devre gerilimi (R_{SH0}) ve açık devre gerilimi (R_{S0}) durumunda elde edilen devre akımı Şekil 5.3'te bu noktaların referans I-V eğrisindeki konumları gösterilmiştir. Elde edilen denklemler, bu denklemlerin çözümleri birbirine bağlı olduğundan bir dizi doğrusal çözüm oluşturmaz. Bu nedenle beş denkleme çözmek için asal değerlere ihtiyaç vardır (Abdullah ve ark. 2019).



Şekil 5.3. Güncel model parametrelerinin hesaplanması (Abdullah ve ark. 2019)

Referans modelin parametrelerini hesapladıktan sonra, birim I-V eğrisini herhangi bir radyasyon (G) değerinde ve birim sıcaklıkta simüle etmek için G ve T_M değerleri ile belirlenen mevcut modelin parametrelerini bilmek gerekir (T_M). Mevcut birim parametreleri (A , R_{SH} , R_S , I_L ve I_0); referans biriminin parametreleri (A , R_{shref} , R_{sref} , I_{Lref} ve I_{0ref}) aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanır (Abdullah ve ark. 2019).

5.1.1. Açık devre gerilimi

Açık devre gerilimi, panel akımı sıfır olduğunda ve panelin her iki ucu arasında yük bağlanmadığı durumunda üretilen gerilimdir ve V_{oc} ile ifade edilmektedir. Açık devre gerilimi Denklem 5.2'de kullanılarak hesaplanır (Jallad 2012, Kenar 2019).

$$V_{oc} = V_{ocref} + \beta(T_M - T_{ref}) \quad (5.2)$$

Burada; V_{ocref} : Açık devre gerilim referans değeri, β : Açık devre gerilimi sıcaklık katsayısını, T_M : Çalışma sıcaklığını ve T_{ref} : Nominal sıcaklığı ifade etmektedir.

5.1.2. Kısa devre akımı

Kısa devre akımı, panel gerilimi sıfır olduğunda ve panelin her iki ucu kısa devre yapıldığında panelin ürettiği akımdır ve I_{sc} ile ifade edilmektedir. Kısa devre akımı Denklem 5.3'te kullanılarak hesaplanır (Adnan ve ark. 2009, Jallad 2012).

$$I_{SC} = I_{scref} \frac{G}{G_{ref}} (1 + \alpha(T_M - T_{ref})) \quad (5.3)$$

Burada; I_{scref} : Kısa devre akımı referans değeri, G : Güneş radyasyonu, G_{ref} : Güneş radyasyonun referans değeri, α : Kısa devre akımı sıcaklık katsayısını, T_M : Çalışma sıcaklığını ve T_{ref} : Nominal sıcaklığı ifade etmektedir.

5.1.3. Seri direnci

Seri direnç katsayısının (R_S), Denklem 5.4'te etkin güneş radyasyona (G_{ref}) ve hücre sıcaklığına (T_C) bağlı olduğu görülmektedir. (Şerefoğlu, 2014).

$$R_S = R_{sref} \frac{T_M}{T_{ref}} \left(1 - 0.217 \ln \left(\frac{G}{G_{ref}}\right)\right) \quad (5.4)$$

Burada; R_{sref} : Seri direnci referans değeri, T_M : Çalışma sıcaklığı, T_{ref} : Nominal sıcaklığı, G : Güneş radyasyonu ve G_{ref} : Güneş radyasyonun referans değeri olarak ifade eder.

5.1.4. Paralel direnci

Paralel direnci R_{SH} 'nin esasen sıcaklıktan bağımsız olduğu ancak soğurulan radyasyonla değiştiği bulunmuştur. Rauschenbach (1980) tarafından gösterildiği gibi, açık devre koşullarında I-V eğrisinin eğimi, paralel direncinin negatif tersi yaklaşık olarak eşittir. Yani, $V=0$ 'da dI/dV yaklaşık olarak $-1/R_{SH}$ 'a eşittir. Tipik konsantre olmayan radyasyon seviyelerinde, birçok modern hücre, açık devre koşullarında büyük bir paralel direncini gösteren çok küçük bir negatif eğime sahiptir. Konsantre olmayan radyasyon seviyelerinde önemli bir eğime sahip hücreler için radyasyon seviyesi azaldıkça eğimin azaldığı (ve dolayısıyla şant direncinin arttığı) bulunmuştur. Referans koşullarındaki paralel direncini çalışma koşullarındakiyle ilişkilendirmek için Denklem 5.5'te kullanılır (Duffi & Backman, 2005).

$$R_{SH} = R_{shref} \frac{G}{G_{ref}} \quad (5.5)$$

Burada: R_{shref} : Paralel direnci referans değeri, G : Güneş radyasyonu ve G_{ref} : Güneş radyasyonun referans değeri olarak ifade eder.

5.1.5. Işık tarafından üretilen akım

Dizinin ışık tarafından üretilen akımı lineer olarak güneş radyasyona bağlıdır. Denklem 5.6 kullanılarak hesaplanır (Abdullah ve ark. 2019).

$$I_L = \left(\frac{R_S + R_{SH}}{R_{SH}}\right) I_{sc} \quad (5.6)$$

Burada; R_S : Seri direnci, R_{SH} : Paralel direnci ve I_{sc} : Kısa devre akımı olarak ifade eder.

5.1.6. Ters doyma akım

Diyotun ters doyma akımı malzeme özelliklerine ve sıcaklığa bağlıdır. Diyot ters doyma akımı I_0 Denklem 5.7 kullanılarak hesaplanabilir (Abdullah ve ark. 2019).

$$I_0 = \frac{\frac{R_{SH}+R_S}{R_{SH}} I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_{SH}}}{\frac{qV_{oc}}{(e^{nK_B T_M} - 1)}} \quad (5.7)$$

Burada; R_{SH} : Paralel direnci, R_S : Seri direnci, I_{sc} : Kısa devre akımı, V_{oc} : Açık devre gerilimi, q : Elektron yükü, n : Diyot faktörü, K_B : Boltzman sabiti, T_M : Çalışma sıcaklığı olarak ifade eder.

5.1.7. PV hücre gerilimi

PV hücrenin Şekil 5.2'deki tek diyotlu bir devre modeline göre çıkışta elde edilen gerilim, diyotun ters doyum akımı, ışınımaya bağlı olarak değişen ışık tarafından üretilen akımı ve yük akımına bağlı değişmesi ile elde edilen eşitlik Denklem 5.8'de verilmektedir (Çarkıt, 2017).

$$V_{PV} = \frac{nN_S K_B T_M}{q} \ln \left[\frac{I_{sc} + K_i (T_M - T_{ref}) G + I_0 - I_{PV} + N_P}{I_0 N_P} \right] - \frac{N_S R_S I_{PV}}{N_P} \quad (5.8)$$

Burada; n : Diyot faktörü, K_B : Boltzman sabiti, T_M : Çalışma sıcaklığı, q : Elektron yükü, I_{sc} : Kısa devre akımı, K_i : Sıcaklığı katsayısı, T_{ref} : Nominal sıcaklığı, G : Güneş radyasyonu, I_0 : Ters doyma akımı, I_{PV} : PV hücre akımı, N_P : Paralel hücre sayısı ve R_S : Seri direnci olarak ifade eder.

5.1.8. Elektriksel verimi

Bir modülün maksimum güç noktası verimliliğinin sıcaklığa bağımlılığı, sistem performansının tahmin edilmesinde önemli bir parametredir. Maksimum güç noktası verimliliği sıcaklık katsayısı N_{el} cinsinden ifade edilebilir. Elektriksel verimliliği Denklem 5.9'a kullanılarak hesaplanabilir (Duffi & Backman, 2005).

$$N_{el} = \frac{V_M I_M}{G A} \quad (5.9)$$

Burada; V_M : Maksimum gerilim, I_M : Maksimum akımı, G : Güneş radyasyonu ve A_C : Kollektör alanı olarak ifade eder.

5.1.9. Doldurma faktörü

Maksimum gücün, kısa devre akımı ile açık devre gerilimi değerine oranıdır. Doldurma faktörü oranı I-V eğrisinin keskinliğini belirlemektedir. İdeal PV hücreleri için FF değeri 0,7'ye yakın olmalıdır. Kalite kontrol testleri için FF değeri önemli bir parametredir. Doldurma faktörü Denklem 5.10 kullanılarak hesaplanabilir (Jallad 2012, Kenar 2019).

$$FF = \frac{V_M I_M}{V_{oc} I_{sc}} \quad (5.10)$$

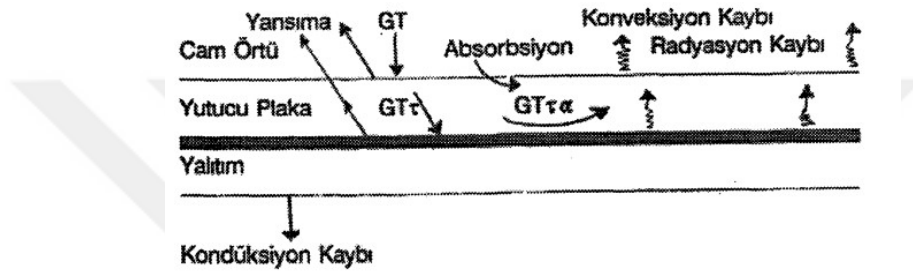
Burada; V_M : Maksimum gerilim, I_M : Maksimum akımı, V_{oc} : Açık devre gerilim referans değeri ve I_{sc} : Kısa devre akımı olarak ifade eder.

5.2. PV/T Sistemi

PV/T sistemin ısı ve elektriksel verimini analiz etmek amacıyla düzlemsel sıvı tip kollektör ve Hottel-Whillier denklemleri kullanılmıştır. Hottel-Whillier denklemleri enerji kazancı ve kayıp faktörleri test etmek için aynı anda elektriksel verimi ve ısı verimi ölçmek için kullanılır (Koç & Başaran, 2019).

5.2.1. Isı kazancı

Kollektör yüzeyine düşen güneş ışığının bir kısmı ısıya dönüşürken geri kalanı çevreye yansımaktadır. Şekil 5.4'da radyasyon, yansımaya ve konveksiyondan kaynaklanan bu kayıpları göstermektedir (Tezcan, 2011).



Şekil 5.4. Düzlemsel güneş kollektöründe ısı kayıpları (Tezcan, 2011)

GT: Gelen güneş enerjisi (W/m^2), GT_{τ} : Camın geçirdiği enerji (W/m^2) ve $GT_{\tau\alpha}$: Plakanın yuttuğu enerjisidir (W/m^2).

Düzlemsel plaka güneş kollektörü tarafından emilen faydalı toplanan ısı, ortalama kütle akışkan hızı, akan ortamın ısı kapasitesi C_p ve kollektör girişindeki T_i ve çıkışındaki sıcaklık T_o farkının birleşik sonuçları olarak verilebilir. (Abdullah ve ark. 2019).

$$Q = mC_p(T_o - T_i) \quad (5.11)$$

Bir güneş kollektöründe mümkün olan maksimum faydalı enerji kazancı (ısı transferi), kollektörün tamamı giriş sıvısı sıcaklığında olduğunda meydana gelir; çevreye olan ısı kayıpları minimumdur.

Kollektör ısı giderme faktörü bu olası maksimum faydalı enerji kazancı, gerçek faydalı enerji kazancı Q 'a eşittir. Ayrıca kollektör üzerindeki radyasyon, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı da kaydedilir. Böylece iki tür bilgi mevcuttur: ısı çıktısına ilişkin veriler ve bu ısı performansını üreten koşullara ilişkin veriler. Bu veriler, kollektörün enerjisiyi nasıl emdiğini ve çevreye nasıl enerji kaybettiğini gösteren parametrelerle bir kollektörün karakterizasyonuna izin verir. Sabit koşullar altında çalışan bir kollektörün ısı performansını tanımlayan Denklem 5.12'de, gelen radyasyon cinsinden yazılabilir (Duffi & Backman, 2005).

$$Q = A_C F_R [(S) - (U_{loss}(T_i - T_a))] \quad (5.12)$$

Burada; A_C : Kolektör alanı, F_R : Düzenleme faktörü, S : Soğurulan radyasyonu, U_{loss} : Isı kaybı katsayısı, T_i : Giriş sıcaklığı ve T_a : Ortam sıcaklığı bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Burada Soğurulan radyasyonu,

$$S = (T\alpha PV)G \quad (5.13)$$

Burada; $T\alpha PV$: PV transfer/emici ve G : Güneş radyasyonu olarak tanımlanmıştır.

5.2.2. Kollektör ısı giderme faktörü

Kollektör ısı giderme faktörü (F_R) miktarı, gerçek ısı transferinin mümkün olan maksimum ısı transferine oranı olarak tanımlanan geleneksel bir ısı eşanjörünün etkinliğine eşdeğerdir ve 0,85 olarak sabit tutulması gerekir. (Duffi & Backman, 2005).

5.2.3. Üst kayıp katsayısı

Kollektör üst yüzeyinden olan toplam ısı kayıp katsayısı, konveksiyon ve ışıınım kayıpları ile meydana gelmektedir. Kollektör üst ısı kayıp katsayısı Denklem 5.14 ile verilir (Tezcan, 2011).

$$U_t = \left(\frac{N_g}{\frac{c}{T_C} \left(\frac{T_C - T_a}{N_g - f} \right)^e + \frac{1}{h_w}} \right)^{-1} + \left(\frac{\sigma(T_C + T_a)(T_C^2 + T_a^2)}{(\varepsilon_p + 0.00591 \cdot g h_w)^{-1} + \frac{2N_g + f - 1 + 0.133\varepsilon_p - N_g}{\varepsilon_g}} \right) \quad (5.14)$$

$$c = 520(1 - 0.000051\phi^2) \quad (5.15)$$

$$e = 0.430 \left(1 - \frac{100}{T_{pm}} \right) \quad (5.16)$$

$$f = (1 + 0.089h_w - 0.1166h_w\varepsilon_p)(1 + 0.07866N_g) \quad (5.17)$$

Bağlı olarak hesaplanır.

Burada; N_g : Cam kapak sayısı, ε_p : Yüzey yayılımı, ε_g : Cam yayılımı, ε_c : Kapaktaki ışıma, T_a : Ortam sıcaklığı, σ : Stefan-Boltmann sabiti, C_p : Kollektör soğutucu maddesinin özgül ısısı, T_C : Hücre sıcaklığı, h_w : Rüzgâr ısı transfer katsayısı, v : Rüzgâr hızı ve ϕ : Eğim açısı olarak ifade eder.

5.2.4. Hücre sıcaklığı veya yutucu plaka sıcaklığı

Hücre sıcaklığı, akışkanın giriş sıcaklığına, kollektör üzerine gelen güneş ışıınımına, yutucu yüzey özelliklerine göre değişim gösterir. İlk önce, U_{loss} 'nin hesaplandığı ortalama plaka sıcaklığının bir tahmini yapılır. Yaklaşık F_R , F ve Q değerleriyle, denklemden yeni bir ortalama plaka sıcaklığı elde edilir ve en yüksek kayıp katsayısı için yeni bir değer bulmak için kullanılır. U_{loss} 'nin yeni değeri, F_R ve F 'yi rafine etmek için kullanılır ve işlem tekrarlanır. Makul bir ilk tahminle, ikinci bir yineleme nadiren gereklidir. 0,01 ile 0,02 kg/m^2 s tipik akış hızlarında çalıştırılan sıvı ısıtma kollektörleri için T_C için makul bir ilk tahmin $T_{fi} + 10^\circ C$ 'dir. Hava ısıtıcıları için makul bir ilk tahmin $T_{fi} + 20^\circ C$ 'dir (Duffi & Backman, 2005).

$$T_C = T_i + \left(\frac{Q}{F_R U_{loss} A_C} \right) (1 - F_R) \quad (5.18)$$

Burada; T_i : Giriş sıcaklığı, Q : Isı kazancı, A_C : Kollektör alanı, F_R : Düzenleme faktörü, U_{loss} : Isı kaybı katsayısı ve F_R : Isı giderme faktörü bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

5.2.5. Elektriksel verimliliği

PV/T sisteminin elektrik verimliliği, PV/T'nin ortalama sıcaklığı (T_C) ile nominal çalışma hücresi sıcaklığı (NOCT) arasındaki farka dayalı olarak hesaplanabilir. PV/T sisteminin elektriksel verimliliği olarak hesaplanabilir (Çarkıt, 2017).

$$N_e = 0.1928(1 - 0.005(T_C - NOCT)) \quad (5.19)$$

Burada; T_C : hücre sıcaklığı ve NOCT: Nominal çalışma hücresi sıcaklığı olarak ifade eder (NOCT=318,5 K).

5.2.6. Isıl verimliliği

PV/T'nin ısı performansını, birçok sistem tasarım parametresinden ve çalışma koşullarından etkilenir. Bu simülasyonda sistem, çeşitli güneş radyasyonu konfigürasyonları, ortam sıcaklığı ve akışkan hızı koşulları ile analiz edilir. Ayrıca kollektörün düzlemsel plakalı ısı kollektör olarak temsil edildiği varsayılmaktadır (Adnan ve ark. 2009). PV modülünün ısı verimliliği, giriş sıcaklığı T_i , ortam sıcaklığı T_a ve kollektör yüzeyindeki G gelen güneş ışınımı cinsinden ifade edilebilir. PV/T'nin ısı verimliliği Denklem 5.20 ile gösterilebilir (Farghally ve ark. 2015):

$$N_{th} = F_R \left((\tau \alpha_T) - U_{loss} \left(\frac{T_i - T_a}{G} \right) \right) \quad (5.20)$$

Burada; F_R : Düzenleme faktörü, $\tau \alpha_T$: Isıl transfer/emici, U_{loss} : Isı kaybı katsayısı, T_i : Giriş sıcaklığı, T_a : Ortam sıcaklığı ve G : Güneş radyasyonu bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

6. BÖLÜM

PV ve PV/T SİSTEMLER SİMULINK MODELİ

Simulink modeli; fotovoltaik sistemin performansını analiz etmek için matematiksel denklemlere dayalı Matlab programı blokları kullanılarak çizilmiş bir elektrik devresidir. Simulink blok diyagramı- dinamik sistemin resimsel modeli

- Her blok ya sürekli ya da ayırık çıkış üreten temel bir dinamik sistem gösterir.
- Doğrular blok çıkışlarına blok girişlerini bağlayan bağlantıları gösterir.

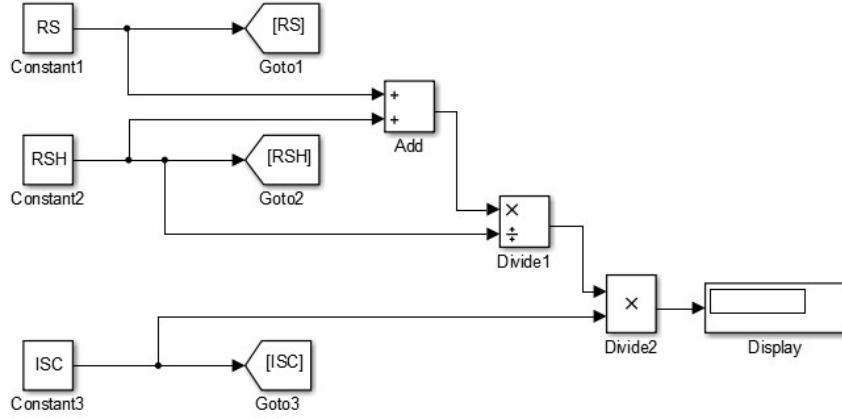
Simulink devrede kullanılan bloklar (Anonim, 2000);

- Constant: Sabit değer üretmek için kullanılır.
- Goto: Blok girişini from bloklarına iletmek için kullanılır.
- From: Goto bloğundan gelen girişi kabul edilmek için kullanılır.
- Add, Subtract, Sum of Elements, Sum: Girişleri toplama veya çıkarma işlemleri için kullanılır.
- Divide: Skaler ve skaler olmayanları çarpın ve bölün veya matrisleri çarpın ve ters çevirin için kullanılır.
- Mux: Aynı veri tipindeki ve karmaşıklığıdaki giriş sinyallerini sanal vektörde birleştirmek için kullanılır.
- Math Function: Matematiksel işlevi gerçekleştirir.
- Display: Girişin değerini göstermek için kullanılır.

6.1. PV Sistemi

6.1.1. Işık tarafından üretilen akım

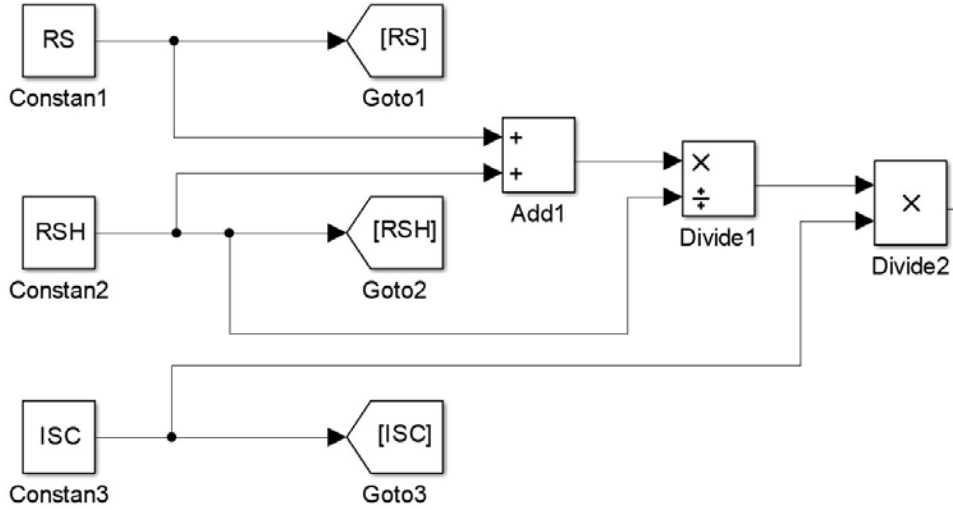
Dizinin ışık tarafından üretilen akımı, lineer olarak güneş ışınımına bağlıdır ve Denklem 5.6'e göre sıcaklıktan da etkilenir (Abdyllah ve ark. 2019). Burada; (I_L): Işık akımı, R_S : Seri direnci, R_{SH} : Paralel direnci ve I_{sc} : Kısa devre akımı olarak ifade etmektedir. Işık tarafından üretilen akım simulink devresi Şekil 6.1'de verilmektedir.



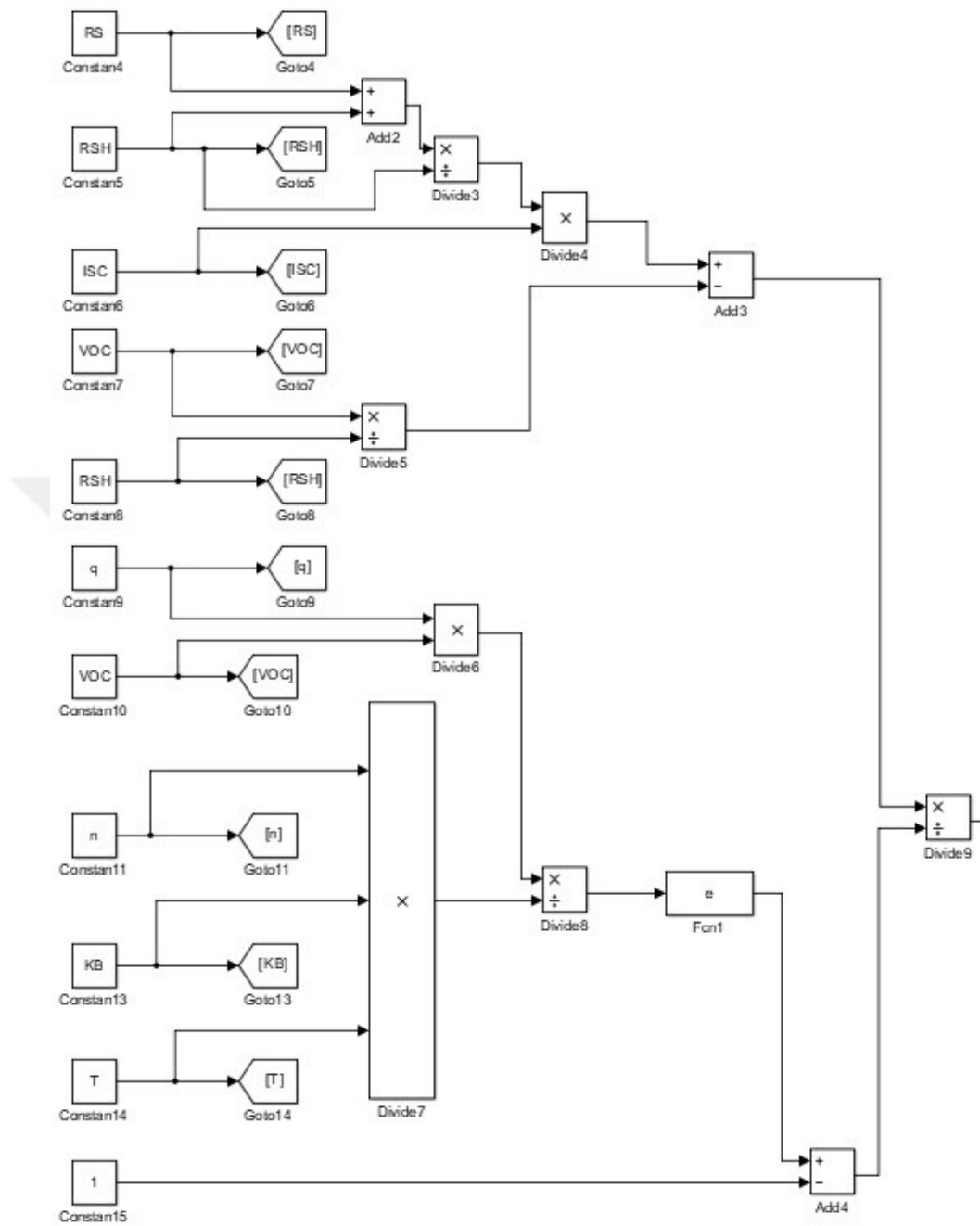
Şekil 6.1. Işık tarafından üretilen akım simulink devresi

6.1.2. Fotovoltaik akım

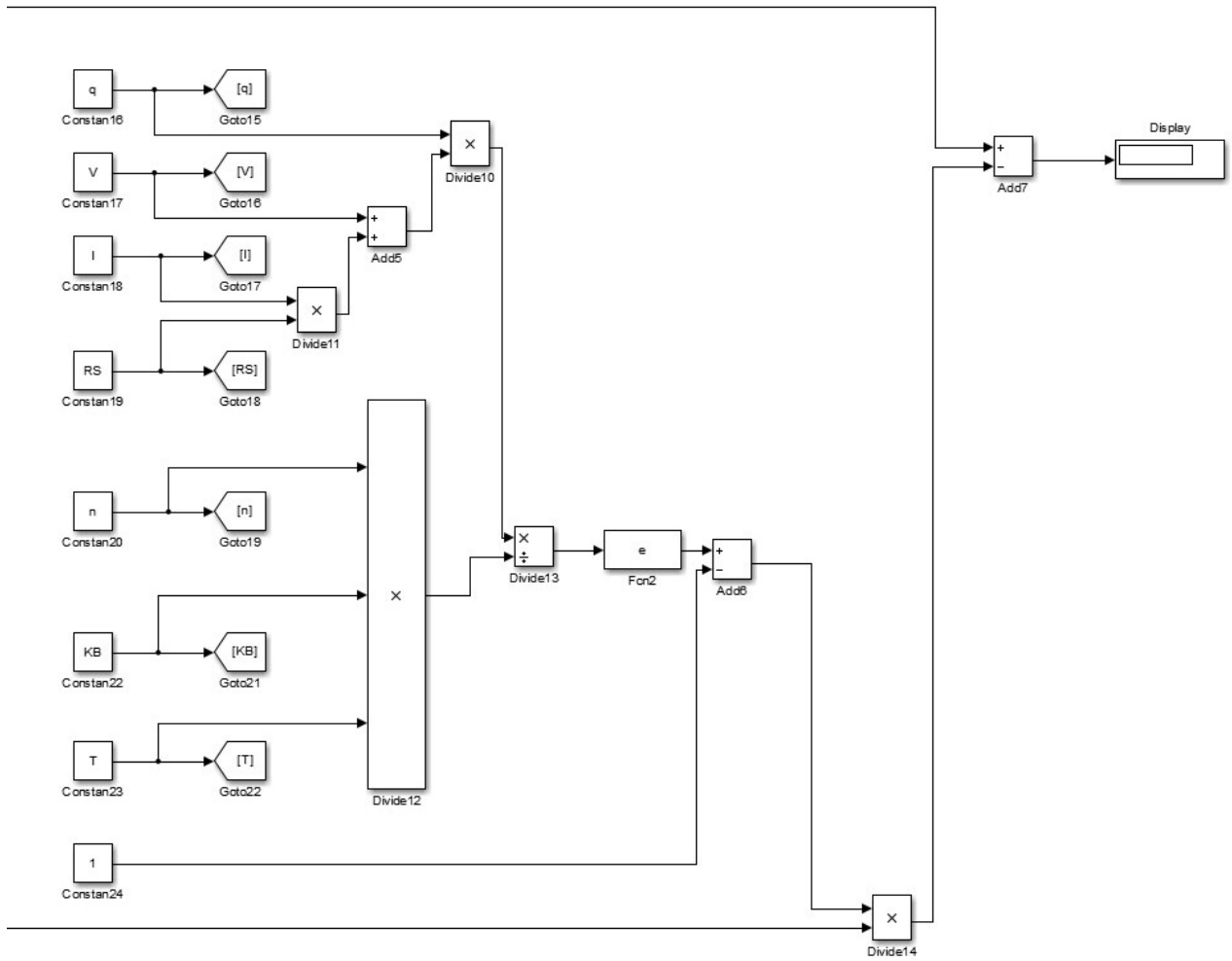
Fotovoltaik akımı temsil eden bir akım kaynağıdır. Bu akım kaynağına paralel bağlanmış bir diyot ve bir paralel direnç ile bunlara seri bağlanan bir dirençten meydana gelmektedir ve Denklem 5.1 verilmektedir (Şentürk, 2018). Fotovoltaik akım simulink devresi Şekil 6.2’de verilmektedir. Şekil 6.2’de görüldüğü gibi Fotovoltaik akımı devresi 3 bölümden oluşur. Bunlar; (a) Işık tarafından üretilen akım simulink devresi, (b) Diyotun ters doyma akım simulink devresi ve (c) Diyot akım simulink devresidir.



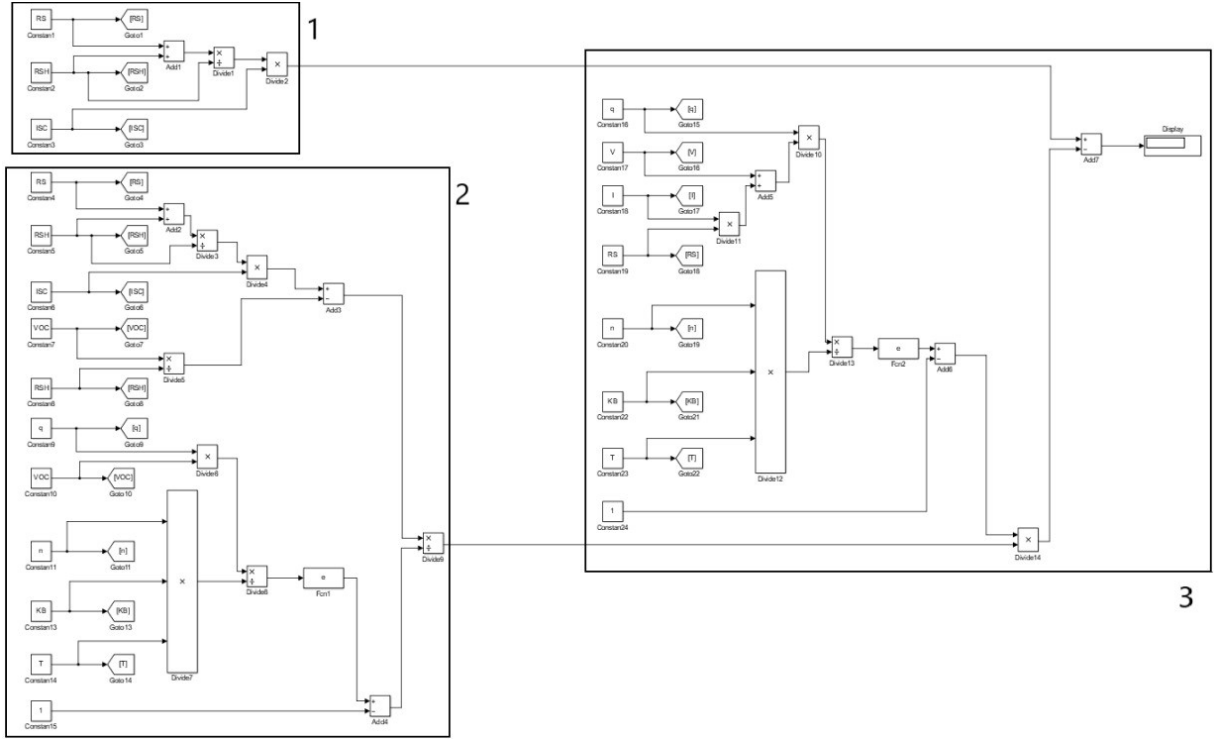
(a) Işık tarafından üretilen akım simulink devresi



(b) Diyotun ters doyma akım simulink devresidir



(c) Diyot akım simülasyon devresi

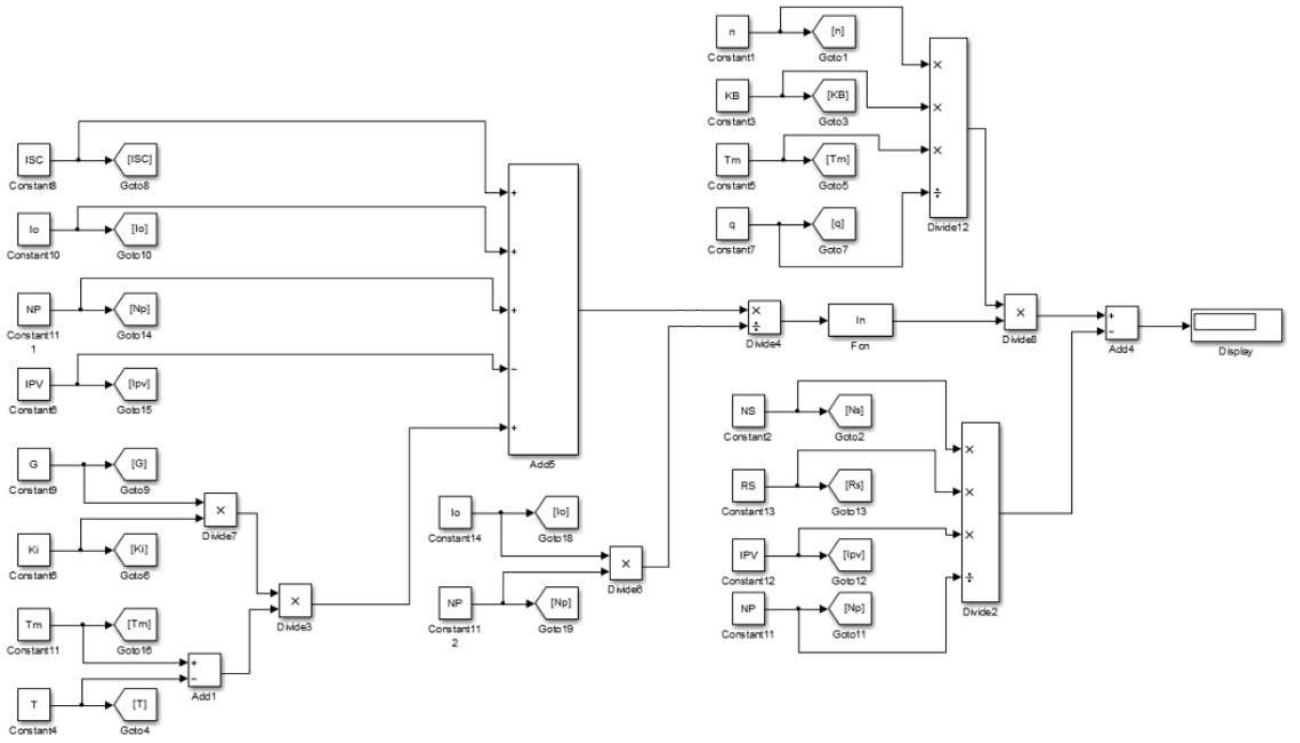


Şekil 6.2. Fotovoltaik akım simulink devresi

Şekil 6.2’de Fotovoltaik akım simulink devresinde görüldüğü gibi 3 bölümden oluşur. Bunlar; (a) Işık tarafından üretilen akım simulink devresidir. Burada; I_L : Işık akımı, R_S : Seri direnci, R_{SH} : Paralel direnci ve I_{SC} : Kısa devre akımı olarak ifade etmektedir. (b) Diyotun ters doyma akım simulink devresidir. Burada; R_{SH} : Paralel direnci, R_S : Seri direnci, I_{SC} : Kısa devre akımı, V_{OC} : Açık devre gerilimi, q : Elektron yükü, n : Diyot faktörü, K_B : Boltzman sabiti, T_M : Çalışma sıcaklığı olarak ifade eder. (c) Diyot akım simulink devresidir. Burada; q : Elektron yükünü, V : Yük direnci üzerine düşen gerilimi, I : Yük direnci üzerinden geçen akımı, R_S : Seri direnci, n : Diyot faktörü, K_B : Boltzman sabiti ve T_M : Çalışma sıcaklığını ifade etmektedir.

6.1.3. PV hücre gerilimi

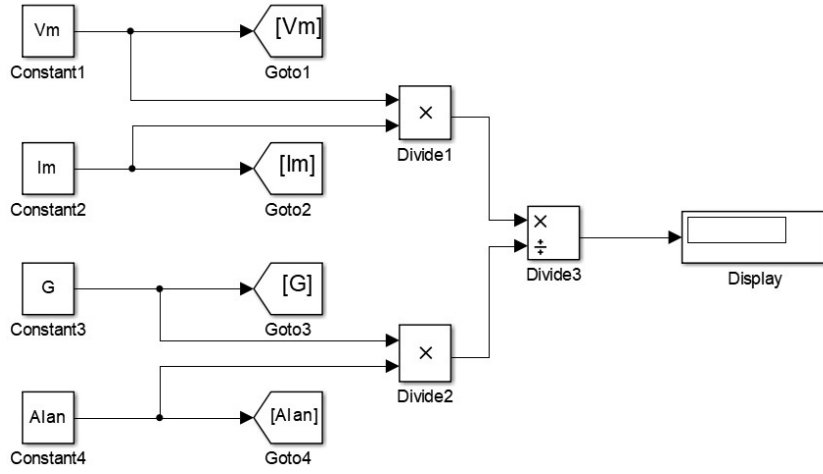
PV hücrenin/pilin tek diyotlu bir devre modeline göre çıkışta elde edilen gerilim, diyotun ters doyma akımı, radyasyona bağlı olarak değişen foton akımı ve yük akımına bağlı değişmesi ile elde edilen eşitlik Denklem 5.8’de verilmektedir (Çarkıt, 2017). Burada; n : Diyot faktörü, K_B : Boltzman sabiti, T_M : Çalışma sıcaklığı, q : Elektron yükü, I_{SC} : Kısa devre akımı, K_i : Sıcaklık katsayısı, T_{ref} : Nominal sıcaklığı, G : Güneş radyasyonu, I_0 : Ters doyma akımı, I_{PV} : PV hücre akımı, N_p : Paralel hücre sayısı ve R_S : Seri direnci olarak ifade eder. PV hücre gerilim simulink devresi Şekil 6.3’te verilmektedir.



Şekil 6.3. PV hücre gerilim simulink devresi

6.1.4. Elektriksel verimi

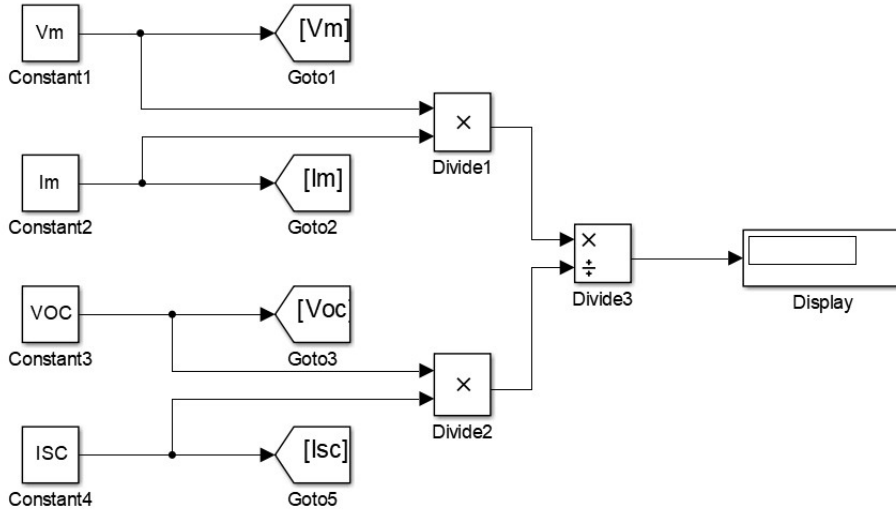
Bir modülün maksimum güç noktası verimliliğinin sıcaklığa bağımlılığı, sistem performansının tahmin edilmesinde önemli bir parametredir. Bu verimliliğin sıcaklığa bağımlılığı, maksimum güç noktası verimliliği sıcaklık katsayısı N_{el} cinsinden ifade edilir ve Denklem 5.9'den hesaplanır (Duffi & Backman, 2005). Burada; V_M : Maksimum gerilim, I_M : Maksimum akımı, G : Güneş radyasyonu ve A_C : Kollektör alanı olarak ifade etmektedir. Elektriksel verim simulink devresi Şekil 6.4'te verilmektedir.



Şekil 6.4. PV elektriksel verimi simulink devresi

6.1.5. Doldurma faktörü

Maksimum gücün açık devre gerilimi ve kısa devre akımı değerine oranıdır. Doldurma faktör oranı I-V eğrisinin keskinliğini belirlemektedir. İdeal PV hücreleri için FF değeri 0,7'ye yakın olmalıdır. Kalite kontrol testleri için FF değeri önemli bir parametredir (Jallad, 2012). Doldurma faktörü hesaplamak için Denklem 5.10 kullanılır (Marimuthu ve ark. 2015). Burada; V_M : Maksimum gerilim, I_M : Maksimum akımı, V_{OC} : Açık devre gerilim referans değeri ve I_{SC} : Kısa devre akımı olarak ifade etmektedir. Doldurma faktörü simulink devresi Şekil 6.5'te verilmektedir.



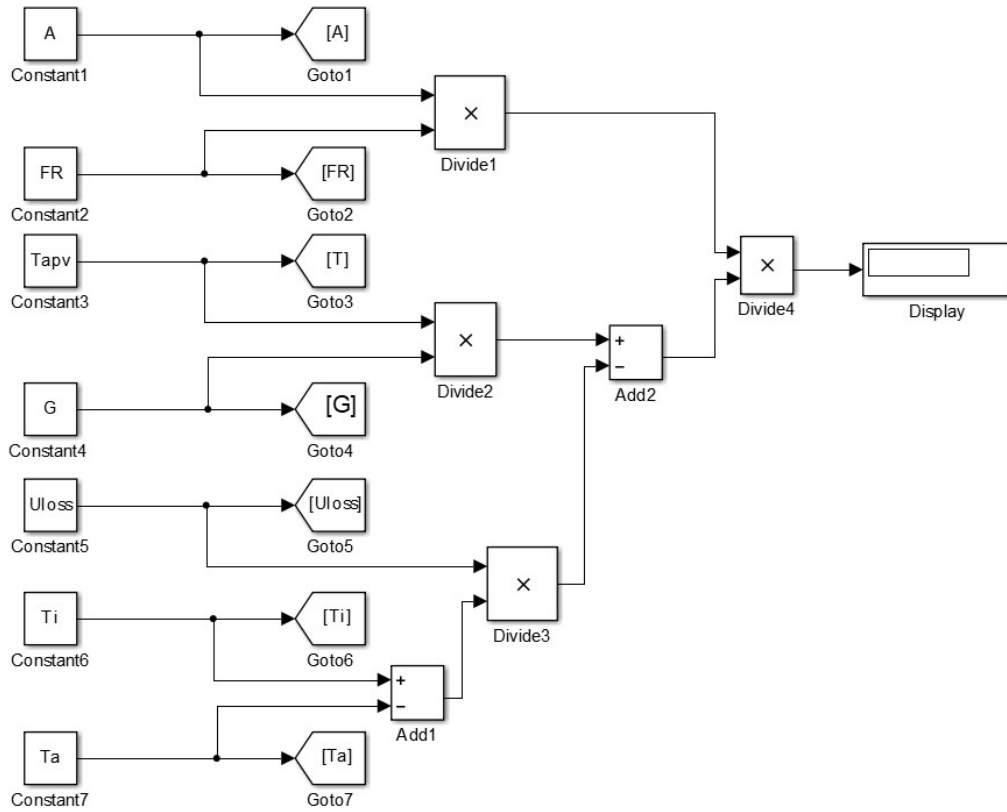
Şekil 6.5. Doldurma faktörü simulink devresi

6.2. PV/T Sistemi

6.2.1. Isı kazancı simulink modeli

Bir güneş kollektöründe mümkün olan maksimum faydalı enerji kazancı (ısı transferi), kollektörün tamamı giriş sıvısı sıcaklığında olduğunda meydana gelir; çevreye olan ısı kayıpları minimumdadir. Kollektör ısı giderme faktörü çarpı bu olası maksimum faydalı enerji kazancı, gerçek faydalı enerji kazancı Q'a eşittir. Isı kazancı hesaplamak için Denklem 5.12 kullanılmıştır (Duffi & Backman, 2005). Burada; F_R : Düzenleme faktörü, A_C : Kollektör alanı, S : Soğurulan radyasyonu, U_{loss} : Isı kaybı katsayısı, T_i : Giriş sıcaklığı ve T_a : Ortam sıcaklığı, bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır (Koç & Başaran, 2019). Isı kazancı simulink devresi Şekil 6.6'da verilmektedir.

Burada Soğurulan radyasyonu ise; $S = (T_{\alpha})_{PV}G$ şeklinde ifade edilmiştir.

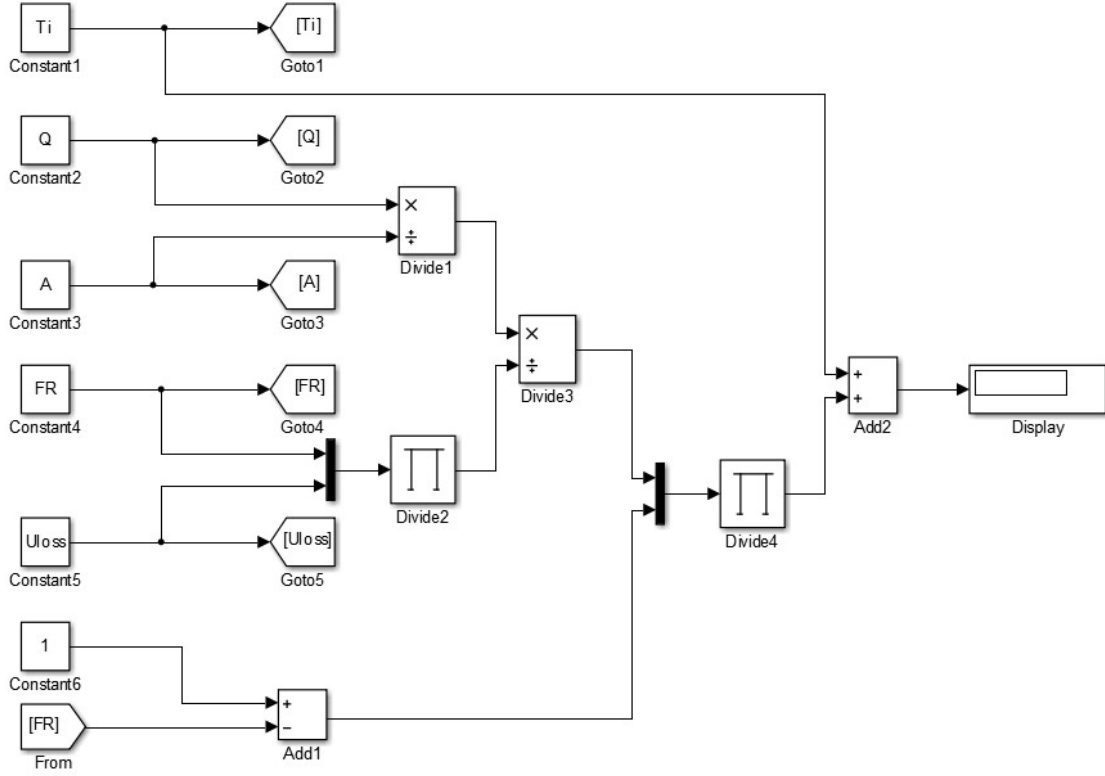


Şekil 6.6. Isı kazancı simulink devresi

6.2.2. Hücre sıcaklığı veya yutucu yüzey sıcaklığı simulink modeli

Yaklaşık F_R , F ve Q değerleriyle, denklemden yeni bir hücre sıcaklığı elde edilir ve en yüksek kayıp katsayısı için yeni bir değer bulmak için kullanılır. U_{loss} 'nin yeni değeri, F_R ve F 'yi rafine etmek için kullanılır ve işlem tekrarlanır. Makul bir ilk tahminle, ikinci bir yineleme nadiren gereklidir.

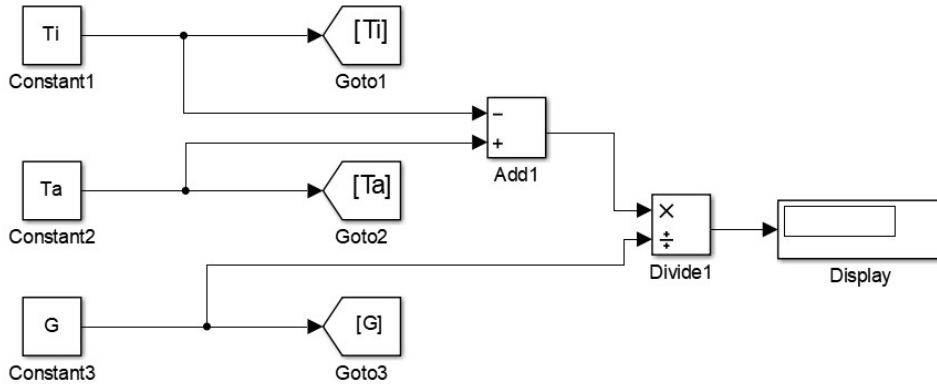
Hücre sıcaklık hesaplamak için Denklem 5.18 kullanılır (Duffi & Backman, 2005). Burada; T_i : Giriş sıcaklığı, Q : Isı kazancı, A_C : kolektör alanı, F_R : Düzenleme faktörü ve U_{loss} : Isı kaybı katsayısı bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Hücre sıcaklığı simulink devresi Şekil 6.7'de verilmektedir.



Şekil 6.7. Hücre sıcaklığı simulink devresi

6.2.3. $((T_i - T_a) / G)$ simulink modeli

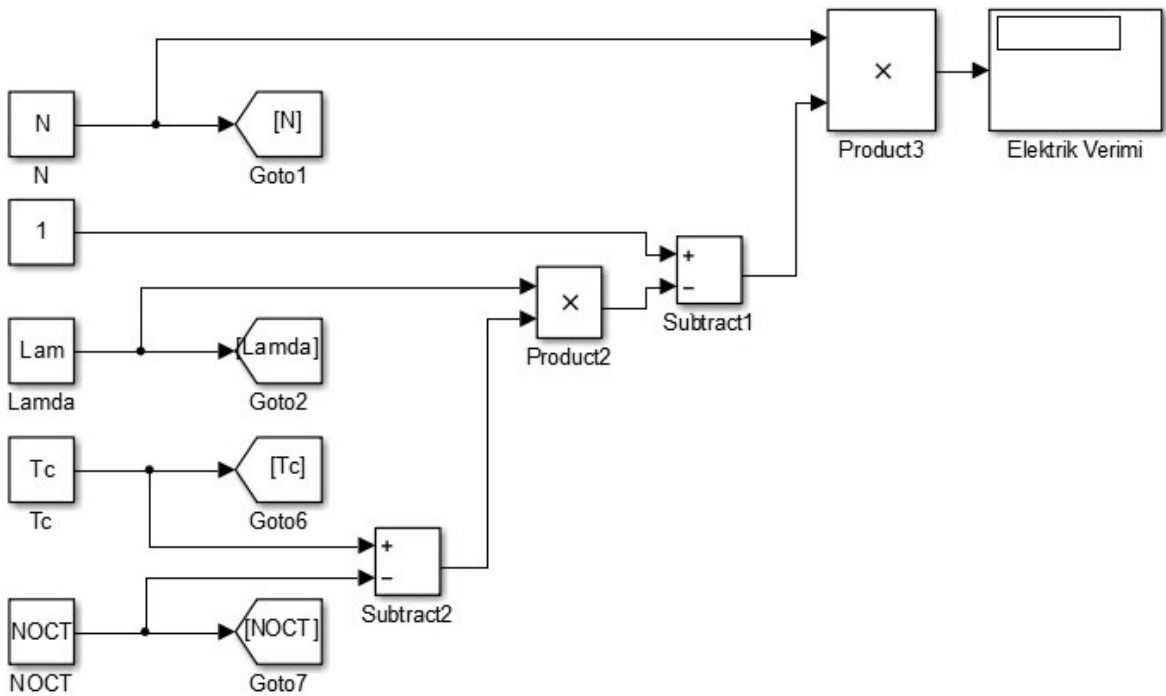
Bu parametre, ısıl verimliliğin bağlı olduğu için PV/T'nin performansını büyük ölçüde etkiler. Çünkü kolektör girişi ile çevre arasındaki $(T_i - T_a)$ sıcaklık farkının kolektör yüzeyinde meydana gelen global güneş radyasyonuna (G) oranıdır (Koç & Başaran, 2019). $((T_i - T_a) / G)$ simulink devresi Şekil 6.8'de verilmektedir.



Şekil 6.8. $((T_i - T_a) / G)$ simulink devresi

6.2.4. Elektrik verimliliği simulink modeli

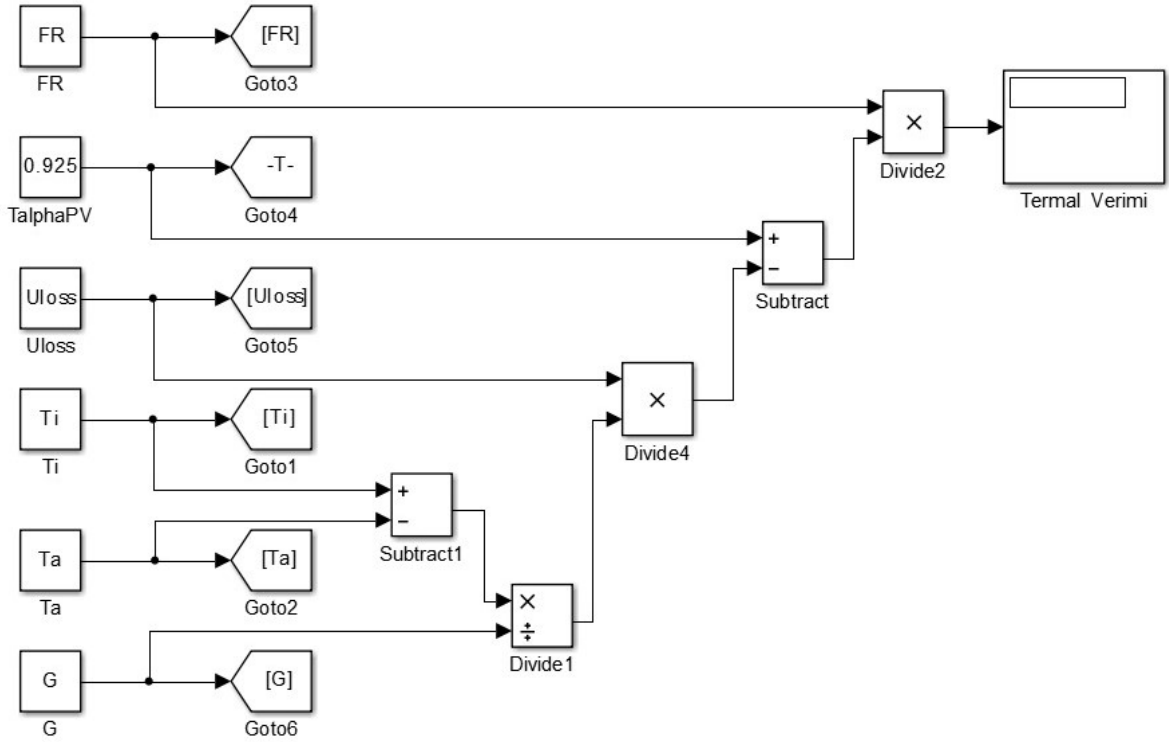
PV/T sisteminin elektrik verimliliği, PV/T'nin ortalama sıcaklığı (T_c) ile nominal çalışma hücresi sıcaklığı (NOCT) arasındaki farka dayalı olarak hesaplanabilir. PV/T sisteminin elektriksel verimliliği olarak hesaplanabilir. Denklem 5.19 kullanılarak hesaplanmıştır (Farghally ve ark. 2014). Burada; T_c : Ortalama yutucu plaka sıcaklığı, NOCT: Nominal çalışma hücresi sıcaklığı olarak ifade eder (NOCT=318,5 K). Elektriksel verimliliği simulink devresi Şekil 6.9'da verilmektedir.



Şekil 6.9. Elektriksel verimi simulink devresi

6.2.5. Isıl verimliliği simulink modeli

PV/T'nin ısı performansını, birçok sistem tasarım parametresinden ve çalışma koşullarından etkilenir. Bu simülasyonda sistem, çeşitli güneş radyasyonu konfigürasyonları, ortam sıcaklığı ve akış hızı koşulları ile analiz edilir. Ayrıca kolektörün düzlemsel plakalı ısı kolektör olarak temsil edildiği varsayılmaktadır. Denklem 5.20 kullanılarak ısı verimliliği hesaplanır (Adnan ve ark. 2009). Burada; F_R : Düzenleme faktörü, $\tau\alpha_T$: Isıl transfer/emici, U_{loss} : Isı kaybı katsayısı, T_i : Giriş sıcaklığı, T_a : Ortam sıcaklığı ve G : Güneş radyasyonu bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Isıl verimliliği simulink devresi Şekil 6.10'da verilmektedir.



Şekil 6.10. Isıl verimi simulink devresi

7. BÖLÜM

ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

7.1. PV ve PV/T Sistemi Simülasyonu ve Sonuçları

7.1.1. PV sistemi

Yapmış olduğumuz çalışmada kullanılan PV sistemi için sabit parametreler Çizelge 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. PV sistemi için sabit parametreleri

Elektron Yüğü (Coulomb)	q	$1,6 * 10^{-19}$
Boltzman Sabiti (J/K)	K_B	$1,38 * 10^{-23}$
Sıcaklık Katsayısı (1/K)	K_i	1,6
Çalışma Sıcaklığı (K)	T_M	304,35
Nominal Sıcaklık (K)	T_{ref}	295,66
Paralel Hücre Sayısı	N_p	1
Kısa Devre Akımı Sıcaklık Katsayısı (A/K)	α	0,00048
Açık Devre Gerilimi Sıcaklık Katsayısı (V/K)	β	-0,0028

Çalışmada kullanılan PV sistemi için değişken parametreler Çizelge 7.2'de verilmiştir.

Çizelge 7.2. PV sistemi için değişken parametreler

Kollektör Alanı (m ²)	A_c	0,28	1,48	1,64	1,97
Güneş Radyasyon (W/m ² K)	G	300	500	700	900

Çalışmada PV Sistemi için denklemler kullanılarak hesaplamaları yapılmış ve sonuç olarak simülasyon sonuçları Çizelge 7.3'de belirlenmiştir.

Çizelge 7.3. PV sistemi için simülasyon sonuçlar

A_c (m ²)	G (W/m ² K)	V_m (V)	I_m (A)	V_{oc} (V)	I_{sc} (A)	I_{PV} (A)	V_{PV} (V)	N_{el} (%)	FF
0,28	300	18,29	0,66	22,87	0,80	1,38	10,15	14,37	0,66
1,48	300	28,51	2,59	34,61	2,73	4,88	14,85	16,62	0,78
1,64	300	37,00	2,61	45,43	2,78	4,92	20,49	19,63	0,77
1,97	300	40,47	2,83	48,88	2,98	5,31	40,64	19,37	0,79
0,28	500	18,29	1,10	22,87	1,34	2,40	9,64	14,37	0,66
0,28	700	18,29	1,55	22,87	1,87	4,30	9,40	14,46	0,66
0,28	900	18,29	1,98	22,87	2,40	3,38	9,26	14,37	0,66

PV sistemi için elde edilen simülasyon sonuçlarına göre aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Kollektör alanındaki artması, kollektörün akımını, kollektörün gerilimini, elektriksel verimini ve doldurma faktörünü arttırdığı tespit edilmiştir.
- Güneş radyasyonundaki artması, kollektör akımını arttırdığı belirlenmiştir. Aynı zamanda kollektör geriliminin ve elektriksel veriminin küçük bir değerle azaldığı, doldurma faktörü ise değişmediği tespit edilmiştir.

7.1.2. PV/T sistemi

Çalışmada kullanılan PV/T sistemi için sabit parametreler Çizelge 7.4'de belirlenmiştir.

Çizelge 7.4. PV/T sistemi için sabit parametreleri

Giriş sıcaklık	T_i	295,66 K
Ortam sıcaklık	T_a	293 K
Yüzeydeki ışıma	ϵ_p	0,95
Cam yayma katsayısı	ϵ_g	0,88
Isıl transfer/emici	$\tau\alpha T$	0,925
PV/T kalınlığı	L_{pv}	0,4 mm
PV/T iletkenliği	K_{pv}	130 W/m K
Boru hidrolik çapları	d_h	8 mm
Boru genişliği	d	0,02 mm
Boru genişliği / boru aralığı oranı	d/w	0,087
Hücre emiciye ısı transfer katsayısı	h_f	45 W/m ² K
Kenar yalıtım kalınlığı	L_{edge}	0,025 m
Emici iletkenliği	K_{abs}	50 W/m K
Emici kalınlığı	L_{abs}	0,154 mm
Özgül ısı katsayısı	C_p	4180 J/g K
Stefan-Boltzmann sabiti	σ	5,670. 10 ⁻⁸
Akışkan ısı iletkenliği	k_f	0,613 W/m K
Arka yalıtım iletkenliği	K_b	0,045 W/m K
Arka yalıtım kalınlığı	L_b	0,05 m
Yalıtım iletkenliği	k_e	0,045 W/m K
Kanal yalıtım kalınlığı	l_e	0,025 m
Kanat kalınlığı	δ	0,005 m
Absorpsiyon	α_c	0,95
Güneş pillerinin paketlenme faktörü	β_c	0,83
Modül verimi	N_c	%19,28
Geçirgenlik	τ	0,88
Montaj açısı	\emptyset	37 derece

Çalışmada kullanılan PV/T sistemi için değişken parametreler Çizelge 7.5'de belirlenmiştir.

Çizelge 7.5. PV/T sistemi için değişken parametreleri

Kollektör Alanı (m ²)	A_c	0,28	1,48	1,64	1,97
Rüzgâr Hızı (m/s)	v	1	2	3	4
Güneş Radyasyon (W/m ² K)	G	300	500	700	900
Genel Isı Kaybı (W/m ² K)	U_{loss}	Camlı	Camsız	-	-
PV Transfer/emici	$T\alpha PV$	Camlı	Camsız	-	-
Cam Kapak Sayısı	N_g	1	0	-	-

Çalışmada camlı PV/T sistemi için denklemler kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve sonuç olarak simülasyon sonuçları Çizelge 7.6'da belirlenmiştir.

Çizelge 7.6. Camlı PV/T sistemi için simülasyon sonuçları

A_c (m ²)	G (W/m ² K)	v (m/s)	Q (W)	T_c (°C)	U_t (W/m ² K)	N_{el} (%)	N_{th} (%)
0,28	300	1	48,40	26,50	1,14	21,06	73,35
1,48	300	1	255,85	26,50	1,14	21,06	73,35
1,64	300	1	282,70	26,50	1,14	21,06	73,35
1,97	300	1	339,64	26,50	1,14	21,06	73,35
0,28	500	1	84,33	29,75	0,95	20,75	75,46
0,28	700	1	119,85	32,95	0,82	20,44	76,36
0,28	900	1	155,40	36,15	0,73	20,13	76,87
0,28	300	2	48,40	26,50	1,20	21,06	73,35
0,28	300	3	48,40	26,50	1,25	21,06	73,35
0,28	300	4	48,40	26,50	1,30	21,06	73,35

- Kollektör alanının artmasının, ısı kazancını ve ısı verimi arttırdığı belirlenmiştir. Ayrıca hücre sıcaklığında, üst kayıp katsayısında ve elektriksel verimde bir değişiklik olmadığı görülmüştür.
- PV/T camlı sistemlerinde kullanılan cam yalıtımı, güneş radyasyonunun yansımaları nedeniyle PV/T modül sıcaklığını artırırken ısı verimini artırır. Aynı zamanda sıvının sıcaklığı arttıkça elektriksel verimin düştüğü görülmüştür.
- Camlı PV/T sisteminde camın geçirgenliğinin yüksek olması nedeniyle, artan rüzgâr ile bir değişiklik olmadığı belirlenmiştir.

Çalışmada camsız PV/T sistemi için simülasyon sonuçları Çizelge 7.7'de belirlenmiştir. Genel ısı kaybı hesaplamalarında 25 ve PV transfer/emici 0,78 olarak alınmıştır.

Çizelge 7.7. Camsız PV/T Sistemi için simülasyon sonuçları

A_c (m ²)	G (W/m ² K)	v (m/s)	Q (W)	T_c (°C)	U_t (W/m ² K)	N_{el} (%)	N_{th} (%)
0,28	300	1	39,87	23,16	10,11	21,38	59,78
1,48	300	1	210,72	23,16	10,11	21,38	59,78
1,64	300	1	233,50	23,16	10,11	21,38	59,78
1,97	300	1	280,50	23,16	10,11	21,38	59,78
0,28	500	1	77,00	24,1	10,11	21,29	67,32
0,28	700	1	114,12	25,04	10,11	21,20	70,55
0,28	900	1	151,25	26,00	10,11	21,11	72,34
0,28	300	2	39,87	23,16	13,75	21,38	59,78
0,28	300	3	39,87	23,16	17,46	21,38	59,78
0,28	300	4	39,87	23,16	11,20	21,38	59,78

- Kollektör alanının artmasının, ısı kazancını arttırdığı belirlenmiştir. Aynı zamanda camsız PV/T kollektörün, hücre sıcaklığı, üst kayıp katsayısı, elektriksel verimi ve ısı veriminin ısı kaybı ön panele göre daha fazla olduğu için değişmediği belirlenmiştir.

- Güneş radyasyonunun artması, ısı kazancı, hücre sıcaklığı ve ısıl verimi artmaktadır. Ayrıca elektriksel verimini azaldığını tespit edilmiştir.
- PV/T camsız olduğundan dolayı rüzgâr artmasıyla sadece üst kayıp katsayısı artmasını tespit edilmiştir.

7.2. Güneş Radyasyonunun PV Kollektörleri Üzerindeki Etkisi

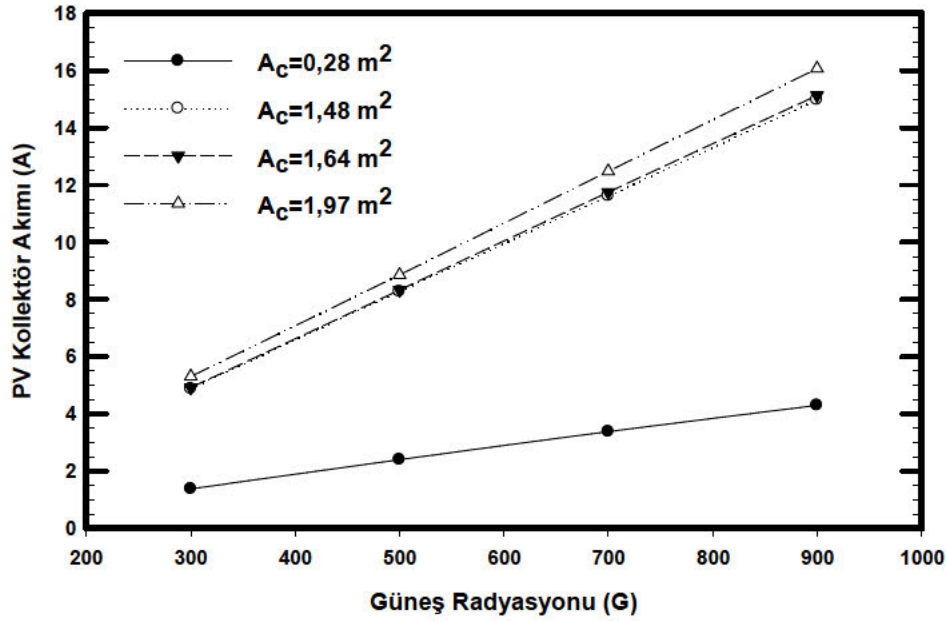
Literatür incelemesi'nin PV elektriksel verim özeti Çizelge 7.8'de belirlenmiştir

Çizelge 7.8. PV sistem elektriksel verim değişimi (Chen ve ark. 2018).

Güneş Radyasyonu ($W/m^2 K$)	PV elektriksel verimi (%)
200	16,5
1000	14,8

Yapmış olduğumuz çalışmada, PV kollektörünün A_c alanının $0,28m^2$, $1,48m^2$, $1,64m^2$ ve $1,97m^2$ olduğu durumlardaki kollektör akımı, kollektör gerilimi, doldurma faktörü ve elektriksel verim değişimleri değişken güneş radyasyonuna bağlı olarak incelenmiştir. Değişken güneş radyasyonuna göre PV kollektör akımının farklı alanlardaki değişimi Şekil 7.1'de verilmiştir. Şekil 7.1'de görüldüğü A_c alanının $0,28m^2$ olduğu ve güneş radyasyonunun $300 W/m^2K$, $500 W/m^2K$, $700 W/m^2K$ ve $900 W/m^2K$ olduğu değerlerde PV kollektör akımı değerleri sırasıyla $1,38A$, $2,40A$, $3,38A$ ve $4,30A$ elde edilmiştir. Aynı şekilde A_c alanının $1,97m^2$ PV kollektör akımı değerleri sırasıyla $5,31A$, $8,86A$, $12,48A$ ve $16,07A$ elde edilmiştir. Şekil 7.1'de görüldüğü gibi, A_c alanının $0,28m^2$ olduğu durum ile A_c alanının $1,97m^2$ olduğu durum karşılaştırıldığında kollektör akımı $300 W/m^2K$ güneş radyasyonu altında yaklaşık %284 ve $900 W/m^2K$ güneş radyasyonu altında yaklaşık %274 oranında artış meydana geldiği görülmektedir.

Kollektör akımının artan güneş radyasyonu ile arttığı gözlenmiştir. Dolayısıyla fotoelektrik etki seviyesinin artması nedeniyle kollektör akımının değeri artmıştır. Ayrıca ışık tarafından üretilen akımdaki artış, ters doyma akımındaki artış ve kapalı devre akımındaki artıştan kaynaklanmaktadır. PV panellerinin çıkış akım değişen çevresel koşullara bağlıdır. İlgili koşullar altında maksimum güç üreterek en fazla verimin elde edileceği şekilde çalıştırılmaları gerekmektedir. PV panellerin akım üretiminde etkiye sahip iki faktör gölgeleme ve sıcaklık olarak görülmektedir (Çarkıt, 2017).

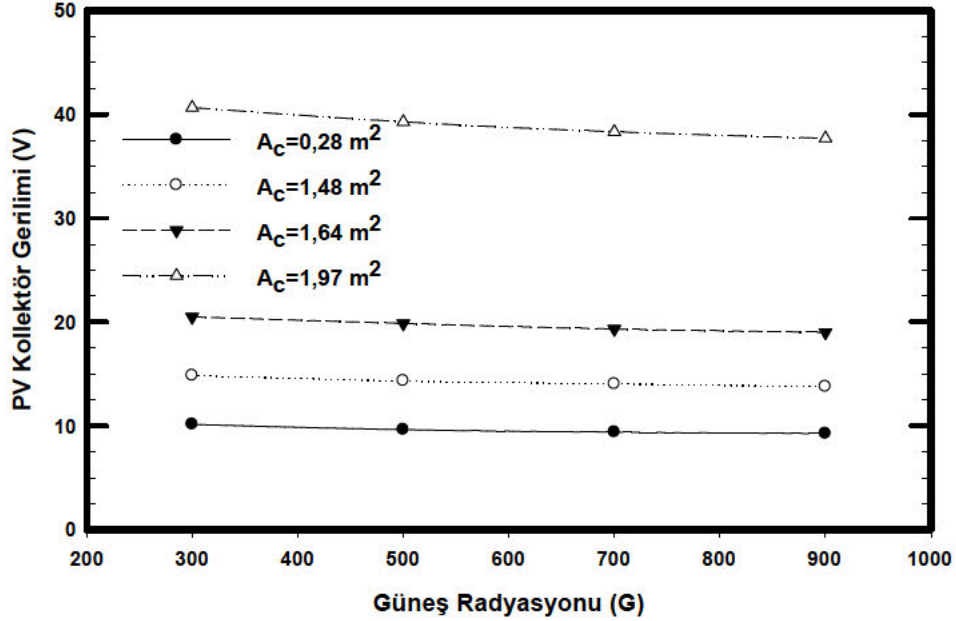


Şekil 7.1. Değişken güneş radyasyonuna göre PV kollektör akımının değişimi

Değişken güneş radyasyonuna göre kollektör geriliminin değişimi Şekil 7.2'de verilmiştir. Şekil 7.2'de görüldüğü gibi güneş radyasyonunun 300 W/m²K, 500 W/m²K, 700 W/m²K ve 900 W/m²K olduğu değerlerde sırasıyla 10,15V, 9,64V, 9,40V ve 9,26V değerleri olan kollektör gerilimleri elde edilmiştir. Aynı şekilde A_c alanın 1,97m² PV kollektör gerilimi değerleri sırasıyla 40,64V, 39,27V, 38,31V ve 37,68V elde edilmiştir. Şekil 7.2'de görüldüğü gibi, $A_c=0,28\text{m}^2$ ve $A_c=1,97\text{m}^2$ alanına sahip kollektörlerin gerilim değerleri karşılaştırıldığında 300 W/m²K güneş radyasyonunun altında yaklaşık %300 ve 900 W/m²K güneş radyasyonu için yaklaşık %306 oranında bir artma meydana geldiği görülmüştür. Özellikle A_c alanının artmasıyla, kollektör geriliminin artan güneş radyasyonu ile azaldığını gözlenmiştir. Fakat düşük A_c alanına sahip kollektörde kollektör geriliminin artan güneş radyasyonu ile önemli bir değişim olmadığı görülmektedir. Bu nedenle PV kollektörden çıkan gerilim değeri, açık devre gerilim değerine yakın bir değere yükseldikçe bir miktar azaldığı ve diyotun ters doyma akımı, güneş radyasyonu ile değişen foton akımına ve yük akımına bağlı olduğu görülmektedir.

PV panellerinin çıkış gerilim değişen çevresel koşullara bağlıdır. İlgili koşullar altında maksimum güç üreterek en fazla verimin elde edileceği şekilde çalıştırılmaları gerekmektedir. PV panellerin gerilim üretiminde en büyük etkiye sahip iki faktör gölgeleme ve sıcaklık olarak görülmektedir. Sıcaklığın artışına bağlı olarak açık devre gerilimi azalırken kısa devre akımı artmaktadır. PV modülün güç çıkışının azalmasının sebebi ise: pozitif sıcaklık katsayısına sahip kısa devre akımı, sıcaklıkla birlikte artmaktadır.

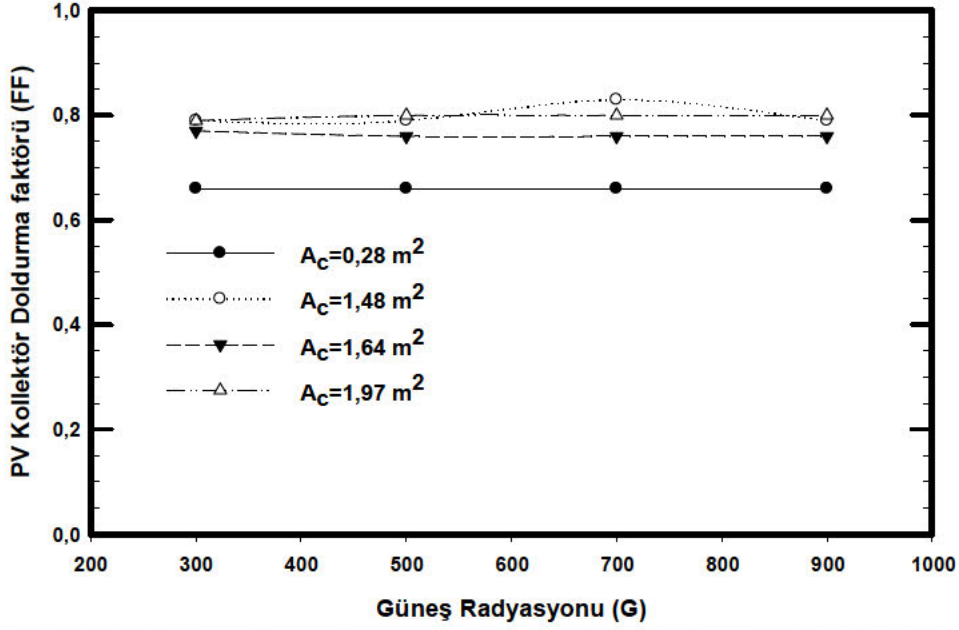
Ancak, negatif sıcaklık katsayısına sahip olan açık devre gerilimi, artan sıcaklık ile birlikte azalmaktadır. Bu azalma hızı kısa devre akımının artış hızında yüksek olduğu için çıkış gücü de azalmaktadır (Çarkıt, 2017).



Şekil 7.2. Değişken güneş radyasyonuna göre PV kollektör geriliminin değişimi

Değişken güneş radyasyonuna göre doldurma faktörünün değişimi Şekil 7.3'te verilmiştir. Şekil 7.3'te görüldüğü gibi güneş radyasyonunun $300 \text{ W/m}^2\text{K}$ - $900 \text{ W/m}^2\text{K}$ değişim değerlerinde doldurma faktörü tüm alanlarda artan güneş radyasyonuna göre önemli bir değişim olmadığı görülmektedir. Doldurma faktörü, açık devre gerilimine ve kısa devre akımına bağlıdır. Ayrıca hücrenin seri direnç değeri, paralel direnç değerinden ve diyot kayıplarından doğrudan etkilenir. Kollektör yüzeyine düşen güneş radyasyonu miktarı arttıkça kısa devre akımı artacak, açık devre geriliminin değeri ise değişmeyecek veya fark edilmeyecek kadar az değişim olmuştur. Kısa devre akımı arttığında, açık devre geriliminden farklı olarak doldurma faktörünün değeri sabittir.

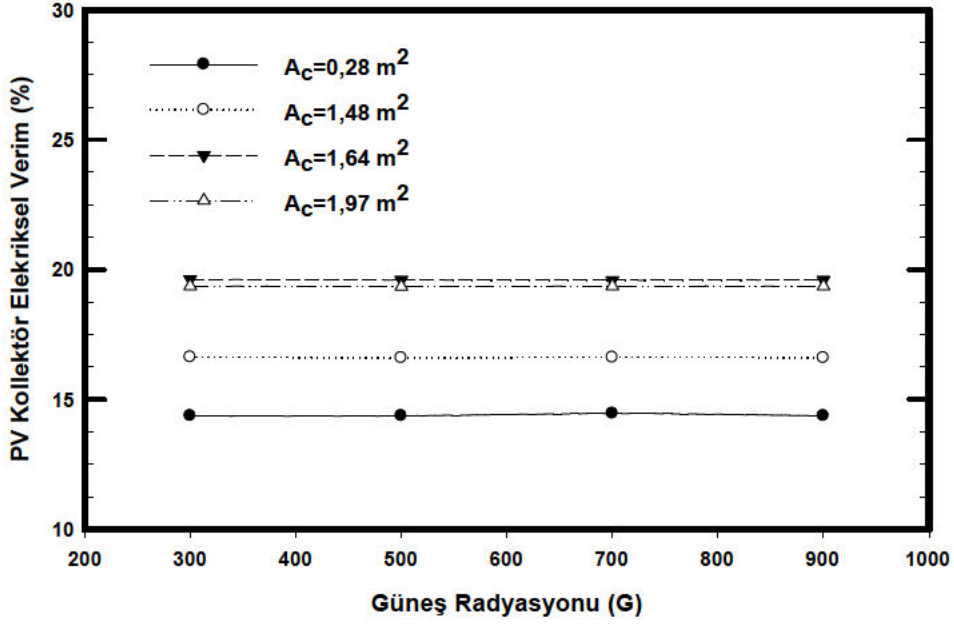
Bununla birlikte açık devre gerilimin değeri artırılarak doldurma faktörünün değeri artırılabilir veya azaltılabilir. Çünkü doldurma faktörü değeri hesaplanarak V-I kalite kontrol testi için de önemli olan V-I eğrisinin keskinliği belirlenebilir. İdeal PV hücre üretmek için doldurma faktörü 0,7'ye yakın olmalıdır. Dolgu faktöründeki azalma esas olarak V_{oc} 'deki azalma ile kontrol edilirken, sıcaklıkla kısa devre akımındaki artış doldurma faktöründe önemli bir katkı sağlamadığı görülmüştür. (El Âmin ve ark. 2018).



Şekil 7.3. Değişken güneş radyasyonuna göre PV kollektör doldurma faktörünün değişimi

Değişken güneş radyasyonuna göre PV kollektör için elektriksel veriminin değişimi Şekil 7.4'de verilmiştir. Şekil 7.4'de görüldüğü gibi en düşük A_c alanının olduğu durumda, güneş radyasyonunun $300 \text{ W/m}^2\text{K}$ - $900 \text{ W/m}^2\text{K}$ olduğu değerlerde elektriksel verim sırasıyla %14,37, %14,37, %14,46 ve %14,37 değerleri elde edilmiştir. Aynı şekilde A_c alanının en yüksek olduğu durumda, PV elektriksel verimi değerleri sırasıyla %19,37, %19,35, %19,37 ve %19,36 elde edilmiştir. Şekil 7.4'te görüldüğü gibi, en düşük ve en yüksek A_c alanı değişiminde elektriksel verimi $300 \text{ W/m}^2\text{K}$ güneş radyasyonunun altında yaklaşık %35 ve $900 \text{ W/m}^2\text{K}$ güneş radyasyonu altında yaklaşık %34 oranında bir artma meydana geldiği görülmüştür. Artan güneş radyasyonu ile elektriksel veriminin önemli bir ölçüde değişmediği gözlenmiştir. PV kollektörünün yüzeyine düşen güneş radyasyonu miktarındaki bir artışı, maksimum akımın ve dolayısıyla sabit bir değerinde maksimum gerilimin artmasına neden olmuştur.

Elektriksel verimlilik değerinin değişmeden sabit kalması ve $700 \text{ W/m}^2\text{K}$ güneş radyasyon değeri altında yüksek maksimum akım değeri ve kararlı maksimum gerilim değeri nedeniyle, elektriksel verim değeri bir miktar artışı görülmüştür. PV modülünün elektrik performansı dış hava sıcaklığı ile azalır ve rüzgâr hızıyla artar, çünkü bu iki parametre konvektif ısı değişim mekanizmasını ve nihayetinde kararlı hal güneş pillerinin çalışma sıcaklığını doğrudan etkilenmediği görülmüştür (Vittorini ve ark. 2017). PV panel sıcaklığındaki artışın ana etkisinin, PV panel sıcaklığı ile doğrusal olarak azalan açık devre voltajı üzerinde olduğunu göstermektedir; böylece PV panel verimliliği düşmektedir (Balotaik ve ark. 2019).



Şekil 7.4. Değişken güneş radyasyonuna göre PV kollektörün elektriksel veriminin değişimi

7.3. Güneş Radyasyonun PV/T Kollektörleri Üzerindeki Etkisi

- Camlı PV/T tip kollektör:

Bu sistemleri genellikle çevredeki havaya ısı kaybını azaltmak için şeffaf bir üst katmana ve yalıtımlı arka ve yan panellere sahiptir. Modern plakalardaki emici plakaların absorpsiyon oranı %93'ün üzerindedir. Camlı güneş kollektörlerinde hava, doğrudan ısı yayılımı sırasında genellikle soğurucu plakanın önünden veya arkasından geçer. Daha sonra bu sıcak hava alan ısıtma ve kurutma gibi uygulamalar için doğrudan dağıtılabilir veya daha sonra kullanılmak üzere saklanabilir. Camlı güneş kollektörün hava ısıtma panellerinin geri ödemesi, değiştirilen yakıtı bağlı olarak 9-15 yıldan az olabilmektedir (Anonim, 2022).

- Camsız PV/T tip kollektör:

Bu sistemler, emiciden ısıyı uzaklaştırırken içinden havanın geçtiği bir emici plakadan oluşur. Opak cam malzemeler daha ucuzdur ve beklenen geri kazanım sürelerini azaltır. Camsız sistemler ticari, endüstriyel, tarımsal ve iş uygulamalarında kullanılmaktadır (Anonim, 2022).

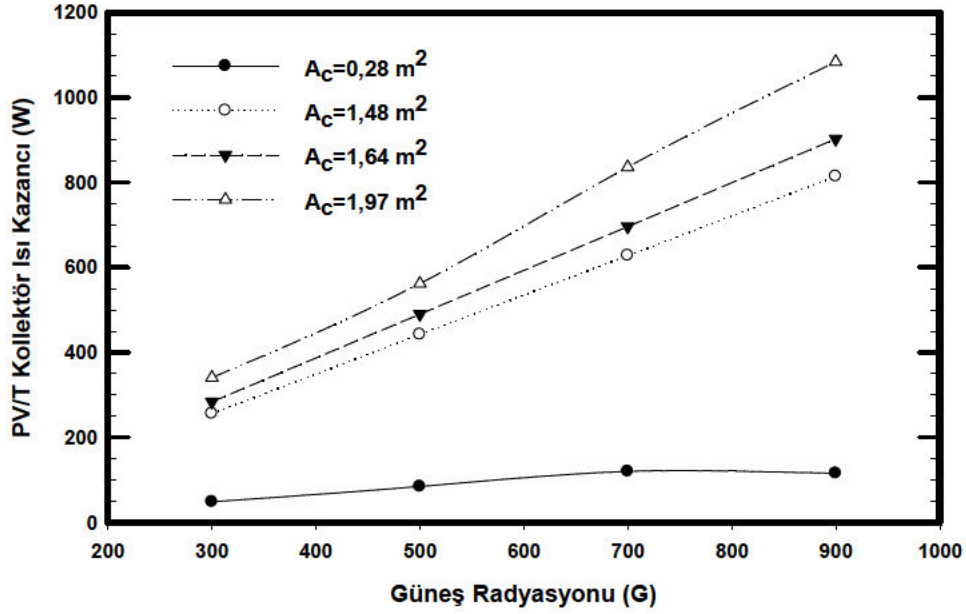
Literatür verilen camlı/camsız PV/T özeti Çizelge 7.9'de belirlenmiştir

Çizelge 7.9. Camlı/camsız PV/T sistemin elektriksel ve ısıl verimi (Chen ve ark. 2018).

Güneş Radyasyonu (W/m ² K)	Camlı/Camsız	PV/T elektriksel verimi (%)	PV/T ısıl verimi (%)
200	Camlı	12,5	33,3
1000	Camlı	13,3	67,4
200	Camsız	14,0	3,1
1000	Camsız	14,6	76,5

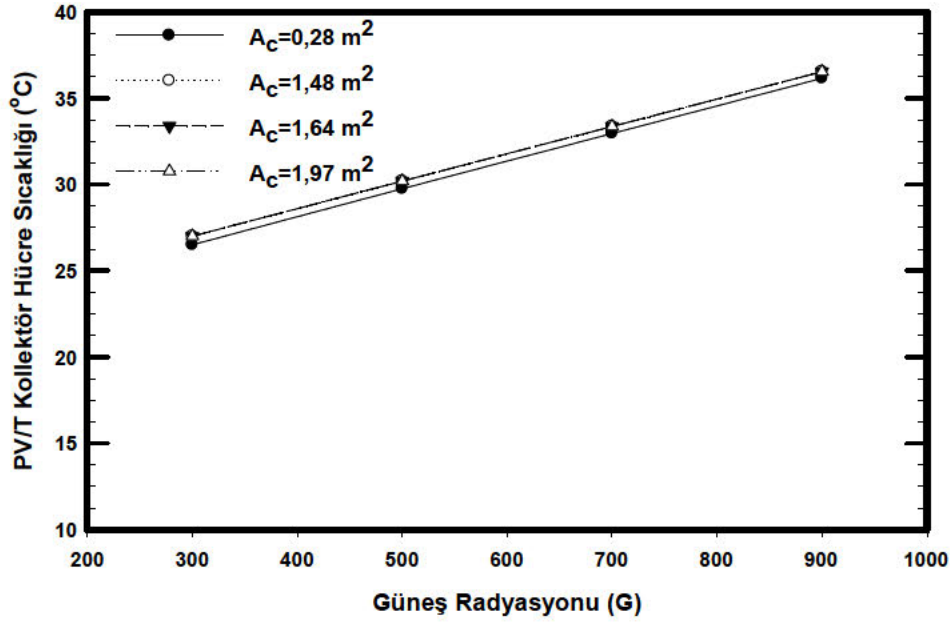
Yapmış olduğumuz çalışmada, PV/T kolektörünün kütle akışkan hızı sabit alınarak, A_c alanının 0,28m², 1,48m², 1,64m² ve 1,97m² olduğu durumlardaki ısı kazancı değişimleri değişken güneş radyasyonuna bağlı olarak incelenmiştir. Değişken güneş radyasyonuna göre ısı kazancının değişimi Şekil 7.5'te verilmiştir. Şekil 7.5'te görüldüğü A_c alanının 0,28m² olduğu ve güneş radyasyonunun 300 W/m²K, 500 W/m²K, 700 W/m²K ve 900 W/m²K olduğu değerlerde sırasıyla camlı PV/T ısı kazancı değerleri 48,4W, 84,33W, 119,8W ve 155,4W elde edilmiştir. Aynı şekilde A_c alanın 1,97m² camlı PV/T ısı kazancı değerleri sırasıyla 340,56W, 561,77W, 836,22W ve 1084,03W elde edilmiştir. Şekil 7.5'te görüldüğü gibi, A_c alanın 0,28 m² ve A_c alanın 1,97 m² olduğu durumda camlı PV/T ısı kazancının değeri 300 W/m²K güneş radyasyonu altında yaklaşık %603 ve 900 W/m²K güneş radyasyonu altında yaklaşık %597 oranında arttığı görülmüştür.

Güneş kolektör yüzeyine düşen güneş radyasyonu, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı ısı kazancı üretimini etkilemektedir. Ayrıca kolektör yüzeyine monte edilen camın; güneş radyasyonunu emici plaka üzerine yansımını yardımcı olur ve bunun sonucuda ek ısıtma alabilmektedir. Güneş radyasyonu seviyeleri yükseldikçe, PV/T sistemi içindeki iletim ve konveksiyonla olan ısı transferi artmaktadır. Bunun sonucu, sistem boyunca daha fazla miktarda ısı dağıtılır ve bu şekilde PV/T kolektör ısı kazancıda arttırmaktadır (Azad ce ark. 2023).



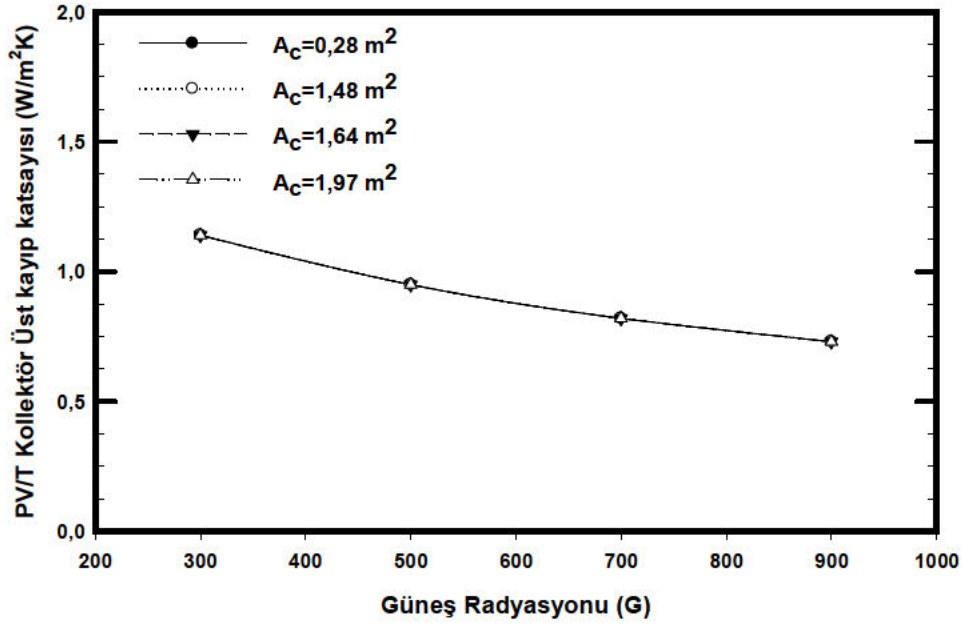
Şekil 7.5. Değişken güneş radyasyonuna göre PV/T kollektör ısı kazancı değişimi (Camlı kollektör)

PV/T kollektörünün (kütle akışkan hızı 0,01 lps sabit olarak) A_c alanının 0,28m², 1,48m², 1,64m² ve 1,97m² olduğu durumlardaki hücre sıcaklığı değişimleri değişken güneş radyasyonuna bağlı olarak incelenmiştir. Değişken güneş radyasyonuna göre hücre sıcaklığını değişimi Şekil 7.6'da verilmiştir. Şekil 7.6'da görüldüğü A_c alanının 0,28m² olduğu ve güneş radyasyonunun 300 W/m²K, 500 W/m²K, 700 W/m²K ve 900 W/m²K olduğu değerlerde camlı PV/T hücre sıcaklığı değerleri sırasıyla 26,50 °C, 29,75°C, 32,95°C ve 36,15°C elde edilmiştir. Aynı şekilde A_c alanının 1,97m² camlı PV/T hücre sıcaklığı değerleride sırasıyla 26,85°C, 30,04°C, 33,21°C ve 36,38°C elde edilmiştir. Şekil 7.6'da gösterildiği gibi, hücre sıcaklığı artan güneş radyasyonu ile artmaktadır. Fakat yüzey alanının değişimi ile hücre sıcaklığında önemli bir değişim olmadığı görülmektedir. Camlı PV/T hücre sıcaklığı gelen sıvının sıcaklığın ve ısı kazancı miktarına bağlıdır. Gelen sıvının sıcaklığındaki ve ısı kazancındaki artışı, hücrenin sıcaklığında bir artışa neden olmaktadır. Fotovoltaik hücre sıcaklığı, sıvı alanının çıkış sıcaklığı ve elektrik gücü, güneş radyasyondaki artışla artmaktadır. (Azad ve ark. 2023).



Şekil 7.6. Değişken güneş radyasyonuna göre PV/T kolektör hücre sıcaklığı değişimi (Camlı kolektör)

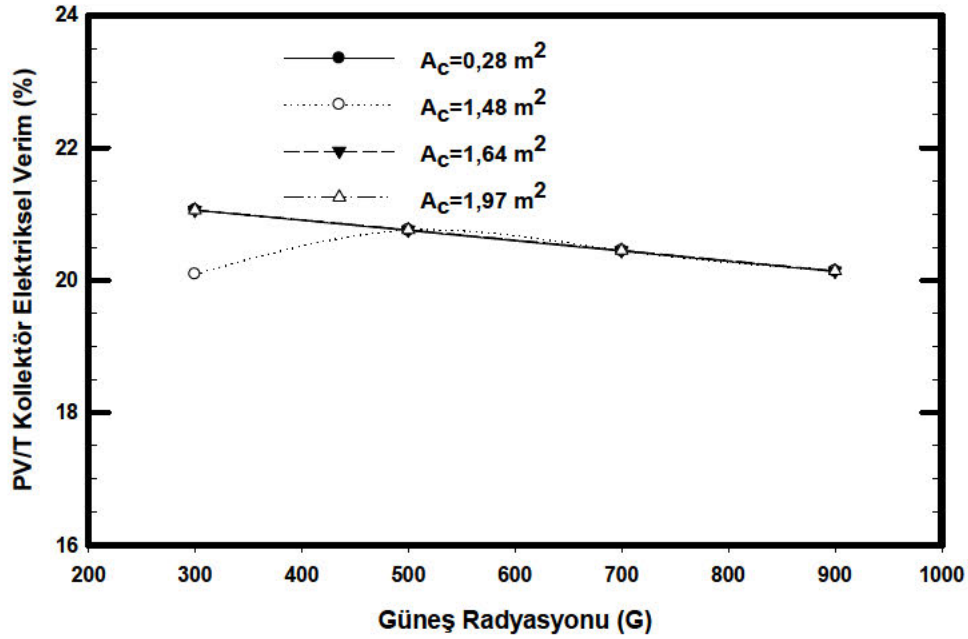
Yapmış olduğumuz çalışmada, PV/T kolektörünün A_c alanının $0,28m^2$, $1,48m^2$, $1,64m^2$ ve $1,97m^2$ olduğu durumlardaki üst kayıp katsayısı değişimleri değişken güneş radyasyonuna bağlı olarak incelenmiştir. Şekil 7.7'de görüldüğü A_c alanının $0,28m^2$ olduğu ve güneş radyasyonunun $300 W/m^2K$, $500 W/m^2K$, $700 W/m^2K$ ve $900 W/m^2K$ olduğu değerlerde camlı PV/T üst kayıp katsayısı değerleri sırasıyla $1,14 W/m^2K$, $0,95 W/m^2K$, $0,82 W/m^2K$ ve $0,73 W/m^2K$ elde edilmiştir. Aynı şekilde tüm A_c alanlarında PV/T üst kayıp katsayısı değerlerinin sabit olduğu görülmektedir. Şekil 7.7'de gösterildiği gibi, camlı PV/T sisteminde kullanılan camın yüksek geçirgenliği nedeniyle üst kayıp katsayısı azaldığı görülmektedir. Üst kayıp katsayısı hem sabit hem de değişken olmak üzere çeşitli faktörlere bağlıdır. Üst kayıp katsayısını, yüzey yayılımı, cam yayılımı ve Stefan-Boltzmann sabitini etkileyen sabit faktörler. Değişkenler ise, rüzgâr hızı, rüzgâr ısı transfer katsayısı, hücre sıcaklığı, eğim açısı ve hücre yüzeyinde kullanılan cam sayısıdır. Camlı PV/T durumunda güneş radyasyonu miktarı arttığında, hücre sıcaklığının artması ve sabit rüzgâr hızı nedeniyle üst kayıp katsayısı değeri azaldığı görülmüştür. Camlı PV/T sisteminde kullanılan kaplamalarını, kolektör üst kayıp katsayısında yaklaşık %82 azalttığı görülmüştür. (Lammler ve ark. 2016).



Şekil 7.7. Değişken güneş radyasyonuna göre PV/T kolektör üst kayıp katsayısı değişimi (Camlı kolektör)

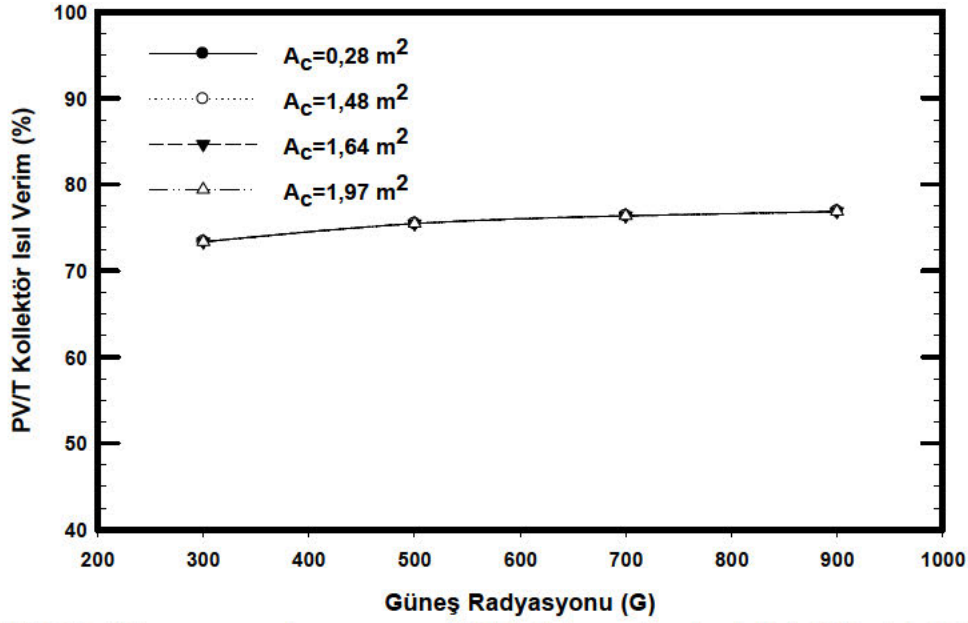
PV/T kolektörünün A_c alanının $0,28\text{m}^2$, $1,48\text{m}^2$, $1,64\text{m}^2$ ve $1,97\text{m}^2$ olduğu durumlardaki elektriksel verimi değişimleri değişken güneş radyasyonuna bağlı olarak incelenmiştir. Şekil 7.8'de görüldüğü tüm A_c alanlarında, güneş radyasyonunun $300 \text{ W/m}^2\text{K}$, $500 \text{ W/m}^2\text{K}$, $700 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $900 \text{ W/m}^2\text{K}$ olduğu değerlerde camlı PV/T elektriksel verimi değerleri sabit olup sırasıyla %21,06, %20,75, %20,44 ve %20,13 değerleri elde edilmiştir. Kolektör yüzeyine düşen güneş radyasyonu miktarı arttığında hücrenin sıcaklığı yükselir ve dolayısıyla elektriksel verim değeri düşmektedir. Bunun nedeni, hücrenin elektriksel verimliliğinin hücre sıcaklığı ile hücrenin nominal çalışma sıcaklığı arasındaki farktan kaynaklanmaktadır. Ayrıca, hücre sıcaklığı gelen radyasyondan kaynaklanan ısı akışının artması nedeniyle önemli ölçüde yükselir ve bunun sonucu elektriksel verimi azalmaktadır (Azad ve ark. 2023).

PV/T'nin yüzey alanı arttıkça ısı boru sayısı da artıracaktır. Bunun sonucu, sistemin elektriksel verimliliği artar ve maksimum genel sistem verimliliği (Elektriksel verimi ve ısı verimi toplama sonucu) için optimum panel yüzey alanı bulunabilir (Brahim ve ark. 2021). Camlı hibrid kolektör en düşük verimliliğe sahiptir, çünkü ek cam, cihazın elektriksel verimliliğini etkileyen sera etkisini artırmaktadır (Boumaaraf ve ark. 2021).



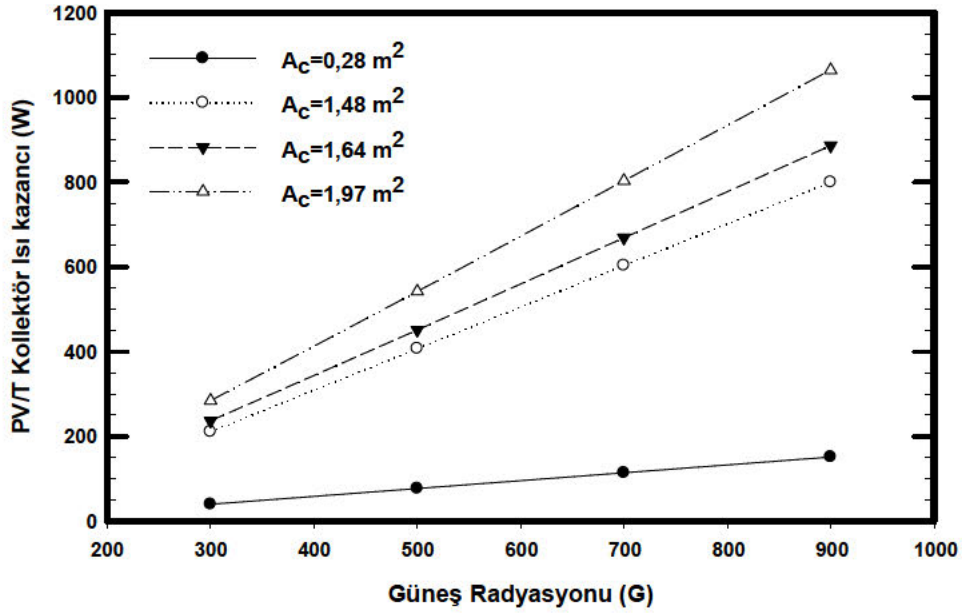
Şekil 7.8. Değişken güneş radyasyonuna göre PV/T kolektör elektriksel verim değişimi (Camlı kolektör)

PV/T kolektörünün, A_c alanının $0,28\text{m}^2$, $1,48\text{m}^2$, $1,64\text{m}^2$ ve $1,97\text{m}^2$ olduğu durumlardaki ısı verimini değişimleri değişken güneş radyasyonuna bağlı olarak incelenmiştir. Değişken güneş radyasyonuna göre ısı verimini değişimi Şekil 7.9'da verilmiştir. Şekil 7.9'da görüldüğü gibi A_c alanının $0,28\text{m}^2$ olduğu ve güneş radyasyonunun $300 \text{ W/m}^2\text{K}$, $500 \text{ W/m}^2\text{K}$, $700 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $900 \text{ W/m}^2\text{K}$ olduğu değerlerde sırasıyla camlı PV/T ısı verimi değerleri %73,35, %75,46, %76,36 ve %76,87 elde edilmiştir. Aynı şekilde tüm kolektör alanlarında camlı PV/T ısı verim değerlerinde değişim olmadığı görülmüştür. Kolektör yüzeyine düşen güneş radyasyonu miktarı arttığında hücrenin sıcaklığı artacak ve aynı zamanda ısı verim değeri de artacaktır. Kolektörün ısı verimi güneş ışınımındaki artış, kütle akış hızı ve su çıkışı ile giriş sıcaklığı arasındaki azalma ile arttığı sonucuna varılmıştır (Misha ve ark. 2019).



Şekil 7.9. Değişken güneş radyasyonuna göre PV/T kolektör ısı verim değişimi (Camlı kolektör)

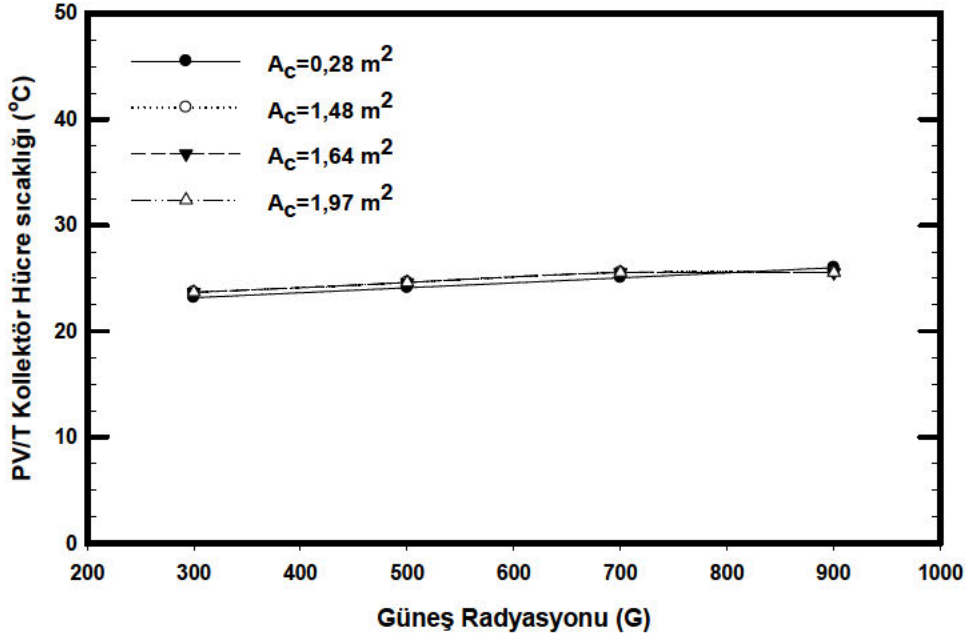
Şekil 7.10'da A_c alanının $0,28\text{m}^2$, $1,48\text{m}^2$, $1,64\text{m}^2$ ve $1,97\text{m}^2$ olduğu durumlardaki ısı kazancını değişimleri değişken güneş radyasyonuna bağlı olarak incelenmiştir. Değişken güneş radyasyonuna göre ısı kazancının değişimi Şekil 7.10'da verilmiştir. Şekil 7.10'da görüldüğü kolektör alanının $0,28\text{m}^2$ olduğu ve güneş radyasyonunun $300 \text{ W/m}^2\text{K}$, $500 \text{ W/m}^2\text{K}$, $700 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $900 \text{ W/m}^2\text{K}$ olduğu değerlerde sırasıyla camsız PV/T ısı kazancı değerleri $39,87\text{W}$, $77,00\text{W}$, $114,10\text{W}$ ve $151,30\text{W}$ elde edilmiştir. Kolektör alanının artmasıyla camsız PV/T ısı kazancı değerleri artmaktadır. En yüksek kolektör alanında, camlı PV/T ısı kazancı değerleri sırasıyla $284,33\text{W}$, $541,70\text{W}$, $802,92\text{W}$ ve $1064,15\text{W}$ elde edilmiştir. Kolektör alanının $0,28\text{m}^2$ olduğu durum ile $1,97\text{m}^2$ olduğu durum karşılaştırıldığında camsız PV/T ısı kazancının değeri $300 \text{ W/m}^2\text{K}$ güneş radyasyonu altında yaklaşık %613,32 ve $900 \text{ W/m}^2\text{K}$ güneş radyasyonu altında yaklaşık %603,34 arttığı görülmüştür. Güneş kolektör yüzeyine düşen güneş radyasyonu, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı ısı kazancı etkilemektedir. Ancak camsız PV/T kolektörlerde değeri düşmektedir. Bunun nedeni, kolektör yüzeyine monte edilen camın; güneş radyasyonunu emici plaka üzerine yansımını yardımcı olması ve bunun sonucunda ek ısıtma alabilmesidir. Güneş radyasyonu seviyeleri yükseldikçe, PV/T sistemi içindeki iletim ve konveksiyonu artar. Bunun sonucu, sistem boyunca daha fazla miktarda ısı dağıtılır ve bu şekilde PV/T kolektör ısı kazancıda arttığı görülmektedir (Azad ce ark. 2023).



Şekil 7.10. Değişken güneş radyasyonuna göre PV/T kollektör ısı kazancı değişimi (Camsız kollektör)

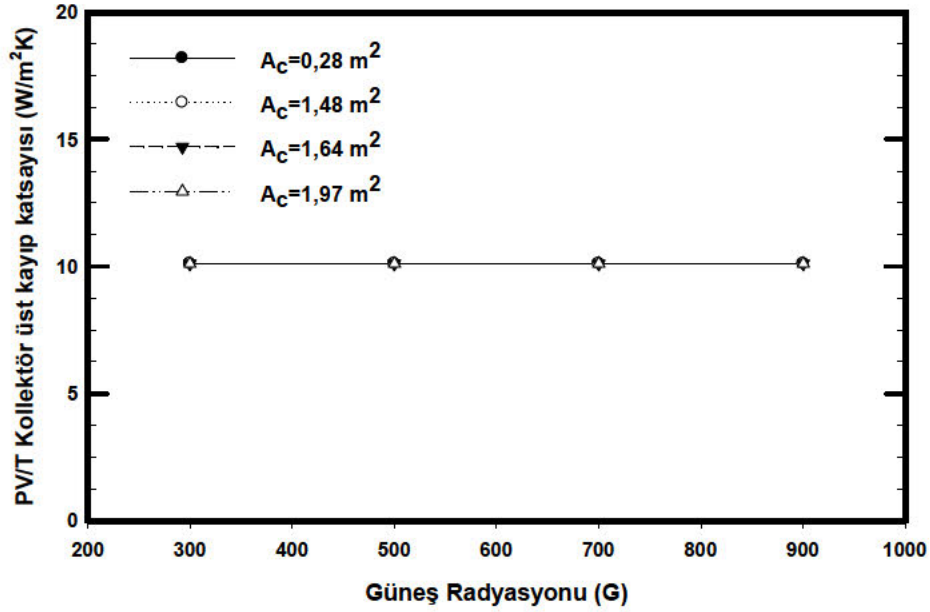
PV/T kollektörünün (kütle akışkan hızı 0,01 lps sabit olarak) A_c alanının 0,28m², 1,48m², 1,64m² ve 1,97m² olduğu durumlardaki hücre sıcaklığının değişimleri değişken güneş radyasyonuna bağlı olarak incelenmiştir. Değişken güneş radyasyonuna göre hücre sıcaklığının değişimi Şekil 7.11’de verilmiştir. Şekil 7.11’de görüldüğü gibi kollektör alanının artması ile hücre sıcaklığı değişmemektedir. Camsız PV/T hücre sıcaklığı değerleri tüm kollektör alanında sabit olup 23,16°C, 24,10°C, 25,04°C ve 26,0 °C değerleri elde edilmiştir.

Şekil 7.11’de görüldüğü gibi, hücre sıcaklığı artan güneş radyasyonu ile artmaktadır. Camsız PV/T hücrenin sıcaklığı gelen sıvının sıcaklığına ve ısı kazancı miktarına bağlıdır. Gelen sıvının sıcaklığı ve artan ısı kazancındaki artışı, hücrenin sıcaklığında bir artışa neden olmaktadır. Camsız PV/T yüzeyinde cam bulunmaması, elde edilen ısı kazancı değerini düşürerek hücre sıcaklığını düşmesine sebep olmaktadır.



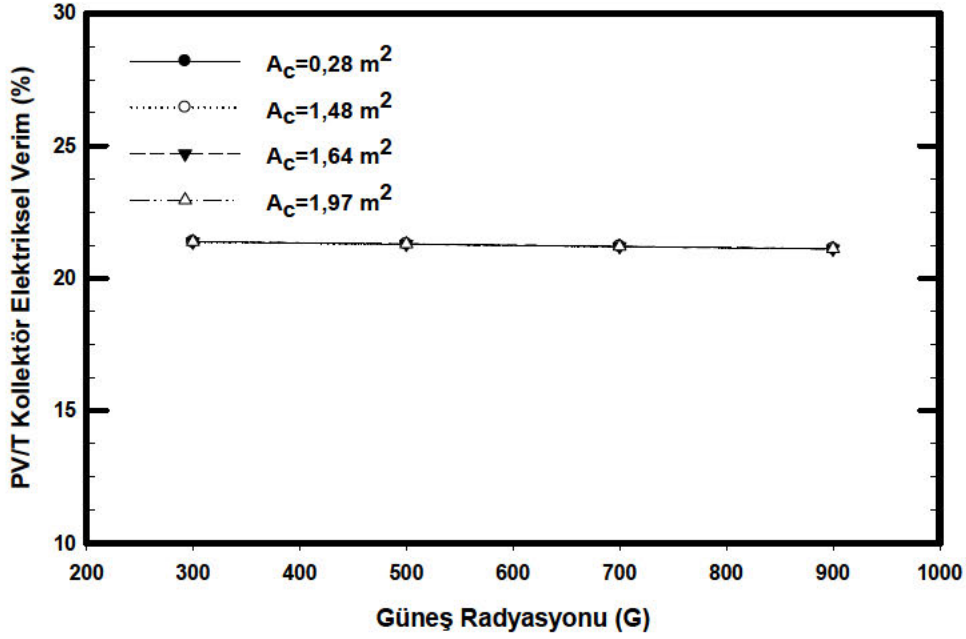
Şekil 7.11. Değişken güneş radyasyonuna göre PV/T kollektör ısı kazancı değişimi (Camsız kollektör)

PV/T kollektörünün A_c alanının $0,28\text{m}^2$, $1,48\text{m}^2$, $1,64\text{m}^2$ ve $1,97\text{m}^2$ olduğu durumlardaki üst kayıp katsayısını değişimleri değişken güneş radyasyonuna bağlı olarak incelenmiştir. Değişken güneş radyasyonuna göre üst kayıp katsayısını değişimi Şekil 7.12’de verilmiştir. Şekil 7.12’de görüldüğü hem kollektör alanının artması hemde güneş radyasyonun artması ile üst kayıp katsayısında değişim olmadığı görülmektedir. Güneş radyasyonunun $300 \text{ W/m}^2\text{K}$, $500 \text{ W/m}^2\text{K}$, $700 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $900 \text{ W/m}^2\text{K}$ olduğu değerlerde camsız PV/T üst kayıp katsayısı değeri sabit $10,11 \text{ W/m}^2\text{K}$ değeri elde edilmiştir. Üst kayıp katsayısı sabit ve değişken faktörlere bağlıdır. Üst kayıp katsayısını sabit faktörleri, yüzey yayılımı, cam yayılımı ve Stefan-Boltzmann sabitidir. Değişken faktörler ise, rüzgâr hızı, rüzgâr ısı transfer katsayısı, hücre sıcaklığı, eğim açısı ve hücre yüzeyinde kullanılan cam sayısıdır. Camsız PV/T, güneş radyasyonu ile ortam sıcaklığı arttırdığında ve aynı zamanda rüzgâr hızı sabit tutulduğunda üst kayıp katsayısının değeri sabit kalır. Ancak artan hücre sıcaklığı ile rüzgâr hızı, üst kayıp katsayısının değeri azalmaktadır. Ayrıca cam olmadığında rüzgâr soğurucunun yüzeyine doğrudan vurur, bu da soğurucunun düşürür ve üst kayıp katsayısı değerini yükseltmektedir.



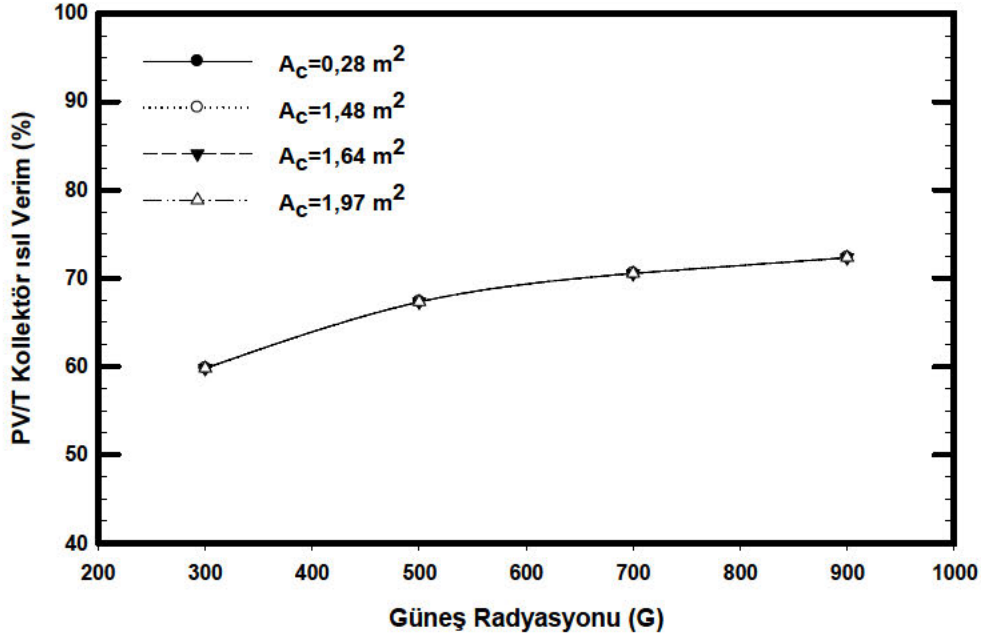
Şekil 7.12. Değişken güneş radyasyonuna göre PV/T kolektör üst kayıp katsayısı değişimi (Camsız kolektör)

PV/T kolektörünün A_c alanının $0,28\text{m}^2$, $1,48\text{m}^2$, $1,64\text{m}^2$ ve $1,97\text{m}^2$ olduğu durumlardaki elektriksel verimini değişimleri değişken güneş radyasyonuna bağlı olarak incelenmiştir. Değişken güneş radyasyonuna göre elektriksel verimini değişimi Şekil 7.13'te verilmiştir. Şekil 7.13'te görüldüğü kolektör alanının değişimiyle elektriksel verim üzerinde önemli bir değişim olmadığı görülmektedir. Camsız PV/T elektriksel verimi değerleri %21,38, %21,29, %21,20 ve %21,11 elde edilmiştir. Kolektör yüzeyine düşen güneş radyasyonu miktarı arttığında hücrenin sıcaklığı yükselir ve dolayısıyla elektriksel verim değeri düşmektedir. Bu durum, hücrenin elektriksel verimliliğinin hücre sıcaklığı ile hücrenin nominal çalışma sıcaklığı arasındaki farktan kaynaklanmaktadır. Ayrıca, hücre sıcaklığı gelen radyasyondan kaynaklanan ısı akışının artması nedeniyle önemli ölçüde yükselir ve bunun sonucu elektriksel verimi azalmaktadır (Azad ve ark. 2023). PV/T'nin yüzey alanı arttıkça ısı boru sayısında artacaktır. Bunun sonucu, sistemin elektriksel verimliliği artar ve maksimum genel sistem verimliliği (Elektriksel verimi ve ısı verimi toplama sonucu) için optimum panel panel yüzey alanı bulunabilmektedir (Brahim ve ark. 2021).



Şekil 7.13. Değişken güneş radyasyonuna göre PV/T kolektör elektriksel verim değişimi (Camsız kolektör)

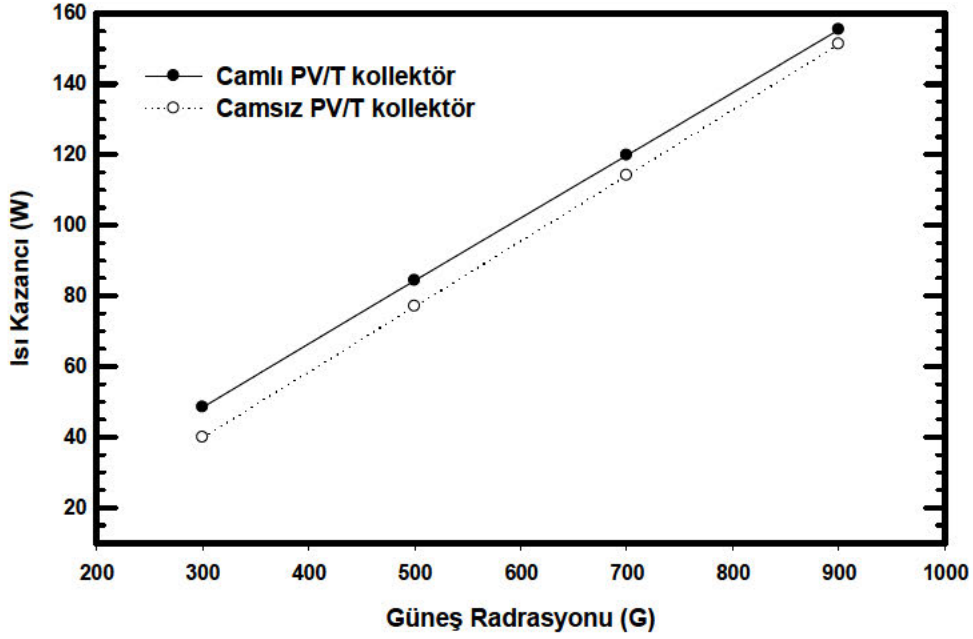
Yapmış olduğumuz çalışmada, PV/T kolektörünün A_c alanının $0,28\text{m}^2$, $1,48\text{m}^2$, $1,64\text{m}^2$ ve $1,97\text{m}^2$ olduğu durumlardaki ısı verimini değişimleri değişken güneş radyasyonuna bağlı olarak incelenmiştir. Değişken güneş radyasyonuna göre ısı verimini değişimi Şekil 7.14'te verilmiştir. Şekil 7.14'te görüldüğü gibi kolektör alanının artmasıyla ısı veriminde değişiklik olmadığı görülmektedir. Güneş radyasyonunun $300 \text{ W/m}^2\text{K}$, $500 \text{ W/m}^2\text{K}$, $700 \text{ W/m}^2\text{K}$ ve $900 \text{ W/m}^2\text{K}$ olduğu değerlerde camsız PV/T sistemin ısı verimi değerleri sırasıyla, %59,78, %67,32, %70,55 ve 72,34 elde edilmiştir. Kolektör yüzeyine düşen güneş radyasyonu miktarı arttığında hücrenin sıcaklığı artacak ve aynı zamanda ısı verim değeri de artacaktır. Camsız toplayıcının ısı performansı, güneş hücresine seçici bir kaplama uygulanırsa geliştirilebilir. Bu, kızılötesi spektrumdaki güneş hücresinin yayıcılığını azaltır, böylece radyasyon kayıplarını da azaldığı görülmektedir (Guarracion ve ark. 2016).



Şekil 7.14. Değişken güneş radyasyonuna göre PV/T kollektör ısı verim değişimi (Camsız kollektör)

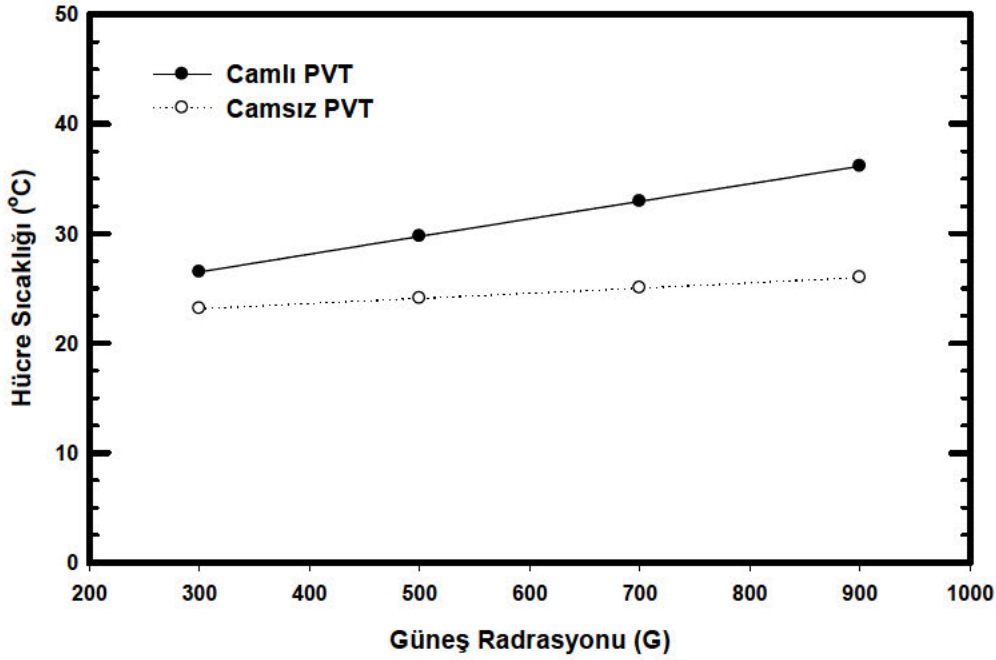
PV/T kollektör alanının $0,28\text{m}^2$ olduğu, değişken güneş radyasyonuna göre PV/T camlı ve camsız kollektörün ısı kazancının değişimi Şekil 7.15'te verilmiştir. Şekil 7.15'te görüldüğü gibi güneş radyasyonunun $300\text{ W/m}^2\text{K}$, $500\text{ W/m}^2\text{K}$, $700\text{ W/m}^2\text{K}$ ve $900\text{ W/m}^2\text{K}$ olduğu değerlerde sırasıyla camlı PV/T ısı kazancı değerleri $48,4\text{W}$, $84,33\text{W}$, $119,8\text{W}$ ve $155,4\text{W}$ 'tır. Camsız PV/T ısı kazancı değerleri ise, $39,87\text{W}$, $77,00\text{W}$, $114,10\text{W}$ ve $151,30\text{W}$ elde edilmiştir. Güneş kollektör yüzeyine düşen güneş radyasyonu, ortam sıcaklığı ve rüzgâr hızı ısı kazancı üretimini etkilemektedir.

Bu durumu hem camlı PV/T hem de camsız PV/T için geçerlidir. Tek farkı, PV/T kollektörünün yüzeyinde yüzeyine monte edilen camın; güneş radyasyonunu emici plaka üzerine yansımaya yardımcı olması ve bunun sonucunda ek ısıtma alabilmesidir. Güneş radyasyonu seviyeleri yükseldikçe, PV/T sistemi içindeki iletim ve konveksiyonu artar. Bunun sonucu, sistem boyunca daha fazla miktarda ısı dağıtılır ve bu şekilde PV/T kollektör ısı kazancıda arttırmaktadır (Azad ve ark. 2023).



Şekil 7.15. Değişken güneş radyasyonuna göre PV/T kolektör ısı kazancı ($A_c= 0,28m^2$)

PV/T kolektör alanının $0,28m^2$ olduğu, değişken güneş radyasyonuna göre PV/T camlı ve camsız kolektörün hücre sıcaklığını değişimi Şekil 7.16'da verilmiştir. Şekil 7.16'da görüldüğü gibi güneş radyasyonunun $300 W/m^2K$, $500 W/m^2K$, $700 W/m^2K$ ve $900 W/m^2K$ olduğu değerlerde sırasıyla camlı PV/T hücre sıcaklığı değerleri $26,50^\circ C$, $29,75^\circ C$, $32,95^\circ C$ ve $36,15^\circ C$ 'dir. Camsız PV/T hücre sıcaklığı değerleri ise, $23,16^\circ C$, $24,10^\circ C$, $25,04^\circ C$ ve $26,00^\circ C$ elde edilmiştir. Şekil 7.16'da görüldüğü gibi, güneş radyasyonu ile hücre sıcaklığı arasında doğru bir orantı vardır. Hücre sıcaklığı artan güneş radyasyonu ile artmaktadır. Ayrıca, PV/T hücre sıcaklığı gelen sıvının sıcaklığını ve ısı kazancı miktarına bağlıdır. Fotovoltaik hücre sıcaklığı, sıvı alanının çıkış sıcaklığı ve elektrik gücü, güneş radyasyondaki artışla arttığı görülmektedir (Azad ve ark. 2023).



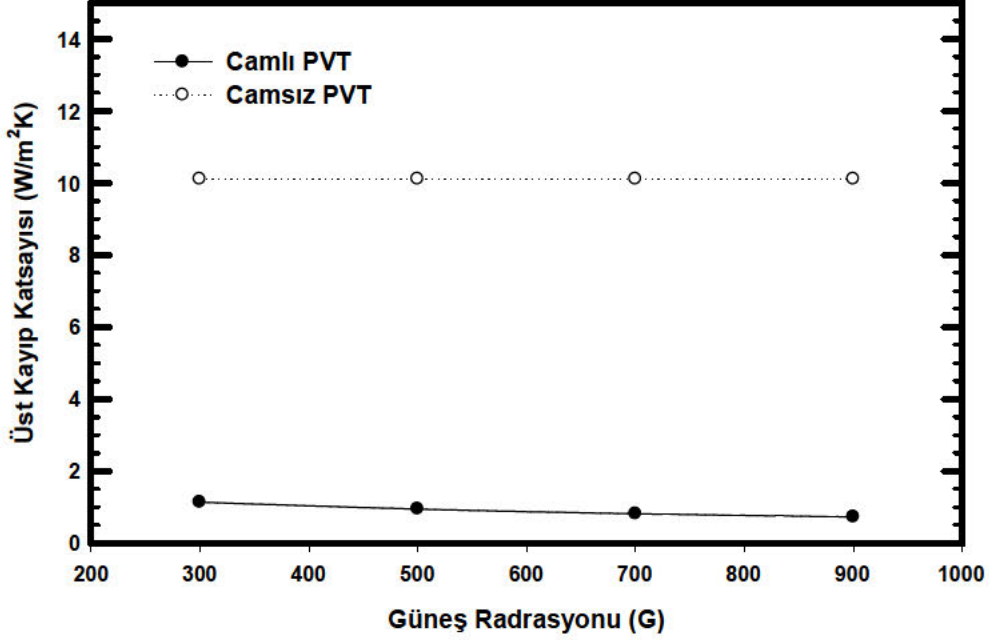
Şekil 7.16. Değişken güneş radyasyonuna göre PV/T kolektörün hücre sıcaklığı ($A_c = 0,28m^2$)

PV/T kolektör alanının $0,28m^2$ olduğu, değişken güneş radyasyonuna göre PV/T camlı ve camsız kolektörün üst kayıp katsayısı değişimi Şekil 7.17’de verilmiştir. Şekil 7.17’de görüldüğü gibi güneş radyasyonunun $300 W/m^2K$, $500 W/m^2K$, $700 W/m^2K$ ve $900 W/m^2K$ olduğu değerlerde sırasıyla camlı PV/T üst kayıp katsayısı değerleri $1,14 W/m^2K$, $0,95 W/m^2K$, $0,82 W/m^2K$ ve $0,73 W/m^2K$ ’tır. Camsız PV/T üst kayıp katsayısı değeri sabit $10,11 W/m^2K$ olduğunu tespit edilmiştir.

Üst kayıp katsayısı sabit ve değişken faktörlere bağlıdır. Üst kayıp katsayısını sabit faktörleri, yüzey yayılımı, cam yayılımı ve Stefan-Boltzmann sabitidir. Değişken faktörler ise, rüzgâr hızı, rüzgâr ısı transfer katsayısı, hücre sıcaklığı, eğim açısı ve hücre yüzeyinde kullanılan cam sayısıdır. Camlı PV/T durumunda güneş radyasyonu miktarı arttığında, hücre sıcaklığının artması ve sabit rüzgâr hızı nedeniyle üst kayıp katsayısı değeri azaldığı görülmüştür. Ancak hücre sıcaklığı ile rüzgâr hızı arttıkça üst kayıp katsayısının değeri artmaktadır. Ayrıca camlı PV/T sisteminde kullanılan kaplamalarını, kolektör üst kayıp katsayısı %82 azalmaktadır (Lammle ve ark. 2016).

Camsız PV/T, güneş radyasyonu ile ortam sıcaklığı arttırdığında ve aynı zamanda rüzgâr hızı sabit tutulduğunda üst kayıp katsayısının değeri sabit kalır. Ancak artan hücre sıcaklığı ile rüzgâr hızı, üst kayıp katsayısının değeri azalmaktadır. Ayrıca cam olmadığında rüzgâr soğurucunun yüzeyine doğrudan vurur ve üst kayıp katsayısı değerini yükseltmektedir. PV/T kolektöründeki PV modülü, ısı iletim hızını önemli ölçüde azaltan ek bir termal direnç görevi görür.

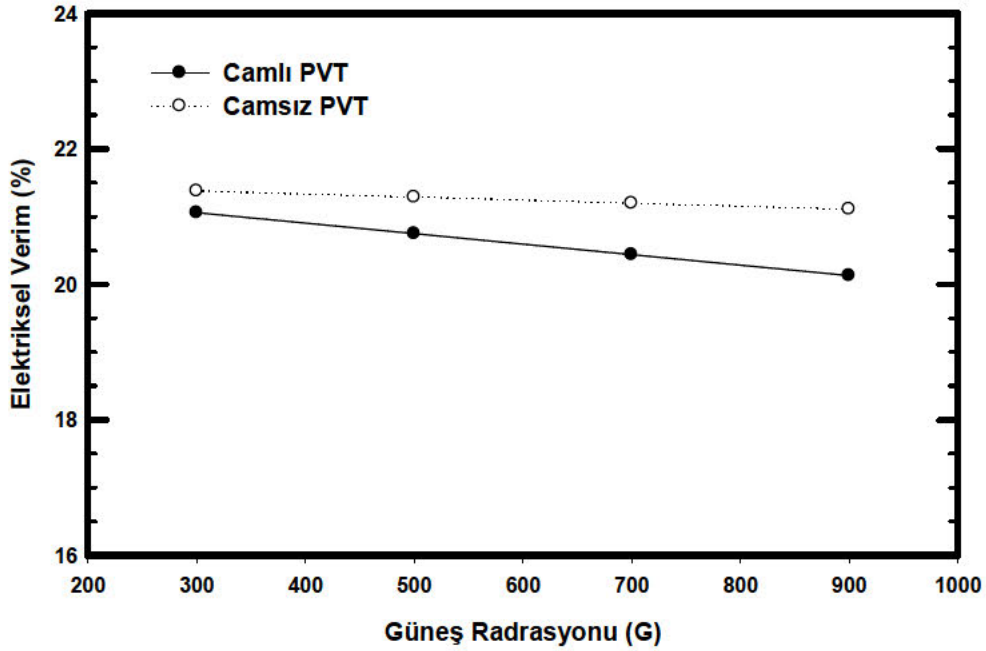
Cam kapak nedeniyle, üstten gelen ısı kaybı katsayısı önemli ölçüde azaltılır ve bu da camlı PV/T toplayıcıda daha yüksek bir genel ısı verimliliği sağlar (Chen ve ark. 2018).



Şekil 7.17. Değişken güneş radyasyonuna göre PV/T kolektörün üst kayıp katsayısı ($A_c = 0,28m^2$)

PV/T kolektör alanının $0,28m^2$ olduğu, değişken güneş radyasyonuna göre PV/T camlı ve camsız kolektörün elektriksel veriminin değişimi Şekil 7.18’de verilmiştir. Şekil 7.18’de görüldüğü gibi güneş radyasyonunun $300 W/m^2K$, $500 W/m^2K$, $700 W/m^2K$ ve $900 W/m^2K$ olduğu değerlerde sırasıyla camlı PV/T elektriksel verimi değerleri %21,06, %20,75, %20,44 ve %20,13’tir. Camsız PV/T elektriksel verimi değerleri ise, %21,38, %21,29, %21,20 ve %21,11 elde edilmiştir.

Kollektör yüzeyine düşen güneş radyasyonu miktarı arttığında hücrenin sıcaklığı yükselir ve dolayısıyla elektriksel verim değeri düşer. Bunun nedeni, hücrenin elektriksel verimliliğinin hücre sıcaklığı ile hücrenin nominal çalışma sıcaklığı arasındaki farktan kaynaklanmaktadır. Ayrıca, hücre sıcaklığı gelen radyasyondan kaynaklanan ısı akışının artması nedeniyle önemli ölçüde yükselir ve bunun sonucu elektriksel verimi azalmaktadır (Azad ve ark. 2023). Camlı PV/T kolektör en düşük verimliliğe sahiptir. Çünkü ek cam, cihazın elektriksel verimliliğini etkileyen sera etkisini artırmaktadır (Boumaaraf ve ark. 2021).

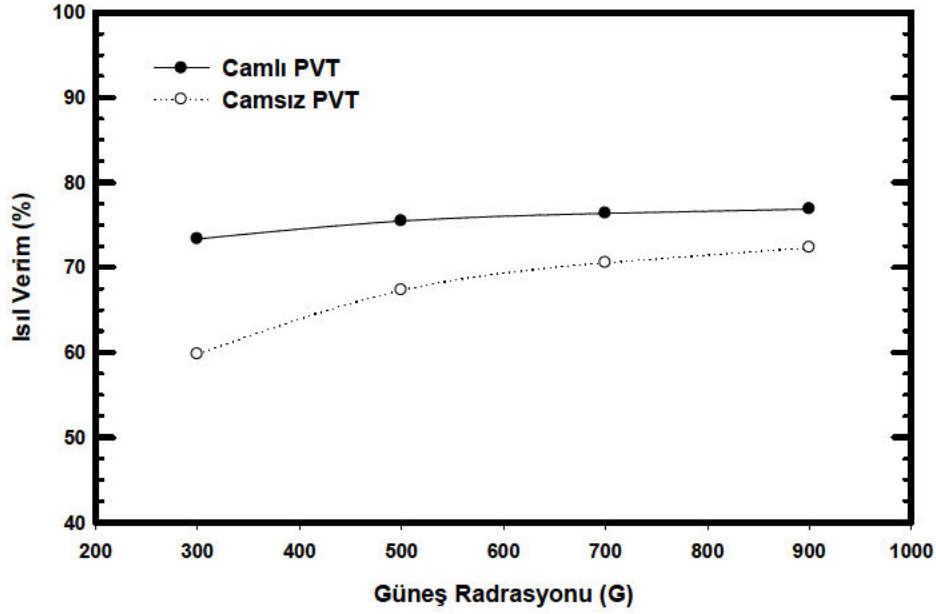


Şekil 7.18. Değişken güneş radyasyonuna göre PV/T kolektörün elektriksel verimi ($A_c = 0,28m^2$)

PV/T kolektör alanının $0,28m^2$ olduğu, değişken güneş radyasyonuna göre PV camlı ve camsız kolektörün ısı verim değişimi Şekil 7.19'da verilmiştir. Şekil 7.19'da görüldüğü gibi güneş radyasyonunun $300 W/m^2K$, $500 W/m^2K$, $700 W/m^2K$ ve $900 W/m^2K$ olduğu değerlerde sırasıyla camlı PV/T ısı verimi değerleri %73,35, %75,46, %76,36 ve %76,87'tir. Camsız PV/T ısı verimi değerleri ise, %59,78, %67,32, %70,55 ve %72,34 elde edilmiştir.

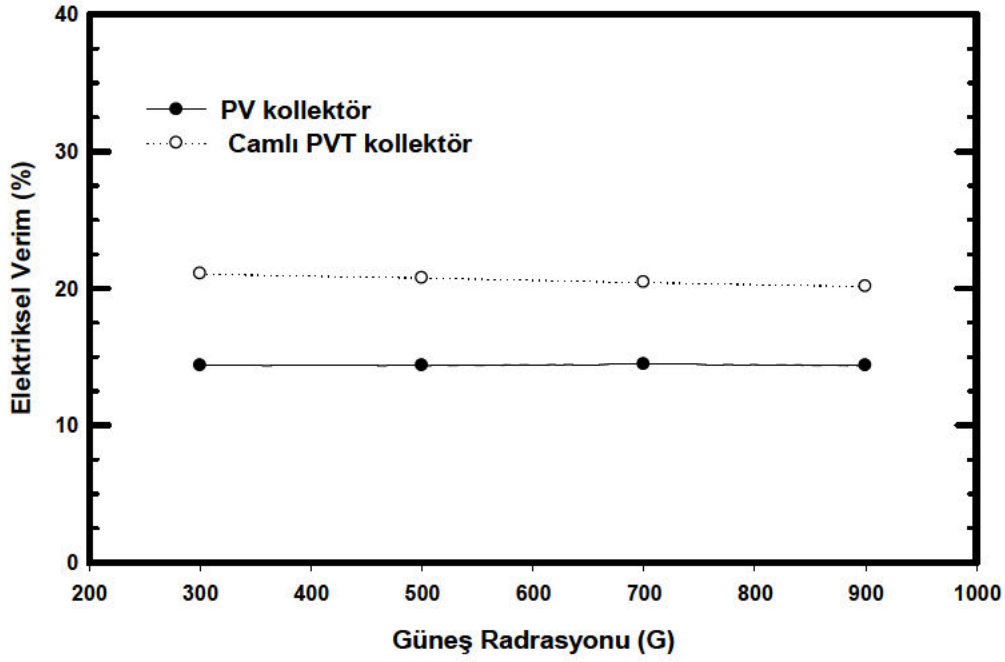
Kolektör yüzeyine düşen güneş radyasyonu miktarı arttığında hücrenin sıcaklığı artacak ve aynı zamanda ısı verim değeri de artacaktır. Camlı PV/T sistemlerinin ısı verimli değeri, camsız PV/T sistemlerdeki değerinden daha yüksektir. Çünkü camlı PV/T sistemlerde, cam yalıtımın güneş yansımından dolayı hücre sıcaklığını arttırmasıdır. Ayrıca hücreye giren akışkanın daha yüksek sıcaklıkta tutulmasını sağlar ve buda ısı verimin artmasına neden olmaktadır.

Camlı PV/T kolektörün ısı verimi camsız kolektörün ısı verimi ile karşılaştırıldığı zaman, güneş radyasyonunun $300 W/m^2K$, $500 W/m^2K$ ve $700 W/m^2K$ olduğu durumlarda arttığı fakat $700 W/m^2K$ olduğu durumdan sonra ısı verimde önemli bir değişimin olmadığı görülmektedir. Camlı PV/T ve camsız PV/T yüzeyler arasındaki en büyük ısı verim değişimi güneş radyasyonunun $300 W/m^2K$ olduğu durumda elde edilmiştir. Bu değer yaklaşık olarak camsız değere göre %13,57 daha yüksek olduğunu görülmektedir. Camsız toplayıcının ısı performansı, güneş hücresine seçici bir kaplama uygulanırsa geliştirilebilir. Bu, kızılötesi spektrumdaki güneş hücresinin yayıcılığını azaltır, böylece radyasyon kayıplarını da azaltmaktadır (Guarracion ve ark. 2016).



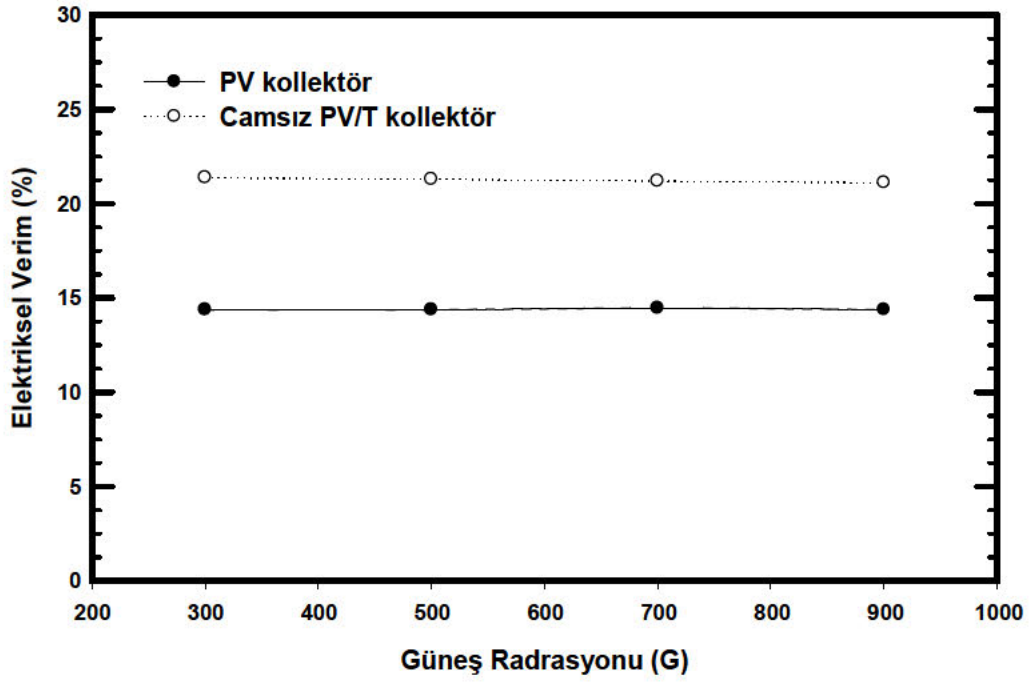
Şekil 7.19. Değişken güneş radyasyonuna göre PV/T kolektörün ısı verimi ($A_c= 0,28m^2$)

PV/T kolektör alanının $0,28m^2$ olduğu, değişken güneş radyasyonuna göre PV elektriksel verim ve camlı PV/T kolektörün elektriksel veriminin değişimi Şekil 7.20'de verilmiştir. Şekil 7.20'de görüldüğü gibi güneş radyasyonunun $300 W/m^2K$, $500 W/m^2K$, $700 W/m^2K$ ve $900 W/m^2K$ olduğu değerlerde sırasıyla PV elektriksel verimi değerleri %14,37, %14,37, %14,46 ve %14,37'tir. Camlı PV/T elektriksel verimi değerleri ise, %21,06, %20,75, %20,44 ve %20,13 elde edilmiştir. Şekil 7.20'de görüldüğü gibi güneş radyasyonunun ile elektriksel verimi arasında ters bir orantı vardır. Sıvı sirkülasyonunun PV/T hücreleri soğutucu görevi göreceği, performansını artıracığı ve korunmasına yardımcı olacaktır. Bu nedenler PV/T kolektörün elektriksel verimi PV kolektörden yüksektir.



Şekil 7.20. Değişken güneş radyasyonuna göre kolektörün elektriksel verimi ($A_c = 0,28m^2$)

PV kolektörünün alanı $0,28m^2$ olduğu değişken güneş radyasyonuna göre PV elektriksel verimi ve camsız PV/T elektriksel veriminin değişimi Şekil 7.21’de verilmiştir. Şekil 7.21’de görüldüğü gibi güneş radyasyonunun $300 W/m^2K$, $500 W/m^2K$, $700 W/m^2K$ ve $900 W/m^2K$ olduğu değerlerde sırasıyla PV elektriksel verimi değerleri %14,37, %14,37, %14,46 ve %14,37’dir. Camsız PV/T elektriksel verimi değerleri ise, %21,38, %21,29, %21,20 ve %21,11 elde edilmiştir. Sıvı sirkülasyonunun PV/T hücreleri soğutucu görevi göreceği, performansını artıracığı ve korunmasına yardımcı olacaktır. Bu nedenler PV/T kolektörün elektriksel verimi PV kolektörden yüksektir. Camsız PVT sisteminin elektriksel verimliliği camlı PVT’den daha yüksek olduğundan dolayı camsız PVT tercih edilir. Bununla birlikte, daha fazla genel enerji camsız olana kıyasla daha yüksek genel verime sahip olduğu için camlı PVT sistemi önerilir (Kazemian ve ark. 2018).



Şekil 7.21. Değişken güneş radyasyonuna göre kolektörün elektriksel verimi ($A_c= 0,28m^2$)

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, tek diyotlu eşdeğer devre modeli ve düzlemsel sıvı tip kollektör üzerine farklı şartları uygulayarak ve Matlab/Simulink kullanılarak PV ve PV/T sistemleri performans analizi yapılmıştır.

PV Sistemi

PV sistemi analizi etmek için tek diyotlu eşdeğer devre modelini kullanılmıştır. Tek diyotlu eşdeğer devre modelini belirleyen parametreler, ışık tarafından üretilen akım (I_L), karanlıkta ters doyma akımı (I_0), düzeltilmiş diyot faktörü (A), seri direnç (R_S) ve paralel dirençtir (R_{SH}). Bu 5 parametre hesaplamak için, kısa devre akımı (I_{SC}) ve açık devre gerilimi (V_{oc}) hesaplanması gerekmektedir.

Bu bölümde farklı 4 akım hesaplanmıştır. Bunlar; diyot akımı (I_d), ters doyma akımı (I_0), ışık tarafından üretilen akım (I_L), ve PV hücre akım (I_{PV})'dir. Aynı zamanda PV hücre gerilimi (V_{PV}), elektriksel verimi (N_{ep}) ve doldurma faktörü (FF)'de hesaplanmıştır.

Simülasyon sonuçlara göre (kollektör alanı=0.28 m²);

- Kollektör alan artması, kollektörün akımı, kollektör gerilimi, elektriksel verimi ve doldurma faktörü artırdığını görülmüştür. Kollektör alanının 0,28m²'den 1,97m²'ye artmasıyla, kollektör akımında %276,81 artışı, kollektör geriliminde %74 artış, elektriksel verimde %34,8 artış ve doldurma faktöründe %19,7 artış meydana gelmiştir.
- Güneş radyasyon artması, kollektörün akımı artırdığını tespit edilmiştir. Aynı zamanda kollektörün gerilimi, elektriksel verimi ve doldurma faktörü azaldığını tespit edilmiştir. Güneş radyasyon artması, kollektör alanının artması, kollektör akımında %144,92 artış, kollektör geriliminde %8,77 azalma, elektriksel verim ve doldurma faktöründe herhangi bir değişiklik olmadığı görülmüştür.

PV/T Sistemi

PV/T sistemi ısı ve elektriksel verimini analizi etmek için düzlemsel sıvı tip kollektör kullanılmıştır. Bu analizde bilgisayar ortamında ve Hottel-Whiller denklemleri kullanılarak yapılmıştır. Isıl ve elektriksel verimleri hesaplayabilmek için birçok parametrelerin hesaplanması gerekmektedir. Bunlar; ısı kazancı (Q), üst kayıp katsayısı (U_t) ve hücre sıcaklığı (T_c). Bu bölümde hem camlı PV/T hem de camsız PV/T için analiz yapılmıştır.

- **Camlı PV/T Kollektör** ($A_c=0.28$ m²)
 - Kollektör alanının artmasıyla, ısı kazancı ve ısı verimi arttığı görülmüştür. Aynı zamanda hücre sıcaklığı, üst kayıp katsayısı ve elektriksel verimi bir değişim olmadığı tespit edilmiştir. Kollektör alan artması, sadece ısı kazancında %601,73 artış elde edilmiştir.

- PV/T camlı sistemlerde kullanılan cam yalıtımı, güneş radyasyonu yansımaları nedeniyle PV/T modülü sıcaklığındaki artışı ile yüksek ısı verimliliği yol açmıştır. Aynı zamanda sıvı sıcaklığının artmasına göre elektriksel verimi azalmıştır. Güneş radyasyonu artması, ısı kazancı %221,07 artış, hücre sıcaklığı %36,42 artış, üst kayıp katsayısı %35,96 azalma, elektriksel verimde %4,42 azalma ve ısı veriminde %4,80 artışa sebep olmuştur.
- Camlı PV/T Sistemlerde cam geçirgenliği yüksek olduğundan dolayı rüzgâr artmasıyla değişim olmadığını tespit edilmiştir. Rüzgâr hızı artması sadece üst kayıp katsayısında %14,04 artışa sebep olmuştur.
- **Camsız PV/T Kollektör ($A_c=0.28 \text{ m}^2$)**
 - Kollektör alanının artması, ısı kazancının artırdığı görülmüştür. Aynı zamanda camsız PV/T kollektörün, ön plakadan daha fazla ısı kayıpları olduğundan dolayı hücre sıcaklığı, üst kayıp katsayısı, elektriksel verimi ve ısı verimi bir değişim olmadığını tespit edilmiştir. Kollektör alan artması, ısı kazancında %603,54 artışa sebep olmuştur.
 - Güneş radyasyon artması, ısı kazancı, hücre sıcaklığı ve ısı verimini artırmaktadır. Aynı zamanda elektriksel verimi azaldığını tespit edilmiştir. Çünkü camsız sistemlerde güneş radyasyonu geçirgenliği yüksektir. Güneş radyasyonu artması, ısı kazancı %279,36 artışı, hücre sıcaklığı %12,26 artış, üst kayıp katsayısında değişim olmadığı, elektriksel verimde %1,26 azalma ve ısı veriminde %21 artış meydana geldiği görülmüştür.
 - PV/T camsız olduğundan dolayı rüzgâr hızı artmasıyla sadece üst kayıp katsayısında %10,78 artış meydana gelmiştir.
 - Simülasyon sonuçlarına göre; camlı PV/T kollektör ısı kazancı, hücre sıcaklığı, üst kayıp katsayısı, elektriksel verimi ve ısı verim açısından daha uygun olduğu bulunmuştur.

KAYNAKÇA

- Abdullah, A. L., Misha, S., Tamaldinin, N., Rosli, M.A., 2019. Hybrid Photovoltaic Thermal Pvt Solar System Simulation Via Simulink / Matlab. *Cfd Letters*, 11,4, 64-78.
- Adnan İ.M., Othman, M.H., Ruslan, M.A., Alghoul, M., Yahya, M., Zaharim, A., Sopian, K., 2009. Performance Of Photovoltaic Thermal Collector (Pvt) With Different Absorbers Design. *Wseas Transactions On Environment And Development Issue 3, Volume 5*.
- Akyüz, E., 2010. *Hibrid Yenilenebilir Enerji Sistemleri İle Elektrik Ve Hidrojen Üretiminin Araştırılması*. Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Balıkesir.
- Anderson, T.N., Duke, M., Morrison, G.L., Garson, J.K., 2009. Performance Of A Building Intergated Photovoltaic / Thermal (BIPVT) Solar Collector. Vol. 83. Issue 4. *ELSEVIR*, 445-455.
- Anonim, 2000. *Block Libraries*, https://www.mathworks.com/help/simulink/referencelist.html?type=block&category=block-libraries&s_tid=CRUX_topnav (09.10.2022).
- Anonim, 2001. MATLAB STUDENT VERSION. The MathWorks, Inc., 12-14.
- Anonim, 2008. *Güneş enerjisi*. https://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%BCne%C5%9F_enerjisi (05.11.2022).
- Anonim, 2012. *Düzensel Toplayıcılar Bileşenleri*, <http://www.guneyasangunesenerjisi.com.tr/?pnum=14> (22.03.2022).
- Anonim, 2014. *Güneş Enerjisi ve Teknolojileri*, http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx (01.01.2022).
- Anonim, 2015. *Solar Flat Plate Collectors for Solar Hot Water*, <https://www.alternative-energy-tutorials.com/solar-hot-water/flat-plate-collector.html> (20.01.2023).
- Anonim, 2020. *Solar thermal collector*, https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_thermal_collector (18.11.2022).
- Anonim, 2021. *Flat Plate Collectors: Principle, Components and Types*, https://www.brainkart.com/article/Flat-Plate-Collectors--Principle-Components-Types_13708/ (20.01.2023).
- Anonim, 2021. *Simulink Nedir*, <https://www.elektrikde.com/simulink-nedir/> (01.02.2022).
- Anonim, 2022. *Solar energy*. https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy (11.11.2022).
- Anonim, 2022. *Simulink'e Giriş (Simulink 101)*, <https://matlabturkiye.com/makaleler/simulink/23/simulink-giris-simulink101.html> (01.02.2022).
- Azad, A. K. ve Parvin, S., 2023. Photovoltaic thermal (PV/T) performance analysisi for different flow regimes: A comparative numerical study. *International Journal of Thermofluids* 18 (2023) 100319.
- Balotaki, H. K., ve Saidi, M. H., 2019. Design and performance of a novel hybrid photovoltaic-thermal collector with pulsating heat pipe (PVTPHP). *Iran J Sci Technol Mech Eng* (2019) 43 (Suppl 1): S371-S381.
- Boumaaraf, H., Boumaaraf, B., Slimani, M. E., Ait-cheikh, M. S., ve Touafek, K., 2021. A comparative study on two different configurations of hybrid photovoltaic thermal collector with experimental validation and uncertainty analysis. *Sustainable Energy*.
- Brahim, T., ve Jemin, A., 2021. Parametric study of photovoltaic/thermal wickless heat pipe solar collector. *Energy Conversion and Management* 239 (2021) 114236.

- Chauhan, V., Tyagi, V., Anand, S., 2018. Futuristic approach for thermal management in solar PV/thermal systems with possible applications. *Energy Conversion and Management*, vol 163, 314-354.
- Chen, J. F., Zhane, L., ve Dai, Y.J., 2018. Performance analysis and multi-objective optimization of a hybrid photovoltaic/thermal collector for domestic hot water application. *Energy* 143(2018)500-516.
- Çarkıt, T., 2017. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Depolama Sistemlerinin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi*, T.C. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Erciyes.
- Çetinbaş, İ., 2014. *Güneş Enerjili Sistemlerde Kullanılan Maksimum Güç Noktası Takibi Yöntemlerinin Zeki Algoritmalar Yardımıyla Uygulanması*. Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Karabük.
- Das, D., Kalita, P., Roy, O., 2018. Flat plate hybrid photovoltaic- thermal (PV/T) system: A review on design and development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 84, 111-130.
- Das, S., 2022. *PV Cell Working Principle | How Solar Photovoltaic Cells Work*. Retrieved from Electronics and You: [http://www.electronicandyou.com/pv-cell-working-principle-how-solar-photovoltaic-cells-work.html#:~:text=PV%20Cell%20Working%20Principle%20to%20Generate%20Electricity,-Solar%20cells%20convert&text=Solar%20cells%20contain%20a%20material.negative%20charge%20\(09.09.2022\).](http://www.electronicandyou.com/pv-cell-working-principle-how-solar-photovoltaic-cells-work.html#:~:text=PV%20Cell%20Working%20Principle%20to%20Generate%20Electricity,-Solar%20cells%20convert&text=Solar%20cells%20contain%20a%20material.negative%20charge%20(09.09.2022).)
- Duffi, J.A., Backman, W.A., 2005. *Solar Engineering Of Thermal Processes*. Wisconsin-Madison: Solar Energy Laboratory University Of Wisconsin-Madison.
- Dupre, O., Vaillon, R., Green, M.A., 2016. *Thermal Behaviour of Photovoltaic Devices*. Springer.
- Durusu, A., 2011. Fotovoltaik güneş enerji sistemlerinde kullanılan maksimum güç noktası takip ediciler için farklı algoritmaların karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- El Amin, A. A. ve Al-Maghrabi, M. A., 2018. The analysis of temperature effect for mc-si photovoltaic cells performans. *Silicom* (2018) 10:1551-1555.
- Ezcan, H. O., 2019. *Fotovoltaik Termal (PV/T) Enerji Sistemlerinin Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Farghally, H.M., Ahmed, N.M., El-Madany, H.T., Atia, D.M., Fahmy, F.H., 2015. Design And Sensitivity Analysis Of Photovoltaic / Thermal Solar Collector. *D.M.Atia Et Al / International Energy Journal* 15., 21 – 32.
- Fudholi, A., Sopin, K., Yazdi, M.H., Ruslan, M.H., İbrahim, A., Kazim, H.A., 2014. Performance Analysis Of Photovoltaic Thermal (PVT) Water Collectors. *Energy Conversion And Management* 78,, 641-651.
- Girgin, M.H., 2010. *Bir Fotovoltaik Güneş Enerjisi Santralinin Fizibilitesi, Karaman Bölgesinde 5 Mw'lık Güneş Enerjisi Santrali İçin Enerji Üretim Değerlendirmesi Ve Ekonomik Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, İstanbul.
- Guarracion, İ., Mellor, A., Ekins-Daukes, N. J., ve Markides, C. N., 2016. Dynamic coupled thermal-and-electrical modelling of sheet-and-tube hybrid photovoltaic (PVT) collector. *Applied Thermal Engineering* 101 (2016) 778-795
- Jallad, J.S., 2012. *Design and Simulation of a Photovoltaic System with Maximum Power Control to Supply a Load with Alternating Current*. Master, An-Najah National University Faculty of Graduate Studies, Nablus.
- Karamanav, M., 2007. *Güneş Enerjisi Ve Güneş Pilleri*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Kazemian, A., Hosseinzadeh, M., Serdarabadi, M. ve Passandideh-fard, M., 2018. Effect of glass cover and working fluid on the performance of photovoltaic thermal (PVT) system: An experimental study. *Solar Energy* 173 (2018) 1002-1010.

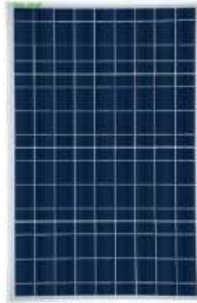
- Kenar, M., 2019. *Güneş Enerjisi Üretim Sistemleri İçin Dc/Dc Ve Dc/Ac Güç Dönüştürücülerinin Tasarımı Ve Fuzzy-PI İle Kontrolü*. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Kılıç, I.M., 2007. *Fotovoltaik sistemi eğitimi için bir simulink araç kutusu tasarım ve uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla.
- Koç, İ., Başaran, K., 2018. PV/T Tabanlı Bir Sistemde MATLAB/Simulink Kullanılarak Yapılan Performans Analizi. *Politeknik Dergisi* .
- Koç, İ., Başaran, K., 2019. PV/T Tabanlı Bir Sistemde Matlab/Simulink Kullanılarak Yapılan Performans Analizi. *Politeknik Dergisi* ; 22(1), 229 – 239.
- Kumbasar, A., 2010. *DA çevirici temelli fotovoltaik elektrik üretim sistemlerinin incelenmesi ve simülasyonu*. Yüksek Lisans Tezi , Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kvarner, R., 2012. *PHOTOVOLTAIC SYSTEMS*. IRENA- Istrian regional energy agency.
- Lam, Kroyer, T., Fortuin, S., Wiese, M., ve Hermann, M., 2016. Development and modeling of highly-efficient PVT collectors with low-emissivity coatings. *Sol Energy* (2016) 130:161-37.
- Marimuthu, M., Geetha, P., Deepiha, P., Sridhara, M., 2015. MATLAB Simulation of Transparent Glass PV/T Hybrid Water Collectors. *IEEE Sponsored 9th International Conference on Intelligent Systems and Control (ISCO)*.
- Misha, S., Lateef, A., Tamaldin, N., Rosli, M.A.M., Sachit, F.A., 2019. Simulation CFD and experimental investigation of PVT water system under natural Malaysian weather conditions. *Energy Reports* In press. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2019.11.162>.
- Özel, H., 2018. *MATLAB Nedir*, <https://halilozel1903.medium.com/matlab-nedir-91a904a74f45> (01.02.2022).
- Palaskar, V.N., Deshmukh, S.P., 2013. A Critical Review on Enhancement in System Performance of Flat Plate Hybrid PV/T Solar Collector System. *International Journal of Energy Science (IJES)*, Volume 3 Issue 6.
- Rekha, L., Vijayalakshmi, M.M., Natarajan, E., 2016. Photovoltaic Thermal Hybrid Solar System for Residential Applications. *Energy Sources Part A Recovery Utilization and Environmental Effects* 38 (7), 951-959.
- Slimani, M.A., Amirat, M., Kurucz, I., Bahria , S., Hamidat, W.B., 2017. A Detailed Thermal-Electrical Model Of Three Photovoltaic/Thermal (PV/T) Hybrid Air Collectors Adn Photovoltaic (PV) Module: Comparative Study Under Algiers Climatic Condit. *Energy Conversion and Management*, 458-476.
- Soto, W.D., 2004. *Improvement and Validation of a Model for Photovoltaic Array Performance* . Wisconsin-Madison: Solar Energy Laboratory University of Wisconsin-Madison, Master of Science Mechanical Engineering.
- Şentürk, A., 2018. Fotovoltaik Modüllerin Akım-Gerilim Eğrilerinin Simülasyonunda Kullanılacak Olan Yöntemin Seçimi. *Baun Fen Bil. Enst. Dergisi*, 20(1) , 341-354.
- Şerefoğlu, Ş., 2014. *Solar sistemler için akıllı evirici tasarımı ve uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
- Tezcan, M., 2011. *Düzlemsel Kollektör Ve Verim Hesaplamaları*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Tripanagnostopoulos , Y., Souliotis , M., Battisti, R., 2003. *Application Aspects of Hybrid PVT/AIR Solar Systems*. ReseachGate.
- Vittorini, D., Castellussi, N. Ve Cipollone, R., 2017. Heat recovery and electical performance in filed investigation on a hybrid modüle. *Applied Energy* 205 (2017) 44-56.
- Yıldız, G., Gürel, A.E., 2019. PV/T Sistemler: Tipleri, Avantajları Ve Uygulamaları. *Ttmd Dergisi*.

Zhang, X., Zhao, X., Smith, S., Xu, J., Yu, X., 2012. Review of R&D Progress and Practical Application of the Solar Photovoltaic/Thermal (PV/T) Technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 599-617.



EKLER

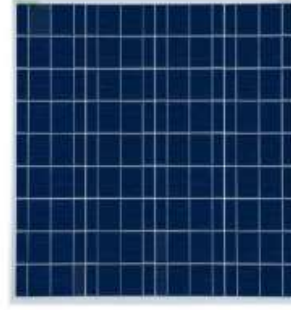
EK-1. Çalışmada kullanılan panel bilgileri 1



TRP-040B



TRP-050B



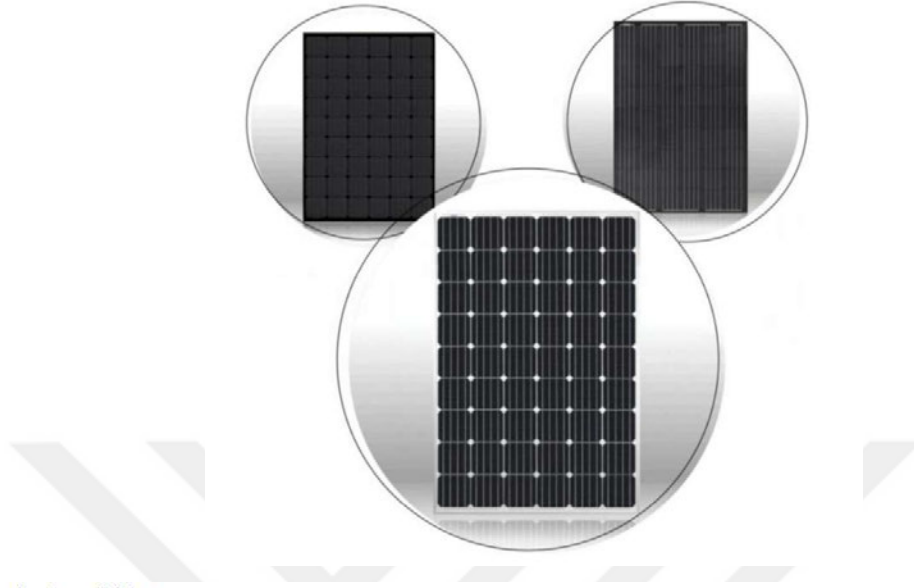
TRP-060B

Elektriksel Özellikler • Electrical Characteristics			
Model No	TRP-040B	TRP-050B	TRP-060B
Maksimum Güç (Pmax) • Maximum Power	40W	50W	60W
Maksimum Güç Gerilimi (Vmp) • Maximum Power Voltage	18.32V	18.30V	18.35V
Maksimum Güç Akımı (Imp) • Maximum Power Current	2.20A	2.75A	3.27A
Açık Devre Gerilimi (Voc) • Open Circuit Voltage	22.90V	22.77V	22.98V
Kısa Devre Akımı (Isc) • Short Circuit Current	2.66A	2.93A	3.75A
Çalışma Sıcaklığı • Operating Temperature	- 40°C +85°C		
Maksimum Sistem Gerilimi • Maximum System Voltage	1000VDC		
Maximum Seri Sigorta Değeri • Series Fuse Rating	10A		
Doğrusal Performans Garantisi • Linear Performance Warranty	10 Yıl %90, 25Yıl %80 10 Years, Over %90, 25 Years Over %80		
Güç Toleransı • Power Tolerance	± %3		
Sıcaklık Katsayısı • Temperature Coefficient	Pm	-0.46%/°C	
	Voc	-0.34%/°C	
	Isc	0.045%/°C	
	NOCT	45°C ±2°C	
Mekanik Özellikler • Mechanical Characteristics			
Boyutlar • Dimensions of the Module (WxHxD)	665x425x25mm	665x520x25mm	665x615x25mm
Hücre Tipi ve Boyutu • Solar Cells and Size	Poly 156x41.8mm	Poly 156x52mm	Poly 156x62.4mm
Hücre Adedi ve Matris • No of Solar Cells and Matrix	36(4x9)	36(4x6)	36(4x9)
Terminal Kutusu • Junction Box	IP65 Sınıfı MC4 Bağlantı, 2 Diyot, 600mm Kablo IP65, 2 Diodes, 600mm Cable		
Bağlantı Tipi • Connector Type	MC4		
Ağırlık • Weight	3.5 Kg	4.3 Kg	5.3 Kg
Solar Cam • Front Glass	3,2mm Temperlenmiş Güneş Camı 3,2mm Low Ironed Tempered Solar Glass		
Çerçeve • Frame	Eloksal Kaplı Alüminyum Profil Frame Anodized Aluminum Alloy		
Maksimum Mekanik Yük • Maximum Load	Rüzgar, Dolu ve Kar Yüklerine Karşı 5400Pa (Çerçevesiz) 2400Pa (Çerçevesiz) Taşıma Dayanımı. 5400Pa According to IEC 61215		

STK(Standart Test Koşulları): Tüm Teknik Veriler (STC) AM1.5'lik spektrum; 1000W/m² ışınım; 25 °C'lik hücre sıcaklığına göre verilmiştir.
STC: Irradiance 1000W/m², module temperature 25 °C, AM=1.5



EK-2. Çalışmada kullanılan panel bilgileri 2



elektriksel özellikler

Modül tipi	XXX Milyon-54		
ST'de maksimum güç (Pmax)	245W	250W	255W
Güç çıkışı toleransı	% -3 -%		
Pmax'ta Gerilim (Vmp)	28.53V	28.67V	28.82V
Pmax'taki Akım (Imp)	8.59A	8.72A	8.85A
Açık devre gerilimi (Voc)	34.63V	34.71V	34.82V
Kısa devre akımı (Isc)	9.07A	9.20A	9.27A

STC: Işınlama $1000W / m^2$ Hücre sıcaklığı $25^{\circ}C$ AM = 1.5

Sıcaklık özellikleri

Nominal işletim hücresi sıcaklığı (NOCT)	$45 \pm 2^{\circ}C$
Pmax'ın sıcaklık katsayıları	$-0.45\% / ^{\circ}C$
Voc sıcaklık katsayıları	$-0.34\% / ^{\circ}C$
Isc sıcaklık katsayıları	$\% 0.06 / ^{\circ}C$

EK-2. (Devam) Çalışmada kullanılan panel bilgileri 2

Çalışma koşulları

Maksimum sistem gerilimi	1000VDC
Ters akımı sınırlama	15A
Çalışma sıcaklığı aralığı	-40 °C to + 85 °C
Maks. statik yük önu (örneğin, kar)	5400Pa
Maks. statik yük geri (örneğin, rüzgar)	2400Pa
Maks. hailstone etkisi (çap / hız)	25 mm / 23 m / s

EK-3. Çalışmada kullanılan panel bilgileri 3



EK-3. (Devam) Çalışmada kullanılan panel bilgileri 3

Üretim Özellikleri

Standart test koşullarında elektriksel parametreler
(STC: AM=1.5, 1000W / m², Hücre Sıcaklığı 25 ° C)

Tipik Tip	320W	325W	330W	335W	340W	345W
Maksimum Güç (P _{max})	320	325	330	335	340	345
Maksimum Güç voltajı (V _{mp})	37.02	37.11	37.15	37.26	37.33	37.41
Maksimum Güç akımı (I _{mp})	8.65	8.77	8.89	9.00	9.11	9.22
Açık devre voltajı (V _{oc})	45.45	45.67	45.86	45.98	46.16	46.34
Kısa devre akımı (I _{sc})	9.25	9.48	9.52	9.57	9.62	9.64
Modül Verimliliği (%)	16.5	16.7	17.0	17.2	17.5	17.78
Maksimum sistem voltajı	DC 1500V / DC 1000V					
Maksimum Seri Sigorta Değeri	15A					
Boyutlar	1656x992x35mm					
Ağırlık	22 kg					
Ön cam	3,2 mm temperli cam					
Çıkış kabloları	4 mm ² 900 mm simetrik uzunluklar					
Konektörler	MC4 uyumlu IP67					
Hücre tipi	Polikristalin Silikon 5BB 156,75 mm x 156,75 mm					
Hücre sayısı	Seri halinde 72 hücre					
Sıcaklık Kapsamını Çalıştır	-40/+85°C					
Güç toleransı	0±3%					

ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : AL-GBURI, Sabeeha Salim Murad

Uyruğu : Irak Cumhuriyeti

Doğum tarihi ve yeri : [REDACTED]

Medeni hali : Bekar

Telefon : [REDACTED]

[REDACTED] [REDACTED]

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Amasya Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü	2018
Lise	İmam Hatip Lisesi	2013

Ana Dil

Arapça

Yabancı Dil

Türkçe

İngilizce

