

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FOTOVOLTAİK HÜCRE PERFORMANSI ÜZERİNE
ÇALIŞMA KOŞULLARININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

**Hazırlayan
Emircan HAN**

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Gülşah ELDEN**

Yüksek Lisans Tezi

**Mayıs 2018
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**FOTOVOLTAİK HÜCRE PERFORMANSI ÜZERİNE
ÇALIŞMA KOŞULLARININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Emircan HAN**

**Danışman
Dr. Öğr. Üye. Gülşah ELDEN**

**Mayıs 2018
KAYSERİ**

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Adı-Soyadı: Emircan HAN

İmza:



“Fotovoltaik Hücre Performansı Üzerine Çalışma Koşullarının Etkisinin İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.



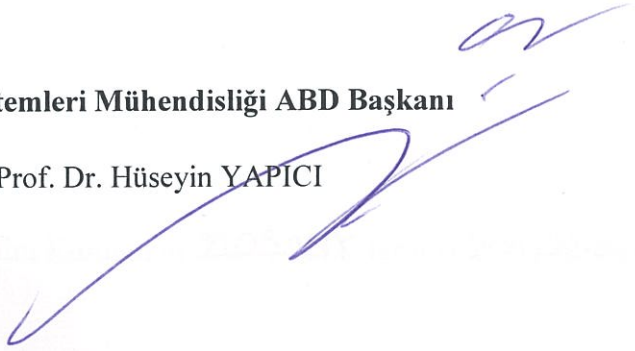
Hazırlayan
Emircan HAN



Danışman
Dr. Öğr. Üye. Gülşah ELDEN

Enerji Sistemleri Mühendisliği ABD Başkanı

Prof. Dr. Hüseyin YAPICI



Dr. Öğr. Üyesi Gülşah ELDEN danışmanlığında **Emircan HAN** tarafından hazırlanan **“Fotovoltaik Hücre Performansı Üzerine Çalışma Koşullarının Etkisinin İncelenmesi”** adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Enerji Sistemleri Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

25/04/2018

JÜRİ:

Başkan : Prof. Dr. Gamze GENÇ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Gülşah ELDEN

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Alperen TOZLU

GG
Gülşah Elden
Alperen Tozlu

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun 22.05.2018 tarih ve 2018/22-24 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Mehmet Akkurt
22 / 05 / 2018

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca sabırla desteğini esirgemeyerek tüm süreci bilimsel bir temelde sonlandırmamı sağlayan danışman hocam Dr. Öğr. Üye. Gülşah ELDEN'e, çalışmalarım sırasında beni cesaretlendirerek ümitlendiren değerli arkadaşlarım Arş. Gör. Seyfettin GÜREL'e ve Arş. Gör. Kemal KOCA'ya,

Bu süreçte hayatımın Erasmus Programı sayesinde muhteşem bir yöne gitmesine sebep olan ve yurtiçi ya da yurtdışı farketmeksizin verdikleri enerji ve sürekli motivasyonla hala hayatı beraber öğrenmekte olduğumuz hayal ortağım olan tüm arkadaşlarıma,

Ve hayal kurmayı kendilerinden öğrendiğim, her zaman beni destekleyen ve yanımda olan aileme,

Sonsuz Teşekkürlerimle

Emircan HAN

Nisan 2018, KAYSERİ

FOTOVOLTAİK HÜCRE PERFORMANSI ÜZERİNE ÇALIŞMA KOŞULLARININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Emircan HAN

**Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Nisan 2018
Danışman: Dr. Öğr. Üye. Gülşah ELDEN**

ÖZET

Bu tez çalışmasının amacı, seçilen bir güneş panelinin performansına etki eden elektriksel ve çevresel parametrelerin, Kayseri ili çalışma koşullarında panel performansı üzerine olan etkisini incelemektir. Bu amaç doğrultusunda güneş panellerinin performansına etki eden elektriksel model parametrelerinin neler olduğu araştırıldı. Ayrıca Kayseri ili hava şartlarında oluşan ısı kayıplarının etkisini incelemek için termal model parametreleri incelenmiş olup, tüm bir yıl için aylık belirlenen ortalama hava şartlarında üç farklı cam türünün üç farklı kalınlıkta panel üzerinde kullanıldığı durumlar ele alındı. Çalışma kapsamında, güneş panellerinin elektriksel karakteristikleri, iki farklı model kullanılarak incelenmiş ve iki farklı matematiksel yaklaşım sunulmuştur. Sunulan modeller için elde edilen matematiksel denklemler MATLAB ortamına aktarılan iki farklı algoritma yardımıyla farklı sıcaklık ve ışınım şiddetleri için panel karakteristikleri tespit edilerek sıcaklık ve ışınımın panel performansını ne şekilde etkilediği incelendi. Oluşturulan termal model yardımıyla elektriksel performans sonuçlarının ne şekilde iyileştirilebileceği malzeme özellikleri değiştirilerek tüm bir yıl için incelendi. Çalışma sonucunda sıcaklığın panel gerilimini ve ışınımın panel akımını önemli ölçüde değiştirdiği tespit edilerek önerilen yeni cam malzemelerle bu etkinin azaltılıp maksimum güç değerinin artırılabilceği ortaya kondu..

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Güneş Hücresi/Paneli Elektriksel Parametreleri, Güneş Hücresi/Paneli Termal Modellemesi, Güneş Hücresi/Paneli Çalışma Şartları

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE OPERATING CONDITIONS ON PHOTOVOLTAIC CELL PERFORMANCE

Emircan HAN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, April 2018

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Gülşah Özışık ELDEN

ABSTRACT

Purpose of this thesis is to investigate the effect of the operating condition on the photovoltaic cell performance in Kayseri. In the context of this purpose, was studied the effect of electrical model parameters on the performance of the solar panels. In addition, in order to study the heat transfer in the weather conditions of Kayseri province by investigating the thermal model parameters, there were used three different glass types and three different thickness for the solar panel. In the study were examined and presented the electrical characteristics of solar panels using two different models and two different mathematical approaches. Mathematical equations obtained for the presented models were analyzed by using two different algorithms on MATLAB and by establishing the panel characteristics was studied how the panel performance is influencing under different insolation and different temperature. In the terms of one year was investigated how to improve the results of the electrical performance by helping the proposed thermal model with changing material properties. As a result of this study, there were determined that the temperature of the panel changes the panel voltage and the radiation of the panel changes the panel current significantly, revealing that different glass material properties can reduce these effects and increase the maximum power value of panel.

Keywords: Solar Energy, Solar Cell/Panel Electrical Modelling, Solar Cell/Panel Thermal Modelling, Solar Cell/Panel Working Conditions

İÇİNDEKİLER

FOTOVOLTAİK HÜCRE PERFORMANSI ÜZERİNE ÇALIŞMA KOŞULLARININ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	iii
KABUL VE ONAY	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	vii
İÇİNDEKİLER	viii
KISALTMA ve SİMGELER	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xv
GİRİŞ	1

1.BÖLÜM

GÜNEŞ ENERJİSİ

1.1 Güneş Enerjisi	2
1.2 Türkiye’de Güneş Enerjisi	3

2. BÖLÜM

GÜNEŞ HÜCRELERİ ve KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ

2.1 Güneş hücrelerinin Tarihsel Gelişimi	6
2.2 Güneş Hücrelerinin Yapısı	7
2.2.1 P-Tipi ve N-Tipi Yarı İletken.....	9
2.2.2 P-N Birleşimi	10
2.3 Güneş hücrelerinin Çalışma Prensibi	12
2.4 Güneş Hücresi Çeşitleri	14
2.4.1 Birinci Nesil Güneş Hücreleri.....	14
2.4.3 Üçüncü Nesil Güneş hücreleri	15

3. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

3.1 Literatür.....	17
--------------------	----

4. BÖLÜM

GÜNEŞ HÜCRESİNİN ELEKTRİKSEL MODELLENMESİ

4.1 Güneş Hücresi İdeal Modeli.....	24
4.2 Güneş Hücresi Tek Diyot Modeli.....	26
4.2.1 Güneş Hücresi 4-Parametre Modeli.....	26
4.2.2 Güneş Hücresi 4-Parametre Modeli Parametre Denklemlerinin Elde Edilmesi	27
4.2.3 Güneş Hücresi 5-Parametre Modeli.....	29
4.2.4 Güneş hücresi 5-Parametre Modeli Parametre Denklemlerinin Elde Edilmesi	30
4.3 Güneş hücresi Model Parametrelerinin Çözüm Algoritmaları	32

5. BÖLÜM

SP75 VE NP190Q GÜNEŞ PANELLERİNİN ELEKTRİKSEL MODEL PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ

5.1 Sp75 ve Np190Q Güneş Panellerinin 4 Parametre Modelinin Kurulması	35
5.1.2 Sp75 ve Np190Q Güneş Panellerinin 4 Parametre Modelinin MATLAB Algoritması	38
5.2 Sp75 ve Np190Q Güneş Panellerinin 5 Parametre Modelinin Kurulması	38
5.2.2 Sp75 ve Np190Q Güneş Panellerinin 5 Parametre Modelinin MATLAB Algoritması	43

6. BÖLÜM

GÜNEŞ HÜCRESİNİN TERMAL MODELLENMESİ

6.1 Güneş Hücresi Termal Model Parametreleri	45
6.2 Güneş hücresi Termal Model Parametre Denklemlerinin Elde Edilmesi	46
6.3 NP190Q Güneş Panelinin Termal Model Kurulumu	49
6.3.1 NP190Q Fotovoltaik Panelinin Termal Model Elektrik Benzetim Şemasının Belirlenmesi	50
6.4 Sp75 ve Np190Q Güneş Panellerinin Termal Model Algoritması.....	53

7. BÖLÜM

FOTOVOLTAİK HÜCRE PERFORMANSI ÜZERİNE ÇALIŞMA KOŞULLARININ İNCELENMESİ

7.1 SP75 ve NP190Q Güneş Panelleri STC Katalog Değerleri	57
7.2 Güneş Paneli SP75'in 4 Parametre Elektriksel Modeli Sonuçları.....	58
7.3 Güneş Paneli SP75'in 4 Parametre Elektriksel Modeli Karakteristikleri	60
7.4 Güneş Paneli NP190Q'nun 4 Parametre Elektriksel Modeli Sonuçları	62
7.5 Güneş Paneli NP190Q'nun 4 Parametre Elektriksel Modeli Karakteristikleri.	63
7.6 Güneş Paneli SP75'in 5 Parametre Elektriksel Modeli Sonuçları.....	65
7.7 Güneş Paneli SP75'in 5 Parametre Elektriksel Modeli Karakteristikleri.....	66
7.8 Güneş Paneli NP190Q'nun 5 Parametre Elektriksel Modeli Sonuçları	68
7.9 Güneş Paneli NP190Q'nun 5 Parametre Elektriksel Modeli Karakteristikleri.	69
7.10 SP75 Güneş Paneli 4 ve 5 Parametre Elektriksel Modelleri Karşılaştırması..	71
7.11 Güneş Paneli NP190Q'nun Termal Model Parametreleri	74

8. BÖLÜM

SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME	110
KAYNAKÇA	112
EKLER.....	119
EK 1. SP75 GÜNEŞ PANELİ KATALOG BİLGİLERİ.....	119
EK 2. NP190Q GÜNEŞ PANELİ KATALOG BİLGİLERİ.....	120
EK 3. SCHOTT BOROSİLİCA CAM KATALOG BİLGİLERİ	121
EK 4. ABRISA SODA LIME LOW-IRON CAM KATALOG BİLGİLERİ	122
ÖZGEÇMİŞ.....	123

KISALTMA VE SİMGELER

Sembol	Anlamı	Birimi
ε	Cam Emisivite	-
ρ	Yoğunluk	(kg/m ³)
Ω	Ohm	Ω
ν	Viskozite	(m ² /sn)
λ	Isıl Taşınım Katsayısı	(W/m – K)
σ	Stefan-Boltzman Sabiti	(W.m/K ⁴)
ψ	Panelin Yatayla Yaptığı Açısı	Derece
A	Alan	(m ²)
d	Kalınlık	(m)
G	Işınım miktarı	(W/m ²)
G _n	Nominal ışınım miktarı	(W/m ²)
h_{conv}	Taşınım ile ısı transferi katsayısı	(W/m ² K)
h_{rad}	Işınım ile ısı transferi katsayısı	(W/m ² K)
I_d	Diyot Akımı	(A)
I_{max}	Maksimum Akım	(A)
$I_{max,STC}$	Standart Test Şartlarında Maksimum Akım	(A)
I_o	Saturasyon Akımı	(A)
I_{pv}	Fotovoltaik Akım	(A)
I_{sc}	Kısa Devre Akımı	(A)
$I_{sc,STC}$	Standart Test Şartlarında Kısa Devre Akımı	(A)
K	Boltzman Sabiti	(m ² .kg.s ⁻¹ .K ⁻¹)
k	Havanın Isıl Taşınım Katsayısı	(W/m – K)
k_i	Panel Akım-Sıcaklık Sabiti	(mA/°C)
k_v	Panel Gerilim-Sıcaklık Sabiti	(mA/°C)
L	Panelin Karakteristik Uzunluğu	(m)
N _s	Güneş Paneli Seri Bağlı Hücre Sayısı	-
Nu	Nusselt Sayısı	-
n	Diyot İdealite Faktörü	-
P	Güç	(W)
P _{max}	Maksimum Güç	(W)
Pr	Prandtl Sayısı	-

Q	Isı Transferi Miktarı	(W/m ²)
$Q_{ışınım}$	Güneş Panelinde Işınım İle Isı Transferi Miktarı	(W/m ²)
q	Elektron Yüğü	(coloumbs)
$q_{doğal}$	Güneş Panelinde Doğal Taşınım Isı Transferi	(W/m ²)
q_{iletim}	Güneş Panelinde İletimle Isı Transferi	(W/m ²)
$q_{taşınım}$	Güneş Panelinde Taşınım İle Isı Transferi	(W/m ²)
q_{toplam}	Güneş Panelinde Toplam Isı Transferi	(W/m ²)
$q_{zorlanmış}$	Güneş Panelinde Zorlanmış Taşınım İle Isı Transferi	(W/m ²)
Re	Reynold Sayısı	-
R_s	Seri Direnç	(Ω)
$R_{s,min}$	Minimum Seri Direnç Değeri	(Ω)
$R_{s,max}$	Maksimum Seri Direnç Değeri	(Ω)
R_p	Paralel Direnç Değeri	(Ω)
St	Stanton Sayısı	-
T	Sıcaklık	(K)
T_{cam}	Panel Cam Katmanı Sıcaklığı	(K)
T_{eva}	Panel EVA Katmanı Sıcaklığı	(K)
T_{film}	Film Sıcaklığı	(K)
T_{hava}	Hava Sıcaklığı	(K)
$T_{hücre}$	Güneş Hücre Sıcaklığı	(K)
T_{ortam}	Ortam Sıcaklığı	(K)
T_{pil}	Güneş Pili Sıcaklığı	(K)
T_{sky}	Gökyüzü Sıcaklığı	(K)
T_{surf}	Güneş Paneli Tahmin Edilen Yüzey Sıcaklığı	(K)
T_{yer}	Yer Sıcaklığı	(K)
$T_{yüzey}$	Güneş Paneli Hesaplanan Yüzey Sıcaklığı	(K)
V_{max}	Maksimum Gerilim	(V)
$V_{max, STC}$	Standart Test Şartlarında Maksimum Gerilim	(V)
V_{oc}	Açık Devre Gerilimi	(V)
$V_{oc, STC}$	Standart Test Şartlarında Açık Devre Gerilimi	(V)
$V_{rüz}$	Rüzgar Hızı	(m/sn)

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 1. 1	Türkiye’de güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı.....	5
Tablo 7. 1	NP190Q Katman Özellikleri.....	49
Tablo 7. 2	Kayseri İli Aylara Göre Ortalama Sıcaklık (2017).....	51
Tablo 7. 3	Kayseri İli Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (2017)	52
Tablo 7. 4	Farklı Cam Türlerine Göre Özellikler	53
Tablo 7.1.	a Güneş Paneli-SP75 STC Katalog Değerleri (1000W 25°C).....	57
Tablo 7.1.	b Güneş Paneli-NP190Q STC Katalog Değerleri (1000W 25°C)	57
Tablo 7.2.	a SP75 Güneş hücresi 4-Parametre Modeli Farklı Işınım Parametreleri ...	58
Tablo 7.2.	b SP75 Güneş hücresi 4-Parametre Modeli Farklı Sıcaklık Parametreleri	59
Tablo 7.3.	a NP190Q Güneş Paneli 4-Parametre Modeli Farklı Işınım Parametreleri	62
Tablo 7.3.	b NP190Q Güneş hücresi 4-Parametre Modeli Farklı Sıcaklık Parametreleri	63
Tablo 7.4.	a SP75 Güneş hücresi 5-Parametre Modeli Farklı Işınım Parametreleri ...	65
Tablo 7.4.	b SP75 Güneş hücresi 5-Parametre Modeli Farklı Sıcaklık Parametreleri	65
Tablo 7.5	a NP190Q Güneş hücresi 5-Parametre Modeli Farklı Işınım Parametreleri	68
Tablo 7.5.	b NP190Q Güneş hücresi 5-Parametre Modeli Farklı Sıcaklık Parametreleri	69
Tablo 7.6.	a $T_{pil} = 298K$ ve $d_{cam.makale} = 4mm.$ için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları	74
Tablo 7.6.	b $T_{pil} = 298K$ ve $d_{cam.borosilika} = 4mm.$ için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları	75
Tablo 7.6.	c $T_{pil} = 298K$ ve $d_{cam.low - iron} = 4mm.$ için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları	76
Tablo 7.6.	d $T_{pil} = 298K$ ve $d_{cam.makale} = 3mm.$ için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları	77
Tablo 7.6.	e $T_{pil} = 298K$ ve $d_{cam.borosilika} = 3mm.$ için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları	78

Tablo 7.6.	f $T_{pil} = 298K$ ve $d_{cam.low - iron} = 3mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları	78
Tablo 7.6.	g $T_{pil} = 298K$ ve $d_{cam.makale} = 5mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları	79
Tablo 7.6.	h $T_{pil} = 298K$ ve $d_{cam.borosilikat} = 5mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları	79
Tablo 7.6.	i $T_{pil} = 298K$ ve $d_{cam.low - iron} = 5mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları	80
Tablo 7.6.	j $Q = 10 W/m^2$ ve $d_{cam.makale} = 4mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları	88
Tablo 7.6.	k $Q = 10 W/m^2$ ve $d_{cam.borosilikat} = 4mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları	89
Tablo 7.6.	l $Q = 10 W/m^2$ ve $d_{cam.low - iron} = 4mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları	90
Tablo 7.6.	m $Q = 10 W/m^2$ ve $d_{cam.makale} = 3mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları	91
Tablo 7.6.	n $Q = 10 W/m^2$ ve $d_{cam.borosilikat} = 3mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları	91
Tablo 7.6.	o $Q = 10 W/m^2$ ve $d_{cam.low - iron} = 3mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları	92
Tablo 7.6.	p $Q = 10 W/m^2$ ve $d_{cam.makale} = 5mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları	92
Tablo 7.6.	q $Q = 10 W/m^2$ ve $d_{cam.borosilikat} = 5mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları	93
Tablo 7.6.	r $Q = 10 W/m^2$ ve $d_{cam.low - iron} = 5mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları	93
Tablo 7.6.	s NP190Q Farklı Cam Kalınlıklarına Göre Makale Cam Kullanımı Kayseri İli Aylık Maksimum Güç Değerlerleri	103
Tablo 7.6.	t NP190Q Farklı Cam Kalınlıklarına Göre Borosilika Cam Kullanımı Kayseri İli Aylık Maksimum Güç Değerlerleri	104
Tablo 7.6.	u NP190Q Farklı Cam Kalınlıklarına Göre Low-İron Cam Kullanımı Kayseri İli Aylık Maksimum Güç Değerlerleri	105

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. 1	Güneşten Dünya'ya gelen ışıyım dağılımı.....	3
Şekil 1. 2	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası	4
Şekil 1. 3	Türkiye Güneşlenme Süreleri	4
Şekil 1. 4	Türkiye Güneş Kuşağı Atlası.....	5
Şekil 2. 1	İletken/Yarı İletken/Yalıtkan Malzeme Yasak Enerji Bandı	8
Şekil 2. 2	Silisyum ve Germanyum Atomlarının Elektron Dizilimi	8
Şekil 2. 3	N-Tipi Yarı İletken Oluşumu.....	9
Şekil 2. 4	P-Tipi Yarı İletken Oluşumu	10
Şekil 2. 5	P-N Ekleminin ve Deplasyon Bölgesinin Oluşumu	11
Şekil 2. 6	P-N Ekleminde Fermi Seviyesinin Doğru ve Ters Polarma Şartlarındaki Durumu	11
Şekil 2. 7	P-N Ekleminde Akımın Oluşması	12
Şekil 2. 8	P-N Eklemlı Diyotun Karanlık ve Işıklıandırılmış Durumda Akım – Gerilim Karakteristiğı	13
Şekil 4. 1	Diyot P-N Karakteristiğı,Devre Gösterimi,Doğru,Ters Kutuplama	24
Şekil 4. 2	İdeal Güneş hücresi Elektriksel Modeli.....	25
Şekil 4. 3	İdeal Güneş hücresi I-V Karakteristiğı Elde Edilmesi.....	26
Şekil 4. 4	Güneş hücresi Tek Diyot-Rs Modeli	26
Şekil 4. 5	Güneş Hücresi Tek Diyot Rp Modeli	30
Şekil 4. 6	Vilalva'nın İterasyon Algoritması	33
Şekil 4. 7	Newton Raphson Metodu Algoritma	33
Şekil 4. 8	Trust Region Doglog Algoritması	34
Şekil 4. 9	PSO TVIWAC Algoritması	34
Şekil 5. 1	SP75 Güneş Paneli-SP75 Farklı Işıyım I-V Katalog	35
Şekil 5. 2	Güneş Paneli-SP75 Farklı Sıcaklık I-V Katalog.....	36
Şekil 5. 3	Dört Parametre Elektriksel Model Algoritması	38
Şekil 5. 4	Beş Parametre Elektriksel Model Algoritması	43
Şekil 7. 6	Şekil 5. 10 Güneş Paneli Elektrik Benzetim Şeması	51
Şekil 7. 1	NP190Q Katalog Bilgileri (STC/NOCT)	44
Şekil 7. 2	Güneş Paneli Katmanlı Yapı.....	45
Şekil 7. 3	Panel Üzerindeki Kayıpların Gösterimi.....	48

Şekil 7. 4	Güneş Paneli Sadeleştirilmiş Yapı.....	50
Şekil 7. 5	Güneş Paneli Katmanları Sıcaklık Noktaları	50
Şekil 7. 6	Güneş Paneli Elektrik Benzetim Şeması	51
Şekil 7. 7	Sabit Hücre Sıcaklığında Güneş Paneli Termal Model Algoritması	54
Şekil 7. 8	Sabit Isı Transferinde Güneş Paneli Termal Model Algoritması	55
Şekil 7. 1	SP75 Güneş Paneli Farklı Işınım I-V Karakteristiği	60
Şekil 7. 2	SP75 Güneş Paneli Farklı Işınım P-V Karakteristiği.....	61
Şekil 7. 3	SP75 Güneş Paneli Farklı Sıcaklık I-V Karakteristiği.....	61
Şekil 7. 4	SP75 Güneş Paneli Farklı Sıcaklık P-V Karakteristiği.....	61
Şekil 7. 5	NP190Q Güneş Paneli Farklı Işınım I-V Karakteristiği	63
Şekil 7. 6	NP190Q Güneş Paneli Farklı Işınım P-V Karakteristiği	64
Şekil 7. 7	NP190Q Güneş Paneli Farklı Sıcaklık I-V Karakteristiği	64
Şekil 7. 8	NP190Q Güneş Paneli Farklı Sıcaklık P-V Karakteristiği	64
Şekil 7. 9	SP75 Güneş Paneli Farklı Işınım I-V Karakteristiği	66
Şekil 7. 10	SP75 Güneş Paneli Farklı Işınım P-V Karakteristiği.....	67
Şekil 7. 11	SP75 Güneş Paneli Farklı Işınım I-V Karakteristiği	67
Şekil 7. 12	SP75 Güneş Paneli Farklı Işınım P-V Karakteristiği.....	67
Şekil 7. 13	NP190Q Güneş Paneli Farklı Işınım I-V Karakteristiği	69
Şekil 7. 14	NP190Q Güneş Paneli Farklı Sıcaklık P-V Karakteristiği	70
Şekil 7. 15	NP190Q Güneş Paneli Farklı Işınım I-V Karakteristiği	70
Şekil 7. 16	NP190Q Güneş Paneli Farklı Sıcaklık P-V Karakteristiği	70
Şekil 7. 17	SP75 Güneş Paneli 4 ve 5 Parametre Modelleri Farklı Işınım Değerleri İçin Karşılaştırmalı I-V Karakteristiği	72
Şekil 7. 18	SP75 Güneş Paneli 4 ve 5 Parametre Modelleri Farklı Işınım Değerleri İçin Karşılaştırmalı P-V Karakteristiği	72
Şekil 7. 19	SP75 Güneş Paneli 4 ve 5 Parametre Modelleri Farklı Işınım Değerleri İçin Karşılaştırmalı P-V Karakteristiği	73
Şekil 7. 20	SP75 Güneş Paneli 4 ve 5 Parametre Modelleri Farklı Işınım Değerleri İçin Karşılaştırmalı P-V Karakteristiği	73
Şekil 7. 21	NP190Q Paneli $T_{hücre} = 25^{\circ}C$ 'de Farklı Camlar İçin $d_{cam} = 3mm'$ 'de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi	81
Şekil 7. 22	NP190Q Paneli $T_{hücre} = 25^{\circ}C$ 'de Farklı Camlar İçin $d_{cam} = 4mm'$ 'de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi	81

Şekil 7. 23	NP190Q Paneli $Thücre = 25^{\circ}C$ 'de Farklı Camlar İçin $d_{cam} = 5mm'$ de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi	82
Şekil 7. 24	NP190Q Paneli $Thücre = 25^{\circ}C$ 'de Referans Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi	82
Şekil 7. 25	NP190Q Paneli $Thücre = 25^{\circ}C$ 'de Borosilika Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi.....	83
Şekil 7. 26	NP190Q Paneli $Thücre = 25^{\circ}C$ 'de Düşük Demirli Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi.....	83
Şekil 7. 27	NP190Q Paneli $Thücre = 25^{\circ}C$ 'de Farklı Camlar İçin $d_{cam} = 3 mm'$ de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Isı Transferi Değişimi	84
Şekil 7. 28	NP190Q Paneli $Thücre = 25^{\circ}C$ 'de Farklı Camlar İçin $d_{cam} = 4 mm'$ de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Isı Transferi Değişimi	84
Şekil 7. 29	NP190Q Paneli $Thücre = 25^{\circ}C$ 'de Farklı Camlar İçin $d_{cam} = 5 mm'$ de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Isı Transferi Değişimi	85
Şekil 7. 30	NP190Q Paneli $Thücre = 25^{\circ}C$ 'de Referans Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Isı Transferi Değişimi	85
Şekil 7. 31	NP190Q Paneli $Thücre = 25^{\circ}C$ 'de Borosilika Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Isı Transferi Değişimi.....	86
Şekil 7. 32	NP190Q Paneli $Thücre = 25^{\circ}C$ 'de Düşük Demirli Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Isı Transferi Değişimi.....	86
Şekil 7. 33	NP190Q Paneli $Q_{ısı geçişi} = 10 W/m^2$ 'de Farklı Camlarda $d_{cam} = 3 mm'$ de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi.....	94
Şekil 7. 34	NP190Q Paneli $Q_{ısı geçişi} = 10 W/m^2$ 'de Farklı Camlarda $d_{cam} = 4 mm'$ de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi.....	95
Şekil 7. 35	NP190Q Paneli $Q_{ısı geçişi} = 10 W/m^2$ 'de Farklı Camlarda $d_{cam} = 5 mm'$ de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi.....	96

Şekil 7. 36	NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Referans Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi.....	97
Şekil 7. 37	NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Borosilika Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi.....	97
Şekil 7. 38	NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Düşük Demirli Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi.....	98
Şekil 7. 39	NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Farklı Camlarda $d_{cam} = 3\ mm$ 'de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Hücre Sıcaklığı Değişimi.....	99
Şekil 7. 40	NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Farklı Camlarda $d_{cam} = 4\ mm$ 'de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Hücre Sıcaklığı Değişimi.....	99
Şekil 7. 41	NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Farklı Camlarda $d_{cam} = 5\ mm$ 'de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Hücre Sıcaklığı Değişimi.....	100
Şekil 7. 42	NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Referans Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Hücre Sıcaklığı Değişimi.....	101
Şekil 7. 43	NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Borosilika Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Hücre Sıcaklığı Değişimi.....	101
Şekil 7. 44	NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Düşük Demirli Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Hücre Sıcaklığı Değişimi.....	102
Şekil 7. 45	NP190Q Panelinde Referans Cam Farklı Kalınlıklarda Kullanımı Durumunda Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Maksimum Güç Değerleri.....	106
Şekil 7. 46	NP190Q Panelinde Borosilika Cam Farklı Kalınlıklarda Kullanımı Durumunda Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Maksimum Güç Değerleri.....	107

Şekil 7. 47	NP190Q Panelinde Düşük Demirli Cam Farklı Kalınlıklarda Kullanımı Durumunda Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Maksimum Güç Değerleri.....	107
Şekil 7. 48	NP190Q Farklı Cam Türlerinin $d_{cam} = 3 \text{ mm}'de$ Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Maksimum Güç Değerleri Değerleri.....	108
Şekil 7. 49	NP190Q Farklı Cam Türlerinin $d_{cam} = 4 \text{ mm}'de$ Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Maksimum Güç Değerleri Değerleri.....	108
Şekil 7. 50	NP190Q Farklı Cam Türlerinin $d_{cam} = 5 \text{ mm}'de$ Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Maksimum Güç Değerleri Değerleri.....	109



GİRİŞ

Teknolojinin gelişimi ve insanların yaşam kalitesindeki artış, enerji tüketimimizi artırmakla beraber enerjiye olan ihtiyacımızı da artırmaktadır. Fosil kaynakların gerek ham madde fiyatındaki artış gerekse insan sağlığındaki olumsuz etkilerinden dolayı yenilenebilir ve temiz enerji kaynakları konusundaki çalışmaları her geçen gün artırmaktadır. Çevre dostu olunması, atık maliyetlerinin düşürülmesi ve ihtiyaç durumunda istenilen yerlere taşınabilmeleri açısından güneşten enerji üretebilen cihazlar enerji kaynakları arasında önemli bir yere sahiptir. Fotovoltaik panellerin modüler olması, iletim ve dağıtım konusundaki cihaz gereksinimini azaltmakta ve bu konudaki güvenilirliği de artırmaktadır.

Güneşin ısıtma ve soğutma teknolojilerindeki kullanımının yanı sıra güneş ışınlarının tek bir odakta birleşmesi konusundaki birikimleri artırmış ve zamanla fotovoltaik hücreler konusunda kendisine uygulama alanı bulmuştur. Bu programlar başta uzay teknolojileri olmakla beraber sonraki yıllarda elektrik şebekesinden uzak yaşam alanları ve günümüzde ise güneş tarlaları, rüzgar-güneş hibrit sistemleri, sanayi tesisleri hatta modern şehirlerdeki sürdürülebilir binalar ve elektrikli araçların kullanımında ihtiyaç duyulan şarj istasyonlarına gerekli enerji desteğini sağlayacak sistemlere, portatif cep telefonu ve bilgisayar şarj istasyonlarına kadar fotovoltaik hücreler yardımıyla enerji elde edilebilecek her alanda kendisine yer edinmiştir. Günümüz teknolojisi, mühendislik konusundaki çalışmalar için bir prototip veya uygulamanın simülasyon yardımı ile birlikte gerekli analizinin yapılmasını mümkün kılmaktadır. Güneş panellerin verimlerini ve performanslarını etkileyen parametrelerle alakalı simülasyon çalışmaları, farklı güneş hücre modelleri üzerinde hala yapılmaktadır.

1.BÖLÜM

GÜNEŞ ENERJİSİ

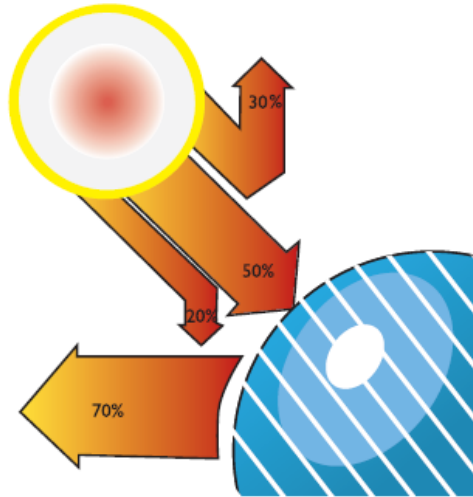
1.1 Güneş Enerjisi

Güneş yeryüzündeki tüm enerjinin kaynağıdır. Yaşayan bitkiler güneş enerjisi ile fotosentez yapar ve çürümüş olanlar milyonlarca yıl önce bugünkü diğer doğal enerji kaynaklarımız olan kömür, petrol ve doğalgaza dönüşmüş durumdadırlar. Güneşin yaydığı ısı ve ışınım güneş enerjisini oluşturur. Günümüz teknolojisiyle bu ışınımı yakalayabilir ve ısınmak için ya da elektrik üretmek için gerekli formlara dönüştürebiliriz. Güneş içerisindeki sürekli nükleer füzyon tepkimeler sonucu oluşan bu enerjinin Dünya üzerinde oluşturduğu ortalama ısınım yoğunluğu 1367 kW/m^2 'dır. Ekvator çevresinde ise bu toplam miktar 173000 TW 'a kadar çıkabilmektedir. Deniz seviyesinde yoğunluk 1 kW/m^2 , herhangi bir noktadaki ortalama ısınım yoğunluğu 0.2 kW/m^2 veya kabaca 102000 TW 'dır. Güneş enerjisinin toplam miktarı, insanlar tarafından kullanılan enerjinin 10000 katıdır [1].

Güneşin bir saniyede güneş sistemine verdiği enerji çok büyük olmasına rağmen atmosfer dışına ulaşan tutar, yalnızca küçük bir bölümüdür. Güneş ışınımı atmosferi geçerken uğradığı değişimin bağlı olduğu değişkenlerin sayısı oldukça çok olmasına karşın en önemli değişken, ışığın atmosferde aldığı yolun uzunluğudur. Genellikle güneş ışınımı değerlendirilirken atmosfer dışındaki seçilen nokta olarak ele alınıp buna hava kütle sıfırı (air mass 0) adı verilir. Havaküre dışında birim yüzeye gelen toplam güç, tüm spektrumun üzerinden entegre edilirse, ulaşılan değer 13267 W/m^2 olup bu değer "güneş değişmezi" olarak kullanılır. Güneş ışınları havaküreyi geçerken spektrumları önemli ölçüde değişikliğe uğrar. Bulutsuz ve güneşli bir havada bile güneş ışınları hava küreyi geçerken su buharı, oksijen, karbondioksit, ozon, azot, metan gibi moleküllerin yanında aerosol ve

toz zerreciklerine saçılarak yeryüzüne ancak havaküre dışındaki enerjinin %70'i ulaşır. Deniz seviyesinde açık bir havada optiksel hava-kütle; güneş ışınlarının aldığı gerçek yolun, güneş tam tepedeyken aldıkları yola oranı olarak tanımlanır. Örneğin güneş tam tepedeyken bu değer, hava-kütle (air mass) olarak adlandırılır. Yeryüzüne düşen güneş ışınları, doğrudan güneşten gelen ve havakürede saçıldıktan sonra difüzyona uğramış ışınların toplamıdır. Hava koşullarına bağlı olarak doğrudan güneşten gelen ışınların, saçılmış ışına oranı değişir. Örneğin bulutlu bir günde güneş ışınlarının büyük bir bölümü, saçılmış ışınlardan oluşurken, bulutsuz güneşli bir günde güneş enerjisinin büyük bir bölümü doğrudan ışınlardan oluşacaktır. Doğrudan ve yayılmış ışınım toplamı, küresel ışınım olarak adlandırılır. Fotovoltaik sistemlerin seçiminde güneş ışınım verileri büyük önem taşımaktadır [2].

Şekil 1.1'de görüldüğü gibi, güneş ışınımının %30 civarı atmosfer tarafından geri yansıtılmaya uğrar. Gelen ışınımın %50'si atmosferi geçtikten sonra dünyaya ulaşır. Geri kalan ışınımın %20'si atmosfer ve bulutlarda tutulurken, %1'den az güneş ışınımı ise bitkilerin fotosentez olayında kullandıkları kısımdır [3].



Şekil 1. 1 Güneşten Dünya'ya gelen ışınım dağılımı

1.2 Türkiye'de Güneş Enerjisi

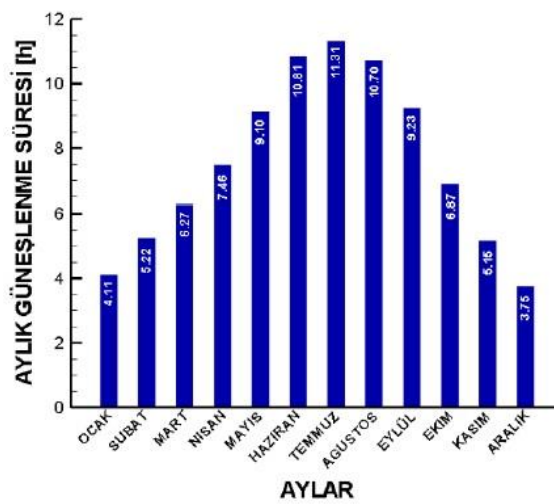
Güneş enerjisini etkin ve verimli kullanabilmek adına enerji üretimi için değerlendirme yapmaya yönelik, potansiyel belirleme çalışmalarına katkı sağlamak için Şekil 1.2'de

gösterilen Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanmıştır [4].



Şekil 1. 2 Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası [4]

Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça şanslı bir durumdadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü istasyonalarında 1985 - 2006 yıllarına ait ölçüm yapılan 22 yıllık, saatlik güneş ölçüm değerleri Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2640 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışıınım şiddeti 1311 kWh/m²-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir. Aylara göre Türkiye güneşlenme süresi değerleri ise şekil 1.3.'de verilmiştir [5].



Şekil 1. 3 Türkiye Güneşlenme Süreleri [5]

Tablo 1.1’de Türkiye’de güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı gösterilmektedir. Burada Güneydoğu Anadolu Bölgesi 1460 kWh/ m² ile lider durumdadır [6].

Tablo 1. 1 Türkiye’de güneş enerjisi potansiyelinin bölgelere göre dağılımı [6]

Bölge	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/ m ² -Yıl)	Güneşlenme Süresi (Saat/Yıl)
Güneydoğu Anadolu	1460	2993
Akdeniz	1390	2956
Doğu Anadolu	1365	2664
İç Anadolu	1314	2628
Ege	1304	2738
Marmara	1168	2409
Karadeniz	1120	1971

Ayrıca Şekil 1.4’te verilen haritada güneş ışınlam değerlerine göre 4 kuşağa ayrılmış bölgelerimiz gösterilmiştir [7].



Şekil 1. 4 Türkiye Güneş Kuşağı Atlası [7]

Bu haritada güney bölgelerinde güneş alma açılarının kuzey bölgelerine kıyasla fazla olduğu görülmektedir. Haritada görülen 1. kuşak güneş alma açısı en fazla olan kuşaktır ve sırayla 2. kuşak, 3. kuşak ve 4. kuşak takip etmektedir. 4. kuşağın ise güneş alma açısı en düşüktür.

2. BÖLÜM

GÜNEŞ HÜCRELERİ ve KARAKTERİSTİK ÖZELLİKLERİ

2.1 Güneş Hücrelerinin Tarihsel Gelişimi

18. yüzyılda İsviçre fizikçisi Horace-Bénédict de Saussure bir tür minyatür sera kurdu. Her biri cam kutudan oluşan ve sayıları 5' e ulaşan seralar inşaa etti. Doğrudan güneş ışınlarına maruz bırakıldığında en içteki kutudaki sıcaklık 108°C'ye yükselebiliyordu ve su kaynatılıp, yemek pişirilebiliyordu. Bu seralar Dünyanın ilk güneş toplayıcıları olarak düşünülmektedir. 1839'da, 19 yaşındaki Fransız fizikçi Alexandre-Edmond Becquerel fotovoltaiik etkiyi keşfetti. Bu etkiyi bir elektrolite yerleştirilmiş iki platin elektrottan yapılmış elektrolitik bir hücrede gözlemledi. Bacquerel tarafından elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğunu keşfetti [8].

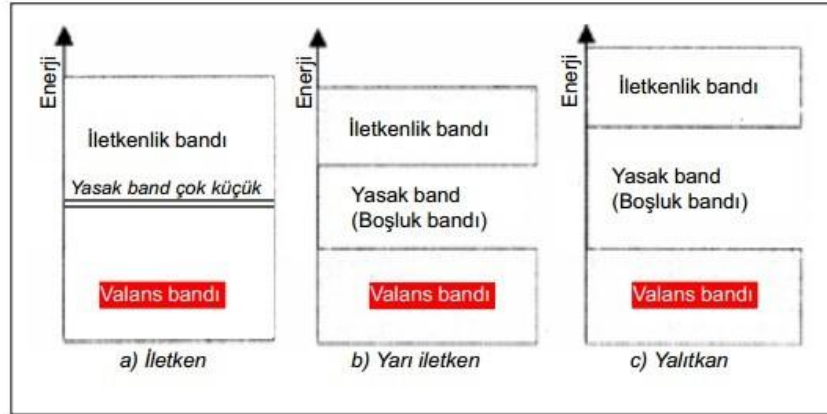
1873'te Willoughby Smith selenyumun foto iletkenliğini ortaya çıkardı. 1876'da William Adams ve öğrencisi Richard Day, selenyumun ışığa maruz kaldığında elektriği ürettiğini gösterdi. Selenyum güneş hücreleri, elektrikli cihazları çalıştırmak için yeterince güneş ışığını elektriğe dönüştürmede başarısız olmasına rağmen, katı bir malzemenin ısıyı ya da hareketli parça olmaksızın ışığın elektriğe dönüştüğünü kanıtladılar. 1883'de Charles Fritts, selenyum dilimlerden yapılmış ilk güneş hücrelerini anlattı. 1905 yılında Albert Einstein fotovoltaiik etki üzerine yazdığı makaleyi yayınladı. 1914 yılında, fotovoltaiik cihazlarda bariyer tabakasının varlığı kaydedildi. 1916'da Robert Millikan, fotoelektrik etkinin deneysel kanıtı olarak sundu. 1954'de fotovoltaiik teknoloji, Daryl Chapin, Calvin Fuller ve Gerald Pearson'ın Bell Labs'taki silikon fotovoltaiik (PV) hücrenin geliştirilmesiyle ABD'de doğmuştur [9].

Güneş enerjisinin etkinliğini ve ticarileştirilmesini iyileştirmek için yıllarca deneyler yapıldıktan sonra, güneş enerjisinin, uzay arama ekipmanları için kullanılması sağlandı. 1958’de ilk güneşle çalışan uydu, Vanguard 1, yörüngede bulunduğu 50 yılda Dünya’da 197.000’den fazla dönüş gerçekleştirdi. Bu uygulama maliyetleri düşürmek ve üretimi artırmak için daha fazla araştırmanın yolunu açtı. 1970’lerde petrol fiyatları yükseldiğinde güneş enerjisine olan talep arttı. Exxon Şirketi, düşük kalitede silikondan ve daha ucuz malzemelerden yapılmış güneş hücreleri üretmek için bir araştırma yaptı ve maliyetleri watt başına 100 \$’dan watt başına 20 \$ - 40 \$ seviyelerine getirdi. 1977’de Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı’nı (NREL) açıldı. Arco Solar, 1982’de Hesperia’da ilk güneş enerjisi santralini inşa etti. Bu santral, tam kapasitede çalışırken 1 MW/saat ürettiyordu. Bu 100 kW’lık ampülün 10 saat çalışması demekti. Thomas Faludy 1995 yılında entegre güneş hücreleri ile geri çekilebilir bir tentenin patenti aldı. Bu, güneş enerjisi hücrelerinin eğlence araçlarında ilk kez kullanımlarından biriydi. 1994’te NREL,% 30 verimini aşan galyum indiyum fosfit ve galyum arsenitten yeni bir güneş hücresi geliştirdi. Yüzyılın sonuna gelindiğinde laboratuvar, toplanan güneş ışığının yüzde 32’sini kullanılabilir enerjiye dönüştüren ince film güneş hücrelerini üretti. 2005’te DIY (kendin yap) güneş hücreleri farklı yöntemlerle ilgililer tarafından üretilmeye başlandı ve 2015’e gelindiğinde %20 verimliliğe sahip kağıt inceliğindeki güneş hücreleri artık endüstriyel yazıcılar tarafından üretilabilir oldu [10].

2.2 Güneş Hücrelerinin Yapısı

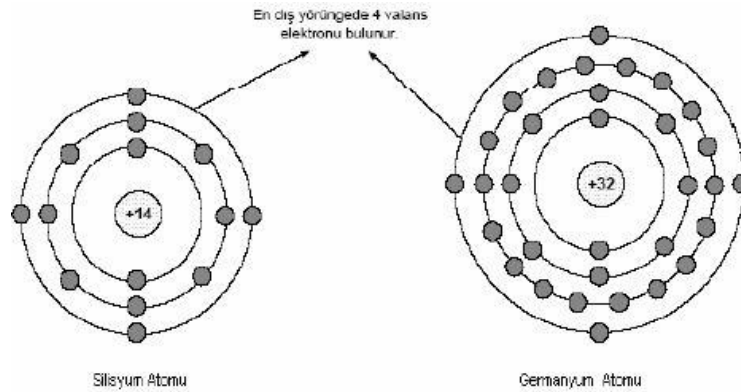
Güneş hücreleri yarı iletken malzemeler kullanılarak yapılır. Silisyum ve germanyum yarı iletken malzemeler içerisinde en çok kullanılanlardandır. Malzeme iletkenliğini etkileyen önemli faktörlerden birisi yasak enerji aralığıdır. Valans elektronları valans bandında ve iletim elektronları ise iletim bandında bulunur. Yasak enerji aralığı elementteki valans bandı ve iletim bandı arasında elektron geçişi için gereken enerjiyi ifade etmektedir. Elektronlar asla valans ve iletim bandı arasındaki bu bölgede bulunmazlar. Bu sebeple “yasak enerji aralığı” denmektedir. Şekil 2.1’de malzeme iletkenliği yasak enerji aralığının en küçük olduğu yerde arttığını ve yasak enerji aralığının büyüdüğü durumlar için azalarak malzemenin yalıtkan bir yapıda davranmasına sebep olduğunu göstermektedir. Yarı-iletken malzemeler iletken ve

yalıtkan malzemeler arasındaki bu ara formda karakteristik olarak kendilerini gösterirler.



Şekil 2. 1 İletken/Yarı İletken/Yalıtkan Malzeme Yasak Enerji Bandı

Silisyum 14 elektrona sahiptir ve üç halka halinde 2-8-4 dağılımıyla elektronlar çekirdek yörüngesinde hareket ederler. Şekil 2.2’de gösterilen bu dağılıma göre valans bandı (son yörünge) elektron sayısı 4 olmaktadır. Kararlı olabilmek için son yörüngesini 8’e tamamlamak ister ve 4 elektrona ihtiyacı vardır. Germanyumda elektron diziliminde valans bandında 4 elektron taşımaktadır.



Şekil 2. 2 Silisyum ve Germanyum Atomlarının Elektron Dizilimi

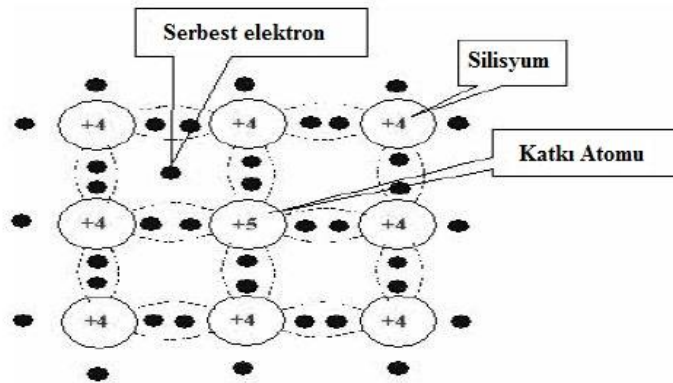
Güneş hücresinde kullanılacak malzemeler birbirleriyle kovalent bağ oluştururlar. Sıcaklık artırıldığında artan enerji elektron kopmalarına ve elektron boşluklarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu durumda yeni gelecek elektron bu boşluklara yerleşerek akım oluşturmaktadır. Ya da yeni elementle oluşacak bağda boşta kalan

elektronlar oluşmaktadır. Bu elektronlar kendilerine yerleşecek boşluklar ararlar. Bu da akımın oluşmasının bir başka yoludur. Diyotlarda ve güneş hücrelerinde kullanılan iletkenlik özelliği bu iki prensiple elde edilmektedir. Sonradan eklenen maddelerle elde edilecek elektron fazlalıklarını oluşturma işlemi katkılama işlemidir. Bu işlem, yarı iletken malzemeye eriyik içinde gerekli madde eklenmesi ile yapılır. Bunun sonucu olarak, güneş hücrelerinde kullanılan p veya n yarı iletken çeşitleri oluşmaktadır.

2.2.1 P-Tipi ve N-Tipi Yarı İletken

Yarı iletken oluşturmak için iç kısımdaki kristale çok az miktarda ilave edilen katkı maddesiyle iletkenlik geliştirilir. Katkı maddesi kondukça ekstra elektron sağladığından, ürüne n-tipi yarı iletken denir. Katkılama işleminde bant aralıkları elektronlarla dolar ve bunlar iletim bantına oldukça yakındır. Böylece hafif ısı etki bile onları iletme bandına bırakabilir. Elektron fazlalıklarından dolayı negatif yüklüdürler. N-tipi denmesinin sebebi budur [11].

Şekil 2..3'te bir silisyum atomunun son yörüngesinde 5 elektronu olan bir katkı atomuyla bağ kuracak olursa, katkı atomunun 4 elektronu silisyumla kovalent bağ kurarken çekirdeğin yalnız 1 elektronu tutacak hale geldiğini görmekteyiz. Böylece n-tipi bir yarı iletken elde etmiş oluruz.

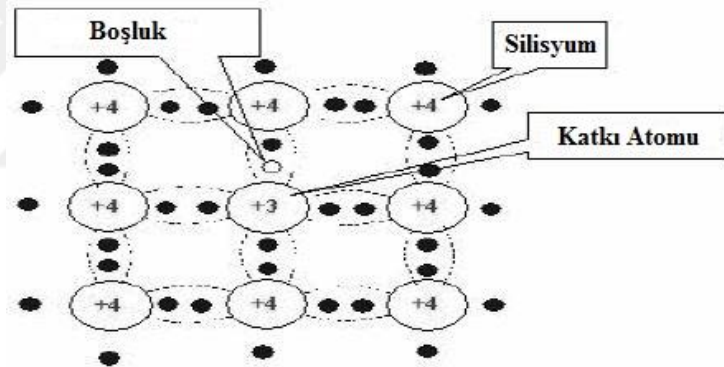


Şekil 2. 3 N-Tipi Yarı İletken Oluşumu

P-tipi dopingin amacı, bir boşluk yaratmaktır. Üç değerlikli bir atom (tipik olarak, bor veya alüminyum vb.) kristal kafese ilave edilir. Sonuçta, kafes içinde normal olan dört

kovalent bağdan birinde bir elektron eksiktir. Böylece, katkı atomu, komşu bir atomun kovalent bağından dördüncü bağın tamamlanması için bir elektron kabul edebilir. Bu yüzden, bu tür katkı maddelerine “alıcılar” denir. Katkıcı atom bir elektron kabul ederse bu da komşu atomdan gelen bir bağın yarısını kaybetmesine neden olur ve bir "delik" oluşumuna neden olur. Her delik, yakındaki negatif yüklü katkı iyonu ve yarı iletkenle bir bütün olarak elektriksel olarak nötr kalır [12].

Şekil 2.4’te bir silisyum atomunun son yörüngesinde 3 elektronu olan bir katkı atomuyla bağ kuracak olursa katkı atomundaki 3 elektron silisyumla bağ kurarken silisyumun son kalan elektronu için yapı içerisinde bir boşluk oluştuğunu görmekteyiz. Bu boşluk elektron hareketine neden olmaktadır. Böylece p-tipi bir yarı iletken elde edilmiş olur.

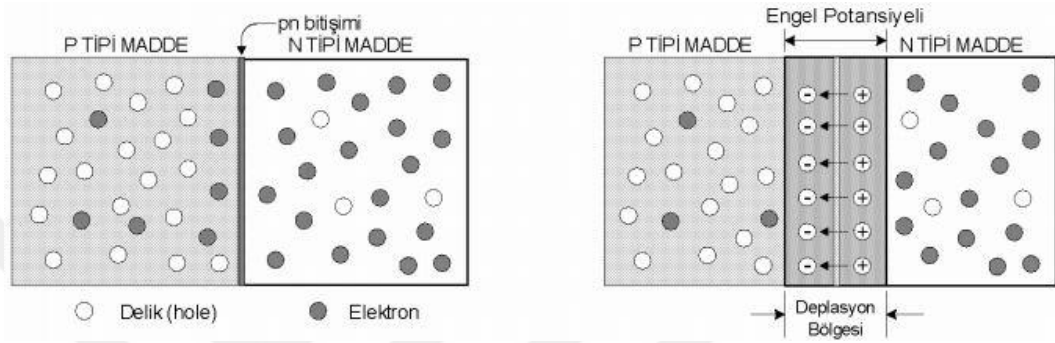


Şekil 2. 4 P-Tipi Yarı İletken Oluşumu

2.2.2 P-N Birleşimi

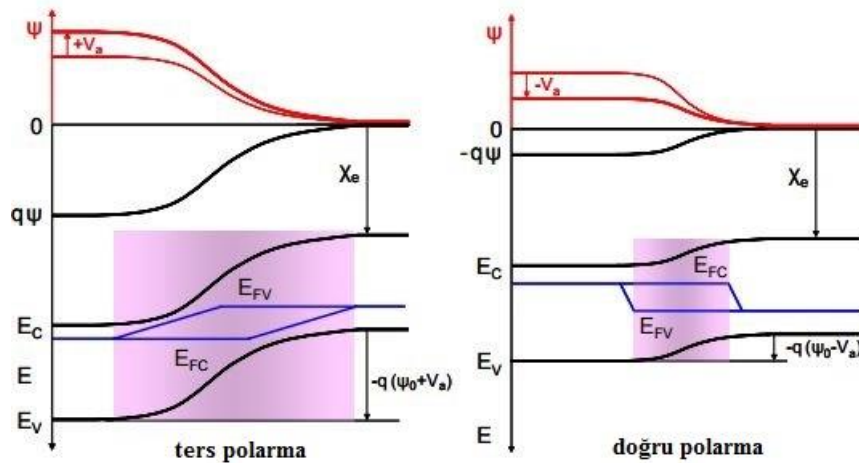
P ve N tipi maddeler yalın halde elektriksel işlevlerini yerine getiremezler. Bu nedenle bir arada kullanılmaları gerekir ve bu birliktelik P-N birleşimi veya P-N eklemine oluşturur. N bölgesi elektron bakımından yoğundur ve “çoğunluk akım taşıyıcısı” olarak adlandırılırlar. P bölgesi ise boşluk bakımından yoğundurlar. Bunlara “azınlık elektron taşıyıcısı” denmektedir. P bölgesindeki boşlukların ve N bölgesindeki elektronları hareketleri birbirlerine zıttır. P ve N maddelerini birleştirirsek, birleşim olduğu anda elektronlar boşluklarla birleşir. P maddesindeki fazla oyukların bir kısmı ise, N maddesine gelip elektronlarla birleşirler. Bu durumda P maddesi net bir (-) yük, N

maddesi ise (+) yük kazanmış olur. Bu olay olurken P maddesi (-) yüke sahip olduğundan N maddesindeki elektronları iter. Aynı şekilde, N maddesi de (+) yüke sahip olduğundan P maddesindeki oyukları iter. Böylece P ve N maddesi arasında daha fazla elektron ve oyuk akmasını engellerler. Şekil 2.5'te yük dağılımının belirtildiği şekilde oluşması sonucunda P-N birleşiminin arasında "gerilim seddi" denilen bir bölge (katman) oluşumu gösterilmiştir [13].



Şekil 2. 5 P-N Ekleminin ve Deplasyon Bölgesinin Oluşumu

Denge durumundaki bir P-N ekleminde oluşan deplasyon bölgesi bir gerilim oluşturur. Elektronlar bu gerilimi aşabilmek için akım oluşturmaktadır. Bu silisyum için 0.7 V, germanyum için 0.3 V olarak tespit edilmiştir. Eğer P-N ekleminin P tarafına pozitif(+) N tarafına negatif (-) gerilim uygulanırsa yapı iletme geçecektir. Bu durum "doğru polarma" olarak adlandırılır. Ters uygulanırsa "ters polarma" söz konusudur. Şekil 2.6'da bir P-N eklemi için fermi seviyesinin doğru ve ters polarma durumlarındaki durumu gösterilmiştir.

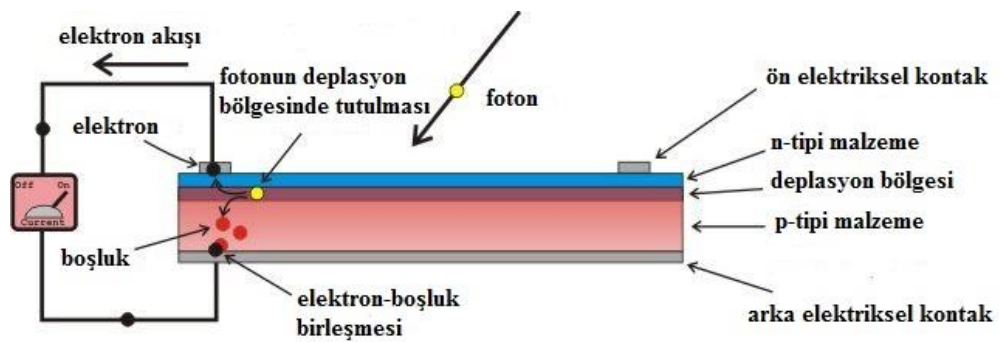


Şekil 2. 6 P-N Ekleminde Fermi Seviyesinin Doğru ve Ters Polarma Şartlarındaki Durumu

2.3 Güneş Hücrelerinin Çalışma Prensibi

Güneşten gelen fotonlar silisyum kristalinin bağlarını kırmak için yeterli enerjiye sahiptir. Bunun anlamı kendilerinden yüksek enerjili bir fotona denk gelen elektronlar hareketlenir ve bağları kopar. Ancak tüm bağlarının kopması durumunda silisyum erir. Güneşin yeryüzüne ulaşan ışık şiddeti tüm bu bağları koparmaya yetecek güçte değildir. Yani güneş hücresi normal şartlar altında erimez. Hareketli elektronlar katkı maddesinden gelen elektronlara benzer ve serbestçe dolaşırlar. Aynı şekilde bir bor katkısıyla oluşan delikler gibi boşluklarda elektronlara hazır durumdadır. Foton, güneş hücresinin üzerine düştüğünde elektronlar pozitif kutba doğru çekilirler ve N-tipi bölgede elektron azalmaya başlar. Bu birleşme bölgesinde bir akıma sebebiyet verir. Akım yönü deliklerin hareketi ile aynıdır. Yani akım eklem boyunca n-tipi taraftan p-tipi tarafa doğru akar [14].

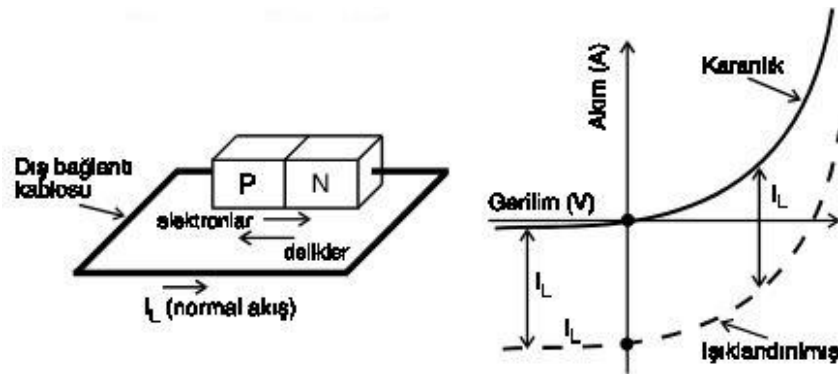
Katottan (N-tipi silikon) anoda (P-tipi silikon) bir tel bağlanırsa elektronlar tel boyunca akacaktır. Elektron, P-tipi malzemenin pozitif yüküne çekilir ve bir akıma yol açar. Çıkarılan elektron tarafından yaratılan delik N-tipi malzemenin negatif yüküne çekilir ve arka elektrik kontağına götürür. Elektron P-tipi silikonun arka elektrik kontağından girdiğinde, delikle birleşir [15]. Bu durum şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Şekil 2. 7 P-N Eklemde Akımın Oluşması

Güneş hücreleri algıladıkları foton enerjisinden eşit sayıda pozitif ve negatif yükler oluşturarak güneş enerjisini yararlı elektrik enerjisine dönüştürebilirler. Çalışma tarzları ise p-n eklemli bir diyota benzer. Eğer enerjisi enerji boşluğundan daha büyük olan bir foton bir valans elektronuna çarparsa bu elektron fotonu yutar ve iletim bandına sıçar.

N ya da P tipi malzemelerin içinde böyle bir olay meydana gelirse, yeni oluşturulan serbest elektron ve delik, diğer elektron ve delikler tarafından hızlıca yutulur ve yeni bir birleşme meydana getirirler. Fakat, eğer bir foton geçiş bölgesindeki bir atomu çevreleyen bir valans elektronuna çarparsa, elektron ve delik elektrik alanı tarafından ayrılmaya zorlanacak ve ilgili P ve N tipi malzemelere doğru itileceklerdir. Böylece bir elektron ve bir delik daha önceki dengeli birleşime eklenecek ve bir akım oluşacaktır. Güneş hücresinin dış devre uçları bir ampermetre üzerinden birleştirilirse, bir elektronun meydana getireceği akım okunur. Benzer şekilde hücrenin dış devre uçları arasına bağlanacak bir voltmetre de bir elektronun oluşturacağı gerilimi verir. Ancak unutulmamalı ki bulutlu bir günde dahi trilyonlarca foton ışıını yeryüzüne düşer. Bu fotonların büyük bir bölümü de P-N birleşimli güneş hücresinin üzerine gelir ve trilyonlarca elektronu valans bantlarının dışına iterek trilyonlarca elektron-delik çifti oluştururlar. Bu çiftlerin bir çoğu hiç bir iş yapmadan kristali ısıtarak çabucak yeniden birleşirler. Fakat geçiş bölgesinde oluşan çiftler çabucak birbirlerinden ayrılarak P ve N tipi malzemeleri dış devreye birleştiren metal tutuculara veya bağlantı iletkenlerine doğru itilirler. Böyle bir durumda güneş hücresinin uçları bir ampermetre üzerinden kısa devre edilirse, ampermetreden bir kaç amper okunabilir. Bir güneş hücresi, P-N katmanlarına ait terminaller arasında bir yük olduğu sürece güneş enerjisini, çıkışında bir elektrik gücüne dönüştürür. Herhangi bir yük ya da P-N terminallerini dışardan birbirine bağlayan bir yol yoksa elektron akışı gerçekleşmez ve dolayısıyla fotoakım üretilmez. Ayrıca eğer yük çok küçük bir güce sahipse, ya da P-N çıkış terminalleri kısa devre edilmişse güneş hücresinin çıkışından elektrik gücü alınamaz. Klasik doğru akım (DA) güç kaynaklarının tersine bir fotovoltaiik güneş hücresinin akım-gerilim ilişkisi şekil 2.8’de gösterildiği gibi doğrusal değildir [16].



Şekil 2. 8 P-N Eklemlili Diyotun Karanlık ve Işıklılandırılmış Durumda Akım – Gerilim Karakteristiği

2.4 Güneş Hücresi Çeşitleri

Son yıllarda yapılan çalışmalar ve malzemelerdeki yeniliklerle birlikte birçok güneş hücresi çeşidi piyasaya çıkmış ve malzeme çeşidine göre ağırlıklı olarak silisyum (tek kristal, çok kristal, amorf silisyum), kadmiyum-tellür, bakır-indiyum-galyum-selenyum ve bakır-indiyum-galyum-sülfür temelinde çeşitlenmiştir.

Kullanılan bu güneş hücrelerini tarihsel ve teknolojik gelişimlerine göre sıralayacak olursak; birinci nesil(tek kristal-çok kristal), ikinci nesil(ince film), üçüncü nesil (nanokristal, konsantre) olarak üç grupta inceleyebiliriz.

2.4.1 Birinci Nesil Güneş Hücreleri

En eski ve en popüler olan bu teknolojiye güneş hücreleri silisyum waferlar temelinde üretilmektedir. Tek ve çok kristalli olmak üzere iki alt grupta incelenmektedir.

2.4.1.1 Tek Kristalli Silikon Güneş Hücreleri

Czochralski adı verilen bir prosesle üretilen bu hücreler kristal silisyumun ince kesilerek ingotlar elde edilmesiyle ve yeniden kristalizasyonla bu ingotlardan tek kristal eldesi işlemlerinden geçer. Verimleri %17-%18 civarındadır.

2.4.1.2 Çok Kristalli Silikon Güneş Hücreleri

Tek kristalli güneş hücresi eldesinden daha ekonomik olan bu yöntemde farklı kristal yapıdaki silikon hücreler kullanılır. Neredeyse güneş hücresi piyasasının %48 ini oluşturan bu hücreler yaklaşık olarak %12-%14 verimliliktedirler.

2.4.2 İkinci Nesil Güneş Hücreleri

İkinci nesil güneş hücreleri silikon kristalli güneş hücrelerine göre esneklik, düşük maliyet ve incelikleri yönünden daha iyi olmaları nedenleriyle göze çarpmalarıyla beraber bu hücre çeşitleri amorf-silisyum, kadmiyum-tellür, bakır-indiyum-galyum-selenid olarak üç grupta incelenebilir.

2.4.2.1 Amorf-Silisyum(a-Si) Güneş Hücreleri

Bu güneş hücreleri düşük bir işlem sıcaklığında az maliyetli polimer ve esnek bir yapıda üretilmektedir. Çok ucuz ve kullanışlıdır. Güneş hücresiyle ilgili olarak "amorf" sözcüğü hücrenin içerdiği silikon materyalin kristal olmayan yapıda olmasından gelir. Genellikle kahverengi renktedirler. Amorf yapıdan dolayı verimlilikleri %4-%8 civarındadır. Değişken hava durumlarına uyumludurlar.

2.4.2.2 Kadmiyum-Tellür(CdTe) İnce Film Güneş Hücreleri

Maliyeti düşürmek konusundaki çalışmalar bu hücrelerin çıkmasına neden olmuştur. 1.5eV civarında bir bant genişliğine ve yüksek ışınım absorbesine sahiptirler. Kadmiyum-Tellür katmanlarının P-N eklemi içerisindeki formu şeklinde üretilirler. Polikristal malzemeler ve cam kullanılarak CdTe hücreler sentezlenir ve çoklu katmanlar substratlar kullanılarak kaplanırlar. Verimleri %9-%11 civarındadır. Kadmiyumun geri dönüşümü çok pahalı ve insan, hayvan, bitki yaşamı içinse oldukça zararlıdır. Bu nedenle sınırlı ham madde temini ve çevresel diğer konular bu hücrelerle alakalı çözülmesi gereken başlıca sorunlardandır.

2.4.2.3 Bakır İndiyum Galyum Di-Selenid Güneş hücreleri

İsminden de anlaşılacağı üzere dört elementi içeren bu güneş hücresi CdTe güneş hücrelerine göre %10-%12 ile yüksek bir verime sahiptir. Püskürtme, buharlaştırma, elektrokimyasal kaplama, baskı ve elektron ışını biriktirme gibi üretim prosesleri içermektedir. Ayrıca püskürtme prosesi çökeltme ve çökeltiye selenyum takviyesi gibi işlemler içermektedir. En önemli avantajları uzun ömürlü olmalarıdır. Bu özellikleri verimliliklerini artırabilmek için hala avantaj olarak görülmektedir.

2.4.3 Üçüncü Nesil Güneş Hücreleri

Şimdi ve gelecek için hala araştırılmakta olan bu güneş hücreleri başlıca dört ana grupta incelenebilir. Bunlar nano kristal tabanlı, polimer, boya duyarlı ve konsantre güneş hücreleri olarak isimlendirilirler.

2.4.3.1 Nano Kristal Tabanlı Güneş Hücreleri

Kuantum noktalı (QD) güneş hücreleri olarakta bilinirler. Nanokristal boyutlarda yarı iletken malzemelerden elde edilmişlerdir. Sıklıkla gözenekli silisyum ve titanyumdioksit gibi materyaller kullanılır. Geleneksel bileşik yarı-iletken güneş hücrelerinde foton bir elektron-boşluk çifti oluştururken QD'ye vurduğunda sayısız çift oluşturabilmektedir.

2.4.3.2 Polimer Güneş Hücreleri(PSC)

Genellikle polimer katkı sayesinde esnek olan bu güneş hücreleri Kodak Araştırma Laboratuvarı'nda üretilmiştir. Silisyum tabakaların şerit levha halinde kesilmesiyle üretilmektedir. Güneş ışığının emilmesi için çeşitli polimerler kullanılmaktadır. Bu hücre üzerinde yapılan çalışmalar hala devam etmektedir.

2.4.3.3 Boya Duyarlı Güneş Hücreleri

Son zamanlarda yapılan çalışmalarla moleküler değişikliklerle güneş etkinliğini artırmak ve nanoteknoloji ile güneş ışığının etkin kullanımı hedeflenmiş ve ilk boya duyarlı güneş hücresi Michel Gratzel tarafından üretilmiştir. Esnek, şeffaf ve düşük maliyetli olan bu hücreler %10 verimliliğe ulaşabilmiştir. Boya molekülleri kızıl ötesi ve morötesi ışınlarda ise bozunmaya uğramaktadır. Bu durum karşılaşılan en büyük dezavantajlardandır.

2.4.3.4 Konsantre Güneş Hücreleri (CPV)

Temel prensibi adındanda anlaşılacağı üzere güneş ışığının bir noktaya odaklanması üzerine kuruludur. Böylece güneş ışığından büyük miktarda ısı elde edilmektedir. Düşük, orta, yüksek mercek sistemine göre verimlilikleri %40 üzerine çıkabilmektedir. Fakat malzeme ve ekipman üretimindeki güçlükler hala üzerinde çalışılan konulardandır [17].

3. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

3.1 Literatür

Literatürde güneş hücrelerinin matematiksel modellenmesi ve bu modellerin bilgisayar ortamında uygulanmasıyla alakalı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar güneş hücrelerinin elektriksel modelleri ve çevresel etkilerin paneller üzerinde gerek malzeme teknolojileri gerekse performansa etkileri üzerine yoğunlaşmış, bunlarla alakalı algoritmalar bilgisayar ortamında çeşitli platformlarda çalışmalara yardımcı olmuştur.

Altaş [18] çalışmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının öneminin gün geçtikçe arttığını ve bunlardan rüzgar ve güneş enerjisinin pratikte elektrik enerjisine dönüştürülmesinin kolay olduğunu belirtmiş ayrıca yenilenebilir olmayan nükleer enerji gibi kaynakların doğada uzun süreli tahribat bırakabileceğini ifade etmiştir. Türkiye'nin artan enerji açığına alternatif olarak rüzgar ve güneş enerjisini ana sisteme destek olması açısından önermiştir.

Panel çalışırken hücre sıcaklığı, ortam şartları ve ışıınım miktarı panel karakteristiğini dinamik olarak değiştirmektedir. Güneş hücrelerinin doğru ya da alternatif akım üreten kaynaklardan farklı olan bu karakteristikleri simülasyonlar için modellemeyi zorlaştıran etkenlerdendir. Mengi [19] çalışmasında geliştirilen modellerin bu dinamiğe yanıt verebiliyor olmasının önemli olduğunu belirtmiş ve genel kullanım amaçlı 4 parametre modelini kullanarak MATLAB/SIMULİNK ortamında bir güneş hücresi simülasyonu gerçekleştirmiştir.

Güneş hücrelerinin basitçe diyot, seri-paralel direnç ve akım kaynağı gibi elektriksel elemanlarla kurulmuş bir devre ve diyot özelliğinden dolayı elde edilen üstel bir ifadeyle matematiksel olarak temsili mümkündür. Maksimum güç değerini elde edebilmek için ise bu görünmeyen parametrelerin farklı şartlarda ne şekilde davrandıklarını bilmek gerekmektedir. Altaş ve Sharraf [20] çalışmalarında maksimum güç noktası (MGN) ile alakalı algoritmasında herhangi bir sıcaklık veya ışıınım anında meydana gelen akım ve gerilim ölçümleri yardımlarıyla MGN izleme algoritmasını bir dizi deneysel çalışmayla oluşturmuş ve hücrelerin/panellerin P-V ve I-V karakteristikleri hakkındaki bilgiler ancak ölçümlerle elde etmişlerdir. Elektriksel parametrelerle alakalı bir bilgi vermemektedir.

Masoum vd. [21] çalışmalarında voltajın panelin maksimum güç noktasına doğru orantılı bir etkisi olması üzerine yoğunlaştılar. Voltaj tabanlı maksimum güç noktası (VMGN) isimli çalışmada MGN ile paralel olarak ölçümler yardımıyla alınan akım-gerilim verileri ölçülmüş ve maksimum güç noktası tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu yöntemde ışıınım ve sıcaklık değişimlerinin yine panel P-V ve I-V karakteristiklerini doğrusal olmayan şekilde etkilediği net bir biçimde ortaya konmuştur. Maksimum Güç Noktası İzleme Algoritmasına kıyasla ise daha basit ve yüksek verimli bir yöntem olduğu belirtilmiştir.

Elshatter vd. [22] çalışmalarında panelin elektriksel davranışının çevre koşullarına bağlı olduğunu bu bağlamda ışıınım, panel yüzey sıcaklığı ve maksimum güç noktasının tespitinin simülasyon amaçları için ana öğeler olduğunu ortaya koydular. Bunula alakalı olarak seri ve paralel direnç, diyot idealite faktörü ve saturasyon akımı parametreleriyle ilgilenmiş ve simülasyon için bu parametrelerinde bilinmesi gerektiğini vurgulamıştır. Bu parametreleri kullanarak sıcaklık ve ışıınımın maksimum güç noktasındaki değişimleri ve araştırdığı parametrelerin dinamik davranışını fuzzy isimli model oluşturarak tespit etmiştir.

Neto vd. [23] saha koşullarında güneş panellerinin performans değerlendirmelerini yapmak için monokristal ve polikristal panellerle birlikte seri direnç, diyot idealite faktörü, saturasyon akımı parametrelerini göz önünde bulundurarak bir model geliştirmiş ve geliştirdiği modelde sistemin çalışma koşullarındaki P-V ve I-V

karakteristiklerini ortaya koydular. Simulasyon sonuçlarında ise ölçülen değerlerle bulgular arasında %2.26 hata tespit edilmiştir.

Campbell vd. [24] elektriksel modellemenin diğer modellemelere göre daha basit ve yararlı olduğunu belirtmiş piecewise linear modeli ortaya koydular. Bu modelde teorik olarak 5 parametre denklemleri kullanılmıştır. Teorik ve ideal I-V grafiği eğrileri diyot karakteristiği üzerinden gösterilmiş ve Sandia modeli ile uyumlu bir modeli PSCAD/EMTDC yazılımı ile oluşturmuştur.

Dondi vd. [25] geniş bir ışınlam aralığı üzerinde güneş hücrelerinin davranışını izleyen bir PSpice devre modeli sunarak, modeli daha sonra çok düşük güçlü fakat yüksek verimli bir hücre üzerinde durum çalışması yaparak elektriksel model denklemleri yardımıyla ışınlam, sıcaklık ve açı gibi parametreleri optimize ederek deneysel verilerle kıyasladılar. Model çıkış geriliminde %4.4 ve -%3.3 aralığında değişen hata ile panel P-V ve I-V karakteristiklerini ortaya koymuştur.

Walker [26] çalışmasında Shocley diyot denklemi temelinde 4 parametre modelini 60W'lık bir panel için ortaya koymuş ve elektriksel parametrelerin çıkarılması için MATLAB ortamında bir model oluşturmuştur. Burada paralel direnç ihmal edilmiş ve diyot idealite faktörünün 1 ve 2 arasında değiştiği belirtilmiştir.

Chenni vd. [27] çalışmalarında bakır indiyum diselenid ince film, monokristal ve polikristal türünde üç farklı güneş paneline 4 parametre modelini uygulayarak farklı ışınlam ve sıcaklık şartlarında panel P-V ve I-V karakteristiklerini simulasyon yoluyla ortaya çıkarmışlardır. Burada elde edilen veriler ayrıca panellerin seri ve paralel bağlanması durumunda ne şekilde karakteristikleri etkilediğini grafiklerle göstermiş ve parametreleri tespit ederken Shocley diyot denkleminde idealite faktörünü seri bağlı hücrelerle beraber “shape factor” olarak denklemlerine eklemiştir. Modelinde başlangıç için gerekli I_{sc} , I_{max} , V_{oc} , V_{max} gibi verileri panel kataloğundan alınmıştır.

Chenaar vd. [28] çalışmalarında 4 parametre modelinin parametre denklemleri için matematiksel yaklaşımını değiştirmiş ve kullanılan güneş paneli için elde edilen deneysel verilerle karşılaştırma yaparak saturasyon akımı, idealite faktörü, seri direnç ve

fotovoltaik akım parametrelerinin değişimini silikon güneş hücresi (33°C), silikon güneş paneli (45°C) ve plastik güneş hücresi ($27,3^{\circ}\text{C}$) için ortaya koydular.

Çelik vd. [29] dört ve beş parametre modelini 120W'lık bir monokristal panele uygulayarak çevre sıcaklığı ve ışıyım miktarının akım üzerindeki etkisini araştırmış ve eşdeğer devre modellerinde beş parametre modelinin dört parametre modeline göre akım açısından daha iyi sonuçlar verdiğini deneysel verilerle karşılaştırarak ortaya koydular.

Zhou vd. [30] çalışmalarında dört parametre modelini kullanarak model denklemlerindeki matematiksel değişikliklerle yeni ve basit bir model oluşturmuş ve farklı ışıyım ve sıcaklık değerleri için hesaplanan katsayı parametrelerinde kısa devre akımı, açık devre voltajı, dolum faktörü ve maksimum güç çıkışı sonuçlarını Hong-Kong'da bir binaya entegre edilmiş panelin saha verileriyle karşılaştırmıştır. Modül performansının özellikle hava koşullarından etkilendiğini belirtmiş ve diyot idealite faktörü için 1 ve 2 arası olarak belirtilen literatür değerlerini kullanmıştır.

Toprak vd. [31] çalışmalarında ticari olarak satışı gerçekleştirilen bir güneş panelinin katalog bilgilerini kullanarak dört parametre modellemesini simplfy explicit ve slope yöntemlerini kullanarak MATLAB ortamında gerçekleştirdiler. Farklı ışıyım ve sıcaklık şartlarında saturasyon akımı, idealite faktörü, fotovoltaik akım ve seri direnç parametrelerinin değişimlerini incelediler. Sonuçta ışıyım artışının akım ve çıkış voltajını artırdığını ve sıcaklık artışının gerilimi düşürdüğünü ortaya koydular.

Tsai vd. [32] çalışmalarında MATLAB programında gömülü PV yazılım paketini kullanarak seçilmiş güneş panelinin farklı ışıyım ve sıcaklık değerleri için P-V ve I-V karakteristik eğrilerini elde ettiler. Burada paket yazılımın kullanımındaki pratiklik ve basitliğe dikkat çekilmiş ve farklı fotovoltaik teknolojilerle üretilen panellerin idealite faktörleri arasındaki ilişkiye çalışmalarındada yer vermişlerdir. Burada 1 ve 2 arasında değişen idealite faktörleri değerleri arasında literatürle uyumlu olan monokristal ve polikristal teknolojilerindeki idealite faktörünün 1.3 olarak kabul edildiği göze çarpmaktadır.

Villalva vd. [33] çalışmalarında güneş paneli katalog verilerinden yola çıkarak beş parametre elektriksel modeli parametre denklemlerini ortaya koydular ve geliştirdikleri algoritmayla pratik bir çözüm sundular. Ayrıca yine pratik kullanım için sıcaklığa bağlı saturasyon akımı denklemi elde ettiler. Yapılan bu çalışmada idealite faktörü sabit kabul edilmesinin yanında deney ve yapılan simülasyon sonuçları karşılaştırılmış sonuçta seri direnç, paralel direnç, saturasyon akımı, fotovoltaiik akım parametreleri farklı sıcaklık ve ışıınım değęrlei için bulunmuştur.

Salmi vd. [34] çalışmasında güneş panelinin MATLAB modeli üzerinde durmuş ve beş parametre elektriksel modelini kullanarak akım kaynağı,seri direnç,paralel direnç ve akım kaynağından oluşan matematiksel denklemlere dayalı modeli geliştirmiştir. Bu model farklı sıcaklıklarda ve ışıınım değęrlerinde panel karakteristik eğrileri ile beraber farklı R_s ve R_p değęrleri için P-V ve I-V karakteristiklerinin değışiminide göstermiştir. Saturasyon denklemi Villalva'nın sunduğu denklemle aynıdır.

Orioli vd. [35] çalışmalarında geliştirdiğı modelde seri direnç ve paralel direnç denklemlerini katalogdan aldığı performans grafiklerinin türevleri yardımıyla hesaplamaya çalışmış ve farklı panellere uyguladığı bu modelde tedarikçiden alınan akım değęrleriyle kendi sonuçları arasında %2.12 ve %1.97 arasında değışen hatalarla uyum sağlamıştır. Ayrıca modelinde sıcaklık sabitleriyle alakalı güncellemeler ve karşılaştırmalar da mevcuttur.

Shongwe vd. [36] çalışmalarında iki farklı güneş paneli modellediler ve karşılaştırmalı bir çalışma sundular. Bunları deneysel olarakta doğrulamaya çalışmışlar ve parametreleri tahmin etmeye çalışmışlardır. Beş parametre modelindeki seri direnç, paralel direnç, diyot idealite faktörü, saturasyon akımı, fotovoltaiik akım parametrelerinin akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristik eğrilerine olan şekilsel etkisini gözlemlemişlerdir. Farklı ışıınım-sıcaklık koşullarında açık devre voltajındaki değışime dikkat çekilmiş, önerdikleri modelde kısa devre akımını fotovoltaiik akıma matematiksel olarak eşitlemenin modelde diğęr modellere kıyasla daha tatmin edici sonuçlar verdiğini ortaya koymuştur.

Yetayew vd. [37] çalışmalarında beş parametre modeli üzerinde yoğunlaşmışlar ve newton raphson metodu kullanarak paralel direç değerini tahmin etmenin diğer metodlardan daha doğru olabileceğini belirtmişlerdir. Newton-Raphson metoduyla parametre tahminine alternatif olarak geliştirdiği “simulated annealing (SA)” modeli ve newton raphson metodu arasında bir karşılaştırma yaparak SA modeli ve algoritmasının daha hızlı ve pratik sonuç verdiğini göstermişlerdir.

Cubas vd. [38] çalışmalarında farklı ışıınım-sıcaklık değerleri için farklı panel karakteristiklerini ve 5 parametre modelini kullanarak analitik parametre tanımlama yöntemleriyle birlikte numerik parametre denklemlerini farklı bir yaklaşımla ortaya koydular. İhtiyaç duyulan parametre değerlerini bu iki yaklaşım yardımıyla tespit etmeye çalışmışlardır.

Elektriksel modelleme her ne kadar panelin P-V ve I-V karakteristiği hakkında bilgi veriyor olsa da gerçekte panel performansının çevre şartlarına göre değiştiği pek çok araştırmacının ortak görüşüdür. Bunun sebeplerinden bir tanesi de panelin üretiminde kullanılan malzeme özellikleridir. Panellerin değişik katmanlardan oluşması durumu termal model ve panel ısı kayıplarıyla alakalı çalışmaları da beraberinde getirmiştir. Notton vd. [39] çalışmalarında panel tarafından absorbe edilen ışıının bir kısmının elektriğe dönüştüğü ve dönüşmeyen kısmının ise ısı kaybı olarak açığa çıktığını ifade etmişlerdir. Yaptıkları deneysel çalışmada çevreden alınan gerçek veriler panel için oluşturulan termal modele uygulanmış ve panelin gerçek şartlardaki performansı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Tina vd. [40] çalışmalarında gerçek bir güneş paneli uygulamasında çıkış gücünü tespit edebilmek için panel katman sıcaklıklarının ortam sıcaklığının bir fonksiyonu olarak sıcaklık, rüzgar hızı, rüzgar yönü ve ışıma şiddetine bağlı matematiksel bir model geliştirmişlerdir. Elektriksel olarak 5 parametre modelini benimsemişlerdir. Işıınım ve sıcaklıkla değişen akım ve gerilim değerlerindeki doğru tespitinin önemli olduğu vurgulanmıştır.

Wong vd. [41] çalışmalarında yarı saydam güneş panellerinin çatı uygulamalarında hafif bit malzeme olduğunu önererek Japonya’da farklı iklim koşullarında enerji üretimi

için deneysel bir çalışma yapmışlardır. Uygun optimizasyon yöntemleriyle enerji tasarrufuna %3-%8.7 aralığında katkı sağlandığı görülmüştür.

Balog vd. [42] çalışmalarında Ulusal Yenilenebilir Enerji Laboratuvarı'ndan (NREL) gözlediği verilere dayanarak gerçek şartlardaki bir fotovoltaiik modülün termal modellemesini yaparak termal yönetim zahmetli olmadığını belirtmişlerdir. Çalışma saatlerinin %99'u için modül sıcaklığının 70°C'den az olduğu tespit edilmiştir.

Bardhi vd. [43] çalışmalarında açık havadaki bir güneş panelinin sıcaklığını hesaplamak için kararlı bir termal modelini geliştirdiler. Bu modelde ışıınım, ortam sıcaklığı, rüzgar hızı ve modül tasarımı hatta montaj yapısı da dahil çıkış gücü için önemli olduğu bildirilmektedir.

Tofghi [44] çalışmasında fotovoltaiik modülün çalışma sıcaklığını araştırmış ve oluşturduğu termal modelde malzemelerin ısı kapasitelerini, ısı değişimlerini dikkate alarak bir elektrik benzeşim devresi oluşturmuştur. Daha sonra oluşan bir dizi diferansiyel denklem, bilgisayar ortamında çözdürülerek katmanlar arası sıcaklık farklarını tespit etmiştir.

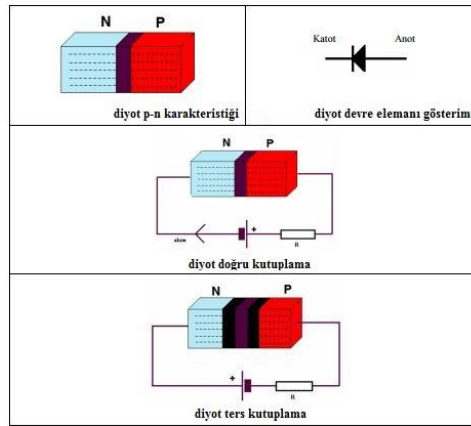
Ayaz vd. [45] çalışmalarında MATLAB ortamında gerçek hava şartlarını göz önünde bulundurarak bir panel modeli ortaya koydular. Bu model monokristal, polikristal ve ince-film olmak üzere üç farklı teknoloji için test edilmiş ve hesaplamalarda ışıınım, rüzgar hızı, hücre sıcaklığı verileri matematiksel denklemlerde hesaba katılmış sonuçta modelin polikristal panel dışında diğerleriyle iyi bir uyum sağladığı ortaya konmuştur.

Bu çalışmada güneş paneli dört parametre ve beş parametre elektriksel modeli kullanılarak modellenen SP75 güneş paneli parametre değerleri literatürde aynı panel için yapılan çalışmalarla kıyaslanmış ve literatürden farklı olarak her iki model içinde farklı iki algoritma MATLAB ortamı için sunulmuştur. Ayrıca çalışmada termal özellikleri yine literatürde bildirilen NP190Q güneş panelinin termal modellemesi Sp75 paneliyle doğrulanmış olan yeni algoritmalar yardımıyla Kayseri ili çalışma koşulları için yapılmıştır.

4. BÖLÜM

GÜNEŞ HÜCRESİNİN ELEKTRİKSEL MODELLENMESİ

Güneş hücreleri yarı-iletken karakterde oldukları için elektriksel olarak devrede bir diyot gibi davranmaktadırlar. Bu sebeple güneş hücreleri modellenirken diyot modelleri kullanılmaktadır. Güneş hücrelerinin karşılaştıkları kayıplar ise elektriksel olarak dirençler (R_s , R_p) ile ifade edilirler. Modellemede kullanılan diyot idealite faktörü (n), güneş hücresinin diyot şeklindeki davranışından dolayı doğru kutuplanmada akım-gerilim karakteristikleri kullanılarak hesaplanan ve diyotun ideallliğini gösteren boyutsuz bir parametredir. Diyotun doğru ve ters kutuplanma durumları şematik olarak şekil 4.1’de gösterilmiştir.

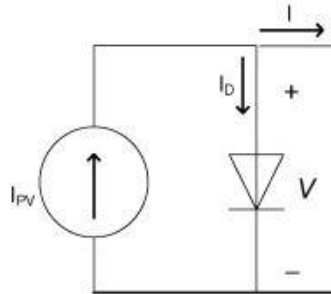


Şekil 4. 1 Diyot P-N Karakteristiği, Devre Gösterimi, Doğru, Ters Kutuplama

4.1 Güneş Hücresi İdeal Modeli

İdeal bir güneş hücresi, tek bir diyot ve buna paralel bağlanmış bir akım kaynağından oluşur. Burada akım kaynağından üretilen akım “ I_{pv} ” ve diyot akımı “ I_d ” olarak ifade

edilmiştir. Bu model sadece hücre modellemesinin kavramsal açıklaması için kullanıldığından dolayı fotovoltaik hücre simülasyonu için nadiren kullanılmaktadır.



Şekil 4. 2 İdeal Güneş Hücresi Elektriksel Modeli

Diyot doğru kutuplanıp, bariyer bölgesini yenecek gerilim değeri verildiğinde üzerinden akan akıma iletim akımı “ I_d ” denir. Normalde ters kutuplanma halinde diyotun akım iletmemesi gerekmektedir. Çünkü uygulanan ters kutuplamayla birlikte bariyer bölgesi büyüyecektir. Ancak pratikte ters kutuplama esnasında da çok küçük de olsa diyot üzerinden ters yönde sızıntı akımı akmaktadır. Bu sızıntı akımına “ I_0 ” ters saturasyon akımı denir. Saturasyon akımı ve iletim akımı arasındaki bağıntı denklem 4.1’de gösterildiği gibidir [46].

$$I_d = I_0 * \left(e^{\frac{V*q}{n*N_s*K*T}} - 1 \right) \quad (4.1)$$

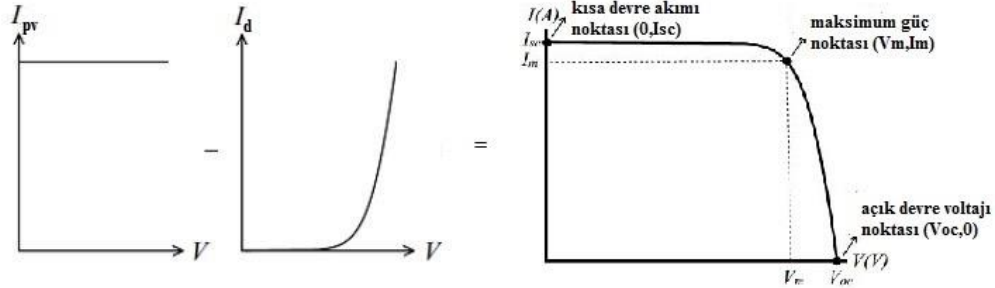
Akım kaynağında üretilen çıkış akımı “ I ” fotovoltaik akım ve diyot akımı arasındaki farka eşittir. Denklem 4.1’de ki diyot akımı bağıntısı göz önünde bulundurularak akım denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir [47].

$$I = I_{pv} - I_d \quad (4.2)$$

$$I = I_{pv} - I_0 \left(e^{\frac{V*q}{n*N_s*K*T}} - 1 \right) \quad (4.3)$$

Fotovoltaik akım güneş ışınıyla birlikte panele gelen fotonların elektronlarla enerji alış veriş sonrası oluşan yük hareketinden dolayı oluşmaktadır. Bu sebeple akım değeri sabit bir grafikte seyrederken, diyot akımı denklem 4.2 ve 4.3 eşitliklerinden görüleceği

zere lineer olmayan bir grafikte seyredecektir. Çıkış akımı grafiği ve I-V eğrisindeki önemli noktalar şekil 4.3'te gösterilmektedir.



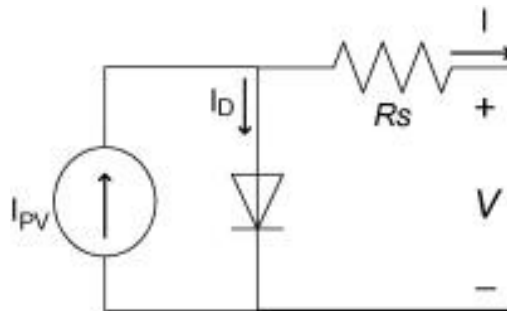
Şekil 4. 3 İdeal Güneş Hücresi I-V Karakteristiği Elde Edilmesi

Güneş hücresinin akım-gerilim ilişkisinin doğrusal olmamasından dolayı parametrelerin elde edilmesi için bazı sayısal ve analitik yöntemler araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır [48-49].

4.2 Güneş Hücresi Tek Diyot Modeli

4.2.1 Güneş Hücresi 4-Parametre Modeli

Bu modelde ideal güneş hücresi modelinden farklı olarak silikon ve elektrot yüzeyleri arasında temas direncine bağlı kayıplar ve silisyum malzemedeki elektrotların akım direnci dikkate alınmaktadır. Bu kayıplar ideal güneş hücresi modeline bir seri direnç eklenerek 4-parametre elektriksel modeli oluşmaktadır. Şekil 4.4'te gösterilen bu model tek diyot-Rs modeli olarak da bilinmektedir [50].



Şekil 4. 4 Güneş Hücresi Tek Diyot-Rs Modeli

Bu modeli oluşturan dört değişken olan fotovoltaiik akım, saturasyon akımı, diyot idealite faktörü ve seri direnç parametrelerine bağlı akım denklem 4.4'te belirtilmektedir.

$$I = I_{pv} - I_o \left(e^{\frac{q(V+I \cdot R_s)}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} - 1 \right) \quad (4.4)$$

4.2.2 Güneş Hücresi 4-Parametre Modeli Parametre Denklemlerinin Elde Edilmesi

4.2.2.1 Newton-Raphson Metodu

Bu metodun uygulanması sırasında kullanılan her F fonksiyonu, değişkenlerin değerleriyle oynanarak sifıra yakınsanacak şekilde değiştirilmekte ve sifıra en yakın değişken değerleri ya da fonksiyonu sifıra eşitleyen değişken değerleri parametrelerin sonuçlarını bize vermektedir [51].

$T = T_{hücre}$ olarak ele alındığında denklem 4.4 göz önünde bulundurularak fonksiyonlar aşağıdaki gibi ifade edilmektedir:

I_{sc} noktası için $I = I_{sc}$ ve $V = 0$ 'dır.

$$I_{sc} = I_{pv} - I_o \left(e^{\frac{q(0+I_{sc} \cdot R_s)}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} - 1 \right) = I_{pv} - I_o \left(e^{\frac{q(I_{sc} \cdot R_s)}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} - 1 \right) \quad (4.5)$$

V_{oc} noktası için $I = 0$ ve $V = V_{oc}$ 'dir.

$$0 = I_{pv} - I_o \left(e^{\frac{q(V_{oc}+0 \cdot R_s)}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} - 1 \right) = I_{pv} - I_o \left(e^{\frac{q(V_{oc})}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} - 1 \right) \quad (4.6)$$

Maximum Güç ve Akım noktası için $I = I_{max}$ ve $V = V_{max}$ 'dır.

$$I_{max} = I_{pv} - I_o \left(e^{\frac{q(V_{max}+I_{max} \cdot R_s)}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} - 1 \right) \quad (4.7)$$

Elektrikte güç denklemi akım ve gerilimin çarpımına eşittir. Burada maximum güç maksimum akım ve maksimum gerilimin çarpımına eşit olacaktır.

$$P = V \cdot I \quad (4.8)$$

$$P = V \cdot \left[I_{pv} - I_o \left(e^{\frac{q(V+I \cdot R_s)}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} - 1 \right) \right] \quad (4.9)$$

Maksimum Güç noktasında gücün gerilime göre türevi sıfırdır.

$$\frac{dP}{dV} = 0 = \frac{\partial I}{\partial V} \cdot V + \frac{\partial V}{\partial V} \cdot I \quad (4.10)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial I}{\partial V} &= \frac{\partial}{\partial V} \left\{ I_{pv} - I_o * \left[e^{\frac{q*(V+I*Rs)}{n*Ns*K*T}} - 1 \right] \right\} = 0 - I_o * \left[e^{\frac{q*(V+I*Rs)}{n*Ns*K*T}} \right] * \left(\frac{q}{n*Ns*K*T} \right) * \\ &\left(1 + Rs * \frac{\partial I}{\partial V} \right) = \frac{-I_o * \left[e^{\frac{q*(V+I*Rs)}{n*Ns*K*T}} \right] * \left(\frac{q}{n*Ns*K*T} \right)}{1 + Rs * I_o * \left[e^{\frac{q*(V+I*Rs)}{n*Ns*K*T}} \right] * \left(\frac{q}{n*Ns*K*T} \right)} \end{aligned} \quad (4.11)$$

Denklem 4.4 ve 4.12, 4.10'da yerine yazılırsa;

$$\begin{aligned} \frac{dP}{dV} = 0 = \frac{\partial I}{\partial V} * V + I &= \left\{ \frac{-I_o * \left[e^{\frac{q*(V+I*Rs)}{n*Ns*K*T}} \right] * \left(\frac{q}{n*Ns*K*T} \right)}{1 + Rs * I_o * \left[e^{\frac{q*(V+I*Rs)}{n*Ns*K*T}} \right] * \left(\frac{q}{n*Ns*K*T} \right)} * (V) \right\} + \left\{ I_{pv} - I_o * \right. \\ &\left. \left[e^{\frac{q*(V+I*Rs)}{n*Ns*K*T}} - 1 \right] \right\} \end{aligned} \quad (4.12)$$

Değişkenler $x_1 = I_{pv}$, $x_2 = I_o$, $x_3 = n$, $x_4 = Rs$ olarak değiştirildiğinde fonksiyon denklemleri 4.5, 4.6, 4.7 göz önünde bulundurularak;

$$F_1 = 0 = \left[-I_{sc} + x_1 - x_2 \left(e^{\frac{q*(I_{sc}*x_4)}{x_3*Ns*K*T}} - 1 \right) \right] \quad (4.13)$$

$$F_2 = 0 = \left[x_1 - x_2 \left(e^{\frac{q*(V_{oc})}{x_3*Ns*K*T}} - 1 \right) \right] \quad (4.14)$$

$$F_3 = 0 = \left[-I_{max} - x_1 + x_2 \left(e^{\frac{q*(V_{max}+I_{max}*Rs)}{x_3*Ns*K*T}} - 1 \right) \right] \quad (4.15)$$

$$F_4 = 0 = \left\{ \frac{-x_2 * \left[e^{\frac{q*(V+I*x_4)}{x_3*Ns*K*T}} \right] * \left(\frac{q}{x_3*Ns*K*T} \right)}{1 + x_4 * x_2 * \left[e^{\frac{q*(V+I*x_4)}{x_3*Ns*K*T}} \right] * \left(\frac{q}{x_3*Ns*K*T} \right)} * (V) \right\} + \left\{ x_1 - x_2 * \left[e^{\frac{q*(V+I*x_4)}{x_3*Ns*K*T}} - 1 \right] \right\} \quad (4.16)$$

Dört değişkenli dört denklem bir jacobian matris yardımıyla aşağıdaki şekilde çözülebilir. Burada değişkenler x_1, x_2, x_3, x_4 'e başlangıç değerleri verilmelidir.

$$\begin{bmatrix} \frac{dF_1}{dx_1} & \frac{dF_1}{dx_2} & \frac{dF_1}{dx_3} & \frac{dF_1}{dx_4} \\ \frac{dF_2}{dx_1} & \frac{dF_2}{dx_2} & \frac{dF_2}{dx_3} & \frac{dF_2}{dx_4} \\ \frac{dF_3}{dx_1} & \frac{dF_3}{dx_2} & \frac{dF_3}{dx_3} & \frac{dF_3}{dx_4} \\ \frac{dF_4}{dx_1} & \frac{dF_4}{dx_2} & \frac{dF_4}{dx_3} & \frac{dF_4}{dx_4} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

4.2.2.2 Simplify Explicit Yöntemi

$I_{sc}=I_{pv}$ eşitliğinden yararlanılarak denklem 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8 yeniden düzenlenir [31].

I_{sc} noktası için $I = I_{sc}$ ve $V = 0$ 'dır.

$$I_{sc} = I_{pv} \quad (4.18)$$

V_{oc} noktası için $I = 0$ ve $V = V_{oc}$ 'dir.

$$0 = I_{pv} - I_o \left(e^{\frac{q(V_{oc} + I_{max} R_s)}{n N_s K T}} - 1 \right) = I_{sc} - I_o \left(e^{\frac{q(V_{oc})}{n N_s K T}} - 1 \right) \quad (4.19)$$

Maximum Güç ve Akım noktası için $I = I_{max}$ ve $V = V_{max}$ 'dir.

$$I_{max} = I_{sc} - I_o \left(e^{\frac{q(V_{max} + I_{max} R_s)}{n N_s K T}} - 1 \right) \quad (4.20)$$

Denklem 4.19 ve 4.20'de genel denklemden gelen "-1" ifadesi I_o ile çarpıldığında sonuca çok küçük bir etki edeceği düşünülerek denklemlerde ihmal edilirler. Denklem 4.5 ve 4.6'den saturasyon akımını çekerek genel akım denklemi 4.4 tekrar düzenlenirse 4.21 ve 4.22 şeklinde ifade edilebilir.

$$I_o = I_{sc} \left(e^{\frac{q(V_{oc})}{n N_s K T}} \right) \quad (4.21)$$

$$I = I_{sc} \left[1 - \left(e^{\frac{q(V - V_{oc} + I R_s)}{n N_s K T}} \right) \right] \quad (4.22)$$

$$I_{max} = I_{sc} \left[1 - \left(e^{\frac{q(V_{max} - V_{oc} + I_{max} R_s)}{n N_s K T}} \right) \right] \quad (4.23)$$

Denklem 4.23' ten R_s ifadesi çekilirse;

$$I_{max} - I_{sc} = -I_{sc} * \left[\left(e^{\frac{q(V_{max} - V_{oc} + I_{max} R_s)}{n N_s K T}} \right) \right] \quad (4.24)$$

$$\ln\left(1 - \frac{I_{max}}{I_{sc}}\right) = \ln\left(e^{\frac{q(V_{max} - V_{oc} + I_{max} R_s)}{n N_s K T}}\right) \quad (4.25)$$

$$R_s = \left[\frac{\left(\frac{n N_s K T}{q}\right) * \ln\left(1 - \frac{I_{max}}{I_{sc}}\right) + V_{oc} - V_{max}}{I_{max}} \right] \quad (4.26)$$

4.10 denklemi 4.21 ile düzenlenir ve R_s ifadesi 4.26, 4.10 denkleminde yerine yazılırsa;

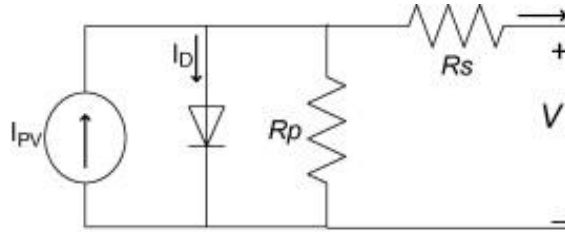
$$0 = V_{max} * \left[\frac{-I_{sc} * \left(\frac{q}{n * N_s * K * T}\right) * \left(e^{\frac{q(V_{max} - V_{oc} + I_{max} R_s)}{n N_s K T}}\right)}{1 + I_{sc} * \left(\frac{q}{n * N_s * K * T}\right) * R_s * e^{\frac{q(V_{max} - V_{oc} + I_{max} R_s)}{n N_s K T}}} \right] + \left[I_{sc} * \left(1 - e^{\frac{q(V_{max} - V_{oc} + I_{max} R_s)}{n N_s K T}}\right) \right] \quad (4.29)$$

$$n = \frac{(2 * V_{max} - V_{oc})}{\frac{I_{max}}{I_{sc} - I_{max}} + \ln\left(1 - \frac{I_{max}}{I_{sc}}\right)} * \left(\frac{q}{N_s * K * T}\right) \quad (4.30)$$

4.2.3 Güneş Hücresi 5-Parametre Modeli

5-parametre modeli, 4 parametre modelinde ihmal edilen p-n bölgesinde oluşan kaçak akımın, eşdeğer devreye bu kaçak akımların bir ifadesi olarak paralel direnç (R_p)

parametresinin eklenmesiyle oluşturulmaktadır. Şekil 4.5'te R_p olarak gösterilen bu direnç shunt direnci " R_{sh} " ile de ifade edilmektedir.



Şekil 4. 5 Güneş Hücresi Tek Diyot R_p Modeli

Bu modeli oluşturan beş değişken olan fotovoltaiik akım, saturasyon akımı, diyot idealite faktörü, seri direnç ve paralel direnç parametrelerine bağlı akım eşitliği denklem 4.31'te verilmektedir.

$$I = I_{pv} - I_o \left(e^{\frac{q(V+I R_s)}{n N_s K T}} - 1 \right) - \frac{V + I R_s}{R_p} \quad (4.31)$$

4.2.4 Güneş hücresi 5-Parametre Modeli Parametre Denklemlerinin Elde Edilmesi

4.2.4.1 Newton-Raphson Metodu

5-parametre modelinde modele eklenen R_p parametresiyle modelin genel denklemi denklem (4.5) şekline dönüşmüş ve metod için hesaplanması gereken yeni bir parametre ortaya çıkmıştır. Bu parametrelerin (R_s , R_p , n , I_{pv} , I_o) newton raphson fonksiyonları için elde edilme denklemleri aşağıdaki gibidir [52].

$$0 = -I_{sc} + I_{pv} - I_o * \left(e^{\frac{q(I_{sc} R_s)}{n N_s K T}} - 1 \right) - \frac{I_{sc} R_s}{R_p} \quad (4.32)$$

$$0 = I_{pv} - I_o * \left(e^{\frac{q V_{oc}}{n N_s K T}} - 1 \right) - \frac{V_{oc}}{R_p} \quad (4.33)$$

$$0 = -I_{max} + I_{pv} - I_o * \left(e^{\frac{q(V_{max} + I_{max} R_s)}{n N_s K T}} - 1 \right) - \frac{(V_{max} + I_{max} R_s)}{R_p} \quad (4.34)$$

$$0 = \frac{dP}{dV} \Big|_{V=V_{max}, I=I_{max}} \quad (4.35)$$

$$0 = \frac{dP}{dI} \Big|_{V=V_{max}, I=I_{max}} \quad (4.36)$$

Denklem (4.32) ve (4.33)'den

$$I_o = \left(I_{sc} - \frac{V_{oc} - I_{sc} \cdot R_s}{R_p} \right) * \left(e^{\frac{-V_{oc}}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} \right) \quad (4.37)$$

$$I_{pv} = I_o * \left(e^{\frac{V_{oc}}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} \right) + \frac{V_{oc}}{R_p} \quad (4.38)$$

$$F_1 = I_{max} - I_{sc} + \frac{V_{max} + I_{max} \cdot R_s - I_{sc} \cdot R_s}{R_p} + \left(I_{sc} - \frac{V_{oc} - I_{sc} \cdot R_s}{R_p} \right) * \left(e^{\frac{V_{max} + I_{max} \cdot R_s - V_{oc}}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} \right) \quad (4.39)$$

$$F_2 = \frac{dP}{dV} \Big|_{V=V_{max}} = I_{max} - V_{max} * \frac{\frac{(I_{sc} \cdot R_s + V_{oc} - I_{sc} \cdot R_p) * \left(e^{\frac{V_{max} + I_{max} \cdot R_s - V_{oc}}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} \right) + \frac{1}{R_p}}{(I_{sc} \cdot R_s + V_{oc} - I_{sc} \cdot R_p) * \left(e^{\frac{V_{max} + I_{max} \cdot R_s - V_{oc}}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} \right) + \frac{R_s}{R_p}}}{1 - \frac{R_s}{R_p}} \quad (4.40)$$

$$F_3 = \frac{dP}{dI} \Big|_{I=I_{max}} = V_{max} - I_{max} * \frac{\frac{(I_{sc} \cdot R_s + V_{oc} - I_{sc} \cdot R_p) * \left(e^{\frac{V_{max} + I_{max} \cdot R_s - V_{oc}}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} \right) + \frac{R_s}{R_p}}{(I_{sc} \cdot R_s + V_{oc} - I_{sc} \cdot R_p) * \left(e^{\frac{V_{max} + I_{max} \cdot R_s - V_{oc}}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} \right) + \frac{1}{R_p}}}{1 - \frac{R_s}{R_p}} \quad (4.41)$$

Değişkenler $x_1 = n$, $x_2 = R_s$, $x_3 = R_p$ olarak belirlenirse,

$$\begin{bmatrix} \frac{dF_1}{dx_1} & \frac{dF_1}{dx_2} & \frac{dF_1}{dx_3} \\ \frac{dF_2}{dx_1} & \frac{dF_2}{dx_2} & \frac{dF_2}{dx_3} \\ \frac{dF_3}{dx_1} & \frac{dF_3}{dx_2} & \frac{dF_3}{dx_3} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{bmatrix} \quad (4.42)$$

4.2.4.2 Simplfy Explicit Metodu

Dört parametre modelinde olduğu gibi genel denklemden (4.31) I_{sc} , I_o , R_s , R_p denklemleri matematiksel olarak çıkartılmaktadır [33].

I_{sc} noktası için $I = I_{sc}$ ve $V = 0$ 'dır.

$$I_{sc} = I_{pv} - I_o \left(e^{\frac{q \cdot (0 + I_{sc} \cdot R_s)}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} - 1 \right) - \frac{0 + I_{sc} \cdot R_s}{R_p} = I_{pv} - I_o \left(e^{\frac{q \cdot (I_{sc} \cdot R_s)}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} - 1 \right) - \frac{I_{sc} \cdot R_s}{R_p} \quad (4.43)$$

V_{oc} noktası için $I = 0$ ve $V = V_{oc}$ 'dir.

$$0 = I_{pv} - I_o \left(e^{\frac{q \cdot (V_{oc} + 0 \cdot R_s)}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V_{oc} + 0 \cdot R_s}{R_p} = I_{pv} - I_o \left(e^{\frac{q \cdot (V_{oc})}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V_{oc}}{R_p} \quad (4.44)$$

Maximum Güç ve Akım noktası için $I = I_{\max}$ ve $V = V_{\max}$ 'dır.

$$I_{\max} = I_{pv} - I_o \left(e^{\frac{q(V_{\max} + I_{\max} R_s)}{n N_s K T}} - 1 \right) - \frac{V_{\max} + I_{\max} R_s}{R_p} \quad (4.45)$$

Maximum Güç noktası için $I = I_{\max}$ ve $V = V_{\max}$ 'dır.

$$\begin{aligned} P_{\max} &= V_{\max} * I_{\max} \\ &= V_{\max} * \left[I_{pv} - I_o \left(e^{\frac{q(V_{\max} + I_{\max} R_s)}{n N_s K T}} - 1 \right) - \frac{V_{\max} + I_{\max} R_s}{R_p} \right] \end{aligned} \quad (4.46)$$

R_p maximum güç denkleminde çekilerek denklem 4.47'de elde edilir.

$$R_p = \frac{V_{\max}(V_{\max} + I_{\max} R_s)}{[V_{\max} I_{pv} - V_{\max} I_o e^{\frac{q(V_{\max} + I_{\max} R_s)}{n N_s K T}} + V_{\max} I_o - P_{\max}]} \quad (4.47)$$

I_o saturasyon akımının sıcaklığa bağlı bağıntısı 4.48'deki denklemle belirtilmiştir.

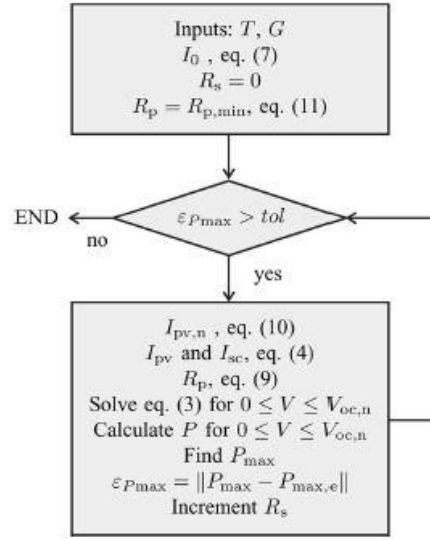
$$I_o = I_{o,n} * \left(\frac{T_n}{T} \right)^3 * \exp \left[\frac{q E_g}{a K} * \left(\frac{1}{T_n} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (4.48)$$

$$I_{o,n} = \frac{I_{sc}}{\exp \left(\frac{V_{oc}}{a V_t} \right) - 1} \quad (4.49)$$

4.3 Güneş Hücresi Model Parametrelerinin Çözüm Algoritmaları

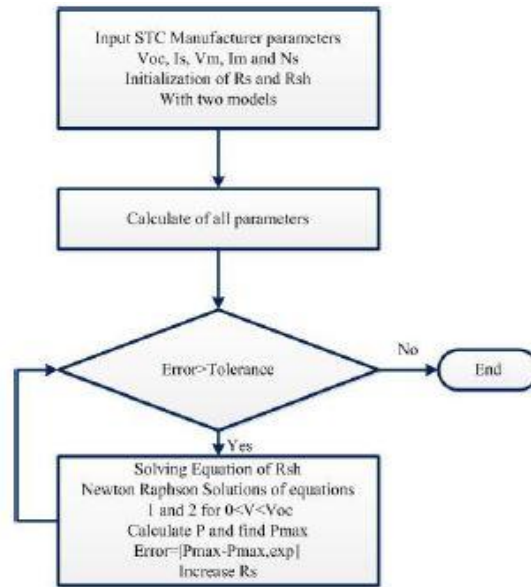
Güneş hücrelerinin parametrik çözüm algoritmaları nümerik olarak tespit edilebilirken, literatürde, analitik ve bilgisayarlı ortamda daha hızlı tespitler için çeşitli algoritmalar oluşturulmuş ve kullanılmaktadır. Nümerik, analitik ve genetik algoritmalar geliştiren çalışmalarda, parametre denklemleri farklı biçimlerde nümerik olarak tespit edilmiştir. Çalışılan yöntemler 5 parametrenin belirlenmesi üzerine olmakla beraber oluşturulan bazı genetik algoritmalar fazla sayıda parametre tespitine imkan sağlayabilmektedir. Literatürde bulunan bazı algoritmalar şöyledir.

Villalva, M. G., Gazoli, J. R., Ruppert Filho, E. Çalışmasında hızlı ve pratik yaklaşımla panelin katalog verilerini ve nümerik parametre denklemlerini kullanarak şekil 4.6'da belirtilen algoritmayı geliştirmişlerdir [33].



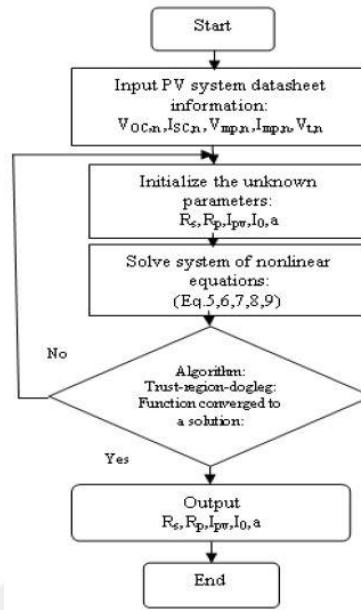
Şekil 4. 6 Vilalva'nın İterasyon Algoritması [33]

Yahfdhou A., Mahmoud A. K., Youmi I., Newton Raphson metodu ile alakalı algoritmayı Matlab ortamına aktararak şekil 4.7'de gösterilen algoritmayı geliştirmişlerdir [53].



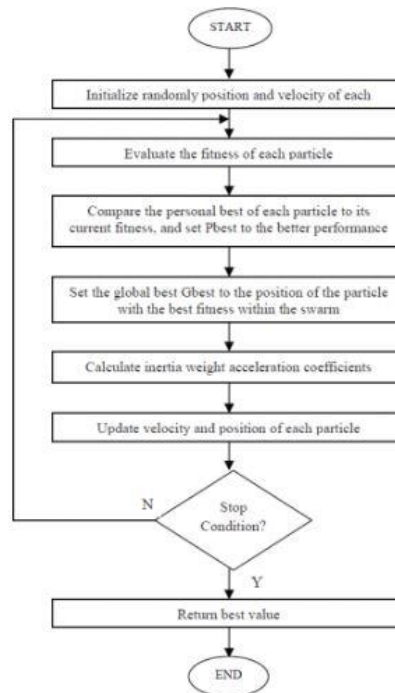
Şekil 4. 7 Newton Raphson Metodu Algoritma [53]

Mohapatra, A., Nayak, B. K., Mohanty, K. B. Trust-region deglog ismini verdiği algoritma ile 5 parametre modeli parametrelerinin tespitini Vilalva'nın iterasyon metodunu baz alarak geliştirdiği algoritma şekil 4.8'de gösterildiği gibidir. [54].



Şekil 4. 8 Trust Region Doglog Algoritması [54]

Hamid, N. F. A., Rahim, N. A., & Selvaraj, J. Genetik algoritma kullanarak güneş paneli 5 parametre diyot modelini modellemiş ve algoritma akış şemasını şekil 4.9’da ki gibi geliştirmişlerdir [55].



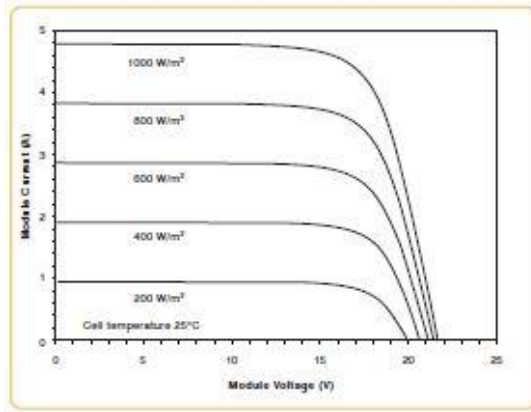
Şekil 4. 9 PSO TVIWAC Algoritması [55]

5. BÖLÜM

SP75 VE NP190Q GÜNEŞ PANELLERİNİN ELEKTRİKSEL MODEL PARAMETRELERİNİN ELDE EDİLMESİ

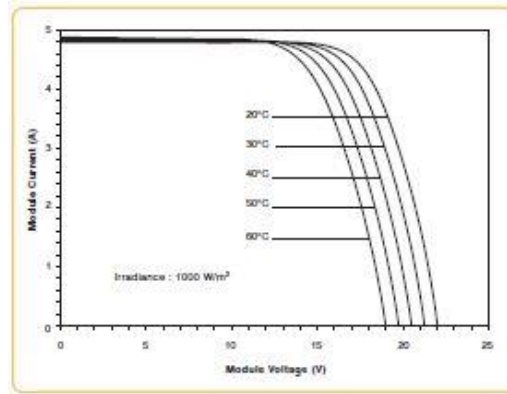
5.1 Sp75 ve Np190Q Güneş Panellerinin 4 Parametre Modelinin Kurulması

Güneş pili akım-gerilim karakteristiği göz önünde bulundurulacak olursa dört kritik nokta dikkat çekmektedir. Bunlar kısa devre akımı, açık devre voltajı, maksimum akım ve maksimum voltaj noktalarıdır. Bölüm 4'te anlatılan Simplfy Explicit Yöntemi (4.2.2.2) bu noktaların tespiti için pratik bir yaklaşım sunmaktadır. Model akım denkleminin olan denklemin 4.4 göz önünde bulundurulacak olursa üretilen akımın fotovoltaiik akım, saturasyon akımı, diyot idealite faktörü, ve seri direnç değerlerine bağlı olarak değişir.



Şekil 5. 1 SP75 Güneş Paneli-SP75 Farklı Işınım I-V Katalog [EK-1]

Literatürdeki çalışmalar bu parametrelerin şekil 5.1'da ve şekil 5.2'de gösterilen farklı ışınım şiddetleri ve sıcaklıklarda sabit kalmayıp değiştiklerini ortaya koymuş ve hesaplanmaları için çok sayıda yöntem rapor etmiştir [18-31].



Şekil 5. 2 Güneş Paneli-SP75 Farklı Sıcaklık I-V Katalog [Ek-1]

5.1.1 Sp75 ve Np190Q Güneş Panellerinin 4 Parametre Modelinin Denklemlerinin Elde Edilmesi

Panellerin Ek-1 ve Ek-2’de verilen katalog bilgilerindeki akım-gerilim grafikleri göz önüne alındığında model parametreleri I_{pv} , I_o , n , R_s değerlerinde değişiklik olacaktır. Kritik noktaların farklı ışınlam ve sıcaklık değerlerine göre değişimi $T = T_{pil} = T_{hücre}$ için denklem 5.1, 5.2, 5.3, 5.4’te gösterilmiştir [27,29,30].

$$I_{sc} = I_{sc,STC} * \left(\frac{G}{G_n}\right) + k_i * (T_{pil} - T_{ref}) \quad (5.1)$$

$$I_{max} = I_{max,STC} * \left(\frac{G}{G_n}\right) + k_i * (T_{pil} - T_{ref}) \quad (5.2)$$

$$V_{oc} = V_{oc,STC} + \left[V_{th} * n * \ln\left(\frac{G}{G_n}\right)\right] + [k_v * (T_{pil} - T_{ref})] \quad (5.3)$$

$$V_{max} = V_{max,STC} + \left[V_{th} * n * \ln\left(\frac{G}{G_n}\right)\right] + [k_v * (T_{pil} - T_{ref})] \quad (5.4)$$

Model genel denklemi (4.4) göz önünde bulundurularak türetilen (4.5) ve (4.6) denklemleri I_{sc} ve V_{oc} noktalarında bazı matematiksel sadeleştirmeler yapmaya imkan vermektedir. Denklem 4.5’deki I_{pv} ‘yi yalnız bırakalım ve denklem 4.6’da yerine yazalım.

$$I_{pv} = I_{sc} + I_o \left(e^{\frac{q*(I_{sc}*R_s)}{n*N_s*K*T}} - 1 \right) \quad (5.5)$$

$$I_o \left(e^{\frac{q*(V_{oc})}{n*N_s*K*T}} - 1 \right) = I_{sc} + I_o \left(e^{\frac{q*(I_{sc}*R_s)}{n*N_s*K*T}} - 1 \right) \quad (5.6)$$

I_o 'ı denklem 4.54'da yalnız bırakıp elde edilen 4.55'yi 4.8'de yerine yazalım.

$$I_o = \frac{I_{sc}}{\frac{q*(V_{oc})}{e*n*Ns*K*T} - \frac{q*(I_{sc}*Rs)}{e*n*Ns*K*T}} \quad (5.7)$$

$$I_{pv} = \frac{I_{sc}}{\frac{q*(V_{oc})}{e*n*Ns*K*T} - \frac{q*(I_{sc}*Rs)}{e*n*Ns*K*T}} * \left(e^{\frac{q*(V_{oc})}{n*Ns*K*T}} - 1 \right) \quad (5.8)$$

Maksimum akım noktası için yazılan (4.7) denkleminde elde edilen 5.7 ve 5.8 denklemlerinde I_o ve I_{pv} yerine yazılır.

$$\begin{aligned} I_{max} &= \left[\frac{I_{sc} * \left(e^{\frac{q*(V_{oc})}{n*Ns*K*T}} - 1 \right)}{\frac{q*(V_{oc})}{e*n*Ns*K*T} - \frac{q*(I_{sc}*Rs)}{e*n*Ns*K*T}} \right] - \left[\frac{I_{sc} * \left(e^{\frac{q*(V_{max}+I_{max}*Rs)}{n*Ns*K*T}} - 1 \right)}{\frac{q*(V_{oc})}{e*n*Ns*K*T} - \frac{q*(I_{sc}*Rs)}{e*n*Ns*K*T}} \right] \\ &= I_{sc} * \left[\frac{\left(e^{\frac{q*(V_{oc})}{n*Ns*K*T}} - e^{\frac{q*(V_{max}+I_{max}*Rs)}{n*Ns*K*T}} \right)}{\frac{q*(V_{oc})}{e*n*Ns*K*T} - \frac{q*(I_{sc}*Rs)}{e*n*Ns*K*T}} \right] \end{aligned} \quad (5.9)$$

Elde edilen 5.9 denkleminde bilinmeyenler R_s ve n 'dir. Maksimum akımın ışıyım ve sıcaklığa göre değişiminin ifade edildiği 5.2 denkleminde eşitlenerek elde edilen denklemde, I_{sc} , V_{oc} ve V_{max} noktaları için bildirilen denklemler 5.1, 5.3, 5.4 yerine yazılarak elde edilen ifade denklem 5.10'de gösterilmektedir. Standart test koşullarında özellikleri bilinen güneş panelinde değişen ışıyım ve sıcaklık şartlarında her bir n değeri için R_s değerini hesaplamaya imkan vermektedir. Bu denklemi çözmek pratik olmadığı ve uzun zaman alacağı için MATLAB ortamında yazılan algoritma yardımıyla n ve R_s değerleri hesaplanmıştır.

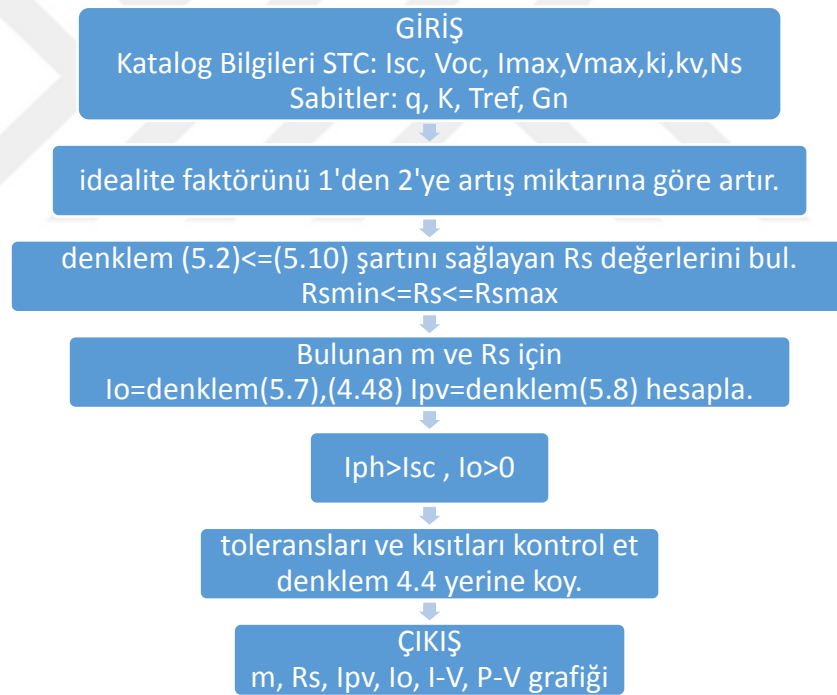
$$\begin{aligned} I_{max,STC} * \left(\frac{G}{G_n} \right) + k_i * (T_{pil} - T_{ref}) = & \frac{I_{sc,STC} * \left(\frac{G}{G_n} \right) + k_i * (T_{pil} - T_{ref})}{\frac{q*(V_{oc,STC} + [V_{th}*n*\ln(\frac{G}{G_n})] + [k_v*(T_{pil} - T_{ref})])}{e^{n*Ns*K*T}} - e^{\frac{q*(I_{sc,STC} * (\frac{G}{G_n}) + k_i*(T_{pil} - T_{ref}))*Rs}{n*Ns*K*T}}} * \\ & \left\{ e^{\frac{q*(V_{oc,STC} + [V_{th}*n*\ln(\frac{G}{G_n})] + [k_v*(T_{pil} - T_{ref})])}{n*Ns*K*T}} - \right. \\ & \left. \left(e^{\frac{q*(V_{max,STC} + [V_{th}*n*\ln(\frac{G}{G_n})] + [k_v*(T_{pil} - T_{ref})] + [I_{max,STC} * (\frac{G}{G_n}) + k_i*(T_{pil} - T_{ref}))*Rs}{n*Ns*K*T}} \right) \right\} \end{aligned} \quad (5.10)$$

Burada $\frac{N_s \cdot K \cdot T}{q} = V_{th}$ olarak kısaltılmıştır.

Yapılan çalışmada elde edilen denklem 5.7 sonuçları ve literatürde saturasyon akımının çevre şartlarına göre değişimini denklem 4.48 birbirleriyle karşılaştırılarak en az hata ile saturasyon akımı parametresinin tespiti yapılmıştır.

5.1.2 Sp75 ve Np190Q Güneş Panellerinin 4 Parametre Modelinin MATLAB Algoritması

Dört parametre modelinin parametre hesapları için kurulan MATLAB algoritması şekil 5.3'de gösterildiği gibidir.



Şekil 5. 3 Dört Parametre Elektriksel Model Algoritması

5.2 Sp75 ve Np190Q Güneş Panellerinin 5 Parametre Modelinin Kurulması

Dört parametre modelinden farklı olarak, kaçak akımdan kaynaklı oluşan paralel direncin göz önünde bulundurulmasıyla literatürde de belirtilmiş olan bu modelde Rp denklemlerinin elde edilmesi ve hesaplanması için farklı yöntemler rapor edilmiştir. Yapılan çalışmada modelin doğrulanması amacıyla SP75'in katalog bilgileri ve

literatürdeki hesapları kullanılmış ve doğrulanan modelde NP190Q Güneş Paneline ait beş parametre hesapları yapılmıştır.

5.2.1 Sp75 ve Np190Q Güneş Panellerinin 5 Parametre Modelinin Denklemlerinin Elde Edilmesi

Model genel denklemi 4.31 göz önünde bulundurularak türetilen 4.43, 4.44, 4.45 denklemleri kritik noktalarda matematiksel sadeleştirmeler yapmaya imkan vermektedir. Denklem 4.43'teki I_{pv} 'yi yalnız bırakıp denklem 4.44'de yerine yazarsak I_{sc} ve V_{oc} noktaları denklemlerini 5.11 ve 5.12'deki şekliyle ifade edebiliriz.

$$I_{pv} = I_{sc} + I_o \left(e^{\frac{q(I_{sc}R_s)}{nN_sK^*T}} - 1 \right) + \frac{I_{sc}R_s}{R_p} \quad (5.11)$$

$$0 = I_{sc} + I_o \left(e^{\frac{q(I_{sc}R_s)}{nN_sK^*T}} - 1 \right) + \frac{I_{sc}R_s}{R_p} - I_o \left(e^{\frac{q(V_{oc})}{nN_sK^*T}} - 1 \right) - \frac{V_{oc}}{R_p} \quad (5.12)$$

Saturasyon akımı denklem 5.12'de yalnız bırakılıp 4.43'de yerine yazılır.

$$I_o = \frac{\left(1 + \frac{R_s}{R_p}\right) I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_p}}{\left(e^{\frac{q(V_{oc})}{nN_sK^*T}} - 1 \right) - \left(e^{\frac{q(I_{sc}R_s)}{nN_sK^*T}} - 1 \right)} \quad (5.13)$$

$$I_{sc} = I_{pv} - \left[\frac{\left(1 + \frac{R_s}{R_p}\right) I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_p}}{\left(e^{\frac{q(V_{oc})}{nN_sK^*T}} - 1 \right) - \left(e^{\frac{q(I_{sc}R_s)}{nN_sK^*T}} - 1 \right)} \right] \left(e^{\frac{q(I_{sc}R_s)}{nN_sK^*T}} - 1 \right) - \frac{I_{sc}R_s}{R_p} \quad (5.14)$$

$$I_{pv} = \left[\frac{I_{sc} \left(1 + \frac{R_s}{R_p}\right) \left(e^{\frac{q(V_{oc})}{nN_sK^*T}} - 1 \right) + \frac{V_{oc}}{R_p} \left(e^{\frac{q(I_{sc}R_s)}{nN_sK^*T}} - 1 \right)}{\left(e^{\frac{q(V_{oc})}{nN_sK^*T}} - 1 \right) - \left(e^{\frac{q(I_{sc}R_s)}{nN_sK^*T}} - 1 \right)} \right] \quad (5.15)$$

Denklem 4.45'te ki I_{max} denkleminde elde edilen 5.13 ve 5.15 denklemleri yerine yazılır.

$$I_{max} = \left[\frac{I_{sc} \left(1 + \frac{R_s}{R_p}\right) \left(e^{\frac{q(V_{oc})}{nN_sK^*T}} - 1 \right) + \frac{V_{oc}}{R_p} \left(e^{\frac{q(I_{sc}R_s)}{nN_sK^*T}} - 1 \right)}{\left(e^{\frac{q(V_{oc})}{nN_sK^*T}} - 1 \right) - \left(e^{\frac{q(I_{sc}R_s)}{nN_sK^*T}} - 1 \right)} \right] - \left[\frac{\left(1 + \frac{R_s}{R_p}\right) I_{sc} - \frac{V_{oc}}{R_p}}{\left(e^{\frac{q(V_{oc})}{nN_sK^*T}} - 1 \right) - \left(e^{\frac{q(I_{sc}R_s)}{nN_sK^*T}} - 1 \right)} \right] \left(e^{\frac{q(V_{max} + I_{max}R_s)}{nN_sK^*T}} - 1 \right) - \frac{V_{max} + I_{max}R_s}{R_p} \quad (5.16)$$

Denklem 5.16'yı yeniden düzenleyip R_p ifadesini denklemden çekecek olursak en sade haliyle denklem 5.19 şeklinde yazabiliriz.

$$X = \left(e^{\frac{q(V_{oc})}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} \right) - \left(e^{\frac{q(I_{sc} \cdot R_s)}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} \right) \quad (5.17)$$

$$Y = \left(e^{\frac{q(V_{max} + I_{max} \cdot R_s)}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} \right) - \left(e^{\frac{q(I_{sc} \cdot R_s)}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} \right) \quad (5.18)$$

$$R_p = \frac{R_s I_{sc}(X - Y) + V_{oc} Y - (V_{max} + I_{max} R_s) X}{(I_{max} - I_{sc}) X + I_{sc} Y} = R_{p1} \quad (5.19)$$

Denklem 5.19'da R_p değerinin R_s ve n değerlerine bağlı olduğu görülmektedir. R_p için bir tahmin değeri gerekir.

Literatürde idealite faktörü değerinin 1-2 arasında değiştiği bildirilmektedir [32]. Tüm n değerlerine karşılık gelecek şekilde düzenlenen bir R_s değeri için R_p bulunabilir ancak sonuçların kontrolü için yeni bir R_p denklemine ihtiyaç duyulmaktadır. Buradaki yöntemlerden en pratik olanı idealite faktörünün 1.3 olduğunu kabul ederek hesaplanması gereken denklemlerin sayısını azaltmaktır [33].

Salmi çalışmasında oluşturduğu matlab modelinde R_s , R_p ve n parametreleri için kabuller yaparak kritik nokta denklemleri yardımıyla panel akım-gerilim, güç-gerilim karakteristiklerini bildirmiştir [34]. Ayrıca literatürde bildirilen analitik yöntemler deneysel verileri bilinen panel karakteristikleri üzerinden yapılan analitik yaklaşımlarda mevcuttur ve bu yaklaşımlarda direnç değerleri için bir tahmin üzerinden parametre tespiti yapıldığı görülmüştür [35,36]. Beş parametre elektriksel modeliyle ilgili çalışmalar [33-38] incelendiğinde ihtiyaç duyulan parametrelerin kontrolünü sağlamak için analitik ya da numerik yöntemlerin geliştirildiği görülmektedir. Cubas vd. [38] çalışmasında kullandığı R_p denklemi deneysel verilerden bağımsız bir yöntemle numerik bir yaklaşım sunduğu için bölüm 4.2.4.2'de bildirilen R_p denklemine alternatif olarak, sunulan modelde ortaya koyulan R_p denklemi 5.19 için numerik bir doğrulama denklemi olarak kabul edilmiştir.

Bölüm 4.2.2.2'de gösterilen I_{sc} denkleminin sadeleştirme yöntemini denklem 4.43'e uygulayıp I_{pv} denklemini 4.68'deki gibi ifade edilir.

$$I_{pv} = I_{sc} + \frac{I_{sc} \cdot R_s}{R_p} = I_{sc} \left(\frac{R_p + R_s}{R_p} \right) \quad (5.20)$$

Denklem 4.44'te verilen Voc denklemi içerisindeki “ $\left(e^{\frac{q \cdot (V_{oc})}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} - 1 \right)$ ” ifadesindeki -1 değeri hesaplamalarda exponential ifadesinin yanında oldukça küçük olduğu için ihmal edilebilir. Denklem 4.44'ü buna göre düzenleyip 5.20 ifadesini I_{pv} yerine yazarak I_o denklemini çekelim.

$$0 = I_{pv} - I_o \left(e^{\frac{q \cdot (V_{oc})}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V_{oc}}{R_p} \quad (5.21)$$

$$I_o = \frac{I_{sc}(R_p + R_s) - V_{oc}}{\left(e^{\frac{q \cdot (V_{oc})}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} - 1 \right) \cdot R_p} \quad (5.22)$$

Elde edilen 5.20 ve 5.22 denklemleri I_{max} noktasında belirlenen denklem 4.45'te yerine yazılır ve yeniden düzenlenirse yeni I_{max} denklemi 5.23 elde edilir.

$$I_{max} = \left[I_{sc} \left(\frac{R_p + R_s}{R_p} \right) \right] - \frac{V_{max} + I_{max} \cdot R_s}{R_p} - \left[\frac{I_{sc}(R_p + R_s) - V_{oc}}{\left(e^{\frac{q \cdot (V_{oc})}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} - 1 \right) \cdot R_p} \right] \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V_{max} + I_{max} \cdot R_s)}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} - 1 \right) \quad (5.23)$$

Burada $\left(e^{\frac{q \cdot (V_{max} + I_{max} \cdot R_s)}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} - 1 \right)$ ifadesindeki -1 çok küçük olduğundan ihmal edilebilir.

P_{max} noktasında gücün gerilime göre türevi “ $\frac{dP}{dV} = 0$ ” olduğu görülmektedir. Genel denklem 4.31 göz önünde bulundurularak güç noktasındaki denklem 5.24'de olduğu gibi elde edilir.

$$\frac{dP}{dV} = V \cdot \frac{\partial I}{\partial V} + I \cdot \frac{\partial V}{\partial V} = 0 \quad (5.24)$$

$$\frac{\partial I}{\partial V} = \frac{\partial}{\partial V} \left[I_{pv} - I_o \left(e^{\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \right] \quad (5.25)$$

$$\frac{\partial I}{\partial V} = \left[-I_o \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T}} \right) \cdot \left(\frac{q}{n \cdot N_s \cdot K \cdot T} \right) - \left(\frac{1}{R_p} \right) \right] \cdot \left(1 + \frac{\partial I}{\partial V} R_s \right) \quad (5.26)$$

$$\frac{\partial I}{\partial V} = \frac{-I_0 * \left(e^{\frac{q*(V+I*Rs)}{n*Ns*K*T}} \right) * \left(\frac{q}{n*Ns*K*T} \right) - \left(\frac{1}{Rp} \right)}{1 - \left[-I_0 * \left(e^{\frac{q*(V+I*Rs)}{n*Ns*K*T}} \right) * \left(\frac{q}{n*Ns*K*T} \right) - \left(\frac{1}{Rp} \right) \right] * Rs} \quad (5.27)$$

Saturasyon akımı ifadesi olan denklem 5.22, denklem 5.27’de yerine yazılırsa $\frac{\partial I}{\partial V}$ denklem 5.28 şeklinde ifade edilebilir.

$$\frac{\partial I}{\partial V} = \frac{\left(\frac{-I_{sc}(Rp+Rs)+V_{oc}}{Rp} \right) * \left(e^{\frac{q*(V+I*Rs-V_{oc})}{n*Ns*K*T}} \right) * \left(\frac{q}{n*Ns*K*T} \right) - \left(\frac{1}{Rp} \right)}{1 - \left[\left(\frac{-I_{sc}(Rp+Rs)+V_{oc}}{Rp} \right) * \left(e^{\frac{q*(V+I*Rs-V_{oc})}{n*Ns*K*T}} \right) * \left(\frac{q}{n*Ns*K*T} \right) - \left(\frac{1}{Rp} \right) \right] * Rs} \quad (5.28)$$

Burada maksimum noktada türev eşitliğinin sıfır olmasından yola çıkıldığı için $V = V_{max}$ ve $I = I_{max}$ ’tır. Denklem 5.24, denklem 5.29’ye güncellenerek sadeleştirilmelerde kolaylık sağlaması açısından 5.23 denklemini, denklem 5.30 şeklinde dönüştürülürse, denklem 5.32 eşitliğinden R_p denkleminin R_s ve n değişkenlerine bağlı ifadesini elde edebiliriz.

$$\frac{\partial I}{\partial V} = \frac{-I_{max}}{V_{max}} \quad (5.29)$$

$$Z = \left[\frac{I_{sc}(Rp+Rs)-V_{oc}}{Rp} \right] * \left(e^{\frac{q*(V_{max}+I_{max}*Rs-V_{oc})}{n*Ns*K*T}} \right) = I_{max} - \left[I_{sc} \left(\frac{Rp+Rs}{Rp} \right) \right] + \frac{V_{max}+I_{max}*Rs}{Rp} \quad (5.30)$$

$$\frac{\partial I}{\partial V} = \frac{(Z) * \left(\frac{q}{n*Ns*K*T} \right) - \left(\frac{1}{Rp} \right)}{1 - \left[(Z) * \left(\frac{q}{n*Ns*K*T} \right) - \left(\frac{1}{Rp} \right) \right] * Rs} = \frac{-I_{max}}{V_{max}} \quad (5.31)$$

$$\frac{Z * Rp - \frac{q}{n*Ns*K*T}}{\frac{Rp*q}{n*Ns*K*T} - \left(Z * Rp - \frac{q}{n*Ns*K*T} \right) * Rs} = \frac{-I_{max}}{V_{max}} \quad (5.32)$$

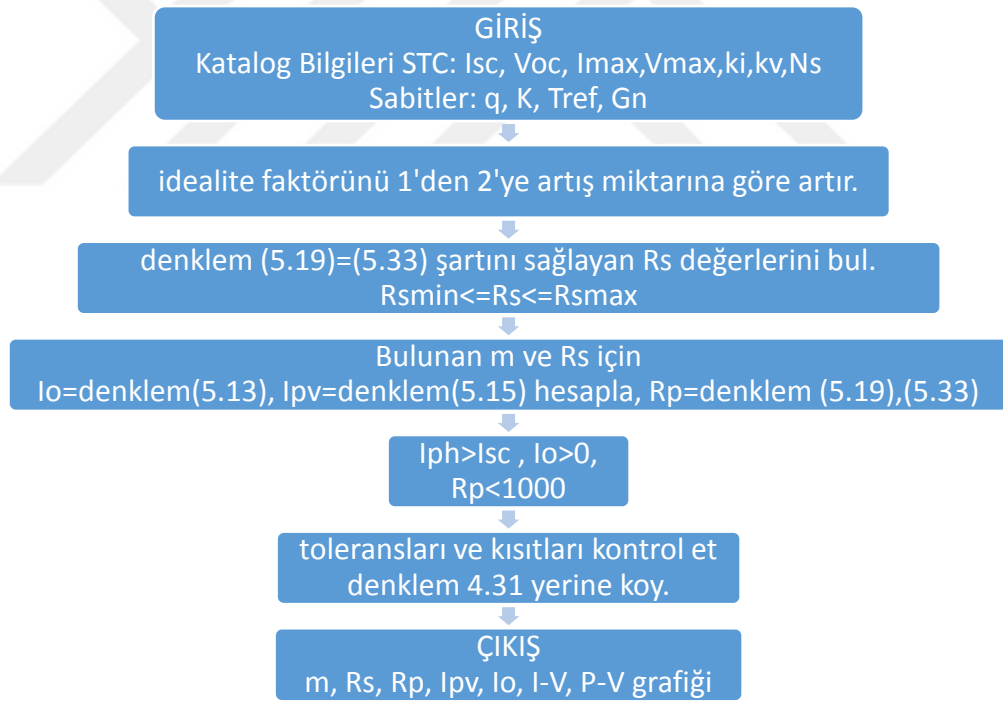
Denklem 5.32’de " $Z = I_{max} - \left[I_{sc} \left(\frac{Rp+Rs}{Rp} \right) \right] + \frac{V_{max}+I_{max}*Rs}{Rp}$ " eşitliği yerine yazılır ve R_p yalnız bırakılarak eşitlik elde edilerek 5.33 ifadesi en sade haliyle elde edilir. [38]

$$Rp = \frac{(V_{max}-I_{max}*Rs)[V_{max}-Rs*(I_{sc}-I_{max})-\frac{q}{n*Ns*K*T}]}{(V_{max}-I_{max}*Rs)*(I_{sc}-I_{max})-\frac{q}{n*Ns*K*T}*I_{max}} = Rp2 \quad (5.33)$$

Denklem 5.19 ve 5.33 ifadeleri farklı şekillerde R_p yi ifade ederler ve birbirlerine yakınsanarak değişken parametreleri hesaplamaya imkan verirler. Bu modelde saturasyon akımını ifade eden denklem 4.48 ve denklem 4.49 ile kısa devre akımı, açık devre gerilimi, maksimum akım, maksimum gerilim kritik noktaları ifade eden denklem 5.1, denklem 5.2, denklem 5.3 ve denklem 5.4 ifadelerin içerisindeki sıcaklığa bağlı dönüşümler için kullanılmıştır.

5.2.2 Sp75 ve Np190Q Güneş Panellerinin 5 Parametre Modelinin MATLAB Algoritması

Beş parametre modelinin parametre hesapları için kurulan MATLAB algoritması şekil 5.4’de gösterildiği gibidir.



Şekil 5. 4 Beş Parametre Elektriksel Model Algoritması

6. BÖLÜM

GÜNEŞ HÜCRESİNİN TERMAL MODELLENMESİ

Güneş hücreleri, güneşten aldıkları radyasyonu absorbe ederek elektrik enerjisine dönüştürürler fakat absorbe edilen ışınların tamamını kullanamamaktadırlar. Kullanımda olmayan bu ışınlar ısı olarak açığa çıkmaktadır. Panelin gerçek çevre koşullarında performansını düşüren etkilerin başında olan ısıtımın düşmesi ve kısa devre akımında kayda değer bir azalmaya neden olmaktadır. Bu düşüş panel üzerinde biriken toz ya da gölgelenmeye neden olan çevresel sebeplerden dolayı olabilir.

Performance at STC		190Q
Product code		13190
Maximum power (W/Pmax)		190
Maximum power tolerance (W)		+5/-0
Current (typical at max power) (A/Ipmax)		7.36
Voltage (typical at max power) (V/Vpmax)		25.8
Short circuit current (typical) (A/Isc)		8.00
Open circuit voltage (typical) (V/Voc)		33.0
Module efficiency (minimum) (%)		13.1
Cell efficiency (minimum) (%)		14.5
Performance at NOCT		190Q
Maximum power (W/Pmax)		136.8
Current (typical at max power) (A/Ipmax)		6.0
Voltage (typical at max power) (V/Vpmax)		22.9
Short circuit current (typical) (A/Isc)		6.5
Open circuit voltage (typical) (V/Voc)		30.2

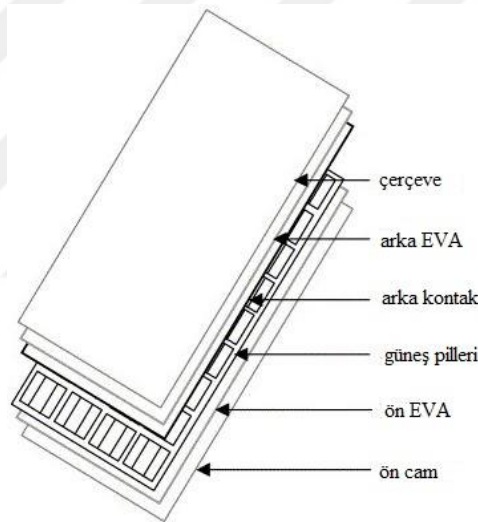
Şekil 7. 1 NP190Q Katalog Bilgileri (STC/NOCT) [EK-2]

Panel sıcaklığındaki artışın açık devre voltajını düşürdüğü ve bu sebeple Pmax'ı düşürdüğü görülmektedir. Panel sıcaklığını artıran sebepler paneldeki malzeme seçimi ve panelin bulunduğu bölgedeki rüzgardan kaynaklı ısı transferindeki artış sebebiyle olabilir. Bu durum araştırmacıları kaybolan ısıtımın geri kazanımının ne şekilde sağlanacağı konusunda ya da panel üzerindeki malzemelerin ısı özelliklerinin panel sıcaklığına ne gibi etkileri olduğu konusunda çalışmaya teşvik etmektedir.

Paneldeki bu termal kayıpların etkileri şekil 7.1’de verilen panel kataloğunda $T_{hava} = 20^{\circ}\text{C}$, $V_{rüzgar} = 1 \text{ m/sn}$, $T_{hücre} = 46^{\circ}\text{C}$, $G = 800 \text{ W/m}^2$ için nominal işletme koşulları (NOCT) performansında görülmektedir.

6.1 Güneş Hücresi Termal Model Parametreleri

Güneş paneli düz bir yüzey olarak düşünüldüğünde havanın rüzgarlı ya da rüzgarsız olması durumuna göre ısı transferi katsayısında değişiklikler olacaktır. Bunun sebepleri arasında iletim, taşınım (serbest, zorlanmış), ısınım etkisiyle olan ısı transferlerinin panel üzerindeki etkisi söz konusudur.



Şekil 7.2 Güneş Paneli Katmanlı Yapı

Şekil 7.2’de güneş panelinin katmanlı bir yapıdan meydana geldiğini görülmektedir. Bu yapı basitçe ön cam, ön eva folya, güneş hücresi katmanı, arka folyo, arka kontak ve özellikleri yine malzemeye göre değişen alüminyum çerçeveden oluşmaktadır.

Güneş panelinin katmanların kalınlıkları ve kullanılan malzemelerin özelliklerinin değişmesi panelin ısı iletim katsayısını (λ) değiştirecektir. Ayrıca kullanılan ön cam ve optik özellikleri, güneşten gelen ışınmadan maksimum yarar sağlamak için önemli olmaktadır. Bu durumda, katmanlardaki sıcaklıkların tespiti ve panel içerisinde

meydana gelen sıcaklık değişimleri, panel performansı üzerinde farklı etkilere sebep olacaktır.

6.2 Güneş Hücresi Termal Model Parametre Denklemlerinin Elde Edilmesi

Panel içerisindeki katmanlı yapının ısı temasları sonucu oluşan ısı transferi (q_{toplam}) iletimden (q_{iletim}), taşınımından ($q_{\text{taşınım}}$) ve ışıınımdan ($q_{\text{ışınım}}$) kaynaklı kayıplar olarak üç farklı şekilde olmaktadır.

$$q_{\text{toplam}} = q_{\text{iletim}} + q_{\text{taşınım}} + q_{\text{ışınım}} \quad (6.1)$$

Panel çerçevesinin temas eden diğer elemanlarıyla olan temas yüzeyi düşünüldüğünde (montaj elemanları) panel yüzeyinde oluşacak kayıplara oranla oldukça düşük olduğu varsayılabilir. Bu sebeple bu kayıplar hesaplamalarda ihmal edilmektedir. Bu durumda denklem (6.1), (6.2) şekline dönüşmektedir.

$$q_{\text{toplam}} = q_{\text{taşınım}} + q_{\text{ışınım}} \quad (6.2)$$

Taşınımından kaynaklı ısı transferi çevre şartlarına bağlı (T_{hava} , V_{ruzgar}) zorlanmış ve doğal taşınım olarak iki şekilde incelenebilir. Bu durumda havanın özelliklerinin bilinmesi önemli olmaktadır. Newton soğuma yasasına göre bir levha üzerinden akan akışkanla yüzey arasındaki taşınımla olan ısı transferi denklem 6.4’de ifade edilmiştir.

$$q_{\text{taşınım}} = q_{\text{doğal}} + q_{\text{zorlanmış}} \quad (6.3)$$

$$q_{\text{taşınım}} = A * h_{\text{taşınım}} * (T_{\text{yüzey}} + T_{\text{hava}}) \quad (6.4)$$

Taşınım katsayısının hesaplanması için gerekli Nusselt sayısını hesaplamak için doğal ve zorlanmış taşınım Nusselt sayılarının belirlenmesi gerekir. Nusselt sayısı ve taşınım katsayısı denklem 6.5 ve 6.6’da verilmektedir [56].

$$Nu_{\text{taşınım}}^3 \approx Nu_{\text{doğal}}^3 + Nu_{\text{zorlanmış}}^3 \quad (6.5)$$

$$h_{\text{taşınım}} = \frac{Nu_{\text{taşınım}}^3 * k_{\text{hava}}}{L} \quad (6.6)$$

Sparrow, zorlanmış taşınım katsayısını hesaplamak için havanın özellikleri ve levha eğimini dikkate alarak (6.7-6.11) denklemleriyle belirtilen bağıntılarını dikkate almıştır. Burada zorlanmış taşınım için Nusselt numarasının hesaplanması için $h_{\text{zorlanmış}}$ bilinmelidir [57].

$$J = St * Pr^{\frac{2}{3}} \quad (6.7)$$

$$St = \frac{h}{\rho_{\text{hava}} * c_{p,\text{hava}} * V_{\text{ruzgar}}} \quad (6.8)$$

$$J = \left(\frac{h_{zorlanmış}}{V_{ruzgar}} \right) * Pr^{2/3} \quad (6.9)$$

$$Re = \frac{V_{ruzgar} * L}{v_{hava}} \quad (6.10)$$

Levhanın 45° eğimi için J sayısı denklem 6.10 şeklinde belirtilmiştir.

$$J = 0,931 * Re^{-1/2} \quad (6.11)$$

Belirtilen 6.7, 6.8, 6.9, 6.10 ve 6.11 numaralı denklemler düzenlenip denklem 6.12 şeklinde yeniden yazılabilir ve böylece denklem 6.13'de belirtilen $Nu_{zorlanmış}$ sayısına ulaşılabilir.

$$h_{zorlanmış} = \frac{0.931 * \rho_{hava} * v_{hava} * c_{p,hava} * Re^{1/2}}{L * Pr^{2/3}} \quad (6.12)$$

$$Nu_{zorlanmış} = \frac{h_{zorlanmış} * L}{k_{hava}} \quad (6.13)$$

Düz levha üzerinde doğal taşınımda ısı transfer katsayısını belirlemek için Incropera ve Bahrami M.'nin belirttiği nusselt ve rayleigh sayıları arasındaki denklemler 6.14, 6.15 ve 6.16'de gösterilmiştir [56,58].

$$Ra_L = Gr_L * Pr = \frac{9.81 * \cos \psi * (T_{surf} - T_{hava}) * L^3}{(T_{surf} + T_{hava} / 2) * v_{hava}^2} * Pr \quad (6.14)$$

$$h_{doğal} = \frac{Nu_{doğal} * k}{L} \quad (6.15)$$

$$Nu_{doğal} = 0.682 + \frac{0.67 * Ra_L^{\frac{1}{4}}}{[1 + (0.492 / Pr)^{9/16}]^{4/9}}, (Ra_L < 10^9 \text{ şartlarında}) \quad (6.16)$$

Güneşten gelen ışınlar panel yüzeyine ulaştıktan sonra yüzeyden ve panel içinden geçen uzun dalga radyasyonla beraber panelin arka kısmından bir miktar ışınlama kayba neden olacaktır. Işınlama oluşan bu kayıp hesaplanırken panelin ön ve arkasında bulunan cisimlerde ışınlama bir miktar etki ederler. Panelin çatı kurulumu sırasında montaj elemanı olması, çatı üzerine direk kurulum yada diğer montaj yöntemleri panel arkası uzun dalga ışınlama transferini etkileyen başlıca faktörlerdir [43].

$$\begin{aligned} q_{ışınlama} = A * \sigma * [& F_{ön,hava} * (\epsilon_{ön} * T_{yüzey}^4 - \epsilon_g * T_g^4) \\ & + F_{ön,yer} * (\epsilon_{ön} * T_{yüzey}^4 - \epsilon_{yer} * T_{yer}^4) \\ & + F_{arka,hava} * (\epsilon_{arka} * T_{yüzey}^4 - \epsilon_g * T_g^4) \\ & + F_{arka,yer} * (\epsilon_{arka} * T_{yüzey}^4 - \epsilon_{yer} * T_{yer}^4)] \end{aligned} \quad (6.17)$$

Görünürlük faktörleri $F_{ön,hava}$, $F_{ön,yer}$, $F_{arka,hava}$, $F_{arka,yer}$ denklem 6.18, 6.19, 6.20 ve 6.21'te belirtilmektedir. " β " modülün yerle yaptığı açıdır. Emisivite değerleri

$\varepsilon_{\text{ön}}, \varepsilon_{\text{sky}}, \varepsilon_{\text{arka}}, \varepsilon_{\text{yer}}$ yüzeylerin siyah cisim ışıması ve etkin ışıma değerleriyle belirlenen oransal bir değerdir.

$$F_{\text{ön,hava}} = \frac{1+\cos\beta}{2} \quad (6.18)$$

$$F_{\text{ön,yer}} = \frac{1-\cos\beta}{2} \quad (6.19)$$

$$F_{\text{arka,hava}} = \frac{1+\cos(\pi-\beta)}{2} \quad (6.20)$$

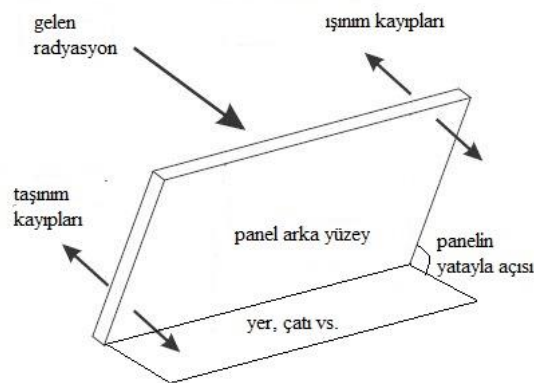
$$F_{\text{arka,yer}} = \frac{1-\cos(\pi-\beta)}{2} \quad (6.21)$$

Değerler cisim özelliklerine göre değişmekte olup literatürde 0.9-1 arasında değişen değerler olarak açık hava için $\varepsilon_g = 0.95$, gölgeli hava için $\varepsilon_g = 1.0$, $\varepsilon_{\text{modül,cam}}=0.9$, $\varepsilon_{\text{yer}} = 0.95$ alınmıştır [59,60].

Şekil 7.3'te gösterilen T_{yer} ve $T_{\text{çatı}}$ sıcaklıkları, materyaller arası ilişkiler, montaj durumu, ortam sıcaklığıyla alakalı şartlar göz önünde bulundurulduğunda hesaplamalarda karışık durumlara neden olduğu için $T_{\text{ortam}} + 20^\circ\text{C}$ ya da çatı kurulumu için $T_{\text{ortam}} + 50^\circ\text{C}$ olarak kabul edilmektedir.

T_g , ortam sıcaklığına bağlı olarak açık hava ve gölgeli hava ya da direk ortam sıcaklığına bağlı bağıntılar olarak literatürde verilmiştir [61].

$$T_g = 0.0552 * T_{\text{ortam}}^{1.5} \quad (6.22)$$



Şekil 7. 3 Panel Üzerindeki Kayıpların Gösterimi

6.3 NP190Q Güneş Panelinin Termal Model Kurulumu

Araştırmacılar güneş panelinin katman yapısının bilinmesi durumunda birbirleri arasındaki ısı etkileşimleri ve malzemeye bağlı olarak çalışma koşullarında panel içi sıcaklık değişimlerini matematiksel olarak tespit etmek için bazı yaklaşımlar geliştirmişlerdir [39,41,44]. Burada panelin karakteristik özelliklerinin yanı sıra çalışma şartlarında oluşan ısı değişimlerin tespiti için malzeme yapısı önemli olmaktadır. Panel karakteristik hesaplamaları açıkça göstermektedir ki paneldeki sıcaklık değişimlerine bağlı olarak V_{oc} etkilenmekte ve bu durum panel P_{max} için önemli olmaktadır. Armstrong [62] çalışmasında panel üretiminde kullanılan düşük demir içerikli camın (low-iron glass) geleneksel camlara göre daha yüksek geçirgenliğe sahip olduğunu ve bu durumun olabildiğince çok güç çıkışına izin verdiğini belirtmektedir. Fotovoltaik panel üretiminde kullanılan camlar incelendiğinde borosilika ve soda-dilimli cam türlerinin panel üretim teknolojisinde kullanıldığı görülmektedir [63].

Lobera vd. [64] çalışmalarında TUT Solar PV Power Research Test Plant’da yaptığı panel termal modelleme çalışmasında kullandığı panelinin katman özelliklerini belirtmiş ve yaptığı deneysel çalışmada ölçülen panel akım ve gerilim değerleri yardımıyla panel içerisindeki sıcaklık değişimlerini, çalışma periyoduna göre tespit etmiştir.

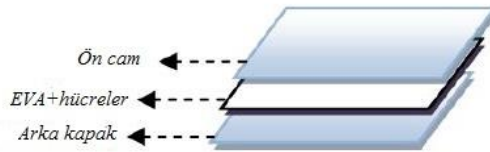
Çalışılan panel özellikleri araştırıldığı zaman NP190Q paneliyle aynı firmaya ait olduğu, bildirilen STC özelliklerinin ve Armstrong’un çalışmasında kullanılan özelliklerle örtüşme olduğu tespit edilmiş bu sebeple çalışmada referans olarak NP190Q panelinin katalog bilgilerinden de yararlanılarak katman özellikleri tablo 7.1’de gösterilmektedir.

Tablo 7. 1 NP190Q Katman Özellikleri [62,64]

Katman	d(m)	λ (W/m-K)	cp(J/kg K)	ρ (kg/m ³)
Cam	0.004	1.8	500	3000
EVA	0.001	0.35	2090	960
PV hücre	0.0002	148	677	2330
Arka Kapak	0.00001	0.2	1250	1200

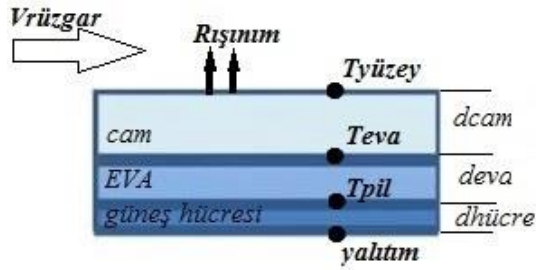
6.3.1 NP190Q Fotovoltaik Panelinin Termal Model Elektrik Benzetim Şemasının Belirlenmesi

Güneş panelinin katmanlı yapısı düşünüldüğünde literatürde yapılan çalışmalarda oluşturulan termal modeller için hesaplamalarda kolaylık sağlaması açısından bazı katmanların kalınlıkları ya da malzeme özelliklerinden dolayı ihmal edilerek pratik yaklaşımlar geliştirildiği görülmektedir.



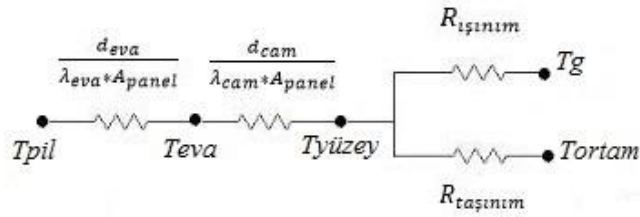
Şekil 7. 4 Güneş Paneli Sadeleştirilmiş Yapı

NP190Q güneş panelinin literatürden belirlenen özellikleri göz önünde bulundurulduğunda (tablo 7.1) hesaplamalarda kolaylık sağlaması açısından şekil 7.4'te gösterilen arka kapak katmanı kalınlığından dolayı ihmal edilmiş, panelin arka kısmında oluşacak ısı transferi ihmal edilerek şekil 7.5'de görüldüğü gibi sadeleştirilmiştir.



Şekil 7. 5 Güneş Paneli Katmanları Sıcaklık Noktaları

Güneş panelinin katmanlı yapısı göz önünde bulundurulduğunda oluşan ısı transferleri için elde edilecek elektrik benzeşim şeması şekil 7.6'da gösterilmektedir. Burada arka kapak tablo 7.1'den yola çıkarak hesaplamalar için ihmal edilmiştir ve yalıtılmış olarak düşünülmüştür.



Şekil 7. 6 Şekil 5. 5 Güneş Paneli Elektrik Benzetim Şeması

Güneş panelinin standart çalışma koşullarında hücre sıcaklığı 25°C kabul edilmektedir. Hücreden yüzeye olan ısı transferini hesaplamak için T_{film} sıcaklığı tahmin edilerek bulunan cam sıcaklığı ilk tahminde kullanılan $T_{yüzey}$ sıcaklığıyla karşılaştırılarak en yakın yüzey sıcaklığı o şartlar için panel içerisinde oluşan ısı transferi katsayılarıyla birlikte aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$T_{film} = \frac{T_{yüzey} + T_{ortam}}{2} \quad (6.23)$$

buradaki denklemde istenen T_{ortam} sıcaklığı Kayseri ili için meteorolojiden alınan verilerle aylara göre ortalama olarak tablo 7.2’de verilmektedir.

Tablo 7. 2 Kayseri İli Aylara Göre Ortalama Sıcaklık (2017) [67]

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Sıcaklık($^{\circ}\text{C}$)	-2.6	-0.5	6.8	10.5	14.4	19.2
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Sıcaklık($^{\circ}\text{C}$)	23.0	23.6	20.5	11.5	5.5	3.7

Film sıcaklığı tahmini yapıldıktan sonra bu sıcaklıkta havanın termodinamik özellikleri tablosundan yararlanılarak akışkan rejiminin Reynold sayısı yardımıyla belirlenmesi gerekmektedir. Reynold sayısının düzlem levhada 5×10^5 ten küçük olması durumunda akışın laminar ve büyük olması durumunda akışın türbülanslı olduğunu bilinmektedir.

$$\text{Reynold} = \frac{V_{rüzgar} * L_{panel}}{v_{hava}} \quad (6.24)$$

$$\text{Nusselt}_{laminar.zorlanmış} = 0.664 * \text{Re}^{1/2} * \text{Pr}^{1/3} \quad (6.25)$$

$$Nusselt_{turbulans.zorlanmış} = 0.037 * Re^{4/5} * Pr^{1/3} \quad (6.26)$$

$$h_{zorlanmış} = \frac{Nusselt_{zorlanmış} * k_{hava}}{L_{panel}} \quad (6.27)$$

Reynold sayısının hesaplanması için gerekli olan $V_{rüzgar}$ değerleri Kayseri ili için aylık ortalama olarak tablo 7.3’de verilmektedir. Bölüm 6.2’de bahsedilen zorlanmış taşınım denklemleri aşağıdaki denklemlerle değiştirilerek akış rejimini belirlemek için denklem 6.24. 6.25. 6.26. 6.27’de gösterildiği şekilde kullanılmıştır.

Tablo 7. 3 Kayseri İli Aylık Ortalama Rüzgar Hızı (2017) [68]

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Rüzgar Hızı (km/h)	9.8	8.1	9.1	5.7	7.3	8.8
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Rüzgar Hızı (km/h)	9.9	8.2	7.5	7.2	6.9	5.6

Doğal taşınım denklemleri 6.14. 6.15. 6.16 yardımıyla elde edilen $Nusselt_{doğal}$ sayısı denklem 6.5’te yerine yazılarak elde edilen $Nusselt_{taşınım}$ yardımıyla denklem 6.6’ya göre $h_{taşınım}$ hesaplanarak elektrik benzeşim denkleminde yerine yazılır. Işınım ile ısı transferi panelin alt ve yan yüzeyleri yalıtılmış düşünüldüğü için panel yüzeyinden gökyüzüne gerçekleşecektir. Cengel (2014) kitabında ışınlımla olan ısı transferinde kullanılan denklemleri aşağıdaki şekilde göstermiştir [65].

$$h_{ışınım} = \frac{Q_{ışınım}}{A * (T_{yüzey} - T_{sky})} = \varepsilon * \sigma * (T_{yüzey}^2 + T_{sky}^2) * (T_{yüzey} + T_{sky}) \quad (6.28)$$

$$R_{ışınım} = \frac{1}{A * h_{ışınım}} \quad (6.29)$$

Panel içinde malzemelerin birbirine temasıyla gerçekleşen iletimle ısı geçişinde gerekli olan malzeme kalınlıkları ve özelliklerine göre iletim katsayıları tablodaki gibidir. R_{iletim} aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$R_{iletim} = \frac{d_{eva}}{\lambda_{eva} * A_{panel}} + \frac{d_{cam}}{\lambda_{cam} * A_{panel}} \quad (6.30)$$

Hesaplanan iletim ve ışınlım dirençleri elektrik benzeşim yönteminde formüle edildiğinde R_{toplam} aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$R_{\text{toplam}} = \frac{d_{\text{eva}}}{\lambda_{\text{eva}} \cdot A_{\text{panel}}} + \frac{d_{\text{cam}}}{\lambda_{\text{cam}} \cdot A_{\text{panel}}} + \left(\frac{1}{A \cdot h_{\text{taşınım}}} + \frac{1}{A \cdot h_{\text{ışınım}}} \right)^{-1} \quad (6.31)$$

Panel içerisindeki ısı transferi q değişmeyeceği için aşağıdaki denklemler yardımıyla yüzey sıcaklığına ulaşılabilir.

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{\text{toplam}}} = \frac{T_{\text{pil}} - T_{\text{ortam}}}{R_{\text{toplam}}} = \frac{T_{\text{pil}} - T_{\text{yüzey}}}{R_{\text{taşınım}}} \quad (6.32)$$

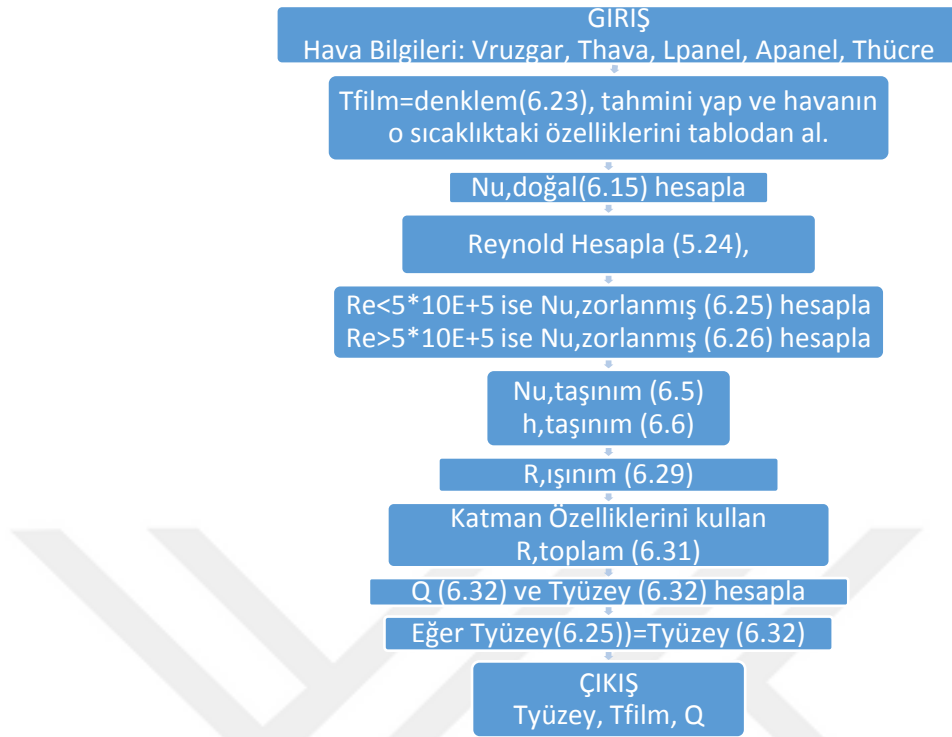
Yapılan çalışmada NP190Q güneş panelinin Kayseri ilinde kullanılması durumunda oluşan yüzey sıcaklık değişimi, referans cam, borosilika cam ve düşük demirli cam olmak üzere üç farklı cam türü için ve farklı cam kalınlıkları için bilgisayar ortamında oluşturulan MATLAB termal modeli yardımıyla incelenmiştir.

Tablo 7. 4 Farklı Cam Türlerine Göre Özellikler

	Referans Cam [62]	Borosilika[Ek-3]	D.Demir [Ek-4]
Cam-λ (W/m-K)	1.8	1.2	0.937
Cam ϵ	0.9	0.83	0.83
Cam-d (mm)	3-4-5	3-4-5	3-4-5
EVA-λ (W/m-K)	0.35	0.35	0.35
EVA-d (mm)	1	1	1

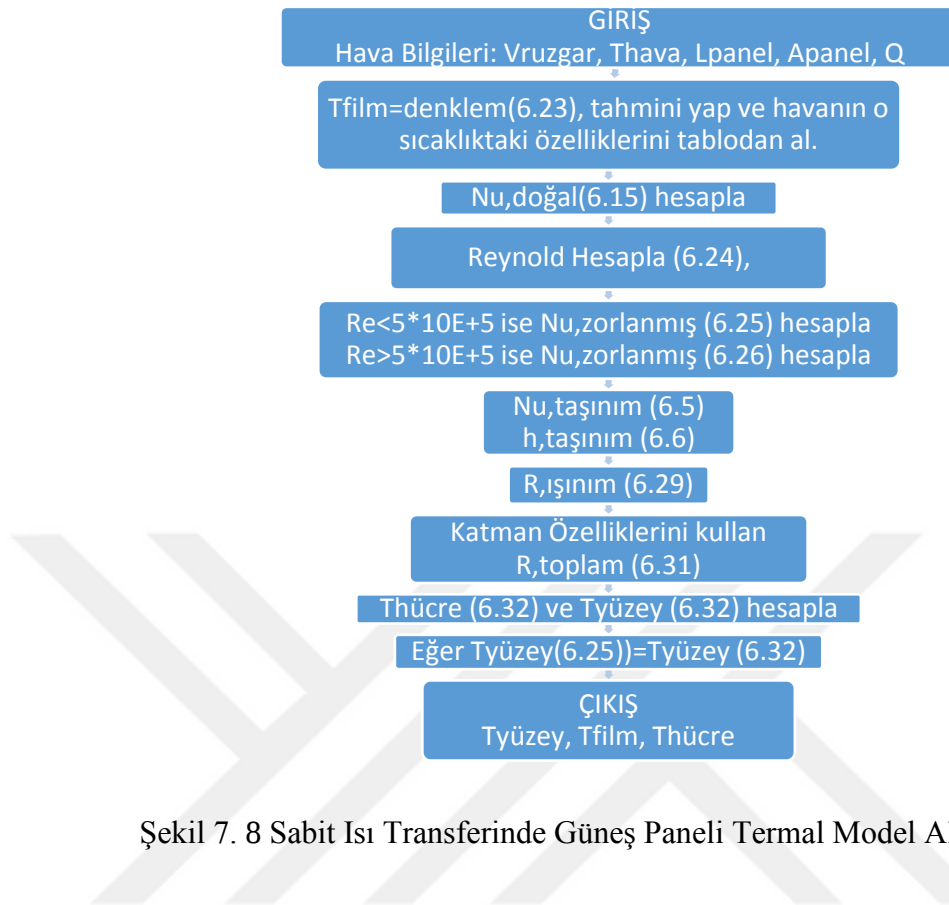
6.4 Sp75 ve Np190Q Güneş Panellerinin Termal Model Algoritması

Bu tez çalışmasındaki SP75 ve NP190Q güneş panellerinin sabit hücre sıcaklığında termal modellemesi için kullanılan MATLAB algoritmaları şekil 7.7’de gösterilmektedir.



Şekil 7. 7 Sabit Hücre Sıcaklığında Güneş Paneli Termal Model Algoritması

Hücre sıcaklığının sabit olmadığı durumlar için katmanlar arası bir ısı transferi miktarına ihtiyaç duyulmaktadır. SP75 ve NP190Q güneş panellerinin sabit ısı transferi miktarında termal modellemesi için kullanılan MATLAB algoritmaları şekil 7.8’de gösterilmektedir.



Şekil 7. 8 Sabit Isı Transferinde Güneş Paneli Termal Model Algoritması

7. BÖLÜM

FOTOVOLTAİK HÜCRE PERFORMANSI ÜZERİNE ÇALIŞMA KOŞULLARININ İNCELENMESİ

Bu çalışmanın amacı bir güneş panelinin dört parametre ve beş parametre elektriksel modellemesi yardımıyla I-V ve P-V karakteristiklerinin farklı sıcaklık ve ışınım değerlerinde nasıl değiştiğini ortaya koyup. oluşturulan bir termal model yardımıyla farklı cam kalınlıkları ve farklı cam türleri kullanımı durumunda Kayseri ili için hücre performansının nasıl değiştiğini incelenecektir.

Bu amaç doğrultusunda literatürde özellikleri belirtilen SP75 güneş panelinin. simplfy explicit metodu yardımıyla oluşturulan dört ve beş parametre elektriksel modellerindeki değişken parametreler fotovoltaik akım, saturasyon akımı, diyot idealite faktörü, seri direnç ve paralel direnç değişimleri farklı ışınım ve sıcaklık değerleri için incelenmiş ve bu panelin deneysel verileriyle karşılaştırılarak model doğrulanmıştır.

Daha sonra literatürde termal özellikleri bildirilen NP190Q güneş panelinin elektriksel model parametrelerinin farklı sıcaklık ve farklı ışınım değerleri katalog bilgilerinden yola çıkılarak sunulan algoritmalar yardımıyla incelenmiş ve oluşturulan termal model yardımıyla farklı cam türleri ve farklı cam kalınlıkları için termal model analizi yapılarak yüzey sıcaklığı ve hücre sıcaklığındaki değişimler Kayseri ilinin gerçek hava şartlarında bir yıl (12 ay) için tespit edilmiştir

Son olarak farklı cam kalınlıkları ve cam türleri için tespit edilen termal model sonuçları, elektriksel modelde yerine konularak Kayseri ili aylık ortalama hava sıcaklığı ve ışınım şiddeti değerleri için maksimum güç çıkışının ne şekilde değiştiği incelenmiştir.

7.1 SP75 ve NP190Q Güneş Panelleri STC Katalog Değerleri

Bu çalışmada kullanılan SP75 ve NP190Q ticari güneş panellerinin kataloglarında belirtilen standart test koşullarında tespit edilen akım, gerilim, güç, sıcaklık sabitleri ve seri bağlı hücre sayıları tablo 7.1.a ve tablo 7.1.b’de verilmiştir. Bu değerler ilk olarak elektriksel model parametre denklemleri yardımıyla değişken parametreler olan fotovoltaiik akım, saturasyon akımı, idealite faktörü, seri direnç ve paralel direnç değerlerinin tespiti için elektriksel modelde kullanılmaktadır.

Tablo 7.1. a Güneş Paneli-SP75 STC Katalog Değerleri (1000W 25°C) [Ek-1]

Maksimum Güç	P_{max}	75 W
Kısa Devre Akımı	I_{sc}	4.8 A
Açık Devre Voltajı	V_{oc}	21.7 V
Maksimum Akım	I_{max}	4.4 A
Maksimum Gerilim	V_{max}	17 V
Seri Hücre Sayısı	N_s	36
Sıcaklık Sabiti(Isc)	k_i	+2 mA/°C
Sıcaklık Sabiti(Voc)	k_v	-76 mV/°C

Tablo 7.1. b Güneş Paneli-NP190Q STC Katalog Değerleri (1000W 25°C) [Ek-2]

Maksimum Güç	P_{max}	190 W
Kısa Devre Akımı	I_{sc}	8 A
Açık Devre Voltajı	V_{oc}	33.0 V
Maksimum Akım	I_{max}	7.36 A
Maksimum Gerilim	V_{max}	25.8 V
Seri Hücre Sayısı	N_s	54
Sıcaklık Sabiti(Isc)	k_i	+3.9 mA/°C
Sıcaklık Sabiti(Voc)	k_v	-112 mV/°C

7.2 Güneş Paneli SP75'in 4 Parametre Elektriksel Modeli Sonuçları

Tablo 7.2. a SP75 Güneş hücresi 4-Parametre Modeli Farklı Işınım Parametreleri

	Sunulan Model	Ölçülen Değerler[66]	Khezzar Model[66]	Toprak Model[31]
G=1000 W/ m². T=25° C				
Isc (A)	4.8	4.8	4.8	4.8
Voc (V)	21.7	21.7	21.7	21.7
Imax (A)	4.4	4.4	4.4	4.4
Vmax (V)	17	17	17	17
Pmax (W)	74.8	74.8	74.8	74.8
n	1.525	-	1.56	1.561
Rs (Ω)	0.2716	-	0.2524	0.2533
Iph (A)	4.800003	-	4.8	4.8
Io (A)	1.00E-06	-	1.44E-06	1.41E-06
G=800 W/ m². T=25° C				
Isc (A)	3.84	3.84	3.84	3.84
Voc (V)	21.39	21.43	21.4213	21.39
Imax (A)	3.52	3.52	3.52	3.52
Vmax (V)	16.691	17	17.0483	16.686
Pmax (W)	58.75	59.84	60.01	58.73
n	1.497	-	-	1.521
Rs (Ω)	0.3578	-	-	0.3421
Iph (A)	3.84	-	-	3.84
Io (A)	7.50E-07	-	-	9.60E-07
G=400 W/ m². T=25° C				
Isc (A)	1.92	1.92	1.92	1.92
Voc (V)	20.49	20.6	20.3764	20.51
Imax (A)	1.76	1.76	1.76	1.76
Vmax (V)	15.79315	17.2	15.6764	15.80501
Pmax (W)	27.79	30.27	27.59	27.81
n	1.424	-	-	1.41
Rs (Ω)	0.8109	-	-	0.8292
Iph (A)	1.92	-	-	1.92
Io (A)	3.36E-07	-	-	2.85E-07

Tablo 7.2. b SP75 Güneş hücresi 4-Parametre Modeli Farklı Sıcaklık Parametreleri

	Sunulan Model	Toprak Model[31]	Sunulan Model	Toprak Model[31]	Sunulan Model	Toprak Model[31]
	G=1000 W/ m ² . T=25° C		G=1000 W/ m ² . T=40° C		G=1000 W/ m ² . T=60° C	
Isc (A)	4.8	4.8	4.83	4.83	4.87	4.87
Voc (V)	21.7	21.7	20.56	20.56	19.04	19.04
Imax (A)	4.4	4.4	4.43	4.43	4.47	4.47
Vmax (V)	17	17	15.86	15.86	14.34	14.34
P (W)	74.8	74.8	70.25	70.25	64.09	64.09
n	1.525	1.56	1.312	1.33	1.1	1.07
Rs (Ω)	0.2716	0.2524	0.3442	0.2398	0.4112	0.4301
Iph (A)	4.800003	4.8	4.830002	4.83	4.870002	4.87
Io (A)	1.00E-06	1.44E-06	4.47E-07	5.65E-07	2.10E-07	1.26E-07

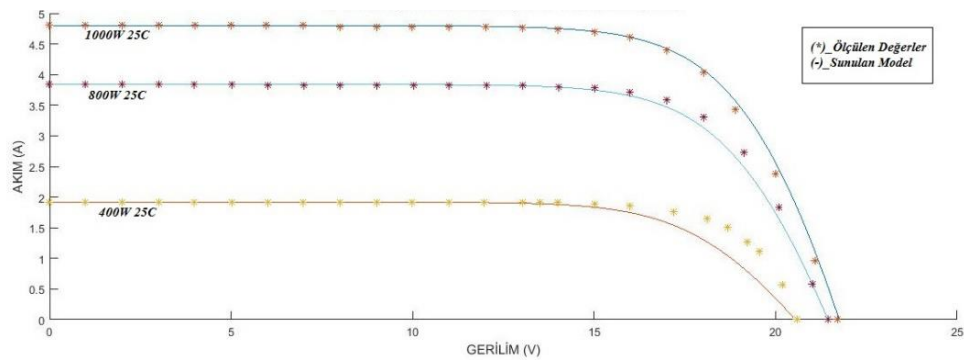
Tablo 7.2.a'da SP75 güneş panelinin 25°C'de dört parametre elektriksel modeli için standart test koşullarındaki (1000W 25°C) değerleri aynı panel üzerinde deneysel çalışma yapan Khezzar'ın verileri ve dört parametre modelini simplfy explicit metoduyla inceleyen Toprak'ın çalışmalarındaki verilerle beraber karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Burada panel kataloğunda da belirtilen Isc, Voc, Imax, Vmax, Pmax değerlerinin sunulan modelle örtüştüğü ve Khezzar'ın çalışmasında belirttiği deneysel sonuçlarla paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir. Khezzar ve Toprak'ın çalışmalarında belirttiği değişken parametreler olan Ipv değerinde örtüşme sağlanırken literatürde 1-2 aralığında değiştiği bildirilen idealite faktörü $n=1.52$ ve 0-1 aralığında değiştiği belirtilen seri direnç değeri $R_s=0.2716 \Omega$ olarak tespit edilmiştir. Khezzar'ın 800W ve 600W değerleri için değişken Ipv, Io, n ve Rs değerlerini bildirmemesine karşın mevcut değerler Toprak'ın sunduğu modelde yerine konularak, azalan ışıının idealite faktörünü düşürürken Rs direncini artırdığı ve buna bağlı olarak fotovoltaiik akım ve saturasyon akımı değerlerini düşürdüğü tespit edilmiştir. Sunulan modeldeki değişen parametre değerleri ise buna paralel bir davranış göstererek dört parametre modeli sabit sıcaklık ve farklı ışıının değerleri için sunulan algoritmanın doğruluğunu göstermektedir.

Tablo 7.2.b'de SP75 güneş panelinin metrekareye düşen 1000W güneş ışıının değeri için belirlenen farklı sıcaklıklardaki değişen parametreleri yine Toprak'ın sunduğu

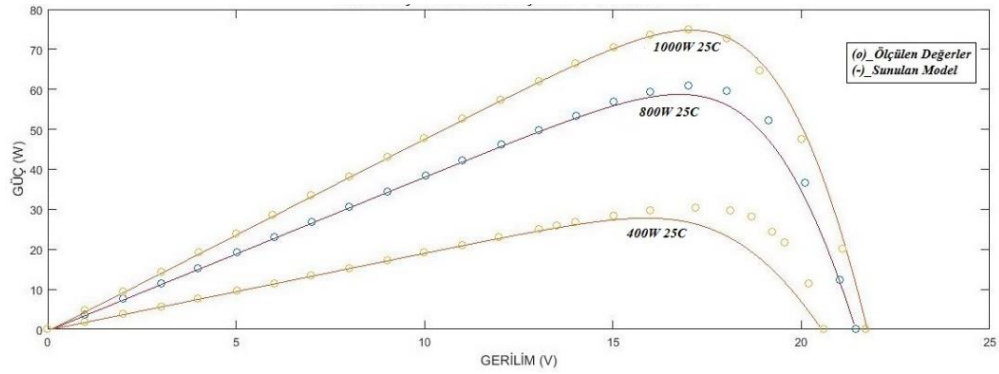
modelle karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Burada Khezzar 25°C için değişken parametre verilerini bildirmişken değişen sıcaklıklar için bir sonuç bulmamıştır. Toprak'ın modeli uygulanarak tespit edilen veriler ışığında artan sıcaklığın diyot idealite faktörünü düşürürken, R_s seri direncini artırdığı buna bağlı olarak fotovoltaik akım (I_{pv}) ve saturasyon akımını (I_o) düşürdüğü gözlemlenmiştir. Sunulan modeldeki değişken parametre değerleri yine bu tez çalışmasında bildirilen 4-parametre elektriksel model algoritmasıyla MATLAB ortamında incelenmiş olup artan sıcaklığın diyot idealite faktörünü düşürürken seri direnç değerini artırdığı ve bu durumun sunulan dört parametre modelinin farklı sıcaklıklar için değişken parametre tespitini doğruladığını göstermektedir.

7.3 Güneş Paneli SP75'in 4 Parametre Elektriksel Modeli Karakteristikleri

Şekil 7.1 ve şekil 7.2'de SP75 güneş panelinin tablo 7.2.a'da belirtilen değerler için I-V ve P-V karakteristikleri. grafiksel olarak sunulan modelde elde edilmiş I-V ve P-V karakteristikleriyle karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Burada standart test koşullarında neredeyse tam bir örtüşme sağlanırken 400 W ışınım değerinde $V_{max,ölçülen} = 17.2$ V değerine karşılık $V_{max,sunulan} = 15.79$ V olarak tespit edilmiş ve $P_{max,ölçülen} = 30.27$ W değerine karşılık $P_{max,sunulan} = 27.79$ W olarak hesaplanmıştır.

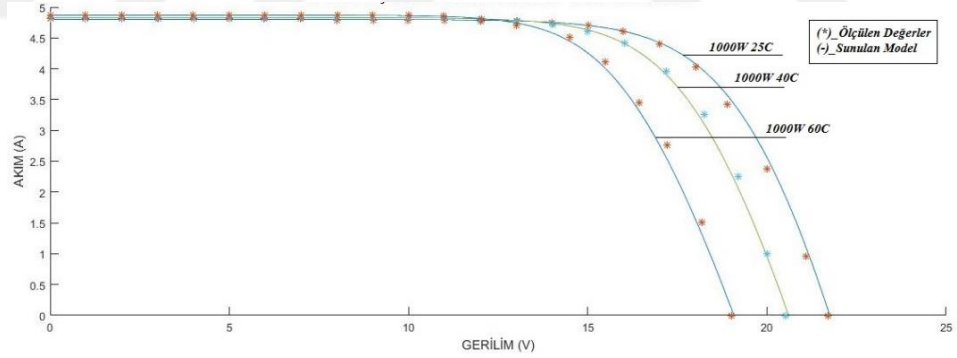


Şekil 7. 1 SP75 Güneş Paneli Farklı Işınım I-V Karakteristiği

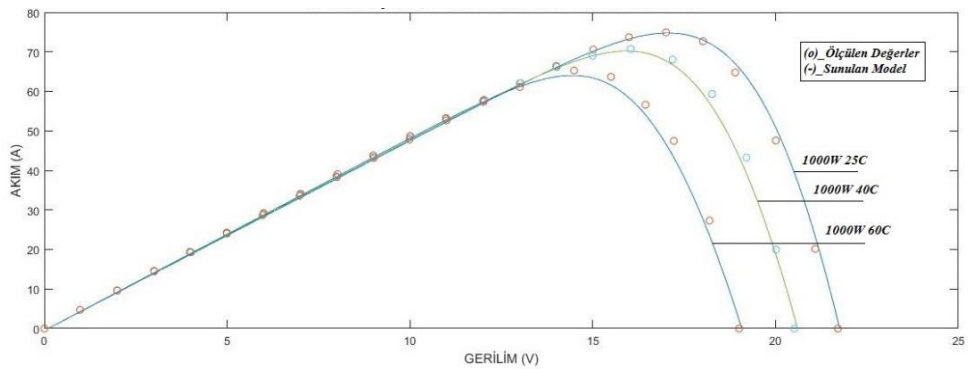


Şekil 7. 2 SP75 Güneş Paneli Farklı Işınım P-V Karakteristiği

Şekil 7.3 ve şekil 7.4'te tablo 7.2.b'de sunulan model değerleri MATLAB ortamına aktarılarak 1000W ışıınım için farklı sıcaklık değerlerinde SP75 güneş panelinin Khezzar'ın çalışmasında bildirdiği deneysel verileriyle karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Sunulan model parametrelerinin ölçülen değer verileriyle paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 7. 3 SP75 Güneş Paneli Farklı Sıcaklık I-V Karakteristiği



Şekil 7. 4 SP75 Güneş Paneli Farklı Sıcaklık P-V Karakteristiği

7.4 Güneş Paneli NP190Q'nun 4 Parametre Elektriksel Modeli Sonuçları

Tablo 7.3. a NP190Q Güneş Paneli 4-Parametre Modeli Farklı Işınım Parametreleri

	Sunulan Model	Toprak Model[31]	Sunulan Model	Toprak Model[31]
	G=1000 W/ m ² . T=25° C		G=800 W/ m ² . T=25° C	
Isc (A)	8	8	6.4	6.4
Voc (V)	33	33	32.58051	32.54873
Imax (A)	7.36	7.36	5.888	5.888
Vmax (V)	25.8	25.8	25.38051	25.34873
Pmax (W)	189.88	189.88	149.44	149.25
n	1.448	1.493	1.355	1.457
Rs (Ω)	0.28885	0.26701	0.41641	0.35533
Iph (A)	8.000002	8	6.400001	6.4
Io (A)	5.88E-07	9.73E-07	1.90E-07	6.55E-07
	G=600 W/ m ² . T=25° C		G=400 W/ m ² . T=25° C	
Isc (A)	4.8	4.8	3.2	3.2
Voc (V)	32.0652	31.9982	31.41347	31.27684
Imax (A)	4.416	4.416	2.944	2.944
Vmax (V)	24.8652	24.7982	24.21347	24.07684
Pmax (W)	109.8	109.5	71.28	70.88
n	1.319	1.41	1.248	1.35
Rs (Ω)	0.58378	0.50885	0.96018	0.83256
Iph (A)	4.800001	4.8	3.2	3.2
Io (A)	1.18E-07	3.93E-07	4.23E-08	1.91E-07

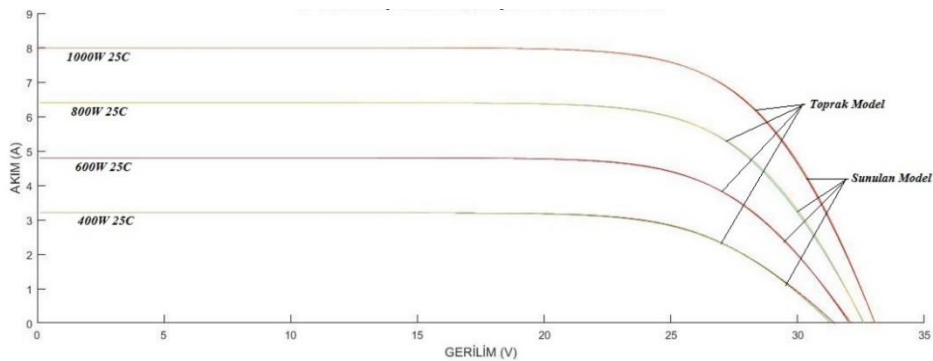
Tablo 7.3.a'da NP190Q güneş panelinin 25°C'de farklı ışınım şiddetlerindeki karakteristikleri SP75 güneş panelinde doğrulaması yapıp sunulan 4-parametre modeli algoritması yardımıyla Toprak'ın sunduğu model verileriyle karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Burada ışınım şiddeti düşerken idealite faktörü değerindeki azalma 1-2 aralığında olup Rs değerindeki artış literatüre uygun olarak tespit edilerek hesaplanan Ipv, Io, n ve Rs parametrelerinin değerleri gösterilmiştir. NP190Q güneş panelinin 1000W ışınım şiddetinde 4 parametre elektriksel modeli farklı sıcaklıklar için parametre değerleri Tablo 7.3.b'de gösterilmiştir. Buna göre artan sıcaklıklarda idealite faktörü düşerken, direnç değerinin Toprak'ın modelinde olduğu gibi arttığı gözlenmiştir.

Tablo 7.3. b NP190Q Güneş hücresi 4-Parametre Modeli Farklı Sıcaklık Parametreleri

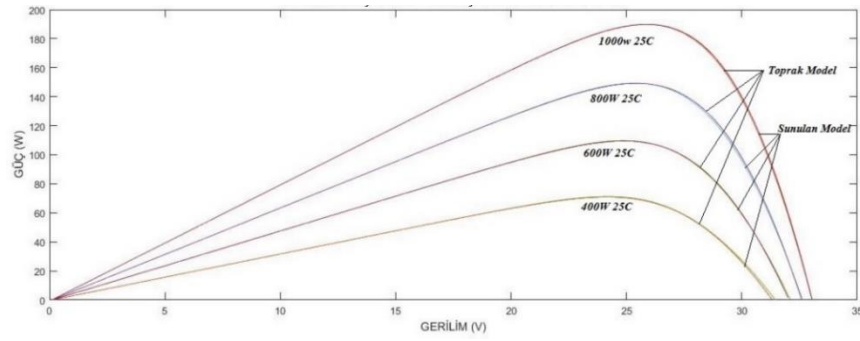
	Sunulan Model	Toprak Model[31]	Sunulan Model	Toprak Model[31]	Sunulan Model	Toprak Model[31]
	G=1000 W/ m ² . T=25° C		G=1000 W/ m ² . T=40° C		G=1000 W/ m ² . T=60° C	
Isc (A)	8	8	8.0585	8.05	8.1365	8.1365
Voc (V)	33	33	31.32	31.32	29.08	29.08
Imax (A)	7.36	7.36	7.4185	7.4185	7.4965	7.4965
Vmax (V)	25.8	25.8	24.12	24.12	21.88	21.88
Pmax (W)	189.88	189.88	178.93	178.93	164.02	164.02
n	1.448	1.493	1.289	1.281	1.083	1.032
Rs (Ω)	0.28885	0.26701	0.3292	0.3327	0.3909	0.4175
Iph (A)	8.00000	8	8.05850	8.05	8.13650	8.1365
Io (A)	5.88E-07	9.73E-07	4.62E-07	3.63E-07	2.44E-07	7.52E-08

7.5 Güneş Paneli NP190Q'nun 4 Parametre Elektriksel Modeli Karakteristikleri

Şekil 7.5 ve şekil 7.6'da NP190Q güneş panelinin farklı ışınlım şiddetleri için tablo 7.3.a'da belirtilen değişken parametrelerinin panel I-V ve P-V karakteristikleri MATLAB yardımıyla grafiksel olarak gösterilmiştir. Burada karşılaştırmalı olarak Toprak'ın sunduğu model karakteristiklerine yer verilirken farklı ışınlım şiddetlerinde 400W-1000W değerinde kısa devre akımı 3.2-8 A değeri arasında değişirken, açık devre voltajının 31.41-33 V arasında azaldığı gözlemlenmiştir.

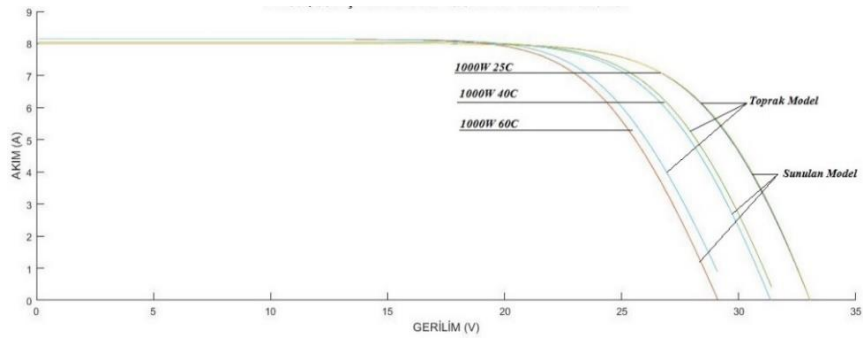


Şekil 7. 5 NP190Q Güneş Paneli Farklı Işınlım I-V Karakteristiği

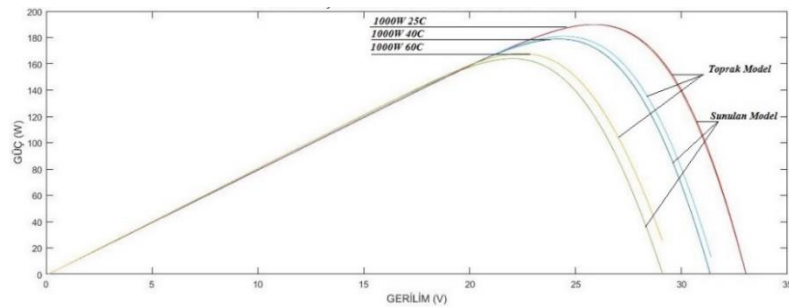


Şekil 7. 6 NP190Q Güneş Paneli Farklı Işınım P-V Karakteristiği

Şekil 7.7 ve şekil 7.8’de NP19Q panelinin 1000W ışınım şiddeti için farklı sıcaklıklarda Toprak’ın sunduğu modelin I-V, P-V karakteristikleriyle sunulan modelde elde edilen panel karakteristiklerinin karşılaştırması tablo 7.3.b’de ki veriler yardımıyla gösterilmektedir. Bu tabloda tespit edilen idealite faktörü değerindeki azalış ve seri direnç değerindeki artışın literatürle uyumlu olduğu gözlemlenirken Toprak’ın modeline göre aynı kritik nokta değerleri için (I_{sc} , V_{oc} , I_{max} , V_{max}) farklı parametre değerlerinde daha iyi sonuç ortaya koymaktadır.



Şekil 7. 7 NP190Q Güneş Paneli Farklı Sıcaklık I-V Karakteristiği



Şekil 7. 8 NP190Q Güneş Paneli Farklı Sıcaklık P-V Karakteristiği

7.6 Güneş Paneli SP75'in 5 Parametre Elektriksel Modeli Sonuçları

Tablo 7.4.a'da SP75 güneş panelinin Khezzar'ın standart test koşullarında sunduğu 5 parametre modeli verileriyle karşılaştırmalı olarak 25°C'de farklı ışınım şiddetleri için elektriksel model parametrelerinin değişimi belirtilmiştir. Burada literatürde bildirilen idealite faktörünün 1-2 aralığındaki değeri pratik yaklaşımlar için 1.3 kabul edilmektedir. Panel katalog bilgileri göz önünde bulundurulduğunda standart test koşulları için sunulan 5 parametre modeli hesaplamalarında $n=1.29$ hesaplanarak literatüre ve Khezzar'ın verileriyle uyumlu olarak seri direnç, paralel direnç, saturasyon akımı ve fotovoltaiik akım parametrelerinin tespiti yapılmıştır.

İdealite faktöründeki bu azalmaya karşın seri direnç 0.02 ohm kadar yüksek çıkarken maksimum güç noktasını en iyi sağlayan R_p değeri 259.658 olarak tespit edilmiştir. Işınımın artması kısa devre akımı değerinde gözle görülür bir azalmaya sebep olurken gerilimdeki düşüş oldukça düşüktür.

Tablo 7.4. a SP75 Güneş hücresi 5-Parametre Modeli Farklı Işınım Parametreleri

	Sunulan Model	Khezzar Mod.[66]	Sunulan Model	Khezzar Mod.[66]	Sunulan Model	Khezzar Mod.[63]
	G=1000 W/ m ² . T=25° C		G=800 W/ m ² . T=25° C		G=400 W/ m ² . T=25° C	
Isc (A)	4.8	4.8	3.84	-	1.92	-
Voc (V)	21.7	21.7	21.437	-	20.66	-
Imax (A)	4.4	4.4	3.52	-	1.76	-
Vmax (V)	17	17	16.7378	-	15.966	-
Pmax (W)	74.8	74.8	59.9	-	28.1	-
n	1.29	1.3	1.27	-	1.22	-
Rs (Ω)	0.3507	0.33	0.454	-	0.9916	-
Rp Ω	259.658	236.7684	329.025	-	721.554	-
Iph (A)	4.80648	4.8	3.84529	-	1.92263	-
Io (A)	5.97E-08	6.96E-08	4.48E-08	-	2.11E-08	-

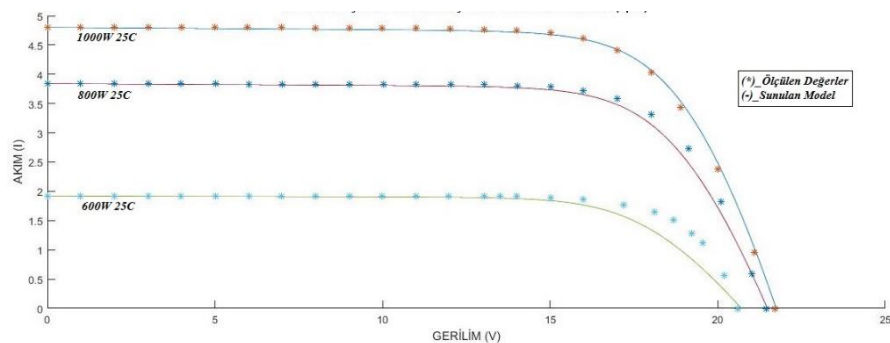
Sunulan model algoritması yardımıyla hesaplanan elektriksel model parametreleri Tablo 7.4.b'de gösterilmiştir. Artan sıcaklık idealite faktörünü düşürmekle beraber, direnç parametrelerini artırmıştır. buna karşın açık gerilim noktasında küçük değişikliğin bir sonucu olarak artan sıcaklıkta kısa devre geriliminin bir miktar arttığı gözlemlenmiştir.

Tablo 7.4. b SP75 Güneş hücresi 5-Parametre Modeli Farklı Sıcaklık Parametreleri

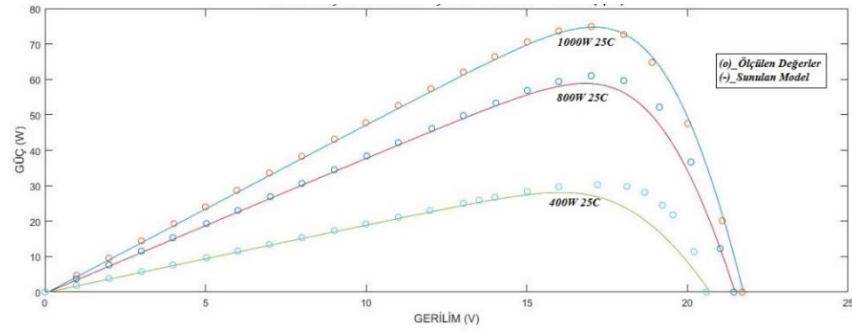
	Sunulan Model	Khezzar Mod.[66]	Sunulan Model	Khezzar Mod.[66]	Sunulan Model	Khezzar Mod.[66]
	G=1000 W/ m ² . T=25° C		G=1000 W/ m ² . T=40° C		G=1000 W/ m ² . T=60° C	
Isc (A)	4.8	4.8	4.83	-	4.87	-
Voc (V)	21.7	21.7	20.56	-	19.04	-
Imax (A)	4.4	4.4	4.43	-	4.47	-
Vmax (V)	17	17	15.86	-	14.34	-
Pmax (W)	74.8	74.8	70.25	-	64.09	-
n	1.29	1.3	1.17	-	1.02	-
Rs (Ω)	0.3507	0.33	0.3929	-	0.4517	-
Rp Ω	259.6589	236.7684	336.2044	-	749.9598	-
Iph (A)	4.806483	4.8	4.835644	-	4.872933	-
Io (A)	5.97E-08	6.96E-08	5.81E-08	-	5.00E-08	-

7.7 Güneş Paneli SP75'in 5 Parametre Elektriksel Modeli Karakteristikleri

Tablo 7.4.a'da belirtilen 5 parametre modeli sonuçların Khezzar'ın çalışmasında belirttiği deneysel verilerle uyumlu olduğu SP75 panelinin sunulan 5-parametre elektriksel model akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristikleriyle 25°C'de farklı ışınım şiddetleri için verilen şekil 7.9 ve şekil 7.10'da gösterilmiştir. Dört parametre modelinde hesaplanan 400W-25°C sonuçlarına göre $V_{\max,4parametre} = 15.79$ V'a karşılık $V_{\max,5parametre} = 15.96$ V değeriyle gerilimde bir miktar artış tespit edilirken $P_{\max,4parametre} = 27.79$ W'a karşılık $P_{\max,5parametre} = 28.1$ W değeri deneysel olarak verilen $P_{\max,ölçülen} = 30.27$ W'a daha yakın olarak tespit edilmiştir.

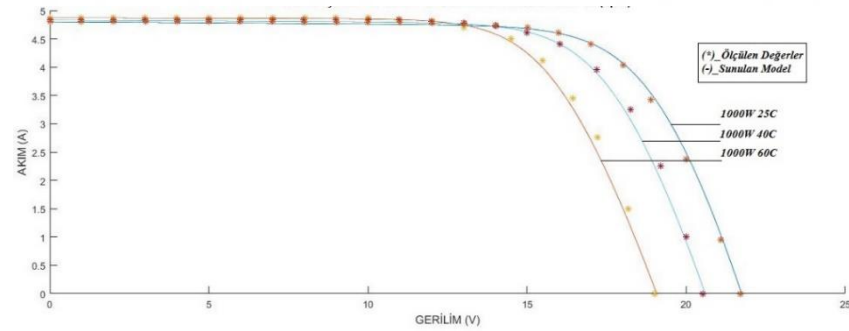


Şekil 7. 9 SP75 Güneş Paneli Farklı Işınım I-V Karakteristiği

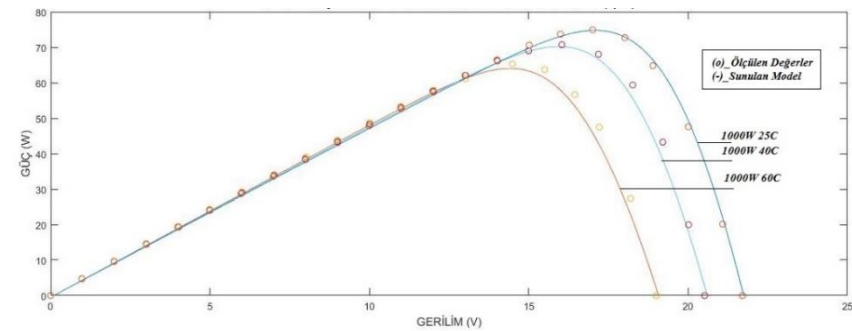


Şekil 7. 10 SP75 Güneş Paneli Farklı Işınım P-V Karakteristiği

Tablo 7.4.b’de verilen SP75 güneş panelinin 1000W ışınım şiddeti için farklı sıcaklıklarda elde edilen I-V ve P-V karakteristikleri Khezzar’ın çalışmasında ölçülen değerlerle karşılaştırmalı olarak şekil 7.11 ve şekil 7.12’de gösterildiği gibidir. Burada deneysel sonuçların sunulan modelle elde edilen karakteristiklere oldukça uyumlu olduğu gözlemlenmiş ve sunulan model algoritmasının doğru bir şekilde çalıştığı ortaya konmuştur.



Şekil 7. 11 SP75 Güneş Paneli Farklı Işınım I-V Karakteristiği



Şekil 7. 12 SP75 Güneş Paneli Farklı Işınım P-V Karakteristiği

7.8 Güneş Paneli NP190Q'nun 5 Parametre Elektriksel Modeli Sonuçları

SP75 güneş paneli deneysel verileriyle doğrulaması yapılarak sunulan 5-parametre elektriksel modeli NP190Q güneş paneline uygulandığında 25°C'de farklı sıcaklık ve ışınlım şiddetlerinde elektriksel model parametreleri tablo 7.5.a ve tablo 7.5.b'de gösterilmiştir.

Tablo 7.5 a NP190Q Güneş hücresi 5-Parametre Modeli Farklı Işınlım Parametreleri

	Sunulan Model	Sunulan Model	Sunulan Model	Sunulan Model
	G=1000 W/m ² . T=25° C	G=800 W/m ² . T=25° C	G=600 W/m ² . T=25° C	G=400 W/m ² . T=25° C
Isc (A)	8	6.4	4.8	3.2
Voc (V)	33	32.59	32.09	31.44
Imax (A)	7.36	5.88	4.416	2.94
Vmax (V)	25.8	25.39	24.89	24.24
Pmax (W)	189.888	149.522	109.958	71.389
n	1.35	1.31	1.27	1.22
Rs (Ω)	0.3138	0.4148	0.5848	0.9377
Rp Ω	446.3797	511.1526	648.5057	926.6336
Iph (A)	8.0056	6.4051	4.8043	3.2032
Io (A)	1.77E-07	1.03E-07	5.82E-08	2.70E-08

Standart test koşullarında (1000W 25°C) verilen katalog değerleri göz önünde bulundurularak hesaplanan n, Rs, Rp, Iph ve Io değerleri katalogta belirtilen Pmax=190W değerine eşit çıkmaktadır. Burada panel üzerine gelen ışınlım şiddeti 400W'a azalırken kısa devre akım değeri 8A 'den 3.2A ı düşmüş ve açık devre gerilimi değeri 33V'tan 31.44V a az bir düşüş göstermiştir. Buna karşın tablo 7.5.b'de gösterilen parametre değişimleri aynı ışınlım şiddetinde sıcaklık artmasına rağmen kısa devre akımını bir miktar artırdığı ve açık devre geriliminde 33V'tan 29.13V'a kadar daha büyük bir düşüşe sebep olduğu görülmüştür. İdealite faktörü değeri her iki durumda da düşerken. düşen ışınlım ve yükselen sıcaklık elektronların enerjisini ve dolayısıyla akım oluşumunu etkileyerek seri ve paralel direnç değerlerini artırarak fotovoltaiik akım ve saturasyon akımı değerlerini standart test koşullarına göre düşürmüştür.

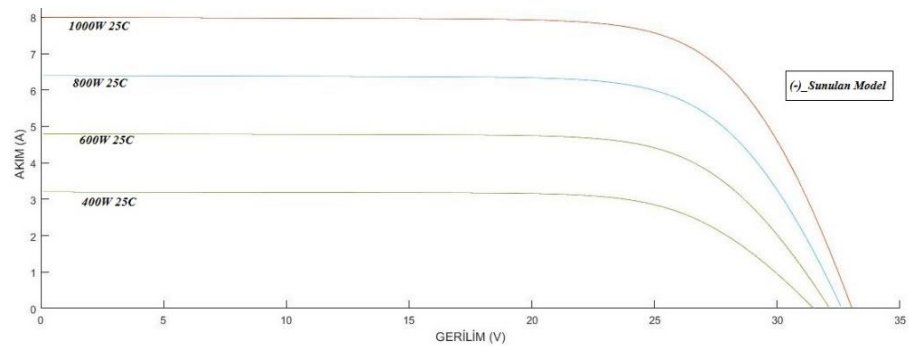
Tablo 7.5. b NP190Q Güneş hücresi 5-Parametre Modeli Farklı Sıcaklık Parametreleri

	Sunulan Model	Sunulan Model	Sunulan Model
	G=1000 W/ m ² . T=25° C	G=1000 W/ m ² . T=40° C	G=1000 W/ m ² . T=60° C
Isc (A)	8	8.05	8.13
Voc (V)	33	31.32	29.13
Imax (A)	7.36	7.4185	7.4945
Vmax (V)	25.8	24.12	21.93
Pmax (W)	189.888	178.934	164.4
n	1.35	1.18	1
Rs (Ω)	0.3138	0.3673	0.4291
Rp Ω	446.3797	506.2463	996.2518
Iph (A)	8.0056	8.06434	8.138
Io (A)	1.77E-07	9.83E-08	5.43E-08

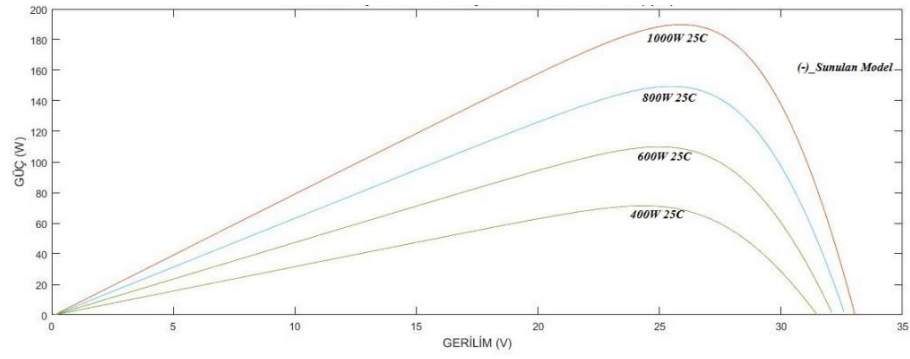
7.9 Güneş Paneli NP190Q'nun 5 Parametre Elektriksel Modeli Karakteristikleri

Tablo 7.5.a'da hesaplanan model parametreleri göz önünde bulundurularak MATLAB ortamında oluşturulan NP190Q güneş panelinin akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristik grafikleri farklı ışınlam şiddetleri için şekil 7.13 ve 7.14'te verilmiştir.

Azalan ışınlamın güç çıkışını azaltan bir etkisi olduğu gözlemlenirken, açık devre gerilimi noktasında bir düşüş ortaya çıkmıştır.

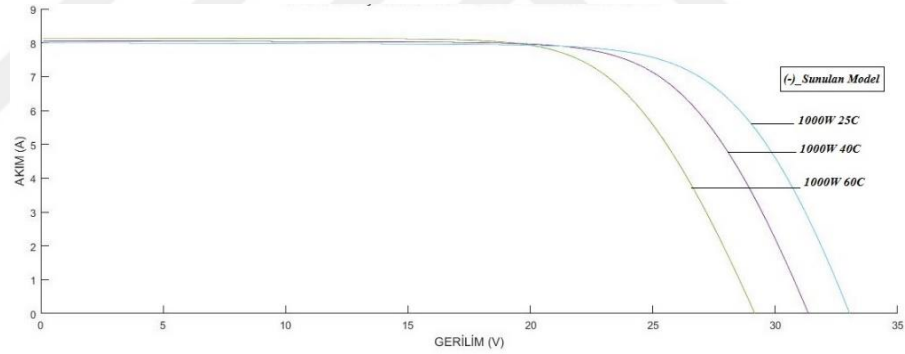


Şekil 7. 13 NP190Q Güneş Paneli Farklı Işınlam I-V Karakteristiği

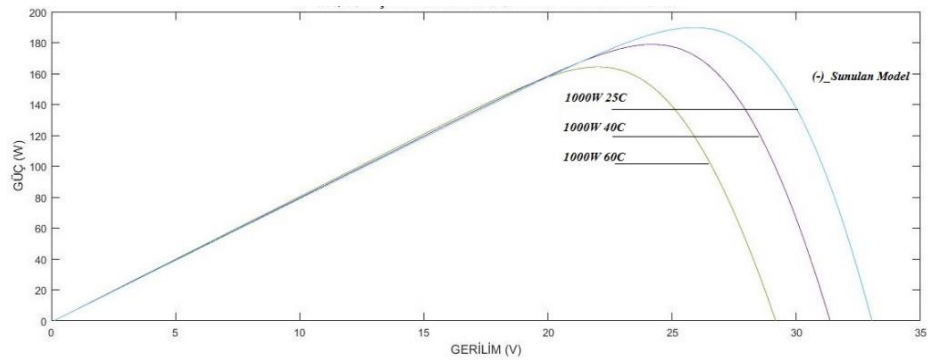


Şekil 7. 14 NP190Q Güneş Paneli Farklı Sıcaklık P-V Karakteristiği

Tablo 7.5.b'de hesaplanan farklı sıcaklık model parametrelerinden yola çıkarak hesaplanan NP190Q güneş paneli I-V ve P-V grafikleri şekil 7.15 ve 7.16'da gösterilmiştir. Artan sıcaklık panel performansında gözle görülür bir düşüşe neden olmaktadır.



Şekil 7. 15 NP190Q Güneş Paneli Farklı Işınım I-V Karakteristiği



Şekil 7. 16 NP190Q Güneş Paneli Farklı Sıcaklık P-V Karakteristiği

7.10 SP75 Güneş Paneli 4 ve 5 Parametre Elektriksel Modelleri Karşılaştırması

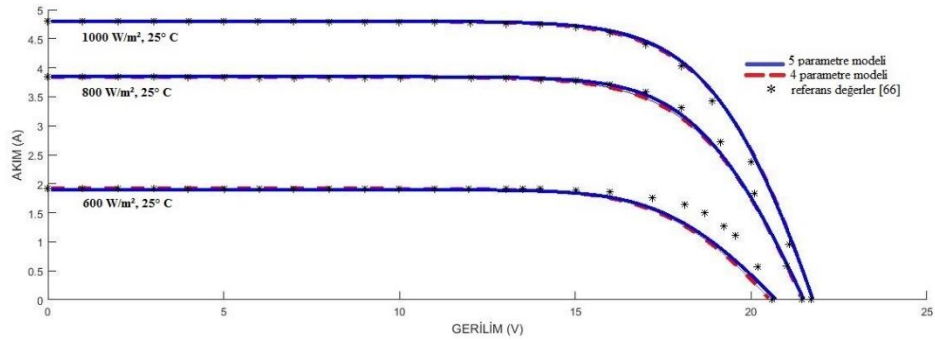
Sunulan 4-Parametre elektriksel modeli algoritmasında hesaplanan parametreler için elde edilen referans değerler Khezzar'ın çalışmasında bildirdiği hesaplanan ve ölçülen değerlerle birlikte tablo 7.4.a ve tablo 7.4.b'de belirtilmiştir. Şekil 4.12'de belirtilen 4 parametre elektriksel model algoritması, panelin değişken parametreleriyle beraber hesaplanan denklem 4.58 ve panel kataloğundan alınan I_{sc} , V_{oc} , I_{max} ve V_{max} değerleri ile değişken ışınlam (G)-sıcaklık (T) durumları göz önünde bulundurularak hesaplanan 4.50 denklemiyle karşılaştırılarak, kritik noktalardaki hatalar "hata oranı $< 10^{-6}$ " olacak şekilde belirlenerek MATLAB ortamına aktarılmıştır.

Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen değer maksimum güç noktasında farklı ışınlam miktarlarında $G=1000 \text{ W/m}^2$, $T=25^\circ \text{ C}$ için $P_{max,sunulan} = P_{max,ölçülen} = P_{max,Khezzar} = 74.8 \text{ W}$. $G=800 \text{ W/m}^2$, $T=25^\circ \text{ C}$ için $P_{max,sunulan} = 58.75 \text{ W}$, $P_{max,ölçülen} = 59.84 \text{ W}$, $P_{max,Khezzar} = 60.01 \text{ W}$ ve $G=400 \text{ W/m}^2$, $T=25^\circ \text{ C}$ için $P_{max,sunulan} = 27.79 \text{ W}$, $P_{max,ölçülen} = 30.27 \text{ W}$, $P_{max,Khezzar} = 27.59 \text{ W}$ olarak tespit edilmiş ve değişen ışınlam değerlerinde, ölçülen değerlerle kıyaslandığında maksimum güç noktasında 1-2 W'lık bir sapma olduğu tespit edilmiştir. Bu durumun idealite faktöründeki azalmanın Khezzar'ın bildirdiği sonuçlarla kıyaslandığında maksimum akım noktasındaki örtüşmeye karşılık R_s değerindeki bir miktar artıştan kaynaklanan açık devre gerilimindeki düşüşten kaynaklandığı düşünülmektedir.

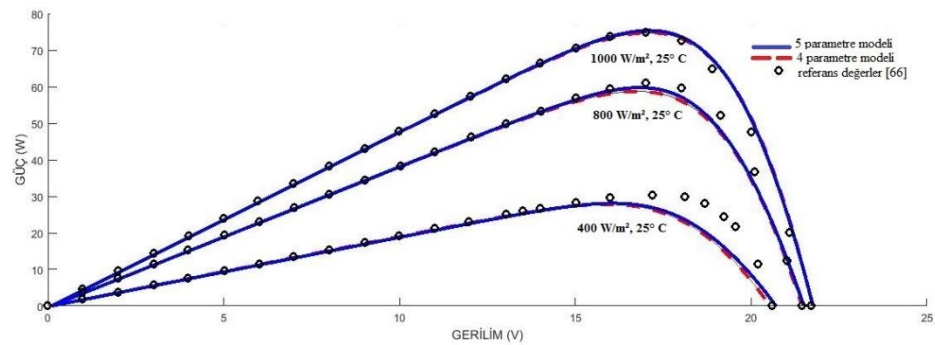
Khezzar'ın çalışmasında bildirilen 5-parametre elektriksel modeli $G=1000 \text{ W/m}^2$, $T=25^\circ \text{ C}$ sonuçlarına karşılık yine aynı çalışmada bildirilen SP75 güneş paneli deneysel I-V ve P-V karakteristikleri göz önünde bulundurularak sunulan 5 parametre elektriksel modeli karşılaştırmalı sonuçları ise tablo 7.4.a ve tablo 7.4.b'de bildirilmiştir. Numerik bir yaklaşımla sunulan denklem 4.67 paralel direnç değerini vermesine karşın literatürde yapılan çalışmalar göz önünde bulundurularak Cubas'ın çalışmasında bildirdiği denklem 4.81, şekil 4.13'te bildirilen sunulan 5 parametre elektriksel modeli algoritmasında hata analizi için kullanılmış ve "hata oranı $< 10^{-6}$ " olarak MATLAB programında değişken parametre değerleri hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen değerler $G=1000 \text{ W/m}^2$, $T=25^\circ \text{ C}$ için literatüre uyumlu olarak

idealite faktöründe $n_{\text{Khezzar}} = 1.3$ değerine karşılık $n_{\text{sunulan}} = 1.29$ olarak tespit edilmiş ve hesaplanan $R_{s,\text{sunulan}} = 0.35$ değerinde Khezzar'ın bildirdiği sonuçlara göre 0.02 ohm'luk bir artış gözlemlenmiştir. Buna karşılık $R_{p,\text{Khezzar}} = 236.76 \Omega$ olarak bildirilen paralel direnç değeri $R_{p,\text{sunulan}} = 259.65 \Omega$ olarak hesaplanmış ve Cubas'ın bildirdiği denklem 4.81'in aynı şartlar için hesaplanan R_p değeriyle eşit olduğu tespit edilmiştir.

$T=25^\circ\text{C}$ için panelin farklı ışınım değerlerindeki parametre sonuçları tek diyot modelleri için yapılan doğrulamalar göz önünde bulundurularak $G=400 \text{ W/m}^2$, $G=800 \text{ W/m}^2$, $G=1000 \text{ W/m}^2$ için hesaplanarak, sunulan tek diyot elektriksel modelleri sonuçları Khezzar'ın bildirdiği deneysel verilerle birlikte şekil 7.17 ve şekil 7.18'de gösterilmiştir.



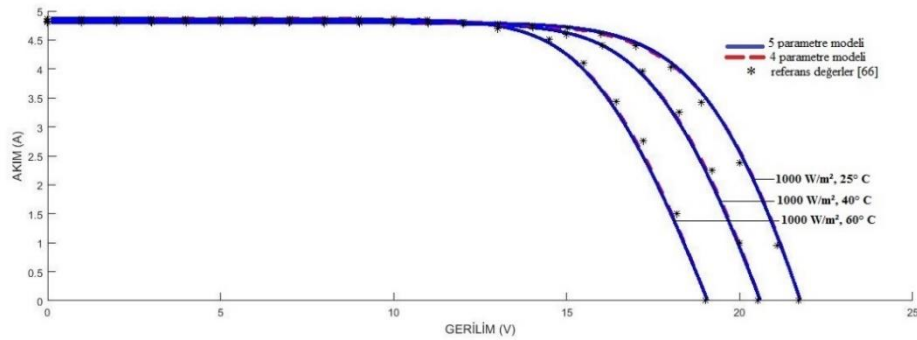
Şekil 7. 17 SP75 Güneş Paneli 4 ve 5 Parametre Modelleri Farklı Işınım Değerleri İçin Karşılaştırmalı I-V Karakteristiği



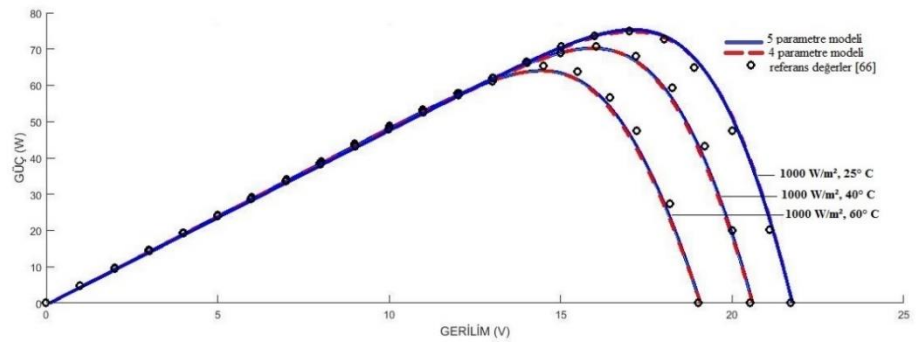
Şekil 7. 18 SP75 Güneş Paneli 4 ve 5 Parametre Modelleri Farklı Işınım Değerleri İçin Karşılaştırmalı P-V Karakteristiği

Azalan ışınlam değerlerinde gözlemlenen P_{max} noktasındaki artan sapmaya karşın V_{oc} ve I_{sc} kritik noktalarında ölçülen değerlerde sunulan tek diyot elektriksel modelleri için örtüşme sağlanmaktadır. Eklenen R_p ile beraber akımdaki bir miktar azalmaya karşılık R_s değerindeki artış 5 parametre verilerini deneysel verilere daha da yaklaştırmıştır.

Güneş panelinin açık devre geriliminde artan sıcaklıkla beraber bir miktar azalma olduğu literatürde bildirilmiştir. Bununla beraber artan sıcaklık elektronların kinetik enerjisinin de bir miktar artırarak I_{sc} ve I_{ph} noktalarında artışa neden olmaktadır. Bu durum sunulan 4 ve 5 parametre modeliyle birlikte Khezzer'ın bildirdiği SP75 güneş panelinin farklı sıcaklıklardaki deneysel sonuçlarıyla birlikte karşılaştırmalı olarak şekil 7.19 ve 7.20'de gösterilerek sunulan modelin farklı sıcaklıklardaki değişen parametre değerleri doğrulaması literatüre uygun olarak yapılmış ve NP190Q güneş paneli karakteristikleri bu veriler ışığında tespit edilerek bu çalışmada sunulmuştur.



Şekil 7. 19 SP75 Güneş Paneli 4 ve 5 Parametre Modelleri Farklı Işınlam Değerleri İçin Karşılaştırmalı P-V Karakteristiği



Şekil 7. 20 SP75 Güneş Paneli 4 ve 5 Parametre Modelleri Farklı Işınlam Değerleri İçin Karşılaştırmalı P-V Karakteristiği

7.11 Güneş Paneli NP190Q'nun Termal Model Parametreleri

Tablo 7.6. a $T_{pil} = 298K$ ve $d_{cam.makale} = 4mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Vrüz (m/s)	2.72	2.25	2.53	1.58	2.03	2.44
Thava (K)	270.4	272.5	279.8	283.5	287.4	292.2
Tfilm (K)	284	285	289	291	293	295
v-hava (m ² /s)	1.43E-05	1.44E-05	1.48E-05	1.50E-05	1.52E-05	1.53E-05
λ-hava (W/m-K)	2.45E-02	2.45E-02	2.48E-02	2.50E-02	2.51E-02	2.53E-02
Prandl	0.7334	0.7330	0.7320	0.7314	0.7309	0.7303
Reynold	2.80E+05	2.30E+05	2.52E+05	1.56E+05	1.97E+05	2.35E+05
h-serbest	0.2546	0.2496	0.2327	0.2220	0.2075	0.1330
h-zorlanmış	5.2523	4.7749	5.0576	4.0010	4.5281	4.9679
Nutaşınım	316.74	287.13	300.45	236.26	265.68	289.86
Rtoplam	3.362	3.245	3.434	3.098	3.349	3.561
Tcam-tahmin (K)	297.6000	297.5000	298.2000	298.5000	298.6000	297.8000
Tcam (K)	297.9713	297.9726	297.9815	297.9836	297.9889	297.9943
Q (W/m ²)	8.2086	7.8575	5.3007	4.6805	3.1653	1.6289
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Vrüz (m/s)	2.75	2.28	2.08	2.00	1.92	1.56
Thava (K)	296	296.6	293.5	284.5	278.5	276.7
Tfilm (K)	297	297	296	291	288	287
v-hava (m ² /s)	1.55E-05	1.55E-05	1.54E-05	1.50E-05	1.47E-05	1.46E-05
λ-hava (W/m-K)	2.54E-02	2.54E-02	2.54E-02	2.50E-02	2.48E-02	2.47E-02
Prandl	0.7298	0.7298	0.7301	0.7314	0.7323	0.7325
Reynold	2.61E+05	2.16E+05	1.99E+05	1.97E+05	1.92E+05	1.57E+05
h-serbest	0.1057	0.0864	0.1298	0.1610	0.1755	0.1787
h-zorlanmış	5.2678	4.7942	4.5866	4.4968	4.4059	3.9686
Nutaşınım	305.54	278.08	266.77	265.53	262.47	237.19
Rtoplam	3.718	3.550	3.443	3.293	3.191	3.005
Tcam-tahmin (K)	298.0000	297.4000	298.5000	297.5000	297.5000	297.3000
Tcam (K)	297.9981	297.9986	297.9954	297.9857	297.9787	297.9752
Q (W/m ²)	0.5380	0.3944	1.3071	4.0993	6.1108	7.0872

Tablo 7.6. b $T_{pil} = 298K$ ve $d_{cam.borosilika} = 4mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Vrüz (m/s)	2.72	2.25	2.53	1.58	2.03	2.44
Thava (K)	270.4	272.5	279.8	283.5	287.4	292.2
Tfilm (K)	284	285	289	291	293	295
v-hava (m ² /s)	1.43E-05	1.44E-05	1.48E-05	1.50E-05	1.52E-05	1.53E-05
λ-hava (W/m-K)	2.45E-02	2.45E-02	2.48E-02	2.50E-02	2.51E-02	2.53E-02
Prandl	0.7334	0.7330	0.7320	0.7314	0.7309	0.7303
Reynold	2.80E+05	2.30E+05	2.52E+05	1.56E+05	1.97E+05	2.35E+05
h-serbest	0.1904	0.2496	0.2327	0.2220	0.2075	0.1330
h-zorlanmış	5.2523	4.7749	5.0576	4.0010	4.5281	4.9679
Nutaşınım	316.73	287.13	300.45	236.26	265.68	289.86
Rtoplam	3.212	3.107	3.287	2.981	3.216	3.415
Tcam-tahmin (K)	297.6	297.5	298.2	298.5	293	297.8
Tcam (K)	297.9634	297.9651	297.9764	297.9793	297.9860	297.9928
Q (W/m ²)	8.5940	8.2084	5.5377	4.8639	3.2957	1.6982
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Vrüz (m/s)	2.75	2.28	2.08	2.00	1.92	1.56
Thava (K)	296.0	296.6	293.5	284.5	278.5	276.7
Tfilm (K)	297	297	296	291	288	287
v-hava (m ² /s)	1.55E-05	1.55E-05	1.54E-05	1.50E-05	1.47E-05	1.46E-05
λ-hava (W/m-K)	2.54E-02	2.54E-02	2.54E-02	2.50E-02	2.48E-02	2.47E-02
Prandl	0.7298	0.7298	0.7301	0.7314	0.7323	0.7325
Reynold	2.61E+05	2.16E+05	1.99E+05	1.97E+05	1.92E+05	1.57E+05
h-serbest	0.1057	0.0864	0.1298	0.1610	0.1755	0.1787
h-zorlanmış	5.2678	4.7942	4.5866	4.4968	4.4059	3.9686
Nutaşınım	305.54	278.08	266.77	265.53	262.47	237.19
Rtoplam	3.719	3.410	3.308	3.162	3.062	2.889
Tcam-tahmin (K)	298	297.4	298.5	297.5	297.5	297.3
Tcam (K)	297.9977	297.9983	297.9942	297.9818	297.9729	297.9686
Q (W/m ²)	0.5378	0.4106	1.3602	4.2699	6.3679	7.3717

Tablo 7.6. c $T_{pil} = 298K$ ve $d_{cam.low-iron} = 4mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Vrüz (m/s)	2.72	2.25	2.53	1.58	2.03	2.44
Thava (K)	270.4	272.5	279.8	283.5	287.4	292.2
Tfilm (K)	284	285	289	291	293	295
v-hava (m ² /s)	1.43E-05	1.44E-05	1.48E-05	1.50E-05	1.52E-05	1.53E-05
λ-hava (W/m-K)	2.45E-02	2.45E-02	2.48E-02	2.50E-02	2.51E-02	2.53E-02
Prandl	0.7334	0.7330	0.7320	0.7314	0.7309	0.7303
Reynold	2.80E+05	2.30E+05	2.52E+05	1.56E+05	1.97E+05	2.35E+05
h-serbest	0.1904	0.2496	0.2327	0.2220	0.2075	0.1330
h-zorlanmış	5.2523	4.7749	5.0576	4.0010	4.5281	4.9679
Nutaşınım	316.73	287.13	300.45	236.26	265.68	289.86
Rtoplam	3.212	3.107	3.287	2.982	3.217	3.416
Tcam-tahmin (K)	297.6	297.5	298.2	298.5	293	297.8
Tcam (K)	297.9579	297.9598	297.9729	297.9762	297.9839	297.9917
Q (W/m ²)	8.59228	8.20668	5.53660	4.86281	3.29503	1.69785
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Vrüz (m/s)	2.75	2.28	2.08	2.00	1.92	1.56
Thava (K)	296.0	296.6	293.5	284.5	278.5	276.7
Tfilm (K)	297	297	296	291	288	287
v-hava (m ² /s)	1.55E-05	1.55E-05	1.54E-05	1.50E-05	1.47E-05	1.46E-05
λ-hava (W/m-K)	2.54E-02	2.54E-02	2.54E-02	2.50E-02	2.48E-02	2.47E-02
Prandl	0.7298	0.7298	0.7301	0.7314	0.7323	0.7325
Reynold	2.61E+05	2.16E+05	1.99E+05	1.97E+05	1.92E+05	1.57E+05
h-serbest	0.1057	0.0864	0.1298	0.1610	0.1755	0.1787
h-zorlanmış	5.2678	4.7942	4.5866	4.4968	4.4059	3.9686
Nutaşınım	305.54	278.08	266.77	265.53	262.47	237.19
Rtoplam	3.719	3.410	3.309	3.162	3.063	2.890
Tcam-tahmin (K)	298	297.4	298.5	297.5	297.5	297.3
Tcam (K)	297.9974	297.9980	297.9933	297.9791	297.9688	297.9639
Q (W/m ²)	0.53775	0.41051	1.35989	4.26902	6.36656	7.37005

NP190Q güneş panelinin literatürde bildirilen katman özellikleri göz önüne alındığında üç farklı cam kullanılarak 4 mm. kalınlığı için hücre sıcaklığının 25°C olması durumunda Kayseri ili çalışma koşullarında meydana gelen ısı kayıpları ve yüzey sıcaklıklarındaki değişim tablo 7.6.a. 7.6.b ve 7.6.c’de gösterilmiştir. Burada film sıcaklıkları değişmeyen cam_{makale} , $cam_{borosilika}$, $cam_{low-iron}$ için en yüksek ısı transferi Ocak ayında gerçekleşirken en düşük ısı transferi Ağustos ayında gerçekleşmektedir.

Reynold sayısı tüm aylar için 5×10^5 ’ten küçüktür ve bu durum akışın laminar olduğunu göstermektedir. Ayrıca yüzey sıcaklığı düşük demirli cam için diğerlerine göre daha düşüktür.

Cam kalınlıkları 1 mm düşürülerek cam_{makale} , $cam_{borosilika}$, $cam_{low-iron}$ için panelde gerçekleşen ısı transferi ve yüzey sıcaklığı değerleri 25°C hücre sıcaklığı için tablo 7.6.d. 7.6.e. 7.6.f’de verilmiştir. Burada 4 mm kalınlığına göre tüm aylarda yüzey sıcaklığı yükselirken ısı geçişi miktarının arttığı gözlenmiştir.

Tablo 7.6. d $T_{pil} = 298K$ ve $d_{cam.makale} = 3mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Vrüz (m/s)	2.72	2.25	2.53	1.58	2.03	2.44
Thava (K)	270.4	272.5	279.8	283.5	287.4	292.2
Tfilm (K)	284	285	289	291	293	295
Rtoplam	3.362	3.245	3.433	3.098	3.348	3.560
Tcam-tahmin (K)	297.6	297.5	298.2	298.5	293	297.8
Tcam (K)	297.9745	297.9726	297.9835	297.9854	297.9902	297.9949
Q (W/m ²)	8.20958	7.85753	5.30128	4.68112	3.16566	1.62907
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Vrüz (m/s)	2.75	2.28	2.08	2.00	1.92	1.56
Thava (K)	296	296.6	293.5	284.5	278.5	276.7
Tfilm (K)	297	297	296	291	288	287
Rtoplam	3.717	3.550	3.442	3.293	3.191	3.005
Tcam-tahmin (K)	298	297.4	298.5	297.5	297.5	297.3
Tcam (K)	297.9983	297.9988	297.9959	297.9872	297.9810	297.9779
Q (W/m ²)	0.53801	0.39440	1.30728	4.09980	6.11157	7.08811

Tablo 7.6. e $T_{pil} = 298K$ ve $d_{cam.borosilika} = 3mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Vrüz (m/s)	2.72	2.25	2.53	1.58	2.03	2.44
Thava (K)	270.4	272.5	279.8	283.5	287.4	292.2
Tfilm (K)	284	285	289	291	293	295
Rtoplamlam	3.211	3.106	3.286	2.981	3.216	3.415
Tcam-tahmin (K)	297.6	297.5	298.2	298.5	293	297.8
Tcam (K)	297.9683	297.9698	297.9796	297.9821	297.9879	297.9937
Q (W/m ²)	8.59553	8.20989	5.53865	4.86480	3.29628	1.69846
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Vrüz (m/s)	2.75	2.28	2.08	2.00	1.92	1.56
Thava (K)	296	296.6	293.5	284.5	278.5	276.7
Tfilm (K)	297	297	296	291	288	287
Rtoplamlam	3.563	3.409	3.308	3.161	3.062	2.889
Tcam-tahmin (K)	298	297.4	298.5	297.5	297.5	297.3
Tcam (K)	297.9979	297.9985	297.995	297.9843	297.9765	297.9728
Q (W/m ²)	0.56127	0.41066	1.36039	4.27066	6.36909	7.37315

Tablo 7.6. f $T_{pil} = 298K$ ve $d_{cam.low-iron} = 3mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Vrüz (m/s)	2.72	2.25	2.53	1.58	2.03	2.44
Thava (K)	270.4	272.5	279.8	283.5	287.4	292.2
Tfilm (K)	284	285	289	291	293	295
Rtoplamlam	3.211	3.106	3.286	2.981	3.216	3.415
Tcam-tahmin (K)	297.6	297.5	298.2	298.5	293	297.8
Tcam (K)	297.9642	297.9658	297.9769	297.9797	297.9863	297.9929
Q (W/m ²)	8.59424	8.20862	5.53784	4.86401	3.29579	1.69822
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Vrüz (m/s)	2.75	2.28	2.08	2.00	1.92	1.56
Thava (K)	296	296.6	293.5	284.5	278.5	276.7
Tfilm (K)	297	297	296	291	288	287
Rtoplamlam	3.564	3.410	3.308	3.162	3.062	2.889
Tcam-tahmin (K)	298	297.4	298.5	297.5	297.5	297.3
Tcam (K)	297.9977	297.9983	297.9943	297.9822	297.9735	297.9693
Q (W/m ²)	0.56119	0.41060	1.36019	4.27001	6.36808	7.37192

Tablo 7.6. g $T_{pil} = 298K$ ve $d_{cam.makale} = 5mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Vrüz (m/s)	2.72	2.25	2.53	1.58	2.03	2.44
Thava (K)	270.4	272.5	279.8	283.5	287.4	292.2
Tfilm (K)	284	285	289	291	293	295
Rtoplamlam	3.363	3.246	3.434	3.098	3.349	3.561
Tcam-tahmin (K)	297.6	297.5	298.2	298.5	293	297.8
Tcam (K)	297.9682	297.9696	297.9795	297.981863	297.9877	297.9937
Q (W/m ²)	8.20772	7.85661	5.30010	4.67996	3.16494	1.62872
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Vrüz (m/s)	2.75	2.28	2.08	2.00	1.92	1.56
Thava (K)	296	296.6	293.5	284.5	278.5	276.7
Tfilm (K)	297	297	296	291	288	287
Rtoplamlam	3.718	3.550	3.443	3.294	3.191	3.006
Tcam-tahmin (K)	298	297.4	298.5	297.5	297.5	297.3
Tcam (K)	297.9979	297.9985	297.9949	297.9841151	297.9763	297.9725
Q (W/m ²)	0.53790	0.39432	1.30699	4.09885	6.11011	7.08631

Tablo 7.6. h $T_{pil} = 298K$ ve $d_{cam.borosilikat} = 5mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları

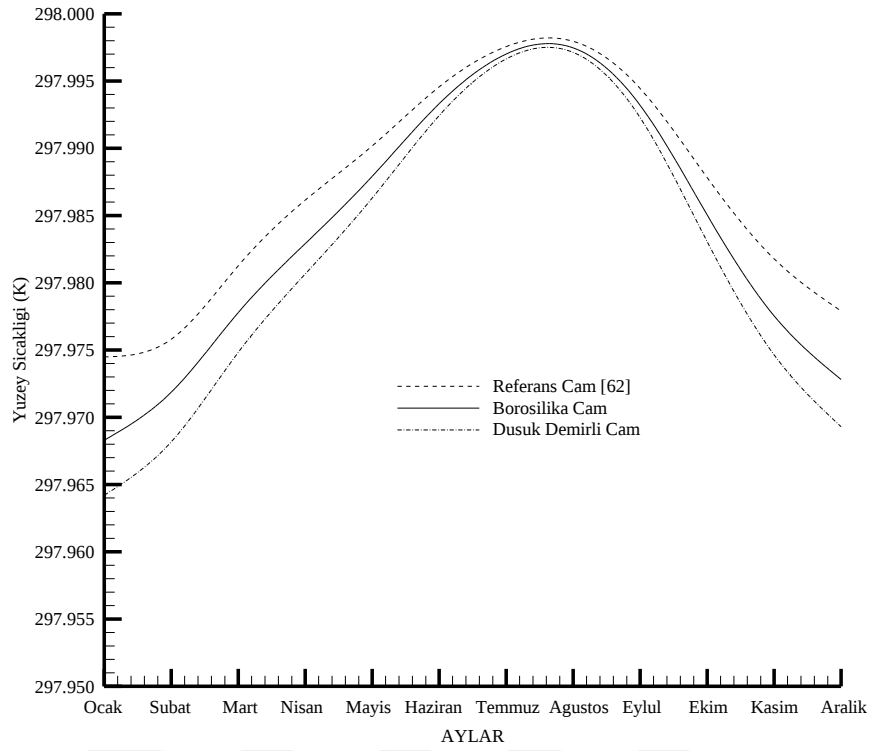
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Vrüz (m/s)	2.72	2.25	2.53	1.58	2.03	2.44
Thava (K)	270.4	272.5	279.8	283.5	287.4	292.2
Tfilm (K)	284	285	289	291	293	295
Rtoplamlam	3.212	3.107	3.287	2.982	3.217	3.416
Tcam-tahmin (K)	297.6	297.5	298.2	298.5	293	297.8
Tcam (K)	297.9585	297.9604	297.9733	297.9765	297.9841	297.9918
Q (W/m ²)	8.59247	8.20687	5.53672	4.86293	3.29511	1.69789
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Vrüz (m/s)	2.75	2.28	2.08	2.00	1.92	1.56
Thava (K)	296	296.6	293.5	284.5	278.5	276.7
Tfilm (K)	297	297	296	291	288	287
Rtoplamlam	3.564	3.410	3.309	3.162	3.063	2.890
Tcam-tahmin (K)	298	297.4	298.5	297.5	297.5	297.3
Tcam (K)	297.9973	297.998	297.9934	297.9794	297.9692	297.9644
Q (W/m ²)	0.56109	0.41052	1.35992	4.26911	6.36670	7.37023

Tablo 7.6. i $T_{pil} = 298K$ ve $d_{cam,low-iron} = 5mm$. için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları

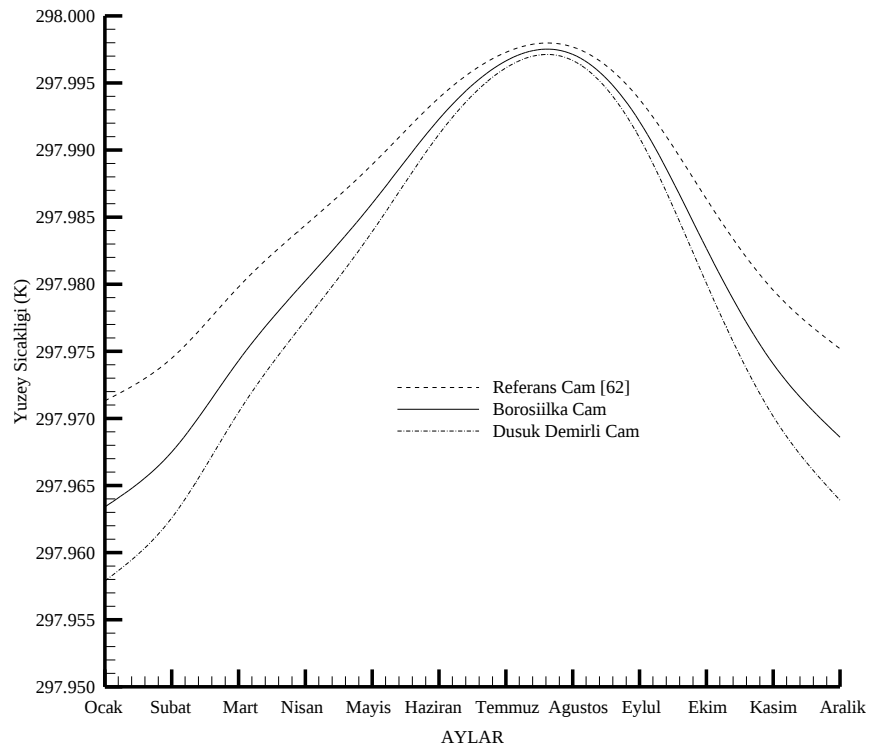
	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Vrüz (m/s)	2.72	2.25	2.53	1.58	2.03	2.44
Thava (K)	270.4	272.5	279.8	283.5	287.4	292.2
Tfilm (K)	284	285	289	291	293	295
Rtoplam	3.213	3.108	3.288	2.983	3.218	3.417
Tcam-tahmin (K)	297.6	297.5	298.2	298.5	293	297.8
Tcam (K)	297.9516	297.9538	297.9688	297.9726	297.9814	297.9904
Q (W/m ²)	8.59032	8.20474	5.53537	4.86161	3.29428	1.69749
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Vrüz (m/s)	2.75	2.28	2.08	2.00	1.92	1.56
Thava (K)	296	296.6	293.5	284.5	278.5	276.7
Tfilm (K)	297	297	296	291	288	287
Rtoplam	3.565	3.411	3.310	3.163	3.064	2.891
Tcam-tahmin (K)	298	297.4	298.5	297.5	297.5	297.3
Tcam (K)	297.9968	297.9977	297.9923	297.9759	297.9641	297.9585
Q (W/m ²)	0.56096	0.41042	1.35959	4.26802	6.36503	7.36818

Cam kalınlığı 5 mm. için üç farklı cam malzeme kullanımında hesaplanan yüzey sıcaklığı ve ısı transferi değerleri tablo 7.6.g. 6.6.h. 6.6.i’de verilmiştir. Burada film sıcaklığı aylara göre 3 mm ve 4 mm kalınlıklarında olduğu şekilde değişmezken ısı transferi ve yüzey sıcaklığının diğer iki kalınlığa göre azaldığı gözlenmiştir.

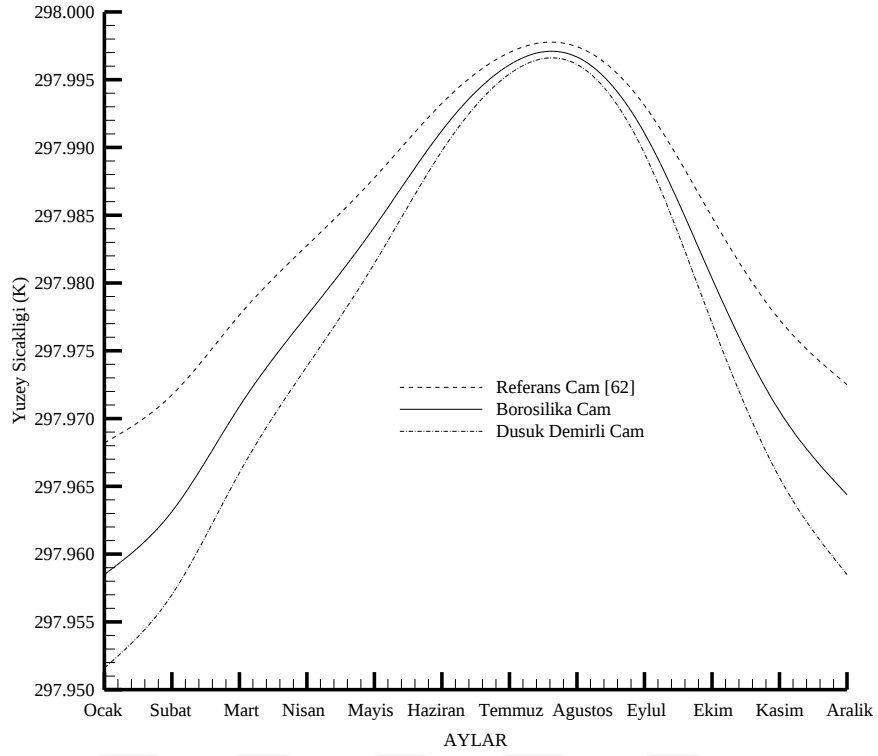
Şekil 7.21. şekil 7.22 ve şekil 7.23 incelendiğinde Kayseri ili için ortam sıcaklığının düşük olduğu aylarda hücre sıcaklığının 298 K olması durumunda yüzey sıcaklığının $T_{y.referans\ cam} > T_{y.borosilika\ cam} > T_{y.dusuk\ demirli\ cam}$ şeklinde değiştiği bütün aylar için görülmektedir. Ortam sıcaklığının yüzey sıcaklığına yakın olduğu aylarda (Haziran. Temmuz, Ağustos, Eylül) yüzey sıcaklıkları tüm malzemeler için neredeyse aynı iken ortam sıcaklığı ile yüzey sıcaklığının farkının artması durumunda düşük demirli camın diğer cam türlerine göre yüzey sıcaklığını 0.01-0.02 K civarında düşürdüğü görülmektedir. Ayrıca azalan cam kalınlığında yüzey sıcaklığının arttığı ve artan cam kalınlığında yüzey sıcaklığının azaldığı şekil 7.24, şekil 7.25 ve şekil 7.26’da farklı malzemelerin farklı kalınlıkları için gösterilmiştir.



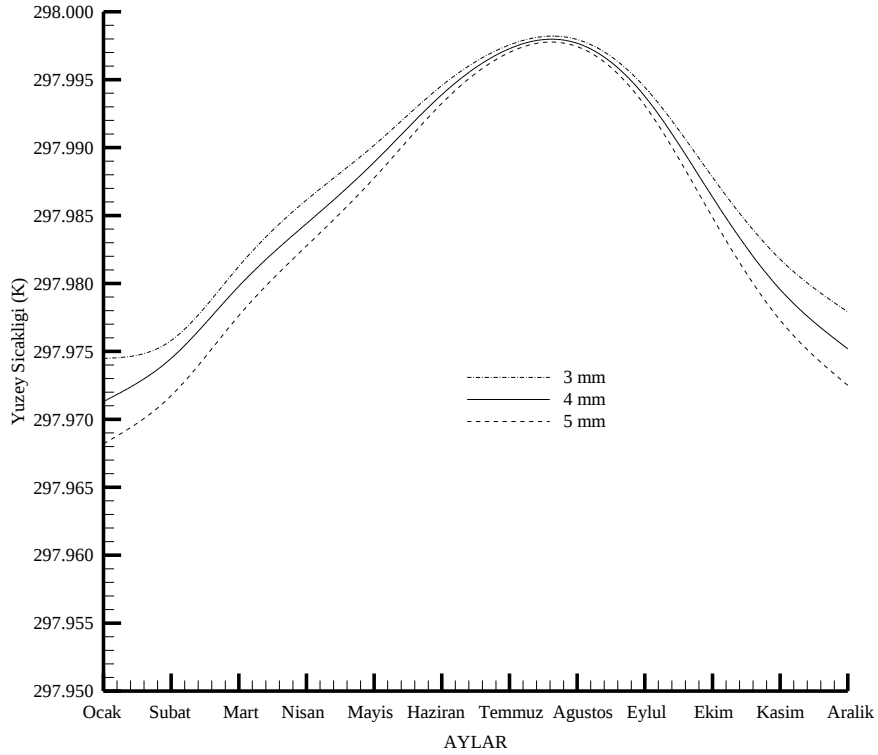
Şekil 7. 21 NP190Q Paneli $T_{hücre} = 25^{\circ}C$ 'de Farklı Camlar İçin $d_{cam} = 3mm$ 'de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi



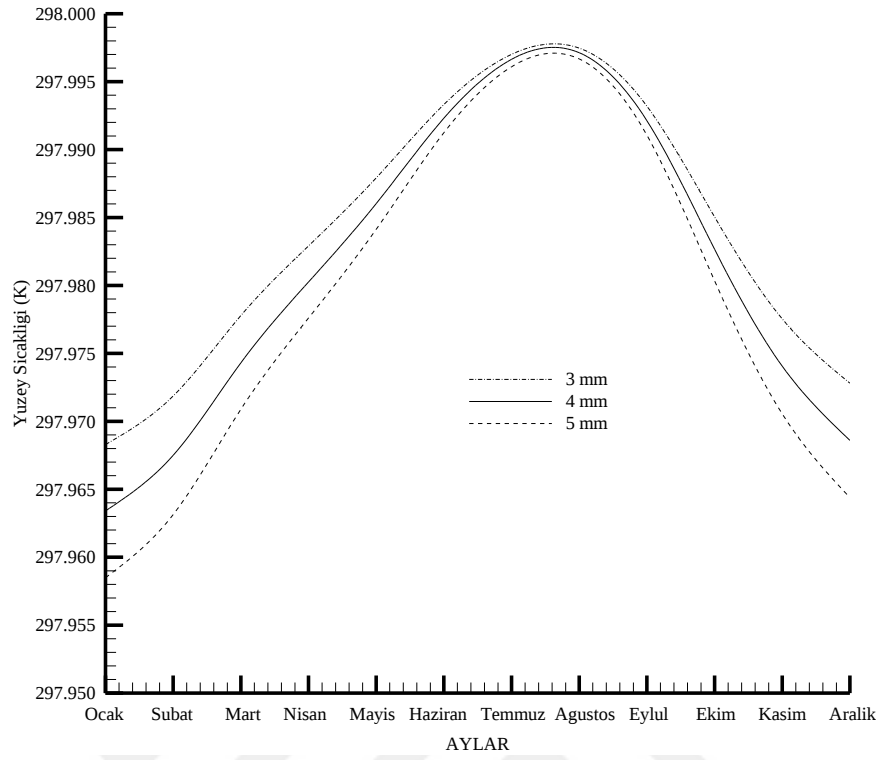
Şekil 7. 22 NP190Q Paneli $T_{hücre} = 25^{\circ}C$ 'de Farklı Camlar İçin $d_{cam} = 4mm$ 'de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi



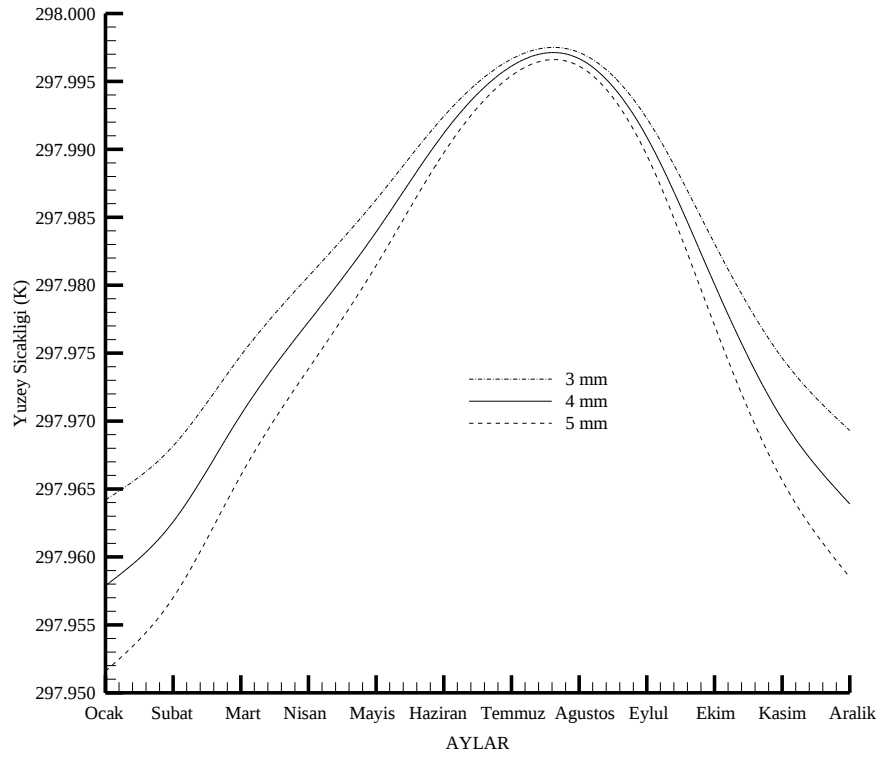
Şekil 7. 23 NP190Q Paneli $T_{hücre} = 25^{\circ}C$ 'de Farklı Camlar İçin $d_{cam} = 5mm$ 'de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi



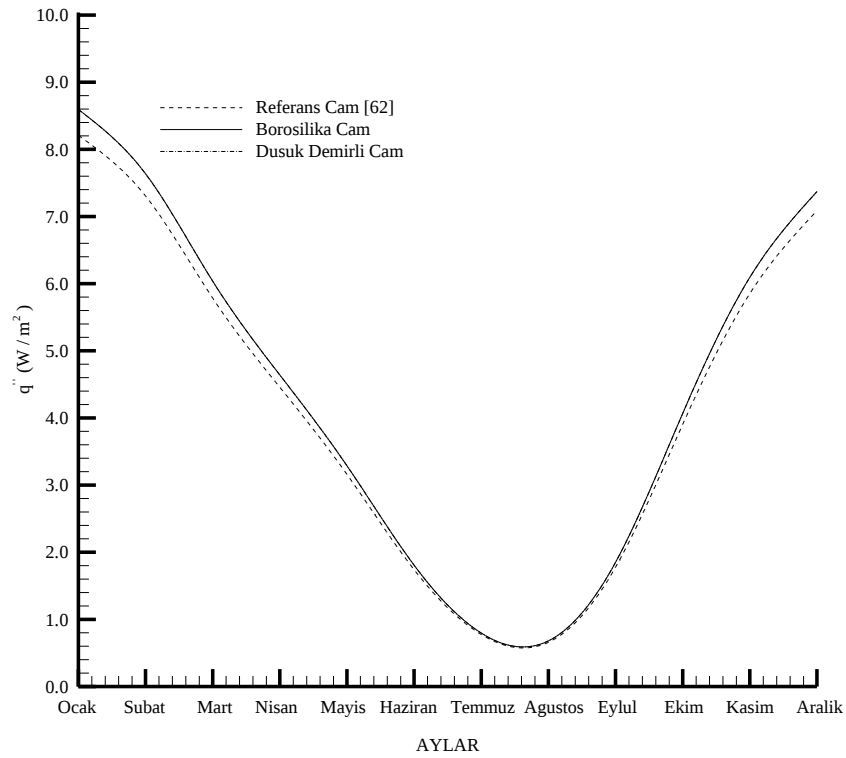
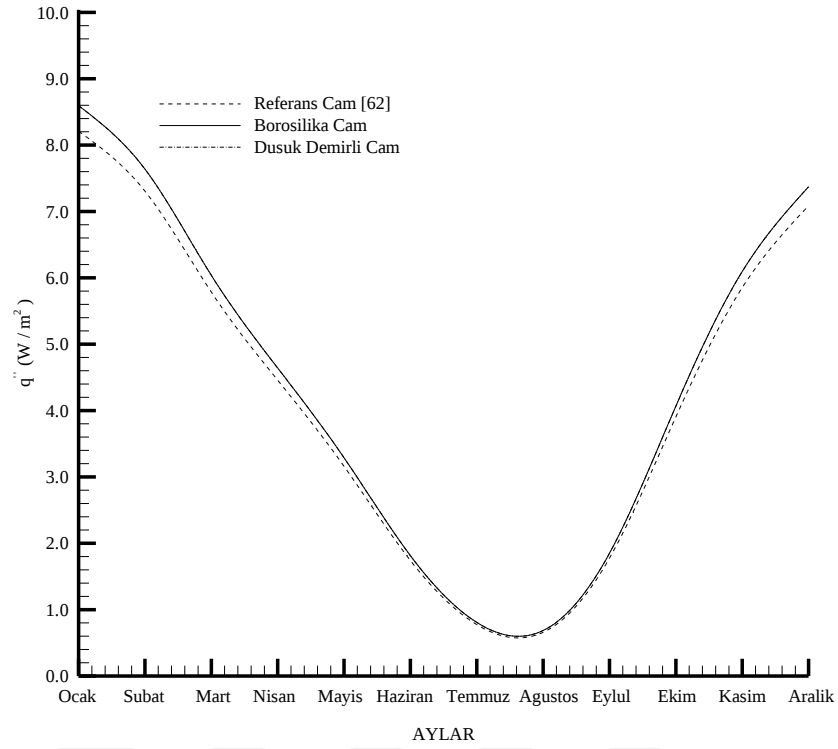
Şekil 7. 24 NP190Q Paneli $T_{hücre} = 25^{\circ}C$ 'de Referans Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi

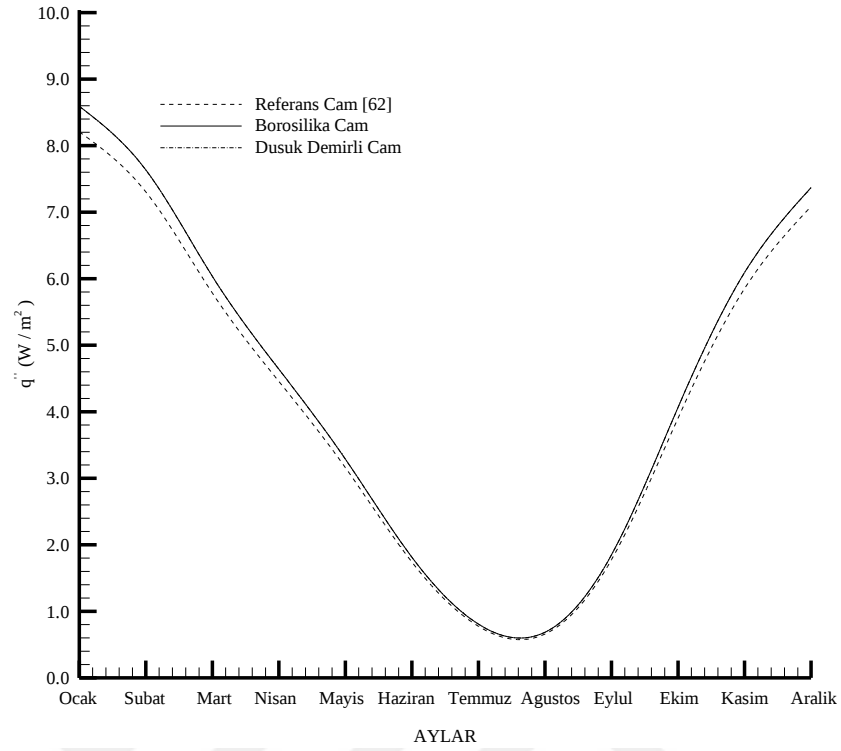


Şekil 7. 25 NP190Q Paneli $T_{hücre} = 25^{\circ}C$ 'de Borosilika Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi

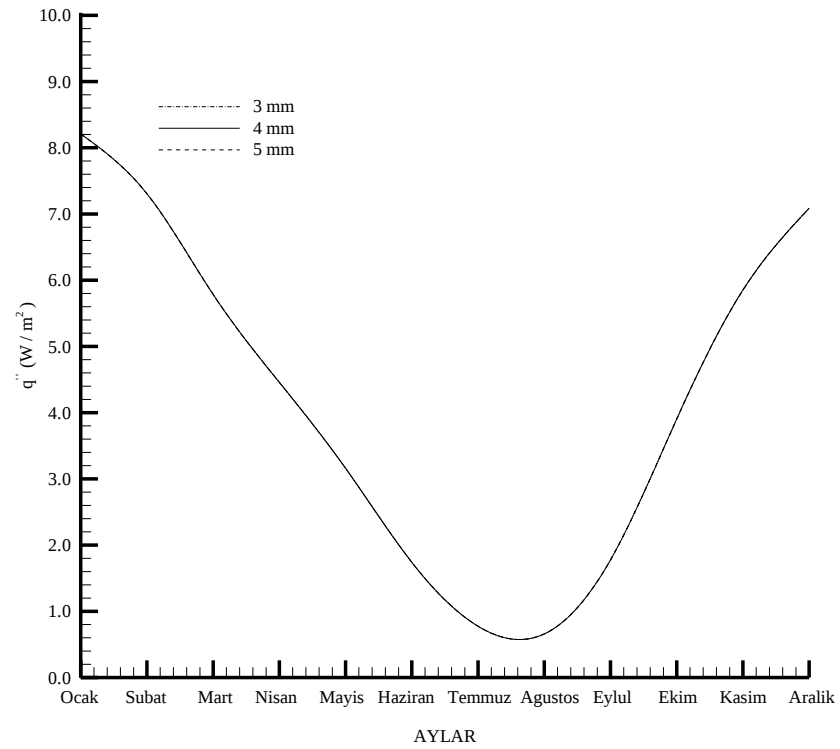


Şekil 7. 26 NP190Q Paneli $T_{hücre} = 25^{\circ}C$ 'de Düşük Demirli Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi

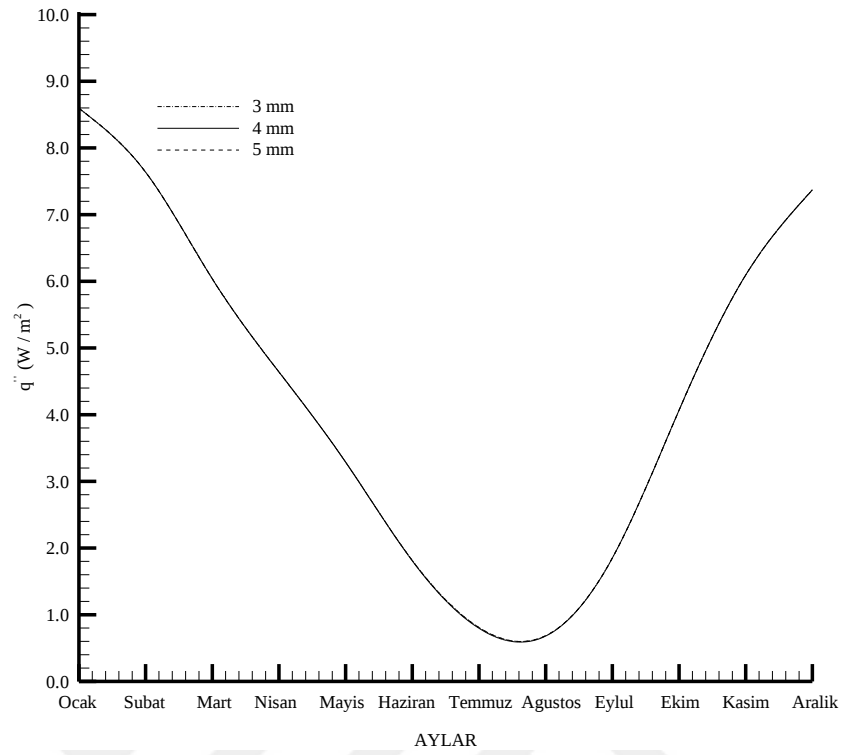




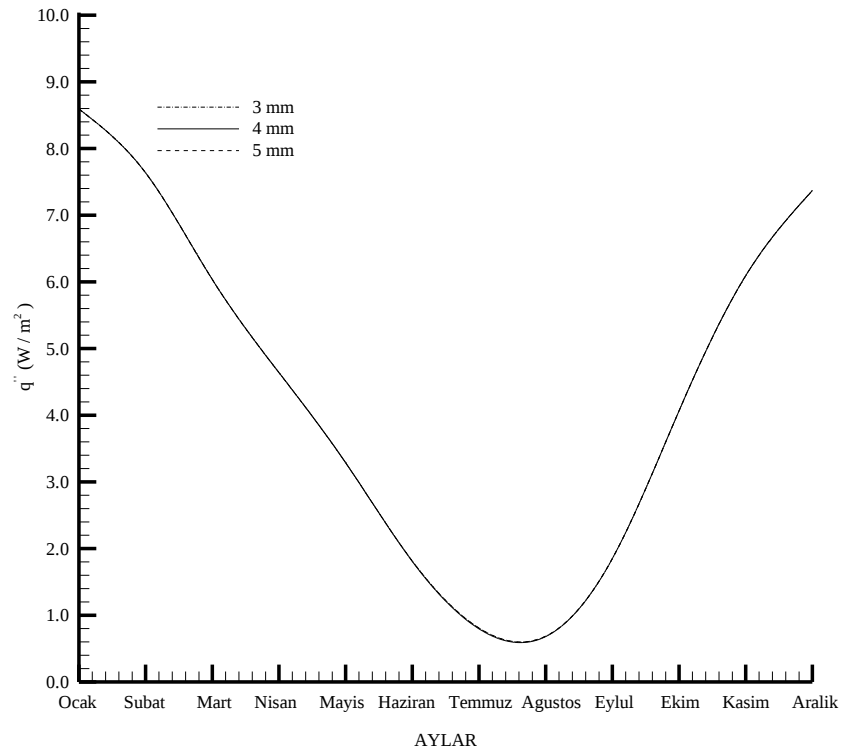
Şekil 7. 29 NP190Q Paneli $T_{hücre} = 25^{\circ}C$ 'de Farklı Camlar İçin $d_{cam} = 5 mm$ 'de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Isı Transferi Değişimi



Şekil 7. 30 NP190Q Paneli $T_{hücre} = 25^{\circ}C$ 'de Referans Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Isı Transferi Değişimi



Şekil 7. 31 NP190Q Paneli $T_{hücre} = 25^{\circ}C$ 'de Borosilika Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Isı Transferi Değişimi



Şekil 7. 32 NP190Q Paneli $T_{hücre} = 25^{\circ}C$ 'de Düşük Demirli Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Isı Transferi Değişimi

Şekil 7.27, şekil 7.28 ve şekil 7.29’da ise farklı cam kalınlıklarında farklı cam kullanımının yaz aylarında güneş hücrelerinin olduğu katmandan panel yüzeyine doğru ısı transferini $Q_{referans\ cam} > Q_{borosilika\ cam} > Q_{dusuk\ demirli\ cam}$ şeklinde gerçekleştirdiği ve ısı transferinin en yüksek olduğu ayların kış ayları olduğu görülmektedir.

Cam kalınlıkları her bir malzeme için kendi içerisinde incelendiğinde şekil 7.30, şekil 7.31 ve şekil 7.32’de gösterildiği gibi ısı transfer miktarlarının tüm kalınlıklar için birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. NP190Q güneş panelinin sabit hücre sıcaklığında termal model parametre tabloları incelendiğinde üç malzeme içinde kalınlık arttıkça ısı transferinin azaldığı ve kalınlık azaldıkça ısı transferinin arttığı gözlemlenmiştir.

Her üç farklı kalınlıkta da aylara göre aynı film sıcaklıkları hesaplanmasına karşın kalınlık arttıkça yüzey sıcaklığındaki düşüş ısı transferindeki düşmeye paralel olarak gerçekleşmektedir. Borosilika ve düşük demirli cam dikkate alındığında tüm aylar için referans cama göre neredeyse aynı miktarda yüzey sıcaklığında düşüş yaşanmasına rağmen düşük demirli camın ısı iletkenliğinin diğer camlara göre düşük olması sebebiyle aynı kalınlık miktarı için daha düşük yüzey sıcaklığına sahip olduğu görülmektedir.

Tablo 7.6.j. 6.6.k. 6.6.l’de aynı ısı transferi $Q = 10\text{ W/m}^2$ olması durumunda 4 mm cam kalınlığında üç farklı cam türünde meydana gelen hücre sıcaklığı ve yüzey sıcaklığı değişimleri hesaplanmıştır. Buna göre sırasıyla cam_{makale} , $cam_{borosilika}$, $cam_{low-iron}$ için film sıcaklıklarında 1’er derecelik azalma bir yıl içerisindeki tüm aylara göre gözlenmiştir.

Hücre sıcaklığındaki artmaya paralel olarak yüzey sıcaklığının en büyük olduğu ay Temmuz ayı olurken en düşük olduğu ay Ocak olarak tespit edilmiştir.

Tablo 7.6. j Q = 10 W/m² ve d_{cam.makale} = 4mm için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Vrüz (m/s)	2.72	2.25	2.53	1.58	2.03	2.44
Thava (K)	270.4	272.5	279.8	283.5	287.4	292.2
Tfilm (K)	288	289	298	300	305	311
v-hava (m ² /s)	1.47E-05	1.48E-05	1.56E-05	1.58E-05	1.63E-05	1.68E-05
λ-hava (W/m-K)	2.48E-02	2.48E-02	2.55E-02	2.57E-02	2.60E-02	2.65E-02
Prandl	0.7323	0.732	0.7296	0.729	0.7276	0.726
Reynold	2.73E+05	2.24E+05	2.39E+05	1.48E+05	1.84E+05	2.14E+05
h-serbest	0.2029	0.1999	0.2059	0.2015	0.2052	0.2093
h-zorlanmış	5.2486	4.7716	5.0509	3.9954	4.5185	4.9570
Nutaşınım	312.68	283.46	292.05	229.76	256.15	276.23
Rtoplam	3.449	3.324	3.616	3.238	3.558	3.862
Tyüzey (K)	305.6	305.5	316.2	316.5	322.6	329.8
Tyüz-tahmin (K)	304.8551	305.7057	315.9201	315.8475159	322.9417	330.7812
Thücre (K)	304.89	305.74	315.96	315.88	322.98	330.82
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Vrüz (m/s)	2.75	2.28	2.08	2.00	1.92	1.56
Thava (K)	296	296.6	293.5	284.5	278.5	276.7
Tfilm (K)	317	316	312	302	295	292
v-hava (m ² /s)	1.74E-05	1.73E-05	1.69E-05	1.60E-05	1.53E-05	1.51E-05
λ-hava (W/m-K)	2.69E-02	2.68E-02	2.65E-02	2.58E-02	2.53E-02	2.51E-02
Prandl	0.7243	0.7246	0.7257	0.7284	0.7303	0.7311
Reynold	2.33E+05	1.94E+05	1.82E+05	1.85E+05	1.84E+05	1.52E+05
h-serbest	0.2157	0.2116	0.2087	0.2044	0.2008	0.1969
h-zorlanmış	5.2521	4.7814	4.5755	4.4865	4.3990	3.9658
Nutaşınım	287.89	262.77	254.30	256.70	256.67	233.43
Rtoplam	4.109	3.886	3.717	3.486	3.314	3.086
Tyüzey (K)	338	335.4	330.5	319.5	311.5	307.3
Tyüz-tahmin (K)	337.0536	335.4289	330.6328	319.320803	311.6094	307.5236
Thücre (K)	337.09	335.46	330.67	319.36	311.64	307.56

Tablo 7.6. $k Q = 10 \text{ W/m}^2$ ve $d_{cam.borosilikat} = 4\text{mm}$ için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Vrüz (m/s)	2.72	2.25	2.53	1.58	2.03	2.44
Thava (K)	270.4	272.5	279.8	283.5	287.4	292.2
Tfilm (K)	287	288	297	299	304	311
v-hava (m^2/s)	1.46E-05	1.47E-05	1.55E-05	1.57E-05	1.62E-05	1.68E-05
λ -hava (W/m-K)	2.47E-02	2.48E-02	2.54E-02	2.56E-02	2.60E-02	2.65E-02
Prandl	0.7325	0.7323	0.7298	0.7293	0.7279	0.726
Reynold	2.75E+05	2.26E+05	2.40E+05	1.49E+05	1.85E+05	2.14E+05
h-serbest	0.1999	0.1969	0.2030	0.1984	0.2023	0.2093
h-zorlanmış	5.2500	4.7737	5.0505	3.9964	4.5195	4.9570
Nutaşınım	313.77	284.38	292.95	230.45	256.90	276.23
Rtoplam	3.276	3.166	3.447	3.107	3.409	3.717
Tyüzey (K)	303.6	303.5	314.2	314.5	320.6	329.8
Tyüz-tahmin (K)	303.1184	304.1151	314.2314	314.5284	321.4453	329.3261
Thücre (K)	303.16	304.16	314.27	314.57	321.49	329.37
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Vrüz (m/s)	2.75	2.28	2.08	2.00	1.92	1.56
Thava (K)	296	296.6	293.5	284.5	278.5	276.7
Tfilm (K)	316	315	311	301	294	291
v-hava (m^2/s)	1.73E-05	1.72E-05	1.68E-05	1.59E-05	1.53E-05	1.50E-05
λ -hava (W/m-K)	2.68E-02	2.68E-02	2.65E-02	2.57E-02	2.52E-02	2.50E-02
Prandl	0.7246	0.7249	0.726	0.7287	0.7306	0.7314
Reynold	2.34E+05	1.95E+05	1.83E+05	1.86E+05	1.85E+05	1.53E+05
h-serbest	0.2131	0.2088	0.2058	0.2017	0.1977	0.1936
h-zorlanmış	5.2537	4.7811	4.5762	4.4910	4.4006	3.9658
Nutaşınım	288.72	263.54	255.01	257.46	257.48	234.18
Rtoplam	3.937	3.730	3.567	3.339	3.168	2.954
Tyüzey (K)	336	333.4	328.5	317.5	309.5	305.3
Tyüz-tahmin (K)	335.3235	333.8568	329.1299	317.8439	310.1421	306.1964
Thücre (K)	335.37	333.90	329.17	317.89	310.18	306.24

Tablo 7.6. $1 Q = 10 \text{ W/m}^2$ ve $d_{cam.low-iron} = 4\text{mm}$ için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Vrüz (m/s)	2.72	2.25	2.53	1.58	2.03	2.44
Thava (K)	270.4	272.5	279.8	283.5	287.4	292.2
Tfilm (K)	286	287	296	298	303	310
v-hava (m ² /s)	1.45E-05	1.46E-05	1.54E-05	1.56E-05	1.61E-05	1.67E-05
λ-hava (W/m-K)	2.46E-02	2.47E-02	2.54E-02	2.55E-02	2.59E-02	2.64E-02
Prandl	0.7328	0.7325	0.7301	0.7296	0.7282	0.7262
Reynold	2.77E+05	2.27E+05	2.42E+05	1.50E+05	1.86E+05	2.16E+05
h-serbest	0.1969	0.1937	0.2001	0.1952	0.1993	0.2065
h-zorlanmış	5.2524	4.7730	5.0522	3.9975	4.5205	4.9572
Nutaşınım	314.81	285.26	293.86	231.15	257.65	277.08
Rtoplam	3.256	3.146	3.428	3.092	3.392	3.699
Tyüzey (K)	301.6	301.5	312.2	312.5	318.6	327.8
Tyüz-tahmin (K)	302.9076	303.9147	314.0341	314.3745	321.2732	329.1388
Thücre (K)	302.96	303.96	314.08	314.42	321.32	329.19
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Vrüz (m/s)	2.75	2.28	2.08	2.00	1.92	1.56
Thava (K)	296	296.6	293.5	284.5	278.5	276.7
Tfilm (K)	315	314	310	300	293	290
v-hava (m ² /s)	1.72E-05	1.71E-05	1.67E-05	1.58E-05	1.52E-05	1.49E-05
λ-hava (W/m-K)	2.68E-02	2.67E-02	2.64E-02	2.57E-02	2.51E-02	2.49E-02
Prandl	0.7249	0.7252	0.7262	0.729	0.7309	0.7317
Reynold	2.36E+05	1.96E+05	1.84E+05	1.87E+05	1.86E+05	1.54E+05
h-serbest	0.2104	0.2060	0.2028	0.1985	0.1946	0.1902
h-zorlanmış	5.2533	4.7834	4.5764	4.4904	4.4023	3.9674
Nutaşınım	289.57	264.36	255.80	258.23	258.30	234.93
Rtoplam	3.918	3.714	3.551	3.321	3.152	2.939
Tyüzey (K)	334	331.4	326.5	315.5	307.5	303.3
Tyüz-tahmin (K)	335.1265	333.6891	328.9583	317.6641	309.9687	306.0393
Thücre (K)	335.18	333.74	329.01	317.71	310.02	306.09

Tablo 7.6.m, 7.6.n, 7.6.o'ya bakacak olursak 3 mm. cam kalınlığı için cam_{makale} , $cam_{borosilika}$, $cam_{low-iron}$ türlerindeki yüzey sıcaklığı değişiminin 4 mm'de ki cam kalınlığına göre $2^{\circ}C$ yüksek olduğu görülmektedir. Cam kalınlığındaki azalmanın sabit ısı transferinde yüzey sıcaklığını artırdığını ortaya koymaktadır.

Tablo 7.6. m $Q = 10 W/m^2$ ve $d_{cam.makale} = 3mm$ için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Vrüz (m/s)	2.72	2.25	2.53	1.58	2.03	2.44
Thava (K)	270.4	272.5	279.8	283.5	287.4	292.2
Tfilm (K)	289	290	299	301	306	312
Rtoplam	3.470	3.344	3.635	3.254	3.574	3.880
Tyüzey (K)	307.6	307.5	318.2	318.5	324.6	331.8
Tyüz-tahmin (K)	305.0672	305.9043	316.1182	316.0062465	323.1134	330.9648
Thücre (K)	305.10	305.94	316.15	316.04	323.14	331.00
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Vrüz (m/s)	2.75	2.28	2.08	2.00	1.92	1.56
Thava (K)	296	296.6	293.5	284.5	278.5	276.7
Tfilm (K)	318	317	313	303	296	293
Rtoplam	4.128	3.903	3.733	3.504	3.332	3.102
Tyüzey (K)	340	337.4	332.5	321.5	313.5	309.3
Tyüz-tahmin (K)	337.2503	335.5975	330.8024	319.5090169	311.789	307.6863
Thücre (K)	337.28	335.63	330.83	319.54	311.82	307.72

Tablo 7.6. n $Q = 10 W/m^2$ ve $d_{cam.borosilikat} = 3mm$ için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Vrüz (m/s)	2.72	2.25	2.53	1.58	2.03	2.44
Thava (K)	270.4	272.5	279.8	283.5	287.4	292.2
Tfilm (K)	288	289	298	300	305	312
Rtoplam	3.297	3.184	3.467	3.122	3.425	3.735
Tyüzey (K)	305.6	305.5	316.2	316.5	322.6	331.8
Tyüz-tahmin (K)	303.3375	304.307	314.4356	314.682	321.617	329.5108
Thücre (K)	303.37	304.34	314.47	314.72	321.65	329.55
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Vrüz (m/s)	2.75	2.28	2.08	2.00	1.92	1.56
Thava (K)	296	296.6	293.5	284.5	278.5	276.7
Tfilm (K)	317	316	312	302	295	292
Rtoplam	3.955	3.747	3.584	3.354	3.185	2.970
Tyüzey (K)	338	335.4	330.5	319.5	311.5	307.3
Tyüz-tahmin (K)	335.5127	334.0351	329.2988	318.0034	310.3151	306.3593
Thücre (K)	335.55	334.07	329.34	318.04	310.35	306.40

Tablo 7.6. o $Q = 10 \text{ W/m}^2$ ve $d_{cam.low-iron} = 3\text{mm}$ için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Vrüz (m/s)	2.72	2.25	2.53	1.58	2.03	2.44
Thava (K)	270.4	272.5	279.8	283.5	287.4	292.2
Tfilm (K)	287	288	297	299	304	311
Rtoplamlam	3.276	3.166	3.447	3.107	3.409	3.717
Tyüzey (K)	303.6	303.5	314.2	314.5	320.6	329.8
Tyüz-tahmin (K)	303.1184	304.1151	314.2314	314.5284	321.4453	329.3261
Thücre (K)	303.16	304.16	314.27	314.57	321.49	329.37
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Vrüz (m/s)	2.75	2.28	2.08	2.00	1.92	1.56
Thava (K)	296	296.6	293.5	284.5	278.5	276.7
Tfilm (K)	316	315	311	301	294	291
Rtoplamlam	3.937	3.730	3.567	3.339	3.168	2.954
Tyüzey (K)	336	333.4	328.5	317.5	309.5	305.3
Tyüz-tahmin (K)	335.3235	333.8568	329.1299	317.8439	310.1421	306.1964
Thücre (K)	335.37	333.90	329.17	317.89	310.18	306.24

Tablo 7.6. p $= 10 \text{ W/m}^2$ ve $d_{cam.makale} = 5\text{mm}$ için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Vrüz (m/s)	2.72	2.25	2.53	1.58	2.03	2.44
Thava (K)	270.4	272.5	279.8	283.5	287.4	292.2
Tfilm (K)	287	288	297	299	304	310
Rtoplamlam	3.427	3.305	3.595	3.223	3.541	3.843
Tyüzey (K)	303.6	303.5	314.2	314.5	320.6	327.8
Tyüz-tahmin (K)	304.6339	305.5133	315.7151	315.6954	322.7711	330.5947
Thücre (K)	304.67	305.55	315.75	315.73	322.81	330.63
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Vrüz (m/s)	2.75	2.28	2.08	2.00	1.92	1.56
Thava (K)	296	296.6	293.5	284.5	278.5	276.7
Tfilm (K)	316	315	311	301	294	291
Rtoplamlam	4.090	3.869	3.700	3.470	3.298	3.070
Tyüzey (K)	336	333.4	328.5	317.5	309.5	305.3
Tyüz-tahmin (K)	336.8658	335.2519	330.4655	319.1633	311.437	307.3613
Thücre (K)	336.90	335.29	330.50	319.20	311.48	307.40

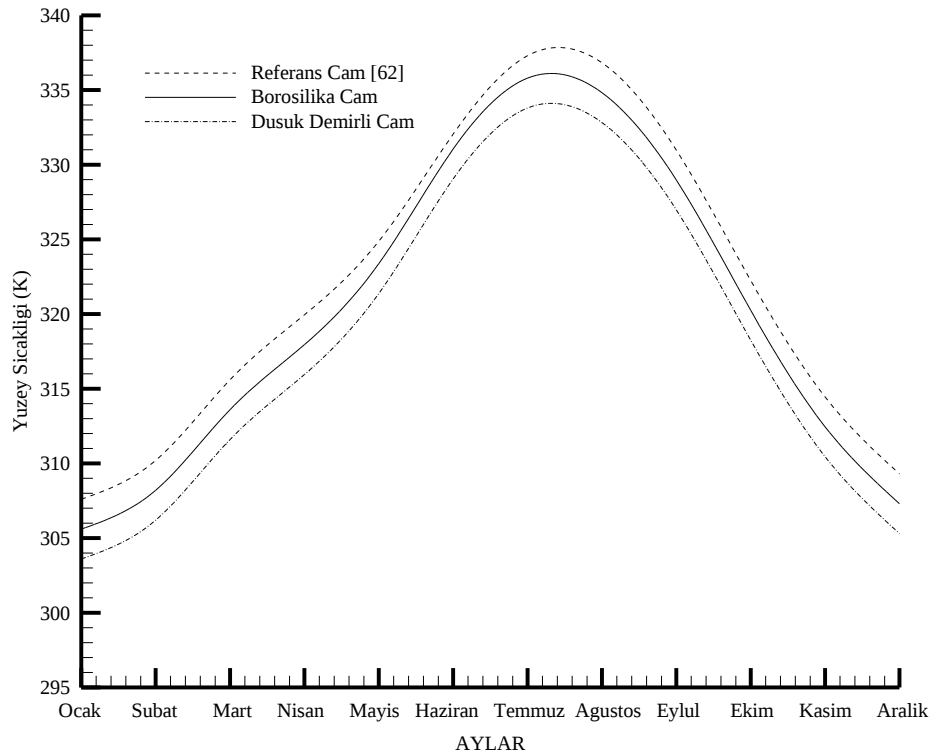
Tablo 7.6. $q = 10 \text{ W/m}^2$ ve $d_{cam.borosilikat} = 5\text{mm}$ için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Vrüz (m/s)	2.72	2.25	2.53	1.58	2.03	2.44
Thava (K)	270.4	272.5	279.8	283.5	287.4	292.2
Tfilm (K)	286	287	296	298	303	310
Rtoplamlam	3.256	3.146	3.428	3.092	3.392	3.699
Tyüzey (K)	301.6	301.5	312.2	312.5	318.6	327.8
Tyüz-tahmin (K)	303.9076	304.9147	314.0341	314.3744	321.2732	329.1388
Thücre (K)	302.96	303.96	314.08	314.42	321.32	329.19
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Vrüz (m/s)	2.75	2.28	2.08	2.00	1.92	1.56
Thava (K)	296	296.6	293.5	284.5	278.5	276.7
Tfilm (K)	315	314	310	300	293	290
Rtoplamlam	3.917	3.714	3.551	3.321	3.152	2.939
Tyüzey (K)	334	331.4	326.5	315.5	307.5	303.3
Tyüz-tahmin (K)	335.1265	333.6891	328.9583	317.6641	309.9687	306.0393
Thücre (K)	335.17	333.74	329.01	317.71	310.02	306.09

Tablo 7.6. $r = 10 \text{ W/m}^2$ ve $d_{cam.low-iron} = 5\text{mm}$ için NP190Q Aylık Termal Model Parametre Sonuçları

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
Vrüz (m/s)	2.72	2.25	2.53	1.58	2.03	2.44
Thava (K)	270.4	272.5	279.8	283.5	287.4	292.2
Tfilm (K)	285	286	295	297	302	309
Rtoplamlam	3.235	3.128	3.409	3.077	3.374	3.681
Tyüzey (K)	299.6	299.5	310.2	310.5	316.6	325.8
Tyüz-tahmin (K)	302.6896	303.7225	313.8296	314.2141	321.0853	328.9535
Thücre (K)	302.75	303.78	313.89	314.27	321.14	329.01
	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Vrüz (m/s)	2.75	2.28	2.08	2.00	1.92	1.56
Thava (K)	296	296.6	293.5	284.5	278.5	276.7
Tfilm (K)	314	313	309	299	292	289
Rtoplamlam	3.900	3.697	3.535	3.305	3.134	2.923
Tyüzey (K)	332	329.4	324.5	313.5	305.5	301.3
Tyüz-tahmin (K)	334.9402	333.5142	328.7888	317.4906	309.7883	305.8759
Thücre (K)	335.00	333.57	328.85	317.55	309.84	305.93

Tablo 7.6.p. 6.6.q. 6.6.r bakacak olursak 5 mm $cam_{referans}$, $cam_{borosilika}$, $cam_{düşük\ demir}$ türlerinde meydana gelen yüzey sıcaklığı değişiminin 4 mm'ye göre 2°C daha düşük olduğu görülmektedir.

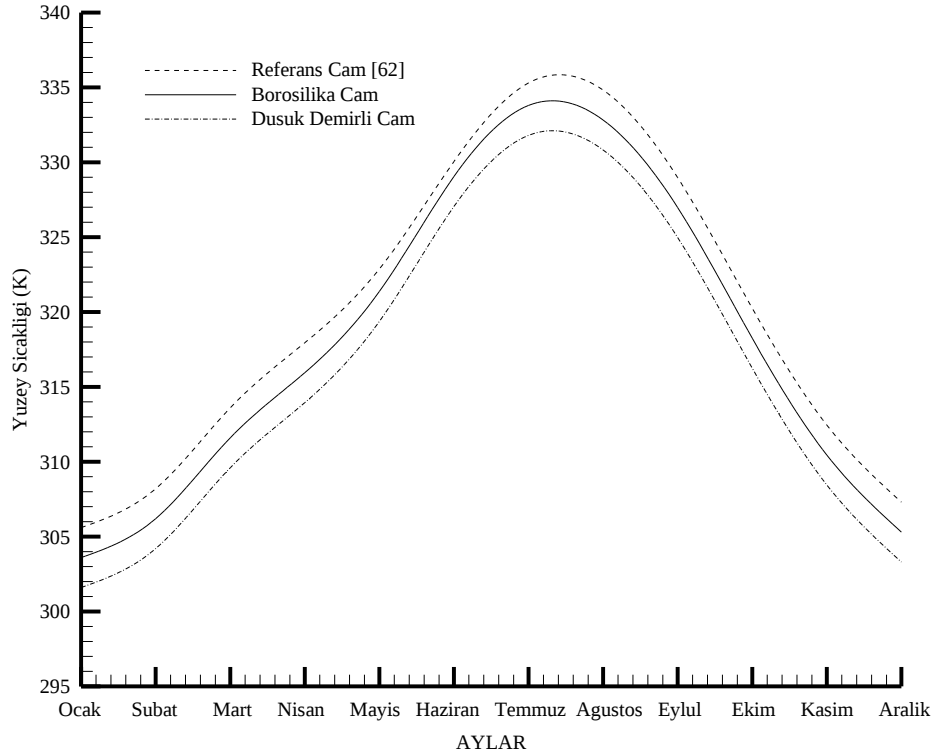


Şekil 7.33 NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Farklı Camlarda $d_{cam} = 3\ mm$ 'de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi

Termal modellemede kullanılan “Sabit Hücre Sıcaklığında Güneş Paneli Termal Model Algoritması” film sıcaklığı tahmini yaparak sabit bir hücre sıcaklığında aylara göre meydana gelen ısı transferiyle birlikte yüzey sıcaklığının tespit etmek için kullanılmıştır. Gerçek şartlarda hücre sıcaklığının panel katmanlarındaki ısı akısı ve panelin bulunduğu ortamın sıcaklığından etkilendiği göz önünde bulundurulduğunda hücre sıcaklığının sabit olamayacağı bilinmektedir.

Şekil 7.27, şekil 7.28 ve şekil 7.29'da gösterilen değişen ısı transferi grafikleri göz önünde bulundurularak katmanlar arasındaki ısı transferinin $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ kabulüyle hücre sıcaklığındaki değişim 3 mm kalınlığındaki farklı camlar için incelenerek şekil 7.33'te gösterilmiştir. Burada tüm aylar için $T_{y, referans} >$

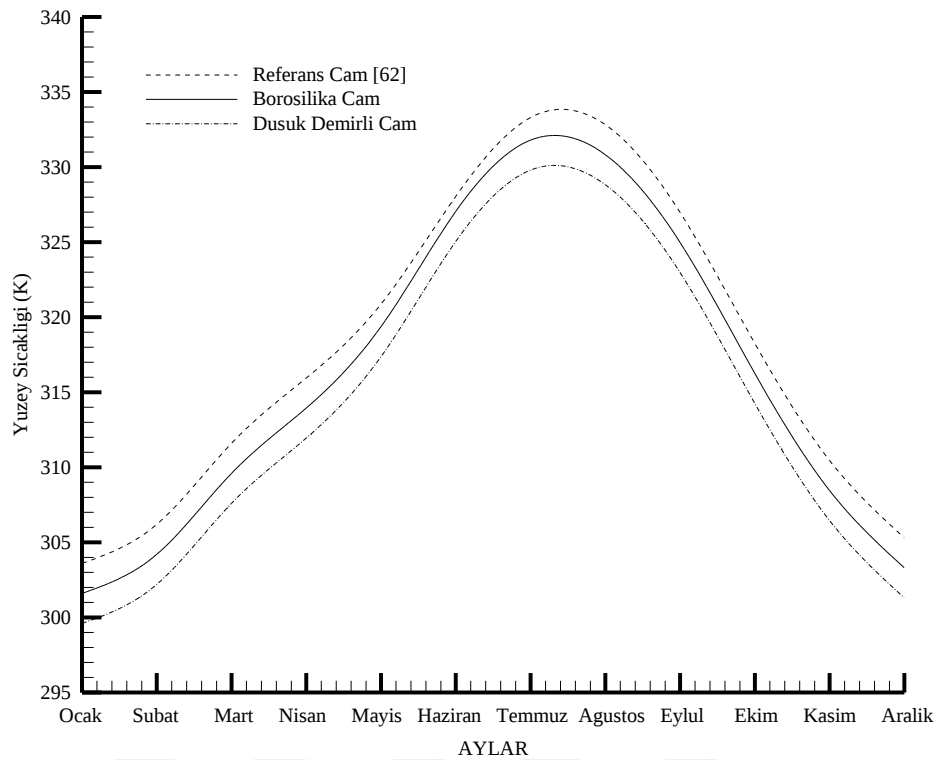
$T_{y.borosilika} > T_{y.dusuk\ demirli\ cam}$ olarak gözlemlenmiş ve borosilika cam refrans cama göre 1-2°C'lik bir değişime neden olurken. düşük demirli camın daha iyi bir performansla 3°C'ye kadar yüzey sıcaklığını düşürdüğü görülmektedir.



Şekil 7.34 NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Farklı Camlarda $d_{cam} = 4\ mm$ 'de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi

Şekil 7.34'de gösterilen sabit ısı geçişinde referans kalınlık olan $d_{cam} = 4\ mm$ kalınlığında panel yüzeyindeki sıcaklık tüm aylar için $d_{cam} = 3\ mm$ kalınlığına göre ortalama 2°C düşerek yüzey sıcaklığının en yüksek olduğu Temmuz ayı için $T_{y.referans}(3mm) = 340\ K$ olan sıcaklığı $T_{y.referans}(4mm) = 338\ K$ 'e düşmüş, yüzey sıcaklığının en düşük olduğu Ocak ayı için $T_{y.referans}(3mm) = 307.6\ K$ 'den $T_{y.referans}(4mm) = 305.6$ 'ya düştüğü gözlenmiştir.

Bu kalınlıkta Temmuz ayı için $T_{y.borosilika}(4mm) = 336\ K$. $T_{y.d.demirli\ cam}(4mm) = 334\ K$. Ocak ayı için $T_{y.borosilika}(4mm) = 303.6\ K$ ve $T_{y.d.demirli\ cam}(4mm) = 301.6\ K$ değerleriyle referans camdan daha iyi bir yüzey sıcaklığı değeri elde edilmiştir.

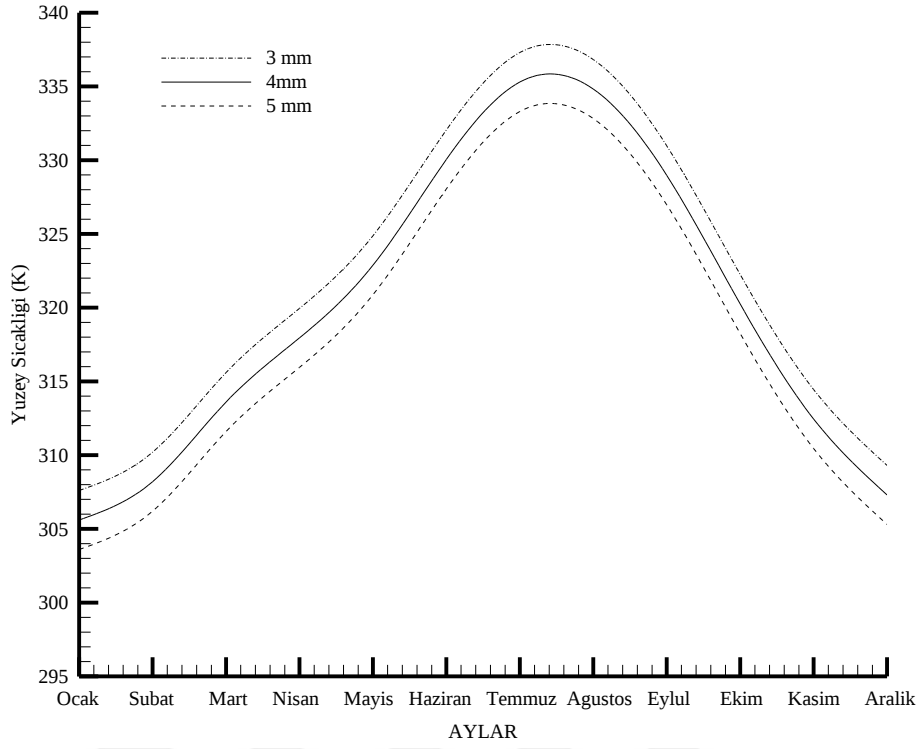


Şekil 7. 35 NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Farklı Camlarda $d_{cam} = 5\ mm$ 'de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi

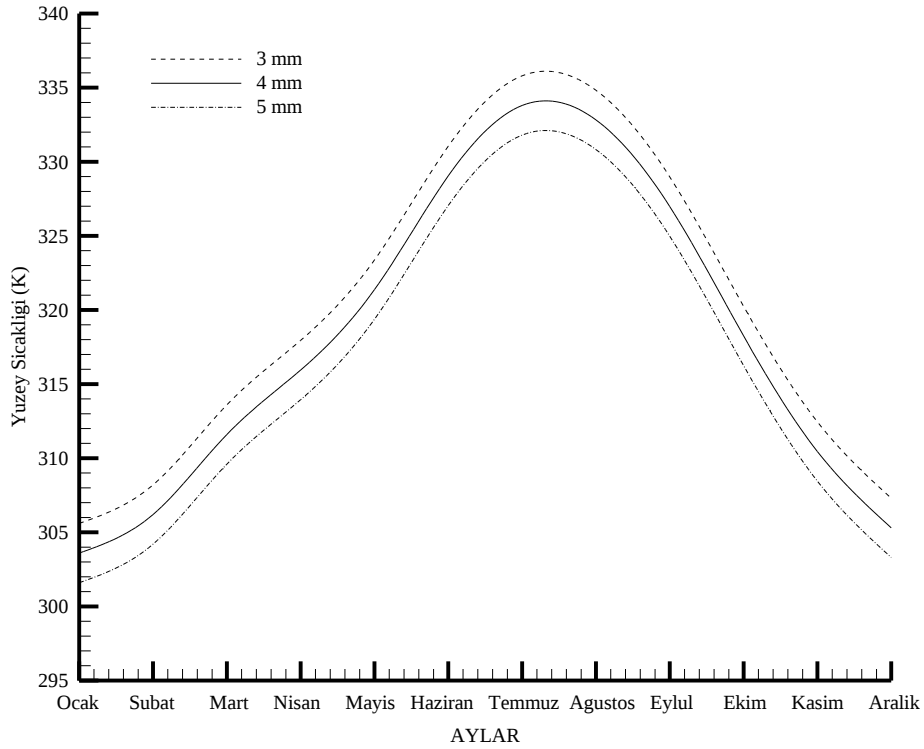
Şekil 7.35'de ki grafikte artan cam kalınlığının tüm aylar için yüzey sıcaklığını diğer 3 mm ve 4 mm kalınlıklarına göre daha da düşürdüğü görülmektedir. Farklı cam türleri için referans kalınlık olan 4 mm yüzey sıcaklığı değerleriyle karşılaştırıldığında yüzey sıcaklığı tüm aylar için ortalama $2^{\circ}C$ düşerken yüzey sıcaklığının en yüksek olduğu ay Temmuz ve en düşük olduğu ay Ocak olarak tespit edilmiştir.

Temmuz ayı için $T_{y.referans}(4mm) = 338\ K$ 'e karşın $T_{y.referans}(5mm) = 336\ K$ 'e düşmüş. yüzey sıcaklığının en düşük olduğu Ocak ayı için $T_{y.referans}(4mm) = 305.6\ K$ 'den $T_{y.referans}(5mm) = 303.6$ 'ya düştüğü gözlenmiştir. Bu kalınlıkta Temmuz ayı için $T_{y.borosilika}(5mm) = 334\ K$. $T_{y.d.demirli\ cam}(5mm) = 332\ K$. değerleri elde edilmiştir.

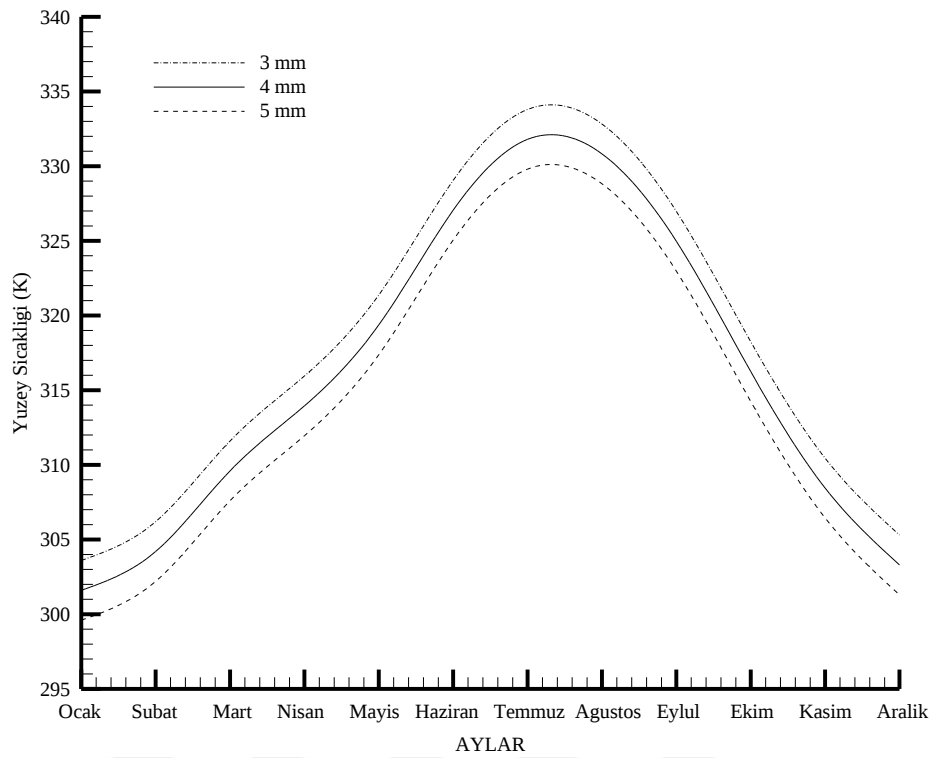
Ocak ayına bakıldığı zaman $T_{y.borosilika}(5mm) = 301.6\ K$ ve $T_{y.d.demirli\ cam}(5mm) = 299.6\ K$ değerleriyle referans camdan ve referans cam kalınlığı 4 mm'den daha iyi bir yüzey sıcaklığı değeri elde edilmiştir.



Şekil 7. 36 NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Referans Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi



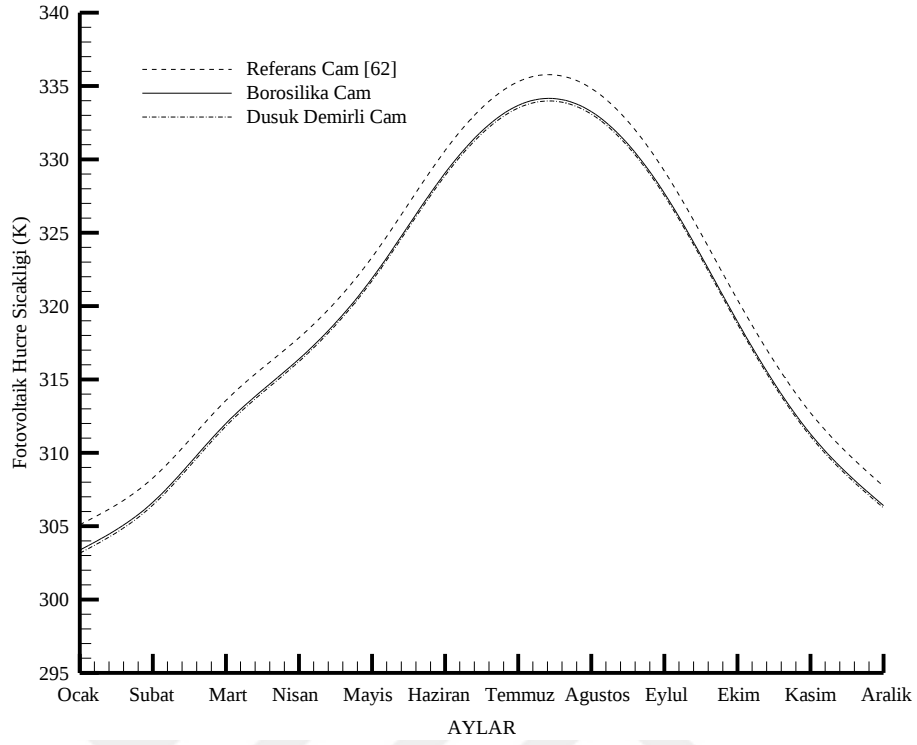
Şekil 7. 37 NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Borosilika Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi



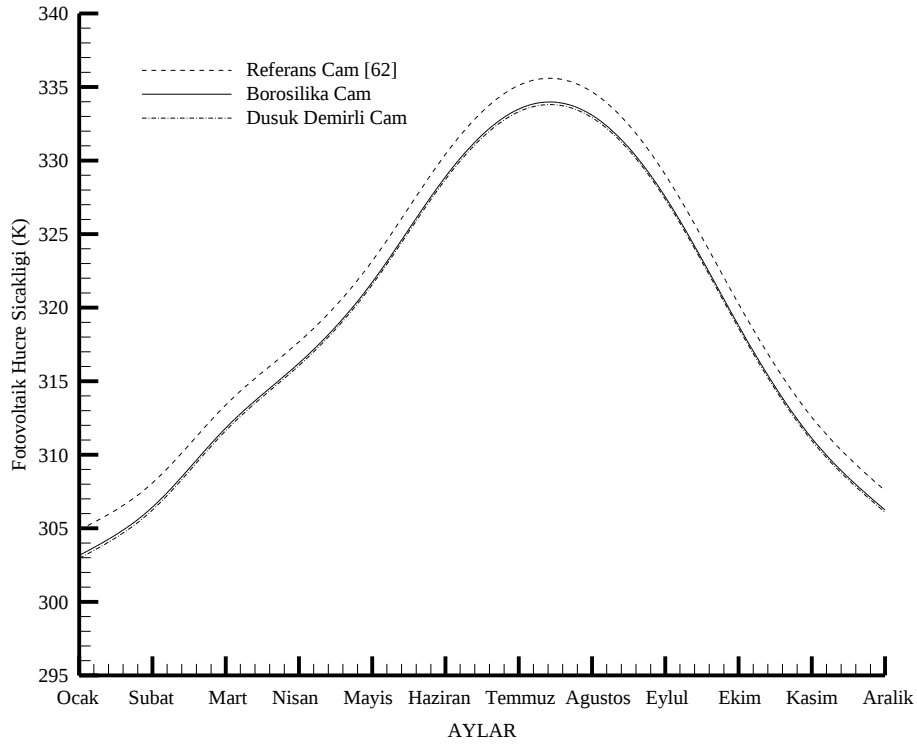
Şekil 7.38 NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Düşük Demirli Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Yüzey Sıcaklığı Değişimi

Şekil 7.36, şekil 7.37 ve şekil 7.38'de sabit ısı geçişinde malzeme kalınlıklarının yüzey sıcaklığına etkisi incelendiğinde üç farklı malzeme içinde kış aylarında yüzey sıcaklığı düşükken, yaz aylarında yüzey sıcaklığının arttığı ve kalınlıktaki azalmanın yüzey sıcaklığını artırdığı gözlemlenmiştir. Şekil 7.36'da referans cam 3 mm kalınlıkta tüm aylar için en yüksek yüzey sıcaklığı değerine ulaşırken, düşük demirli camın 5 mm kalınlıkta yüzey sıcaklığının en düşük olduğu grafiklerde de görülmektedir.

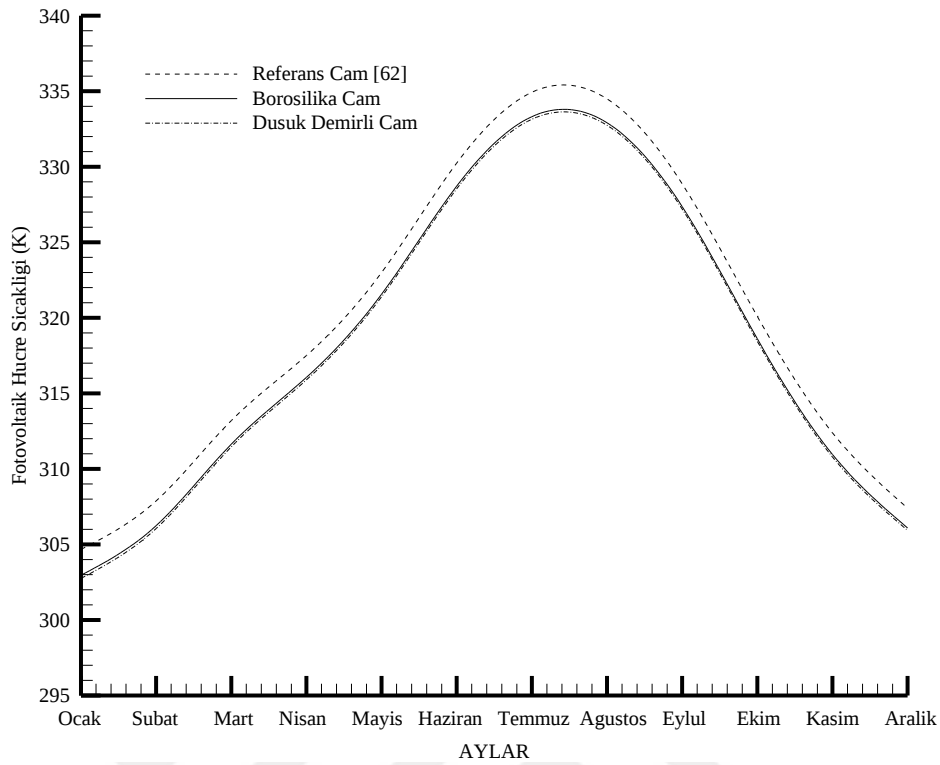
Şekil 7.39 şekil 7.40 ve şekil 7.41'de sabit ısı geçişinde hücre sıcaklığındaki değişim grafiklerine bakıldığında yüzey sıcaklığındaki bu azalmaya paralel olarak fotovoltaik hücre sıcaklıklarının artan cam kalınlıklarında düştüğü tespit edilmektedir. Aylara göre sabit ısı geçişi için tespit edilen hücre sıcaklıklarında referans cam için azalan kalınlıklarda yüzey sıcaklığı artarken bu durum hücre sıcaklığının artmasına ve yüzey sıcaklığı azalırken hücre sıcaklığının da doğru orantılı olarak azalmasına neden olmaktadır. Farklı malzemeler göz önünde bulundurulduğunda ise borosilika cam ve düşük demirli cam referans cama göre tüm kalınlıklarda tüm aylar için hücre sıcaklığını ortalama 1-2°C kadar düşürmektedir.



Şekil 7. 39 NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Farklı Camlarda $d_{cam} = 3\ mm$ 'de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Hücre Sıcaklığı Değişimi



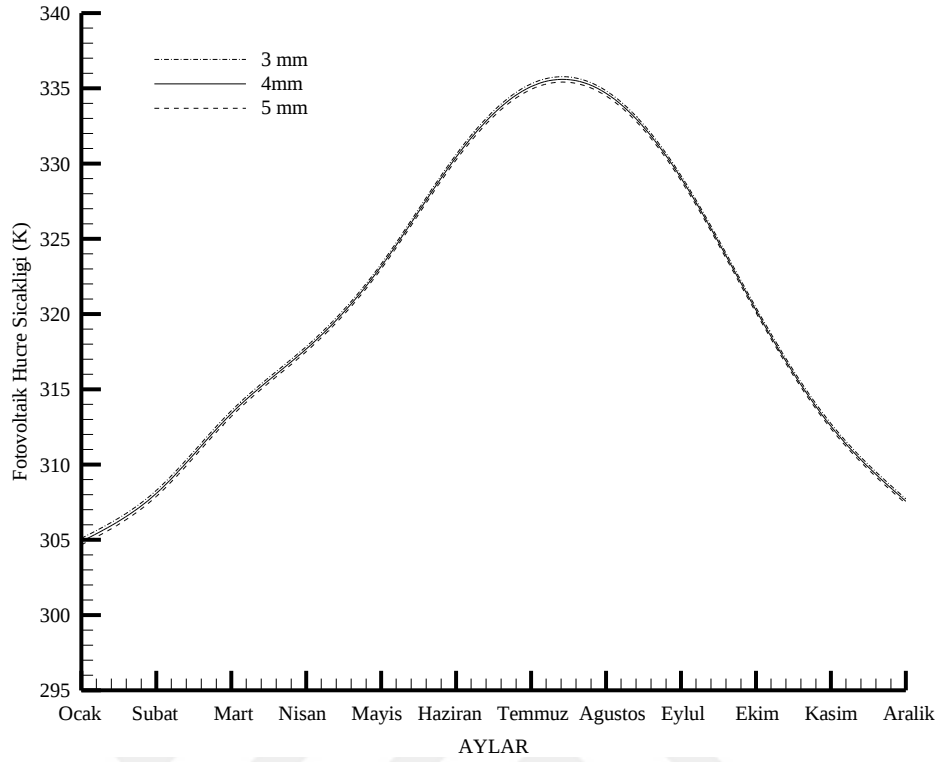
Şekil 7. 40 NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Farklı Camlarda $d_{cam} = 4\ mm$ 'de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Hücre Sıcaklığı Değişimi



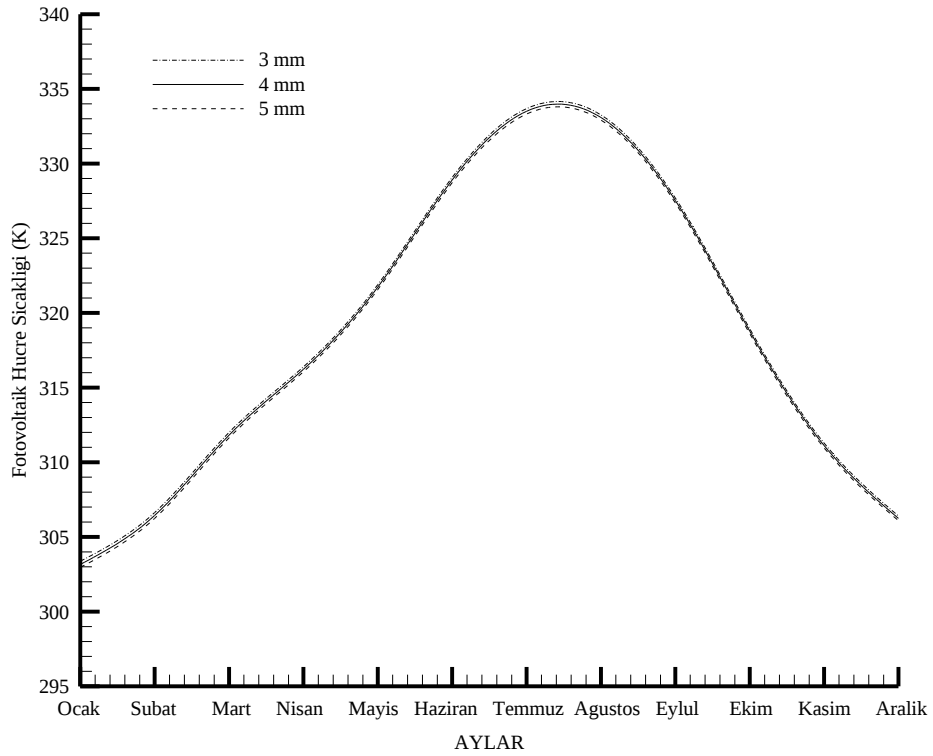
Şekil 7. 41 NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Farklı Camlarda $d_{cam} = 5\ mm$ 'de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Hücre Sıcaklığı Değişimi

Şekil 7.33, 7.34, 7.35, 7.39, 7.40 ve 7.41 göz önünde bulundurulduğunda sabit ısı geçişinde aynı cam kalınlıklarında $T_{y.referans\ cam} > T_{y.borosilika\ cam} > T_{y.d.demirli\ cam}$ olarak tüm aylar için gözlemlenirken. tüm aylar için farklı cam malzeme ve farklı cam kalınlıklarında referans cam 3 mm. kalınlık için en yüksek yüzey sıcaklığını gösterirken en düşük yüzey sıcaklığı düşük demirli cam 5 mm kalınlığı için elde edilerek şekil 7.34'da gösterilmiştir.

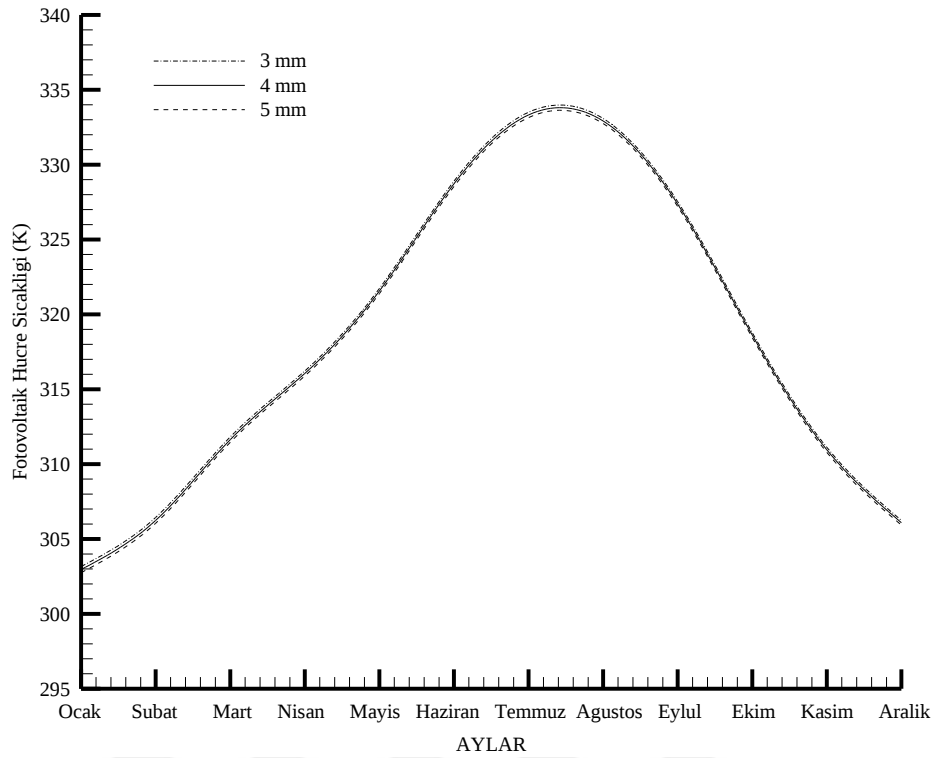
Şekil 7.42, 6.43 ve 6.44'de sabit ısı geçişinde güneş hücresi sıcaklığındaki değişimler aylara göre verilmiştir. Yüzey sıcaklığını düşüren tüm etmenler panelin hücre sıcaklığında doğrudan etkileyeceği için yüzey sıcaklığına paralel olarak kış aylarında hücre sıcaklıkları en düşük değerlerini alırken yaz aylarında en yüksek değerlerine ulaşmaktadır. Aynı malzeme farklı kalınlıklar için ise cam kalınlığı arttıkça hücre sıcaklığı düşerken cam kalınlığının azalması güneş hücresi sıcaklığını artırmaktadır.



Şekil 7. 42 NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10 \text{ W/m}^2$ 'de Referans Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Hücre Sıcaklığı Değişimi



Şekil 7. 43 NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10 \text{ W/m}^2$ 'de Borosilika Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Hücre Sıcaklığı Değişimi



Şekil 7. 44 NP190Q Paneli $Q_{ısı\ geçişi} = 10\ W/m^2$ 'de Düşük Demirli Camın Farklı Kalınlıklarının Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Hücre Sıcaklığı Değişimi

Güneş panelinin I-V ve P-V karakteristiklerinden de anlaşılabacağı üzere azalan sıcaklığın açık devre voltajını artan yönde değiştirdiği bilinmektedir. Bu durumda hücre sıcaklığının azalması, cam kalınlığındaki artmanın yanı sıra malzemenin ısı iletkenliği ile alakalı olarakta değişmektedir. Düşük demirli cam düşük ısı iletkenliği nedeniyle paneldeki ısı transferini borosilika ve referans cam malzemeye göre daha fazla azaltarak panel performansını olumlu etkileyeceği grafiklerle gösterilmiştir.

Tablo 7.6.s'de Kayseri ili çalışma koşullarında makalede belirtilen camın farklı kalınlıklarda kullanım durumuna göre NP190Q güneş paneli maksimum güç çıkışında meydana gelen değişim hesaplanarak verilmiştir. Bu cam için tüm kalınlıklarda güç çıkışının en yüksek olduğu ay Eylül ve en düşük olduğu ay Aralık olarak tespit edilmiştir. Bu aylar için farklı kalınlıklarda en yüksek performansın alındığı cam kalınlığı 5mm'dir. Bu durum aynı malzemelerin farklı kalınlıkları için şekil 7.45'te gösterilmiştir.

Tablo 7.6. s NP190Q Farklı Cam Kalınlıklarına Göre Makale Cam Kullanımı Kayseri İli Aylık Maksimum Güç Değerleri

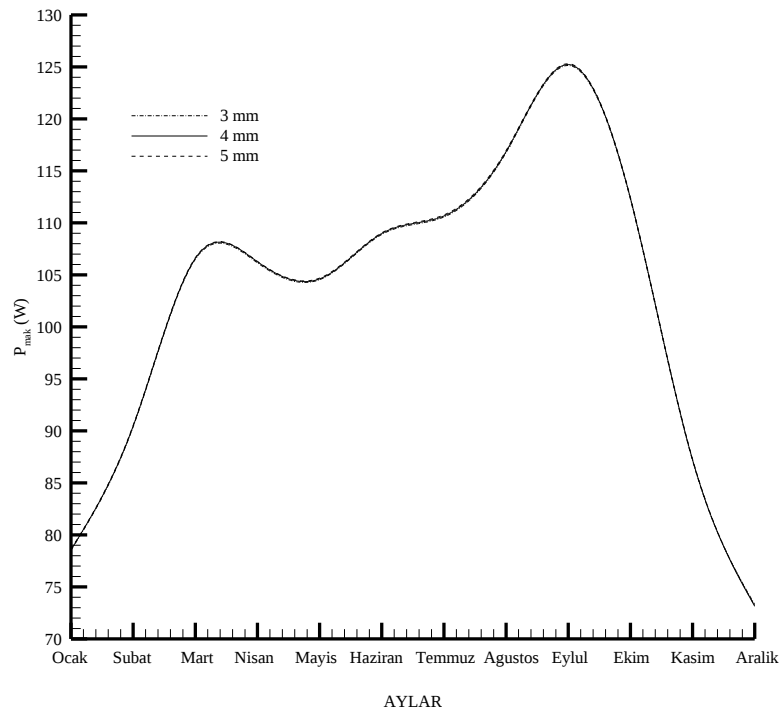
3 mm		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
	Işınım(W/m ²)	449	514	621	619	626	671
	Thücre (K)	305.1	305.94	316.15	316.04	323.14	331
	n	1.27	1.28	1.17	1.18	1.09	1
	Rs (Ω)	0.78987	0.67745	0.60936	0.60362	0.64363	0.64596
	Pmax (W)	78.51306	90.38399	106.5055	106.15802	104.5379	108.8925386
		Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	Işınım(W/m ²)	700	732	766	661	506	423
	Thücre (K)	337.28	335.63	330.83	319.54	311.82	307.72
	n	1	1	1.02	1.14	1.2	1.23
	Rs (Ω)	0.60197	0.58123	0.55526	0.58435	0.73561	0.87149
	Pmax (W)	110.5646	116.763	125.1432	112.27088	87.14459	73.29481372
4 mm		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
	Işınım(W/m ²)	449	514	621	619	626	671
	Thücre (K)	304.89	305.74	315.96	315.88	322.98	330.82
	n	1.27	1.28	1.17	1.17	1.09	1
	Rs (Ω)	0.79113	0.67847	0.61008	0.61231	0.6442	0.64651
	Pmax (W)	78.57543	90.45394	106.5895	106.26093	104.6101	108.9812809
		Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	Işınım(W/m ²)	700	732	766	661	506	423
	Thücre (K)	337.09	335.46	330.67	319.36	311.64	307.56
	n	1	1	1.02	1.14	1.2	1.23
	Rs (Ω)	0.60252	0.58169	0.55568	0.58497	0.7365	0.86795
	Pmax (W)	110.6636	116.8559	125.2343	112.35661	87.20716	73.13935594
5 mm.		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
	Işınım(W/m ²)	449	514	621	619	626	671
	Thücre (K)	304.67	305.55	315.75	315.73	322.81	330.63
	n	1.28	1.28	1.18	1.18	1.09	1.01
	Rs (Ω)	0.78167	0.67944	0.60283	0.60481	0.6448	0.63935
	Pmax (W)	78.60291	90.52035	106.6499	106.29446	104.6869	109.0437869
		Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	Işınım(W/m ²)	700	732	766	661	506	423
	Thücre (K)	336.9	335.29	330.5	319.2	311.48	307.4
	n	1	1	1.03	1.14	1.2	1.23
	Rs (Ω)	0.60307	0.58216	0.54934	0.58552	0.73729	0.86896
	Pmax (W)	110.7626	116.9485	125.3071	112.43283	87.26277	73.18381329

Tablo 7.6. t NP190Q Farklı Cam Kalınlıklarına Göre Borosilika Cam Kullanımı Kayseri İli Aylık Maksimum Güç Değerleri

3 mm		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
	Işınım(W/m ²)	449	514	621	619	626	671
	Thücre (K)	303.37	304.34	314.47	314.72	321.65	329.55
	n	1.3	1.3	1.19	1.19	1.1	1.02
	Rs (Ω)	0.76803	0.66678	0.59968	0.60062	0.64081	0.63495
	Pmax (W)	78.91289	90.87093	107.1829	106.70652	105.1768	109.5447201
		Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	Işınım(W/m ²)	700	732	766	661	506	423
	Thücre (K)	335.55	334.07	329.34	318.04	310.35	306.4
	n	1	1	1.04	1.16	1.22	1.25
	Rs (Ω)	0.60696	0.5855	0.54565	0.57429	0.72346	0.85231
	Pmax (W)	111.4659	117.6132	125.9423	112.9244	87.5804	73.38383705
4 mm		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
	Işınım(W/m ²)	449	514	621	619	626	671
	Thücre (K)	303.16	304.16	314.27	314.57	321.49	329.37
	n	1.3	1.3	1.2	1.19	1.11	1.02
	Rs (Ω)	0.76931	0.66771	0.59244	0.60119	0.63328	0.63551
	Pmax (W)	78.97505	90.93367	107.2387	106.77263	105.216	109.6332127
		Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	Işınım(W/m ²)	700	732	766	661	506	423
	Thücre (K)	335.37	333.9	329.17	317.89	310.18	306.24
	n	1	1	1.04	1.16	1.22	1.25
	Rs (Ω)	0.60748	0.58597	0.54611	0.57482	0.72431	0.85333
	Pmax (W)	111.5595	117.7055	126.0385	112.99551	87.63933	73.4281959
5 mm.		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
	Işınım(W/m ²)	449	514	621	619	626	671
	Thücre (K)	302.96	303.96	314.08	314.42	321.32	329.19
	n	1.3	1.31	1.2	1.19	1.11	1.02
	Rs (Ω)	0.77053	0.65934	0.59317	0.60177	0.63389	0.63607
	Pmax (W)	79.03421	90.96747	107.3226	106.83848	105.2926	109.7216799
		Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	Işınım(W/m ²)	700	732	766	661	506	423
	Thücre (K)	335.17	333.74	329.01	317.71	310.02	306.09
	n	1	1	1.04	1.16	1.22	1.25
	Rs (Ω)	0.60806	0.58641	0.54654	0.57544	0.72512	0.85429
	Pmax (W)	111.6634	117.7925	126.1292	113.08126	87.69462	73.46972248

Tablo 7.6. u NP190Q Farklı Cam Kalınlıklarına Göre Low-İron Cam Kullanımı Kayseri İli Aylık Maksimum Güç Değerleri

3 mm		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
	Işınım(W/m ²)	449	514	621	619	626	671
	Thücre (K)	303.16	304.16	314.27	314.57	321.49	329.37
	n	1.3	1.3	1.2	1.19	1.11	1.02
	Rs (Ω)	0.76931	0.66771	0.59244	0.60119	0.63328	0.63551
	Pmax (W)	78.97505	90.93367	107.2387	106.77263	105.216	109.6332127
		Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	Işınım(W/m ²)	700	732	766	661	506	423
	Thücre (K)	335.37	333.9	329.17	317.89	310.18	306.24
	n	1	1	1.04	1.16	1.22	1.25
	Rs (Ω)	0.60748	0.58597	0.54611	0.57482	0.72431	0.85333
	Pmax (W)	111.5595	117.7055	126.0385	112.99551	87.63933	73.4281959
4 mm		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
	Işınım(W/m ²)	449	514	621	619	626	671
	Thücre (K)	302.96	303.96	314.08	314.42	321.32	329.19
	n	1.3	1.31	1.2	1.19	1.11	1.02
	Rs (Ω)	0.77053	0.65934	0.59317	0.60177	0.63389	0.63607
	Pmax (W)	79.03421	90.96747	107.3226	106.83848	105.2926	109.7216799
		Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	Işınım(W/m ²)	700	732	766	661	506	423
	Thücre (K)	335.18	333.74	329.01	317.71	310.02	306.09
	n	1	1	1.04	1.16	1.22	1.25
	Rs (Ω)	0.60806	0.58641	0.54654	0.57544	0.72512	0.85429
	Pmax (W)	111.6634	117.7925	126.1292	113.08126	87.69462	73.46972248
5 mm.		Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran
	Işınım(W/m ²)	449	514	621	619	626	671
	Thücre (K)	302.75	303.78	313.89	314.27	321.14	329.01
	n	1.3	1.31	1.2	1.19	1.11	1.03
	Rs (Ω)	0.77181	0.66027	0.5939	0.60235	0.63454	0.62891
	Pmax (W)	79.09631	91.03026	107.4064	106.90431	105.3735	109.7795118
		Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
	Işınım(W/m ²)	700	732	766	661	506	423
	Thücre (K)	335	333.57	328.85	317.55	309.84	305.93
	n	1	1	1.05	1.16	1.22	1.25
	Rs (Ω)	0.63859	0.59403	0.5402	0.576	0.72602	0.85532
	Pmax (W)	111.8694	117.912	126.1966	113.15721	87.75697	73.51393118

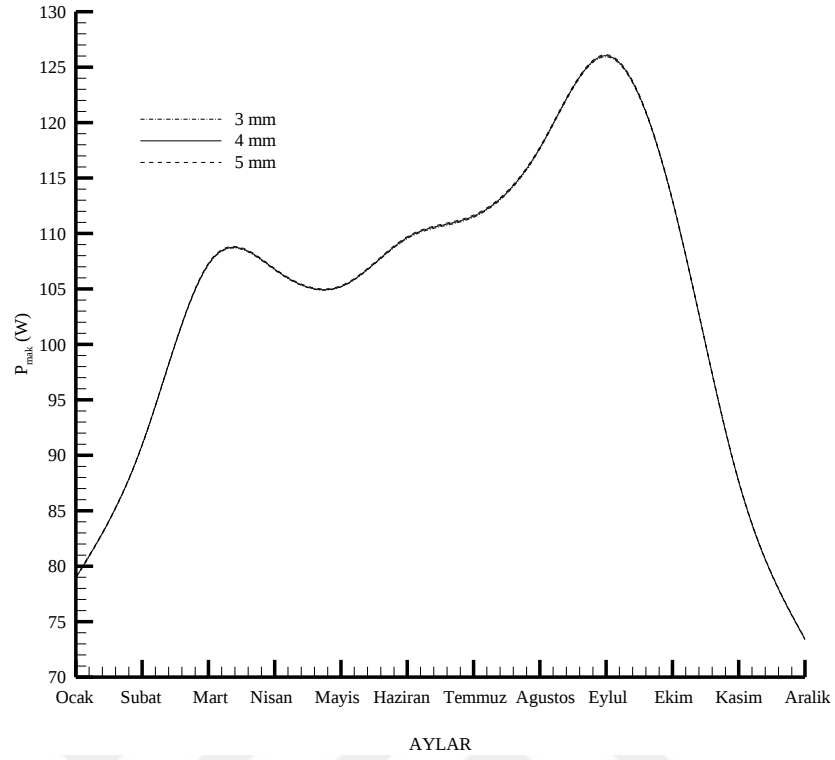


Şekil 7. 45 NP190Q Panelinde Referans Cam Farklı Kalınlıklarda Kullanımı Durumunda Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Maksimum Güç Değerleri

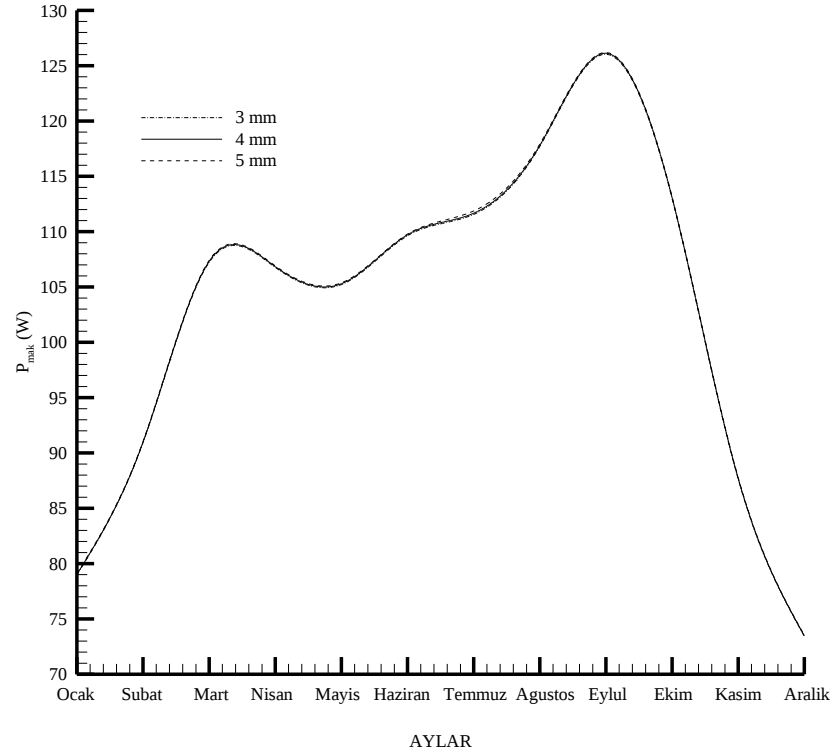
Tablo 7.6.t’de Kayseri ili çalışma koşullarında borosilika camın farklı kalınlıklarda kullanım durumuna göre NP190Q güneş paneli maksimum güç çıkışında meydana gelen değişim hesaplanmış ve bu cam için tüm kalınlıklarda güç çıkışının en yüksek olduğu ay Eylül ve en düşük olduğu ay Aralık olarak tespit edilmiştir. Bu aylarda farklı kalınlıklarda en yüksek performansın alındığı cam kalınlığı 5 mm olarak şekil 7.46’da gösterilmiştir.

Tablo 7.6.u’da düşük demirli camın Kayseri ili çalışma koşullarında farklı kalınlıklarda kullanım durumuna göre NP190Q güneş paneli maksimum güç çıkışında meydana gelen değişim hesaplanmış ve bu cam için tüm kalınlıklarda güç çıkışı Eylül ayında en yüksek ve Aralık ayında en düşük olarak tespit edilerek şekil 7.47’de gösterilmiştir.

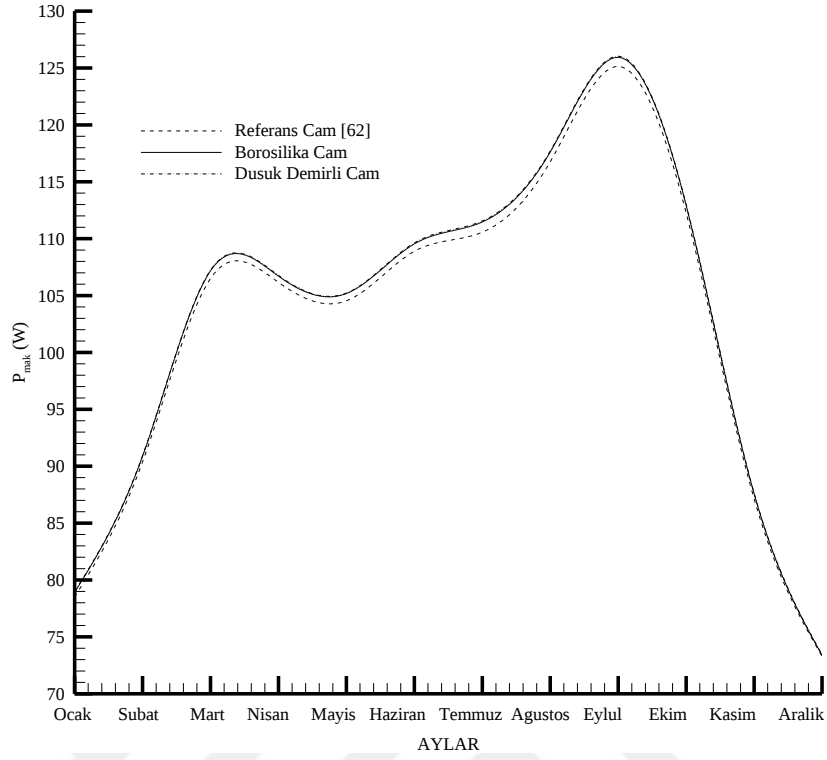
Malzemeler aynı kalınlıklar için tablo 7.6.s. 6.6.t. 6.6.u’da göz önüne alındığında çıkış gücünün en düşük olduğu durum makaledeki cam kullanımının 3 mm olduğu durum $P_{\text{max.eylül}} = 125.1432 \text{ W}$ ve en yüksek olduğu durum ise düşük demirli cam kullanımının 5 mm. olduğu $P_{\text{max.eylül}} = 126.1966 \text{ W}$ durumudur. Cam performansları sırasıyla $\text{cam}_{\text{makale}} < \text{cam}_{\text{borosilika}} < \text{cam}_{\text{low-iron}}$ şeklindedir.



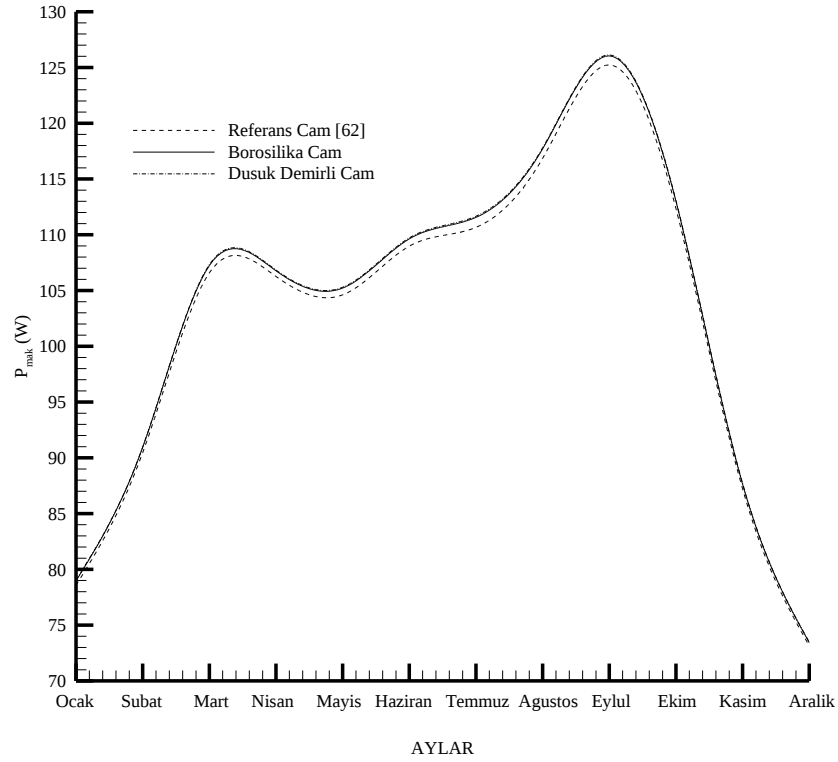
Şekil 7. 46 NP190Q Panelinde Borosilika Cam Farklı Kalınlıklarda Kullanımı Durumunda Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Maksimum Güç Değerleri



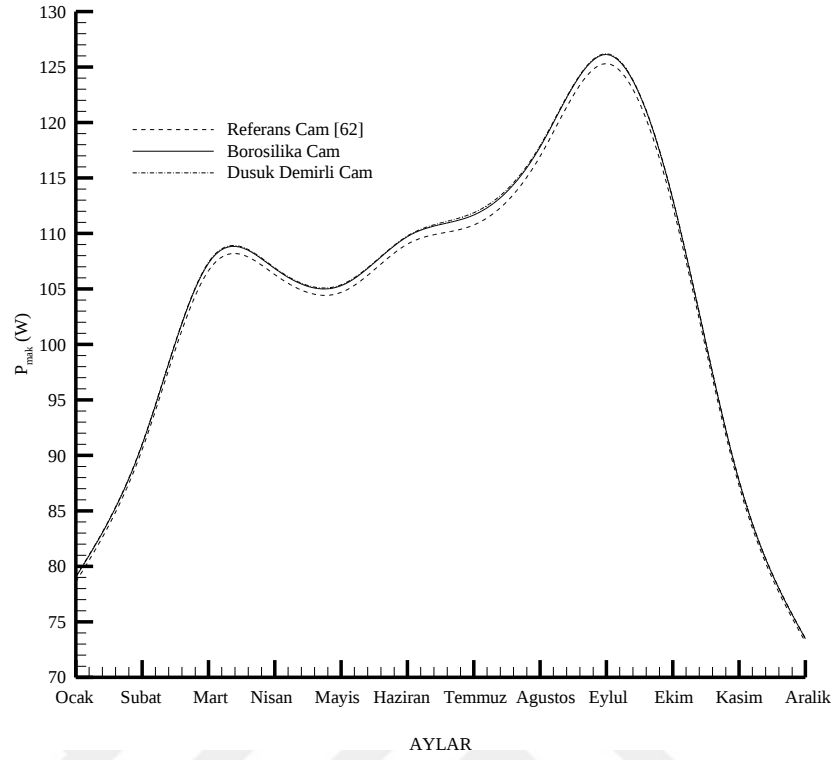
Şekil 7. 47 NP190Q Panelinde Düşük Demirli Cam Farklı Kalınlıklarda Kullanımı Durumunda Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Maksimum Güç Değerleri



Şekil 7. 48 NP190Q Farklı Cam Türlerinin $d_{cam} = 3 \text{ mm}$ 'de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Maksimum Güç Değerleri Değerleri



Şekil 7. 49 NP190Q Farklı Cam Türlerinin $d_{cam} = 4 \text{ mm}$ 'de Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Maksimum Güç Değerleri Değerleri



Şekil 7. 50 NP190Q Farklı Cam Türlerinin $d_{cam} = 5 \text{ mm}'de$ Kayseri İli Çalışma Koşullarında Aylara Göre Maksimum Güç Değerleri Değerleri

Şekil 7.48. 7.49 ve 7.50'de NP190Q güneş panelinin farklı cam türlerine ve kalınlıklarına göre Kayseri ili aylık hava şartlarına bağlı maksimum çıkış gücü değişimleri gösterilmiştir. Buna göre tüm kalınlıklar için borosilika cam referans cama göre daha iyi performans gösterirken, düşük demirli camın diğer iki cam türüne göre daha yüksek çıkış gücü ürettiği gözlemlenmiştir.

8. BÖLÜM

SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Bu tez çalışmasında bir güneş panelinin elektriksel ve termal modellemesi MATLAB ortamında yapılmış olup elektriksel modelleme için dört parametre/beş parametre modelleme yöntemleri kullanılarak panel I-V ve P-V karakteristikleri tespit edilmiş. termal modellemede Kayseri ili için aylara göre bir yıllık ortalama hava sıcaklıkları ve rüzgar hızında oluşan değişimler göz önünde bulundurularak. panelin katmanlı yapısından kaynaklanan panel içi ve panel yüzeyi arasındaki ısı kayıpların panel güç çıkışına olan etkisi aylık olarak incelenmiştir. Buna göre nihai sonuçlar şu şekildedir;

- Dört parametre elektriksel modeli yeni bir algoritma ile yorumlanarak. model sonuçları literatürde çalışması yapılmış SP75 güneş panelinin aynı model parametre sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve tutarlılık tespit edilmiştir. Bu tutarlılık ışığında NP190Q güneş paneli I-V / P-V karakteristikleri grafiklerle ortaya konarak. idealite faktörü. seri direnç. saturasyon akımı. fotovoltaiik akımı değerleri incelenmiştir.
- Dört parametre elektriksel modelinde ihmal edilen paralel direncin eklenmesi ile oluşturulan beş parametre modeli yeni bir R_p denklemiyle yorumlanarak sunulan yeni algoritma sonuçları. yine literatürde değerleri bildirilen SP75 güneş panelinin sonuçlarıyla kıyaslanarak tutarlılık gözlenmiş ve NP190Q güneş panelinin I-V / P-V karakteristikleri önceki modelden farklı olarak idealite faktörü. seri direnç. paralel direnç. saturasyon akımı. fotovoltaiik akım değerleriyle incelenmiş ve grafiklerle ortaya konmuştur.
- Dört parametre modelinin pratik bir yaklaşım sunduğu. beş parametre modelinin ise teorik olarak daha doğru olmasının yanında parametre tespitindeki pratikliğin

yeni denklemler eldesiyle mümkün olabileceği tespit edilmiştir.

- Np190Q güneş panelinin Kayseri’de değişen aylık ortalama rüzgar hızı ve aylık ortalama hava sıcaklığı durumlarında kullanımı sırasında literatürde bildirilen katman özellikleri ışığında termal modeli oluşturulmuş. panelin yüzey sıcaklığındaki değişim, aynı hücre sıcaklığı ve aynı ısı transferi olması şeklinde iki farklı durum için incelenerek sonuçlar tablo ve grafiklerle ortaya konmuştur. Daha sonra güneş panellerinde kullanılan iki farklı cam malzemesi (borosilika ve düşük demirli cam) tespit edilerek aynı kalınlıklar için malzeme değişimi durumunda ve aynı malzemeler için kalınlıkların değişimi (3mm - 4mm - 5mm) durumunda olmak üzere tekrar iki farklı durum için incelenerek yüzey sıcaklığındaki ve hücre sıcaklığındaki değişim tablo ve grafiklerle ortaya konmuştur.
- Yapılan termal modelleme sonucunda düşük demirli camın (low-iron) yüzey ve hücre sıcaklığı değerlerini diğer iki cama göre düşürdüğü tespit edilerek panel maksimum güç noktasını diğer camların kullanım durumuna göre artırdığı gözlemlenmiştir.
- Elektriksel model sonuçları. azalan ışıının kısa devre akımı noktasını düşürmesi ve azalan sıcaklığın açık devre gerilimi noktasını düşürmesi durumlarında direnç değerlerindeki artış önemli rol oynadığını göstermektedir.
- Termal model sonuçları. panel malzemesinde yapılacak güncelleme ve iyileştirmelerin yüzey sıcaklığı ve güneş hücrelerinin sıcaklıklarındaki azalmaya karşı maksimum çıkış gücü değerlerini artırdığını ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

1. Jingcheng. L.. 2010. Application of Solar Energy. Bachelor Thesis. Saima University of Applied Science. Mechanical Engineering. 4 s.
2. Altın. V.. 2004. Güneş Enerjisinden Yararlanılarak Elektrik Üretimi. **Mimar ve Mühendis Dergisi**. sayı:33. 28-31.
3. Güneş Işınları, <http://gunesenerjisi.uzerine.com/index.jsp?objid=663>, (Erişim Tarihi: Aralık 2017).
4. Türkiye Güneş Enerji Atlası,
<http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>, (Erişim Tarihi: Aralık: 2017).
5. Türkiye Güneşlenme Süreleri,
<http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Aciklamalar.aspx>, (Erişim Tarihi: Aralık 2017).
6. TMMOB Makina Mühendisleri Odası. 2014. “Türkiye’nin Enerji Görünümü.” Yayın No: MMO/2014/616. Ankara
7. Türkiye Güneş Kuşağı Atlası,
http://www.emo.org.tr/ekler/4e2e247969185c8_ek.pdf, (Erişim Tarihi: Aralık 2017).
8. Mojumder. H.. 2014. Wet Chemical Etching of Solarcell for Edge Isolation. Master of Science Thesis. University of Dhaka. Institute Of Energy. 8s.
9. Lesson and Lab Activity with Photovoltaic ,
<http://faculty.sdmiramar.edu/gbochicchio/PhotovoltaicCells.pdf>, (Erişim Tarihi: Aralık 2017).
10. Timeline and Future of Solar Cells, <http://mnre.gov.in/file-manager/akshay-urja/november-december-2016/EN/Images/20-24.pdf>, (Erişim Tarihi: Aralık 2017)
11. N-type Semiconductor, <https://www.saylor.org/site/wp-content/uploads/2011/06/N-Type-Semiconductor.pdf>, (Erişim Tarihi: Aralık 2017).

12. P-type Semiconductor, <https://www.saylor.org/site/wp-content/uploads/2011/06/P-Type-Semiconductor.pdf> , (Erişim Tarihi: Aralık 2017).
13. Elektronik Ders Notları 2 <http://yucelkocyigit.cbu.edu.tr/elektronik2.pdf>, (Erişim Tarihi: Aralık 2017).
14. Dr. Alistair Sproul. Understanding to p-n junction, http://www2.pv.unsw.edu.au/nsite-files/pdfs/UNSW_Understanding_the_p-n_Junction.pdf, (Erişim Tarihi: Aralık 2017).
15. Photovoltaic Cells-Generating Electricity
<http://www.imagesco.com/articles/photovoltaic/photovoltaic-pg4.html>, (Erişim Tarihi: Aralık 2017).
16. Altaş. İ. H. (1998). Fotovoltaj güneş pilleri: yapısal özellikleri ve karakteristikleri. **Enerji. Elektrik. Elektromekanik-3e**. 47. 66-71.
17. Sharma. S.. Jain. K. K.. & Sharma. A. (2015). Solar cells: in research and applications—a review. **Materials Sciences and Applications**. 6(12). 1145.
18. Altaş. İ. H. (1998). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Türkiye’deki Potansiyeli. **Enerji. Elektrik. Elektromekanik Dergisi**. 45. 58-63.
19. Mengi. O. Ö.. & Altaş. İ. H. (2007). Fotovoltaik Güneş Pilleri için Genel Amaçlı Bir Matlab/Simulink GUI Modeli. *UMES’07-Ulusal Teknik Eğitim. Mühendislik ve Eğitim Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu*. 216-219.
20. Altas. I. H.. & Sharaf. A. M. (1996). A novel on-line MPP search algorithm for PV arrays. **IEEE Transactions on Energy Conversion**. 11(4). 748-754.
21. Masoum. M.. & Dehbonei. H. (1999). Design, construction and testing of a voltage-based maximum power point tracker (VMPPT) for small satellite power supply.
22. Elshatter. T. F.. Elhagry. M. T.. Abou-Elzahab. E. M.. & Elkousy. A. A. T. (2000). Fuzzy modeling of photovoltaic panel equivalent circuit. *In Photovoltaic Specialists Conference. 2000. Conference Record of the Twenty-Eighth IEEE* (pp. 1656-1659). IEEE.

23. Neto. L. D. V. M., de Oliveira. L. G., Cabral. C. V. T., Cortizo. P. C., & Diniz. A. S. A. C. (2003. May). Development of models for test performance of PV modules. In Photovoltaic Energy Conversion. 2003. *Proceedings of 3rd World Conference on* (Vol. 3. pp. 2501-2504). IEEE.
24. Campbell. R. C. (2007. September). A circuit-based photovoltaic array model for power system studies. In *Power Symposium. 2007. NAPS'07. 39th North American* (pp. 97-101). IEEE.
25. Dondi. D., Brunelli. D., Benini. L., Pavan. P., Bertacchini. A., & Larcher. L. (2007. June). Photovoltaic cell modeling for solar energy powered sensor networks. In *Advances in Sensors and Interface. 2007. IWASI 2007. 2nd International Workshop on* (pp. 1-6). IEEE.
26. Walker. G. (2001). Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model. *Journal of Electrical & Electronics Engineering. Australia.* 21(1). 49.
27. Chenni. R., Makhoulf. M., Kerbache. T., & Bouzid. A. (2007). A detailed modeling method for photovoltaic cells. **Energy.** 32(9). 1724-1730.
28. Chegaar. M., Azzouzi. G., & Mialhe. P. (2006). Simple parameter extraction method for illuminated solar cells. **Solid-State Electronics.** 50(7-8). 1234-1237.
29. Celik. A. N., & Acikgoz. N. (2007). Modelling and experimental verification of the operating current of mono-crystalline photovoltaic modules using four-and five-parameter models. **Applied energy.** 84(1). 1-15.
30. Zhou. W., Yang. H., & Fang. Z. (2007). A novel model for photovoltaic array performance prediction. **Applied energy.** 84(12). 1187-1198.
31. Toprak. A., Kılıç. H. Ş., Toprak. A., & Kepceoglu. A. (2016). Güneş Pili'nin Tek Diyot Rs Model Parametrelerinin Hesaplanması ve IV ile PV Karakteristiklerinin İncelenmesi. **Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi.** (12). 13-22.
32. Tsai. H. L., Tu. C. S., & Su. Y. J. (2008. October). Development of generalized photovoltaic model using MATLAB/SIMULINK. In **Proceedings of the world congress on Engineering and computer science** (Vol. 2008. pp. 1-6).

33. Villalva, M. G., Gazoli, J. R., & Ruppert Filho, E. (2009). Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays. **IEEE Transactions on power electronics**. 24(5). 1198-1208
34. Salmi, T., Bouzguenda, M., Gastli, A., & Masmoudi, A. (2012). Matlab/simulink based modeling of photovoltaic cell. **International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)**. 2(2). 213-218.
35. Orioli, A., & Di Gangi, A. (2013). A procedure to calculate the five-parameter model of crystalline silicon photovoltaic modules on the basis of the tabular performance data. **Applied energy**. 102. 1160-1177.
36. Shongwe, S., & Hanif, M. (2015). Comparative analysis of different single-diode PV modeling methods. **IEEE Journal of Photovoltaics**. 5(3). 938-946.
37. Yetayew, T. T., & Jyothsna, T. R. (2015, October). Parameter extraction of photovoltaic modules using Newton Raphson and simulated annealing techniques. In *Power, Communication and Information Technology Conference (PCITC)*. 2015 IEEE (pp. 229-234). IEEE.
38. Cubas, J., Pindado, S., & Victoria, M. (2014). On the analytical approach for modeling photovoltaic systems behavior. **Journal of power sources**. 247. 467-474.
39. Notton, G., Cristofari, C., Mattei, M., & Poggi, P. (2005). Modelling of a double-glass photovoltaic module using finite differences. **Applied Thermal Engineering**. 25(17-18). 2854-2877.
40. Tina, G. M., & Scrofani, S. (2008, May). Electrical and thermal model for PV module temperature evaluation. In *Electrotechnical Conference, 2008. MELECON 2008. The 14th IEEE Mediterranean* (pp. 585-590). IEEE.
41. Wong, P. W., Shimoda, Y., Nonaka, M., Inoue, M., & Mizuno, M. (2008). Semi-transparent PV: Thermal performance, power generation, daylight modelling and energy saving potential in a residential application. **Renewable energy**. 33(5). 1024-1036.
42. Balog, R. S., Kuai, Y., & Uhrhan, G. (2009, September). A photovoltaic module thermal model using observed insolation and meteorological data to support a

- long life, highly reliable module-integrated inverter design by predicting expected operating temperature. In *Energy Conversion Congress and Exposition, 2009. ECCE 2009. IEEE* (pp. 3343-3349). IEEE
43. Bardhi, M., Grandi, G., & Tina, G. M. (2012, March). Comparison of PV cell temperature estimation by different thermal power exchange calculation methods. In *Proceedings of the International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'12)*. Santiago de Compostela, Spain(pp. 28-30).
 44. Tofighi, A. (2013). Performance evaluation of pv module by dynamic thermal model. **Journal of Power Technologies**. **93(2)**. 111.
 45. Ayaz, R., Nakir, I., & Tanrioven, M. (2014). An improved Matlab-Simulink model of PV module considering ambient conditions. **International Journal of Photoenergy**. 2014.
 46. Diyot Karakteristikleri,
<http://muhendislik.sdu.edu.tr/assets/uploads/sites/152/files/deney-1-07032016.pdf>, (Erişim Tarihi: Aralık 2017)
 47. Ishaque, K., & Salam, Z. (2011). An improved modeling method to determine the model parameters of photovoltaic (PV) modules using differential evolution (DE). **Solar Energy**. **85(9)**. 2349-2359.
 48. Sandrolini, L., Artioli, M., & Reggiani, U. (2010). Numerical method for the extraction of photovoltaic module double-diode model parameters through cluster analysis. **Applied Energy**. **87(2)**. 442-451.
 49. Jain, A., & Kapoor, A. (2004). Exact analytical solutions of the parameters of real solar cells using Lambert W-function. **Solar Energy Materials and Solar Cells**. **81(2)**. 269-277.
 50. Jordehi, A. R. (2016). Parameter estimation of solar photovoltaic (PV) cells: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. **61**. 354-371.
 51. Townsend T., 1989. The Long Term Performance of Direct-Coupled Photovoltaic Systems. Master Thesis. University of Wisconsin-Madison. Mechanical Engineering, 57-61

52. Mohamed. M. A. E. H.. & Osman. M. H. (2014). Evaluation of a PV model based on a novel parameter estimation procedure for different manufacturers modules. *International Journal of Engineering*. 3(1).
53. Yahfdhou. A.. Mahmoud. A. K.. & Youm. I.. 2016. Evaluation and determination of seven and five parameters of a photovoltaic generator by an iterative method.
54. Mohapatra. A.. Nayak. B. K.. & Mohanty. K. B. (2013. February). Comparative study on single diode photovoltaic module parameter extraction methods. *In Power. Energy and Control (ICPEC). 2013 International Conference on* (pp. 30-34).
55. Hamid. N. F. A.. Rahim. N. A.. & Selvaraj. J. (2013. November). Solar cell parameters extraction using particle swarm optimization algorithm. In *Clean Energy and Technology (CEAT). 2013 IEEE Conference on* (pp. 461-465). IEEE.
56. Incropera. F. P.. 2007. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley
57. Sparrow. E.M.. Tien. K.K.. 1977. Forced convection heat transfer at an Inclined and Yawed Square Plate-Application to Solar Collectors. *Heat Transfer* 99. 507-513
58. Incropera. F. P.. 2007. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, <http://www.me.nchu.edu.tw/lab/lab516/2014/Heat%20Transfer-PDF-Incropera-1/9a.pdf>, (Erişim Tarihi: Mayıs 2018)
59. Silva. J. P.. Nofuentes. G.. & Munoz. J. V. (2010). Spectral reflectance patterns of photovoltaic modules and their thermal effects. **Journal of Solar Energy Engineering**. 132(4). 041016.
60. "ASHRAE Fundamentals Handbook." Atlanta. Ga.: American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. 2001.
61. Hegazy. A. A. (2000). Comparative study of the performances of four photovoltaic/thermal solar air collectors. **Energy Conversion and management**. 41(8). 861-881.

62. Armstrong. S.. & Hurley. W. G. (2010). A thermal model for photovoltaic panels under varying atmospheric conditions. **Applied Thermal Engineering**. **30(11-12)**. 1488-1495.
63. Bouquet. F. L. (1980). Glass for low-cost photovoltaic solar arrays (No. DOE/JPL/1012-40). Jet Propulsion Lab.. Pasadena. CA (USA).
64. Lobera. D. T.. & Valkealahti. S. (2013). Dynamic thermal model of solar PV systems under varying climatic conditions. **Solar energy**. **93**. 183-194.
65. Cengel. Y. (2014). Heat and mass transfer: fundamentals and applications. McGraw-Hill Higher Education.
66. Khezzar. R.. Zereg. M.. & Khezzar. A. (2014). Modeling improvement of the four parameter model for photovoltaic modules. **Solar Energy**. **110**. 452-462
67. Kayseri İli Aylara Göre Ortalama Sıcaklıklar
<https://www.havaturkiye.com/weather/maps/city?FMM=1&FYY=2017&LMM=12&LYY=2017&WMO=17195&CONT=trtr®ION=0005&LAND=LB&ART=TEM&R=0&NOREGION=0&LEVEL=162&LANG=tr&MOD=tab>, (Erişim Tarihi: Mayıs 2018, (Erişim Tarihi: Ocak 2018)
68. Kayseri İli Aylara Göre Ortalama Rüzgar Hızları
<https://www.havaturkiye.com/weather/maps/city?FMM=1&FYY=2017&LMM=12&LYY=2017&WMO=17195&CONT=trtr®ION=0005&LAND=LB&ART=WST&R=0&NOREGION=0&LEVEL=162&LANG=tr&MOD=tab>, (Erişim Tarihi: Ocak 2018)

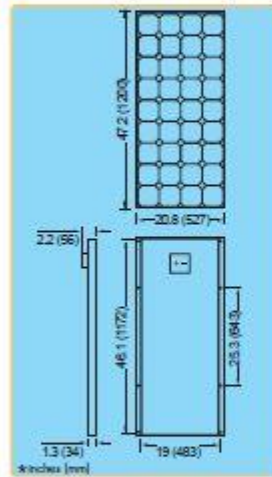
EKLER

EK 1. SP75 GÜNEŞ PANELİ KATALOG BİLGİLERİ

Shell SP75 Photovoltaic Solar Module

Mechanical Specifications Module

A torsion and corrosion-resistant anodized aluminium frame ensures dependable performance, even under harsh weather conditions. Pre-drilled mounting holes are provided for ease of installation.



Outside dimensions (in)	47.2 x 20.8
Thickness (inc. junction box) (in)	2.2
Thickness (exc. junction box) (in)	1.3
Weight (lbs)	16.7

For installation instructions, please refer to the **Installation Manual** which is available from Shell Solar.

Electrical Characteristics

Data at Standard Test Conditions (STC)

STC: irradiance level 1000W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature 25°C

Rated power	P_r	75W
Peak power	P_{mpp}	75W
Peak power voltage	V_{mpp}	8.5*/17V
Peak power current	I_{mpp}	8.8*/4.4A
Open circuit voltage	V_{oc}	10.85*/21.7V
Short circuit current	I_{sc}	9.6*/4.8A
Series fuse rating		15A
Minimum peak power	$P_{mpp,min}$	70W

The abbreviation 'mpp' stands for Maximum Power Point.

Typical data at Nominal Operating Cell Temperature (NOCT) conditions

NOCT: 800W/m² irradiance level, AM 1.5 spectrum, wind velocity 1m/s, T_{amb} 20°C

Temperature	T_{NOCT}	45°C
Mpp power	P_{mpp}	56W
Mpp voltage	V_{mpp}	7.8*/15.6V
Open circuit voltage	V_{oc}	9.95*/19.9V
Short circuit current	I_{sc}	7.8*/3.9A

* The Shell SP75 may be reconfigured in the field for 6V operation

Typical data at low irradiance

The relative reduction of module efficiency at an irradiance of 200W/m² in relation to 1000W/m² both at 25°C cell temperature and AM 1.5 spectrum is 7%.

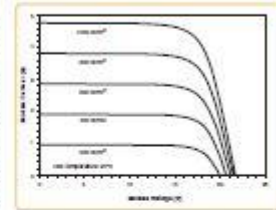
Temperature coefficients

αP_{mpp}	-0.45 %/°C
αV_{mpp}	-76 mV/°C
αI_{sc}	+2 mA/°C
αV_{oc}	-76 mV/°C

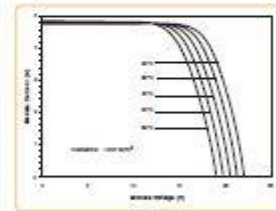
Maximum system voltage: 600 Vdc

Typical I/V Characteristics

The I/V graph below shows the typical performance of the solar module at various levels of irradiance.



The I/V graph below shows the typical performance of the solar module at various cell temperatures.



References in this Product Information Sheet to 'Shell Solar' are to companies and other organizational entities within the Royal Dutch/Shell Group of Companies that are engaged in the photovoltaic solar energy business. Shell Solar was set up in 1999 and has its principal office in Amsterdam, the Netherlands.

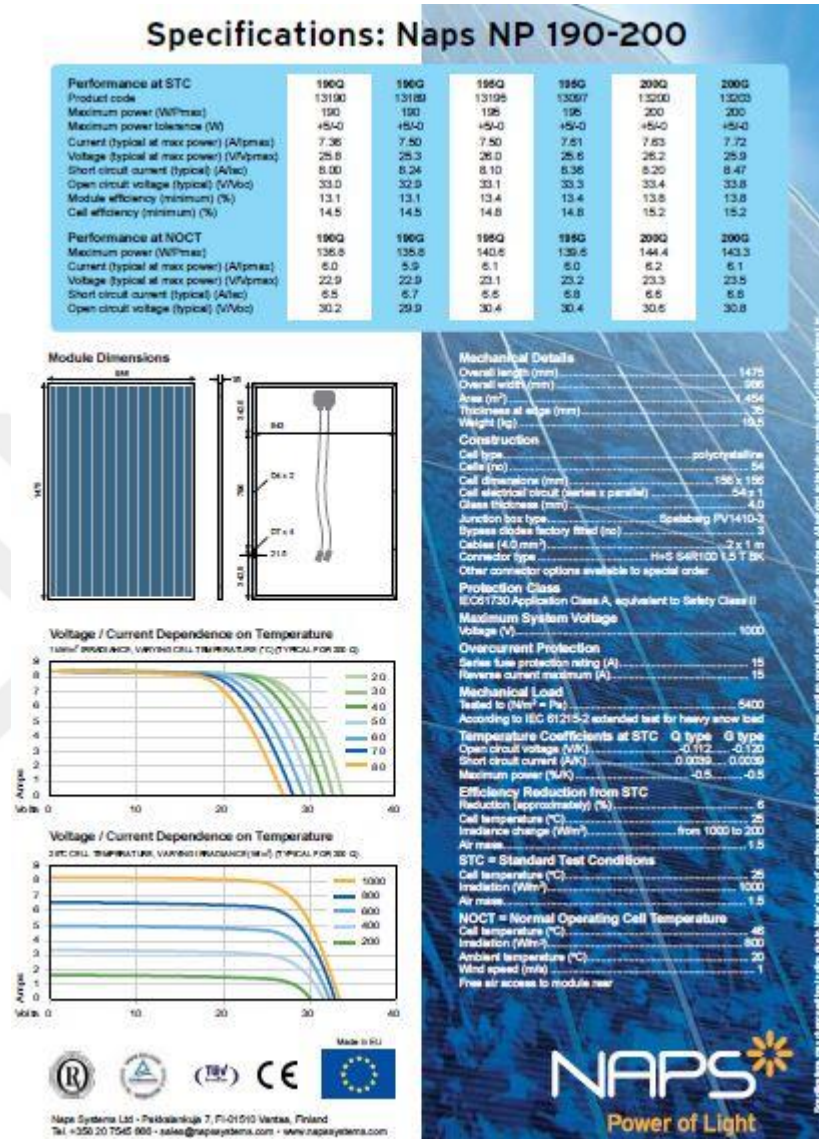
For further information on all Shell Solar products contact:

Shell Solar
4420 Adobe Lane, Camarillo CA 93012
805-482-6800 Fax 805-388-6511
Web www.shell.com/renewables

V2/SP75/02/02/15



EK 2. NP190Q GÜNEŞ PANELİ KATALOG BİLGİLERİ



WEB: http://www.multiwood.ru/doc/Naps_Systems_Data_Sheet_NP190-200.pdf (Erişim Tarihi: Nisan 2018)

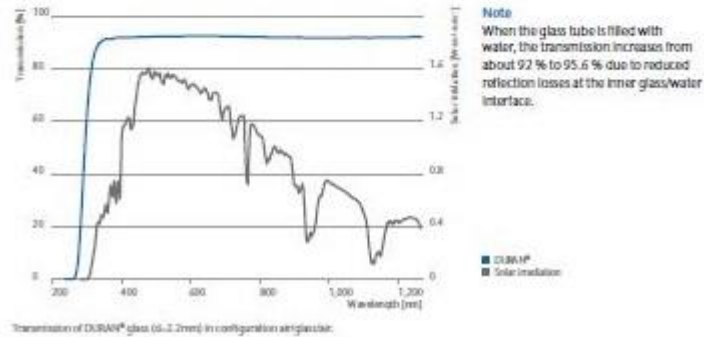
EK 3. SCHOTT BOROSİLİCA CAM KATALOG BİLGİLERİ

Borosilicate Glass Properties

	Metric	US
Coefficient of mean linear thermal expansion α acc. to DIN ISO 7591	$3.3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (20 °C; 300 °C)	$3.3 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ (68 °F; 572 °F)
Transformation temperature T_g	525 °C	977 °F
Density ρ at 25 °C	2.23 g · cm ⁻³	139.2 lb · ft ⁻³
Modulus of elasticity E (Young's modulus)	$63 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{mm}^{-2}$	$91 \cdot 10^9 \text{ lb} \cdot \text{in}^{-2}$ (psi)
Poisson's ratio μ	0.20	0.20
Thermal conductivity λ_{90} at 90 °C	$1.2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	$0.69 \text{ Btu} \cdot \text{hr}^{-1} \cdot \text{ft}^{-1} \cdot ^\circ\text{F}^{-1}$
Refractive index ($\lambda = 587.6 \text{ nm}$) n_D	1.473	1.473
Stress-optical coefficient (DIN 52 314) K	$4.0 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2 \cdot \text{N}^{-1}$	$4.0 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^2 \cdot \text{N}^{-1}$

Chemical Composition				Chemical Resistance	
SiO ₂	B ₂ O ₃	Na ₂ O + K ₂ O	Al ₂ O ₃	Hydrolytic Class (DIN ISO 719)	HGB 1
81	13	4	2	Acid Class (DIN 12116)	Class S 1
main components in approx. weight %				Alkali Class (DIN ISO 695)	Class A 2

Transmission



WEB: <http://www.schott.com/d/tubing/9a0f5126-6e35-43bd-bf2a-349912caf9f2/schott-algae-brochure-borosilicate.pdf> (Erişim Tarihi: Nisan 2018)

EK 4. ABRISA SODA LIME LOW-IRON CAM KATALOG BİLGİLERİ



Specialty Glass Materials Products & Specifications

01/14

Soda-Lime Low Iron

Description:

Low iron soda lime is created by using high quality grades of silica sand that are virtually free of iron oxides. This results in a transparent, water white* glass that has higher transmission characteristics compared to normal soda lime. The difference is usually 2-3% at thicknesses 10mm and up to 6% greater transmission for thicker low iron glass. Even higher transmission (up to 98-99% total transmission) can be achieved by specifying an anti-reflective thin film coating. (Refer to our Thin Film Coating Brochure)

Features:

- Higher light transmission
- Can be chemically strengthened
- Good flatness
- No green tint

Applications:

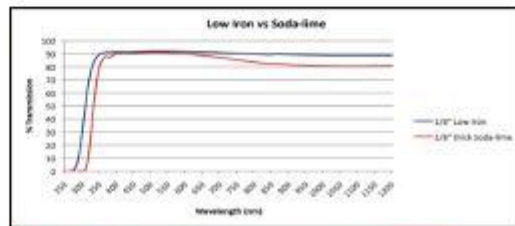
- Port projection
- Display
- Lighting
- Optical

Physical Properties:

• Density	2530 kg/m ³	(158 lb/ft ³)
• Modulus of Elasticity (Young's)	7.2×10^{10} Pa	(10.4×10^6 psi)
• Modulus of Rigidity (Shear)	3.0×10^{10} Pa	(4.3×10^6 psi)
• Bulk Modulus	4.3×10^{10} Pa	(6.18×10^6 psi)
• Poisson's Ratio	0.23	
• Specific Gravity	2.53	
• Coefficient of Thermal Stress	0.62 mPa/°C	(50 psi/°F)
• Thermal Conductivity	0.937 W/m/m ² °C	(6.5 btu.in/hr.°F.ft ²)
• Specific Heat	0.21	
• Coefficient of Linear Expansion	8.9×10^{-6} strain/°C	(4.9×10^{-6} strain/°F)
• Hardness (Moh's Scale)	5 to 6	
• Refractive Index (Sodium D line)	1.523	
• (1 µm)	1.511	
• (2 µm)	1.499	
• Softening Point	726°C	1340°F
• Annealing Point	546°C	1015°F
• Strain Point	514°C	957°F
• Emissivity (Hemispherical) at 75°F	0.84	

Dimensions:

- Thicknesses: 1mm - 12mm thick
- Sizes: Up to 130" x 96"
(3302 x 2438.4mm)



Web: www.abrisatechnologies.com - E-mail: info@abrisatechnologies.com - Tel: (877) 622-7472

WEB: <http://abrisatechnologies.com/wp-content/uploads/2014/03/Soda-Lime-Low-Iron.pdf>
(Erişim Tarihi: Nisan 2018)

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Emircan HAN
Uyruğu: Türkiye (T.C)
Doğum Tarihi ve Yeri: 10.11.1990 - Malatya
Medeni Durum: Bekar
e-mail: emircanhan@gmail.com
Yazışma Adresi: Ata Mahallesi. Lizbon Caddesi. 139/7. Çankaya ANKARA

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi. Enerji Sistemleri Mühendisliği	-
Lisans	Erciyes Üniversitesi. Makine Mühendisliği	2014
Lise	Çankırı Fen Lisesi. Çankırı	2008

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev

YABANCI DİL

İngilizce