

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PV PANELLERDE HÜCRE MALZEMESİ VE ÇEVRE KOŞULLARININ DEĞİŞİMİNE BAĞLI  
OLARAK PANEL SICAKLIĞI İLE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN TEORİK MODEL VE YAPAY SINIR  
AĞLARIYLA İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Elektrik - Elektronik Müh. Hakan AKAY**

**TEMMUZ 2022  
TRABZON**



**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**PV PANELLERDE HÜCRE MALZEMESİ VE ÇEVRE KOŞULLARININ DEĞİŞİMİNE  
BAĞLI OLARAK PANEL SICAKLIĞI İLE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN TEORİK MODEL  
VE YAPAY SİNİR AĞLARIYLA İNCELENMESİ**

**Elektrik - Elektronik Mühendisi Hakan AKAY**

**ORCID :**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“ELEKTRİK YÜKSEK MÜHENDİSİ”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 / 06 / 2022**

**Tezin Savunma Tarihi : 07 / 07 / 2022**

**Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAHVECİ**  
**ORCID :**

**Trabzon 2022**

## ÖNSÖZ

Bu tez, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı'nda yapılan bir çalışmadır.

Öncelikle yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenen sayın hocam Hakan KAHVECİ'ye ve tez savunmada katılarak önemli noktalarda yapıcı eleştirilerde bulunan, desteklerini esirgemeyen sayın hocalarım Prof. Dr. Halil İbrahim OKUMUŞ ve Doç. Dr. Mustafa Ergin ŞAHİN'e en içten teşekkürlerimi sunuyorum.

Ayrıca bu süreçte desteklerini esirgemeyen aileme çok teşekkür ederim.

Hakan AKAY  
Trabzon 2022

## TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “PV Panellerde Hücre Malzemesi ve Çevre Koşullarının Değişimine Bağlı Olarak Panel Sıcaklığı ile Elektrik Üretiminin Teorik Model ve Yapay Sinir Ağlarıyla İncelenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğretim Üyesi Hakan KAHVECİ'nin sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 07/07/2022

Hakan AKAY

## İÇİNDEKİLER

	<b><u>Sayfa No</u></b>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET .....	VII
SUMMARY .....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XII
SEMBOLLER DİZİNİ .....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş .....	1
1.2. Güneş Enerjisi .....	3
1.3. PV Panel Türleri .....	4
1.4. Literatür Taraması .....	4
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	12
2.1. Fotovoltaik Paneller.....	12
2.2. Teorik Modelleme .....	12
2.3. Yapay Sinir Ağları.....	16
3. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	19
3.1. Doğrulama .....	19
3.2. Teorik Çalışmalar .....	19
3.3. Yapay Sinir Ağları Modeli .....	32
3.3.1. P-Si PV Panel İçin YSA Modeli ve Teorik Modelin Karşılaştırılması .....	36
3.3.2. Ge PV Panel İçin YSA Modeli ve Teorik Modelin Karşılaştırılması .....	38
3.3.3. M-Si PV Panel İçin YSA Modeli ve Teorik Modelin Karşılaştırılması.....	40
3.3.4. Cd-Te PV Panel İçin YSA Modeli ve Teorik Modelin Karşılaştırılması.....	42
4. SONUÇLAR.....	45
5. ÖNERİLER .....	46
6. KAYNAKLAR.....	47

7. EKLER .....	51
ÖZGEÇMİŞ	



Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

PV PANELLERDE HÜCRE MALZEMESİ VE ÇEVRE KOŞULLARININ DEĞİŞİMİNE  
BAĞLI OLARAK PANEL SICAKLIĞI İLE ELEKTRİK ÜRETİMİNİN TEORİK  
MODEL VE YAPAY SİNİR AĞLARIYLA İNCELENMESİ

Hakan AKAY

Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAHVECİ  
2022, 50 Sayfa, 7 Sayfa Ek

Günümüzde enerji tüketiminin artışından kaynaklı olarak fosil yakıt tüketiminin artışına bağlı birçok çevresel sorun ortaya çıkmaktadır. Bu durumu engellemek adına yenilenebilir enerji kaynaklarına dünya genelinde bir yönelim mevcuttur. Yenilenebilir enerjiden elektrik üreten sistemler arasında en yaygın olanı fotovoltaik güneş panelleridir. Bu çalışmada değişen radyasyon değerine, rüzgâr hızına, ortam sıcaklığına bağlı olarak PV panel sıcaklığı ve elektrik üretimi teorik olarak ve yapay sinir ağları kullanılarak modellenmiştir. Ayrıca PV panel hücresi olarak çokça kullanılan M-Si, P-Si, Ge ve Cd-Te malzemeleri seçilmiş ve çevre koşulları ile etkileşimleri incelenmiştir. Sonuçlar tüm PV hücrelerinde rüzgâr hızının artışının, ortam sıcaklığının düşüşünün ve radyasyon miktarının artışının elektrik üretimini önemli miktarda artırdığını göstermiştir. Bunun yanında silisyum katkılı P-Si ve M-Si malzemelerinin çevre koşullarından minimum oranda etkilendiğini göstermiştir. Ayrıca en yüksek elektrik üretimi M-Si malzemeli PV hücreleri için elde edilirken, en düşük elektrik üretimi Ge malzemeli PV hücreleri için elde edilmiştir. Son olarak oluşturulan modelin kullanıcı tarafından kolaylıkla kullanılabilmesi ve hızlı sonuçların alınabilmesi için teorik model ile yakın sonuçlar veren yapay sinir ağı modeli oluşturulmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** PV panel, PV hücre, Panel sıcaklığı, Elektriksel güç, Güneş enerjisi, Yenilenebilir Enerji, Yapay sinir ağları, Yapay zekâ

Master Thesis

SUMMARY

INVESTIGATION OF PANEL TEMPERATURE AND ELECTRICITY PRODUCTION  
WITH THEORETICAL MODELS AND ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS  
DEPENDING ON THE CHANGE OF CELL MATERIAL AND ENVIRONMENTAL  
CONDITIONS IN PV PANELS

Mehmet Ali KÜÇÜK

Karadeniz Technical University  
The Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Electrical and Electronics Engineering Graduate Program  
Supervisor: Asst. Prof. Hakan KAHVECİ  
2022, 50 Pages, 7 Pages Appendix

Today, many environmental problems arise due to fossil fuel consumption, which is used to meet the increasing energy need. In order to prevent this situation, there is a worldwide trend toward renewable energy sources. Photovoltaic solar panels are the most common among the systems that generate electricity from renewable energy. In this study, the effects of changing radiation value, wind speed, and ambient temperature on PV panel temperature and electricity generation are modeled using both theoretical models and artificial neural networks. In addition, M-Si, P-Si, Ge and Cd-Te materials, which are widely used as PV panel cells, were selected and their interaction with environmental conditions was investigated. The results showed that the increase in wind speed, at lower ambient temperature, and higher amount of radiation significantly increased the electricity production in all PV cells. In addition, it has been shown that silicon doped P-Si and M-Si materials are minimally affected by environmental conditions. In addition, the highest electricity generation was obtained for PV cells with M-Si material, while the lowest electricity generation was obtained for PV cells with Ge material. Finally, an artificial neural network model was created, which gives close results to the theoretical model, so that the created model can be easily used by the user and fast results can be obtained.

**Keywords:** PV panel, PV cell, Panel temperature, Electrical power, Artificial neural networks, Artificial intelligence

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa No</u></b>
Şekil 2.1. PV panel termal modeli ve bileşenleri [38].....	13
Şekil 2.2. Yapay sinir ağlarının yapısı.....	17
Şekil 3.1. Mevcut teorik modelin literatür ile panel sıcaklıkları cinsinden doğrulanması [44]. ....	19
Şekil 3.2. P-Si PV panel hücresinin 20 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri.....	20
Şekil 3.3. P-Si PV panel hücresinin 20 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi .....	20
Şekil 3.4. P-Si PV panel hücresinin 25 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri.....	21
Şekil 3.5. P-Si PV panel hücresinin 25 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi .....	21
Şekil 3.6. P-Si PV panel hücresinin 30 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri.....	22
Şekil 3.7. P-Si PV panel hücresinin 30 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi .....	22
Şekil 3.8. Germanyum PV panel hücresinin 20 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri .....	23
Şekil 3.9. Germanyum PV panel hücresinin 20 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi .....	23
Şekil 3.10. Germanyum PV panel hücresinin 25 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri .....	24
Şekil 3.11. Germanyum PV panel hücresinin 25 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi .....	24
Şekil 3.12. Germanyum PV panel hücresinin 30 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri .....	25
Şekil 3.13. Germanyum PV panel hücresinin 30 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi .....	25
Şekil 3.14. Cd-Te PV panel hücresinin 20 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri.....	26
Şekil 3.15. Cd-Te PV panel hücresinin 20 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi .....	26

Şekil 3.16.	Cd-Te PV panel hücresinin 25 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri.....	27
Şekil 3.17.	Cd-Te PV panel hücresinin 25 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi .....	27
Şekil 3.18.	Cd-Te PV panel hücresinin 30 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri.....	28
Şekil 3.19.	Cd-Te PV panel hücresinin 30 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi .....	28
Şekil 3.20.	M-Si PV panel hücresinin 20 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri.....	29
Şekil 3.21.	M-Si PV panel hücresinin 20 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi .....	29
Şekil 3.22.	M-Si PV panel hücresinin 25 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri.....	30
Şekil 3.23.	M-Si PV panel hücresinin 25 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi .....	30
Şekil 3.24.	M-Si PV panel hücresinin 25 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri.....	31
Şekil 3.25.	M-Si PV panel hücresinin 30 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi .....	31
Şekil 3.26.	Sinir ağı diyagramı [45]. .....	32
Şekil 3.27.	YSA hata histogram diyagramı .....	33
Şekil 3.28.	YSA performans analizi .....	33
Şekil 3.29.	YSA regresyon grafikleri .....	34
Şekil 3.30.	YSA eğitim durumu grafiği.....	35
Şekil 3.31.	P-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık değerleri (T <sub>ç</sub> =23 °C) .....	36
Şekil 3.32.	P-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli güç değerleri (T <sub>ç</sub> =23 °C)....	36
Şekil 3.33.	P-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık değerleri (T <sub>ç</sub> =27 °C) .....	37
Şekil 3.34.	P-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli güç değerleri (T <sub>ç</sub> =27 °C)....	37
Şekil 3.35.	Germanyum PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık değerleri (T <sub>ç</sub> =23 °C) .....	38

Şekil 3.36.	Germanyum PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli güç değerleri ( $T_{\text{ç}}=23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) .....	38
Şekil 3.37.	Germanyum PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık değerleri ( $T_{\text{ç}}=27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) .....	39
Şekil 3.38.	Germanyum PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli güç değerleri ( $T_{\text{ç}}=27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) .....	39
Şekil 3.39.	M-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık değerleri ( $T_{\text{ç}}=23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) .....	40
Şekil 3.40.	M-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli güç değerleri ( $T_{\text{ç}}=23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ..	40
Şekil 3.41.	M-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık değerleri ( $T_{\text{ç}}=27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) .....	41
Şekil 3.42.	M-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli güç değerleri ( $T_{\text{ç}}=27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) ..	41
Şekil 3.43.	Cd-Te PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık değerleri ( $T_{\text{ç}}=23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) .....	42
Şekil 3.44.	Cd-Te PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli güç değerleri ( $T_{\text{ç}}=23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ).	42
Şekil 3.45.	Cd-Te PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık değerleri ( $T_{\text{ç}}=27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) .....	43
Şekil 3.46.	Cd-Te PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli güç değerleri ( $T_{\text{ç}}=27 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ).	43

## TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. PV panel termal ve fiziksel özellikleri [38, 39]. .....	16
Tablo 2.2. Farklı PV panel türlerinin termal özellikleri [40]. .....	16
Tablo 3.1. YSA iterasyon parametreleri.....	35
Ek Tablo 1. P-Si PV panel hücresinin değişen parametrelere bağlı sıcaklık ve elektrik üretimleri.....	51
Ek Tablo 2. Ge PV panel hücresinin değişen parametrelere bağlı sıcaklık ve elektrik üretimleri.....	52
Ek Tablo 3. Cd-Te PV panel hücresinin değişen parametrelere bağlı sıcaklık ve elektrik üretimleri.....	53
Ek Tablo 4. M-Si PV panel hücresinin değişen parametrelere bağlı sıcaklık ve elektrik üretimleri.....	54
Ek Tablo 5. P-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık ve güç değerleri.....	55
Ek Tablo 6. Ge PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık ve güç değerleri.....	55
Ek Tablo 7. Cd-Te PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık ve güç değerleri .	56
Ek Tablo 8. M-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık ve güç değerleri ...	56

## SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Alan, m <sup>2</sup>
G	: Radyasyon, W/m <sup>2</sup>
h	: Isı Transferi Katsayısı, W/m <sup>2</sup> K
k	: Isıl İletkenlik, W/mK
L	: Kalınlık, m
m	: Kütle, kg
R	: Termal Direnç, m <sup>2</sup> K/W
T	: Sıcaklık, °C
t	: Zaman, s
Q	: Enerji, J/kJ
V	: Hız, m/s
$\eta$	: Verim, %
$\beta$	: Güneş Hücresi Sıcaklık Katsayısı
$\varepsilon$	: Emicilik
$\alpha$	: Termal Yayılım
$\sigma$	: Stefan Boltzmann Sabiti
al	: Alüminyum
atık,alt	: Alt Yüzeyden Atık
atık,üst	: Üst Yüzeyden Atık
CFD	: Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
EVA	: EVA
EVA,alt	: EVA altı
g	: Gökyüzü
konv	: Konveksiyon
opt	: Optik
PV	: Fotovoltaik
rad	: Radyasyon
ref	: Referans

rüz	: Rüzgar
top	: Toplam
top, üst	: Üst Yüzeyden Toplam
top, alt	: Alt Yüzeyden Toplam
y	: Yüzey
YSA	: Yapay Sinir Ağları
y,üst	: Üst Yüzey
y,alt	: Alt Yüzey



## 1. GENEL BİLGİLER

### 1.1. Giriş

Sürekli artan dünya nüfusu ve buna bağlı olarak artan sanayileşme dünya çapında enerji ihtiyacına olan talebin artmasına neden olmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) raporlarına göre, dünyadaki enerji tüketimi 2021 yılında %6 artış göstermiştir [1]. Sürekli artış gösteren enerji gereksiniminin; kömür, doğalgaz, petrol ve türevlerinden oluşan fosil yakıtlar gibi yenilenemez enerji kaynaklarından elde edilmesi sürdürülebilir olmaktan uzaktır. Bu sebeple rüzgâr, biyokütle, hidroelektrik, jeotermal, dalga, gelgit ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim her geçen gün artmaktadır [2].

Yenilenebilir olmayan enerji kaynaklarının tekrar oluşması son derece yavaştır. Bu sebeple artan enerji talebi karşısında, enerji talebinin çoğunluğunu karşılayan bu kaynaklar hızla tükenmektedir. Yenilenebilir kaynaklar ise doğada var olan, kendini yenileyebilen, sürekliliği olan kaynaklardır. Kullanımdaki payı en yüksek olan fosil kaynaklar yüksek miktarda sera gazı meydana çıkarmakta ve küresel ısınmaya sebep olmaktadır. Bu durumu azalmanın etkili yollarından birisi de yüksek miktarda CO2 salınımına sahip fosil yakıtlar yerine yenilenebilir kaynakları kullanmaktır. Yenilenebilir enerji, enerjinin güneş, rüzgâr, biyokütle veya hidroelektrik gibi yenilenebilir kaynaklardan dönüştürüldüğü anlamına gelirken, temiz enerji, enerji dönüştürücü bileşenlerin tüm yaşam döngüsü boyunca çevreyi etkileyen süreçlerini içermez. Rüzgâr ve hidroelektrik santrallerinin çevreyi olumsuz etkilemesi, uzun vadede güneş enerjisini daha uygun temiz enerji kaynağı olarak bırakmaktadır.

Bu kaynaklardan en sık kullanılanlardan birisi de güneş enerjisidir. Güneş enerjisi temiz enerji kategorisindedir. Kömür, petrol, doğalgaz gibi enerji kaynaklarının hızla tükenmesi ve bu enerji kaynaklarının çevresel etkileri de düşünüldüğünde, güneş enerjisinin potansiyeli oldukça yüksektir [3]. Güneş ışığı tükenmeyen bir kaynak olmasının yanında, çevreyi kirletici olmayan tek enerji kaynağıdır. [4]. Güneş enerjisi aynı zamanda en hızlı büyüyen yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir ve en fazla kullanılabilirliğe sahiptir. Güneş enerjisi taşıt, konut, uzay ve deniz uygulamaları gibi birçok alana uygulanabilir.

Güneş enerjisini elektrik enerjisine çevirmek için, Yunanca ışık birimi olan foton (photo) ve gerilim birimi olan volt (voltaic) kelimelerinden türetilen fotovoltaik (PV)

paneller kullanılmaktadır [5]. PV paneller ışık enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bir PV hücresi güneş ışığına maruz kaldığında, ışığın emilen miktarı elektrik enerjisine dönüştürülür. PV hücresinin atomlarındaki elektronlar, güneşten gelen ışığın enerjisiyle enerjilendirilir ve bu enerjiyle elektronlar yarı iletken PV malzemedeki konumlarından hareket eder. Bu hareketle PV hücre terminallerine bağlı harici bir elektrik devresi aracılığıyla elektrik akımı oluştururlar. Bu akım harici bir yükten geçirilerek potansiyel fark oluşması sağlanır [2]. Bir PV hücresinde elektrik alanını indüklemek için iki farklı yarı iletken malzeme katmanı birbirine temas edecek şekilde yerleştirilir. n-tipi olan katman elektron bolluğuna sahip ve negatif yüklü iken, p-tipi olan diğer katmanda bol miktarda elektron boşluğu vardır ve pozitif yüklüdür. Bu iki katmanın birbirine temas etmesi bir p/n bağlantısı oluşturur ve bu sayede bir elektrik alanı meydana gelir. Bu temasta fazla elektronlar n-tipi taraftan p-tipi tarafa doğru hareket eder. Sonucunda n-tipi tarafı boyunca bir pozitif yük, p-tipi tarafı boyunca negatif bir yük oluşur. Bu sayede katmanların birleştiği yüzeyde p/n eklemi adı verilen bir elektrik alanı oluşur. Bu elektrik alanı, elektronların akımı taşımak için yarı iletkenin negatif yüzeye doğru hareket etmesini sağlar. Aynı zamanda boşluklar gelen elektronları bekledikleri pozitif tarafa doğru zıt yönde hareket eder [6].

PV sistemi, umut verici yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak ilgi görmektedir. Bunun yanında PV sisteminin performansı güneş radyasyonuna, PV panelin boyutuna ve depolama kapasitesine bağlıdır [7]. Bu sebeple doğru boyutlandırma PV sistemlerinin verimliliği üzerinde önemli rol oynar [8].

Güneş enerjisi teknolojisinin kullanımı özellikle gelişmekte olan ekonomiler için en umut verici yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarından birini sunmaktadır [9]. Bunun yanında fotovoltaik sistemler düşük verimliliği nedeniyle farklı iklim koşulları altında maksimum güç ve enerji üretiminin optimizasyonuna ihtiyaç duymaktadır. Herhangi bir zamanda güneş paneli üzerine düşen güneş enerjisi miktarı; radyasyon, enlem, boylam, dünyanın güneşe göre konumu, güneş panelinin yönü ve eğimi gibi birçok bileşenin karmaşık bir fonksiyonundan ortaya çıkmaktadır [10].

PV paneller birçok avantajının yanında sıcaklıktan ve performans düşüşünden oldukça fazla etkilenirler. Bu sebeple PV panellerin çalışma sıcaklığını düşürmek hem panel ömrü açısından hem de elektrik üretiminin verimi açısından çok önemlidir. Güneş pilleri teknolojisindeki gelişmelere rağmen verimliliğin oldukça düşük olması bu alanda yapılabilecek iyileştirmelerin olduğunu göstermektedir. Bu tezin amacı farklı koşullar

altında ve farklı tiplerdeki panelleri incelemek ve bu verilerle bir yapay zeka modeli eğitilerek kullanıcıların hesaplamaları kolay bir şekilde hızlı sonuçlar elde edilebilmesini sağlamaktır.

## 1.2. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi bilindiği üzere dünya için çok büyük enerji kaynağıdır. Dünyanın bir yılda ihtiyaç duyduğu enerjiyi bir dakika gibi bir sürede sağlayabilir. Güneş enerjisi ücretsiz ve tükenmez sayılabilecek bir kaynak olmasına rağmen güneş enerjisinden faydalanma fikri çok yeni bir fikir olarak karşımıza çıkmaktadır. Ancak bu kısa süreye rağmen bu alanda çok büyük yol kat edilmiştir.

Fotovoltaik güneş enerjinin birçok avantajı olması onu günümüzde en umut verici yenilenebilir enerji kaynaklarından biri konumuna getirmektedir. Diğer enerji üretim yöntemlerine kıyasarsak bozulabilecek bir hareketli parçası yoktur ve bu sebeple çok daha az bakım gerektirir. Denetim gerektirmez ve işletme maliyetleri düşüktür. Ortalama 20-30 yıllık bir ömre sahiptir. İhtiyaca ve fiziksel olanaklara bağlı olarak küçük ölçekler de veya çok büyük ölçeklerde kurulumu yapılması mümkündür. Bunların yanında fotovoltaik güneş enerjisi, elektriğin olmadığı uzak bölgeler için de çok iyi bir çözüm sunmaktadır. Bu bölgelere çekilecek uzun hatlarının maliyetlerine kıyasla güneş enerjisi sistemlerinin kurulması daha az maliyetli ve daha pratik bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

Güneş enerjisinin bu avantajlarının yanı sıra temel dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar bölgenin aldığı güneş ışığı miktarı ve ekipman maliyetidir. Bir bölgenin aldığı ışık miktarı o bölgenin coğrafi konumuna, mevsime, gün içerisinde saate ve bulutluluk oranına bağlı olarak büyük ölçüde değişkenlik göstermektedir. Değiştirilmesi mümkün olmayan bu argümanların sonucunda güneş paneline belli bir miktarda güneş enerjisi ulaşır. Benzer şekilde güneş panellerinin de yapısı gereği bu enerjinin tamamını elektrik enerjisine dönüştürmek mümkün değildir. Kullanılan panel tipine, panele ulaşan radyasyon miktarına, ortam sıcaklığına ve rüzgâr hızına bağlı olarak PV panele ulaşan ve dolayısıyla elektrik enerjisine dönüştürülen enerji miktarı değişkenlik göstermektedir. Bu çalışmada farklı panel türlerinin değişen çevre şartları altındaki sıcaklık değişimi ve elektrik üretiminin teorik olarak hesaplanması çalışması yapılmıştır.

### 1.3. PV Panel Türleri

Güneş pilleri genel olarak yapıldıkları yarı iletken malzeme ile adlandırılırlar. Bu çalışmada kullanılan panel tipleri M-Si, P-Si, Ge ve Cd-Te olarak isimlendirilen panel türleridir.

M-Si (Monokristal silikon) günümüzde neredeyse tüm elektronik cihazlarda kullanılan silikon çiplerin temel malzemesidir. M-Si malzeme aynı zamanda güneş panellerinde de ışık emici malzeme olarak kullanılmaktadır. M-Si saf silikondan oluşabileceği gibi yarı iletken özelliklerini değiştirmek için eklenen az miktarda başka elementler de içerebilir [11].

P-Si (Polikristal silikon) güneş paneli ve elektronik endüstrisi tarafından hammadde olarak kullanılan yüksek saflıkta, silikonun bir polikristal şeklidir. Bu çok kristalli güneş pilleri hızla büyüyen PV panel pazarında en yaygın kullanılan güneş pili türüdür. Aynı zamanda dünya çapında üretilen polisilikonun çoğu da bu alanda kullanılmaktadır. 1 megawatt (MW) güneş modülü üretmek için yaklaşık 5 ton polisilikon gerekmektedir [12].

Ge (germanyum) malzeme silikona göre daha dar bir çalışma alanına sahiptir. Verimi de silisyum malzemeli panellere göre daha düşüktür. Bu sebeple tek başına güneş pili olarak kullanılması tercih edilmemektedir. Bunun yanında farklı elementlerle birlikte kullanımları da mevcuttur.

Cd-Te (Kadmiyum tellür) PV paneller diğer güneş panellerinde olduğu gibi güneş ışığını emmek ve elektrik enerjisine dönüştürmek için tasarlanmış ince bir tabaka olan kadmiyum tellür kullanımına dayanan bir PV panel teknolojisidir [13]. Cd-Te paneller yüksek güçlü sistemlerde kristal silikondan yapılmış geleneksel güneş pillerine göre daha düşük maliyetli tek bir ince filminden yapılmaktadır. Bunun yanında Cd-Te tüm güneş enerjisi teknolojileri arasında en küçük karbon ayak izine, en düşük su kullanımına ve kısa geri ödeme süresine sahiptir [14].

### 1.4. Literatür Taraması

Literatürde solar panelin çalışmasını inceleyen, verimini artırmaya yönelik araştırma yapan ve çevreye etkilerini değerlendiren pek çok çalışma mevcuttur. Örneğin, Barbon vd. maksimum enerji üretimini hedefleyen düzensiz düz çatı şekilleri üzerine kurulu fotovoltaik sistemlerin dağıtımının optimizasyonu için genel bir algoritma araştırmışlardır. Karşılaştırma için fotovoltaik alan alanı kazancı, enerji kazancı ve seviyelendirilmiş enerji

maliyeti parametrelerini değerlendirmişlerdir. Optimum fotovoltaiik modül yerleşimiyle, Jacobson denkleminde göre %35,52'lik maksimum fotovoltaiik alan alanı kazancını ve *IDA*E Teknik Rapora göre minimum %32,29'luk fotovoltaiik alan kazancını elde etmişlerdir. Optimum fotovoltaiik modül yerleşimiyle ise, Jacobson denkleminde göre maksimum %27,83 ve *IDA*E Teknik Rapora göre minimum %24,84 enerji kazancı elde edilmiştir. Optimal *PV* modül yerleşiminin optimize edilmiş enerji maliyeti, incelenen diğer düzenlemelerinkinden daha düşük elde edilebilmiştir [15].

Elaziz vd. tek ve çift diyotlu *PV* model problemleri için bilinmeyen parametreleri belirlemek için optimizasyon tabanlı yeni bir yöntem tanıtmışlardır. Önerdikleri yöntem, *IGBO* olarak adlandırılan klasik gradyan tabanlı optimizasyonun geliştirilmiş bir versiyonudur. *IGBO* yöntemiyle, araçların çeşitliliğini artırmak için yeni bir çaprazlama operatörü kullanılmıştır. Önerilen algoritma, beş farklı tipte *PV* hücre/modül kullanan beş deney serisi ile incelenmiştir. Önerdikleri yöntemle, tek ve çift diyotlu *PV* modelleri için beş test durumunun tümünde standart klasik gradyan tabanlı optimizasyona kıyasla daha iyi sonuçlar edilmiştir [16].

Hmammou vd. fotovoltaiik (*PV*) panellerin elektriksel parametrelerini çıkarmak için Lambert *W*-fonksiyonuna dayalı yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Bu yaklaşım ile, değişken radyasyon ve sıcaklık koşulları altında *PV* panelinin optimum elektriksel özelliklerini saptamalarıdır [17].

Öte yandan solar panellerin ısı dağılımlarının iyileştirilmesi ve soğutulması da araştırmacıların sıklıkla çalıştığı konulardandır. Mankani vd. değişken kanat aralığı, taban plakası kalınlığı, kanat yüksekliği ve kanat kalınlığının ısı yayılım hızı üzerindeki etkilerini araştırmak için kademeli bir optimizasyon çalışması yapmışlardır. Ayrıca, ısı alıcının temel özellikleri, malzemesi alüminyuma dönüştürülerek incelenmiştir. Baz model soğutucuyla, 42 °C ortam sıcaklığında *PV* hücre sıcaklığını 27 °C'ye düşürebilmişlerdir. 7, 0,0025 m, 0,12 m ve 0,002 m'lik optimize edilmiş kanatçık aralığı, taban plakası kalınlığı, kanat yüksekliği ve kanat kalınlığıyla, ortalama panel sıcaklıklarını sırasıyla %3,5, %4 ve %9 oranında azaltabilmişlerdir. Bakırın kullanılmasının etkili bir soğutucu malzeme olduğu gözlemlenmesine karşın, optimize edilmiş soğutucu yapısının kullanılmasına rağmen alüminyum kullanılmasıyla birlikte ortalama panel sıcaklığının %2 arttığı saptanmıştır [18].

Jafari ise jeotermal soğutma ve mini kanallı ısı değiştirici kombinasyonunun *PV* panellerin yüzey sıcaklığının azaltılması ve elektrik üretiminin iyileştirilmesi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışmasında soğutmalı ve soğutmasız *PV* panellerin sıcaklık dağılımı

ve maksimum elektrik üretimi deneysel olarak karşılaştırılmıştır. Ek olarak, jeotermal soğutma sistemi performansını tahmin etmek için sayısal bir model oluşturulmuştur. Ayrıca, Taguchi L27 tasarımının, elektrik üretiminin yanı sıra PV panelinden toprağa yayılan ısıyı optimize etmesi hedeflenmiştir. Aynı soğutma sistemi ile net elektrik üretim iyileştirmesi panel sayısı iki katına çıkarıldığında %9,8'den %6,2'ye düşmesine rağmen, jeotermal sistemin optimizasyonu ile, elektrik üretimi %11,6 oranında artırmayı başarmıştır [19].

Mesgarpour vd. çalışmalarında, iki kombinasyonlu PV panel soğutucusu için optimum tasarımı elde etmek için tasarlanmış gözenekli ortam araştırılmışlardır. Aynı koşullar altında ayrıık dikey ve çift yatay katmanlı yapılar katı kanatçıklarla test edildikten sonra, bu iki yapı farklı porozitelerle ısıl performansı incelemek için değerlendirmişlerdir. İki model ısı emicinin gözenekliliğini optimize etmek için duyarlılık analizi, CFD ve evrimsel diferansiyel optimizasyon algoritmasının hibrit bir konfigürasyonu kullanmışlardır. Sonuç olarak, gözenekli ortamın kullanılması, aynı boyutlara sahip katı kanatçıklara kıyasla yüzey alanını %18 oranında artırmıştır. Bu artış, hacimde %14'lük bir azalma sağlamıştır. Bu gözenekli ortamın uygulanmasıyla, aynı boyutlara sahip katı kanatlara kıyasla, aynı koşullar ve boyutlar altında ısı transferinde %20,3'lük bir artış sağlanmıştır [20].

Diğer taraftan pek çok farklı mühendislik disiplinde yararlanılan yapay sinir ağlarından (YSA), solar paneli ve bileşenlerinin iyileştirilmesi, izlenilmesi ve solar panellerin performansını artırılması gibi konularda da yararlanılmıştır. Bouselham vd. kısmen gölgeli koşullar altında global maksimum güç noktasını izlemek için yeni bir yöntem tanıtmıştır. Çalışmasında bir YSA denetleyicisini bir tarama algoritmasıyla birleştirmiştir. Önerilen maksimum güç noktasını izleme algoritması ile PV sistemi, Matlab/Simulink ortamı kullanılarak simüle edilmiştir. Simüle edilen sistem, üniform ve üniform olmayan ışınlama koşulları altında değerlendirmişlerdir. Sonuçlar, önerilen yaklaşımın maksimum güç noktasını izlemede etkili olduğunu bulmuşlardır [21].

Bir diğer YSA çalışmasında Mellit, uzak bölgelerdeki bağımsız PV sistemlerinin boyutlandırma eğrisini oluşturmak için farklı bir metodoloji önermiştir. Bu metodolojiyi, boyutlandırma eğrisini oluşturmak için bir genetik algoritma ve sayısal bir yöntemle optimize edilmiş hibrit ileri beslemeli sinir ağının kullanımına dayandırmıştır. Mellit bu çalışmasıyla, gerçek ile tahmini sonuçlar karşılaştırıldığında, uzak bölgelerde boyutlandırma eğrisini tahmin etmek ve oluşturmak için önerilen tekniğin etkin olduğunu gözlemlemiştir. Bu metodolojiyle, boyutlandırma eğrisini oluşturmak için yalnızca coğrafi koordinatlara ve belirtilen yük kaybı olasılığının yeterli olacağını belirtmiştir. Bu nedenle, bu eğrilerden,

fotovoltaik sistem kullanıcılarının belirli bir konum ve yük için gereken PV modüllerinin ve pillerin sayısını hesaplamasına izin veren optimal boyut çifti tahmin edilebilir [22].

Karamirad vd. gerçekçi hava koşullarında fotovoltaik panel davranışlarını tahmin etmek için yapay sinir ağı (YSA) kullanmıştır. YSA sonuçları, fotovoltaik panel modülünün analitik dört ve beş parametrelili modelleri ile karşılaştırılmıştır. Modellerin girdi parametreleri günlük toplam ışınım, hava sıcaklığı ve modül voltajı, çıkışlar ise panel tarafından üretilen akım ve güçtür. Fotovoltaik panel modül simülasyonundan ve optimal YSA modelinden elde edilen sonuçlar deneysel olarak doğrulanmıştır. Sonuçlar, YSA modelinin, analitik modellere göre fotovoltaik panel modülünün akımı ve gücü hakkında daha iyi bir tahmin sağladığını göstermiştir [23].

Geetha vd. güneş radyasyonunu güvenilir bir şekilde tahmin edebilen verimli bir sinir ağı modeli oluşturmayı amaçlamıştır. Çalışmalarında, literatürden beğenilen üç popüler algoritmaya sahip farklı YSA modelleri incelenmiştir. Sonuç olarak, YSA modelinin tahmin performansının ağı eğitmek için kullanılan tüm veri setine bağlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca bu makaleyle, geliştirilen model için gizli katman nöronlarının doğru sayısını bulmayı amaçlamıştır. Önerilen YSA modeliyle, meteorolojik veri toplama tesisleri olmayan alanlarda fotovoltaik panel (PV) kurulumlarını tasarlamak veya değerlendirmek amacıyla saatlik ortalama küresel radyasyonu tahmin etmek için gelişmiş doğruluk ve uygulanabilirlik sunmuşlardır [24].

Alonso-Montesinos vd. yapay sinir ağlarının kullanımıyla birlikte meteorolojik değişkenleri kullanarak bu atenuasyonu tahmin eden "Extinction" adlı bir metodoloji sunmuşlardır. Doğrudan normal ışınım, bağıl nem, sıcaklık ve basınç, "Extinction"ı tahmin etmek için gereken meteorolojik değişkenler olarak değerlendirilmiştir. Tahminlerden elde edilen sonuçlar, 0.88'lik bir korelasyon katsayısı değeri, %0'lık bir normalleştirilmiş Ortalama Önyargı Hatası ve %7'lik bir normalleştirilmiş Ortalama Kare Kök Sapması elde etmişlerdir [25].

Sivaneasan vd. bulanık mantık ön işleme ile yapay sinir ağı (YSA) modeline dayalı gelişmiş bir güneş tahmin algoritması önermiştir. Çalışmasında, yapay sinir ağı eğitim algoritması olarak üç katmanlı (giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı) geri yayılım modeli ile ileri besleme önerilmiştir. Tahmin hatasını en aza indirmek için giriş katmanına önceki 5 dakikalık tahmini çıktıya dayalı bir hata düzeltme faktörü dahil edilmiştir. Bu sayede daha doğru bir tahmin üretilmesi hedeflenmiştir. Hava durumu bilgisi, YSA modeli için önemli bir girdi olduğunu ve tahmin gününde güneş ışınımı veya sıcaklıkta hızlı

değişiklikler olması durumunda, üretilen güneş enerjisinin büyük ölçüde değişeceğini ve tahmin hatasının önemli ölçüde artacağını belirtmişlerdir. Geleneksel tahmin yöntemlerinde, YSA, benzerlik eğilimini öğrenmek için tüm benzer günlerin verilerini kullanıldığı, bununla birlikte, tüm benzer günlerin verilerini öğrenmek oldukça karmaşık olacağı ve aynı gün içinde hava koşullarının aniden değişmesi yardımcı olmayacağı ifade edilmiştir. Bu nedenle, hava durumu bilgilerinin gerçek zamanlı analizini gerçekleştirebilen ve bunu tahmin çıktısına dahil edebilen bir ön işleme aşaması olan YSA'ya entegre etmek gerekli olduğunu söylemişlerdir. Bulut örtüsü, sıcaklık, rüzgâr hızı ve rüzgâr yönü ile ışıınım değeri arasındaki veri korelasyonunu bulmak için önerilen YSA modeline bulanık bir ön işleme araç kutusu eklenmiştir. Önerilen tahmin algoritmasının doğruluğu, diğer YSA tahmin algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. Sonuçlara göre, saf bir YSA ile birleştirilmiş hata düzeltme faktörünün, uyarlanabilir hata düzeltme yeteneği nedeniyle güneş ışıınımı tahmin doğruluğunu önemli ölçüde iyileştirebileceğini kanıtlamışlardır. Bulut örtüsü endeksini bağıl nem, yağış ve günün saatine göre sınıflandırmak için bulanık bir mantık ön işleme dahil edilerek hafif bir iyileştirme de sağlanılabileceği ayrıca belirtilmiştir [26].

Rai vd. bir yapay sinir ağı (YSA) tabanlı maksimum güç noktası izleme denetleyicisinin simülasyon modeli geliştirmiştir. Kontrolörü, bir ANN izleyici ve optimal kontrol ünitesinden oluşturmuşlardır. YSA izleyici, değişken hücre sıcaklığı ve güneş radyasyonu için güneş PV (fotovoltaik) dizisi tarafından sağlanan maksimum güce karşılık gelen voltajları ve akımları tahmin edilmiş, hücre sıcaklığı, ortam hava sıcaklığının, rüzgâr hızının ve güneş radyasyonunun bir fonksiyonu olarak kabul edilmiştir. İzleyici, geri yayılım algoritması kullanılarak bir dizi 124 model kullanılarak eğitilmiştir. İzleyici çıktısının ve hedef değerlerin ortalama kare hatası 10–5 mertebesinde olacak şekilde ayarlanmıştır ve öğrenme sürecinin başarılı yakınsaması 1281 iterasyon sürmüştür. YSA izleyicinin doğruluğu, farklı test veri setleri kullanılarak doğrulanmıştır. Kontrol ünitesi, kıyıcının görev döngüsünü belirtilen yüke maksimum güç aktarımı için gereken optimum değere ayarlamak için ANN izleyicisinin tahminlerini kullanmışlardır. Simüle edilen sonuçlarla, maksimum güç noktası izleme performansında YSA tabanlı denetleyicinin geleneksel PID denetleyiciye göre üstün olduğunu ve denetleyici parametrelerinin ayarlanmasını engellediğini göstermişlerdir [27].

Boukelia vd. çalışmalarında farklı konsantre güneş paneli düzenlerinin soğutulması için su kullanımı ve güç tüketimi de dahil olmak üzere soğutma performanslarını karşılaştırmayı ve regresyon ve YSA modelleri geliştirmek sırasında bu performansları

tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Elde edilen sonuçlara göre, erimiş tuz teknolojisine dayalı konfigürasyonlar, diğer konfigürasyonlara kıyasla daha iyi soğutma performansı gösterirken, doğrudan buhar üretim tesisi en kötüsü olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca, YSA kullanılarak oluşturulan veri tabanı, farklı regresyon modelleri tarafından oluşturulandan daha doğru olduğu bulunmuştur [28].

Rizzo ve Scelba ise, elektrikli araçların çatısına kurulan fotovoltaik sistemlerde olduğu gibi, çok hızlı değişen ve homojen olmayan gölgeleme koşullarının sürekli olarak meydana geldiği herhangi bir uygulama için uygun yeni bir Maksimum Güç Noktası İzleme yöntemi önermişlerdir. Temel olarak, güneş panel sisteminin önceden belirlenmiş sayıda güç ölçümünü kullanarak güneş paneli dizisinin global maksimum güç noktasını otomatik olarak tespit etmek için Yapay Sinir Ağı (YSA) tabanlı bir yaklaşım kullanmışlardır. Bu yöntem, yalnızca güneş paneli voltajlarının ve akımlarının ölçülmesini gerektirdiğini, böylece çevresel çalışma koşulları ve güneş paneli modüllerinin sıcaklığı hakkında bilgi sağlayan ek sensörlerin kullanılmasından kaçınıldığını söylemişlerdir. Bu çalışmanın yazarlarına göre güneş paneli modüllerinden maksimum güç üretimini elde etmek için gereken zaman aralığı yaklaşık olarak sabittir ve önceden belirlenmiştir. Güç-voltaj karakteristik taramalarının sayısı arttıkça, YSA'nın maksimumu karşılama yeteneği ve tahmin doğruluğu da artar. Algoritma, ek donanım gereksinimleri ve sistem parametresi varyasyonlarına sınırlı bağımlılık olmaksızın uygun maliyetlidir. Sonuçlar, önerilen yöntemin etkinliğini doğrulamış ve önceden seçilmiş güç-voltaj karakteristik tarama sayısı, YSA'nın boyutu ve tahmin doğruluğu arasındaki dengeyi vurgulamıştır [29].

Khelil vd. YSA seçiminin arıza tespiti ve izolasyonunun doğruluğu, hızı, özgülüğü, hassasiyeti ve kesinliği, kriterleri üzerindeki etkisini incelemiştir. Bunun için beş YSA incelenmiştir: geri yayımlı YSA, genelleştirilmiş regresyon YSA, olasılıksal YSA ve iki radyal tabanlı işlev YSA. Araştırmacılar, bu YSA'ların, güneş paneli kurulumlarında en sık karşılaşılan hataları belirlemek ve bulmak için kullanıldığını ifade etmişlerdir. Beş YSA'yı aynı arızalarla karşı karşıya getirmek için aynı PV kurulumu, çalışma koşulları, veriler ve aynı teşhis algoritması kullanılarak karşılaştırma çalışması yapılmıştır. Deneysel verilere göre, çalışma, radyal tabanlı işlev YSA'ların hata varlığında algoritmanın tepki hızını etkilediğini, genelleştirilmiş regresyon ve geri yayımlı YSA'ların ise hızı ve önemli yüksek hassasiyeti ile iyi sınıflandırma verimliliği ile en iyi sonuçları sunduğunu saptanmıştır. Öte yandan, olasılıksal YSA ise, diğer algoritmalara kıyasla tüm anahtar istatistiksel kavramlar için %100 gösteren en iyi sonuçlarıyla önemini göstermektedir [30].

Şahin vd. bir güneş pili modülünü Matlab/Simulink ile modellemiş ve simülasyonunu yapmışlardır. Yapılan bu çalışmada ilk olarak güneş pilinin matematiksel modeli elde edilmiştir. Matlab/Simulink ortamında oluşturulan bu modelde farklı sayıda seri ve paralel bağlanmış hücreler, değişen sıcaklık değerleri, farklı güneş ışını miktarları, farklı malzeme yapısı ve verime bağlı olarak Akım-Gerili (I-V) ve Güç-Gerilim (P-V) eğrileri elde edilmiştir. Elde edilen bu veriler teorik sonuçlarla da karşılaştırılmıştır. Ayrıca, modellenen güneş piline farklı özelliklerdeki yükler bağlandığında ortaya çıkan çıkış akımı, çıkış gerilimi ve güç değerlerinin nasıl değişim gösterdiği de gözlemlenmiştir [31].

Şahin vd. yaptıkları çalışmada güneş pillerinin genel yapısı, türleri, üretim süreçleri ve matematiksel modelini detaylı olarak incelemiş ve ortaya çıkan matematik modeli Matlab/Simulink programı ile görsel olarak programlamışlardır. Bu modelden elde edilen simülasyon sonuçların teoride bilinen ideal PV modüller ile uyum sağladığı saptanmıştır [32].

Altaş vd. Matlab/Simulink GUI ortamında kullanılacak fotovoltaik diziler için bir simülasyon modeli tanıtmışlardır. Önerilen bu model aynı zamanda uygun arayüz ve kontrolörler kullanılarak rüzgâr, yakıt hücreleri ve küçük hidro sistemler ile birlikte bir PV güç jeneratörü olarak kullanılabilmesi için genelleştirilmiş bir yapıda oluşturulmuştur. Model, üretilen DC voltajın AC voltaja dönüştürülebileceğini ve AC yüklerin yanı sıra AC şebeke sistemine entegre edilebileceğini gösteren üç fazlı bir invertör bağlanarak simüle edilmiştir [33].

Buldu vd. fotovoltaik güneş pilleri için yaptıkları simülasyon çalışmasında güneş pillerinin basitleştirilmiş eşdeğere devre modelini kullanarak Matlab/GUI ortamı için bir arayüz oluşturmuşlardır. Bu çalışmada Newton-Raphson yöntemi kullanılarak güneş pilin akım denklemi çözümleri elde edilmiş ve bu sayede güneş paneli üreticilerinin sunmuş olduğu katalog değerleriyle örtüşen sonuçlar verdiği gözlemlenen simülasyon arayüzü oluşturulmuştur. Bu arayüz sayesinde güneş paneli için ışınlım, sıcaklık değerleri, seri direnç değerleri, hücre sayıları ve bağlantı şekilleri gibi parametreler değiştirilerek PV panelin elektrik üretimine ilişkin veriler elde edilmiştir. Yaptıkları çalışma sonucunda hem üreticiler, hem de bu alanda çalışma yapan araştırmacılar için farklı parametrelerin değişmesiyle, PV panelin çıkış parametrelerinde oluşacak değişimlerin anlayıp yorumlanabilmesi ve sistemlerini buna göre tasarlayabilecekleri bir arayüz ortaya koymuşlardır [34].

Öztürk vd. yaptıkları çalışmada genel olarak yapay sinir ağları ve yapay zekâ konusunda teknik bilgilere yer vermişlerdir. Yapay zekâ ve yapay sinir ağları konusunun

oldukça ilgi görmesine rağmen bu teknoloji hakkında çoğu kişinin bilgisinin kısıtlı olduğuna değinmişlerdir. Bunun yanında sürekli gelişen ve insanların her alandaki işlerini kolaylaştıran bu teknoloji, makinelerin de öğrenebildiği ve bu bilgiyi en doğru şekilde kullanabildiği üzerinde durulmuştur [35].



## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

### 2.1. Fotovoltaik Paneller

Fotovoltaik (PV) paneller temelde güneşten gelen fotonları emerek doğru akım üretirler [36]. Güneş ışığından gelen fotonlar PV hücresindeki yarı iletken malzemeye çarpar ve elektronların hareket etmesine neden olur. Bu hareketlilik elektrik üretimin temeli olan potansiyel farkı ortaya çıkarır.

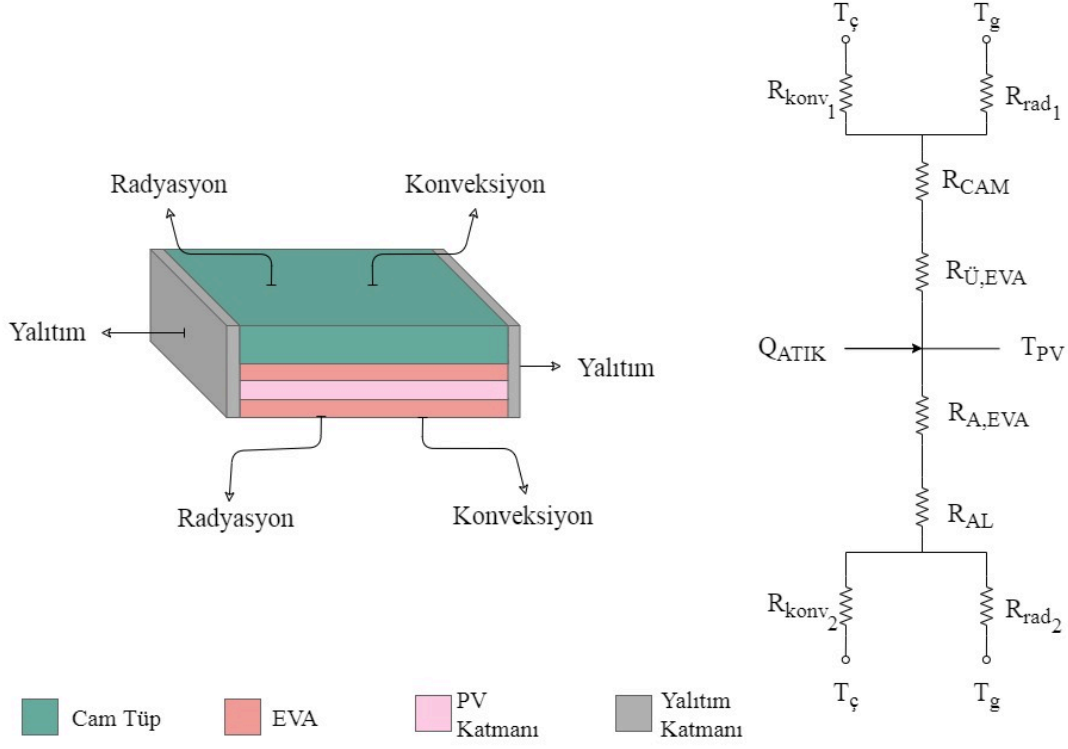
Bir PV hücresinde oluşan bu voltaj kullanıma uygun olmayacak kadar düşüktür. Işık yoğunluğuna ve diğer parametrelere bağlı olmakla birlikte bir volttan daha azdır [37]. Bu sebeple gerekli voltaj değerini ve gücünü elde edebilmek için PV hücreleri bir plastik veya cam levha üzerine seri veya paralel olacak şekilde bağlanır. Diğer güç kaynaklarında olduğu gibi PV hücrelerinin de seri bağlanması çıkış voltajını arttırırken, paralel bağlanması akımı arttırmaktadır.

Güneşten gelen ısı enerjisi sayesinde elektrik üreten bu PV hücreleri için, elektrik üretimi kısmındaki en önemli faktörlerden birisi I-V karakteristiğidir. I-V karakteristiği Bir PV modülün üreteceği akım, gerilim ve bunlara bağlı olarak güç değerlerini ortaya koyar. PV modülün bu karakteristiği ortam şartlarına bağlıdır. Güneşten gelen ışınım miktarının artması, akım ve gerilim değerlerinin artmasına, dolayısıyla üretilen gücün artmasına sebep olurken, panel sıcaklığının artması özellikle voltaj değerinin önemli ölçüde düşmesine sebep olur. Dolayısıyla bir PV modülün üreteceği elektrik enerjisinin panel tipinin yanında radyasyon miktarı ve ortaya çıkan panel sıcaklığı gibi çevresel etmenlere de bağlı olduğu söylenebilir.

### 2.2. Teorik Modelleme

Şekil (2.1)'de PV panel birleşenleri görülmektedir. Bu birleşenler cam tüp, EVA (yapıştırıcı), PV hücreleri ve yalıtım bölgesidir. Hesaplamalarda PV panel kenarları tamamen yalıtımlı kabul edilmiştir. Şekil 2.1 incelendiğinde PV panel üzerine gelen radyasyonun ısı enerjisinin bir kısmı çevreye taşınım ve ışınım ile yayılırken bir kısmında

iletim ile PV panele iletim ile transfer olmaktadır. Bu durum PV panel sıcaklığını artırmakta ve elektrik üretiminde düşüşe sebep olmaktadır.



Şekil 2.1. PV panel termal modeli ve bileşenleri [38].

PV panel sıcaklığı ve PV panelden üretilen elektrik enerjisi Şekil 2.1’de görüldüğü gibi termal direnç ağları yardımı ile hesaplanmıştır. Buna göre her bir katmanın ısı direnci aşağıda gösterilmiştir. Buna göre, öncelikle panelin alt üst yüzeyinde meydana gelen radyasyon ve konveksiyon kayıplarını temsil eden  $R_{topifadesi}$  Eşitlik (2.1)’deki görüldüğü gibi ifade edilmiştir.

$$R_{top} = \frac{1}{h_{comb}A_{PV}} \quad (2.1)$$

Eşitlikte görülen  $A_{PV}$ , PV panel alanını,  $h_{comb}$ , birleşik ısı transfer katsayısını göstermektedir.  $h_{comb}$  ifadesinin hesaplanabilmesi için çevre sıcaklığı ( $T_{ç}$ ) gökyüzü sıcaklığına ( $T_g$ ) eşit alınmış ve bu kabul ile aşağıda görülen eşitlik yazılabilmektedir [38].

$$h_{top} = h_{konv} + h_{rad} \quad (2.2)$$

Eşitlik (2.2)'de görülen  $h_{konv}$ , konveksiyon ısı transfer katsayısı ve  $h_{rad}$ , radyasyon ısı transfer katsayısıdır. Bu iki değer Eşitlik (2.3) ve (2.4)'ten hesaplanmıştır:

$$h_{konv} = 2.8 + 3V_{rüz} \quad (2.3)$$

$$h_{rad} = A_{pv} \sigma \varepsilon (T_y^2 + T_g^2)(T_y + T_g) \quad (2.4)$$

Burada  $V_{rüz}$  rüzgâr hızını,  $T_y$ , yüzey sıcaklığını ve  $T_g$ , gökyüzü sıcaklığını temsil etmektedir. Cam, EVA ve alüminyum katmanlarında iletim ile oluşan ısı dirençler ise aşağıdaki gibidir:

$$R_{cam} = \frac{L_{cam}}{k_{cam} A_{PV}} \quad (2.5)$$

$$R_{EVA} = \frac{L_{EVA}}{k_{EVA} A_{PV}} \quad (2.6)$$

$$R_{Al} = \frac{L_{Al}}{k_{Al} A_{PV}} \quad (2.7)$$

Eşitliklerde görülen  $L_{cam}$ ,  $L_{EVA}$  ve  $L_{Al}$  ifadeleri sırasıyla cam, EVA, alüminyum katmanlarının kalınlıklarını,  $k_{cam}$ ,  $k_{Al}$  ve  $k_{EVA}$  ise sırasıyla cam, EVA ve alüminyum katmanlarının ısı iletkenliklerini göstermektedir.

Geleneksel PV panel yukarıda verilen ısı dirençler yardımı ile Eşitlik (2.8) ve (2.9)'da gösterildiği gibi tanımlanmıştır. Eşitlik (2.8) ve (2.9) yazılırken enerjinin korunumu ilkesinden yararlanılmıştır. İlk olarak Eşitlik (2.8)'e göre panelin üst yüzeyinden gökyüzüne kaybedilen atık ısının, PV panelden gökyüzüne olan ısı kaybına eşit olduğu vurgulanmıştır. İkinci olarak Eşitlik (2.9)'da ise alt yüzeyden gökyüzüne olan ısı kaybının, PV panelden gökyüzüne olan ısı kaybına eşit olduğu vurgulanmıştır.

$$\dot{Q}_{atık,üst} = \left( \frac{T_{y,üst} - T_g}{R_{top,üst}} \right) = \left( \frac{T_{pv} - T_g}{R_{EVA,üst} + R_{cam} + R_{top,üst}} \right) \quad (2.8)$$

$$\dot{Q}_{atık,alt} = \left( \frac{T_{y,alt} - T_g}{R_{top,alt}} \right) = \left( \frac{T_{pv} - T_g}{R_{EVA,alt} + R_{al} + R_{top,alt}} \right) \quad (2.9)$$

Eşitlik (2.8)'de görülen  $\dot{Q}_{atık,üst}$ , üst yüzeyden çevreye olan ısı kaybını,  $T_{y,üst}$ , PV panel üst yüzey sıcaklığını ve  $R_{top,üst}$ , üst yüzeyden çevreye gerçekleşen ısıl direnci göstermektedir. Eşitlik (2.9)'da görülen  $\dot{Q}_{atık,alt}$ , alt yüzeyden çevreye olan ısı kaybını;  $T_{y,alt}$ , alt yüzey sıcaklığını ve  $R_{top,alt}$ , alt yüzeyden çevreye gerçekleşen ısıl direnci göstermektedir. Eşitlik (2.8) ve Eşitlik (2.9)'da görülen üst ve alt yüzeyden gerçekleşen ısı kayıplarının toplamı, toplam ısı kaybını verecektir. Buna göre, yukarıdaki eşitliklerden yararlanılarak PV panel sıcaklığı hesaplanabilmektedir. Aşağıda ise PV panelden elde edilen elektrik miktarını hesaplamak için kullanılan bağıntılar görülmektedir. Buna göre Eşitlik (2.10)'da PV panel verimi ifadesi verilmiştir.

$$n_{pv} = n_{ref} \left( 1 - \beta_{ref}(T_{pv} - T_{ref}) \right) \quad (2.10)$$

Eşitlik (2.10)'da görülen  $n_{ref}$ , referans verim,  $\beta_{ref}$ , güneş hücresi sıcaklık katsayısı ve  $T_{ref}$ , ifadesi referans sıcaklıktır. Eşitlik (2.11)'de ise PV panele gelen net güç ifadesi ve Eşitlik (2.12)'de ise panelden çevreye olan ısı kaybı ifadeleri görülmektedir.

$$\dot{Q}_{netPV} = G n_{op} A_{pv} \quad (2.11)$$

$$\dot{Q}_{atık} = \dot{Q}_{netPV} (1 - n_{pv}) \quad (2.12)$$

Eşitlik (2.11)'de görülen  $G$ , radyasyon miktarını ve  $n_{op}$ , ifadesi optik verimi ifade etmektedir. Eşitlik (2.12)'de görülen  $n_{inv}$  ifadesi ise invertör verimini ifade etmektedir. Son olarak Eşitlik (2.13)'te panelden elde edilen elektrik enerjisi görülmektedir.

$$\dot{W}_{elPV} = \dot{Q}_{netPV} n_{pv} n_{inv} \quad (2.13)$$

Buraya kadarki kısımda PV panel sıcaklığının hesaplanabilmesi ve elde edilen elektriksel gücün belirlenebilmesi için oluşturulan teorik modelden bahsedilmiştir. Bu hesaplamaların gerçekleştirilebilmesi için kullanılan sabitler Tablo 2.1 ve Tablo 2.2’de verilmiştir. Tablo 2.1’de PV panel birleşenlerinin kalınlıkları ve ısı iletkenlikleri görülürken Tablo 2.2’de farklı PV panel hücrelerinin termal özellikleri görülmektedir.

Tablo 2.1. PV panel termal ve fiziksel özellikleri [38, 39].

	<b>Kalınlık (m)</b>	<b>Isıl iletkenlik (W/mK)</b>	<b>Yayılcılık</b>
<b>Cam tüp</b>	0.003	0.8	0.9
<b>PV katmanı</b>	0.0002	148	-
<b>EVA</b>	$1.27 \times 10^{-6}$	0.37	-
<b>Alüminyum</b>	0.004	211	0.095

Tablo 2.2. Farklı PV panel türlerinin termal özellikleri [40].

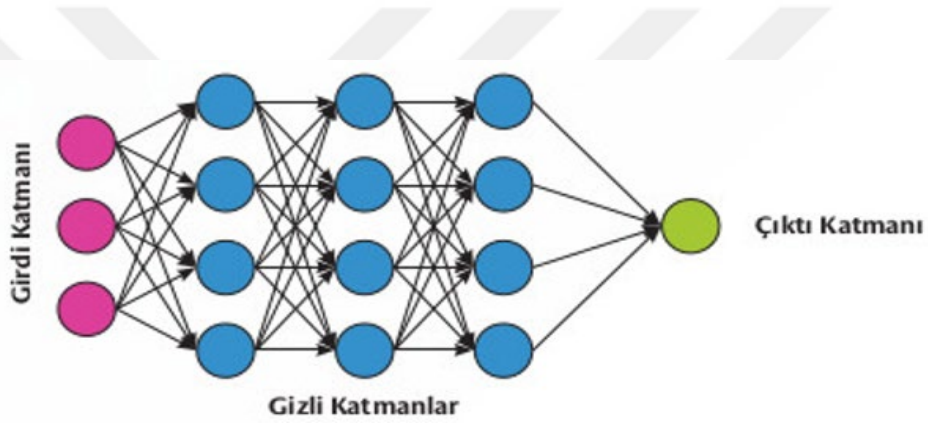
<b>Materyal</b>	<b>M-Si</b>	<b>P-Si</b>	<b>Ge</b>	<b>Cd-Te</b>
$n_{ref}$	25	19.5	7.8	17.3
$\beta_{ref}$	$9.03 \times 10^{-4}$	$9.03 \times 10^{-4}$	$4.76 \times 10^{-3}$	$9.26 \times 10^{-3}$

### 2.3. Yapay Sinir Ağları

Sinir ağı, insan beyninden esinlenerek ve biyolojik sinir ağlarından ilham alınarak önerilen bir sistemdir [41]. İnsan beynindeki bir sinir hücresi dikkate alınarak, akson, dentritler ve sinapslardan geçen sinyallerin yapay modellenmesi yapay sinir ağlarını oluşturmaktadır. Sinir ağları kara kutu modelleri olarak bilinmektedir. Kara kutu modelleri daha az veriyle yüksek performans vermeyi amaçlamaktadır. Kara kutu modellerin arasından en çok kullanılan yöntem yapay sinir ağlarıdır. Yapay sinir ağları, tahmin ve sınıflandırma problemlerinde etkili sonuçlar üretmektedir.

Yapay sinir ağı modeli Şekil 2.2’de verilmiştir. Bir sinir ağı yapısı girdi katmanı, gizli katmanlar ve çıktı katmanında oluşur. Bir sinir ağında gizli katmandaki nöron sayısı oldukça önemlidir. Gizli katmandaki nöron sayısı gerektiğinden az olursa yetersiz uyum, gereğinden fazla olması ise aşırı uyuma sebep olmaktadır. Gizli katmandaki nöron sayısı genellikle deneyler sonucunda kararlaştırılmaktadır. Diğer yandan gizli katmanlardan sonra aktivasyon fonksiyonu bulunmaktadır. Bir sinir ağındaki aktivasyon fonksiyonu, girdinin ağırlıklı

toplamının, ağın bir katmanındaki bir düğümden veya düğümlerden bir çıktıya nasıl dönüştürüleceğini tanımlar [42]. Aktivasyon fonksiyonunun çıkış aralığı sınırlıysa, “ezme fonksiyonu” olarak adlandırılabilir. Birçok aktivasyon fonksiyonu doğrusal değildir ve katmanda veya ağ tasarımında "doğrusal olmama" olarak adlandırılabilir. Aktivasyon fonksiyonunun seçimi, sinir ağının kapasitesi ve performansı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir ve modelin farklı bölümlerinde farklı aktivasyon fonksiyonları kullanılabilir. Aktivasyon fonksiyonları da tipik olarak türevlenebilirdir, yani verilen bir girdi değeri için birinci dereceden türev hesaplanabilir. Bu, sinir ağlarının tipik olarak modelin ağırlıklarını güncellemek için tahmin hatasının türevini gerektiren hata algoritmasının geri yayılımı kullanılarak eğitildiği için gereklidir.



Şekil 2.2. Yapay sinir ağlarının yapısı

Bu yapıda girdi katmanı dışarıdan aldığı veriyi değiştirmeden orta katmana gönderen katmandır. Gizli katman olarak isimlendirilen orta katmanda ve çıkış katmanında bu veriler işlenerek ağ çıkışı belirlenir. Sinir ağı yapısında girdi katmanı ile gizli katmanlar, gizli katmanlar ve gizli katmanlar ile çıktı katmanı arasındaki ağırlıklar rastgele atanmaktadır. Ardından, ağırlıklar her bir iterasyonda ilgili öğrenme algoritmasına göre güncellenmektedir. Yapay sinir ağlarında kullanılan bazı öğrenme algoritmaları şu şekildedir: Levenberg-Marquardt, BFGS Quasi-Newton, Resilient Backpropagation, Scaled Conjugate Gradient, One Step Secant. Bu öğrenme algoritmalarında en sık kullanılan yöntem Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmasıdır. Levenberg-Marquardt algoritması, parametre güncellemelerini gradyan iniş güncellemesi ile Gauss-Newton güncellemesi arasında uyarlamalı olarak değiştirir. Parametreler optimal değerlerinden uzak olduğunda, Levenberg-Marquardt yöntemi daha çok bir gradyan inişi gibi davranır ve parametreler

optimal değerlerine yakın olduğunda daha çok Gauss-Newton yöntemi gibi davranır [43]. Levenberg-Marquardt yönteminde ağırlıklar aşağıdaki denkleme göre güncellenmektedir.

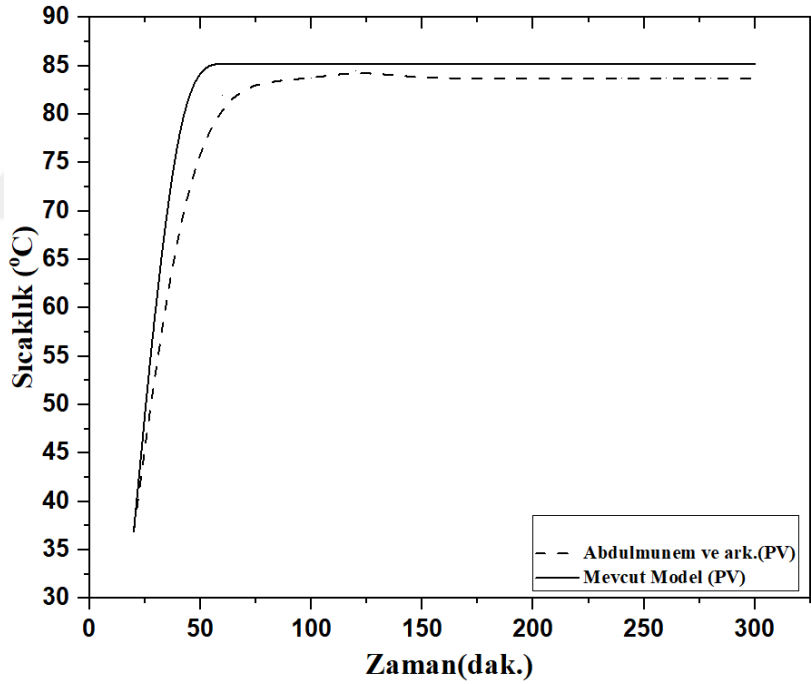
$$w = (J^t J + \lambda I)^{-1} J^t err \quad (2.14)$$

Eşitlik (2.14)'de,  $w$  ağırlık vektörünü temsil eder.  $\lambda$ , sönümlenme parametresi olarak adlandırılır.  $J$ , Jacobian matrisi,  $err$  hata vektörü ve  $I$  birim matristir. Jacobian matrisi  $(K \times L) \times M$  boyutunda,  $err$  vektörü ise  $(K \times L) \times 1$  boyutundadır. Burada  $K$  eğitim verisi sayısını,  $L$  çıktı sayısını ve  $M$  ağırlık sayısını gösterir.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1. Doğrulama

Yukarıda bahsedilen teorik model literatürde gerçekleştirilmiş deneysel model ile Şekil 3.1'deki gibi doğrulanmıştır. Şekil 3.1'e göre başlangıçta çevre sıcaklığında bulunan PV panel sıcaklığı yükselmiş ve sabit bir sıcaklık değerine ulaşmıştır. Literatürde elde edilen sonuçlar bu çalışmadaki teorik model ile kıyaslandığında, maksimum sıcaklık farkının 2 °C olduğu görülmektedir ki bu durum mevcut teorik modelin doğru olduğunu göstermektedir [44].

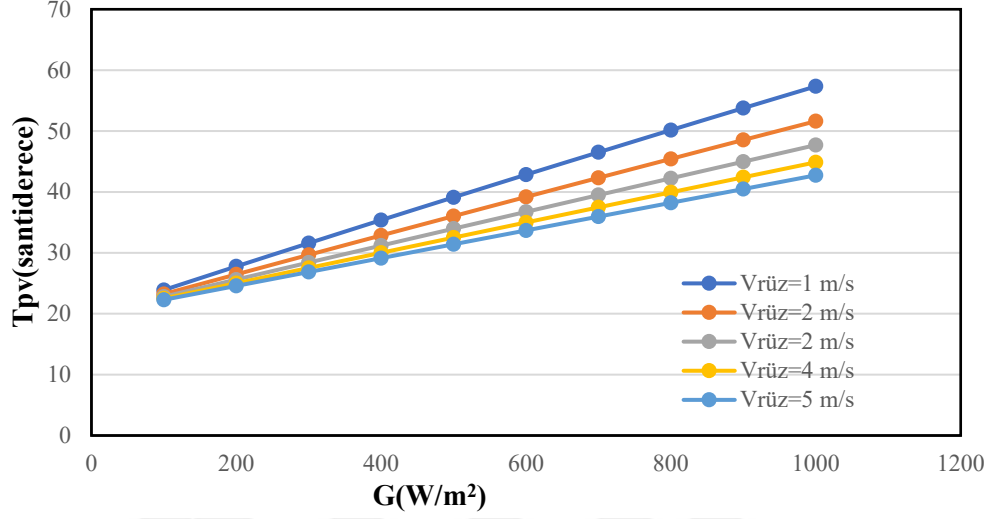


Şekil 3.1. Mevcut teorik modelin literatür ile panel sıcaklıkları cinsinden doğrulanması [44].

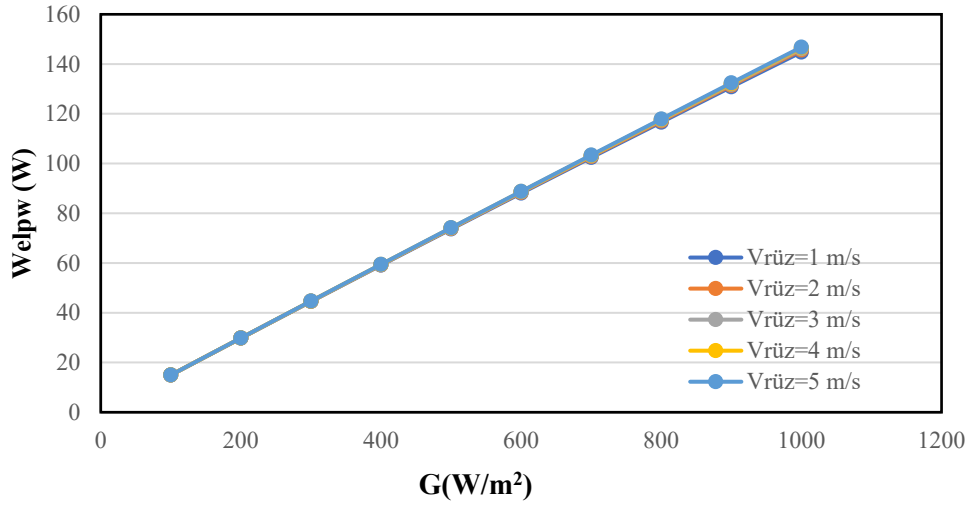
#### 3.2. Teorik Çalışmalar

Bu bölümde PV panel sıcaklığı ve üretilen elektriksel gücün değişimi parametrik olarak incelenmiştir. Değişken parametreler olarak rüzgâr hızı, ortam sıcaklığı, PV hücre

malzemesi ve radyasyon miktarı seçilmiştir. Şekil 3.2 ve Şekil 3.3 incelendiğinde P-Si PV hücresi için ortam sıcaklığının 20 °C olduğu durumdaki panel sıcaklığı ve üretilen güç görülmektedir.

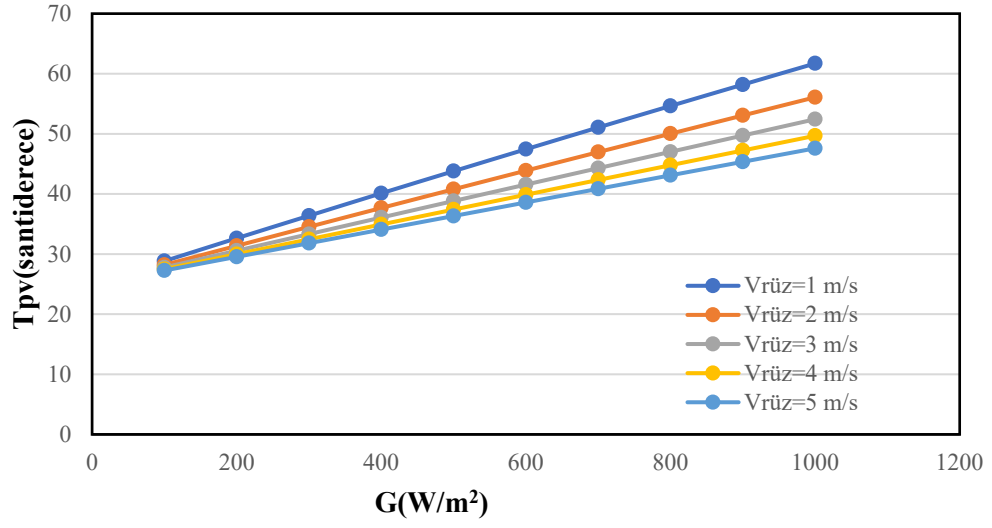


Şekil 3.2. P-Si PV panel hücresinin 20 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri

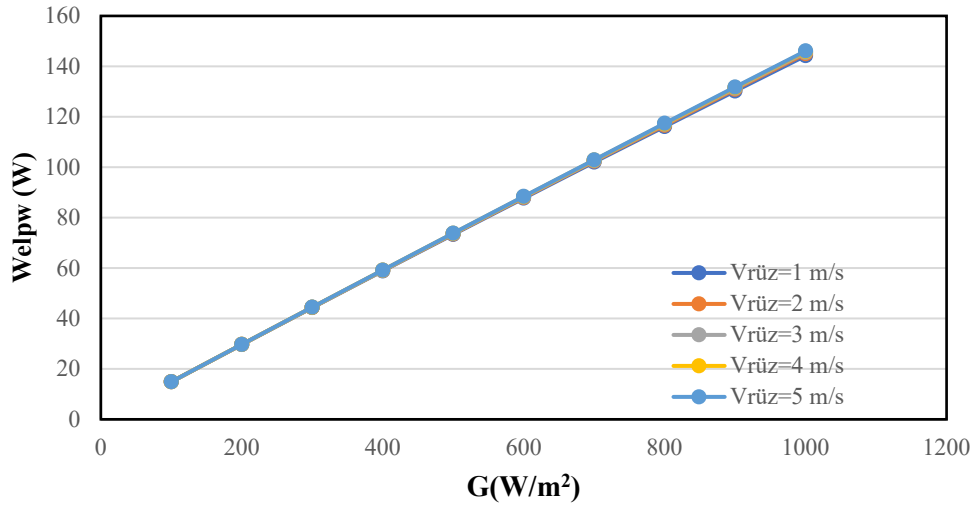


Şekil 3.3. P-Si PV panel hücresinin 20 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi

Şekil 3.4 ve Şekil 3.5 incelendiğinde P-Si PV hücresi için ortam sıcaklığının 25 °C olduğu durumda değişen rüzgâr hızlarına göre panel sıcaklığı ve üretilen güç görülmektedir.

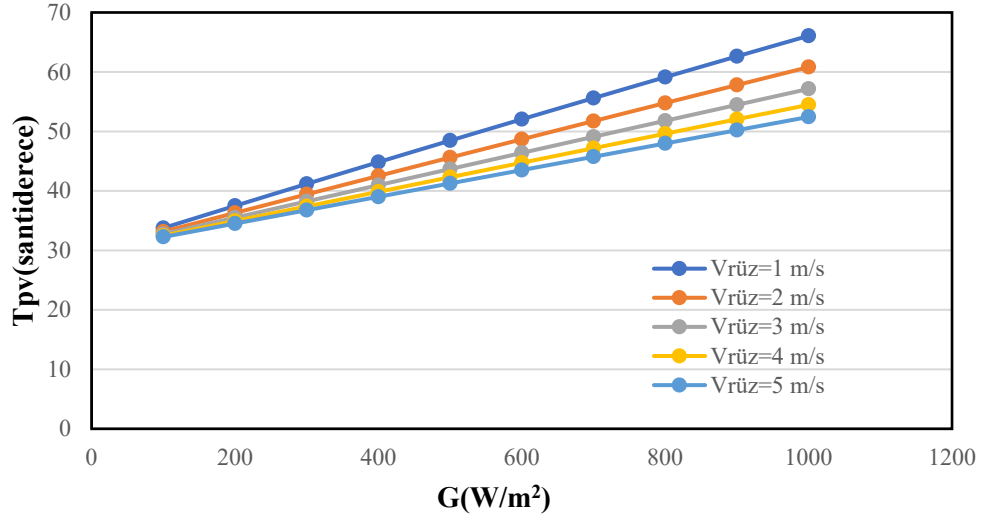


Şekil 3.4. P-Si PV panel hücresinin 25 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri

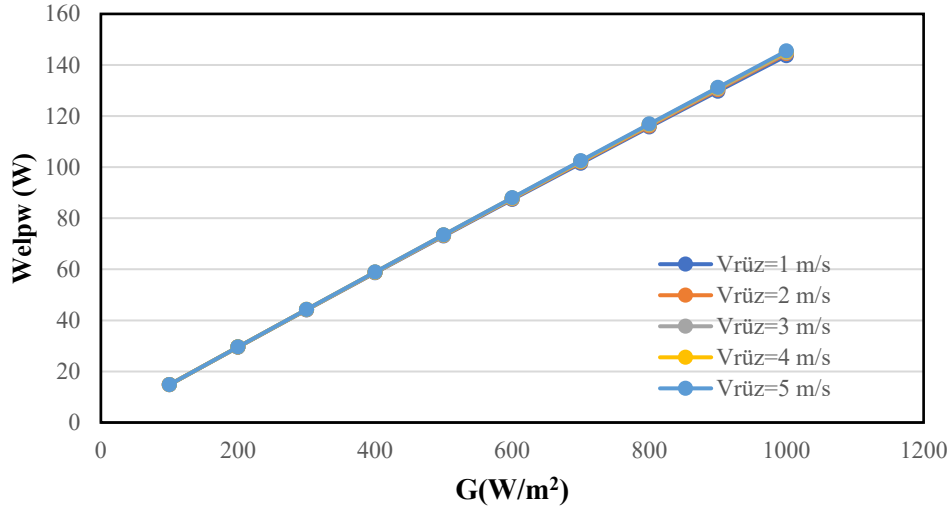


Şekil 3.5. P-Si PV panel hücresinin 25 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi

Şekil 3.6 ve Şekil 3.7 incelendiğinde P-Si PV hücresi için ortam sıcaklığının 30 °C olduğu durumda değişen rüzgâr hızlarına göre panel sıcaklığı ve üretilen güç görülmektedir.



Şekil 3.6. P-Si PV panel hücresinin 30 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri

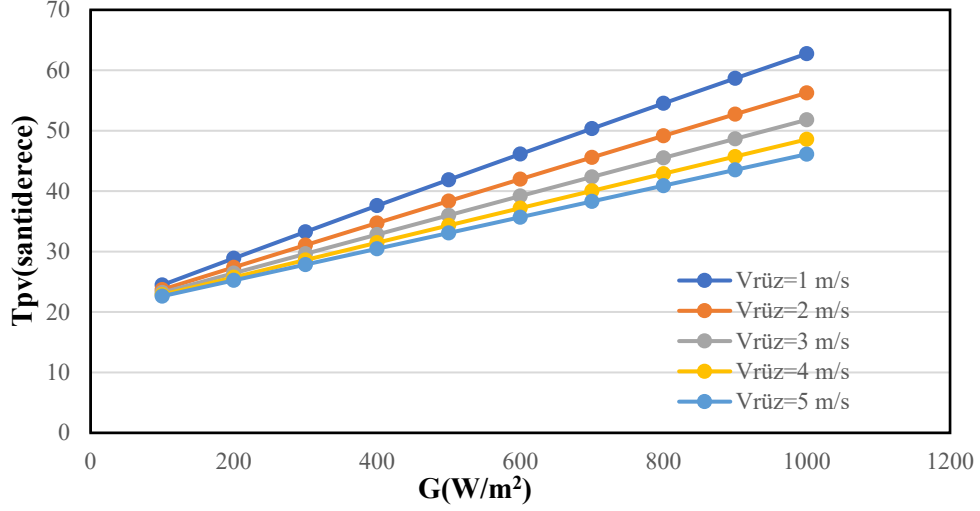


Şekil 3.7. P-Si PV panel hücresinin 30 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi

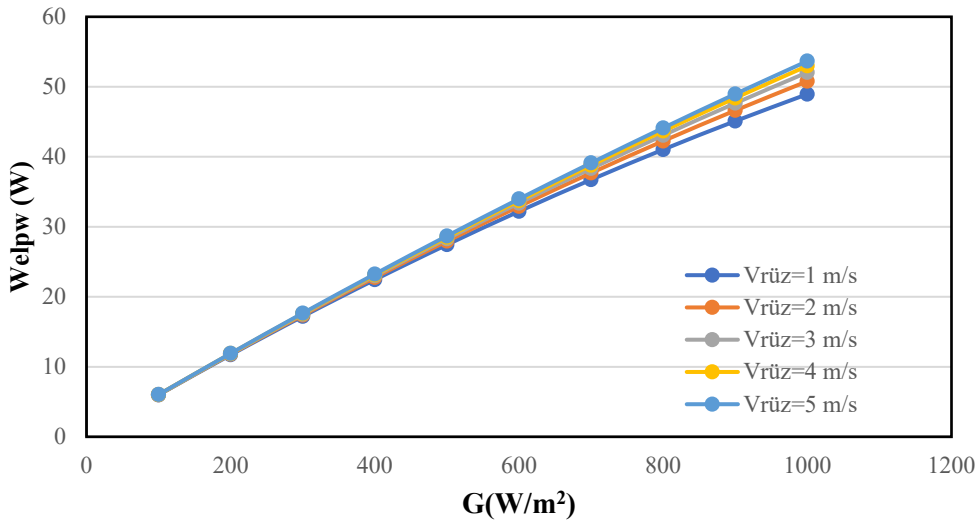
P-Si panelden elde eline bu veriler neticesinde, PV panel sıcaklıkları incelendiğinde radyasyona bağlı olarak lineer olarak artmakta ve 100 W/m<sup>2</sup> değeri için maksimum değerine ulaşmaktadır. Ortam sıcaklığına bağlı olarak panel sıcaklıkları ortalama 5 °C artarken, rüzgâr hızına bağlı olarak yaklaşık 2 °C artmaktadır. PV panelden elde edilen elektrik gücü incelendiğinde ise değişen parametrelerin elektrik üretimi üzerinde etkili olmadığı görülmektedir.

Germanyum (Ge) paneller için de benzer şekilde değişen ortam sıcaklığına ve rüzgâr hızına bağlı olarak değişen panel sıcaklıkları ve üretilen güç elde edilmiştir. Şekil 3.8 ve

Şekil 3.9'da Germanyum PV hücresi için ortam sıcaklığının 20 °C olduğu durumdaki panel sıcaklıkları ve elektrik üretim miktarları verilmiştir.

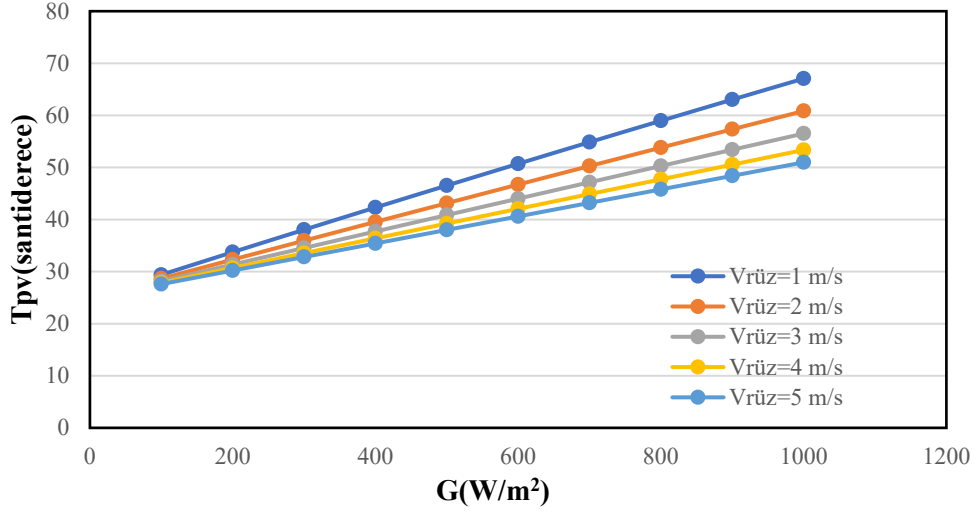


Şekil 3.8. Germanyum PV panel hücresinin 20 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri

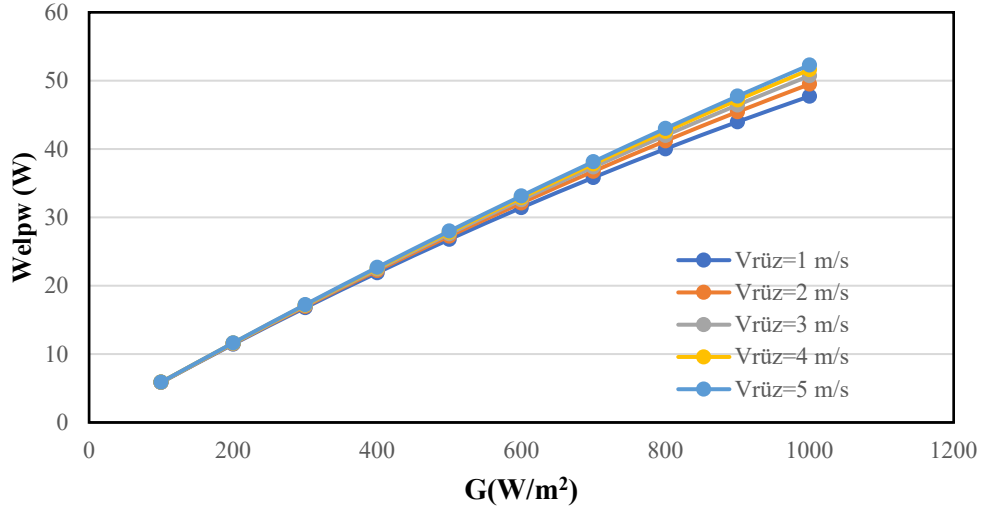


Şekil 3.9. Germanyum PV panel hücresinin 20 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi

Şekil 3.10 ve Şekil 3.11'de Germanyum PV hücresi için ortam sıcaklığının 25 °C olduğu durumdaki panel sıcaklıkları ve elektrik üretim miktarları verilmiştir.

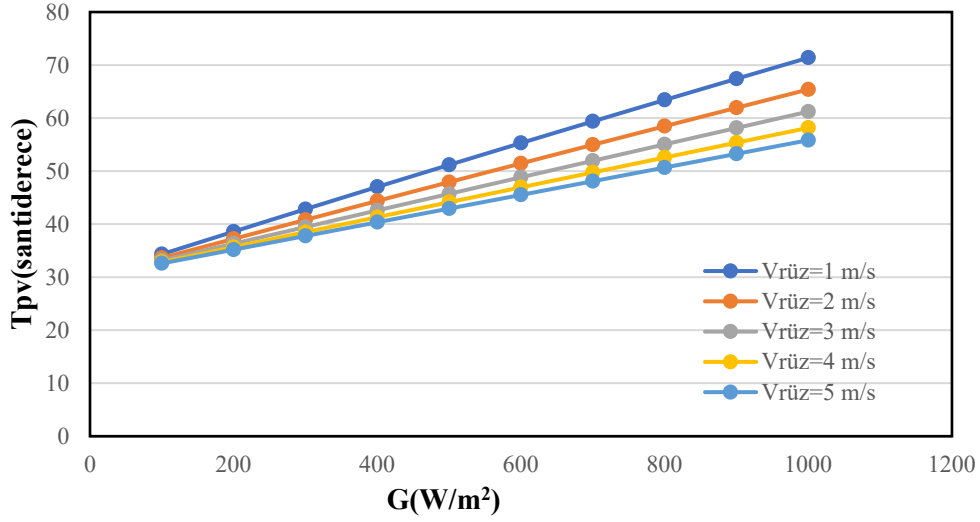


Şekil 3.10. Germanyum PV panel hücresinin 25 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri

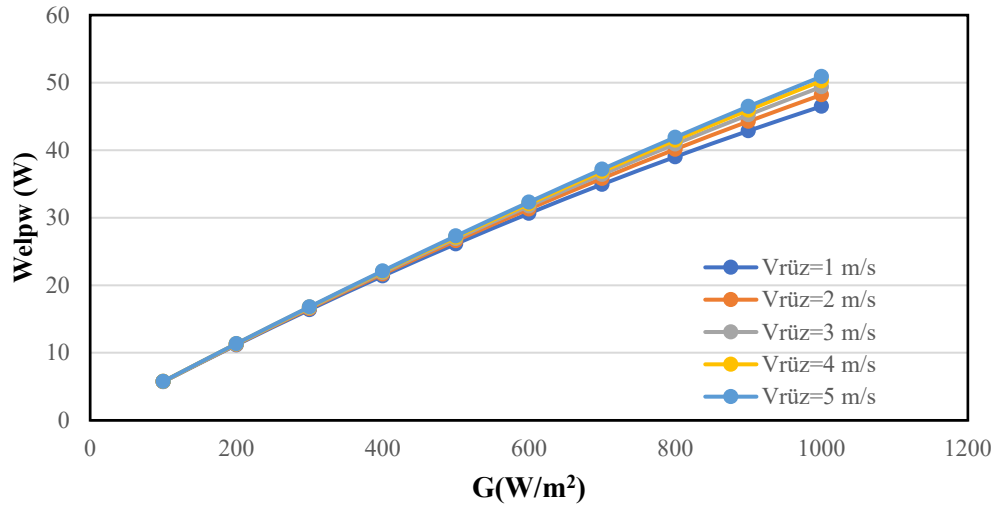


Şekil 3.11. Germanyum PV panel hücresinin 25 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi

Germanyum panelde son olarak Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te Ge PV hücresi için ortam sıcaklığının 30 °C olduğu durumdaki panel sıcaklıkları ve elektrik üretim miktarları görülmektedir.



Şekil 3.12. Germanyum PV panel hücresinin 30 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri

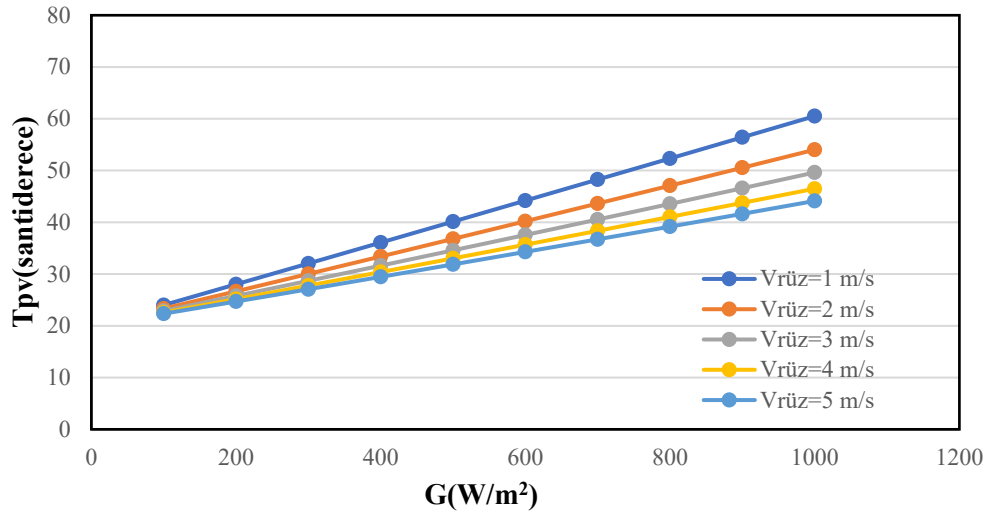


Şekil 3.13. Germanyum PV panel hücresinin 30 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi

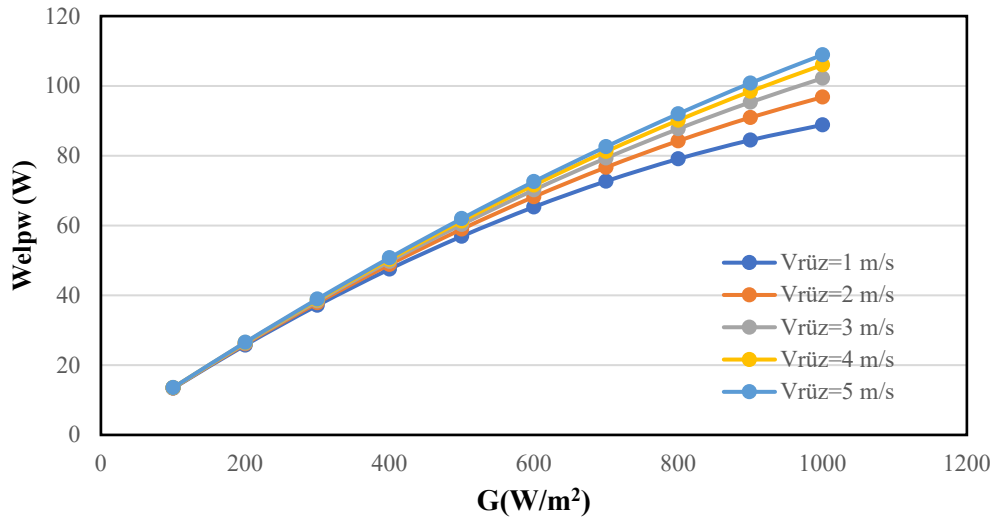
Bu veriler sonucunda Germanyum PV hücresinin P-Si PV hücresine göre daha yüksek panel sıcaklık değerlerine ulaştığı görülmektedir. Bununla beraber çevre sıcaklığından benzer şekilde etkilenmiş ve çevre sıcaklığının artışına bağlı olarak panel sıcaklığı ortalama 5 °C artış göstermiştir. Rüzgâr hızının artışına bağlı olarak ise PV panel sıcaklığı yaklaşık 3 °C azalış göstermiştir. Bunun yanında radyasyon artışına bağlı olarak panel sıcaklığı benzer şekilde lineer bir artış göstermiştir. Elektrik üretimi incelendiğinde ise Ge malzemeli PV hücresinin elektrik üretiminin P-Si panele göre oldukça düşük olduğu görülmektedir. Bunun

yanında rüzgâr hızı artışına ve çevre sıcaklığı düşüşüne bağlı olarak elektrik üretiminde yaklaşık 2 W artış göstermiştir. Tüm veriler ışığında, Ge malzemeli PV hücrelerinin değişen parametrelerden P-Si malzemeli güneş hücrelerine göre daha çok etkilendiği saptanmıştır.

Benzer olarak Cd-Te panel tipi için de değişen ortam koşullarına göre ortaya çıkan panel sıcaklıkları ve üretilen güç gözlemlenmiştir. İlk olarak Şekil 3.14 ve Şekil 3.15'te Cd-Te PV hücresi için ortam sıcaklığının 20 °C olduğu durumdaki panel sıcaklıkları ve elektrik üretim miktarları verilmiştir.

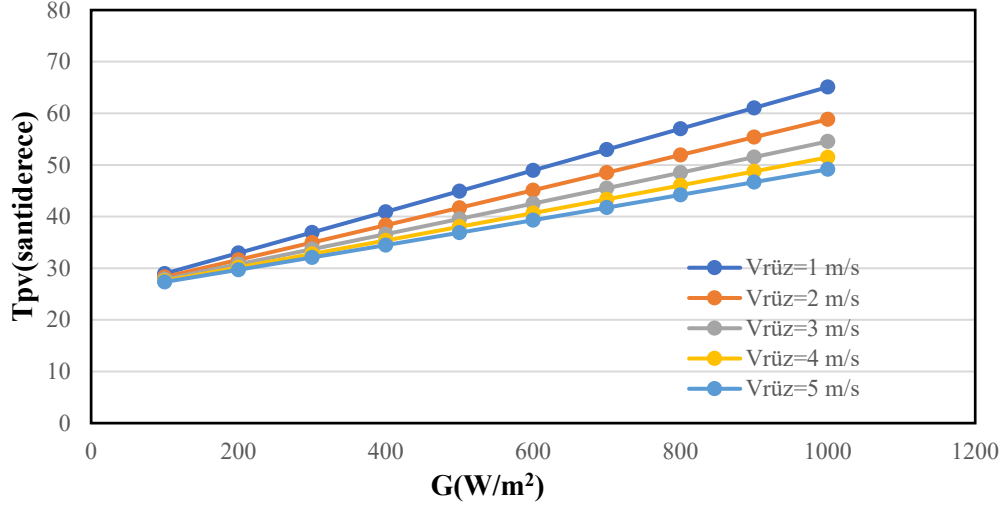


Şekil 3.14 Cd-Te PV panel hücresinin 20 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri

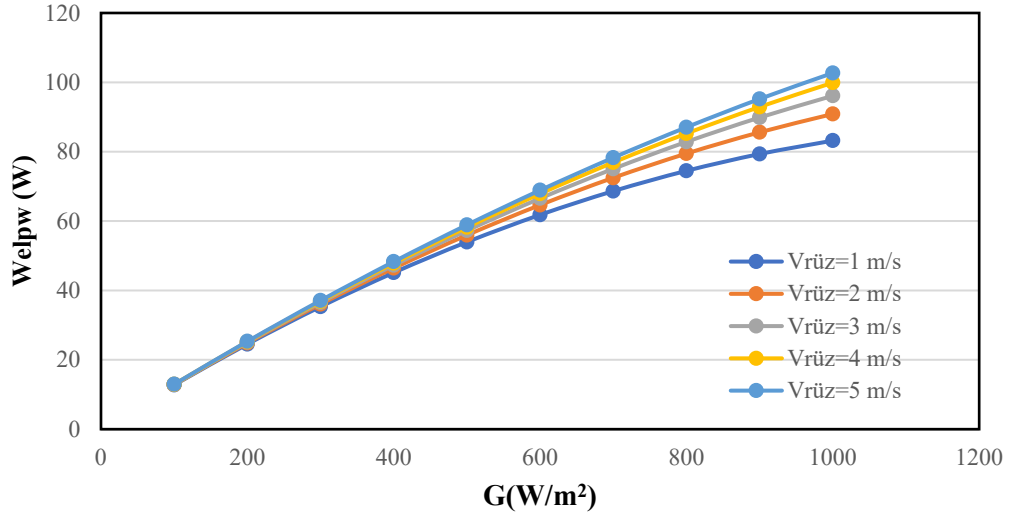


Şekil 3.15. Cd-Te PV panel hücresinin 20 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi

Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de Cd-Te PV hücresi için ortam sıcaklığının 25 °C olduğu durumdaki panel sıcaklıkları ve elektrik üretim miktarları verilmiştir.

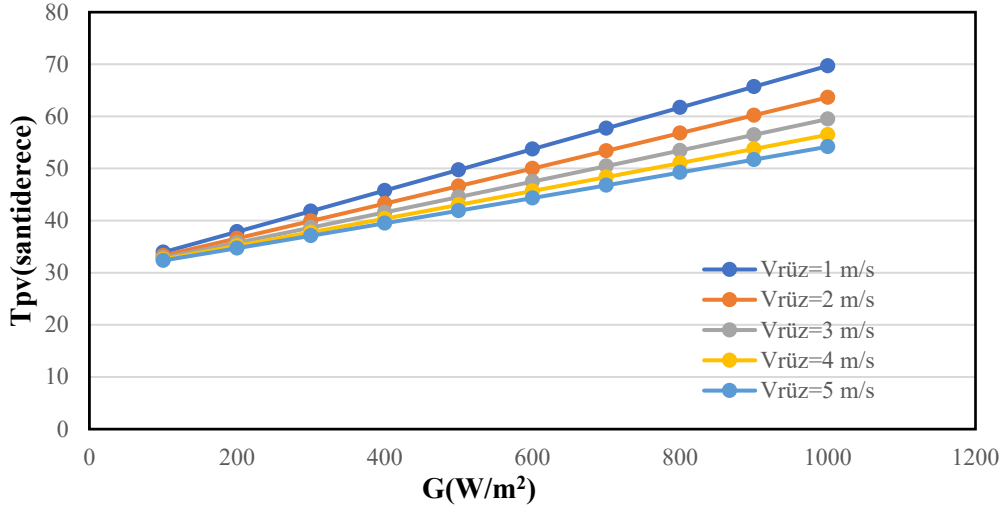


Şekil 3.16. Cd-Te PV panel hücresinin 25 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri

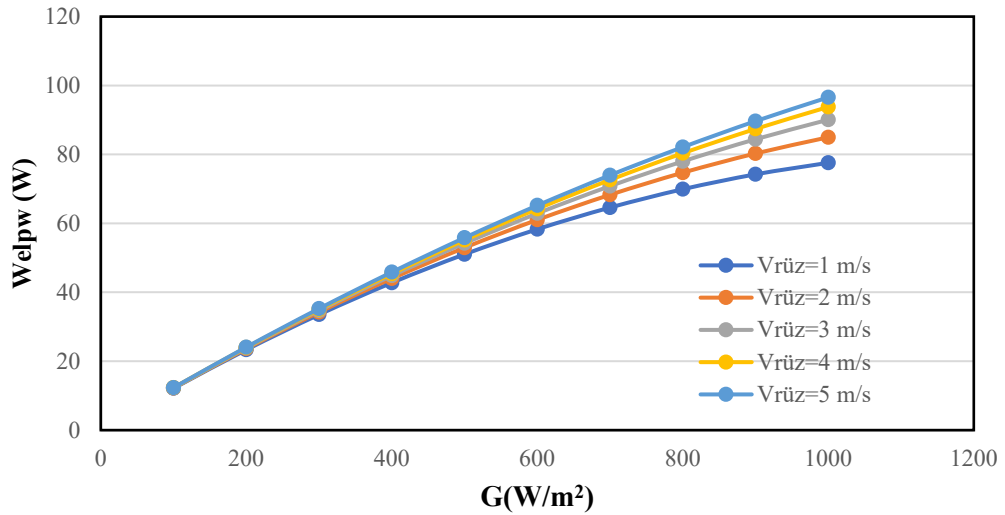


Şekil 3.17. Cd-Te PV panel hücresinin 25 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi

Cd-Te panel tipi için son olarak Şekil 3.18 ve Şekil 3.19’da ortam sıcaklığının 30 °C olduğu durumdaki panel sıcaklıkları ve elektrik üretim miktarları verilmiştir.



Şekil 3.18. Cd-Te PV panel hücresinin 30 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri

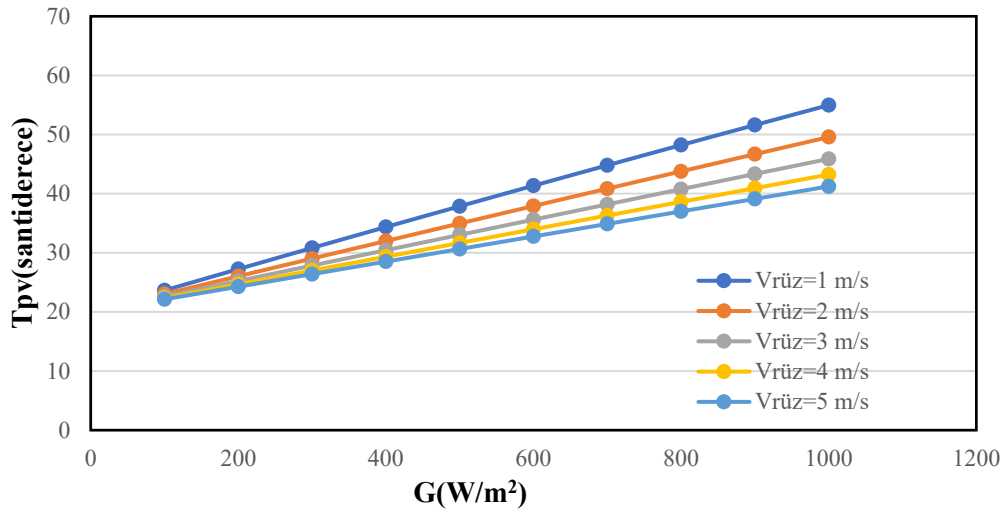


Şekil 3.19. Cd-Te PV panel hücresinin 30 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi

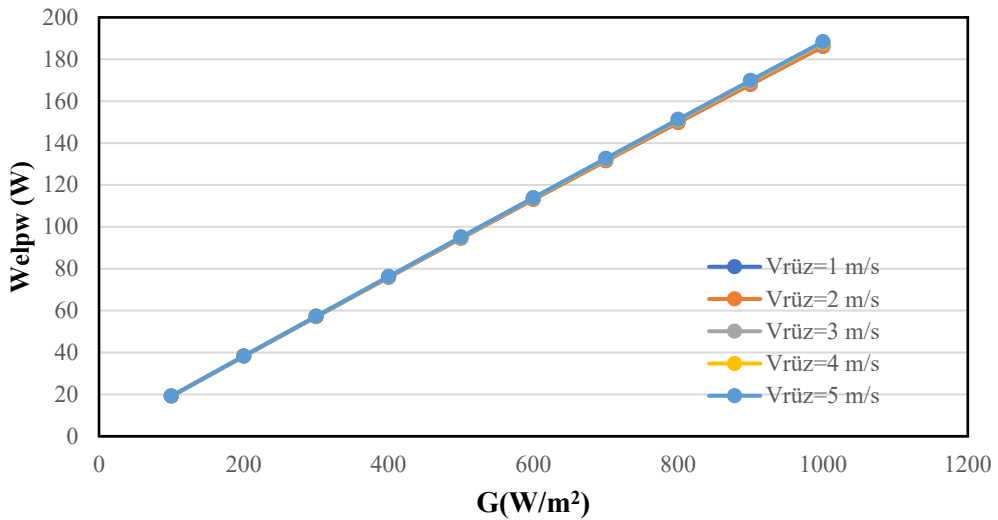
Cd-Te PV paneller için bu veriler incelendiğinde radyasyona bağlı PV panel sıcaklıklarının lineer bir artış gösterdiği ve maksimum sıcaklıkların Ge malzemeli PV hücrelerine yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Rüzgâr hızının artışına bağlı olarak ise panel sıcaklığının ortalama 3 °C azaldığı ve çevre sıcaklığı artışına bağlı olarak panel sıcaklığının 5 °C artış gösterdiği belirlenmiştir. Üretilen elektrik üretimi incelendiğinde ise değişen ortam koşullarından diğer PV panel hücrelerine göre daha fazla etkilendiği saptanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde radyasyon artışına bağlı olarak elektrik üretiminin azalan yönde bir artış gösterdiği ve rüzgâr hızının artışına bağlı olarak elektrik üretiminin

ortalama 3 W artış gösterdiği saptanmıştır. Bunun yanında çevre sıcaklığını azalışına bağlı olarak elektrik üretimi ortalama 5 W artış göstermiştir.

Son olarak M-Si malzemeli PV panelleri için aynı hesaplamalar yapılmış ve değişen çevre şartlarına göre ortaya çıkan panel sıcaklığı ve üretilen elektrik miktarı gözlemlenmiştir. Şekil 3.20 ve Şekil 3.21’ de M-Si hücreli PV panel için, ortam sıcaklığının 20 °C olduğu durumdaki panel sıcaklıkları ve üretilen elektriğin parametrelere bağlı değişimi görülmektedir.

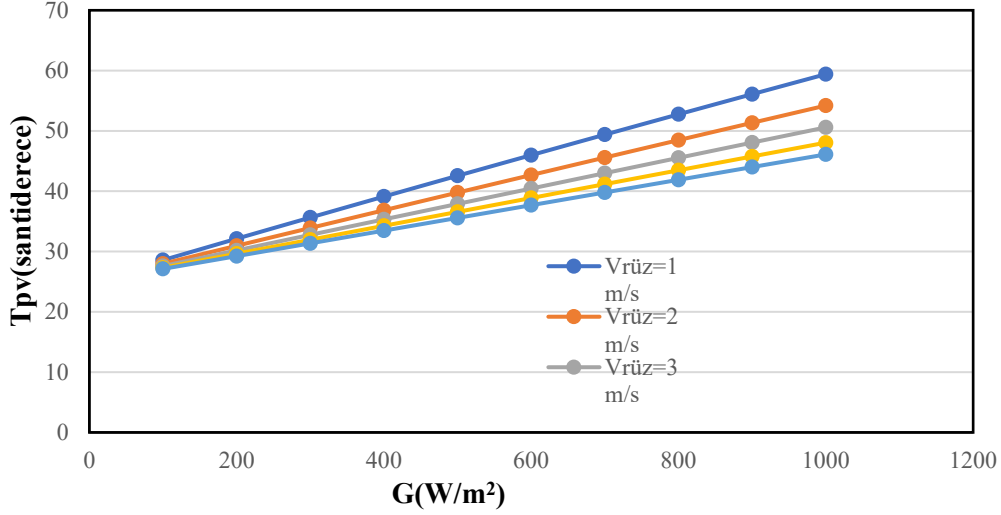


Şekil 3.20. M-Si PV panel hücresinin 20°C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri

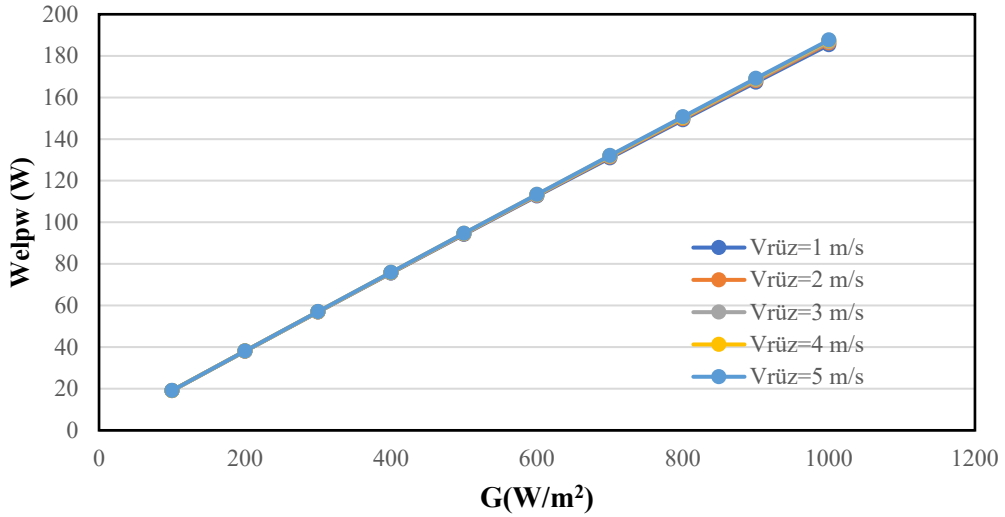


Şekil 3.21. M-Si PV panel hücresinin 20°C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi

Şekil 3.22 ve Şekil 3.23' te M-Si hücreli PV panel için, ortam sıcaklığının 25 °C olduğu durumdaki panel sıcaklıkları ve üretilen elektriğin parametrelere bağlı değişimi görülmektedir.

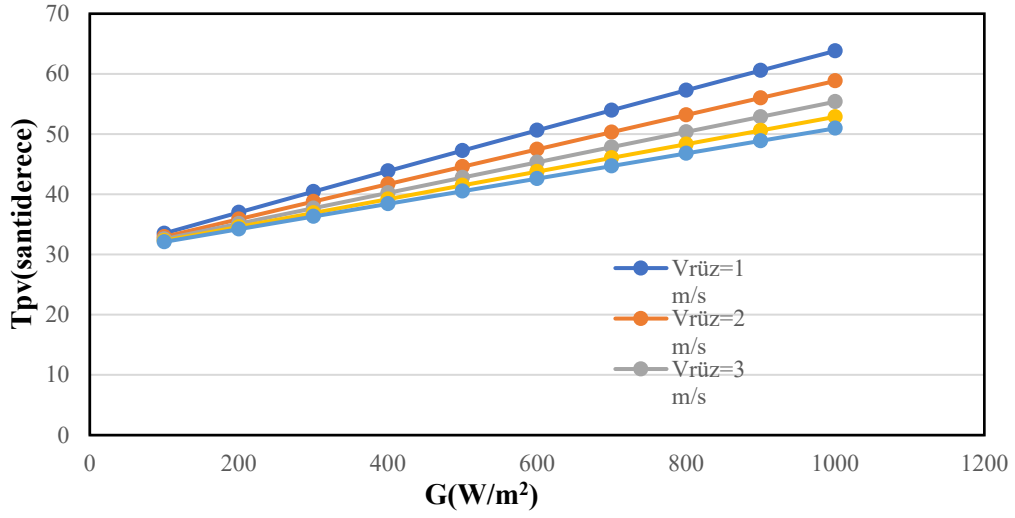


Şekil 3.22. M-Si PV panel hücrenin 25 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri

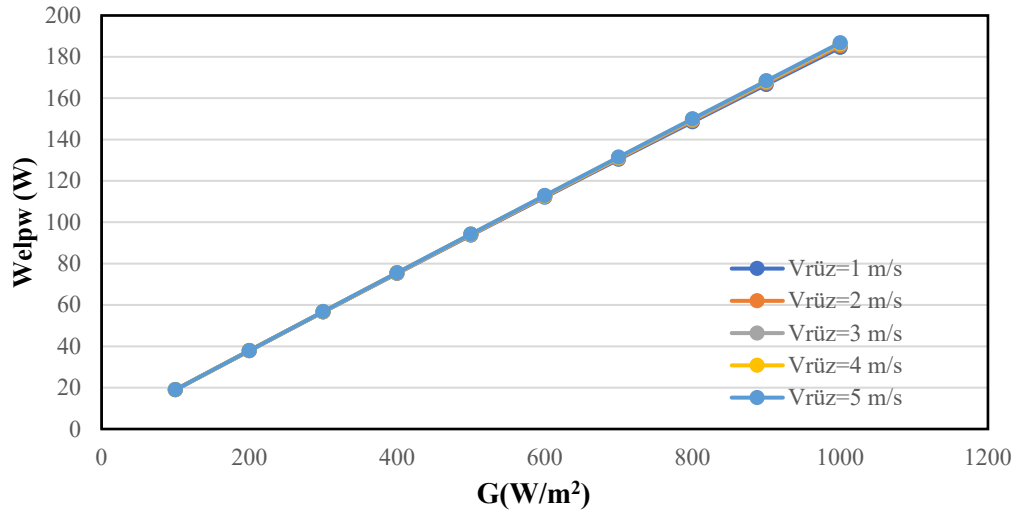


Şekil 3.23. M-Si PV panel hücrenin 25 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi

Son olarak Şekil 3.22 ve Şekil 3.23' te M-Si hücreli PV panel için, ortam sıcaklığının 30 °C olduğu durumdaki panel sıcaklıkları ve üretilen elektriğin parametrelere bağlı değişimi görülmektedir.



Şekil 3.24. M-Si PV panel hücresinin 25 °C ortam sıcaklığında, değişen rüzgâr hızına göre oluşan panel sıcaklık değerleri



Şekil 3.25. M-Si PV panel hücresinin 30 °C ortam sıcaklığındaki elektrik üretimi

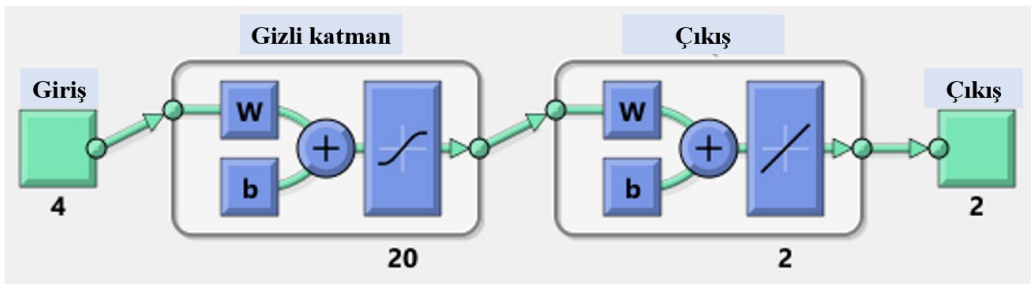
PV panel sıcaklıklarının P-Si malzemeli panel hücrelerine benzer dağılım göstermiş olduğu görülmektedir. Diğer panel türlerine paralel olarak PV panel sıcaklığı, çevre sıcaklığının artışına bağlı olarak 5 °C artış göstermiş, rüzgâr hızının artışına bağlı olarak ise yaklaşık 2 °C artış göstermiştir. Ayrıca diğer PV malzemelerine benzer şekilde radyasyonun artışına bağlı olarak PV panel sıcaklığı lineer bir artış göstermiştir. Elektrik üretim miktarları incelendiğinde ise yine P-Si PV panele benzer şekilde değişen parametreler sonucu küçük miktarda değiştirmiştir.

### 3.3. Yapay Sinir Ağları Modeli

Tez kapsamında girdiler; panel tipi, ortam sıcaklığı, radyasyon yoğunluğu ve rüzgâr hızı çıktılar ise panel sıcaklığı ve elektrik üretimi alınarak farklı ortamlarda 600 veriden oluşan bir veri seti elde edilmiştir. İlk olarak 600 verinin %70'i eğitim, %15'i test ve %15'i doğrulama için kullanılır. Eğitim aşamasında veriler rastgele karıştırılarak eğitilmiştir. Ardından test ve doğrulama aşamasına geçilmiştir. Amaçlanan ideal girdi verilerinde, uygun panel sıcaklığı ve elektrik üretimi çıktıları elde etmektir. Çeşitli deneyler sonucunda, gizli katmandaki nöron sayısı 20 seçilmiş, aktivasyon fonksiyonu olarak tansig transfer fonksiyonu kullanılmıştır. tansig transfer fonksiyonunun denklemi aşağıdaki gibidir:

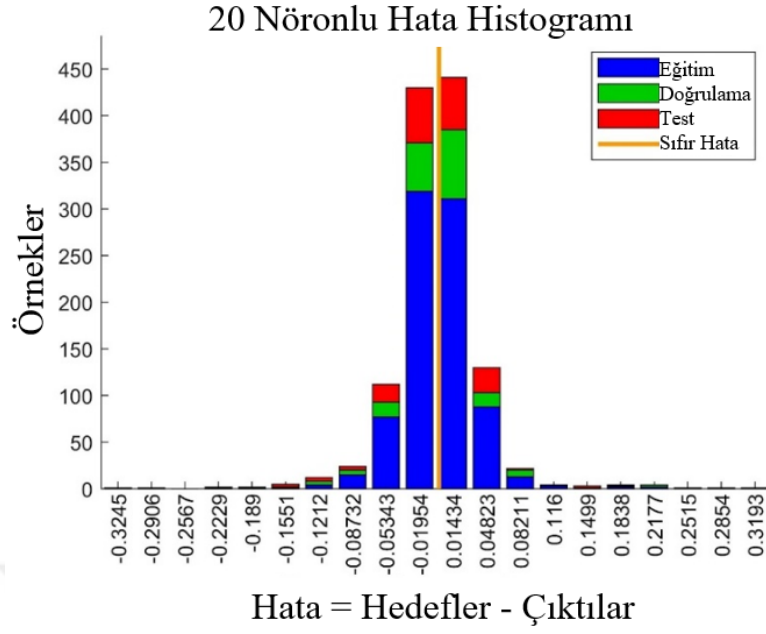
$$a = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1 \quad (3.1)$$

Öğrenme algoritması olarak da literatürde sıkça kullanılan hem düşük hata değerlerine hem hızlı yakınsama özelliğine sahip olan Levenberg-Marquardt öğrenme algoritması kullanılmıştır. Veri aralığı farklı aralıklardan oluşan bir veri seti olduğundan, veriler eğitime verilmeden önce mapminmax kullanılarak veriler -1 ile 1 aralığına çekilmiştir. Matlab Neural Fitting aracı kullanılarak oluşturulan yapay sinir ağı diyagramı Şekil 3.26'da görülmektedir.



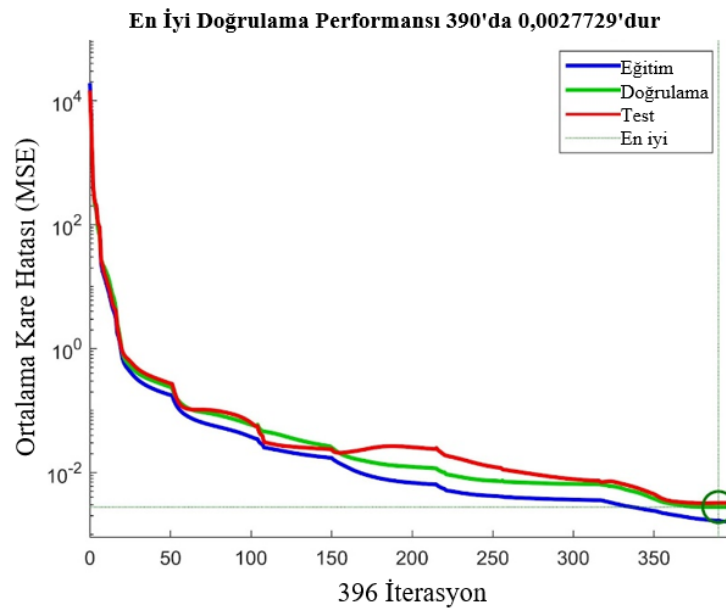
Şekil 3.26. Sinir ağı diyagramı [45].

Şekil 3.27'de YSA hata histogramı verilmiştir. Bu histogram tahmini ve gerçek değerler arasındaki farkı ifade eder. Histogramın hataların küçük olduğu kısımlarda yoğunlaştığı ve az sayıda büyük hata değerleri ürettikleri görülebilir.



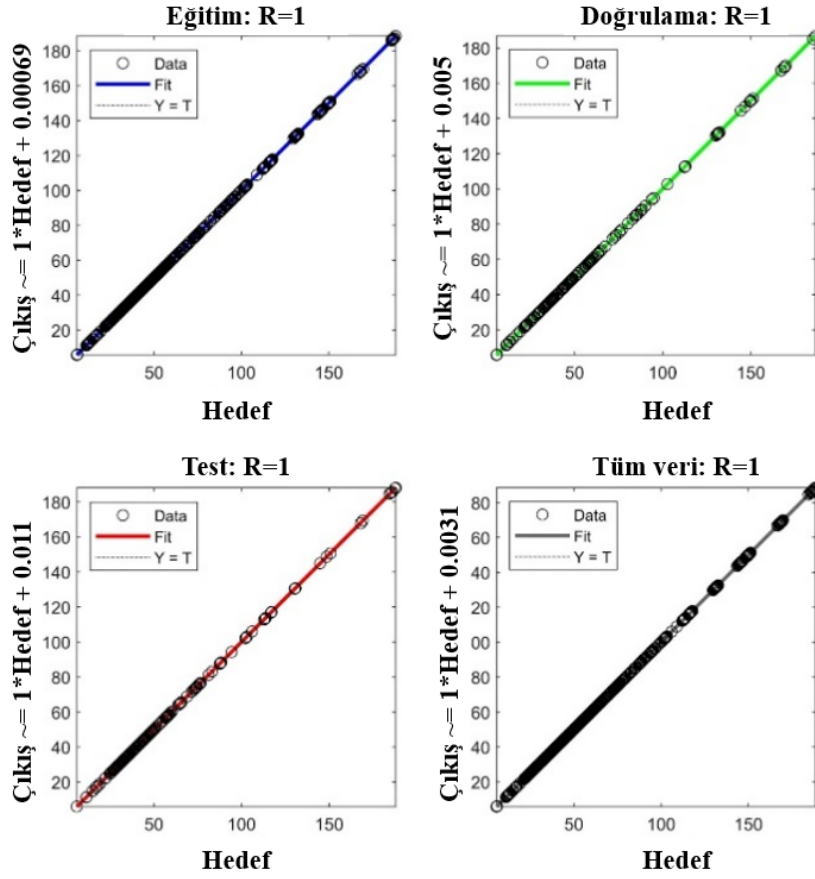
Şekil 3.27. YSA hata histogram diyagramı

Şekil 3.28 ortalama kareler hatası kullanılarak YSA'nın yakınsama performansını göstermektedir. En iyi doğrulama performansı 396 iterasyon sonunda elde edilmiş ve doğrulama hata değeri 0.0027729 olarak elde edilmiştir. Ayrıca Şekil 3.28'den, eğitim, test ve doğrulama hatalarının birbirinden çok uzak olmadıkları dolayısıyla yetersiz ve aşırı uyuma da sebep olmadığı söylenebilir.



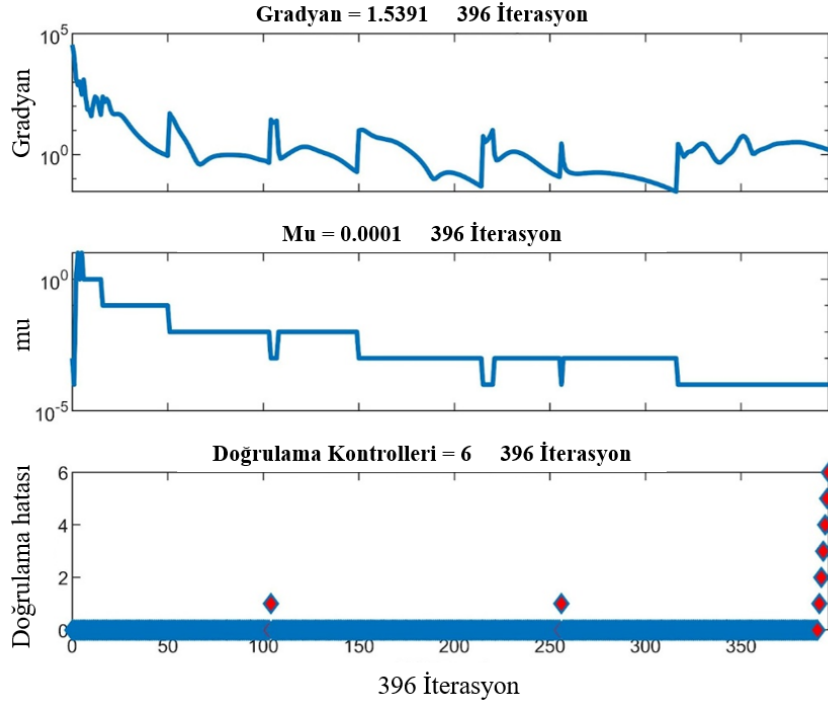
Şekil 3.28. YSA performans analizi

Şekil 3.29 eğitim, test ve doğrulama aşamalarında girdi ve çıktı verilerinin birbirleriyle olan uyumunu göstermektedir. Sonuçlar girdi ve çıktı veri kümelerinin birbirleriyle uyumlu ve tutarlı olduğunu gösterir. Maksimum doğrulama kontrolü (Maximum Validation Checks) 6 olarak seçilmiştir. Şekil 3.30'da mu'nun iterasyon bağlı olarak değiştiği de görülebilir.



Şekil 3.29. YSA regresyon grafikleri

Levenberg-Marquardt öğrenme algoritmasının parametrelerinin başlangıç değerleri ve iterasyon boyunca değişen parametreleri Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.30. YSA eğitim durumu grafiği

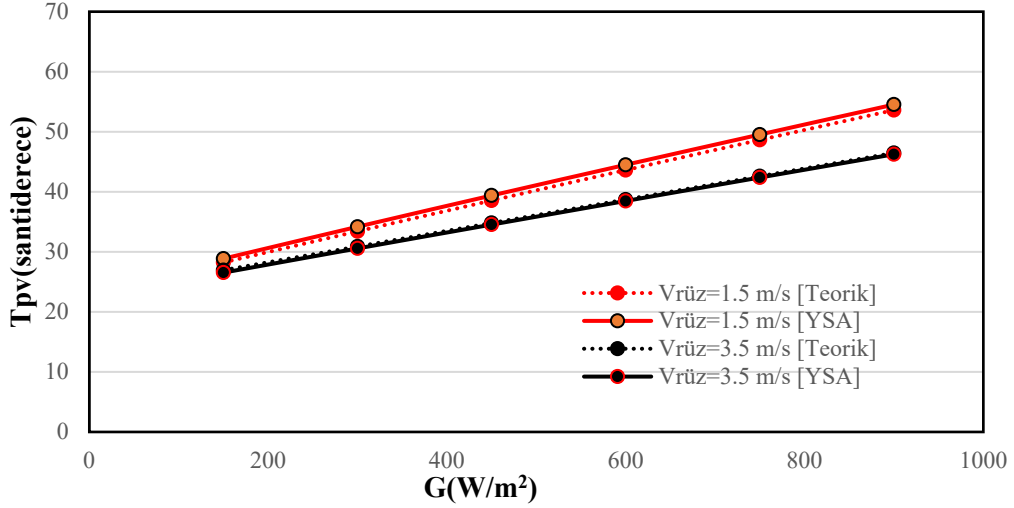
Tablo 3.1. YSA iterasyon parametreleri

Parametre	Değer
Maksimum İterasyon	İterasyon: 1000
Maksimum Eğitim Zamanı	Zaman: Inf (Sonsuz)
Performans Hedefi	Hedef: 0
Minimum Gradyan	min_grad: 1e-07
Maksimum Doğrulama Kontrolleri	max_fail: 6
Mu	mu: 0.001
Mu Azalma Miktarı	Ratio mu_dec: 0.1
Mu Artış Miktarı	Ratio mu_inc: 10
Maksimum mu	mu_max: 10000000000

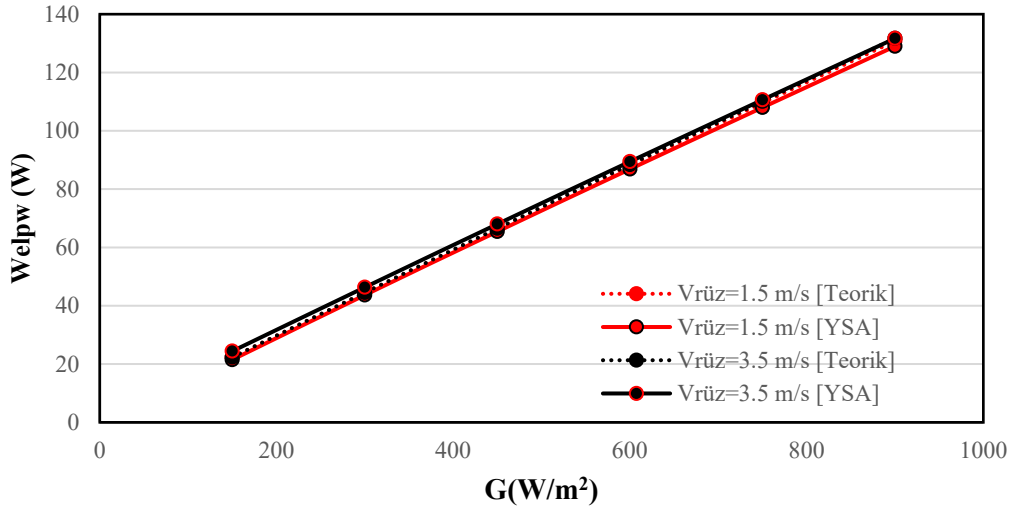
P-Si, Ge, M-Si, Cd-Te PV panel tipleri, ortam sıcaklığı 23 °C ve 27 °C, rüzgâr hızı 1,5 m/s ve 3,5 m/s, radyasyon yoğunluğu 150 W/m<sup>2</sup>, 300 W/m<sup>2</sup>, 450 W/m<sup>2</sup>, 600 W/m<sup>2</sup>, 7500 W/m<sup>2</sup>, 900 W/m<sup>2</sup> değerleri için YSA modeli ve Teorik modelden elde edilen veriler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.

### 3.3.1. P-Si PV Panel İçin YSA Modeli ve Teorik Modelin Karşılaştırılması

Şekil 3.31 ve Şekil 3.32’te 23 °C ortam sıcaklığı, 1,5 m/s ve 3,5 m/s rüzgâr hızları için P-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli için sıcaklık ile elektrik üretim değerleri sonuçları gösterilmiştir.

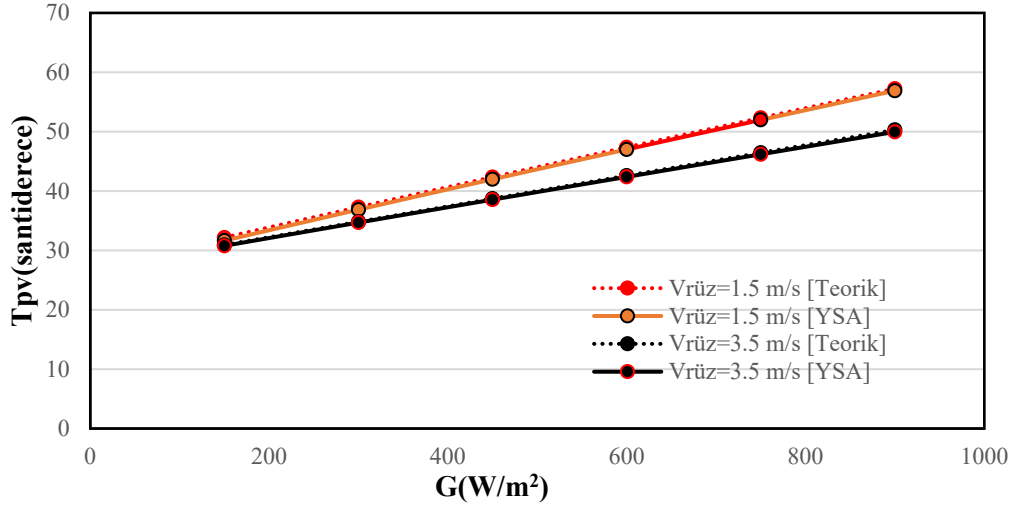


Şekil 3.31. P-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık değerleri ( $T_{\text{ç}}=23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )

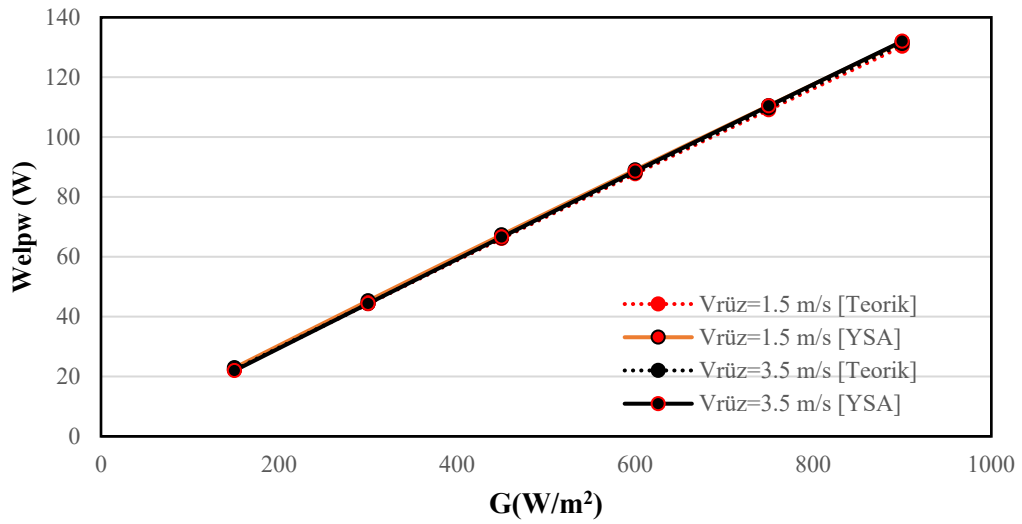


Şekil 3.32. P-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli güç değerleri ( $T_{\text{ç}}=23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )

Şekil 3.33 ve Şekil 3.34'te ise sıcaklık ile elektrik üretimi değerleri, 27 °C ortam sıcaklığı, 1,5 m/s ve 3,5 m/s rüzgâr hızları için P-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sonuçları gösterilmiştir.



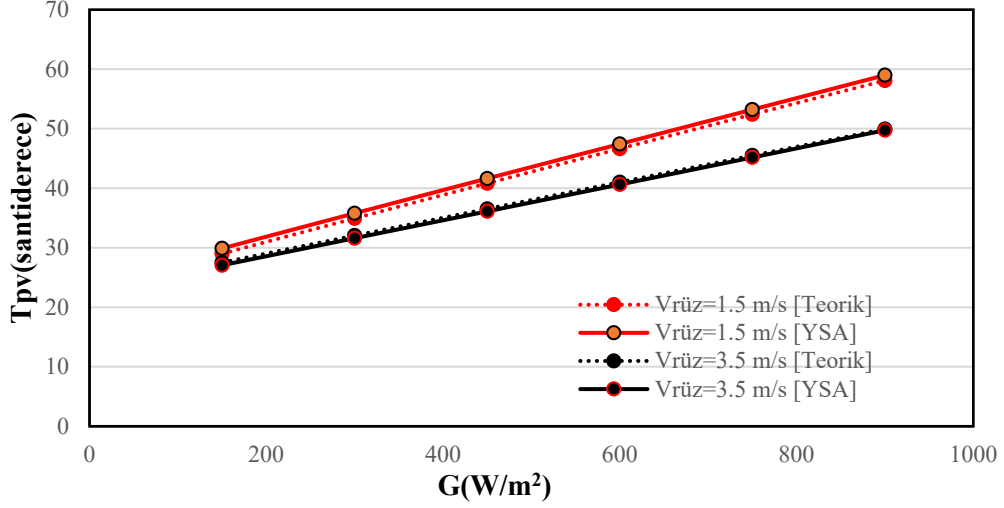
Şekil 3.33. P-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık değerleri (T<sub>ç</sub>=27 °C)



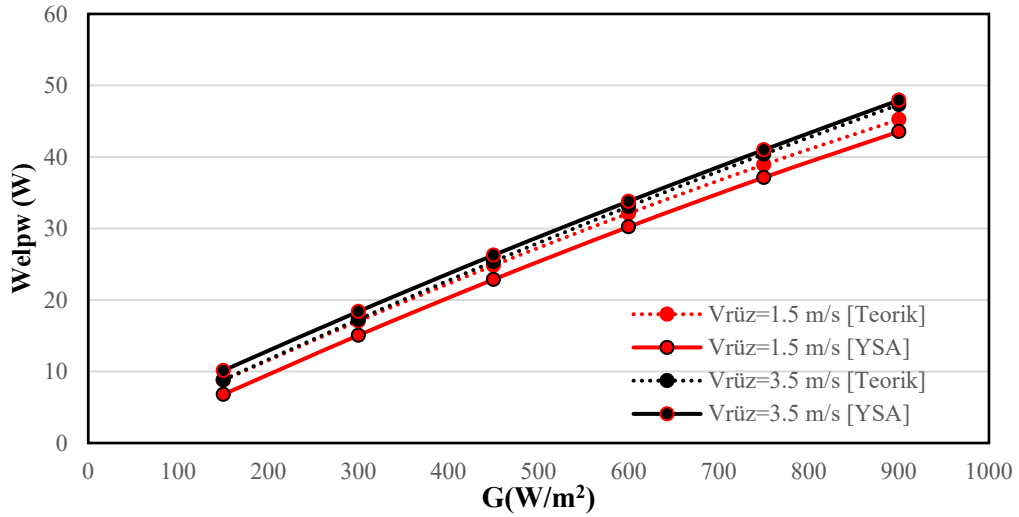
Şekil 3.34. P-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli güç değerleri (T<sub>ç</sub>=27 °C)

### 3.3.2. Ge PV Panel İçin YSA Modeli ve Teorik Modelin Karşılaştırılması

Şekil 3.35 ve Şekil 3.36'da sıcaklık ile elektrik üretimi değerleri 23 °C ortam sıcaklığı, 1,5 m/s ve 3,5 m/s rüzgâr hızları için Ge PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sonuçları alınmıştır.

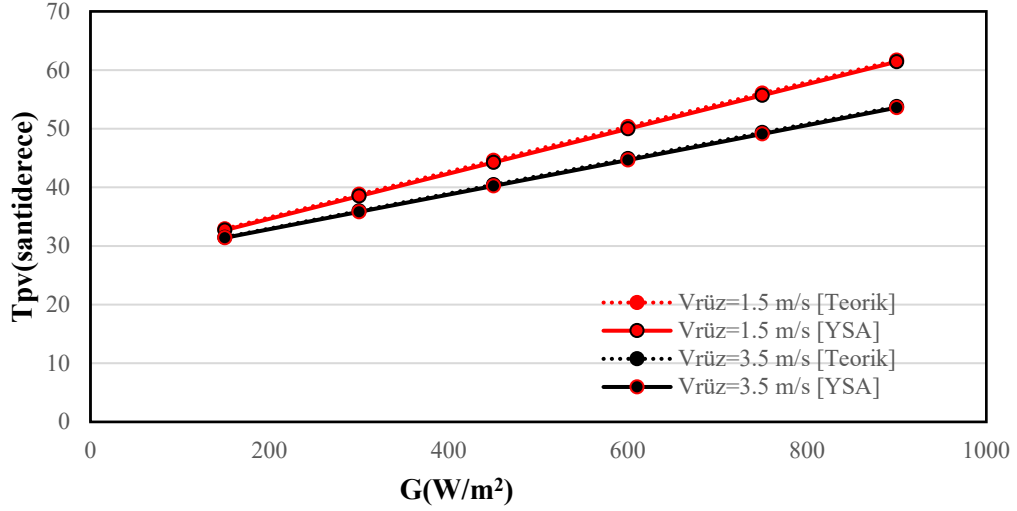


Şekil 3.35. Germanyum PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık değerleri (T<sub>ç</sub>=23 °C)

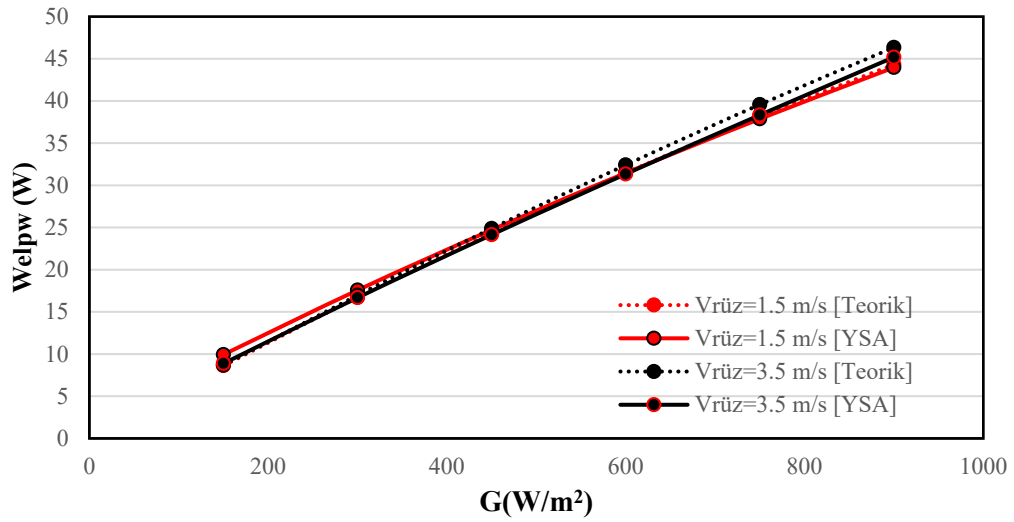


Şekil 3.36. Germanyum PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli güç değerleri (T<sub>ç</sub>=23 °C)

Şekil 3.37 ve Şekil 3.38’de sıcaklık ile elektrik üretimi değerleri 27 °C ortam sıcaklığı, 1,5 m/s ve 3,5 m/s rüzgâr hızları için Ge PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sonuçları karşılaştırılmıştır.



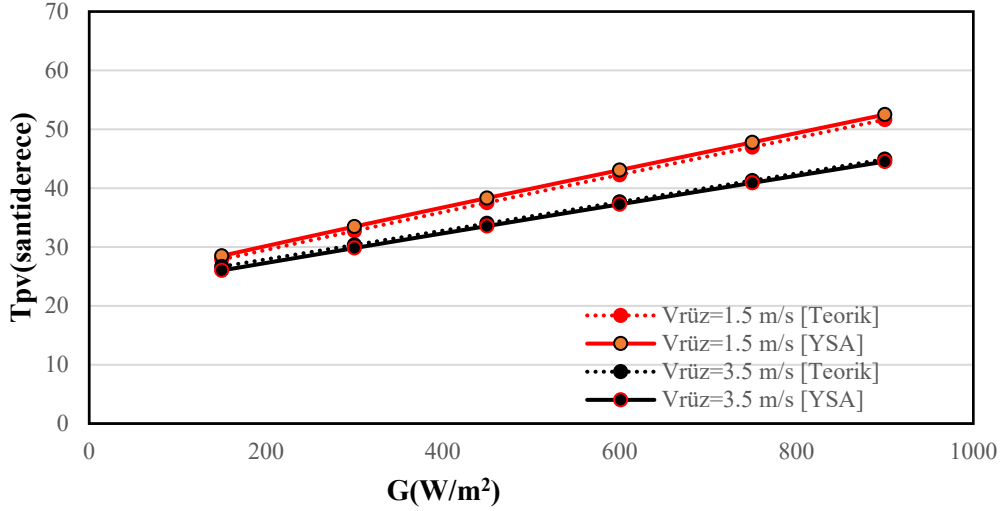
Şekil 3.37. Germanyum PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık değerleri (T<sub>ç</sub>=27 °C)



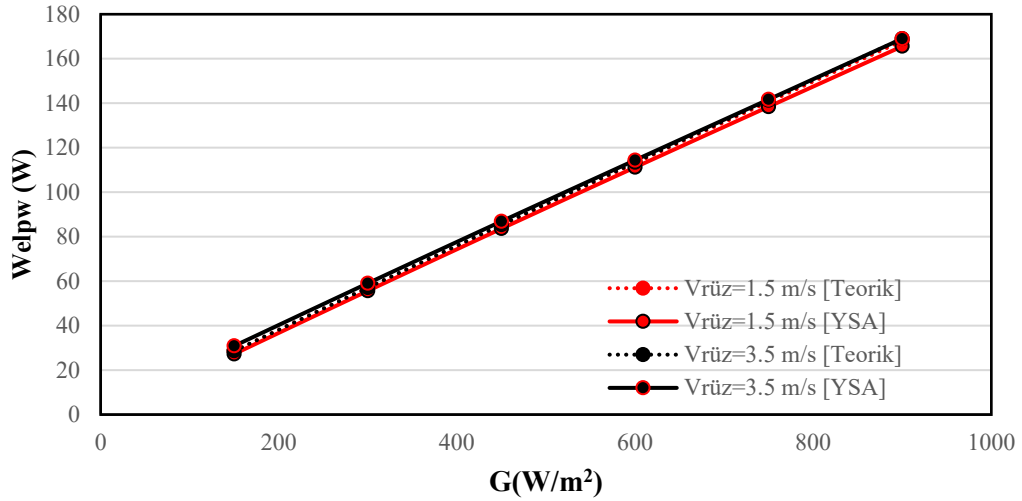
Şekil 3.38. Germanyum PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli güç değerleri (T<sub>ç</sub>=27 °C)

### 3.3.3. M-Si PV Panel İçin YSA Modeli ve Teorik Modelin Karşılaştırılması

Şekil 3.39 ve Şekil 3.40'ta sıcaklık ile elektrik üretimi değerleri 23 °C ortam sıcaklığı, 1,5 m/s ve 3,5 m/s rüzgâr hızları için M-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sonuçları alınmıştır.

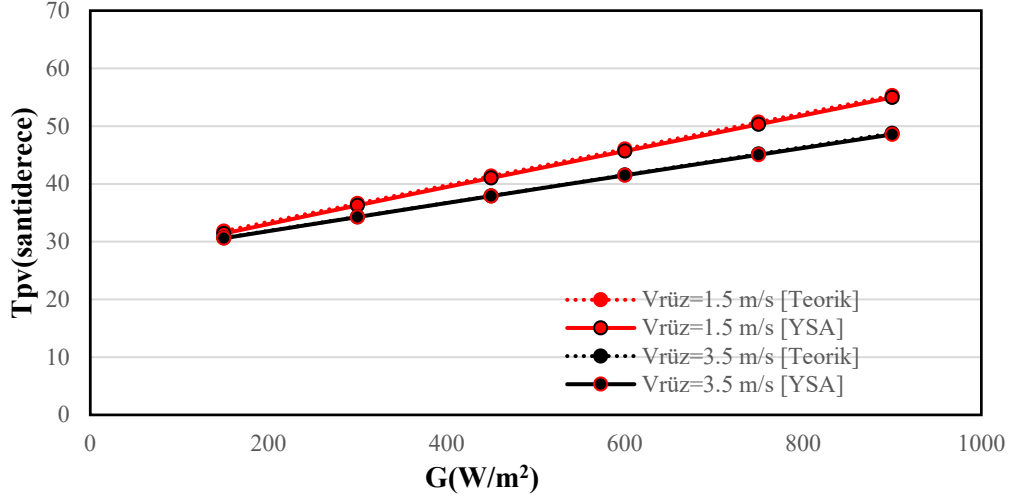


Şekil 3.39. M-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık değerleri ( $T_{\text{ç}}=23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )

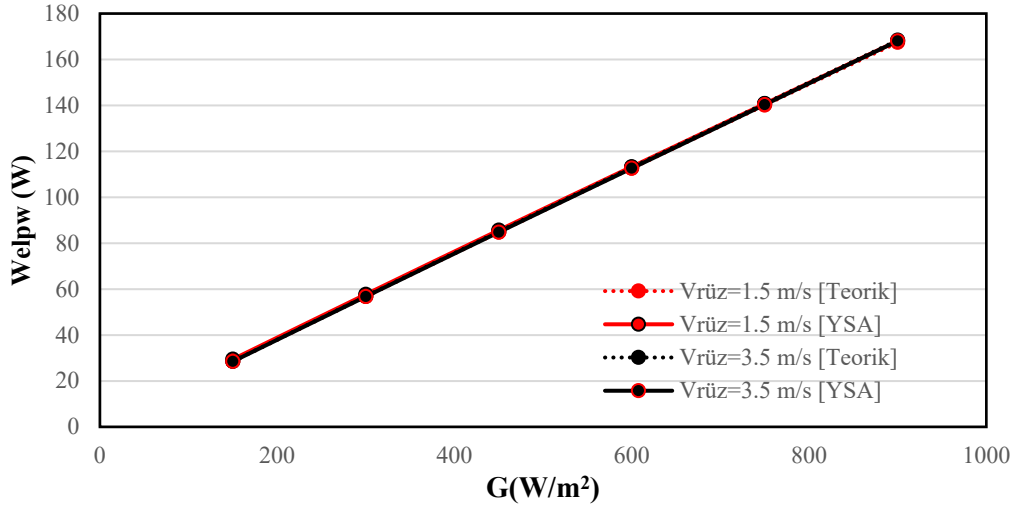


Şekil 3.40. M-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli güç değerleri ( $T_{\text{ç}}=23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )

Şekil 3.41 ve Şekil 3.42’de sıcaklık ile elektrik üretimi değerleri 27 °C ortam sıcaklığı, 1,5 m/s ve 3,5 m/s rüzgâr hızları için M-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sonuçları alınmıştır.



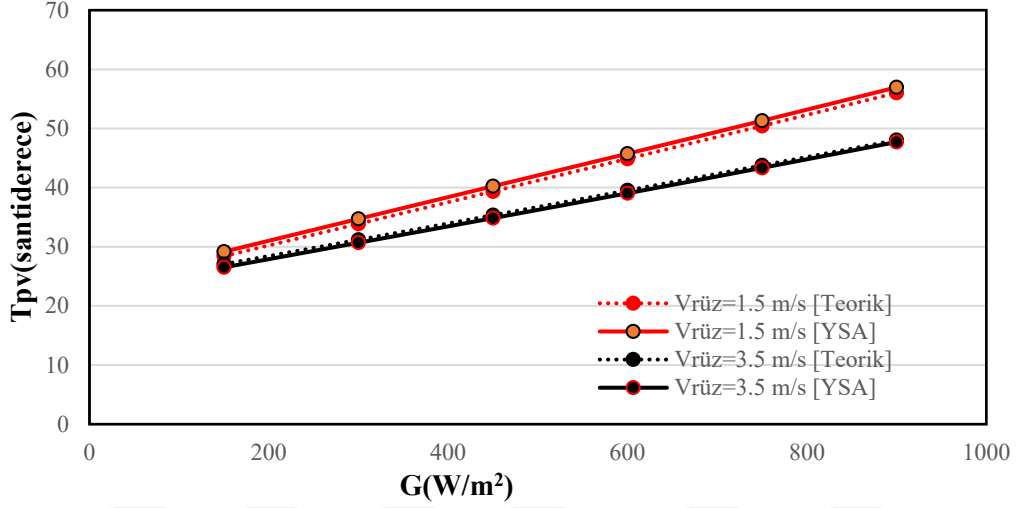
Şekil 3.41. M-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık değerleri (T<sub>ç</sub>=27 °C)



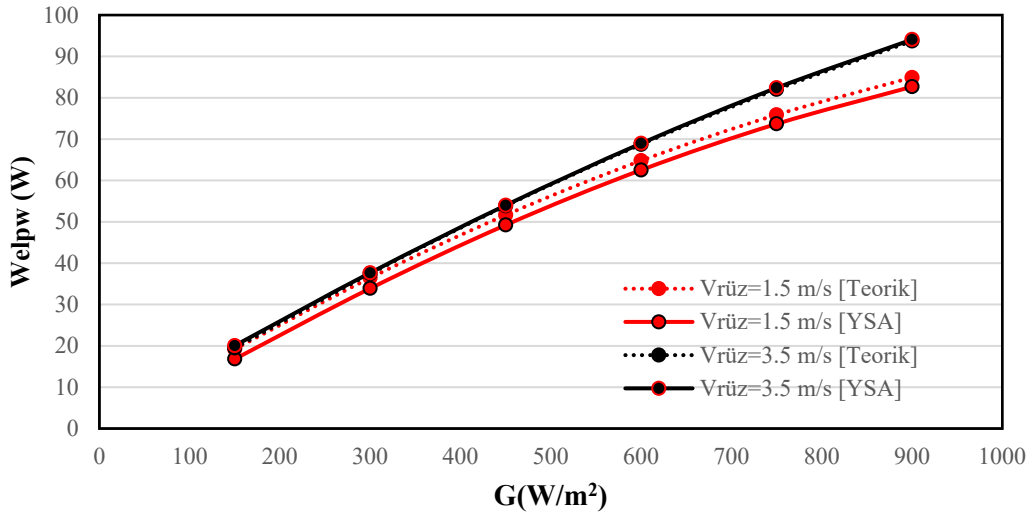
Şekil 3.42. M-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli güç değerleri (T<sub>ç</sub>=27 °C)

### 3.3.4. Cd-Te PV Panel İçin YSA Modeli ve Teorik Modelin Karşılaştırılması

Şekil 3.43 ve Şekil 3.44'te sıcaklık ile elektrik üretimi değerleri 23 °C ortam sıcaklığı, 1,5 m/s ve 3,5 m/s rüzgâr hızları için Cd-Te PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sonuçları alınmıştır.

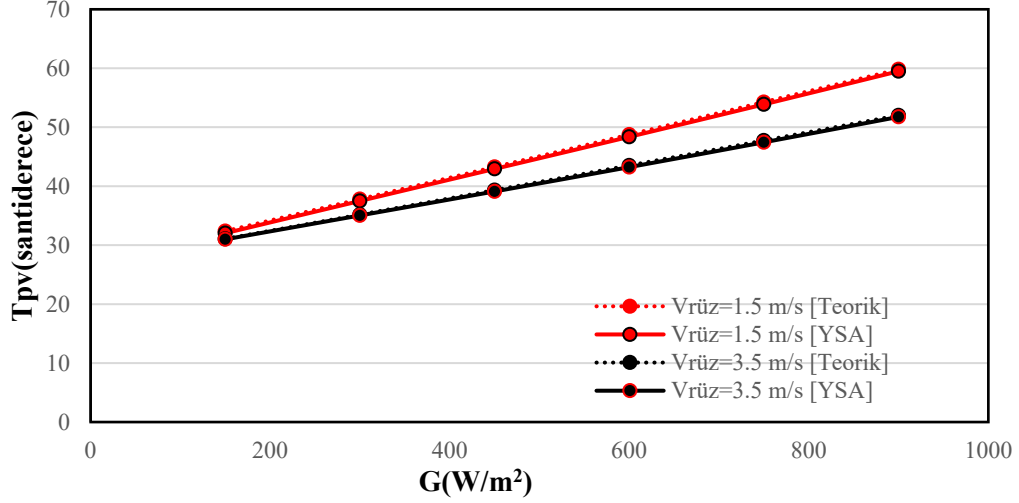


Şekil 3.43. Cd-Te PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık değerleri (T<sub>ç</sub>=23 °C)

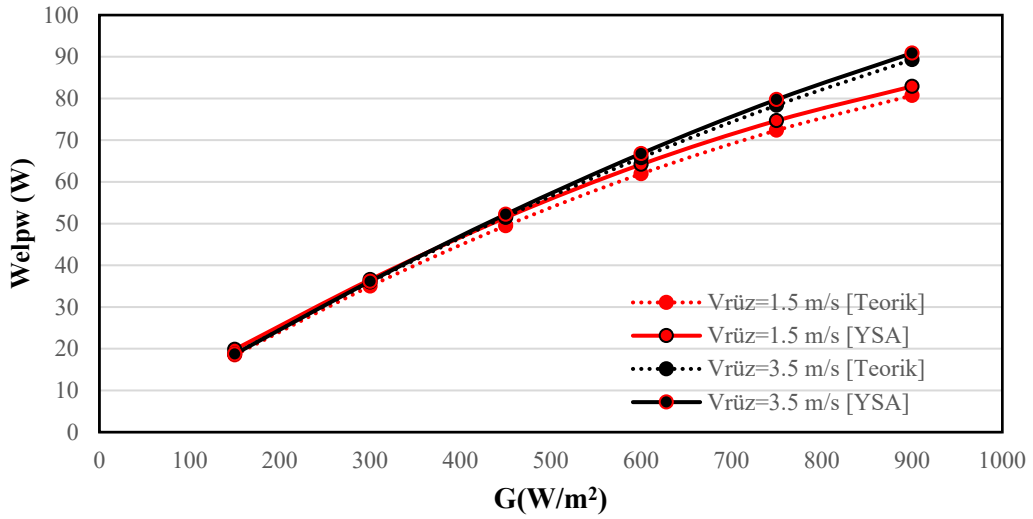


Şekil 3.44. Cd-Te PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli güç değerleri (T<sub>ç</sub>=23 °C)

Şekil 3.45 ve Şekil 3.46'da sıcaklık ile elektrik üretimi değerleri 27 °C ortam sıcaklığı, 1,5 m/s ve 3,5 m/s rüzgâr hızları için Cd-Te PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sonuçları alınmıştır.



Şekil 3.45. Cd-Te PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık değerleri (T<sub>ç</sub>=27 °C)



Şekil 3.46. Cd-Te PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli güç değerleri (T<sub>ç</sub>=27 °C)

Bu çalışmada kullanılan tüm panel türleri için belirli sıcaklık ve rüzgâr hızları altındaki YSA modelinden ve teorik modelden elde edilen veriler karşılaştırılmıştır. Sonuçlar

incelendiğinde YSA modelin teorik modele oldukça yakın sonuçlar verdiği ve çok daha hızlı sonuca ulaşıldığı gözlemlenmiştir.



#### 4. SONUÇLAR

PV panel sıcaklığının artışının panel malzemesi üzerine olumsuz etkilerinin olduğu ve panel verimini düşürdüğü bilinen bir olgudur. Dolayısı ile bu çalışmada çevre sıcaklığı, rüzgâr hızı ve radyasyon miktarına bağlı olarak M-Si, P-Si, Ge ve Cd-Te malzemeli güneş hücrelerinin panel sıcaklıkları ve elektrik üretimleri teorik model ve yapay sinir ağları ile modellenmiştir. Rüzgâr hızı için 1-5 m/s aralığı, güneş radyasyonu için 100-1000 W/m<sup>2</sup> aralığı ve çevre sıcaklığı için ise 20-30 °C aralığı seçilmiştir. Teorik model için ısı direnç ağları ve enerjinin korunumu ilkesi kullanılmış ve nümerik olarak çözümlenmiştir. Ayrıca oluşturulan teorik model literatürde bulunan deneysel çalışma ile doğrulanmıştır.

Çalışma sonuçları aşağıdaki görüldüğü gibi elde edilmiştir.

1. Tüm PV panel hücre malzemeleri için yüksek rüzgâr hızı, düşük ortam sıcaklığı ve yüksek radyasyon değerlerinde elektrik üretimi artmıştır.
2. PV panel sıcaklığını en çok artıran parametrenin radyasyon miktarı olduğu saptanmış ve en yüksek panel sıcaklığı 1 m/s rüzgâr hızı, 30 °C çevre sıcaklığı ve 1000 W/m<sup>2</sup> radyasyon değerinde Ge PV panel hücresi için yaklaşık 72 °C olarak elde edilmiştir.
3. En yüksek elektrik üretimi ise Cd-Te PV panel hücresi için 5m/s rüzgâr hızı, 20 °C çevre sıcaklığı ve 1000 W/m<sup>2</sup> radyasyon değeri için yaklaşık 110 W/m<sup>2</sup> olarak elde edilmiştir.
4. Çevre koşullarından en az etkilenen PV panel hücresi çeşidinin silisyum içeren PV paneller olduğu saptanmıştır.
5. Teorik modelden elde edilen veriler kullanılarak YSA modeli oluşturulmuş, ortam değişkenleri ve panel tipi bilgisi girilerek panel sıcaklığı ile elektrik üretimi sonuçları elde edilmesi sağlanmıştır.

## 5. ÖNERİLER

Bu çalışma ile kullanıcı değişen çevre koşullarına bağlı olarak PV panel çıktılarını hızlı ve doğru bir şekilde elde edebilecektir. Böylece kullanıcı büyük bir yatırım yapmadan önce fizibilite çalışmasını kolaylıkla yapabilecektir. Yatırım yapılacak bölgenin çevre şartlarına bağlı olan ortam sıcaklığı, radyasyon yoğunluğu ve rüzgâr hızı parametrelerinin ortalama değerlerine göre panel tipi seçimi yapılmasında kolaylık sağlayacaktır. Yapay zekâ modeli olarak literatürde çok fazla yöntem mevcuttur. Farklı yöntemler kullanılarak doğruluk oranı daha yüksek modeller elde edilebilir.



## 6. KAYNAKLAR

1. IEA. Electricity Market Report, International Energy Agency January 2022.
2. Onar, O.C. ve Khaligh, A., Alternative Energy in Power Electronics, Chapter 2 - Energy Sources, Butterworth-Heinemann, 81-154, 2015.
3. Abdeen, O., Clean Energies Development in Built Environment/Çevrede Temiz, Enerji Kuruluşları, International Journal of Automotive Engineering and Technologies, 2,1 (2013) 19-39.
4. Abdeen, M., Chapter 3: Energy use, environment and sustainable development, Environmental cost management, (2009) 129-166.
5. Turhan, S. ve Çetiner, İ., Fotovoltaik sistemlerde performans değerlendirmesi, 6, Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 1,9 (2012).
6. Wang, C. ve Lu, Y., Solar Photovoltaic, Yüksek Lisans Tezi, Savonia University of Applied Sciences, 2016.
7. Kumar, A., Thakur, N., Makade, R. ve Shivhare, M., Optimization of tilt angle for photovoltaic array, International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST) Vol, 3 (2012).
8. Nguimdo, L.A. ve Kum, C., Optimization and sizing of a stand-alone photovoltaic system and assessment of random load fluctuation on power supply, Energy and Power Engineering, 12,1 (2019) 28-43.
9. Islam, M.A., Alam, M.S., Sharker, K.K. ve Nandi, S.K., Estimation of solar radiation on horizontal and tilted surface over Bangladesh, Computational Water, Energy, and Environmental Engineering, 5,2 (2016) 54-69.
10. Shukla, K., Rangnekar, S. ve Sudhakar, K., Comparative study of isotropic and anisotropic sky models to estimate solar radiation incident on tilted surface: A case study for Bhopal, India, Energy Reports, 1 (2015) 96-103.
11. Bagher, A.M., Vahid, M.M.A. ve Mohsen, M., Types of Solar Cells and Application, American Journal of Optics and Photonics, 3,5 (2015) 94-113.
12. Brabec, C.J., Organic photovoltaics: technology and market, Solar Energy Materials and Solar Cells, 83,2-3 (2004) 273-292.
13. Fthenakis, V. ve Kim, H.C., Life-cycle uses of water in U.S. electricity generation, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14,7 (2010) 2039-2048.

14. Peng, J., Lu, L. ve Yang, H., Review on life cycle assessment of energy payback and greenhouse gas emission of solar photovoltaic systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19 (2013) 255-274.
15. Barbón, A., Ghodbane, M., Bayón, L. ve Said, Z., A general algorithm for the optimization of photovoltaic modules layout on irregular rooftop shapes, *Journal of Cleaner Production*, (2022) 132774.
16. Abd Elaziz, M., Almodfer, R., Ahmadianfar, I., Ibrahim, I.A., Mudhsh, M., Abualigah, L., Lu, S., Abd El-Latif, A.A. ve Yousri, D., Static models for implementing photovoltaic panels characteristics under various environmental conditions using improved gradient-based optimizer, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 52 (2022) 102150.
17. Elyaqouti, M., Arjdal, E., Ibrahim, A., Abdul-Ghaffar, H., Aboelsaud, R., Obukhov, S. ve Diab, A.A.Z., Parameters identification and optimization of photovoltaic panels under real conditions using Lambert W-function, *Energy Reports*, 7 (2021) 9035-9045.
18. Mankani, K., Chaudhry, H.N. ve Calautit, J.K., Optimization of An Air-cooled Heat Sink for Cooling of a Solar Photovoltaic Panel: A Computational Study, *Energy and Buildings*, (2022) 112274.
19. Jafari, R., Optimization and energy analysis of a novel geothermal heat exchanger for photovoltaic panel cooling, *Solar Energy*, 226 (2021) 122-133.
20. Mesgarpour, M., Heydari, A., Wongwises, S. ve Gharib, M.R., Numerical optimization of a new concept in porous medium considering thermal radiation: Photovoltaic panel cooling application, *Solar Energy*, 216 (2021) 452-467.
21. Bouselham, L., Hajji, M., Hajji, B. ve Bouali, H., A new MPPT-based ANN for photovoltaic system under partial shading conditions, *Energy Procedia*, 111 (2017) 924-933.
22. Mellit, A., ANN-based GA for generating the sizing curve of stand-alone photovoltaic systems, *Advances in Engineering Software*, 41,5 (2010) 687-693.
23. Karamirad, M., Omid, M., Alimardani, R., Mousazadeh, H. ve Heidari, S.N., ANN based simulation and experimental verification of analytical four-and five-parameters models of PV modules, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 34 (2013) 86-98.
24. Geetha, A., Santhakumar, J., Sundaram, K.M., Usha, S., Thentral, T.T., Boopathi, C., Ramya, R. ve Sathyamurthy, R., Prediction of hourly solar radiation in Tamil Nadu using ANN model with different learning algorithms, *Energy Reports*, 8 (2022) 664-671.

25. Alonso-Montesinos, J., Ballestrín, J., López, G., Carra, E., Polo, J., Marzo, A., Barbero, J. ve Batlles, F., The use of ANN and conventional solar-plant meteorological variables to estimate atmospheric horizontal extinction, *Journal of Cleaner Production*, 285 (2021) 125395.
26. Sivaneasan, B., Yu, C. ve Goh, K., Solar forecasting using ANN with fuzzy logic pre-processing, *Energy Procedia*, 143 (2017) 727-732.
27. Rai, A.K., Kaushika, N., Singh, B. ve Agarwal, N., Simulation model of ANN based maximum power point tracking controller for solar PV system, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95,2 (2011) 773-778.
28. Boukelia, T., Ghellab, A., Laouafi, A., Bouraoui, A. ve Kabar, Y., Cooling performances time series of CSP plants: Calculation and analysis using regression and ANN models, *Renewable Energy*, 157 (2020) 809-827.
29. Rizzo, S.A. ve Scelba, G., ANN based MPPT method for rapidly variable shading conditions, *Applied Energy*, 145 (2015) 124-132.
30. Khelil, C.K.M., Amrouche, B., Kara, K. ve Chouder, A., The impact of the ANN's choice on PV systems diagnosis quality, *Energy conversion and management*, 240 (2021) 114278.
31. Şahin, M.E. ve Okumuş, H.İ., Güneş pili modülünün matlab/simulink ile modellenmesi ve simülasyonu, *EMO Bilimsel Dergi*, 3,5 (2013) 17-25.
32. Şahin, M.E. ve Okumuş, H.İ., Physical structure, electrical design, mathematical modeling and simulation of solar cells and modules, *Turkish Journal of Electromechanics and Energy*, 1,1 (2016) 5-12.
33. Altaş, İ.H. ve Sharaf, A.M., A Photovoltaic Array Simulation Model for Matlab-Simulink GUI Environment, 2007 International Conference on Clean Electrical Power, 2007, Capri, Italy 341-345.
34. Buldu, İ. ve Şahin, M.E., Parametre Kestirimi Newton-Raphson Yöntemiyle Yapılan MATLAB/GUI Tabanlı Fotovoltaik Sistem Simülatörü, *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7,3 (2021) 196-212.
35. Öztürk, K. ve Şahin, M.E., Yapay Sinir Ağları ve Yapay Zekâ'ya Genel Bir Bakış, *Takvim-i Vekayi*, 6,2 (2018) 25-36.
36. Cholleti, E.R. ve Khan, M.A., Bio-Synthetic Affordable Nano Solar cell, *Materials Today: Proceedings*, 4,8 (2017) 7694-7703.
37. Nema, R., Nema, S. ve Agnihotri, G., Computer simulation based study of photovoltaic cells/modules and their experimental verification, *International journal of recent trends in Engineering*, 1,3 (2009) 151-156.

38. Kurşun, B. ve Ökten, K., Thermodynamic analysis of a Rankine cycle coupled with a concentrated photovoltaic thermal system for hydrogen production by a proton exchange membrane electrolyzer plant, *International Journal of Hydrogen Energy*, 44,41 (2019) 22863-22875.
39. Emam, M. ve Ahmed, M., Cooling concentrator photovoltaic systems using various configurations of phase-change material heat sinks, *Energy conversion and management*, 158 (2018) 298-314.
40. Green, M.A., Hishikawa, Y., Dunlop, E.D., Levi, D.H., Hohl-Ebinger, J. ve Ho-Baillie, A.W., Solar cell efficiency tables (version 52), *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 26,7 (2018) 427-436.
41. Abiodun, O.I., Jantan, A., Omolara, A.E., Dada, K.V., Mohamed, N.A. ve Arshad, H., State-of-the-art in artificial neural network applications: A survey, *Heliyon*, 4,11 (2018) e00938.
42. Elliott, D.L. A better activation function for artificial neural networks 1993.
43. Moré, J.J., Numerical analysis, The Levenberg-Marquardt algorithm: implementation and theory, Springer, 105-116, 1978.
44. Abdulmunem, A.R., Passive cooling by utilizing the combined PCM/aluminum foam matrix to improve solar panels performance: indoor investigation, *The Iraqi Journal for Mechanical and Material Engineering*, 17,4 (2017) 712-723.
45. Souayeh, B., Sabir, Z., Umar, M. ve Alam, M.W., Supervised Neural Network Procedures for the Novel Fractional Food Supply Model, *Fractal and Fractional*, 6,6 (2022) 333.

## 7. EKLER

Ek Tablo 1. P-Si PV panel hücresinin değişen parametrelere bağlı sıcaklık ve elektrik üretimleri

P-Si											
		$V_{rüz=1}$		$V_{rüz=2}$		$V_{rüz=3}$		$V_{rüz=4}$		$V_{rüz=5}$	
$T_a$	I	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$
20	100	23.9	14.93	23.24	14.94	22.81	14.95	22.51	14.95	22.29	14.95
20	200	27.77	29.76	26.46	29.8	25.61	29.82	25.02	29.83	24.57	29.85
20	300	31.59	44.49	29.67	44.56	28.41	44.61	27.52	44.65	26.85	44.68
20	400	35.38	59.11	32.86	59.25	31.19	59.34	30.01	59.4	29.13	59.45
20	500	39.12	73.64	36.03	73.84	33.97	73.98	32.5	74.08	31.41	74.16
20	600	42.84	88.06	39.18	88.36	36.73	88.56	34.99	88.7	33.68	88.8
20	700	46.51	102.4	42.32	102.8	39.49	103.1	37.47	103.2	35.95	103.4
20	800	50.16	116.6	45.43	117.1	42.24	117.5	39.94	117.7	38.22	117.9
20	900	53.77	130.8	48.54	131.4	44.97	131.8	42.41	132.1	40.48	132.4
20	1000	57.34	144.8	51.62	145.6	47.7	146.1	44.87	146.5	42.74	146.8
25	100	28.83	14.87	28.2	14.87	27.78	14.88	27.49	14.88	27.27	14.89
25	200	32.63	29.63	31.37	29.66	30.56	29.69	29.98	29.7	29.54	29.71
25	300	36.38	44.29	34.53	44.37	33.32	44.42	32.46	44.45	31.81	44.48
25	400	40.11	58.86	37.67	58.99	36.08	59.07	34.93	59.13	34.07	59.18
25	500	43.79	73.32	40.78	73.52	38.83	73.66	37.4	73.75	36.33	73.82
25	600	47.44	87.69	43.88	87.98	41.56	88.17	39.87	88.3	38.59	88.41
25	700	51.06	102	46.96	102.4	44.29	102.6	42.33	102.8	40.85	102.9
25	800	54.64	116.1	50.02	116.6	47.01	117	44.78	117.2	43.1	117.4
25	900	58.19	130.2	53.06	130.9	49.72	131.3	47.23	131.6	45.35	131.8
25	1000	61.71	144.2	56.08	145	52.43	145.5	49.68	145.9	47.59	146.1
30	100	33.76	14.8	33.16	14.81	32.75	14.81	32.47	14.82	32.26	14.82
30	200	37.49	29.5	36.3	29.53	35.5	29.55	34.94	29.57	34.51	29.58
30	300	41.18	44.1	39.42	44.17	38.24	44.22	37.4	44.25	36.76	44.28
30	400	44.84	58.6	42.52	58.73	40.97	58.81	39.85	58.87	39.01	58.91
30	500	48.46	73.01	45.61	73.2	43.68	73.33	42.3	73.42	41.26	73.49
30	600	52.05	87.32	48.68	87.59	46.39	87.78	44.74	87.91	43.5	88.01
30	700	55.6	101.5	51.74	101.9	49.1	102.2	47.18	102.3	45.74	102.5
30	800	59.13	115.7	54.78	116.1	51.79	116.5	49.62	116.7	47.98	116.9
30	900	62.62	129.7	57.8	130.3	54.47	130.7	52.05	131	50.21	131.2
30	1000	66.08	143.6	60.81	144.4	57.15	144.8	54.47	145.2	52.44	145.5

Ek Tablo 2. Ge PV panel hücresinin değişen parametrelere bağlı sıcaklık ve elektrik üretimleri

Ge											
		$V_{rüz=1}$		$V_{rüz=2}$		$V_{rüz=3}$		$V_{rüz=4}$		$V_{rüz=5}$	
$T_a$	I	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$
20	100	24.47	5.982	23.71	6.004	23.22	6.018	22.87	6.027	22.62	6.035
20	200	28.89	11.71	27.4	11.8	26.43	11.85	25.74	11.89	25.24	11.92
20	300	33.26	17.2	31.07	17.38	29.63	17.51	28.61	17.59	27.85	17.66
20	400	37.6	22.44	34.73	22.76	32.82	22.98	31.47	23.13	30.47	23.25
20	500	41.89	27.44	38.36	27.94	36.01	28.27	34.33	28.51	33.08	28.69
20	600	46.14	32.2	41.98	32.91	39.19	33.38	37.19	33.73	35.69	33.98
20	700	50.35	36.73	45.58	37.68	42.35	38.32	40.04	38.78	38.3	39.12
20	800	54.53	41.03	49.16	42.25	45.51	43.07	42.89	43.67	40.91	44.12
20	900	58.66	45.1	52.73	46.62	48.66	47.65	45.73	48.4	43.52	48.97
20	1000	62.75	48.95	56.27	50.79	51.81	52.06	48.57	52.98	46.12	53.67
25	100	29.39	5.842	28.66	5.863	28.19	5.876	27.85	5.886	27.6	5.893
25	200	33.74	11.44	32.31	11.52	31.37	11.57	30.7	11.61	30.21	11.64
25	300	38.04	16.79	35.94	16.97	34.54	17.09	33.55	17.17	32.81	17.24
25	400	42.31	21.9	39.55	22.22	37.71	22.42	36.39	22.57	35.41	22.69
25	500	46.53	26.78	43.14	27.26	40.86	27.58	39.23	27.81	38.01	27.99
25	600	50.71	31.42	46.72	32.1	44.01	32.56	42.06	32.89	40.6	33.14
25	700	54.86	35.83	50.27	36.74	47.15	37.37	44.89	37.81	43.2	38.15
25	800	58.96	40.02	53.81	41.19	50.28	41.99	47.72	42.57	45.79	43.01
25	900	63.03	43.98	57.33	45.44	53.4	46.44	50.54	47.17	48.39	47.73
25	1000	67.06	47.72	60.84	49.49	56.51	50.72	53.36	51.61	50.98	52.29
30	100	34.32	5.702	33.62	5.722	32.75	5.745	32.83	5.745	32.59	5.751
30	200	38.59	11.16	37.22	11.24	35.5	11.33	35.66	11.33	35.18	11.36
30	300	42.82	16.38	40.8	16.55	38.24	16.75	38.49	16.75	37.76	16.81
30	400	47.02	21.37	44.37	21.67	40.97	22.02	41.31	22.02	40.35	22.12
30	500	51.17	26.12	47.92	26.58	43.68	27.12	44.13	27.12	42.93	27.29
30	600	55.29	30.64	51.45	31.29	46.39	32.06	46.94	32.06	45.51	32.31
30	700	59.37	34.94	54.96	35.81	49.1	36.85	49.75	36.85	48.09	37.18
30	800	63.41	39.01	58.46	40.13	51.79	41.47	52.56	41.47	50.67	41.9
30	900	67.41	42.86	61.94	44.26	54.47	45.94	55.36	45.94	53.25	46.48
30	1000	71.38	46.5	65.4	48.2	57.15	50.25	58.16	50.25	55.83	50.91

Ek Tablo 3. Cd-Te PV panel hücresinin değişen parametrelere bağlı sıcaklık ve elektrik üretimleri

Cd-Te											
		$V_{rüz=1}$		$V_{rüz=2}$		$V_{rüz=3}$		$V_{rüz=4}$		$V_{rüz=5}$	
$T_a$	I	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$
20	100	24	13.36	23.32	13.44	22.88	13.49	22.57	13.53	22.34	13.56
20	200	28.02	25.73	26.66	26.06	25.77	26.28	25.15	26.43	24.69	26.54
20	300	32.04	37.11	30.02	37.86	28.69	38.35	27.76	38.69	27.06	38.94
20	400	36.08	47.51	33.39	48.82	31.62	49.69	30.38	50.3	29.45	50.76
20	500	40.13	56.9	36.79	58.95	34.58	60.3	33.02	61.26	31.86	61.97
20	600	44.19	65.3	40.2	68.23	37.55	70.18	35.67	71.56	34.28	72.59
20	700	48.26	72.69	43.63	76.66	40.54	79.31	38.35	81.19	36.71	82.59
20	800	52.33	79.08	47.08	84.23	43.55	87.69	41.04	90.15	39.16	91.99
20	900	56.42	84.46	50.54	90.94	46.58	95.31	43.75	98.43	41.63	100.8
20	1000	60.51	88.82	54.02	96.78	49.62	102.2	46.48	106	44.12	108.9
25	100	28.96	12.75	28.3	12.83	27.87	12.88	27.57	12.92	27.34	12.95
25	200	32.94	24.52	31.63	24.84	30.77	25.06	30.16	25.21	29.7	25.32
25	300	36.93	35.32	34.97	36.04	33.68	36.51	32.76	36.85	32.08	37.1
25	400	40.92	45.13	38.33	46.41	36.6	47.25	35.38	47.85	34.47	48.3
25	500	44.93	53.96	41.7	55.94	39.55	57.26	38.02	58.19	36.88	58.89
25	600	48.95	61.8	45.1	64.63	42.52	66.53	40.68	67.88	39.3	68.89
25	700	52.98	68.64	48.51	72.48	45.5	75.06	43.35	76.9	41.74	78.28
25	800	57.01	74.49	51.93	79.47	48.5	82.84	46.04	85.25	44.2	87.05
25	900	61.05	79.34	55.38	85.6	51.52	89.86	48.75	92.92	46.67	95.21
25	1000	65.1	83.2	58.84	90.88	54.56	96.12	51.48	99.9	49.16	102.7
30	100	33.93	12.14	33.29	12.22	32.87	12.27	32.57	12.31	32.35	12.33
30	200	37.86	23.32	36.59	23.63	35.75	23.83	35.16	23.98	34.71	24.09
30	300	41.81	33.52	39.92	34.22	38.66	34.68	37.76	35.01	37.09	35.26
30	400	45.77	42.76	43.26	43.99	41.58	44.81	40.38	45.4	39.49	45.84
30	500	49.73	51.02	46.62	52.93	44.52	54.21	43.02	55.13	41.9	55.82
30	600	53.71	58.3	49.99	61.03	47.48	62.88	45.68	64.2	44.33	65.2
30	700	57.7	64.59	53.38	68.29	50.45	70.81	48.35	72.61	46.77	73.97
30	800	61.69	69.91	56.79	74.71	53.45	77.99	51.04	80.35	49.23	82.12
30	900	65.69	74.23	60.21	80.28	56.46	84.41	53.75	87.4	51.7	89.66
30	1000	69.7	77.57	63.65	84.98	59.49	90.08	56.47	93.78	54.19	96.57

Ek Tablo 4. M-Si PV panel hücresinin değişen parametrelere bağlı sıcaklık ve elektrik üretimleri

M-Si											
		$V_{rüz=1}$		$V_{rüz=2}$		$V_{rüz=3}$		$V_{rüz=4}$		$V_{rüz=5}$	
$T_a$	I	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$
20	100	23.64	19.15	23.02	19.15	22.62	19.17	22.34	19.17	22.13	19.17
20	200	27.24	38.17	26.03	38.17	25.23	38.24	24.67	38.26	24.26	38.28
20	300	30.82	57.07	29.02	57.07	27.84	57.23	27	57.27	26.39	57.3
20	400	34.36	75.85	31.99	75.85	30.44	76.12	29.33	76.2	28.51	76.26
20	500	37.87	94.51	34.96	94.51	33.03	94.93	31.66	95.05	30.64	95.14
20	600	41.35	113.1	37.91	113.1	35.61	113.7	33.98	113.8	32.76	113.9
20	700	44.8	131.5	40.85	131.5	38.19	132.3	36.3	132.5	34.88	132.7
20	800	48.22	149.8	43.77	149.8	40.76	150.8	38.61	151.1	37	151.3
20	900	51.61	168	46.68	168	43.33	169.3	40.92	169.7	39.11	169.9
20	1000	54.97	186.1	49.57	186.1	45.88	187.6	43.23	188.1	41.23	188.4
25	100	28.57	19.06	27.98	19.07	27.59	19.08	27.32	19.08	27.12	19.09
25	200	32.12	38	30.95	38.04	30.18	38.07	29.64	38.09	29.23	38.1
25	300	35.63	56.82	33.9	56.91	32.76	56.97	31.95	57.01	31.35	57.05
25	400	39.11	75.53	36.84	75.68	35.33	75.79	34.26	75.86	33.46	75.92
25	500	42.56	94.11	39.77	94.35	37.89	94.51	36.57	94.63	35.57	94.71
25	600	45.98	112.6	42.68	112.9	40.44	113.1	38.87	113.3	37.68	113.4
25	700	49.38	130.9	45.58	131.4	42.99	131.7	41.17	131.9	39.79	132.1
25	800	52.75	149.2	48.47	149.8	45.53	150.2	43.47	150.4	41.89	150.7
25	900	56.09	167.3	51.34	168	48.06	168.5	45.76	168.9	44	169.2
25	1000	59.4	185.3	54.2	186.2	50.58	186.8	48.05	187.3	46.1	187.6
30	100	33.51	18.98	32.94	18.99	32.57	18.99	32.3	19	32.1	19
30	200	36.99	37.84	35.87	37.87	35.13	37.9	34.6	37.92	34.21	37.93
30	300	40.44	56.57	38.79	56.66	37.69	56.72	36.9	56.76	36.31	56.79
30	400	43.86	75.2	41.69	75.35	40.23	75.45	39.19	75.52	38.41	75.57
30	500	47.26	93.7	44.58	93.93	42.78	94.09	41.48	94.2	40.51	94.29
30	600	50.62	112.1	47.46	112.4	45.31	112.6	43.76	112.8	42.6	112.9
30	700	53.96	130.4	50.32	130.8	47.84	131.1	46.05	131.3	44.69	131.5
30	800	57.28	148.5	53.17	149.1	50.36	149.5	48.32	149.8	46.79	150
30	900	60.56	166.6	56.01	167.3	52.87	167.8	50.6	168.1	48.88	168.4
30	1000	63.82	184.5	58.83	185.4	55.38	186	52.87	186.4	50.96	186.8

Ek Tablo 5. P-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık ve güç değerleri

P-Si									
		$V_{rüz} = 1.5$				$V_{rüz} = 3.5$			
		Teorik		YSA		Teorik		YSA	
$T_{ç}$	I	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$
23	150	28.24	22.31	28.86	21.48	26.95	22.34	26.54	24.40
23	300	33.42	44.41	34.18	43.66	30.88	44.51	30.57	46.32
23	450	38.55	66.31	39.39	65.44	34.8	66.53	34.54	68.00
23	600	43.62	88	44.50	86.85	38.71	88.4	38.47	89.42
23	750	48.64	109.5	49.54	107.99	42.59	110.1	42.38	110.61
23	900	53.61	130.8	54.53	128.98	46.47	131.7	46.25	131.68
27	150	32.18	22.23	31.65	22.91	30.92	22.26	30.78	21.96
27	300	37.3	44.26	36.87	45.28	34.83	44.36	34.69	44.35
27	450	42.36	66.08	41.98	67.31	38.72	66.3	38.55	66.57
27	600	47.38	87.7	47.01	89.01	42.59	88.08	42.39	88.58
27	750	52.33	109.1	51.97	110.49	46.45	109.7	46.19	110.40
27	900	57.24	130.3	56.90	131.81	50.3	131.2	49.96	132.05

Ek Tablo 6. Ge PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık ve güç değerleri

Ge									
		$V_{rüz} = 1.5$				$V_{rüz} = 3.5$			
		Teorik		YSA		Teorik		YSA	
$T_{ç}$	I	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$
23	150	29	8.78	29.89	6.80	27.52	8.843	27.06	10.14
23	300	34.94	17.05	35.79	15.06	32.04	17.3	31.60	18.39
23	450	40.82	24.83	41.63	22.86	36.53	25.38	36.11	26.27
23	600	46.64	32.11	47.43	30.22	41.02	33.07	40.63	33.79
23	750	52.4	38.92	53.22	37.13	45.49	40.39	45.17	40.99
23	900	58.1	45.24	59.00	43.55	49.95	47.32	49.75	47.93
27	150	32.93	8.613	32.70	9.94	31.49	8.674	31.39	8.88
27	300	38.81	16.72	38.51	17.57	35.98	16.97	35.83	16.68
27	450	44.62	24.34	44.26	24.71	40.45	24.88	40.24	24.14
27	600	50.37	31.48	49.98	31.46	44.9	32.41	44.66	31.34
27	750	56.06	38.14	55.70	37.87	49.35	39.57	49.11	38.34
27	900	61.7	44.32	61.42	43.97	53.78	46.35	53.59	45.19

Ek Tablo 7. Cd-Te PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık ve güç değerleri

Cd-Te									
		$V_{rüz} = 1.5$				$V_{rüz} = 3.5$			
		<i>Teorik</i>		<i>YSA</i>		<i>Teorik</i>		<i>YSA</i>	
$T_{ç}$	I	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$
23	150	28.41	19.22	29.16	16.82	27.07	19.47	26.52	20.06
23	300	33.87	36.44	34.72	33.90	31.18	37.43	30.68	37.67
23	450	39.36	51.64	40.24	49.23	35.34	53.85	34.84	54.00
23	600	44.88	64.79	45.75	62.53	39.53	68.72	39.05	68.95
23	750	50.43	75.88	51.30	73.68	43.76	82.01	43.34	82.39
23	900	56.02	84.9	56.96	82.66	48.04	93.7	47.72	94.08
27	150	32.38	18.49	32.03	19.83	31.07	18.74	30.99	18.72
27	300	37.81	35	37.49	36.58	35.18	35.96	35.04	36.16
27	450	43.26	49.48	42.93	51.45	39.33	51.65	39.11	52.22
27	600	48.75	61.94	48.37	64.19	43.52	65.79	43.23	66.79
27	750	54.27	72.36	53.87	74.67	47.75	78.35	47.44	79.75
27	900	59.82	80.7	59.49	82.89	52.02	89.31	51.75	90.88

Ek Tablo 8. M-Si PV panel hücresinin teorik ve YSA modeli sıcaklık ve güç değerleri

M-Si									
		$V_{rüz} = 1.5$				$V_{rüz} = 3.5$			
		<i>Teorik</i>		<i>YSA</i>		<i>Teorik</i>		<i>YSA</i>	
$T_{ç}$	I	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$	$T_{pv}$	$W_{elpw}$
23	150	27.89	28.61	28.50	27.26	26.68	28.64	26.02	30.87
23	300	32.73	56.97	33.47	55.65	30.35	57.1	29.82	59.06
23	450	37.52	85.09	38.32	83.61	34.01	85.36	33.56	86.88
23	600	42.27	113	43.07	111.17	37.66	113.4	37.25	114.38
23	750	46.97	140.6	47.78	138.44	41.29	141.3	40.90	141.70
23	900	51.64	168	52.50	165.57	44.92	169	44.51	169.01
27	150	31.83	28.51	31.41	29.45	30.66	28.54	30.59	28.50
27	300	36.61	56.77	36.28	57.73	34.3	56.89	34.27	56.76
27	450	41.35	84.79	41.03	85.65	37.93	85.06	37.90	84.79
27	600	46.04	112.6	45.68	113.28	41.55	113	41.49	112.61
27	750	50.69	140.1	50.31	140.72	45.17	140.8	45.04	140.32
27	900	55.3	167.4	54.96	168.10	48.77	168.4	48.56	168.08

## ÖZGEÇMİŞ

Hakan AKAY, 2010 yılında Trabzon Yomra Fen Lisesinden mezun oldu. 2013 yılında lisans eğitime başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümünden 2017 yılında mezun oldu. 2018 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde yüksek lisans eğitime başladı. 2019 yılından itibaren Amasya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Yabancı dil olarak İngilizce bilmektedir.

