



**GÜNEŞ PANELLERİNDE MEYDANA GELEN FARKLI GEÇİCİ
DURUMLARIN ANALİZİ VE MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ferhat TABAK

DANIŞMAN

Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

AĞUSTOS 2024

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ PANELLERİNDE MEYDANA GELEN FARKLI GEÇİCİ
DURUMLARIN ANALİZİ VE MODELLENMESİ

Ferhat TABAK

Danışman

Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI
AĞUSTOS 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Ferhat TABAK tarafından hazırlanan “GÜNEŞ PANELLERİNDE MEYDANA GELEN FARKLI GEÇİCİ DURUMLARIN ANALİZİ VE MODELLENMESİ” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 02/08/2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

Başkan: Prof. Dr. Ümmühan BAŞARAN FİLİK
Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fatih SERTTAŞ
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.
.....
Enstitü Müdürü
Prof. Dr. Bekir YALÇIN

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

02/08/2024

Ferhat TABAK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜNEŞ PANELLERİNDE MEYDANA GELEN FARKLI GEÇİCİ DURUMLARIN ANALİZİ VE MODELLENMESİ

Ferhat TABAK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

Bu çalışma kapsamında, güneş panellerinde meydana gelen farklı geçici durumların çeşitli güneş paneli türlerindeki tepkilerinin gözlemlenmesi amaçlanmıştır. Deneylerde 25 watt monokristal ve 25 watt perc monokristal güneş panelleri kullanılmıştır. Geçici durumlar olarak yapay gölgelenme, yağmur ve rüzgar etkileri incelenmiştir. Bu etkilerin ölçülmesi için; elektriksel değerler iki adet el tipi multimetre, güneş ışıınımı solarimetre, hava hızı anemometre, ortam ve yüzey sıcaklıkları ile bağıl nem ise sıcaklık ve nem ölçer cihazı ile kaydedilmiştir. Suni rüzgar oluşturmak için vantilatör kullanılmıştır. Deneyler sonucunda, monokristal panellerin gündüz saatlerinde perc panellere göre %2,5 daha fazla gerilim ürettiği, perc panellerin ise akşam saatlerinde monokristal panellere kıyasla %330 daha fazla gerilim ürettiği gözlemlenmiştir. Panelin kurulacağı yer dikkate alındığında, yüksek güneş ışığına sahip bölgeler için monokristal panellerin, güneş ışığının düzensiz olduğu bölgeler için ise perc panellerin daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen veriler, yapay sinir ağları (YSA) teknikleri ile modellenmiştir.

2024, xiii + 77 sayfa

Anahtar Kelimeler: Monokristal, Perc Monokristal, Işıınım, Gerilim, Güneş Paneli, Geçici Durum

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

ANALYSIS AND MODELING OF DIFFERENT TRANSIENT CASES OCCURRING IN SOLAR PANELS

Ferhat TABAK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Renewable Energy Systems

Supervisor: Prof. Fatih Onur HOCAOĞLU

The aim of this study is to observe the responses of different types of solar panels to various transient conditions. In the experiments, 25-watt monocrystalline and 25-watt PERC monocrystalline solar panels were used. Transient conditions such as artificial shading, rain, and wind effects were examined. For measuring these effects, electrical values were recorded using two handheld multimeters, solar irradiance with a solarimeter, airspeed with an anemometer, and ambient and surface temperatures and relative humidity with a temperature and humidity meter. A fan was used to create artificial wind. The experiments revealed that monocrystalline panels produced 2.5% more voltage during the day compared to perC panels, whereas perC panels generated 330% more voltage in the evening compared to monocrystalline panels. Considering the location of the panel installation, it was concluded that monocrystalline panels are more suitable for regions with high sunlight, while perC panels are more suitable for regions with irregular sunlight. The obtained data were modeled using artificial neural networks (ANN) techniques.

2024, xiii + 77 pages

Keywords: Monocrystalline, Perc Monocrystalline, Irradiation, Voltage, Solar Panel, Transient Condition

TEŞEKKÜR

Tez danışmanım Prof. Dr. Fatih Onur Hoccoğlu'na, çalışmam süresince gösterdiği özveri, rehberlik ve değerli katkılarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu süreçte bana sabır, anlayış ve sürekli destek sağlayan sevgili eşim Tuğçe Tabak'a içten teşekkürlerimi iletirim.

Özellikle deney sürecindeki katkılarından dolayı babam Sadettin Tabak'a minnettarım. Annem Yasemin Tabak ve kardeşim Arda Tabak'a sevgi ve teşvikle yanımda oldukları için teşekkür ederim.

Ayrıca, TCMB / Banknot Matbaası Genel Müdürlüğü'ndeki değerli yöneticilerime, meslektaşlarıma ve mesai arkadaşlarıma da teşekkür ederim.

Ferhat TABAK

Afyonkarahisar 2024

İÇİNDEKİLER

TEZ ONAY SAYFASI.....	i
BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1.GİRİŞ	1
1.1 Enerji Kaynakları.....	3
1.1.1 Yenilenemez Enerji Kaynakları	4
1.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	4
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	7
3. MATERYAL ve METOT	22
3.1 Deney Düzenekinin Tasarımı	23
3.2 Verilerin Kaydedilmesi.....	27
4. DENEY SONUÇLARININ ANALİZ EDİLMESİ	28
4.1 Gölgeleme Durumunda Testin Gerçekleştirilmesi	28
4.2 Rüzgar Durumunda Testin Gerçekleştirilmesi	29
4.3 Bağıl Nemin Ölçülerek Testin Gerçekleştirilmesi.....	31
4.4 Yağmur Durumunda Testin Gerçekleştirilmesi.....	32
4.5 Akşam Vaktinde Ölçüm Alınması.....	34
4.6 Monokristal ve Perc Monokristal Panel Gerilimlerinin Kıyaslanması.....	35

4.7 Kısa Süreli Işınım Değer Değişimlerinin Monokristal ve Perc Monokristal Panel Gerilimlerine Etkisinin Kıyaslanması	38
5. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE VERİLERİN MODELLENMESİ	43
5.1 Birinci YSA Modeli: Ani Gölgeleme Durumu	45
5.2 İkinci YSA Modeli: Ani Gölgelemenin Kaldırılması Durumu	47
5.3 Üçüncü YSA Modeli: Ani Rüzgar Durumu	49
5.4 Dördüncü YSA Modeli: Ani Rüzgarın Kaldırılması Durumu	51
5.5 Beşinci YSA Modeli: Ani Rüzgar ve Gölgeleme Durumu	53
5.6 Altıncı YSA Modeli: Ani Rüzgar ve Gölgelemenin Kaldırılması Durumu	54
5.7 Yedinci YSA Modeli: Ani Yağmur Durumu	56
5.8 Sekizinci YSA Modeli: Ani Yağmurun Kaldırılması Durumu	59
5.9 Dokuzuncu YSA Modeli: Ani Yağmur ve Gölgeleme Durumu	61
5.10 Onuncu YSA Modeli: Ani Yağmur ve Gölgelemenin Kaldırılması Durumu ..	63
5.11 On Birinci YSA Modeli: Ani Yağmur, Rüzgar ve Gölgeleme Durumu	65
5.12 On İkinci YSA Modeli: Ani Yağmur, Rüzgar ve Gölgelemenin Kaldırılması Durumu	67
5.13 On Üçüncü YSA Modeli: Gün Batımı (Akşam) Durumu	69
6. SONUÇ VE TARTIŞMA	71
KAYNAKÇA	73
ÖZGEÇMİŞ	77

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

KISALTMALAR

:

AC	Alternating Current (Alternatif Akım)
ANN	Artificial Neural Networks (Yapay Sinir Ağları)
CO ₂	Karbon Dioksit
DC	Direct Current (Doğru Akım)
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
MSE	Mean Square Error (Ortalama Kare Hatası)
MW	Megawatt
PERC	Passivated Emitter and Rear Cell
PV	Photovoltaic (Fotovoltaik)
RMSE	Root Mean Square Error (Kök Ortalama Kare Hatası)
Tansig	Tangent Sigmoid (Aktivasyon Fonksiyonu)
YSA	Yapay Sinir Ağları

SEMBOLLER ve BİRİMLER

:

°C	Santigrat derece (Sıcaklık birimi)
I	Akım (Elektrik akımı birimi)
km/saat	Kilometre/saat (Rüzgar hızı birimi)
kWh/m ²	Kilowatt-saat metrekare başına (Enerji birimi)
m/s	Metre/saniye (Rüzgar hızı birimi)
R	Regresyon katsayısı (İstatistiksel bir ölçü)
V	Volt (Gerilim birimi)
W/m ²	Watt/metre-kare (Işınım birimi)

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Enerji kaynakları sınıflandırılması.	4
Şekil 1.2 Türkiye'nin toplam güneş radyasyonu.	5
Şekil 1.3 Türkiye'nin aylık ortalama radyasyon değeri.	6
Şekil 1.4 Fotovoltaik sistemin çalışması.	6
Şekil 2.1 Hücrelerde meydana gelen mikro çatlak çeşitleri.	9
Şekil 2.2 Temizleme robotu tasarımı.....	10
Şekil 2.3 Temizleme robotu panel üzerindeki görünümü.	10
Şekil 2.4 Test günlerine ait temiz ve tozlu panellere ilişkin günlük kümülatif enerjiler.12	
Şekil 2.5 Panellerdeki farklı gölgelenme durumları.....	13
Şekil 2.6 Durumlar için güç voltaj grafiği.....	14
Şekil 2.7 Enerji kayıplarının aylık değişimi.	15
Şekil 3.1 Deney düzeneğinin önden görünüşü.	23
Şekil 3.2 Deney düzeneğinin arkadan görünüşü.	24
Şekil 3.3 Gölgelenme durumunda deney düzeneği.	24
Şekil 3.4 Yağmur durumunda deney düzeneği.....	25
Şekil 3.5 Rüzgar durumunda deney düzeneği.	25
Şekil 3.6 Ölçüm yapılırken deney düzeneği-1.....	27
Şekil 3.7 Ölçüm yapılırken deney düzeneği-2.....	27
Şekil 4.1 Gölgelenmenin monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (11 Nisan).28	
Şekil 4.2 Gölgelenmenin monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (12 Nisan).28	
Şekil 4.3 Gölgelenmenin monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (13 Nisan).29	
Şekil 4.4 Rüzgar hızının monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (11 Nisan). 30	
Şekil 4.5 Rüzgar hızının monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (12 Nisan). 30	

Şekil 4.6 Rüzgar hızının monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (13 Nisan).	30
Şekil 4.7 Bağlı nemin monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (11 Nisan).	 31
Şekil 4.8 Bağlı nemin monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (12 Nisan).	 31
Şekil 4.9 Bağlı nemin monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (13 Nisan).	 32
Şekil 4.10 Yağmur durumunda monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (11 Nisan).	 32
Şekil 4.11 Yağmur durumunda monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (12 Nisan).	 33
Şekil 4.12 Yağmur durumunda monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (13 Nisan).	 33
Şekil 4.13 Akşam vaktinde monokristal ve perc monokristal panellerin verimi (11 Nisan).	 34
Şekil 4.14 Akşam vaktinde monokristal ve perc monokristal panellerin verimi (12 Nisan).	 34
Şekil 4.15 Akşam vaktinde monokristal ve perc monokristal panellerin verimi (13 Nisan).	 35
Şekil 4.16 Monokristal ve perc monokristal panel gerilimleri (11 Nisan).	 35
Şekil 4.17 Monokristal ve perc monokristal panel gerilimleri (12 Nisan).	 36
Şekil 4.18 Monokristal ve perc monokristal panel gerilimleri (13 Nisan).	 36
Şekil 4.19 Ani gölgelenme anında monokristal ve perc monokristal panel gerilimleri (11 Nisan).	 39
Şekil 4.20 Ani gölgelenmenin kaldırılması anında monokristal ve perc monokristal panel gerilimleri (11Nisan).	 39
Şekil 4.21 Ani gölgelenme anında monokristal ve perc monokristal panel gerilimleri (12 Nisan).	 40
Şekil 4.22 Ani gölgelenmenin kaldırılması anında monokristal ve perc monokristal panel gerilimleri (12 Nisan).	 40

Şekil 4.23 Ani gölgelenme anında monokristal ve perc monokristal panel gerilimleri (13 Nisan).	41
Şekil 4.24 Ani gölgelenmenin kaldırılması anında monokristal ve perc monokristal panel gerilimleri (13 Nisan).	41
Şekil 5.1 Birinci YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.....	45
Şekil 5.2 Birinci YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.	46
Şekil 5.3 İkinci YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği	47
Şekil 5.4 İkinci YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.....	48
Şekil 5.5 Üçüncü YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.	49
Şekil 5.6 Üçüncü YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.....	50
Şekil 5.7 Dördüncü YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.....	51
Şekil 5.8 Dördüncü YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.	52
Şekil 5.9 Beşinci YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.....	53
Şekil 5.10 Beşinci YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.	54
Şekil 5.11 Altıncı YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.....	55
Şekil 5.12 Altıncı YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.	56
Şekil 5.13 Yedinci YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.	57
Şekil 5.14 Yedinci YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.....	58
Şekil 5.15 Sekizinci YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.	59
Şekil 5.16 Sekizinci YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.	60
Şekil 5.17 Dokuzuncu YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.	61
Şekil 5.18 Dokuzuncu YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.....	62
Şekil 5.19 Onuncu YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.	63
Şekil 5.20 Onuncu YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.....	64
Şekil 5.21 On Birinci YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.....	65

Şekil 5.22 On Birinci YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.	66
Şekil 5.23 On İkinci YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.....	67
Şekil 5.24 On İkinci YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.	68
Şekil 5.25 On Üçüncü YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.....	69
Şekil 5.26 On Üçüncü YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.....	70



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 8 farklı şehirde, çeşitli rüzgâr hızlarında, güneş enerjisi panellerinden yıllık olarak üretilen elektrik enerjisi.	7
Çizelge 3.1 Panellere etki eden geçici durumlar.	26
Çizelge 4.1 Panellerin gündüz saatlerindeki ortalama gerilimleri.	37
Çizelge 4.2 Panellerin akşam saatlerindeki ortalama gerilimleri.	37
Çizelge 4.3 Panellere etki eden kısa süreli ışıınım değer değişimleri.	42
Çizelge 5.1 YSA eğitim parametreleri.	43
Çizelge 5.2 Senaryo, girdi ve çıktılara göre gruplanmış YSA modelleri.	44

1.GİRİŞ

Enerjinin varoluşun en önemli ihtiyaçlarından biri olması ve enerji elde edilen kaynakların çoğunun bir sonu olması sebebiyle günümüzde giderek önem kazanmaktadır. Dünya nüfusunun artmasıyla beraber artan enerji ihtiyacının fosil yakıtlardan karşılanıyor olması, ileride fosil yakıtların tükenebilir olmasının yanı sıra çevreye verdiği zarar nedeniyle de yenilenebilir enerji kaynakları hakkındaki araştırmaların artmasına neden olmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının dünyanın olağan seyrinde her gün mevcut olan enerji kaynağı olması, çevrenin korunmasına yardımcı olması, doğal kaynak olması ve enerjide dışa bağımlılığın azalmasına katkıda bulunduğundan dolayı yenilenebilir enerji kaynakları giderek önem kazanmaktadır. Güneş enerjisi ise temiz, kolay depolanabilen ve sınırsız bir enerji kaynağı olarak öne çıkmaktadır.

Güneş enerji santralleri, güneşten gelen ışıklara ait enerjiyi elektrik enerjisine çeviren sistemlerdir. Güneş enerji santralleri, kullanılan panellerin büyük olmasına bağlı olarak kullanılan güneş pillerinin de büyük ebatlarda olmasından kaynaklı çok maliyetli bir yatırım olarak değerlendirilmektedir. Güneş enerji santrallerinin kurulumunun maliyetli olması ve elektrik enerjisi üretim veriminin düşük olması nedenlerinden dolayı bu santrallerde elektrik enerjisi artırımına etkili faktörlerin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır.

Literatür bilgileri incelendiğinde;

- Ortamın sıcaklığı arttıkça güneş paneli çalışma sıcaklığının arttığı ve buna karşılık rüzgar hızı arttıkça güneş panelinin çalışma sıcaklığının azaldığı tespit edildiği,
- Güneş enerji sistemleri projelendirilirken kısmi gölgelemenin güç çıktısındaki etkisine bakıldığında, gölgelemenin dikkat edilmesi gereken çok önemli bir husus olduğu,
- Panel üzerindeki su damlacıklarının panel sıcaklığını azalttığı ve en az %5,6 oranında güç çıkışını artırdığı tespit edildiği görülmüştür.
- Büyük ölçekli PV sistemlerin 50 m/s'ye kadar rüzgar hızlarına dayanabileceği belirtilmiştir.

Bu değerlendirmeler neticesinde rüzgar, gölgelenme ve yağış miktarının panel verimliliğine doğrudan etkisi olduğu anlaşılmıştır. Bu çalışmanın amacı ise aniden değişen hava koşullarında panellerin nasıl tepki verdiğini gözlemleyerek panellerin farklı geçici durumlar anında verimliliklerini kıyaslamaktır. Güneş panellerinin performansını etkileyen çevresel faktörleri dikkate aldığımız kadar hangi coğrafi koşullarda hangi tip panel kullanılacağı da verimlilik açısından önem arz ettiği yapılan literatür taramasında anlaşılmıştır.

Maliyeti yüksek yatırımlar olduklarından dolayı ileride kurulacak güneş enerji sistemlerindeki panel seçimi için yol gösterici bir nitelikte tez olması amaçlanmış ve bu çalışma kapsamında monokristal ve perc monokristal panellerin çıkış gerilimlerinin ani değişkenler altında nasıl değiştii araştırılmak istenmiştir. Monokristal panellerde watt başına maliyet genellikle \$0,65 ile \$1,25 arasında değişmekte olup perc teknolojisi eklenmiş paneller, daha yüksek verimlilikleri nedeniyle watt başına \$1,10 ile \$1,50 arasında fiyatlandırılır. Kurulum maliyeti ise monokristal panellerde işçilik ve kurulum maliyetleri genellikle watt başına \$0,50 ile \$1,00 arasında ek bir maliyet oluşturur. Perc monokristal panellerin üretim süreci daha karmaşık ve maliyetli olduğundan, başlangıç maliyeti daha yüksektir. Ancak, yüksek verimlilikleri ve uzun vadeli yatırım getirisi nedeniyle bu maliyetler dengelenebilir. Monokristal paneller, başlangıç maliyeti daha düşük olan, ancak verimlilik açısından perc monokristal panellere göre biraz daha geride kalan seçeneklerdir. Perc monokristal paneller ise daha yüksek başlangıç maliyetine rağmen, uzun vadede daha yüksek verimlilik ve daha iyi yatırım getirisi sunar. Perc monokristal paneller, aynı enerji üretimi için daha az alana ihtiyaç duyar. Bu, sınırlı çatı alanı olan yerler için önemli bir avantaj sağlar (<https://solvoltaics.com>).

Belirtilen çalışmanın yapılmasının amacı, güneş panellerinin performansını etkileyen faktörlere ait analizlerin değerlendirilerek güneş enerjisi sistemlerinin daha verimli hale getirilebilmesi amacıyla ani değişkenlerle deney yapılarak gelecekte tasarlanacak güneş enerji sistemlerinin maksimum performansta çalışmasına yarar sağlayacak bir çalışma yapmaktır. Bu çalışmanın amaçları detaylı olarak aşağıda sıralanmaktadır:

- Performans Değişkenleri: Güneş panelleri, çevresel faktörlerden etkilenir ve

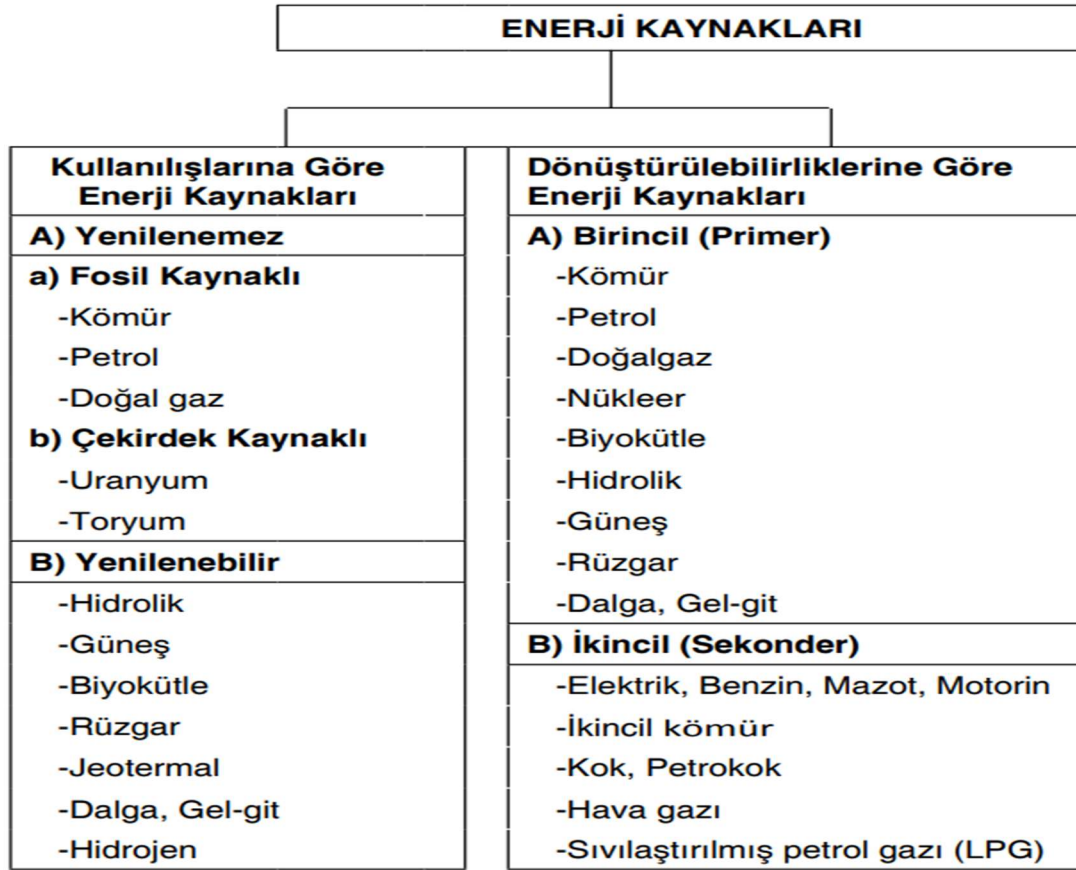
performanslarında zamanla değişiklik gösterebilir. Örneğin, hava koşulları, panelin temizliği, gölgeleme ve panelin yaşlanması gibi faktörler performansı etkileyebilir. Bu değişkenliklerin analizi, güneş panellerinin optimal çalışma koşullarını belirlemeye yardımcı olabilir.

- Verimlilik Artırma: Güneş panellerinin verimliliğini artırmak için, panellerin çalışma koşullarını optimize etmek önemlidir. Farklı hava koşullarında ve çevresel faktörler altında nasıl davrandıklarını anlamak, verimliliği artırmak için stratejiler geliştirmenin bir parçasıdır.
- Güvenilirlik ve Dayanıklılık: Güneş panellerinin dayanıklılığı ve güvenilirliği, uzun vadeli yatırım getirisi açısından kritiktir. Panellerin yaşlanma süreçlerini ve uzun vadeli performanslarını tahmin etmek için modeller geliştirilmelidir.
- Sistem Optimizasyonu: Güneş panelleri genellikle bir enerji sistemine entegre edilir. Bu sistemlerin en verimli şekilde çalışması için, güneş panellerinin davranışlarını ve etkileşimlerini anlamak önemlidir. Bu, enerji depolama, dağıtım ve tüketim gibi diğer bileşenlerle birlikte sistemin optimize edilmesine yardımcı olabilir.
- Endüstriyel Uygulamalar: Güneş enerjisi endüstrisi giderek büyümektedir ve endüstriyel ölçekte güneş enerjisi projeleri daha karmaşık hale gelmektedir. Bu nedenle, endüstriyel güneş enerjisi sistemlerinin daha iyi tasarlanması ve işletilmesi için detaylı analiz ve modelleme gereklidir.

Bu çalışma ve benzeri çalışmaların amacı, güneş enerjisi sistemlerinin daha verimli, güvenilir ve ekonomik olmasına yardımcı olmaktır.

1.1 Enerji Kaynakları

Enerji kaynakları, kullanım alanlarına göre yenilenebilir ve yenilenemez; dönüşüm özelliklerine göre ise birincil ve ikincil enerji kaynakları olarak şekil 1.1’de (Koç, Kaya 2015) kategorize edilmektedir.



Şekil 1.1 Enerji kaynakları sınıflandırılması.

1.1.1 Yenilenemez Enerji Kaynakları

Yenilenemez enerji kaynakları, tükenme riski bulunan ve sınırlı rezervlere sahip olan kaynaklardır. Fosil yakıtlar gibi yenilenemez enerji kaynakları, toprak altında yıllarca süren kimyasal dönüşümler sonucunda oluşur ve enerji üretimi sırasında çevreye ciddi zararlar verebilir. Yaygın olarak kullanılan yenilenemez enerji kaynakları arasında kömür, petrol, doğalgaz ve radyoaktif maddelerden elde edilen nükleer enerji bulunmaktadır.

1.1.2 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğada sürekli olarak bulunan ve kullanıldıklarında çevreye zarar vermeyen enerji kaynaklarıdır. Bu özellikleri nedeniyle yenilenebilir enerji teknolojilerinin geliştirilmesine yönelik çeşitli araştırmalar aktif olarak devam

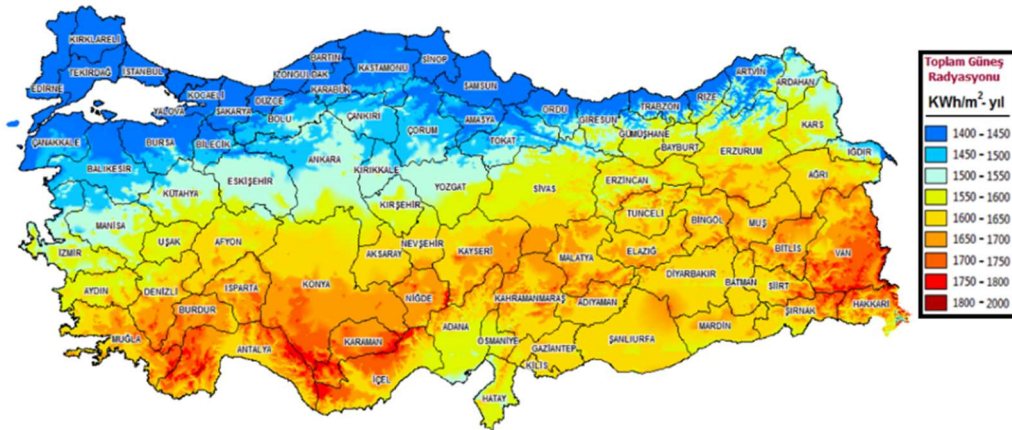
etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidroelektrik, rüzgâr, jeotermal, güneş, okyanus (dalga) ve biyokütle enerjisi yer almaktadır.

Ülkemizin coğrafi konumu, güneş enerjisi potansiyeli açısından önemli avantajlar sağlamakta ve yer şekilleri ise hidrolik enerji kapasitesi ile rüzgâr enerjisi potansiyeli açısından büyük fırsatlar sunmaktadır.

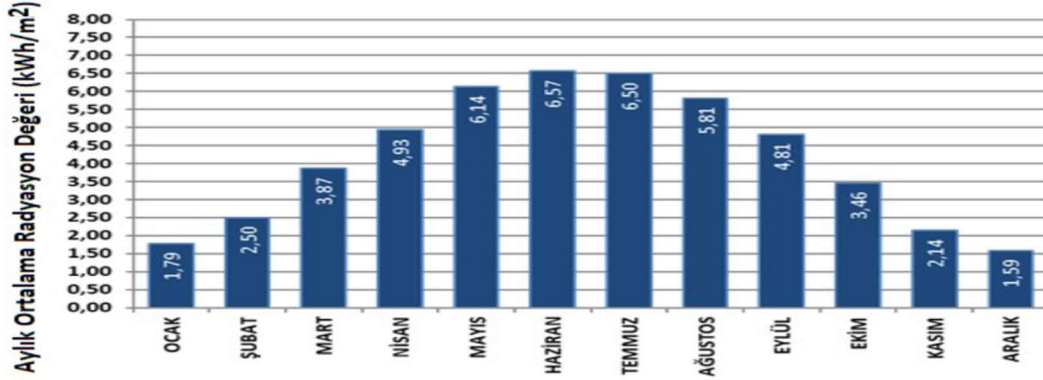
1.1.2.1 Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde gerçekleşen hidrojenin helyuma dönüşüm sürecindeki füzyon reaksiyonlarından kaynaklanan güçlü bir enerji türüdür. Bu enerjiyi kullanabilmek için güneş kolektörleri, güneş santralleri ve fotovoltaik piller (güneş pilleri) gibi teknolojiler geliştirilmiştir. Bu teknolojiler aracılığıyla güneş enerjisi doğrudan ısı olarak ya da elektrik enerjisine dönüştürülerek dolaylı yollarla kullanılmaktadır.

Ülkemizin coğrafi konumundan kaynaklanan avantajlar, önemli bir güneş enerjisi potansiyeline işaret etmektedir. Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası (GEPA) verilerine göre, yıllık ortalama güneşlenme süresi 2.741 saat, yıllık ortalama toplam ışıınım değeri ise 1.527,46 kWh/m² olarak belirlenmiştir. GEPA'da sunulan genel potansiyel görünümü ve aylık ortalama global radyasyon dağılımı Şekil 1.2 ve Şekil 1.3 (<https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>) olarak gösterilmiştir.

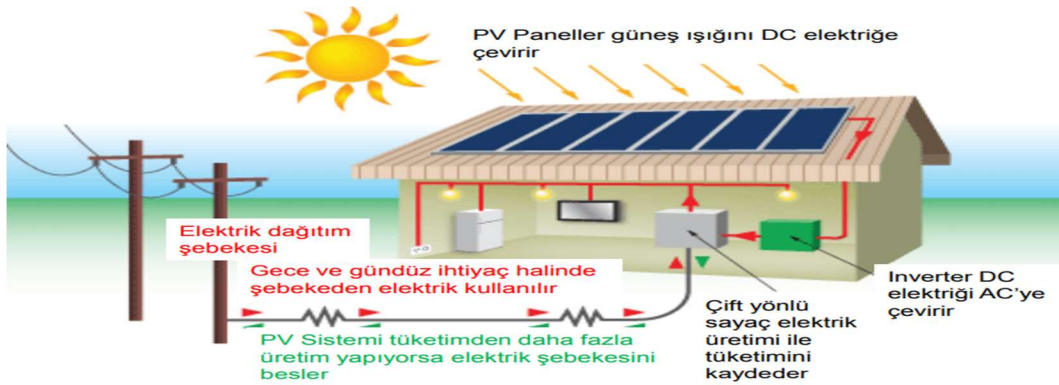


Şekil 1.2 Türkiye'nin toplam güneş radyasyonu.



Şekil 1.3 Türkiye'nin aylık ortalama radyasyon değeri.

Ülkemizde yapılan incelemeler güneş enerjisi potansiyelinin yüksek olduğunu göstermektedir. Güneş enerjisi, güneşin konumuna ve mevsimlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Maksimum verim elde etmek için panellerin büyük ebatlarda olması ve güneş ışığını engellemeyecek geniş alanlara yerleştirilmesi gereklidir. Güneş enerji sistemlerinin ilk yatırım maliyetleri yüksek olup kış aylarında güneş ışınımının azalması ve geceleri enerji üretilmemesi sistem verimliliğini daha da önemli hale getirmektedir. Güneş panelleri elektrik üretimi, sıcak su sağlama, ısıtma, aydınlatma, havalandırma sistemleri ve tarımsal uygulamalar gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Güneş paneli sistemleri (fotovoltaik sistemler) akümülatörler, inverterler, akü şarj kontrol cihazları ve çeşitli elektronik komponentler ile birlikte kullanılarak oluşturulur. Fotovoltaik sistemde panel üzerine düşen güneş ışınları atomları harekete geçirir ve bu da elektronların hareketini sağlayarak elektrik akımının oluşumunu sağlar. Diğer bir deyişle fotovoltaik sistemler güneş ışınlarını doğrudan elektrik enerjisine dönüştürür. Örneğin; Şekil 1.4'te (<https://www.mmo.org.tr>) bir çatıya monte edilen fotovoltaik sistemin çalışma prensibi gösterilmiştir.



Şekil 1.4 Fotovoltaik sistemin çalışması.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Günümüzde temiz ve sınırsız bir enerji kaynağı olarak kabul edilen güneş enerjisi sistemleri üzerine yapılan çalışmalar büyük önem arz etmektedir. Maliyeti de göz önünde bulundurulduğunda kurulacak güneş enerji santrallerinin verimini arttırmak için çeşitli deneyler yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Literatür taramasında güneş enerji santrallerinde verime etki eden faktörler olarak çevresel koşullar, güneş panellerinin iç aksamında kullanılan korunaklı cam tipleri, rüzgâr geliş açısı, güneş geliş açısı, güneş enerji santralleri tasarımı, yapılması planlanan yerlerin uygunluğu gibi birçok konuya değinilmiştir. Günümüz itibarı ile bahse konu araştırmalar devam etmektedir.

Bu çalışmada fotovoltaik panellerin çalışma sıcaklıklarını etkileyen çeşitli faktörler incelenmiştir. Özellikle hava sıcaklığı ve rüzgar hızı gibi parametreler ele alınmıştır. Çalışma sonuçlarına göre çevre sıcaklığı yükseldikçe güneş panelinin çalışma sıcaklığı artarken rüzgar hızının artması ise bu sıcaklığı düşürmekte etkili olmuştur. Araştırmalar, rüzgarın güneş panellerinin soğutulmasında kritik bir parametre olduğunu ve bu yolla elektrik enerjisi verimliliğinin artırılabilceğini göstermiştir (Dinçer 2011).

Güneş enerjisi santrallerinin kurulduğu şehirlerde panel verimliliğini etkileyen çevresel parametreler, özellikle sıcaklık ve rüzgâr incelenmiştir. Çizelge 2.1'de belirtildiği üzere sekiz farklı ilde gerçekleştirilen araştırmalarda rüzgâr hızı hariç diğer koşullar sabit tutularak rüzgâr hızının elektrik üretimi üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

Çizelge 2.1 8 farklı şehirde, çeşitli rüzgâr hızlarında, güneş enerjisi panellerinden yıllık olarak üretilen elektrik enerjisi.

Hız	1	2	3	4	5	6	7
Şehir							
Afyon	184,25	185,15	186,77	188,13	188,64	189,22	189,97
Burdur	194,38	196,57	197,86	198,93	199,12	199,84	200,13
Edirne	163,70	165,02	166,32	166,48	168,03	168,76	169,14
İzmir	191,56	192,81	193,23	194,16	194,95	195,38	196,01
Kırklareli	153,44	154,12	156,08	156,95	157,23	158,46	158,67
Osmaniye	165,51	166,70	168,10	169,21	169,72	170,22	170,95
Sinop	154,42	156,11	157,30	158,13	158,78	159,40	160,18
Tekirdağ	160,14	161,82	163,74	164,30	165,39	166,11	166,45

Rüzgâr hızının 1 m/s'den 7 m/s'ye çıkmasıyla verimde yaklaşık %3,2'lik bir artış gözlenmiştir ve bu durum güneş enerjisi santralleri için yer seçiminde önemli bir faktör olarak dikkate alınmalıdır. Ülkemizde rüzgâr enerjisi santrallerinin bulunduğu rüzgârlı bölgelerde zaten mevcut olan elektrik taşıma hatları göz önünde bulundurulduğunda bu bölgelerde yeterli alan varsa güneş enerjisi santrallerinin de kurulmasıyla yüksek verimle elektrik üretimi sağlanabileceği tespit edilmiştir (Mutlu 2021).

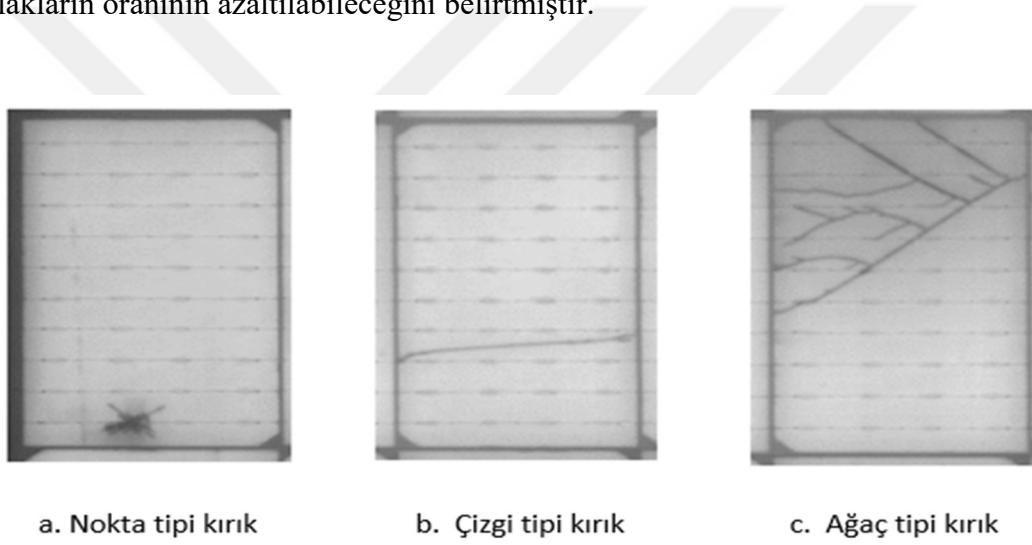
Fotovoltaik santrallerde panellerin performansını etkileyen gölgelenme, hasar ve ısı kayıplarını değerlendirmek için yapılan termal testler ve akım-gerilim parametreleri analizi güneş ışınlamıyla doğru orantılı olarak artan gerilim değerlerini ortaya koymuştur. Açık devre ve kısa devre gerilimlerinin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca termal kamera yardımıyla yapılan testlerde panellerin alt kısımlarında bulunan hot spot (sıcak nokta) olarak adlandırılan arızalar tespit edilmiştir. Bu tür gözle görülmesi zor olan sıcak nokta arızaları düzenli bakım ve temizlikle önlenerek panellerin ömrünün uzatılması ve aşınma sürelerinin kısaltılmasının mümkün olabildiği belirtilmiştir (Selbaşı, Çetin 2022).

Kayseri'de güneş panellerinin güneş ışınlamından daha etkin şekilde yararlanabilmesi için aylık, mevsimlik ve yarı yıllık performans analizleri yapılarak optimum eğim açılarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda paneller, her ay farklı optimum eğim açlarına göre konumlandırıldığında panellerden maksimum 1852,3 kWh/m² güneş ışınlamı elde edildiği belirlenmiştir. Kayseri'de 29,5°'lik eğim açısıyla yıllık konumlandırılan güneş paneline göre değiştirilen panel eğim açılarındaki verimin aylık %4,11, mevsimsel %3,25 ve altı aylık %2,99 oranında arttığı gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde aylık, mevsimsel ve altı aylık verim değerleri karşılaştırıldığında güneş panellerinin altı ayda eğim açısını değiştirerek konumlandırmasının verim açısından yararlı olacağı belirtilmiştir (Dal 2021).

Fotovoltaik panellerin maksimum olarak %24 verimle çalıştığı ve ülkemizdeki güneş enerji santrallerinde monokristal ve polikristal hücreler kullanılmasıyla beraber %20'lerden daha alt seviyelere ulaştığı belirtilmiştir. Başka bir deyişle güneşten gelen radyasyonun %80'den fazlası elektriksel enerjiye çevrilemediğinden dolayı elde edilen enerjinin verimli olmasının önemi vurgulanmıştır. Bu araştırmada yüzey soğutma, yarı

iletken malzeme iyileştirilmesi, gölgelenme faktörü, tozlanma, optimum açı, güneş ışınlarının yüzeye geliş açısı ve çalışma sıcaklığı gibi faktörlerin hepsinin en optimum olduğu koşullarda %47'e kadar verim artışı sağlandığı gözlemlenmiştir. Tüm durumların optimum olduğu koşullarda bu çalışma kapsamında maliyet analizi yapılmadığı için bu tür bir tasarım sırasında maliyet konusunun ayrıca irdelenmesi gerektiği belirtilmiştir (Karakaya, Şen 2019).

Güneş enerjisi üretimi sırasında yüksek sıcaklık kullanımının hücrelerde Şekil 2.1' de belirtildiği üzere farklı şekillerde mikro çatlaklara neden olabileceği ve sıcaklığın düşürülmesi, baskı süresinin optimize edilmesi gibi alınabilecek önlemlerle mikro çatlakların oranının azaltılabileceğini belirtmiştir.



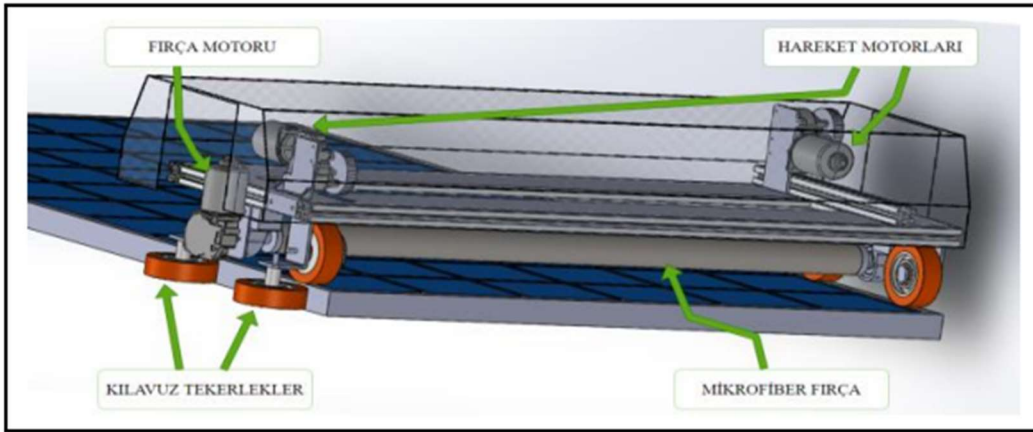
Şekil 2.1 Hücrelerde meydana gelen mikro çatlak çeşitleri.

Mikro çatlak oluşumunu incelemek için yapılan çalışmada, üretim sırasında hücre kalınlıklarının bölgeden bölgeye değişkenlik gösterdiği ve ince hücrelerin kalın hücrelere kıyasla termal strese daha dirençli olduğu gözlemlenmiştir. Sıcaklığın düşürülmesi ve baskı süresinin optimize edilmesi gibi tedbirlerin alınmasıyla hücre kırılma oranlarında %15'lik bir azalma sağlandığı ve mikro çatlak oranlarının en aza indirildiği belirlenmiştir (Karaduman 2023).

Fotovoltaik panellerin performansını etkileyebilecek faktörler Türkiye ve İngiltere'de seçilen örnekler üzerinden incelenmiştir. Bu faktörler arasında konum, yönlendirme, eğim açısı, gölgelenme, panel tipi, modüllerin arkasındaki sıcaklık ve panel yüzeyinin

temizliği bulunmaktadır. Yapılan alışmalar yıllık güneş enerjisi potansiyeli yüksek bölgelerde doğru eğim açısında yerleştirilmiş yüksek performanslı hücre teknolojileri kullanarak üretilmiş panellerin kullanıldığı, gölgelenme risklerine karşı önlemler alınmış, modül arka yüzeyinde havalandırma olanakları sağlanmış ve düzenli yüzey temizliği yapılmış panellerde maksimum verim elde edilmesinin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır (Turhan, etiner 2012).

Bu çalışmada panellerin kurulduğu arazi yapısının panel yüzeylerinin temizlenme gereksinimini belirleyici bir etken olduğu tespit edilmiştir. Panel yüzeylerinde biriken kir, toz ve çamur gibi maddelerin etkili bir şekilde temizlenmesi için otonom bir temizleme robotu geliştirilmiştir (şekil 2.2 ve şekil 2.3).



şekil 2.2 Temizleme robotu tasarımı.



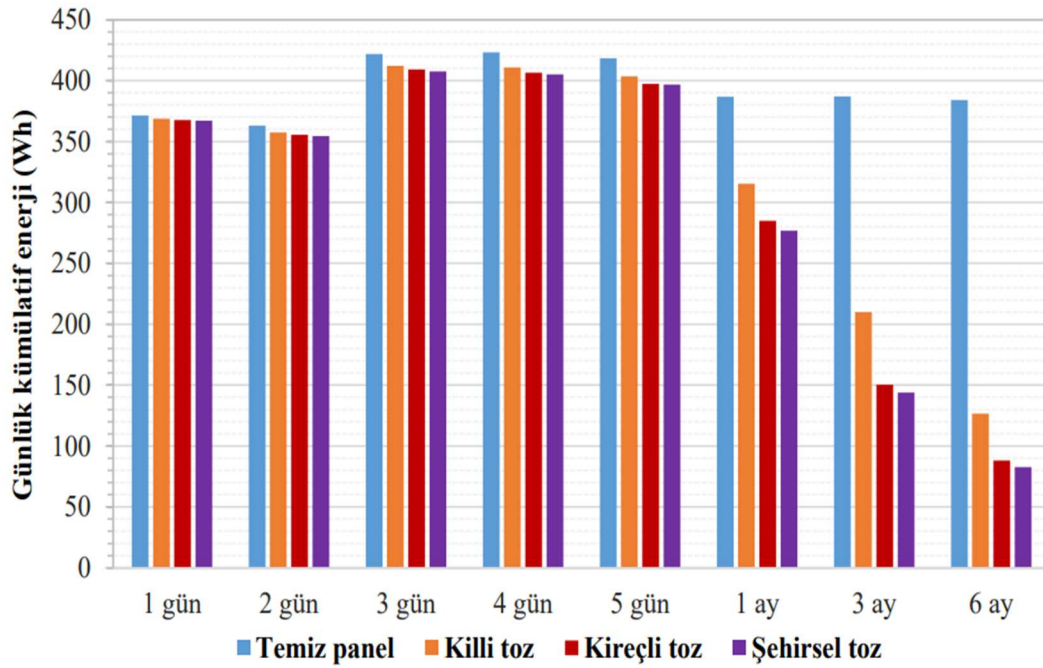
şekil 2.3 Temizleme robotu panel üzerindeki görünümü.

Geliştirilen temizleme robotu yağmurlu havalarda gerektiğinde çalışabilme, meteorolojik verilere dayalı olarak temizleme kararı alabilme, toz sensörü verilerine göre temizlik zamanlamasını otomatik olarak ayarlama ve bir uygulama üzerinden durum izleme ile kontrol edilebilme özellikleriyle donatılmıştır. Robot, günlük olarak panel yüzeylerini temizlediğinde panel verimliliğini %3,16 oranında arttırabilirken saf su kullanımı maliyetleri nedeniyle bu sıklıkta temizlemenin ekonomik olmadığı belirtilmiştir. Robotun kullanımı; panelin çatı ya da arazi üzerinde olması, panellerin diziliş şekli, saf su maliyeti, gerekli altyapı yatırımı, temizleme fırçası ve bataryanın periyodik değişimi gibi faktörler amortisman süresini etkilemektedir. Ayrıca sistemin termal kamera ile donatılarak hücrelerdeki olası hataların daha etkin bir şekilde tespit edilmesi önerilmiştir (Karaman, Taşkın 2021).

Bursa'nın Osmangazi ilçesinde kurulu 1 MW kapasiteli şebeke bağlantılı fotovoltaik santraller, monokristal, polikristal ve ince film (CIS) teknolojileri ile farklı şekillerde dizayn edilerek performansları karşılaştırılmıştır. Yapılan analizlere göre monokristal panellerle kurulan sistem yıllık olarak 1416 MWh, polikristal sistem 1202 MWh, ince film sistem ise 1150 MWh elektrik üretimi gerçekleştirmiştir. Bu sistemlerin yıllık performans oranları sırasıyla %85, %72.1 ve %70 olarak hesaplanmıştır. Üç farklı teknolojiyle aynı güçte kurulan santrallerin alan ihtiyaçları karşılaştırıldığında monokristal sistemlerin hem daha yüksek verim sağladığı hem de daha az alan kapladığı görülmüştür. Bu nedenle alan sınırlaması olan yerlerde monokristal panellerin kullanılması önerilmiştir (İzgi, Özcan 2020).

Edirne'de, 2020 yılı temmuz ayında, 31 gün boyunca her 10 dakikada bir yapılan ölçümlerle desteklenen deneysel çalışmada fotovoltaik panellerin alüminyum kanatçıklarla konveksiyonel olarak soğutulmasının etkileri incelenmiştir. Çalışma çevre sıcaklığı, rüzgâr hızı ve güneş ışıınının panel çıkış gücü üzerindeki etkilerini değerlendirmiştir. Araştırma sonuçlarına göre pasif soğutma amaçlı alüminyum kanatçıkların kullanılmasıyla panel çıkış gücünde %9,07 oranında bir artış gözlemlenmiştir. Ayrıca soğutma kanatçıkları bulunan panellerde çevre sıcaklığının %3-11, rüzgar hızının %7-12 ve güneş ışıınının %6-12 aralığında pozitif etkileri olduğu saptanmıştır (Akan, Akal 2021).

Batman ilinde, özellikle yaz mevsimi boyunca yoğun tozlanma olaylarının yaşanabileceği göz önüne alınarak tozun fotovoltaik panel verimliliği üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla bir dizi çalışma gerçekleştirilmiştir. Doğal tozlanma miktarlarını orta ve uzun vadede tahmin etmenin zorlukları nedeniyle yapay sinir ağı (YSA) modeli kullanılarak gelecekteki tozlanma oranları hesaplanmıştır. Çalışma kapsamında temiz bir fotovoltaik panel ile yüzeyinde 1, 2, 3, 4, 5 gün ve 1, 3, 6 ay boyunca toz birikmiş panellerin enerji üretim değerleri ölçülmüş ve bu değerler Şekil 2.4’de gösterilerek karşılaştırılmıştır.



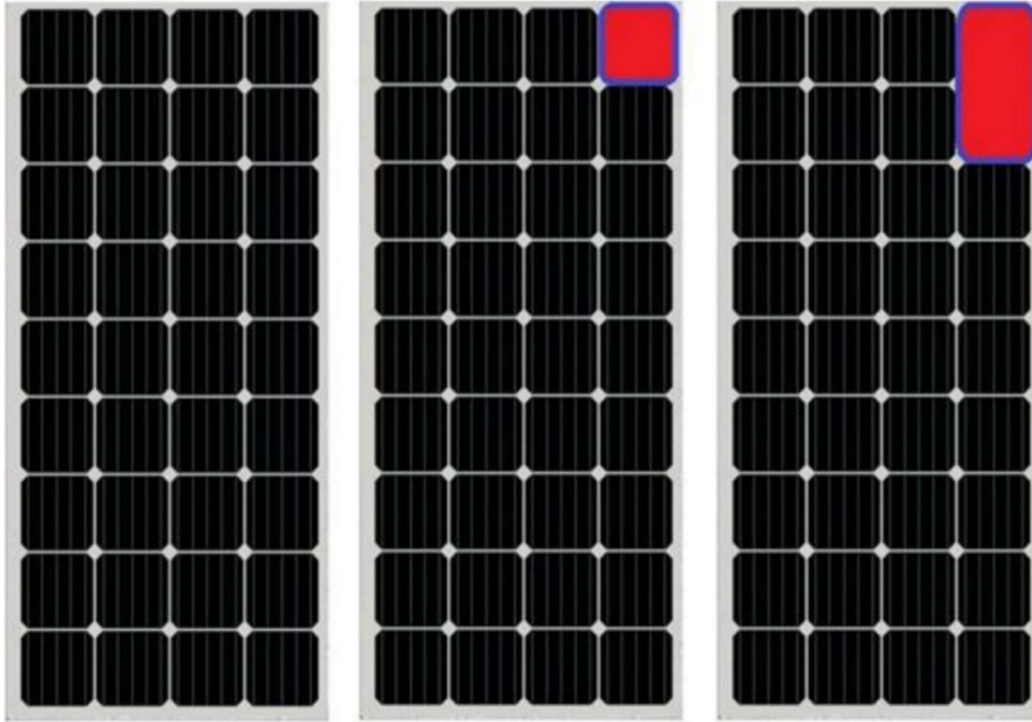
Şekil 2.4 Test günlerine ait temiz ve tozlu panellere ilişkin günlük kümülatif enerjiler.

Yıl boyu yağış almayan bölgelerde PV paneller üzerinde toz birikmesi sonucu oluşan verim kayıplarını azaltmak amacıyla panel yüzeylerinin belirli periyotlarla temizlenmesinin sistem ekonomisi açısından önemi vurgulanmıştır (Bayar 2022).

2020 yılında İzmir'deki bir güneş enerji santralının üretim verileri ve İzmir Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'nden alınan meteorolojik veriler ile güneş enerjisi santralının ürettiği enerji miktarının hava koşullarıyla olan ilişkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Araştırmada enerji üretimini en çok etkileyen meteorolojik faktörler sıralamasında güneşlenme şiddeti, bulutluluk oranı ve yağışlı günler başı çekmiştir. Örneğin; güneşlenme miktarının en yüksek olduğu temmuz ayında santral 70 MWh enerji üretirken

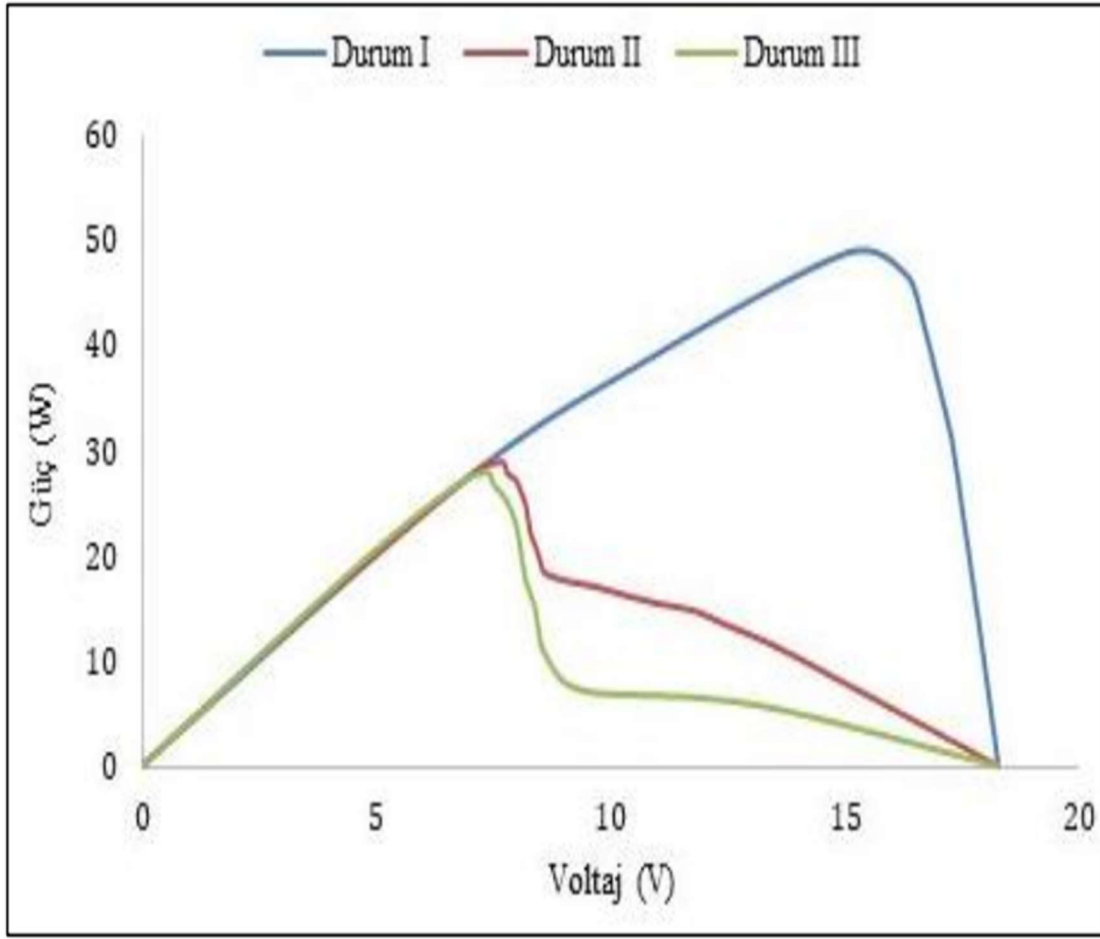
güneşlenme sürelerinin az olduğu ocak ve aralık aylarında sırasıyla 18,9 MWh ve 20,9 MWh elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Bu veriler İzmir bölgesinde güneş enerjisi santrallerinin üretim planlaması ve mevcut santrallerin performans değerlendirmesinde önemli bir referans olarak kullanılabilir (Uz ve diğerleri, 2022).

Erzurum Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Laboratuvarı'nda bulunan solar simülatör kullanılarak güneş panellerinin kısmi gölgelenme durumlarında performanslarının nasıl etkilendiğini belirlemek amacıyla deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Panellerdeki farklı gölgelenme durumları.

Şekil 2.5'teki Durum I'de 36 hücrenin tamamı açık, Durum II'de 1 hücre gölgeleme etkisi altında ve Durum III'te 2 hücre gölgeleme etkisi altında olması durumunda ve yapay ışık kaynağı kullanarak panel ile ışık kaynağı arasındaki mesafenin 0,8 m ve 1,4 m; açının ise 0° , 20° ve 40° olacak şekilde ayarlandığı deneysel çalışmalar yapılmıştır. Şekil 2.6'ya göre mesafe 0,8 m ve açı 0° iken, Durum II ve Durum III'te kısmi gölgelenme sırasında panelin maksimum güç çıktısında bir azalma gözlemlenmiştir.

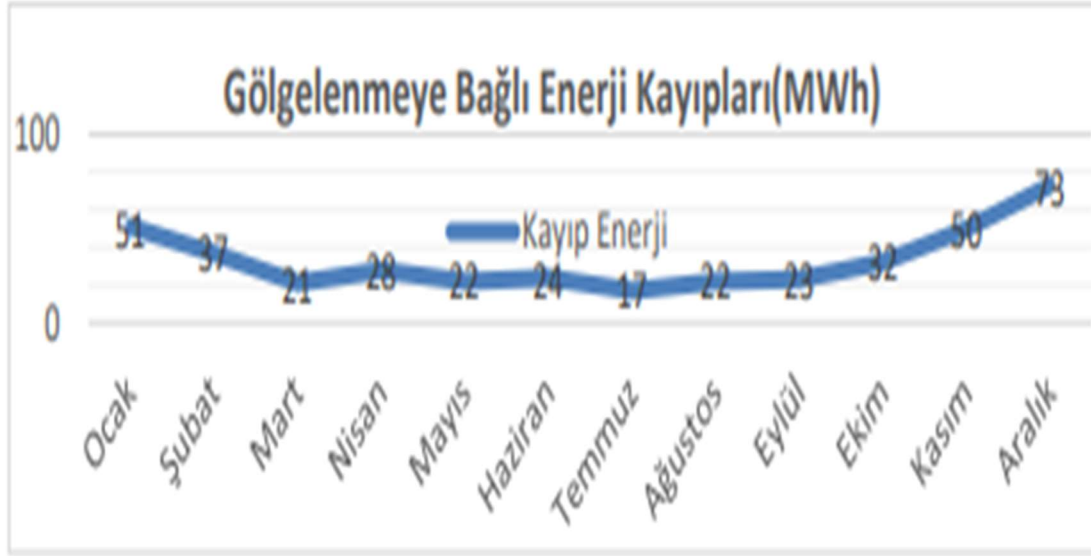


Şekil 2.6 Durumlar için güç voltaj grafiği.

Yapılan deneysel çalışmaların sonuçlarına göre yapay ışık kaynağı ile panel arasındaki mesafe arttıkça ve açı genişledikçe elde edilen maksimum güç düşmüştür. Bu bulgular güneş tarlalarının tasarım aşamasında kısmi gölgelemenin güç çıktısı üzerindeki olumsuz etkilerinin önemle dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Gölgelemenin, özellikle geniş güneş enerjisi projelerinde, performans üzerindeki etkilerinin minimize edilmesi için kritik bir faktör olduğu vurgulanmıştır (Akyürek ve diğerleri 2022).

Afyonkarahisar'da kurulu bir güneş enerji sisteminin yanlış konumlandırılmasının enerji kaybına nasıl etki ettiği incelenmiştir. Özellikle temmuz ayında, güneş ışınlarının yeryüzüne en dik geldiği zamanlarda yapılan kurulum, gölgelenme konusunda yanlışlara sebep olmuştur. Bu bağlamda, Afyonkarahisar'daki bir okulda yapılan çalışma, panellerin okul ve ağaçlar arasında yer aldığı (gölgelenmenin daha fazla olduğu) ve ağaçlarla okul arasında olmadığı (gölgelenmenin daha az olduğu) durumlar karşılaştırılmıştır. Enerji

miktarları ve gölgelemeye bağlı kayıplar detaylı bir şekilde analiz edilmiş, elde edilen bulgular Şekil 2.7’da grafiksel olarak sunulmuştur.



Şekil 2.7 Enerji kayıplarının aylık değişimi.

Güneş enerjisi sistemlerinde verimliliği artırmanın önemi göz önüne alındığında, enerji sistemlerinin kurulumu sırasında doğru konumlandırmanın kritik olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca mevsimsel gölge analizleri yapılarak panellerin mümkün olduğunca gölgeye maruz kalmayacak şekilde yerleştirilmesinin gerekliliği belirtilmiştir (Ayaz, Hocaoglu 2019).

Bu çalışma Bursa İlinin Orhaneli İlçesindeki Sırlı Mahallesi'nde kurulacak olan güneş enerjisi santralının verimliliğini artırmayı amaçlamıştır. Yapılan analizler sonucunda en uygun koşullar belirlenmiştir: Monokristal panellerin maliyet geri ödeme süresinin 4 ila 6 yıl, polikristal panellerin ise 2 ila 4,5 yıl arasında olduğu saptanmıştır. Panellerin yaşlanmasına bağlı olarak verim kayıpları dikkate alındığında polikristal panellerin kullanılması önerilmiştir. Ayrıca panellerin maruz kalacağı maksimum sıcaklık göz önünde bulundurularak yüksek sıcaklığa dayanıklı panellerin tercih edilmesi ve güneş ışınlarının panellere dik açıyla düşmesini sağlayacak bir sistemin kurulması gerektiği vurgulanmıştır (Başay ve diğerleri, 2019).

Hava ölçüm istasyonu ile beraber kurulan solar panel sisteminin çıkış gücü ile sıcaklık, nem, rüzgâr ve ışık şiddeti ölçümleri yapılmış ve bulanık mantık sisteminden yararlanılarak uyarlanmıştır. Ağ kullanılarak analiz edilmiştir. Daha verimli sistemlerin kurulabilmesi amacıyla yapılan analiz sonuçlarına göre 3,95 m/s rüzgar hızına kadar üretilen gücün arttığı, bu hızdan sonrası ise üretilen gücü daha fazla artırmadığı ve %80 oranında bağıl nem oranına kadar verimliliği çok az etkilediği fakat bu orandan sonra verimliliği önemli ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir (Kayabaşı vd. 2018).

Amasya Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi çatısında kurulu olan 200 kW kapasiteli PV güneş enerjisi sisteminin performansı, ilin çeşitli iklim koşullarıyla karşılaştırılmıştır. Yapılan gözlemler fotovoltaik sistemlerin güneşli fakat serin günlerde daha yüksek güç çıktısı sağladığını göstermiştir. Rüzgârın sadece panelleri soğutmakla kalmayıp, panellerin üzerinde biriken ve saydamlığı azaltan toz gibi dış etkileri de en aza indirdiği tespit edilmiştir. Çatı üstü sistemlerde panellerin verimliliğini artırmak için baca çıkışlarından mümkün olduğunca uzak yerlere yerleştirilmesi tavsiye edilmiştir. Ayrıca güneş enerjisi sistemlerinin en yüksek verimle çalışabilmesi için tesislerin açık, rüzgârlı ve yüksek rakımlı alanlara kurulmasının önemli olduğu belirtilmiştir (Şahin 2019).

Farklı yönlerde ve açılarda incelenen fiziksel hasarlı güneş panellerinden elde edilebilen toplam güç miktarları araştırılmış ve bu panellerdeki ısınmayı belirlemek için termal kamera kullanılmıştır. Panel performansını değerlendirmek amacıyla eş zamanlı olarak iklim verileri de ölçülmüş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Fiziksel hasarlı güneş panelinin en yüksek verimlilik sağladığı pozisyon (güney yön -72°), tarih (01.06.2017) ve saat (12:30) dikkate alındığında, panelin kapasitesinin %10,49'u kadar performans gösterdiği tespit edilmiştir. Kusurlu panellerin tüm diziyi olumsuz etkilediği ve bu nedenle sistemlerden çıkarılarak yenileriyle değiştirilmesi gerektiği belirtilmiştir. Ancak, bu değiştirme işlemlerinin her yıl binlerce ton atık oluşturacağı göz önüne alındığında, güneş panellerinin geri dönüşümünün gelecekte büyük önem taşıyacağı vurgulanmıştır (Taşkın 2019).

Güneş panellerinde yağmur suyu hasadı yaparak bu suyun panel temizliğinde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu çalışmada Türkiye'nin en büyük güneş enerjisi

santralindeki panel alanlarına düşen yıllık yağış miktarı hesaplanarak santraldeki su tüketiminin ne kadarının yağmur suyuyla karşılanabileceğini belirlemek için üç farklı senaryo oluşturulmuştur. Temizlik için MWp başına su tüketimi, Senaryo 1'de 3,86 m³, Senaryo 2'de 5,7 m³ ve Senaryo 3'te 10 m³ olarak kabul edilmiştir. Günlük temizlik yapıldığında gerekli su miktarının yaklaşık %76'sının yağmur suyundan sağlanabileceği tespit edilmiştir. Sonuçlar, su karşılanma oranının Senaryo 1'de %59, Senaryo 2'de %42 ve Senaryo 3'te %29 olduğunu göstermiştir. Günlük panel temizliğinin verimi yaklaşık %5 oranında artırdığı ve su tasarrufu sağlamanın yanı sıra su taşıma maliyetlerini de azaltarak kırsal alanlarda kurulan güneş enerjisi santrallerinde su temini ile ilgili sorunları hafifletebileceği belirtilmiştir (Uysal, Çeliktas 2023).

Güneş enerji sistemlerdeki güç kayıplarının özellikle toz ve kuş dışkıları gibi yüzeyde biriken kir olduğu ve genellikle bu sebepten kaynaklanan kayıp faktörünün %3-4 olarak hesaplandığı belirtilmiştir. Yağmursuz dönemlerde biriken kir sebebiyle güç kaybının %15'e kadar olan değerlere ulaşabileceği, yıllık ortalama güç kaybının ise %6'ya kadar çıkabileceği belirtilmiştir. Bu kayıpların panel yüzeyiyle alakalı olup olmadığı incelenmiş, dokulu camların düz camlara göre fazla kir biriktirmediği ve dolayısıyla dokulu camların fotovoltaik sistemlerin bakımının ek masraflar anlamına gelmediği anlaşılmıştır (Piliouguine vd. 2008).

Bu çalışmada toz birikimi, su damlacıkları, kuş dışkıları ve kısmi gölgelenme gibi çeşitli çevresel faktörlerin fotovoltaik (PV) sistem performansına etkisi incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda gölgelenmenin PV sistem üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir. Bir PV sistem yüzeyindeki gölgelenme alanının dörtte bir olması, yarım olması ve üçte bir olmasıyla beraber sırasıyla %33,7, %45,1 ve %92,6'lık bir güç azalmasına yol açtığı tespit edilmiştir. Panel üzerindeki su damlacıklarının panel sıcaklığını azalttığı ve en az %5,6 oranında güç çıkışını artırdığı, toz birikiminin verimliliği %11,86 azalttığı ve kuş dışkılarının sistem performansını yaklaşık %7,4 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir (Mustafa vd. 2020).

Güneş enerjisinden elektrik üreten sistemlerin (PV sistemlerin) en yüksek verimle çalışabilmesi için genellikle sabit bir açıyla yerleştirildikleri belirtilmiştir. Afyon

Kocatepe Üniversitesi'nin Ahmet Nejdet Sezer Kampüsü'nde 2012 yılı nisan ayında gerçekleştirilen bir deneyle PV sisteminin hangi açıyla yerleştirilmesinin maksimum verimi sağlayacağı tespit edilmek istenmiştir. Bu çalışma sonucunda, nisan ayında güneş panellerinin yer yüzeyi ile 20° açı yapmasının daha verimli elektrik enerjisi üreteceği belirlenmiştir. Ayrıca panellerin açısının bölgenin enlemine göre ayarlanması durumunda 20°-30° açılarda daha az enerji elde edilebileceği, ancak 40°-50° ve 60° açılarda daha yüksek elektrik üretiminin mümkün olacağı ortaya konmuştur (Orhun ve diğerleri, 2012).

Denizli ili özelinde panel yüzey sıcaklığının panel verimine etkisi bir yıllık çevre sıcaklığı ve güneş ışıınımı verilerine dayanarak değerlendirilmiştir. Yapılan araştırma panel yüzey sıcaklığındaki artışın verimde düşüşe neden olduğunu ve her 5 °C sıcaklık artışında verimin yaklaşık %0,3 oranında azaldığını ortaya koymuştur (Güven 2022).

Bu çalışmada dört çevresel faktörün (toz birikimi, su damlacıkları, kuş pislikleri ve kısmi gölge koşulları) sistem performansını nasıl etkilediği aynı anda incelenmiştir. Bu araştırmadan elde edilen sonuçlar toz birikiminin, gölgenin ve kuş pisliklerinin PV akımı ile voltajı üzerinde önemli bir etkisi olduğunu, dolayısıyla hasat edilen PV enerjisini etkilediğini göstermiştir. Gölgelemenin PV modüllerinin verimliliği üzerinde en güçlü etkiye sahip olduğu görülmüştür. PV modül yüzeyindeki gölge alanının çeyrek, yarım ve üç çeyrek oranında arttırılmasının sırasıyla %33,7, %45,1 ve %92,6 oranlarında güç azalmasına yol açtığı bulunmuştur. Ancak, PV panel üzerindeki su damlacıklarının etkisi ters yönde olup PV panelin sıcaklığını düşürerek potansiyel farkı arttırmış ve güç çıkışını en az %5,6 oranında iyileştirdiği anlaşılmıştır. Toz birikimi güç çıkışını %8,80 ve verimliliği %11,86 oranında azaltırken kuş pisliklerinin PV modül yüzeyine etkisi PV sistem performansını yaklaşık %7,4 oranında düşürdüğü de belirtilmiştir (Mustafa vd 2023).

Sıcaklık ve nemin, toz dağılımı ve kirlenme etkisiyle birleştiğinde PV modüllerinin performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu keşfedilmiş ayrıca özellikle ıssız yerlerde rüzgarın çok fazla toz ve kum parçacığı taşıdığı görülmüştür. Nemli koşullarda toz biriktiğinde ise PV hücresinde yapışkan çamur oluştuğunda durumun daha da kötüleştiği ve bunun da güç çıkışını %60-70 oranına kadar düşürdüğü belirtilmiştir.

Sıcaklığın her 1 °C artışında soğutma olmadan verimliliğin % 0,03–0,05 oranında azalmış olduğu ve 64 °C'de çalışırken verimliliğin %69'a kadar düşebildiği belirtilmiştir. PV panelin soğutulmasının sırasıyla termoelektrik soğutma, aktif su soğutma ve doğal havalandırma ile enerji kazancında %18, %15 ve %2,5'lik bir artış sağladığı görülmüştür. 45 gün boyunca temizlenmeden bırakılan panelin cam geçirgenliğinin %20 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. Çevresel rüzgar hızının avantajları ve dezavantajları olduğu belirtilerek ABD'de, 10 m/s rüzgar hızı işletme sıcaklığında 3,5 °C düşüşe neden olduğu ancak, Suudi Arabistan gibi sıcak bir bölgede 2,8–5,3 m/s rüzgar akışında 10 °C'lik bir azalma mümkün olduğu görülmüştür. Güneş PV hücrelerinin daha etkili çalışması için ayda bir kimyasal olarak temizlenmesi gerektiği belirtilmiştir (Shaik vd. 2023).

Bu makale çevresel faktörlerin güneş hücreleri üzerindeki etkisini toz birikimini, ortam sıcaklığını ve nem etkisini kullanarak araştırmayı amaçlamıştır. Fotovoltaik (PV) panellerde toz birikiminin güneş radyasyonu iletimini engelleyerek düzensiz gölgelenmeye ve ısı dağılımının azalmasına neden olarak çıkış gücünü azalttığı görülmüştür. PV sisteme etki eden nemin güneş ışığını engelleyebilir veya kırabilir olduğunu ve bunun da sistemin çıkış gücünü azaltacağını göstermiştir (Yang 2023).

Bu makalede rüzgar, yağış, sıcaklık, nem ve güneş radyasyonunun panellerin performansı üzerindeki etkisini dikkate alınarak fotovoltaik panellerin yüzeyinde biriken tozun etkisinin analiz edilmiştir. Toz birikiminin fotovoltaik modüllerin verimliliği üzerindeki etkisinin yüzeylerinde biriken toz miktarına, tozun boyutuna, ağırlığına, şekline ve bileşenlerine bağlı olduğu ve çevresel faktörlerin etkisiyle toz birikmesi sonucu fotovoltaik panellerin gölgelenmesi üzerine panellerin verimliliğinin azaldığı gözlemlenmiştir. Toz parçacıklarının boyutu ne kadar küçükse fotovoltaik paneller üzerindeki gölgelenme etkisinin o kadar büyük olduğu gözlemlenmiştir. Rüzgarın, tozu ve kirdi güneş panelinin yüzeyine dağıtarak panelin verimliliğini etkilediği, şeffaflığını azalttığı ve güneş ışınlarının panel yüzeyine ulaşmasını engellediği görülmüştür. Ayrıca havada nem bulunmasının fotovoltaik panel hücrelerinin bozulmasını hızlandırarak verimliliklerini azaltabileceği belirtilmiştir. Fotovoltaik paneller kullanılarak bir yılda toplam 4.022 ton CO² emisyonu azaltılabileceği ve fotovoltaik panelleri kurarken eğim açılarının, bulundukları çevresel faktörler ile kirlenici emisyonlarını dikkate almanın ve

yüksek verim elde etmek için fotovoltaik panelleri temiz tutmanın önemi vurgulanmıştır (Rusanescu vd. 2023).

Güneş enerjisi santrallerinin dünya atmosferinin karbonsuzlaştırılmasında önemli bir stratejik konuma sahip olmakla beraber çeşitli hava koşullarına maruz kaldıklarında uzun bir ömre sahip olduğu belirtilmiştir. Önümüzdeki dönemde iklim değişikliği nedeniyle daha sık aşırı koşullar beklenebileceğinden aşırı hava koşullarına dayanacak ve ekonominin sürdürülebilir gelişimine katkıda bulunacak şekilde tasarlanmaları önemlidir. 25, 50 ve 75 m/s rüzgar hızlarının, yere monteli PV sisteminin mekanik kararlılığı üzerindeki etkisi, Ansys yazılımı kullanılarak sayısal simülasyon yoluyla analiz edildiği belirtilmiş ve büyük ölçekli PV sistemlerin genellikle 50 m/s'ye kadar rüzgar hızlarına dayanabileceği belirtilmiştir. Doluya karşı dirençte oldukça yüksek olduğu ve üreticilerin 25 mm boyutuna kadar doluya karşı direnç garantisi verdiği belirtilmiştir. Yüksek hava sıcaklıklarında panel çerçevesinin sıcaklığının yaklaşık 70°C'ye, panel sıcaklığının 85°C'ye ve kablo yalıtımı sıcaklığının 60°C'nin üzerine çıkabildiği görülmüştür. Bu tür yüksek sıcaklıkların elektrik üretiminde %30'a varan bir düşüşe yol açtığı, ancak çatı yalıtımının doğru şekilde yapıldığında kablolar ve çatıya yangın tehlikesi oluşturmayacağı vurgulanmıştır (Bošnjaković vd. 2023).

Sıcaklıktaki değişiklikler, güneş radyasyonunun yoğunluğu, güneş hücresinin yüzeyinin kısmen kaplanması dahil olmak üzere güneş hücrelerinin performansını etkileyebilecek birkaç çevresel parametre olduğu söylenmiştir. Güneş hücresi yüzeyinin kısmen kapanmasının genellikle belirli bir süre güneş paneline yapışan tozdan kaynaklandığı veya yanlışlıkla güneş panelinin yüzeyine çarpıp kapatan kuşlar gibi hayvan dışkılarından da kaynaklanabileceği belirtilmiştir. Dikdörtgen gölge deseninin uygulanmasının dairesel desenden farklı olduğu tespit edilmiştir. Dikdörtgen desende gölge %60 uygulandığında önemli bir voltaj düşüşünün meydana geldiği, PV nispeten küçük olsa da hala akım yayabildiği, gölge %70'ten fazla olduğunda PV'nin artık voltaj üretmediği, ancak dairesel desende gölge %30 uygulandıktan sonra PV voltajının düşmeye başladığı ve gölge %30'dan fazlaysa da PV'nin artık akım yayamadığı görülmüştür (Pratama vd 2023).

PV panelleri verimliliğinin ve performansının çevre koşullarıyla ayrılmaz bir şekilde ilişkili olduğu belirtilerek bu çalışmada ortam değişkenlerinin fotovoltaiik (PV) panellerin performansı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Araştırmacılar, kontrollü testler yoluyla güneş ışınımı, sıcaklık, rüzgar hızı, nem ve toz birikimi gibi kritik çevresel parametreleri araştırmışlardır. Rüzgar hızı, bağıl nem ve toz birikiminin panel performansı üzerinde fark edilebilir olumsuz etkilerinin olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca temiz ve tozlu paneller arasındaki performans farklılıklarında güneş enerjisi sistemlerinin uzun vadeli verimliliğini ve sürdürülebilirliğini sağlamak için sık yapılan bakımın önemli olduğu vurgulanmıştır (Abiem, Igbawua 2023).

Al-Nasiriyah şehrinde (31.03 K, 46.16 D) 120 Wp PV modülünün performansını değerlendirmek için analitik bir çalışma yapılmıştır. Güneş panelleri kullanılarak, güneş enerjisinin tüm bir binayı çalıştırabilecek elektrik enerjisine dönüştürülmesi amaçlanmıştır. Güneş panelinden elde edilen güç üretiminin belirlenen birkaç faktöre bağlı olduğu tespit edilmiştir. Şubat ve haziran aylarında güneş panelindeki çıkış gücünün gölgelenmeye, yağmura, bağıl neme ve rüzgar hızına etkisi incelenmiştir. Yağmurlu ve bulutlu günlerde ortalama gücün ve ışınımın sırasıyla havanın açık olduğu bir günde 693 W/m² ve 76,55 W olan ışınım ve güçle karşılaştırıldığında %93,32, %93,77 ve %79,97, %77,34 oranında azalmıştır. Nemin voltaj, akım ve güçle ters orantılı olduğu tespit edilmiş ve bu bağlamda nem arttıkça voltaj, akım ve güç değerinin azaldığı görülmüştür. Bir güneş paneli performansının rüzgar hızıyla doğru orantılı olduğu belirtilmiştir. Sıcaklığın ise rüzgar hızıyla ters orantılı olduğu, yani rüzgar hızı arttıkça güneş pili modülünün sıcaklığının azaldığı yapılan araştırmada bulunmuştur (Hasan vd. 2022).

3. MATERYAL VE METOT

Literatür taraması yapıldığında güneş panellerinin en verimli çalışması için koşulların araştırıldığı, bununla ilgili birçok deney yapıldığı ve yapılmaya devam edildiği görülmüştür. Bu çalışma kapsamında ise Afyonkarahisar ilinde meydana gelen ani değişkenlerin farklı tipteki panellerdeki çıkış gerilimine etkisi araştırılacak ve hangi tip güneş panelinin daha verimli olduğu araştırılacaktır. Ani değişken olarak yapay olarak gölgelenme, yağmur ve rüzgar kullanılacak olup bunların çeşitli varyasyonları kurulan düzeneğe etki ettirilecektir. Bu deneyler Afyonkarahisar'ın bir ilçesi olan Bolvadin'de gerçekleştirilecek olup panel eğim açısının değerine enlem değeri baz alınarak karar verilmiştir. Afyon Kocatepe Üniversitesi Ahmet Nejdett Sezer Kampüsü'nde yapılan araştırmada, Nisan ayında güneş panellerinin 20° açıyla yerleştirilmesi halinde daha yüksek elektrik verimliliği elde edildiği saptanmıştır. Ayrıca, panellerin açısının bölgenin enlemine göre ayarlanması durumunda daha fazla elektrik üretiminin mümkün olduğu belirtilmiştir (Orhun ve arkadaşları, 2012). Bu çalışmayı da dikkate alarak Nisan ayında deneyler yapılmış fakat deney düzeneği Bolvadin ilçesinde kurulduğu için enlem değerine bakılıp hesaplamalar yapılarak panel eğim açısına karar verilmiştir. Türkiye'deki tüm şehirlerde güneş panelleri için uygun eğim açısını hesaplamak amacıyla şu formül kullanılmıştır: Panel Eğimi = Enlem x 0,87 + 3,1 (<https://aydinlatma.org/gunes-paneli-solar-panel-acisi-nasil-hesaplanir.html>). Bolvadin enlemi <http://dunya.arztalep.com/tr-TR/afyon/afyon-haritasi.aspx> adresinden 38,7126 bulunmuş, deneyde kullanılacak Panel Eğimi = 38,7126 x 0,87 + 3,1= 36.779962 belirlenmiş ve deneyde kullanılacak panel eğimi açısının 37 derece olarak ayarlanmasına karar verilmiştir.

Ani değişkenlerin güneş panelleri üzerindeki etkisini araştırmak için iki tip güneş paneli kullanılmıştır. Perc monokristal güneş paneli için güneşin yeryüzüne ilettiği ışınlardan maksimum seviyede yararlanmak ve hücre verimliliğini en üst seviyeye çıkarmak amacıyla kullanılan bu teknolojinin, yenilenebilir enerji sistemlerinde önemli bir rol oynadığı ve enerji üretiminde verimliliği artırdığı belirtilmiştir. “Passivated Emitter and Rear Cell” olarak bilinen perc teknolojisi, yıllardır kullanılan güneş panellerinden farklılaşan bazı özelliklere sahip olduğu ve özel olarak tasarlanan güneş paneli hücresi mimarisi sayesinde güneş ışınlarını en iyi şekilde değerlendirip ve elektrik üretimini

gerçekleştirdiği belirtilmiştir (<https://mirsolar.com.tr/monoperc-paneller>). Bu sebeple panellerden bir tanesi en çok tercih edildiği görülen monokristal güneş paneli diğeri ise perc monokristal güneş paneli olarak seçilmiştir. Monokristal güneş paneli ile perc monokristal güneş panelinin ani değişkenler karşısındaki gerilim çıkışlarının karşılanması hedeflenmiştir.

Ölçümlerin yapılması için 2 adet Owon OW18B marka dijital el tipi multimetre true RMS bluetooth (kayıt özellikli), Cem DT-1307 güneş ışığı ölçer (solarimetre), CEM DT 1880 marka teleskobik problu kızgın tel hava hızı ve kayıt özellikli sıcaklık ölçer anemometre, CEM DT-172 TK marka ekranlı ısı ve nem veri kaydedici (kayıt özellikli), 25 watt monokristal güneş paneli ve 25 watt perc monokristal güneş paneli temin edilmiştir. Suni rüzgar oluşturmak amacıyla 45 watt gücünde vantilatör kullanılmıştır.

3.1 Deney Düzenekinin Tasarımı

Afyonkarahisar'ın ilçesi olan Bolvadin'de 11 Nisan, 12 Nisan ve 13 Nisan 2024 tarihlerinde ölçümler alınmak üzere aşağıdaki Şekil 3.1 ve Şekil 3.2'de gösterilen deney düzeneği kurulmuştur.



Şekil 3.1 Deney düzeneğinin önden görünüşü.



Şekil 3.2 Deney düzeneğinin arkadan görünüşü.

Daha önceden belirttiği gibi panel ile yüzey arasındaki açı 37° olarak ayarlanarak deney düzeneği kurulmuştur. Güneş panellerine etki eden farklı geçici durumlar olarak rüzgar, yağmur ve gölgelenme kullanılacağından çıkış gerilimlerini ölçmek için multimetre, rüzgar hızı için anemometre, gölgelenme halindeki güneş ışımasını ölçmek için solarimetre ve yağmur halinde panel yüzeyi sıcaklığını ve ortam sıcaklığını ölçen termometre deney düzeneğine yerleştirilmiştir.

Deneyler yapılırken çekilen fotoğraflar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5).



Şekil 3.3 Gölgeleme durumunda deney düzeneği.



Şekil 3.4 Yağmur durumunda deney düzeneği.



Şekil 3.5 Rüzgar durumunda deney düzeneği.

Güneş panellerine etki eden farklı geçici durumlar için belirli bir senaryo üretilmiş ve 3 gün boyunca aynı senaryo uygulanmıştır (Çizelge 3.1). Güneş ışınımının zamanla sönümlenmesinin panellerde etkisini gözlemlemek için güneş batarken de ölçüm alınmıştır.

Çizelge 3.1 Panellere etki eden geçici durumlar.

Panellere Etki Eden Durumlar	Saat Aralığı	
Etki Olmadan Panellerin Çalışması	10:15	11:00
Ani Gölgeleme Durumu	11:00	11:10
Gölgeleme Durumu ve Ani Rüzgar Durumu	11:10	11:20
Etki Olmadan Panellerin Çalışması	11:20	11:30
Ani Rüzgar Durumu	11:30	11:40
Etki Olmadan Panellerin Çalışması	11:40	11:50
Ani Rüzgar Durumu ve Ani Gölgeleme Durumu	11:50	12:00
Etki Olmadan Panellerin Çalışması	12:00	12:10
Ani Gölgeleme Durumu	12:10	12:20
Etki Olmadan Panellerin Çalışması	12:20	12:30
Ani Yağmur Durumu	12:30	12:40
Etki Olmadan Panellerin Çalışması	12:40	12:50
Ani Yağmur ve Ani Rüzgar Durumu	12:50	13:00
Etki Olmadan Panellerin Çalışması	13:00	13:10
Ani Yağmur ve Ani Gölgeleme Durumu	13:10	13:20
Etki Olmadan Panellerin Çalışması	13:20	13:30
Ani Gölgeleme, Ani Yağmur ve Ani Rüzgar Durumu	13:30	13:40
Etki Olmadan Panellerin Çalışması	13:40	14:00
Etki Olmadan Panellerin Akşam Çalışması	19:40	20:00

3.2 Verilerin Kaydedilmesi

10 Nisan 2024 tarihinde deneme ölçümleri yapılmış olup 11,12 ve 13 Nisan 2024 tarihlerinde güneş ışınlam değeri 5 dakikada bir kaydedilmiştir. Diğer ölçüm cihazlarında veri kaydedici olduğundan sıcaklık, gerilim ve rüzgar değeri saniyelik olarak ölçülüp kaydedilmiştir (Şekil 3.6, Şekil 3.7).



Şekil 3.6 Ölçüm yapılırken deney düzeneği-1.



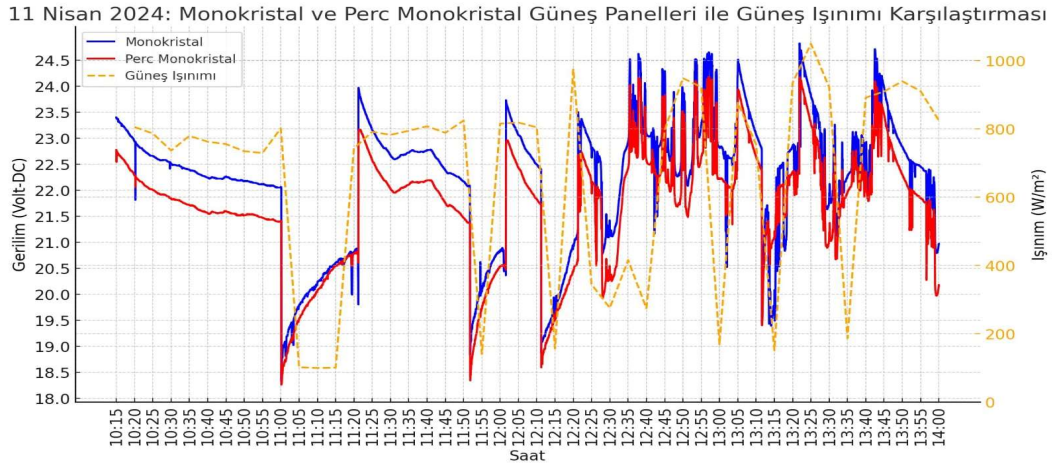
Şekil 3.7 Ölçüm yapılırken deney düzeneği-2.

4. DENEY SONUÇLARININ ANALİZ EDİLMESİ

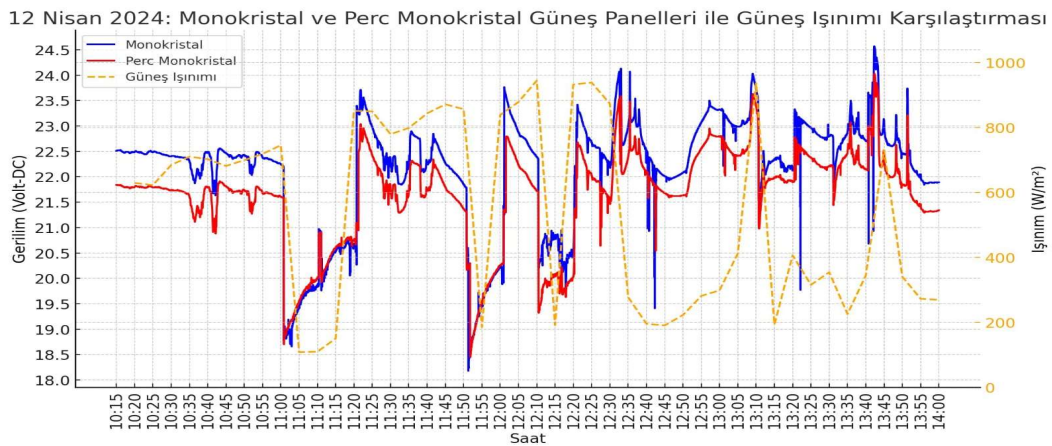
Ölçülen değerler farklı başlıklar altında grafikler oluşturularak yorumlanacaktır.

4.1 Gölgeleme Durumunda Testin Gerçekleştirilmesi

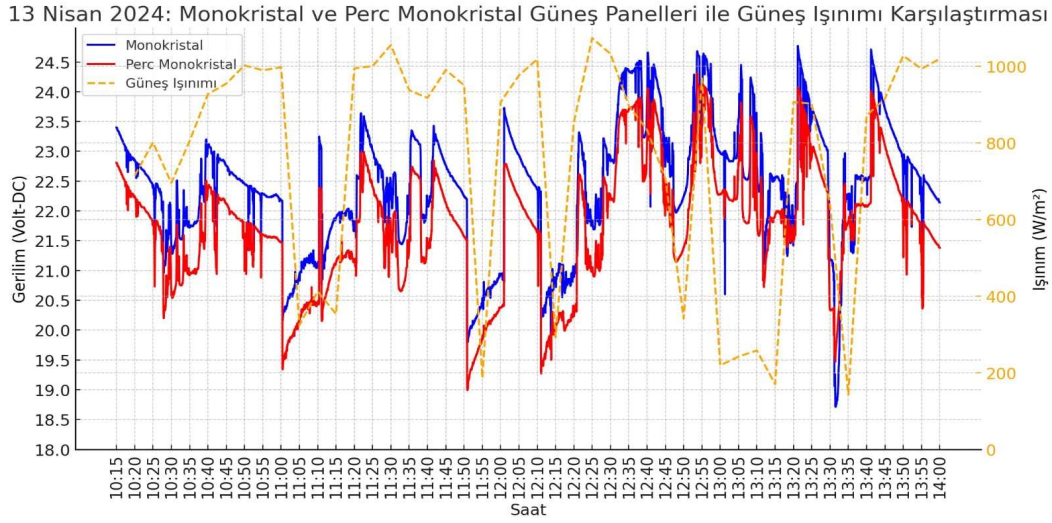
Çizelge 3.1’de belirtildiği üzere panellere sırasıyla saat 11:00, 11:50, 12:10, 13:10 ve 13:30’da gölgeleme uygulanmıştır. Gölgelemenin çıkış gerilimine etkisini incelemek için solarimetre ile güneş ışınım ölçümü yapılmıştır. 11, 12 ve 13 Nisan 2024 tarihlerindeki gölgelemenin panel çıkış gerilimlerine etkisi belirtilen grafiklerde sunulmuştur (Şekil 4.1, Şekil 4.2, Şekil 4.3).



Şekil 4.1 Gölgelemenin monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (11 Nisan).



Şekil 4.2 Gölgelemenin monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (12 Nisan).

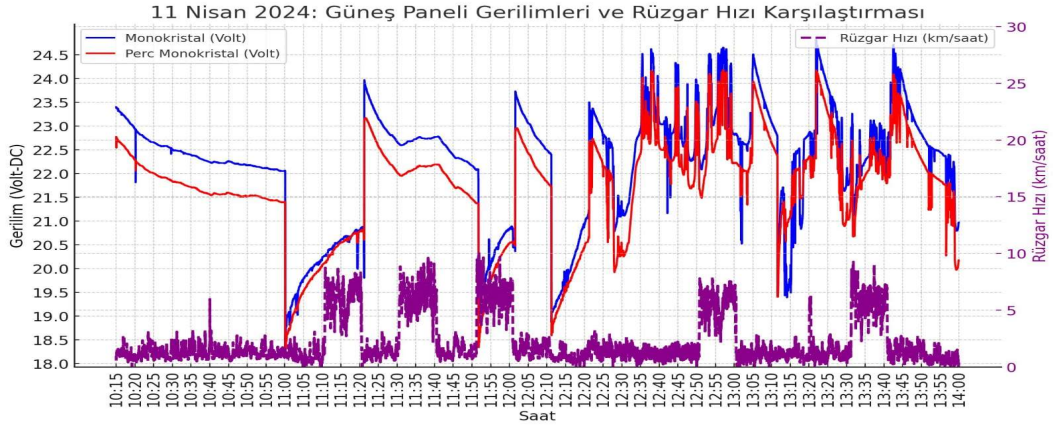


Şekil 4.3 Gölgelemenin monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (13 Nisan).

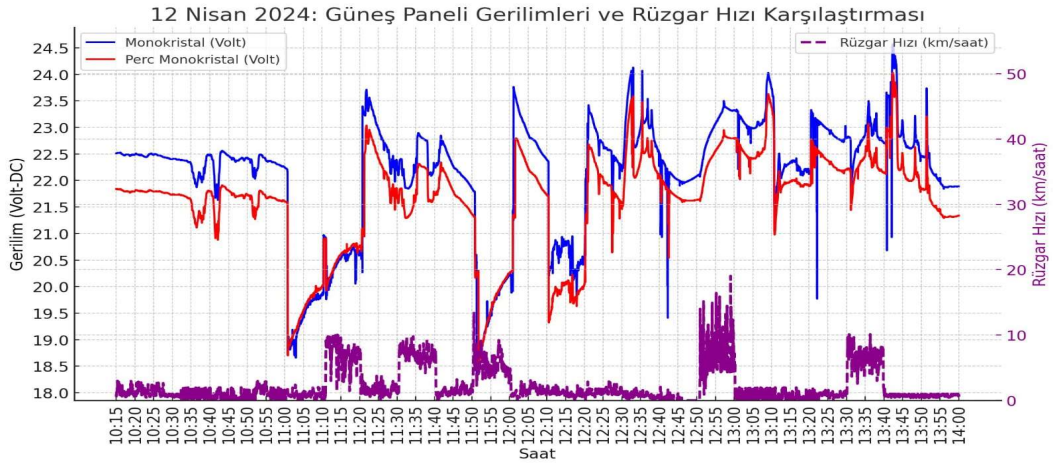
Grafikler incelendiğinde güneş ışınımının artmasıyla artan gerilim değerleri panellerin güneş ışığına tepkisini ve verimliliğini göstermektedir. Monokristal ve perc monokristal panellerini kendi aralarında değerlendirecek olursa gölge durumu yokken yani güneş ışınımı arttığında panellerdeki gerilim değerlerinin uyumlu olarak arttığı görülmektedir. Ancak, gölge durumunda yani güneş ışınımı düşürüldüğünde perc monokristal panelin daha düşük ışınım koşullarında stabil gerilim sağladığı görülmüştür. Gölgeleme durumunda iki panel kıyaslanacak olursa perc monokristal panel daha düşük güneş ışınımında daha az gerilim değişimleri yaptığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak güneş ışınımı fazla olan bölgelerde monokristal panel daha avantajlı olduğu, perc monokristal panellerin ise ışınım şiddeti fazla olmayan bölgelerde daha istikrarlı bir performans sergileyeceği tespit edilmiştir.

4.2 Rüzgar Durumunda Testin Gerçekleştirilmesi

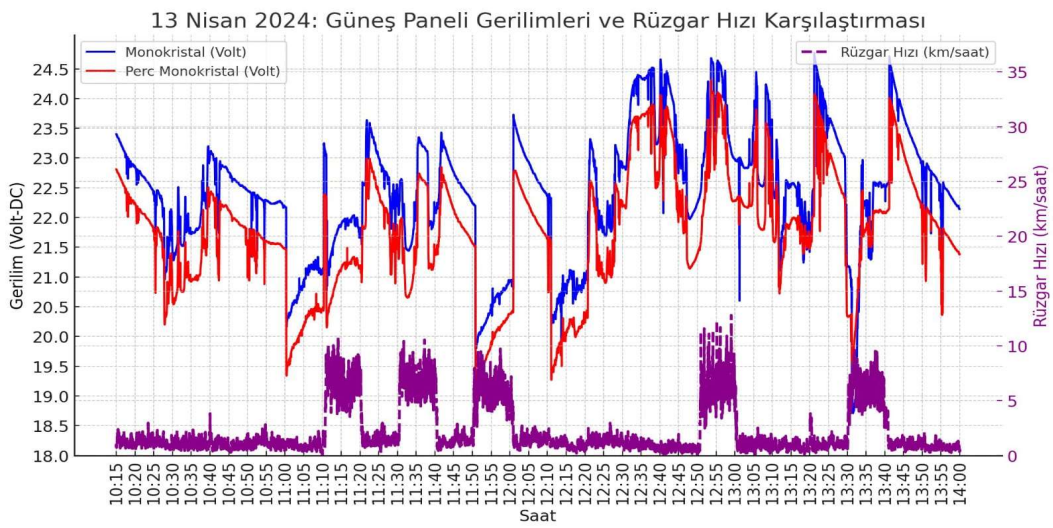
Çizelge 3.1’de belirtildiği üzere paneller sırasıyla saat 11:10, 11:30, 11:50, 12:50 ve 13:30’da rüzgara maruz bırakılmıştır. Rüzgar hızının çıkış gerilimine etkisini incelemek için anemometre ile rüzgar hızı ölçümü yapılmıştır. 11, 12 ve 13 nisandaki rüzgar hızının panel gerilimi aşağıdaki grafiklerde sunulmuştur (Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6).



Şekil 4.4 Rüzgar hızının monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (11 Nisan).



Şekil 4.5 Rüzgar hızının monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (12 Nisan).

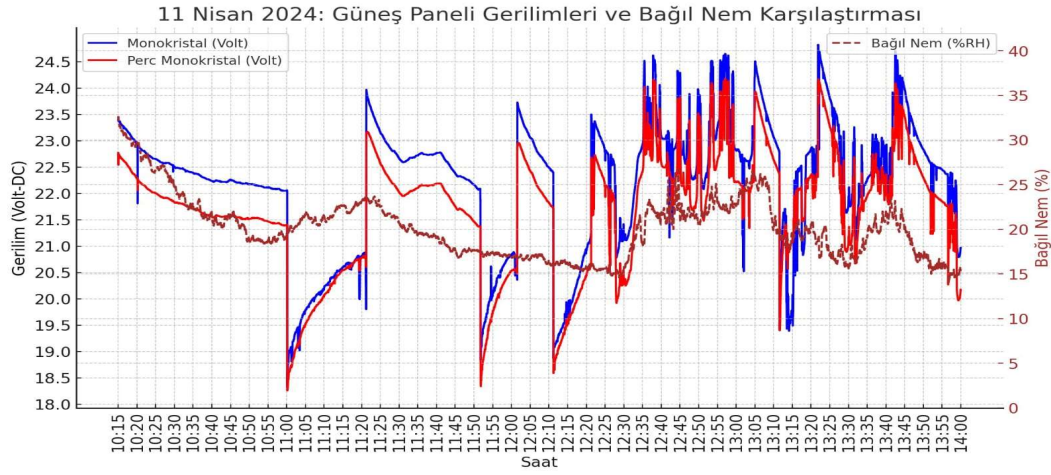


Şekil 4.6 Rüzgar hızının monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (13 Nisan).

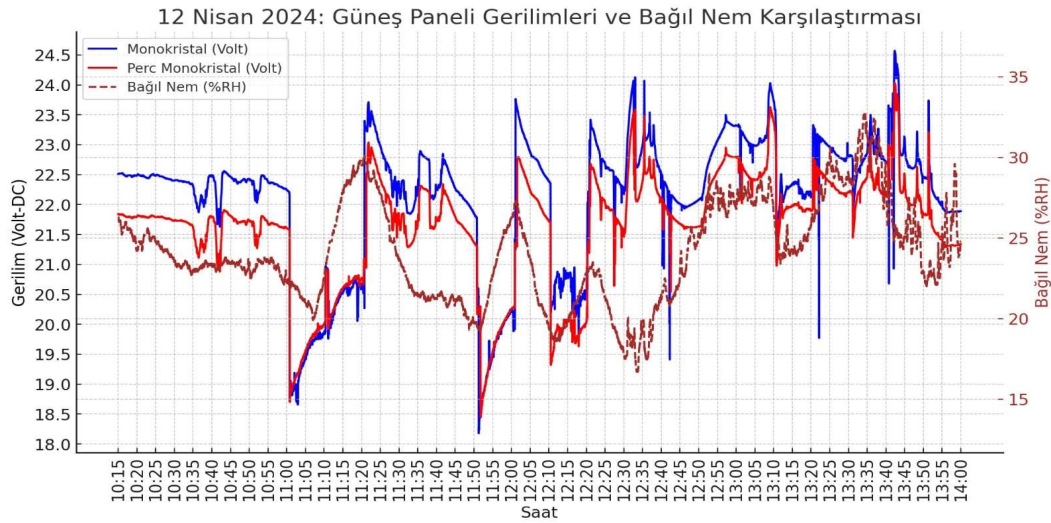
Grafikler incelendiğinde rüzgar hızının panel gerilimlerine daha az etki ettiği gözlemlenmiştir. Literatür taramasında edinilen bilgiler ışığında rüzgar hızının artması ile panel yüzeyinin soğuması ve verim artması beklenmektedir. Ancak, grafiklere bakıldığında yalnızca rüzgar hızının arttığı aralıklarda kayda değer bir çıkış gerilimi artışının olmadığı gözlemlenmiştir.

4.3 Bağıl Nemin Ölçülerek Testin Gerçekleştirilmesi

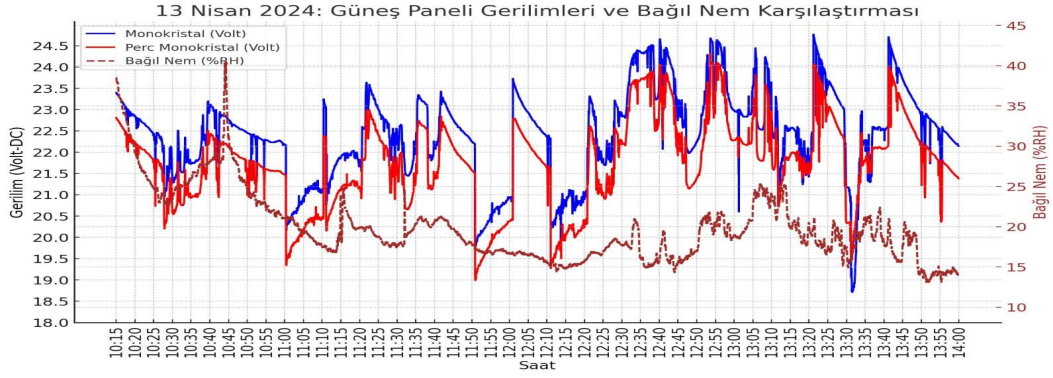
Bağıl nem değerleri ile panel gerilimi belirtilen grafiklerde sunulmuştur (Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.9).



Şekil 4.7 Bağıl nemin monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (11 Nisan).



Şekil 4.8 Bağıl nemin monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (12 Nisan).

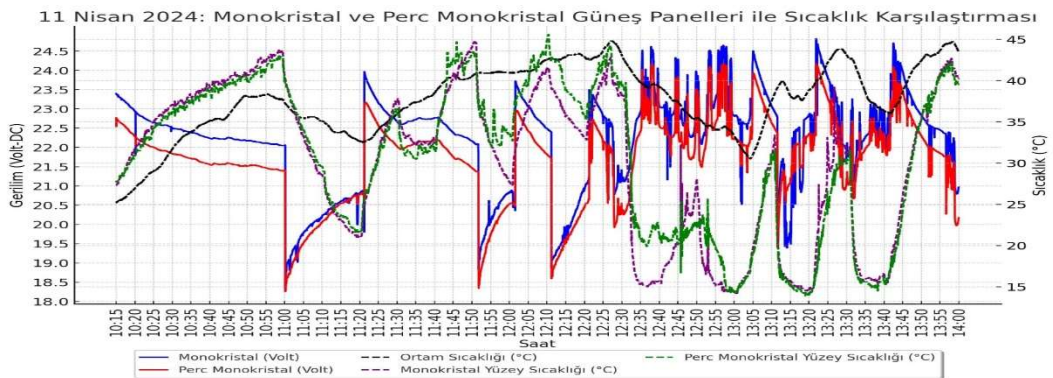


Şekil 4.9 Bağıl nemin monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (13 Nisan).

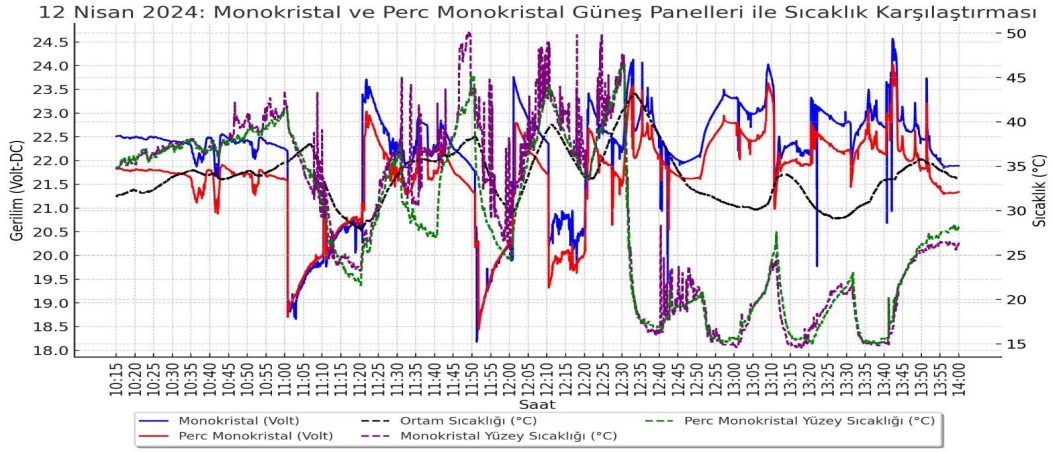
Grafikler incelendiğinde bağıl nem ile panel gerilimleri arasında doğrudan bir etki gözlemlenmemiştir. Ancak detaylı irdelendiğinde hiçbir suni çevre durumunun etki ettirilmediği durumlarda bağıl nem arttığında çıkış gerilimlerinde çok hafif bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu veriye dayanarak bağıl nemdeki artışın monokristal ve perc monokristal paneller üzerinde olumsuz bir etki yaratabileceği düşünülmektedir.

4.4 Yağmur Durumunda Testin Gerçekleştirilmesi

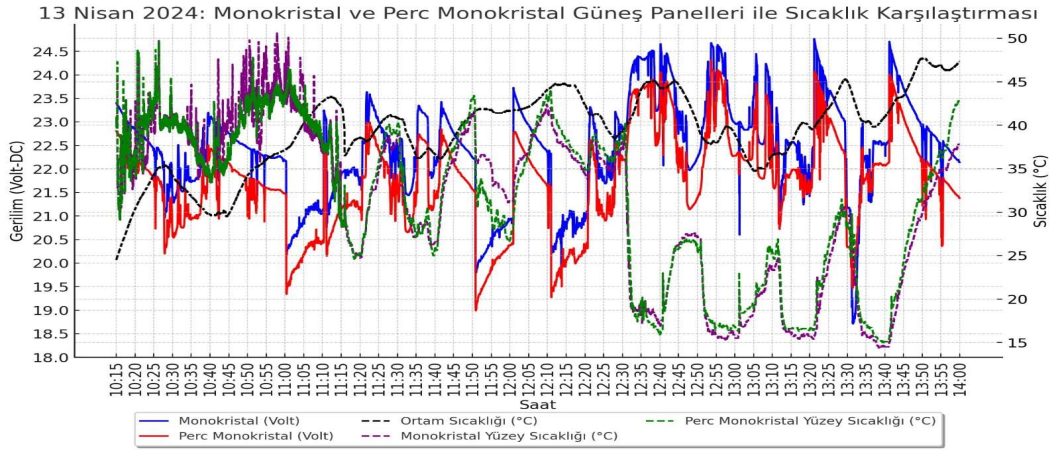
Çizelge 3.1'de belirtildiği üzere paneller sırasıyla saat 12:30, 12:50, 13:10 ve 13:30'da yapay olarak yağmura maruz bırakılmıştır. Yağmurun çıkış gerilimine etkisini incelemek için panel yüzeyi sıcaklıkları termometre ile ölçülmüştür. 11, 12 ve 13 Nisan 2024 tarihlerindeki yağmurun etkisiyle sıcaklıklar ile panel çıkış gerilimleri aşağıdaki belirtilen grafiklerde sunulmuştur (Şekil 4.10, Şekil 4.11, Şekil 4.12).



Şekil 4.10 Yağmur durumunda monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (11 Nisan).



Şekil 4.11 Yağmur durumunda monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (12 Nisan).



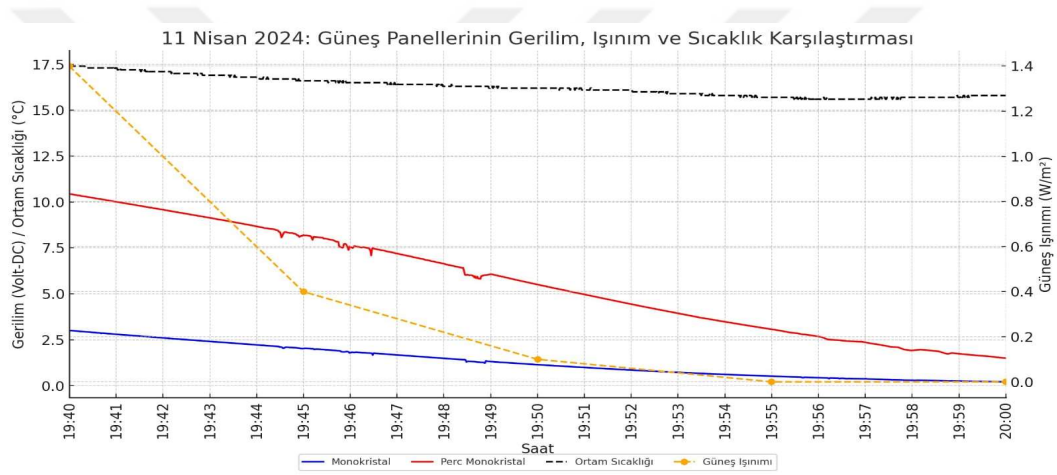
Şekil 4.12 Yağmur durumunda monokristal ve perc monokristal panellere etkisi (13 Nisan).

Grafiklerde monokristal ve perc monokristal panellerde yüzey sıcaklığının çıkış gerilimine etkisi ile beraber ortam sıcaklığı ile nasıl değiştiğini incelemek için tüm sıcaklık değerleri tek grafikte toplanmıştır. Yağmurun panel yüzeylerine etki etmesiyle beraber panel yüzeyinde meydana gelecek sıcaklık değişimlerinin çıkış gerilimine etkilerini incelemek amaçlanmıştır. Grafikler incelendiğinde ortam sıcaklığı ile panel gerilimleri arasında ters orantı olduğu gözlemlenmiştir. Ortam sıcaklığının artmasıyla beraber genellikle panel yüzey sıcaklığının arttığını bunun sonucunda da monokristal ve perc monokristal panellerde verimliliği düşürdüğü tespit edilmiştir. Monokristal panelde yüzey sıcaklığı arttıkça yani yağmur durumu olmadığında gerilim değeri düştüğü gözlemlenmiştir. Perc monokristal panelde yüzey sıcaklıkları arttıkça yani yağmur durumu olmadığında genellikle gerilim değerlerinin düştüğü ancak yağmur durumunda

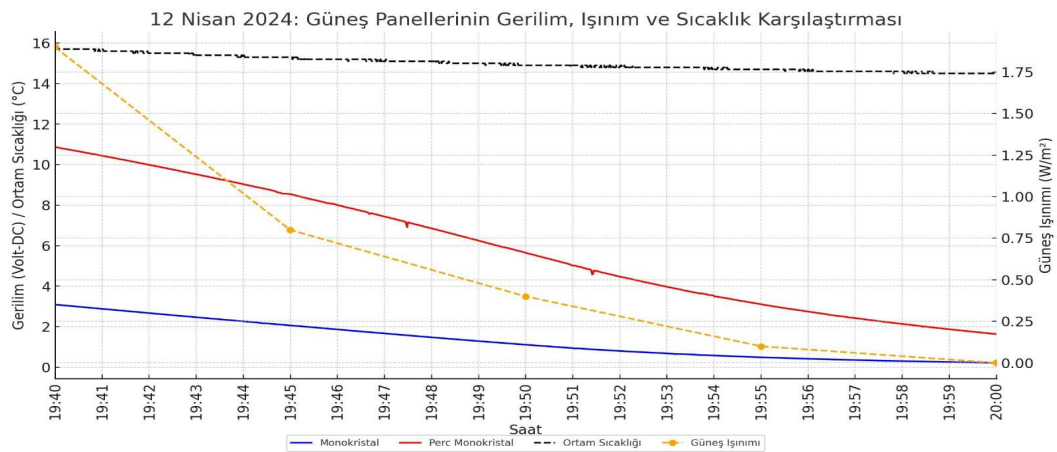
yani yüzey sıcaklıkları düştüğünde perc monokristal panelin monokristal panelden daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

4.5 Akşam Vaktinde Ölçüm Alınması

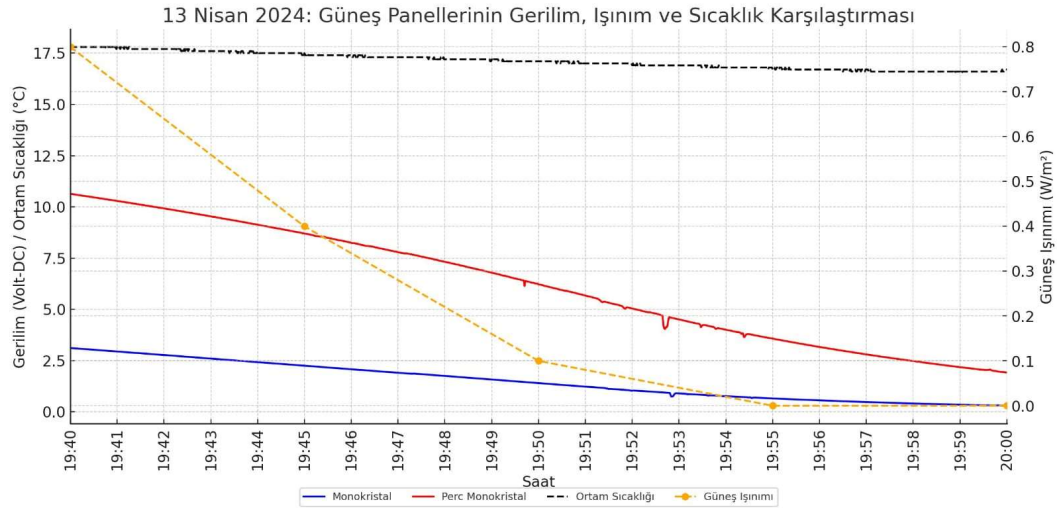
Panellerin ne zaman tamamen sönmüldüğünün ve akşam performanslarının değerlendirilmesi amacıyla akşam saat 19:40'da gerilim değerleri alınmaya başlanmış ve solarimetredeki güneş ışınım değeri 0 (sıfır) olana kadar beklenmiştir. 11, 12 ve 13 Nisan 2024 tarihlerinde akşam saatlerindeki gerilim, ışınım ve sıcaklık karşılaştırması aşağıda belirtilen grafiklerde sunulmuştur (Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15).



Şekil 4.13 Akşam vaktinde monokristal ve perc monokristal panellerin verimi (11 Nisan).



Şekil 4.14 Akşam vaktinde monokristal ve perc monokristal panellerin verimi (12 Nisan).

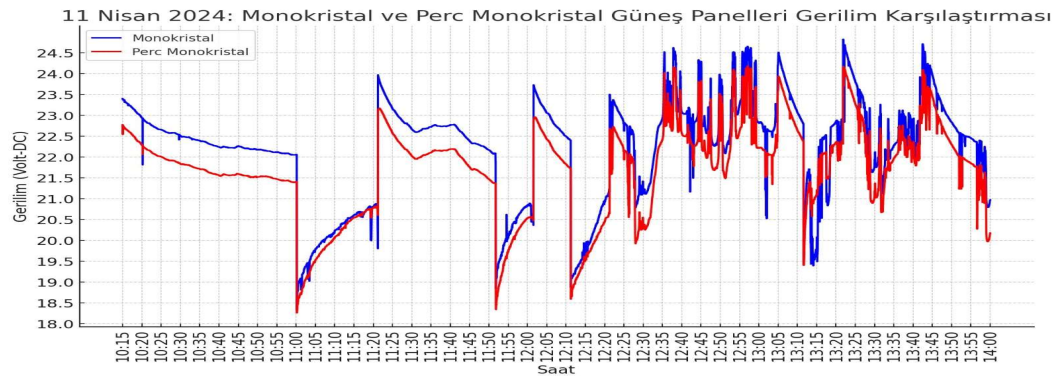


Şekil 4.15 Akşam vaktinde monokristal ve perc monokristal panellerin verimi (13 Nisan).

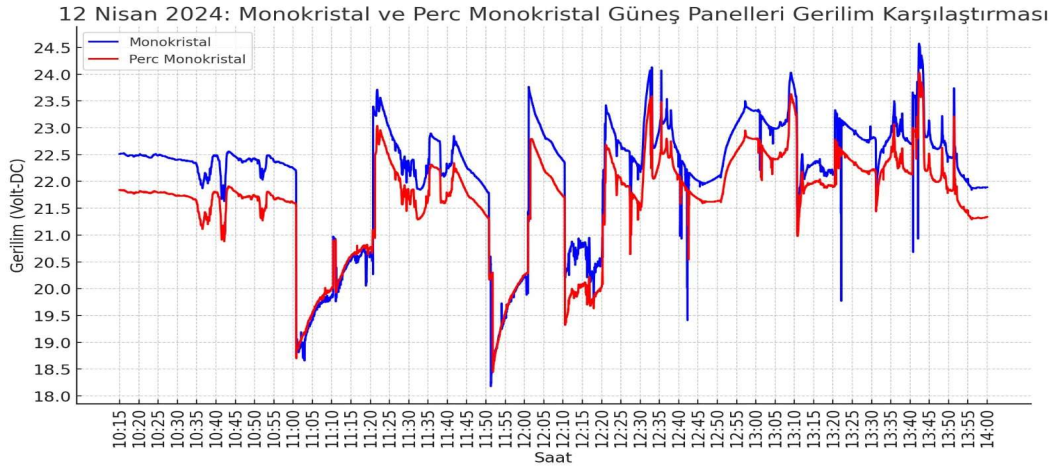
Grafikler incelendiğinde akşam saatlerinde monokristal panel için gerilim değerlerinin düşük olduğu gözlemlenmiştir. Perc monokristal panelde ise monokristal panele kıyasla daha yüksek gerilim değerleri görülmüştür. Gösterilen grafiklerden de yola çıkılarak düşük ışık durumlarında yani akşam vakitlerinde perc monokristal panel daha iyi performans göstermiştir.

4.6 Monokristal ve Perc Monokristal Panel Gerilimlerinin Kıyaslanması

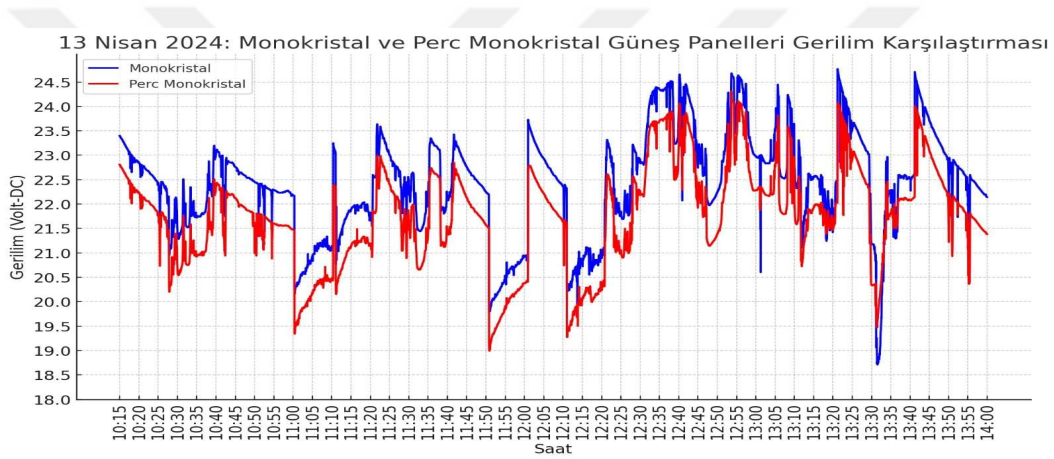
Şimdiye kadar incelenen tüm değişkenleri de kapsayacak şekilde ani değişkenlerin olduğu durumlarda direkt panel verimliliğinin kıyaslanması amaçlanmıştır. Bu grafikler ile suni ve ani olarak uygulanan yağmur, rüzgar ve gölgenin panellere etkisi araştırılırken ortamda doğal bir şekilde oluşan gölgenin ve sıcaklık değişimlerinin de çıkış gerilimine etkisi görülmek istenmiştir.



Şekil 4.16 Monokristal ve perc monokristal panel gerilimleri (11 Nisan).



Şekil 4.17 Monokristal ve perc monokristal panel gerilimleri (12 Nisan).



Şekil 4.18 Monokristal ve perc monokristal panel gerilimleri (13 Nisan).

Yapılan tüm deneyler sonucunda 11, 12 ve 13 Nisan 2024 tarihlerinde 10:15-14:00 saatleri arasında günlük 13434 saniyelik veri kaydedilmiştir. Bu süreçte günlük olarak 65 ışınlam verisi ve her biri 13434 adet olmak üzere monokristal güneş paneli gerilim verisi, perc monokristal güneş paneli gerilim verisi, monokristal güneş paneli yüzey sıcaklık verisi, perc monokristal güneş paneli yüzey sıcaklık verisi, ortam sıcaklık verisi, bağıl nem verisi ve rüzgar hızı verisi kayıt altına alınmıştır. Yine aynı tarihlerde akşam saatlerindeki performansları değerlendirebilmek amacıyla 19:40-20:00 saatleri arasında günlük 1201 saniyelik veri kaydedilmiştir. Bu süreçte de günlük olarak 21 ışınlam verisi ve her biri 1201 adet olmak üzere monokristal güneş paneli gerilim verisi, perc monokristal güneş paneli gerilim verisi, ortam sıcaklık verisi kayıt altına alınmıştır.

Çizelge 4.1 Panellerin gündüz saatlerindeki ortalama gerilimleri.

Güneş Paneli Tipi	Tarih (10:15-14:00)	Ortalama Gerilim (Volt-DC)	Ortalama Güneş Işınımı (W/m ²)	Ortalama Yüzey Sıcaklığı (°C)	Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)	Ortalama Bağıl Nem (%RH)	Ortalama Rüzgar Hızı (km/saat)
Monokristal	11.04.2024	22,21	668	30,29	37,63	20,15	2,27
Perc Monokristal	11.04.2024	21,71	668	30,77	37,63	20,15	2,27
Monokristal	12.04.2024	22,13	545	29,77	33,9	24,09	2,18
Perc Monokristal	12.04.2024	21,64	545	28,84	33,9	24,09	2,18
Monokristal	13.04.2024	22,42	760	30,96	39,95	19,89	2,22
Perc Monokristal	13.04.2024	21,77	760	31,26	39,95	19,89	2,22
Monokristal	3 günlük ortalama	22,25	658	30,34	37,16	21,38	2,22
Perc Monokristal	3 günlük ortalama	21,71	658	30,29	37,16	21,38	2,22

Çizelge 4.2 Panellerin akşam saatlerindeki ortalama gerilimleri.

Güneş Paneli Tipi	Tarih (19:40-20:00)	Ortalama Gerilim (Volt-DC)	Ortalama Güneş Işınımı (W/m ²)	Ortalama Ortam Sıcaklığı (°C)
Monokristal	11.04.2024	1,31	0,33	16,27
Perc Monokristal	11.04.2024	5,65	0,33	16,27
Monokristal	12.04.2024	1,32	0,6	15
Perc Monokristal	12.04.2024	5,86	0,6	15
Monokristal	13.04.2024	1,49	0,25	17,12
Perc Monokristal	13.04.2024	6,18	0,25	17,12
Monokristal	3 günlük ortalama	1,37	0,39	16,13
Perc Monokristal	3 günlük ortalama	5,89	0,39	16,13

Çizelge 4.1 ve 4.2’de verilen 3 gün boyunca yapılan gerilimlerin ortalamaları gösterilmiştir. Bu çizelgelerden hareketle;

- Gündüz ortalama güneş ışıınımı her iki panel tipi için de aynı (658 W/m²) olduğu görülmektedir. Akşam ortalama güneş ışıınımı çok düşüktür (0,21 W/m²), bu da panellerin düşük ışık koşullarında nasıl performans gösterdiğini anlamak için

önemlidir. Yüzey ve ortam sıcaklıkları gündüzleri her iki panel tipi için de benzerdir. Akşamları ise ortam sıcaklığı 16,13°C civarındadır.

- Monokristal panellerin gündüz ortalama çıkış gerilimi 22,25 Volt iken, perc monokristal panellerin gündüz ortalama çıkış gerilimi 21,71 Volt'tur. Monokristal paneller, gündüz saatlerinde perc monokristal panellere göre ortalama olarak %2,5 daha yüksek bir gerilim üretmiştir.
- Akşam saatlerinde monokristal panellerin ortalama çıkış gerilimi 1,37 Volt iken perc monokristal panellerin ortalama çıkış gerilimi 5,89 Volt'tur. Perc monokristal paneller, akşam saatlerinde monokristal panellere göre çok daha yüksek bir gerilim üretmiştir (yaklaşık olarak %330 daha fazla).

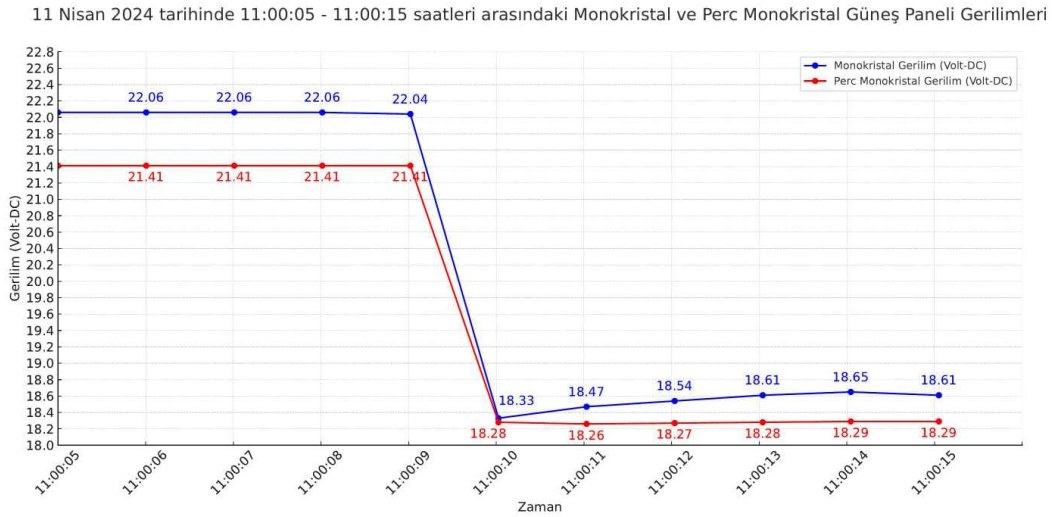
Monokristal paneller gündüz saatlerinde daha yüksek bir ortalama gerilim üretirken, perc monokristal paneller akşam saatlerinde daha yüksek bir gerilim üretmektedir. Bu, perc monokristal panellerin düşük ışık koşullarında daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Gündüz saatlerinde her iki panel tipi de benzer çevresel koşullarda çalışmaktadır ve performans farkı büyük ölçüde kullanılan teknolojiye dayandığı anlaşılmaktadır. Uygulama alanına bakılacak olursa yüksek güneş ışığına sahip bir bölgede monokristal panel daha uygun olacaktır. Güneş ışığının daha düzensiz geldiği gölgelenme gibi faktörlerin daha yaygın olduğu bölgeler için ise perc monokristal panel daha uygun olacaktır.

4.7 Kısa Süreli Işınım Değer Değişimlerinin Monokristal ve Perc Monokristal Panel Gerilimlerine Etkisinin Kıyaslanması

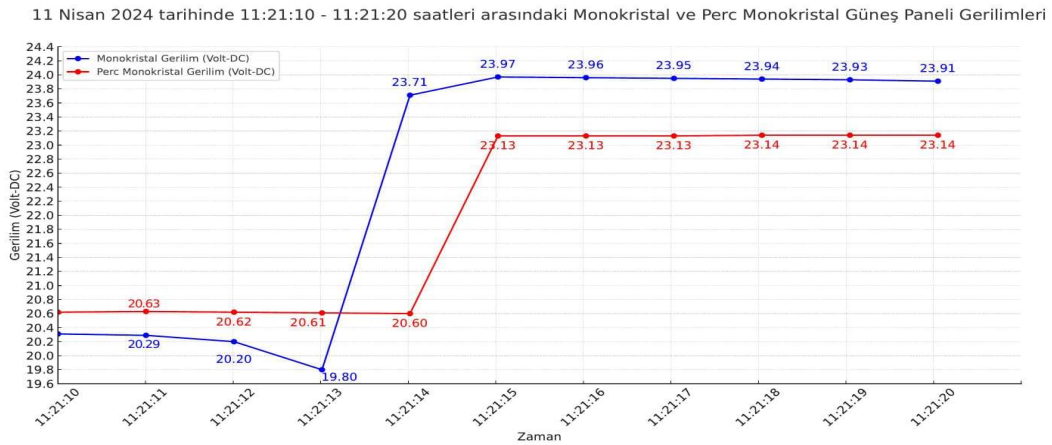
Güneş panellerinde meydana gelen farklı geçici durumların analizi ve modellenmesi, güneş enerjisi teknolojisinin gelişmesinde büyük öneme sahiptir. Bu çalışma çerçevesinde yapılan tüm geçici durumların analizi bir önceki başlıkta ayrıntılı olarak incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda panellerin ilk gölgeye maruz bırakıldığı ve gölgelenmenin kaldırıldığı anda kısa süreli ışınlam değer değişimleri bu başlık altında detaylı olarak analiz edilecektir. Analiz yaparken gölge oluşturma sırasında oluşan 1-2 saniyelik farklar dikkate alınarak kıyaslama yapılmıştır. Ani gölgelenme durumunda 11 Nisan 2024 tarihinde güneş ışınlamı 765 W/m²'den 98 W/m²'ye düşmüştür. Bu durumda monokristal panelin başlangıç gerilimi 22,04 Volt'tan 18,33 Volt'a düşmüş ve %16,83

oranında bir gerilim düşüşü yaşanmıştır (Şekil 4.19). Aynı gün perc monokristal panelin başlangıç gerilimi 21,41 Volt'tan 18,28 Volt'a düşmüş ve %14,62 oranında bir gerilim düşüşü gözlenmiştir (Şekil 4.19).

Gölgenin kaldırılması durumunda 11 Nisan 2024'te güneş ışıını 102 W/m²'den 742 W/m²'ye yükselmiştir. Bu durumda, monokristal panelin başlangıç gerilimi 19,80 Volt'tan 23,71 Volt'a yükselmiş ve %19,75 oranında bir gerilim artışı yaşanmıştır (Şekil 4.20). Aynı günde perc monokristal panelin başlangıç gerilimi 20,60 Volt'tan 23,13 Volt'a yükselmiş ve %12,28 oranında bir gerilim artışı gözlenmiştir (Şekil 4.20).



Şekil 4.19 Ani gölgeleme anında monokristal ve perc monokristal panel gerilimleri (11 Nisan).



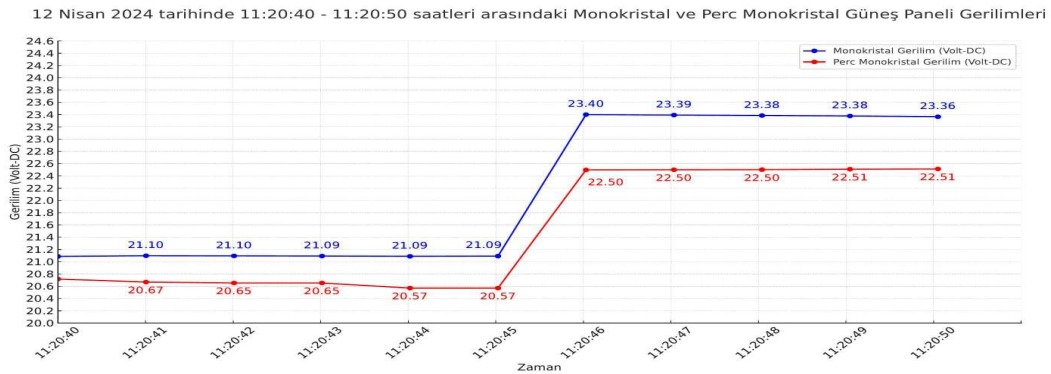
Şekil 4.20 Ani gölgelemenin kaldırılması anında monokristal ve perc monokristal panel gerilimleri (11Nisan).

Ani gölgelenme durumunda 12 Nisan 2024'te güneş ışınlamı 745 W/m^2 'den 108 W/m^2 'ye düşmüş olup monokristal panelin başlangıç gerilimi 22,10 Volt'tan 19,25 Volt'a düşmüş ve % 12,90 oranında bir gerilim düşüşü yaşanmıştır (Şekil 4.21). Aynı gün perc monokristal panelin başlangıç gerilimi 21,57 Volt'tan 18,87 Volt'a düşmüş ve %12,52 oranında bir gerilim düşüşü gözlenmiştir (Şekil 4.21).

Gölgenin kaldırılması durumunda 12 Nisan 2024'te güneş ışınlamı 183 W/m^2 'den 851 W/m^2 'ye yükselmiştir. Bu durumda monokristal panelin başlangıç gerilimi 21,09 Volt'tan 23,40 Volt'a yükselmiş ve % 10,95 oranında bir gerilim artışı yaşanmıştır (Şekil 4.22). Aynı gün perc monokristal panelin başlangıç gerilimi 20,57 Volt'tan 22,50 Volt'a yükselmiş ve % 9,39 oranında bir gerilim artışı gözlenmiştir (Şekil 4.22).



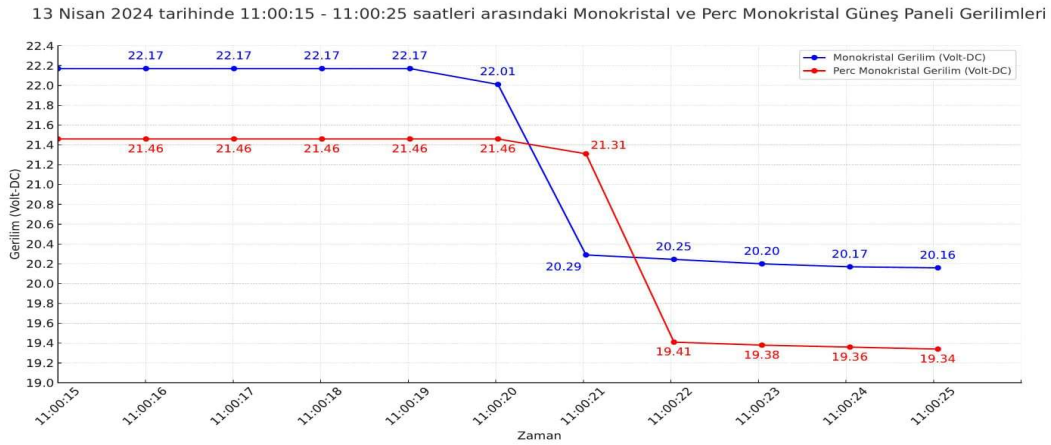
Şekil 4.21 Ani gölgelenme anında monokristal ve perc monokristal panel gerilimleri (12 Nisan).



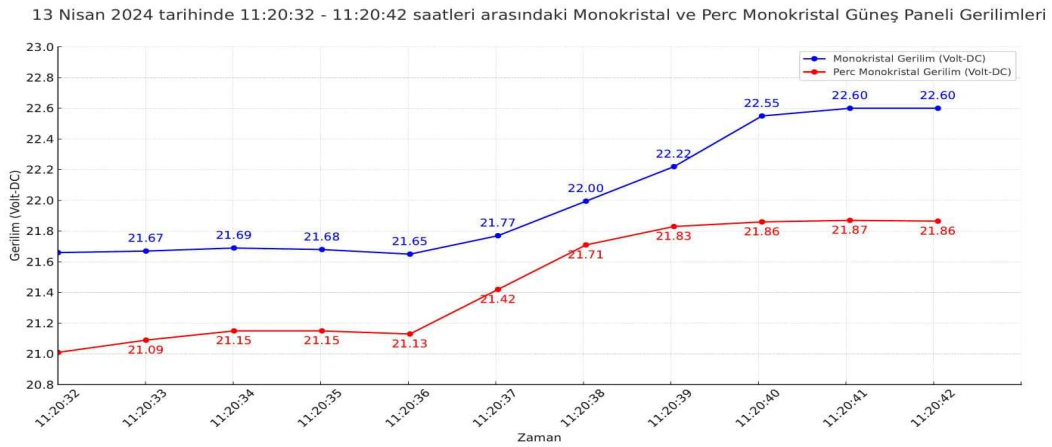
Şekil 4.22 Ani gölgelenmenin kaldırılması anında monokristal ve perc monokristal panel gerilimleri (12 Nisan).

Ani gölgelenme durumunda 13 Nisan 2024 tarihinde güneş ışınlamı 989 W/m^2 'den 328 W/m^2 'ye düşmüştür. Bu durumda monokristal panelin başlangıç gerilimi 22,01 Volt'tan 20,29 Volt'a düşmüş ve % 7,81 oranında bir gerilim düşüşü yaşanmıştır. (Şekil 4.22). Aynı gün perc monokristal panelin başlangıç gerilimi 21,31 Volt'tan 19,41 Volt'a düşmüş ve %8,92 oranında bir gerilim düşüşü gözlenmiştir (Şekil 4.23).

Gölgenin kaldırılması durumunda 13 Nisan 2024'te güneş ışınlamı 390 W/m^2 'den 994 W/m^2 'ye yükselmiştir. Bu durumda, monokristal panelin başlangıç gerilimi 21,65 Volt'tan 22,55 Volt'a yükselmiş ve % 4,16 oranında bir gerilim artışı yaşanmıştır (Şekil 4.23). Aynı gün perc monokristal panelin başlangıç gerilimi 21,13 Volt'tan 21,83 Volt'a yükselmiş ve %3,31 oranında bir gerilim artışı gözlenmiştir (Şekil 4.24).



Şekil 4.23 Ani gölgelenme anında monokristal ve perc monokristal panel gerilimleri (13 Nisan).



Şekil 4.24 Ani gölgelenmenin kaldırılması anında monokristal ve perc monokristal panel gerilimleri (13 Nisan).

Çizelge 4.3 Panellere etki eden kısa süreli ışınlım değer değişimleri.

Tarih	Durum	Monokristal Panel Gerilimi	Perc Monokristal Panel Gerilimi
11.04.2024	Gölgelenme Durumu	16,83%	14,62%
12.04.2024	Gölgelenme Durumu	12,90%	12,52%
13.04.2024	Gölgelenme Durumu	7,81%	8,92%
	Ortalama Azalış	12,51%	12,02%
11.04.2024	Gölgelenme Kaldırılması Durumu	19,75%	12,28%
12.04.2024	Gölgelenme Kaldırılması Durumu	10,95%	9,39%
13.04.2024	Gölgelenme Kaldırılması Durumu	4,16%	3,31%
	Ortalama Artış	11,62%	8,33%

Edinilen veriler Çizelge 4.3’de belirtilip genel olarak değerlendirildiğinde, ani gölgelenme durumunda monokristal panelin perc monokristal panele kıyasla daha fazla oransal gerilim düşüşü yaşadığı (%12,51 oranında) görülmüştür. Bu durum monokristal panelin gölgelenmeye karşı daha hassas olduğunu göstermektedir. Ancak, başlangıç gerilimlerinin daha yüksek olması, minimum gerilim değerlerinin de perc monokristal panele göre daha yüksek kalmasını sağladığı görülmüştür. Gölgenin kaldırılması durumunda ise monokristal panel, perc monokristal panele göre daha yüksek oransal gerilim artışları (%11,62 oranında) göstermiştir. Bu durum, monokristal panelin ışınlım değer değişimlerine daha duyarlı olduğunu ve bundan dolayı daha fazla enerji üretme kapasitesine sahip olduğunu göstermektedir. Perc monokristal panel ise ani gölgelenmeye karşı daha dayanıklı olup gölgelenme koşullarında daha kararlı bir performans sağlasa bile ışınlım artışı ile perc monokristal panelin elde edilen performans artışı monokristal panele göre daha düşük kalmaktadır.

5. YAPAY SİNİR AĞLARI İLE VERİLERİN MODELLENMESİ

Bu çalışmada, yapay sinir ağları (YSA) kullanılarak monokristal ve perc monokristal güneş panellerinin farklı geçici durumlardaki gerilim değerleri tahmin edilmesi amaçlanmıştır. YSA'lar karmaşık ilişkileri modelleme yetenekleri sayesinde ani gölgelenme, rüzgar ve yağmur gibi çevresel değişikliklere verilen gerilim tepkilerini yüksek doğrulukla tahmin edebilme kapasitesine sahip olduğundan tercih edilmiştir. 11, 12 ve 13 Nisan 2024 tarihlerinde toplanan veriler ile Çizelge 5.2’de belirtildiği gibi girdiler ve çıktılar olarak geçici durumların modellenmesi amacıyla 13 farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar oluşturulurken 11,12 ve 13 Nisandaki deneylerde aynı geçici durum senaryolarındaki zaman aralıkları ardışık olarak birleştirilmiş ve aynı tipteki tekrarlayan geçici durumlarda panellerin tepkilerinin nasıl olacağı sorusuna cevap bulunmuştur.

Çalışmada Çizelge 5.1’de özellikleri belirtilen İleri Beslemeli Geri Yayılımlı YSA modeli kullanılmıştır. YSA modellerinde öncelikle girdi ile hedef belirlenerek eğitim gerçekleştirilmiş, regresyon (R) grafiğine bakılmış ve bu grafikte eğitim, doğrulama, test ve tüm veri setleri için model çıktılarına karşılık gelen hedef değerler incelenmiştir. Ardından belirtilen tüm YSA senaryoları için monokristal güneş paneli (üstte) ve perc monokristal güneş paneli (altta) olmak üzere her bir grafik üzerinde gerçek gerilim değerlerinin doğrusal eğrisi ile eğitim ve test tahminleri gösterilmiştir. Ayrıca modellerdeki her bir panel için eğitim ve test RMSE değerleri de incelenmiştir.

Çizelge 5.1 YSA eğitim parametreleri.

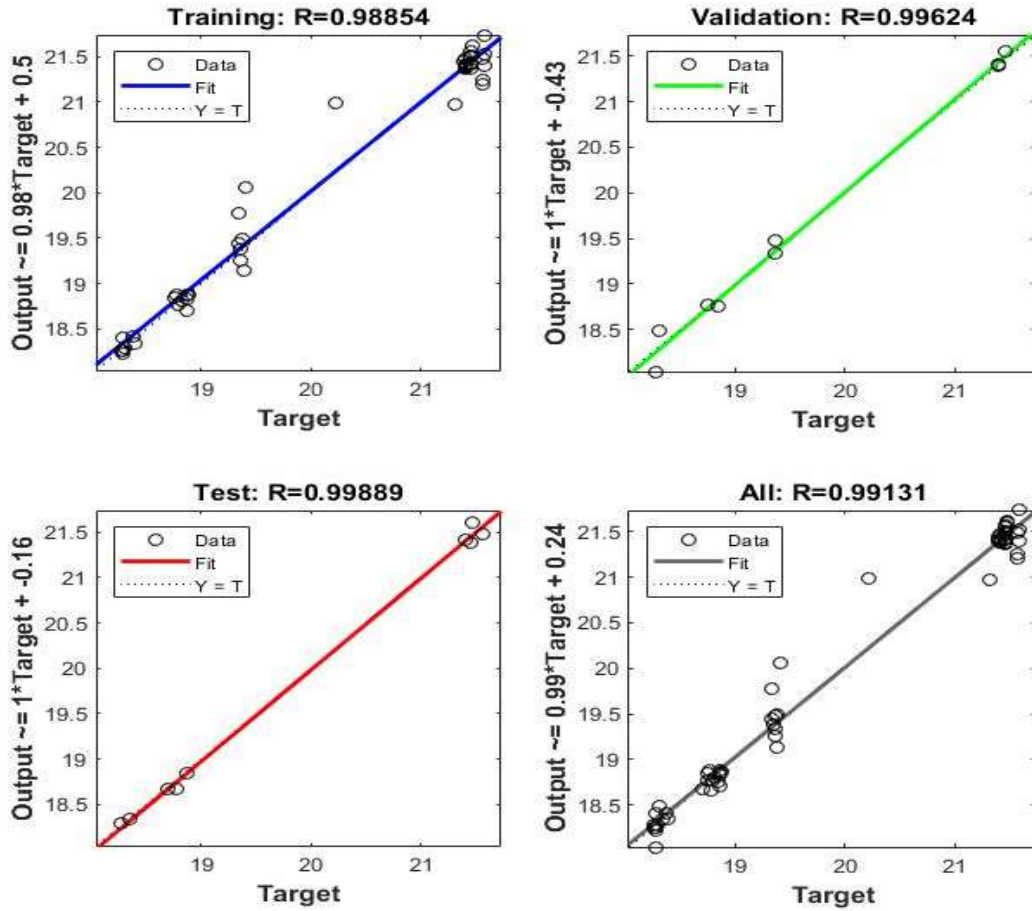
YSA Tipi	İleri Besleme-Geri Yayılım
Eğitme Algoritması	Levenberg-Marquardt (Trainlm)
Performans Fonksiyonu	Mean Square Error
Tabaka Adeti	2
Sinir (Nöron) Adeti	10
Aktivasyon Fonksiyonu	Tansig

Çizelge 5.2 Senaryo, girdi ve çıktılarına göre gruplanmış YSA modelleri.

YSA Modelleri	YSA Senaryoları (11-12-13 Nisan2024)	Girdiler -1	Girdiler -2	Çıktı-1	Çıktı-2
1. YSA Modeli	Ani Gölgeleme				
2. YSA Modeli	Ani Gölgelemenin Kaldırılması				
3. YSA Modeli	Ani Rüzgar				
4. YSA Modeli	Ani Rüzgarın Kaldırılması				
5. YSA Modeli	Ani Rüzgar ve Gölgeleme	İlk 12 YSA modeli için;	İlk 12 YSA modeli için;		
6. YSA Modeli	Ani Rüzgar ve Gölgelemenin Kaldırılması	Monokristal Güneş Paneli Yüzey Sıcaklığı (°C), Zaman (Saniye), Güneş Işınımı (W/m ²), Ortam Sıcaklığı (°C), Bağlı Nem (%RH), Rüzgar Hızı (km/saat), Perc Monokristal Güneş Paneli Yüzey Sıcaklığı (°C),	Zaman (Saniye), Güneş Işınımı (W/m ²), Ortam Sıcaklığı (°C), Bağlı Nem (%RH), Rüzgar Hızı (km/saat), Perc Monokristal Güneş Paneli Yüzey Sıcaklığı (°C),	Monokristal Güneş Paneli Gerilimi (Volt-DC)	Perc Monokristal Güneş Paneli Gerilimi (Volt-DC)
7. YSA Modeli	Ani Yağmur				
8. YSA Modeli	Ani Yağmurun Kaldırılması				
9. YSA Modeli	Ani Yağmur ve Gölgeleme				
10. YSA Modeli	Ani Yağmur ve Gölgelemenin Kaldırılması				
11. YSA Modeli	Ani Yağmur, Rüzgar ve Gölgeleme				
12. YSA Modeli	Ani Yağmur, Rüzgar ve Gölgelemenin Kaldırılması				
13. YSA Modeli	Gün Batımı (Akşam)	Zaman (5 Dakika), Güneş Işınımı (W/m ²), Ortam Sıcaklığı (°C)	Zaman (5 Dakika), Güneş Işınımı (W/m ²), Ortam Sıcaklığı (°C)	Monokristal Güneş Paneli Gerilimi (Volt-DC)	Perc Monokristal Güneş Paneli Gerilimi (Volt-DC)

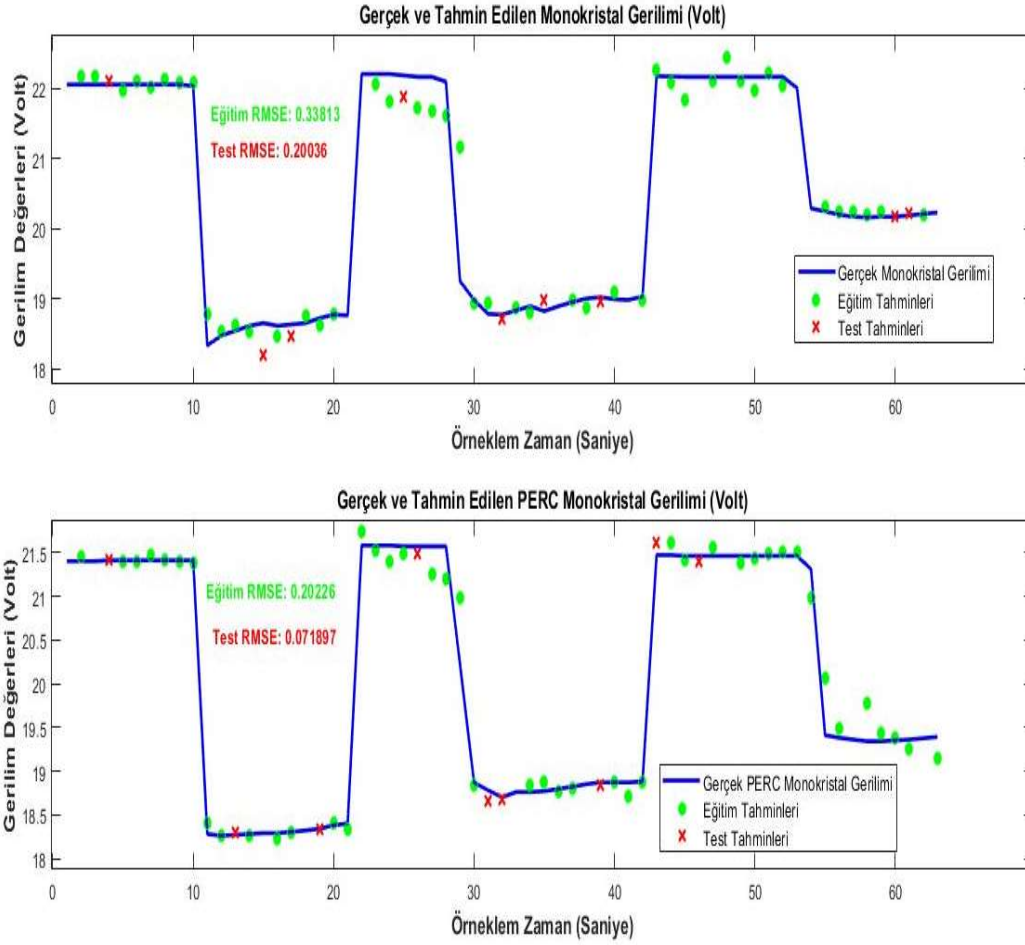
5.1 Birinci YSA Modeli: Ani Gölgeleme Durumu

Bu çalışmada çizelge 5.2'ye göre hazırlanan ani gölgeleme durumunda güneş panellerinin gerilim değerlerini tahmin etmek için oluşturulan YSA modelinin performansı analiz edilmiştir. 11-12-13 Nisan 2024 verileri ardışık olarak değerlendirilmiş ve günlük 21 saniyelik veriler olmak üzere toplamda 63 saniyelik veri incelenmiştir.



Şekil 5.1 Birinci YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.

Şekil 5.1'de Regresyon grafikleri bulunmaktadır. Grafiklerden görüldüğü üzere, modelin performansı oldukça yüksektir. Eğitim verisi için R değeri 0,98854, doğrulama verisi için R değeri 0,99624, test verisi için R değeri 0,99889 ve tüm veriler için R değeri 0,99131 olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek R değerleri, modelin veriyi iyi bir şekilde açıkladığını ve tahminlerde yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir.

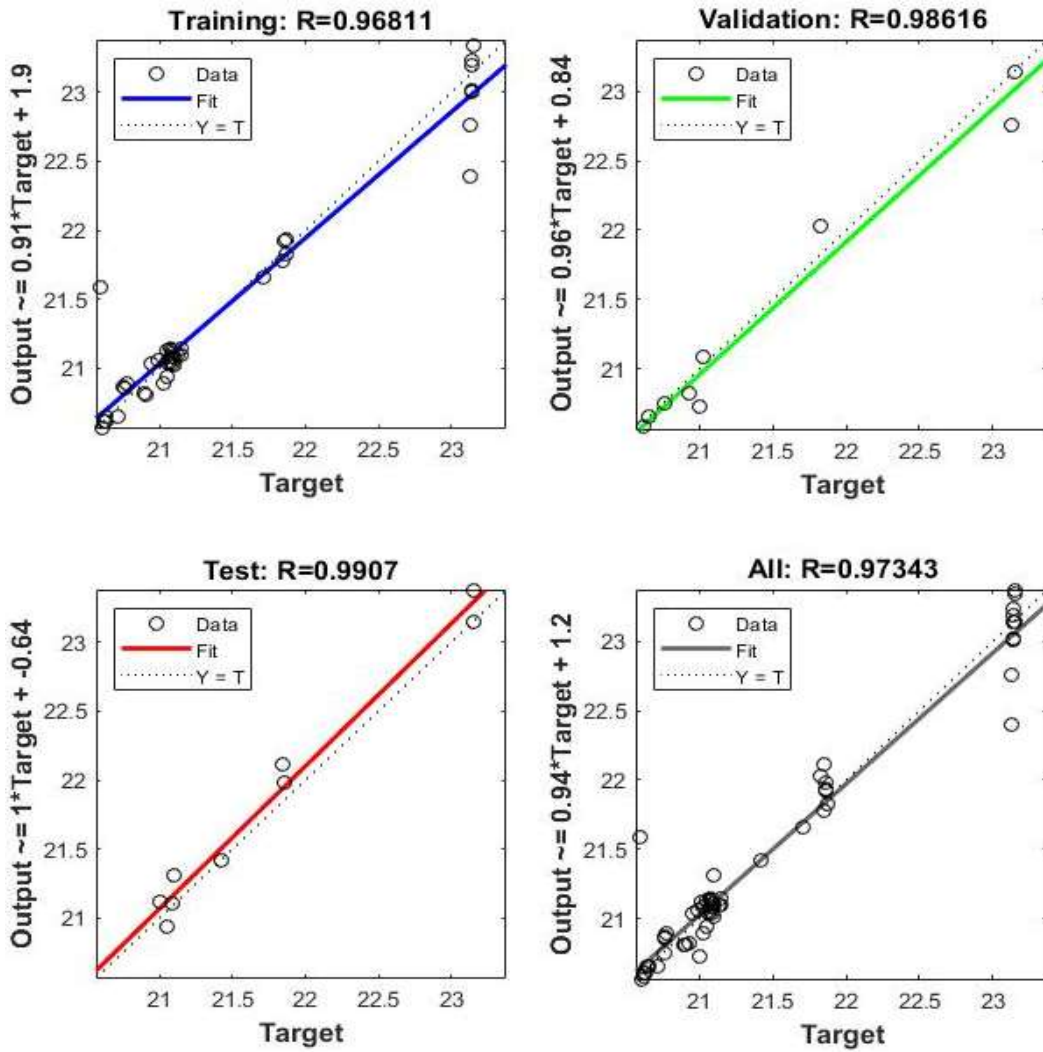


Şekil 5.2 Birinci YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.

Şekil 5.2’de monokristal (üstte) ile perc monokristal (altta) güneş panellerinin gerçek ve tahmin edilen gerilim değerlerinin zaman içerisindeki değişimini gösteren grafikler bulunmaktadır. Gerçek değerler mavi çizgi ile belirtilmiş ve bu çizgi, gerçek gerilim değerlerinin doğrusal eğrisini göstermektedir. Eğitim tahminleri yeşil noktalar ile belirtilmiş ve bu noktalar, modelin eğitim verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Test tahminleri kırmızı çarpılar ile belirtilmiş ve bu çarpılar, modelin test verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,33813 ve test verisi için RMSE: 0,20036 olarak hesaplanmıştır. Perc monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,20226 ve test verisi için RMSE: 0,071897 olarak hesaplanmıştır. Her iki grafik de modelin hem eğitim hem de test verisi üzerinde yüksek performans gösterdiğini ve tahminlerin büyük ölçüde gerçek değerlerle uyumlu olduğunu göstermektedir.

5.2 İkinci YSA Modeli: Ani Gölgelemenin Kaldırılması Durumu

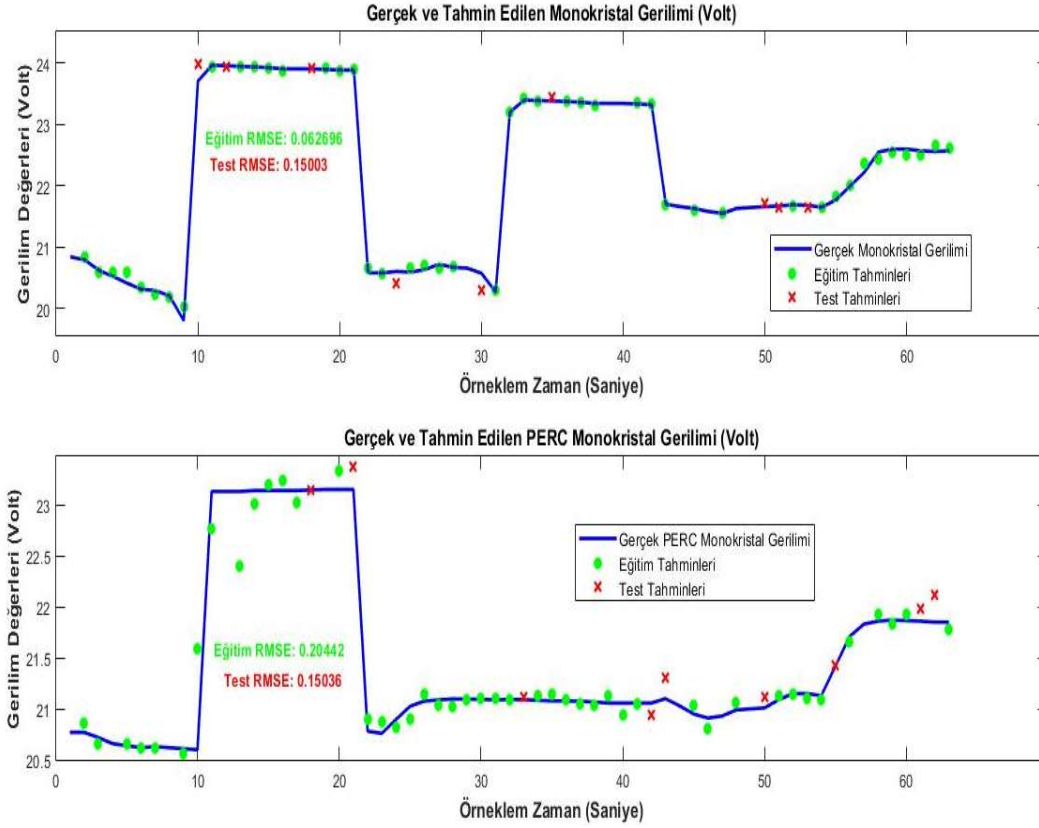
Bu çalışmada çizelge 5.2'ye göre hazırlanan ani gölgelemenin kaldırılması durumunda güneş panellerinin gerilim değerlerini tahmin etmek için oluşturulan YSA modelinin performansı analiz edilmiştir. 11-12-13 Nisan 2024 verileri ardışık olarak değerlendirilmiş ve günlük 21 saniyelik veriler olmak üzere toplamda 63 saniyelik veri incelenmiştir.



Şekil 5.3 İkinci YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği

Şekil 5.3'de Regresyon grafikleri bulunmaktadır. Grafiklerden görüldüğü üzere, modelin performansı oldukça yüksektir. Eğitim verisi için R değeri 0,96811, doğrulama verisi için R değeri 0,98616, test verisi için R değeri 0,9907 ve tüm veriler için R değeri 0,97343

olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek R değerleri, modelin veriyi iyi bir şekilde açıkladığını ve tahminlerde yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir.

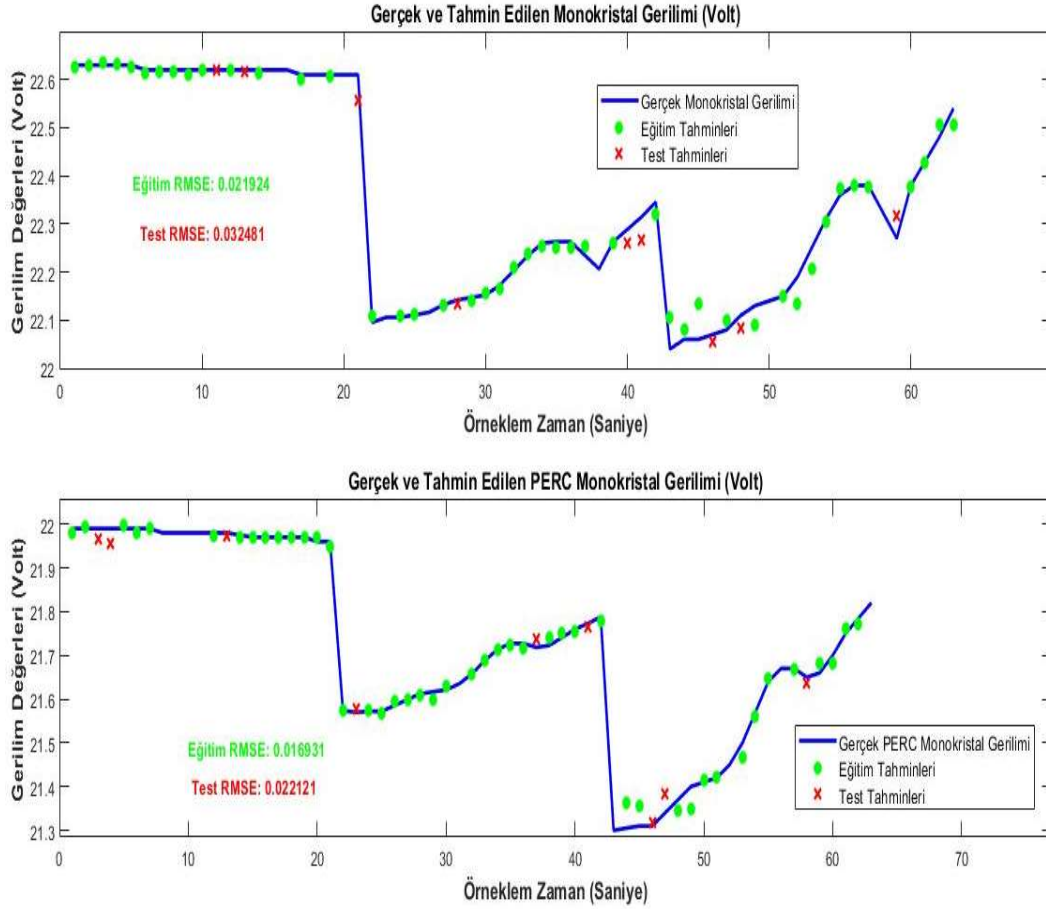


Şekil 5.4 İkinci YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.

Şekil 5.4’de monokristal (üstte) ile perc monokristal (altta) güneş panellerinin gerçek ve tahmin edilen gerilim değerlerinin zaman içerisindeki değişimini gösteren grafikler bulunmaktadır. Gerçek değerler mavi çizgi ile belirtilmiş ve bu çizgi, gerçek gerilim değerlerinin doğrusal eğrisini göstermektedir. Eğitim tahminleri yeşil noktalar ile belirtilmiş ve bu noktalar, modelin eğitim verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Test tahminleri kırmızı çarpılar ile belirtilmiş ve bu çarpılar, modelin test verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,062696 ve test verisi için RMSE: 0,15003 olarak hesaplanmıştır. Perc monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,20442 ve test verisi için RMSE: 0,15036 olarak hesaplanmıştır. Her iki grafik de modelin hem eğitim hem de test verisi üzerinde yüksek performans gösterdiğini ve tahminlerin büyük ölçüde gerçek değerlerle uyumlu olduğunu göstermektedir.

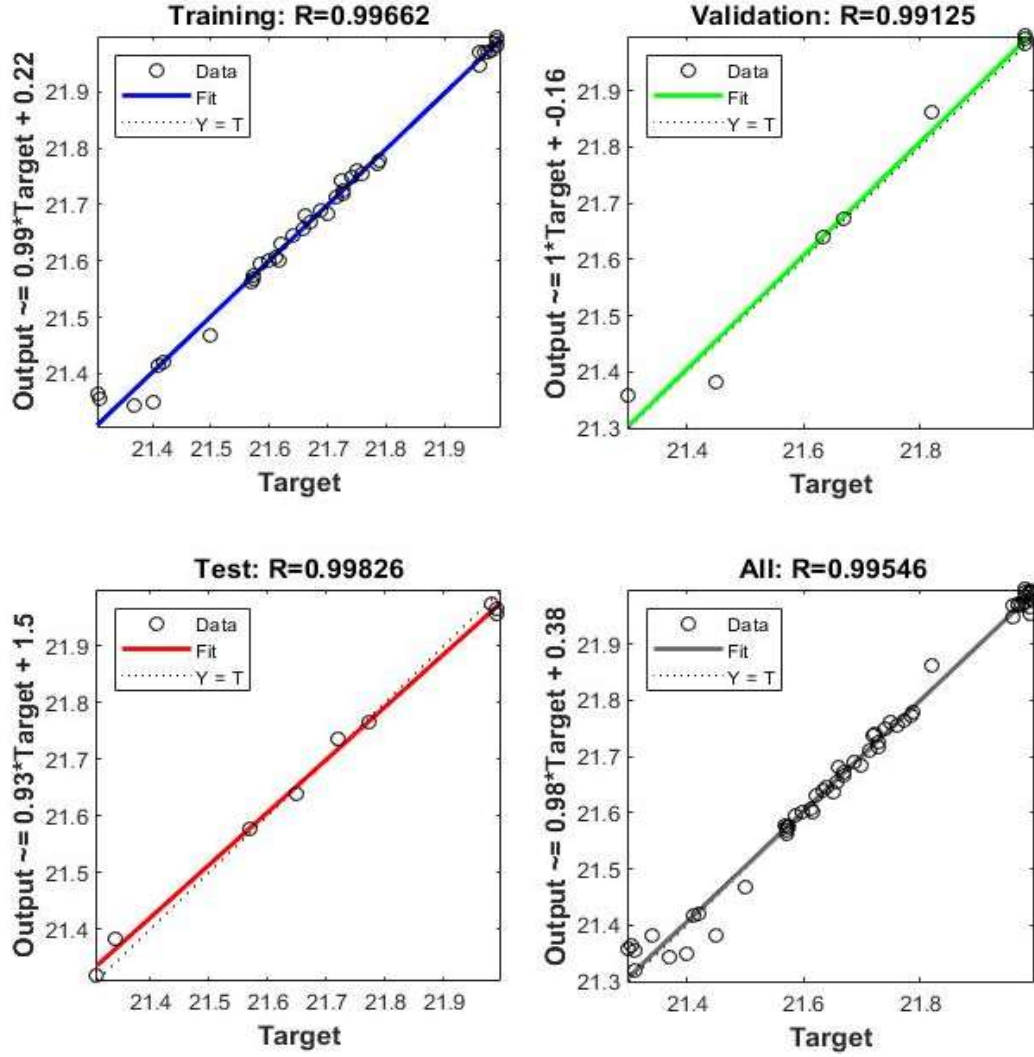
5.3 Üçüncü YSA Modeli: Ani Rüzgar Durumu

Bu çalışmada çizelge 5.2'ye göre hazırlanan ani rüzgar durumunda güneş panellerinin gerilim değerlerini tahmin etmek için oluşturulan YSA modelinin performansı analiz edilmiştir. 11-12-13 Nisan 2024 verileri ardışık olarak değerlendirilmiş ve günlük 21 saniyelik veriler olmak üzere toplamda 63 saniyelik veri incelenmiştir.



Şekil 5.5 Üçüncü YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.

Şekil 5.5'de Regresyon grafikleri bulunmaktadır. Grafiklerden görüldüğü üzere, modelin performansı oldukça yüksektir. Eğitim verisi için R değeri 0,99662, doğrulama verisi için R değeri 0,99125, test verisi için R değeri 0,99826 ve tüm veriler için R değeri 0,99546 olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek R değerleri, modelin veriyi iyi bir şekilde açıkladığını ve tahminlerde yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir.



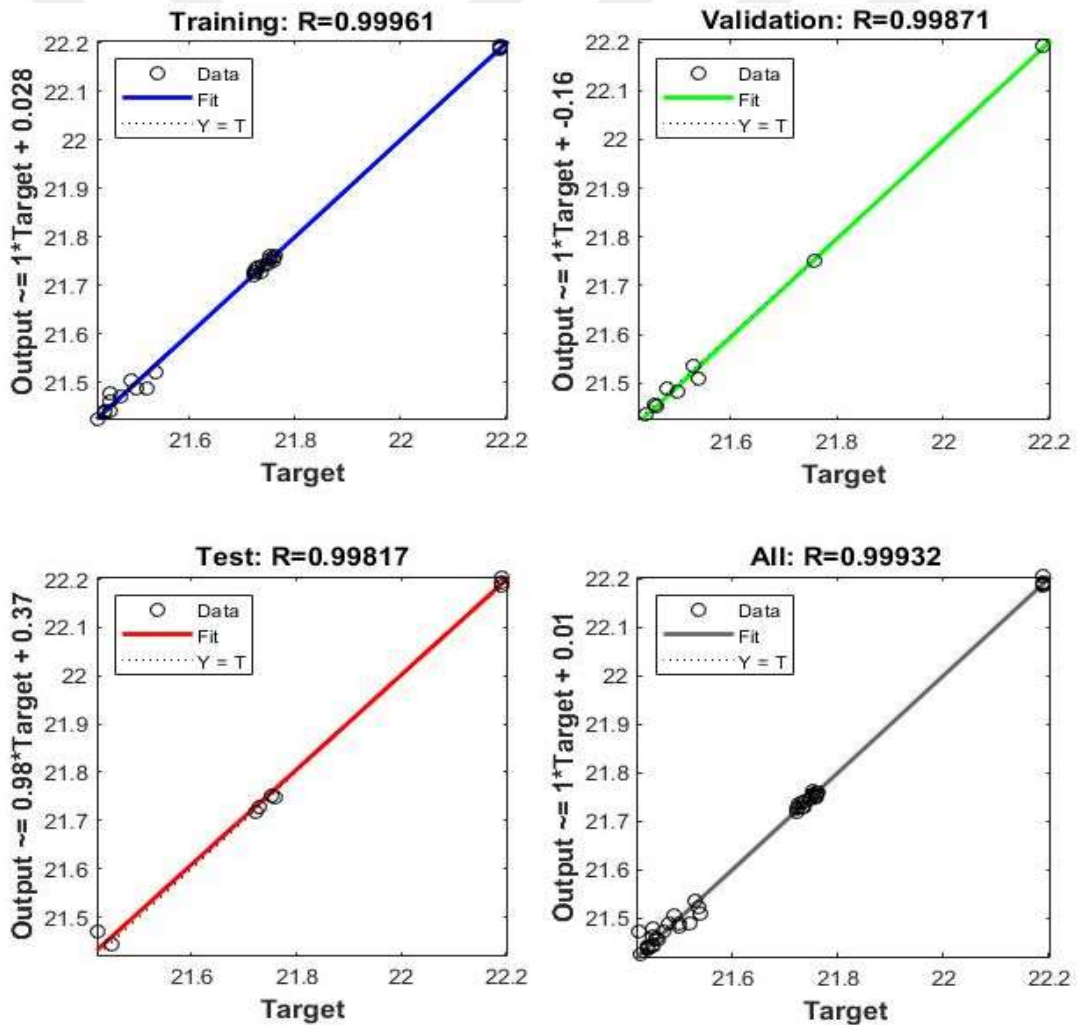
Şekil 5.6 Üçüncü YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.

Şekil 5.6’da monokristal (üstte) ile perc monokristal (altta) güneş panellerinin gerçek ve tahmin edilen gerilim değerlerinin zaman içerisindeki değişimini gösteren grafikler bulunmaktadır. Gerçek değerler mavi çizgi ile belirtilmiş ve bu çizgi, gerçek gerilim değerlerinin doğrusal eğrisini göstermektedir. Eğitim tahminleri yeşil noktalar ile belirtilmiş ve bu noktalar, modelin eğitim verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Test tahminleri kırmızı çarpılar ile belirtilmiş ve bu çarpılar, modelin test verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,021924 ve test verisi için RMSE: 0,032481 olarak hesaplanmıştır. Perc monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,016931 ve test verisi için RMSE: 0,022121 olarak hesaplanmıştır. Her iki grafik de modelin hem eğitim hem de

test verisi üzerinde yüksek performans gösterdiğini ve tahminlerin büyük ölçüde gerçek değerlerle uyumlu olduğunu göstermektedir.

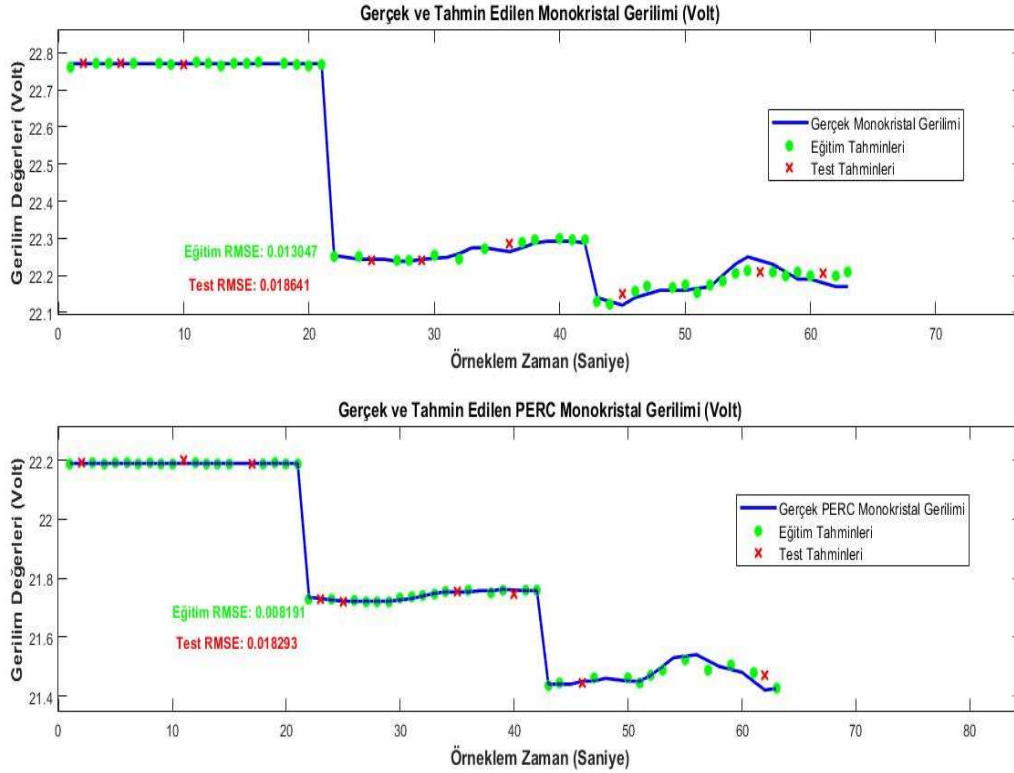
5.4 Dördüncü YSA Modeli: Ani Rüzgarın Kaldırılması Durumu

Bu çalışmada çizelge 5.2'ye göre hazırlanan ani rüzgarın kaldırılması durumunda güneş panellerinin gerilim değerlerini tahmin etmek için oluşturulan YSA modelinin performansı analiz edilmiştir. 11-12-13 Nisan 2024 verileri ardışık olarak değerlendirilmiş ve günlük 21 saniyelik veriler olmak üzere toplamda 63 saniyelik veri incelenmiştir.



Şekil 5.7 Dördüncü YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.

Şekil 5.7’de Regresyon grafikleri bulunmaktadır. Grafiklerden görüldüğü üzere, modelin performansı oldukça yüksektir. Eğitim verisi için R değeri 0,99961, doğrulama verisi için R değeri 0,99871, test verisi için R değeri 0,99817 ve tüm veriler için R değeri 0,99932 olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek R değerleri, modelin veriyi iyi bir şekilde açıkladığını ve tahminlerde yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir.



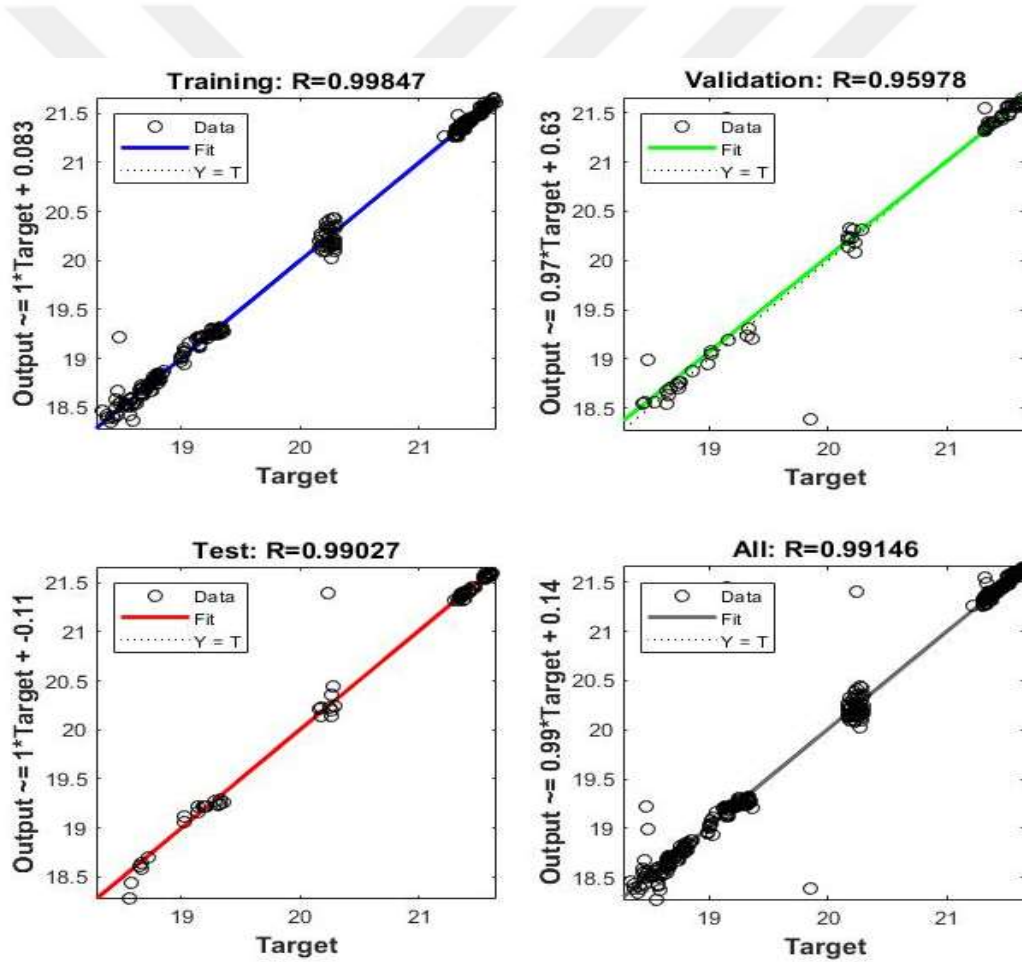
Şekil 5.8 Dördüncü YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.

Şekil 5.8’de monokristal (üstte) ile perc monokristal (altta) güneş panellerinin gerçek ve tahmin edilen gerilim değerlerinin zaman içerisindeki değişimini gösteren grafikler bulunmaktadır. Gerçek değerler mavi çizgi ile belirtilmiş ve bu çizgi, gerçek gerilim değerlerinin doğrusal eğrisini göstermektedir. Eğitim tahminleri yeşil noktalar ile belirtilmiş ve bu noktalar, modelin eğitim verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Test tahminleri kırmızı çarpılar ile belirtilmiş ve bu çarpılar, modelin test verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,013047 ve test verisi için RMSE: 0,018641 olarak hesaplanmıştır. Perc monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,008191 ve test verisi için

RMSE: 0,018293 olarak hesaplanmıştır. Her iki grafik de modelin hem eğitim hem de test verisi üzerinde yüksek performans gösterdiğini ve tahminlerin büyük ölçüde gerçek değerlerle uyumlu olduğunu göstermektedir.

5.5 Beşinci YSA Modeli: Ani Rüzgar ve Gölgeleme Durumu

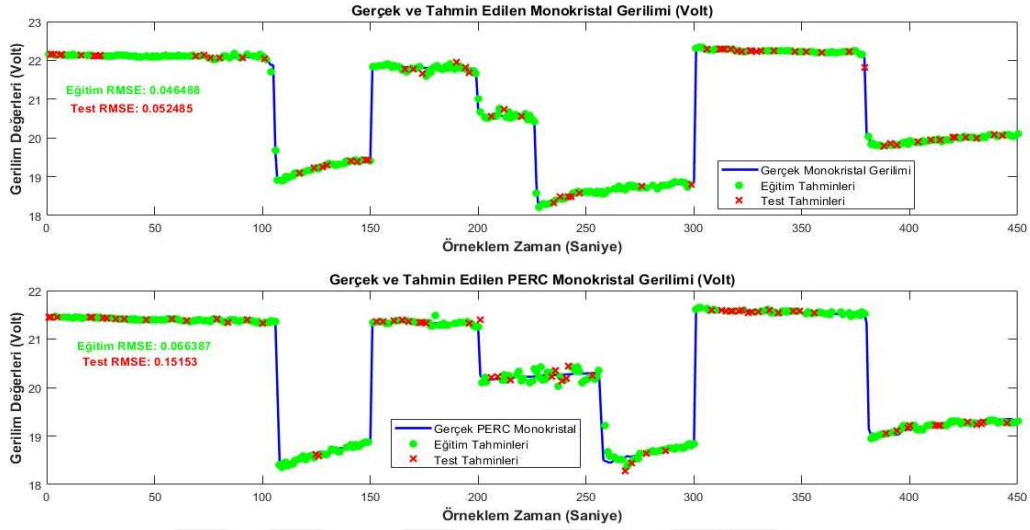
Bu çalışmada çizelge 5.2'ye göre hazırlanan ani rüzgar ve gölgeleme durumunda güneş panellerinin gerilim değerlerini tahmin etmek için oluşturulan YSA modelinin performansı analiz edilmiştir. 11-12-13 Nisan 2024 verileri ardışık olarak değerlendirilmiş ve günlük 150 saniyelik veriler olmak üzere toplamda 450 saniyelik veri incelenmiştir.



Şekil 5.9 Beşinci YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.

Şekil 5.9'da Regresyon grafikleri bulunmaktadır. Grafiklerden görüldüğü üzere, modelin performansı oldukça yüksektir. Eğitim verisi için R değeri 0,99847, doğrulama verisi için

R değeri 0,95978, test verisi için R değeri 0,99027 ve tüm veriler için R değeri 0,99146 olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek R değerleri, modelin veriyi iyi bir şekilde açıkladığını ve tahminlerde yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir.



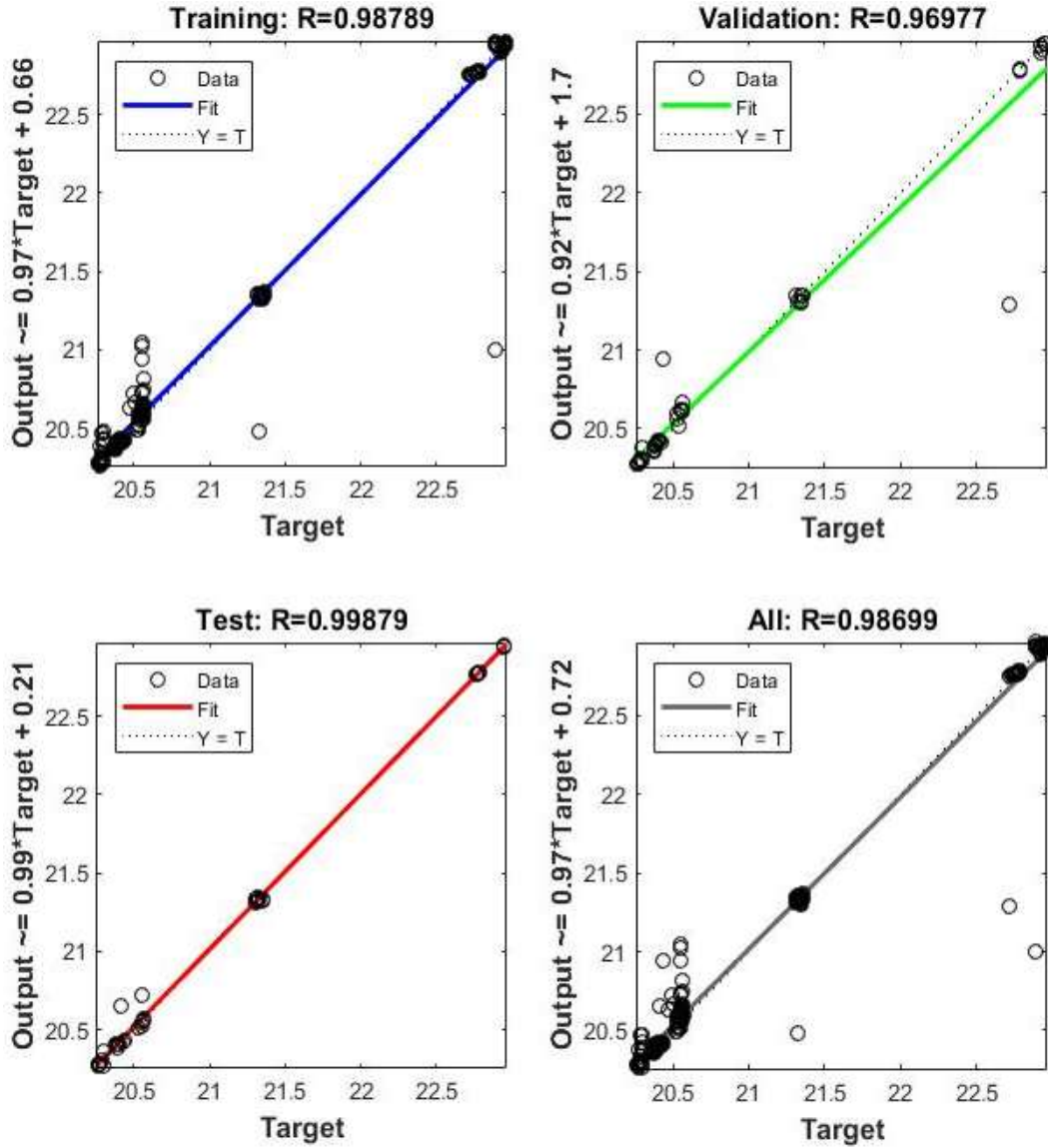
Şekil 5.10 Beşinci YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.

Şekil 5.10’da monokristal (üstte) ile perc monokristal (altta) güneş panellerinin gerçek ve tahmin edilen gerilim değerlerinin zaman içerisindeki değişimini gösteren grafikler bulunmaktadır. Gerçek değerler mavi çizgi ile belirtilmiş ve bu çizgi, gerçek gerilim değerlerinin doğrusal eğrisini göstermektedir. Eğitim tahminleri yeşil noktalar ile belirtilmiş ve bu noktalar, modelin eğitim verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Test tahminleri kırmızı çarpılar ile belirtilmiş ve bu çarpılar, modelin test verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,046488 ve test verisi için RMSE: 0,052485 olarak hesaplanmıştır. Perc monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,066387 ve test verisi için RMSE: 0,15153 olarak hesaplanmıştır. Her iki grafik de modelin hem eğitim hem de test verisi üzerinde yüksek performans gösterdiğini ve tahminlerin büyük ölçüde gerçek değerlerle uyumlu olduğunu göstermektedir.

5.6 Altıncı YSA Modeli: Ani Rüzgar ve Gölgelemenin Kaldırılması Durumu

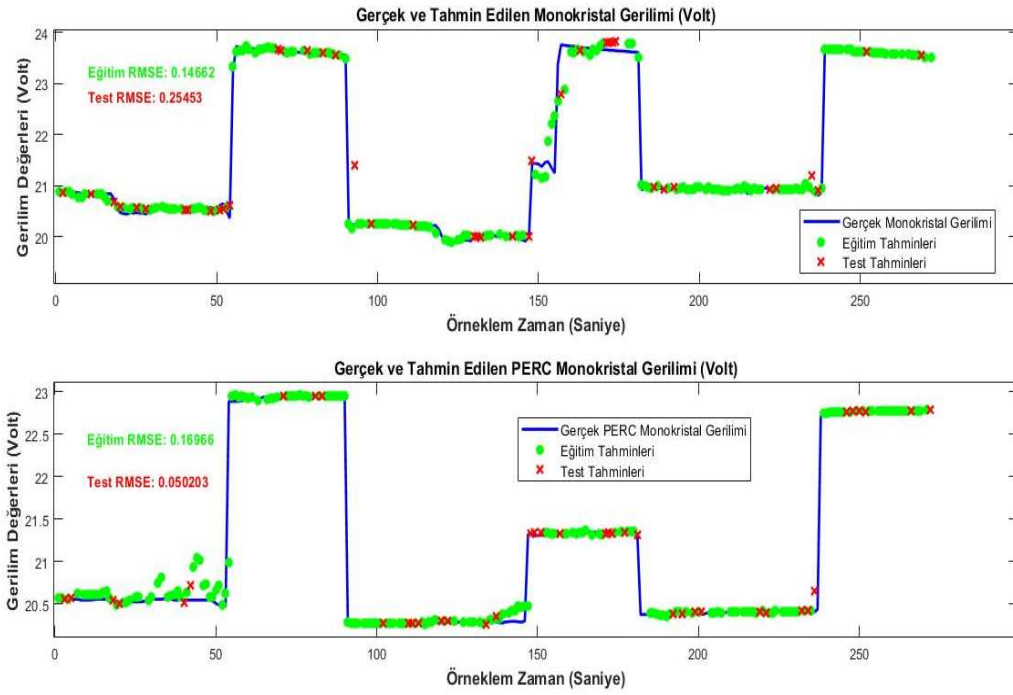
Bu çalışmada çizelge 5.2’ye göre hazırlanan ani rüzgar ve gölgelemenin kaldırılması durumunda güneş panellerinin gerilim değerlerini tahmin etmek için oluşturulan YSA

modelinin performansı analiz edilmiştir. 11-12-13 Nisan 2024 verileri ardışık olarak değerlendirilmiş ve günlük 91 saniyelik veriler olmak üzere toplamda 273 saniyelik veri incelenmiştir.



Şekil 5.11 Altıncı YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.

Şekil 5.11’de Regresyon grafikleri bulunmaktadır. Grafiklerden görüldüğü üzere, modelin performansı oldukça yüksektir. Eğitim verisi için R değeri 0,98789, doğrulama verisi için R değeri 0,96977, test verisi için R değeri 0,99879 ve tüm veriler için R değeri 0,98699 olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek R değerleri, modelin veriyi iyi bir şekilde açıkladığını ve tahminlerde yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir.



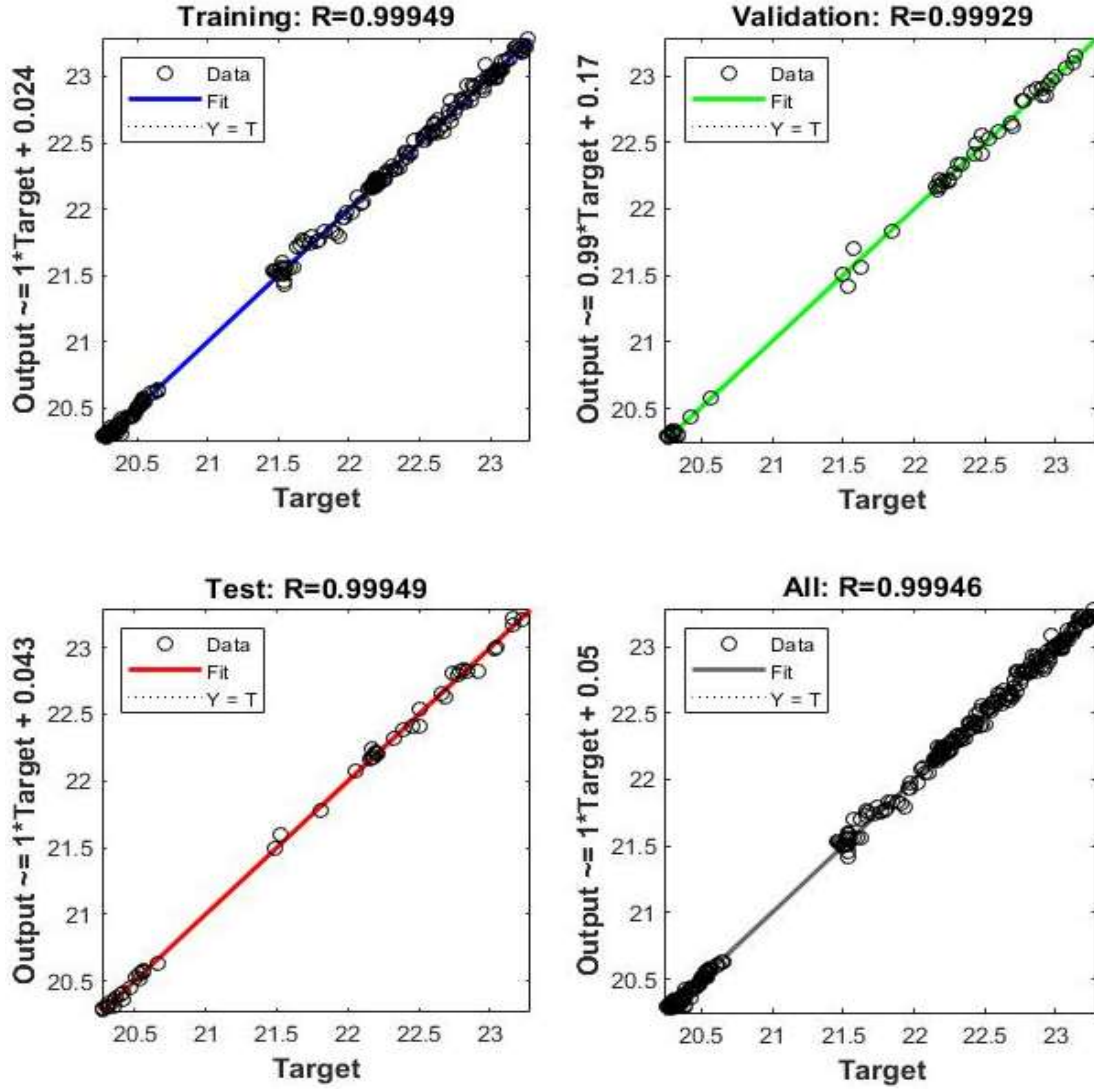
Şekil 5.12 Altıncı YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.

Şekil 5.12’de monokristal (üstte) ile perc monokristal (altta) güneş panellerinin gerçek ve tahmin edilen gerilim değerlerinin zaman içerisindeki değişimini gösteren grafikler bulunmaktadır. Gerçek değerler mavi çizgi ile belirtilmiş ve bu çizgi, gerçek gerilim değerlerinin doğrusal eğrisini göstermektedir. Eğitim tahminleri yeşil noktalar ile belirtilmiş ve bu noktalar, modelin eğitim verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Test tahminleri kırmızı çarpılar ile belirtilmiş ve bu çarpılar, modelin test verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,14662 ve test verisi için RMSE: 0,25453 olarak hesaplanmıştır. Perc monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,16966 ve test verisi için RMSE: 0,050203 olarak hesaplanmıştır. Her iki grafik de modelin hem eğitim hem de test verisi üzerinde yüksek performans gösterdiğini ve tahminlerin büyük ölçüde gerçek değerlerle uyumlu olduğunu göstermektedir.

5.7 Yedinci YSA Modeli: Ani Yağmur Durumu

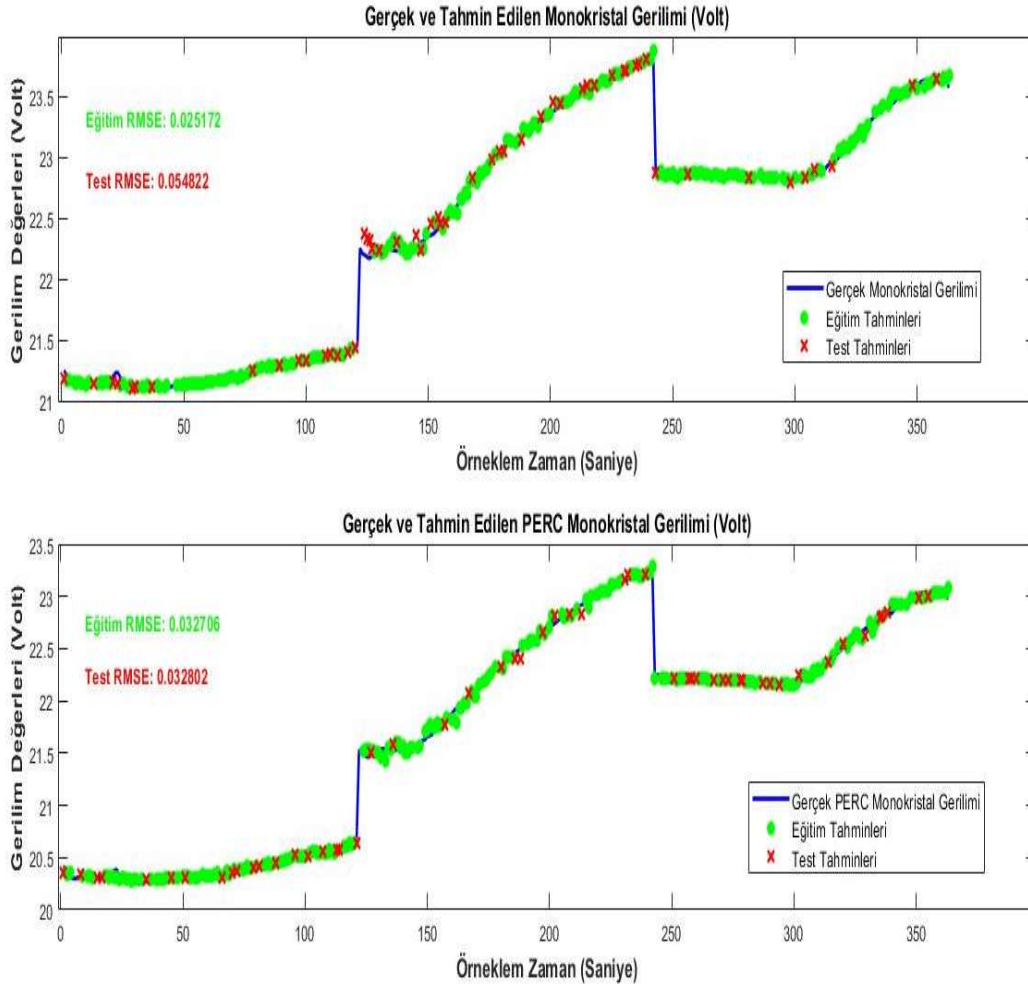
Bu çalışmada çizelge 5.2’ye göre hazırlanan ani yağmur durumunda güneş panellerinin gerilim değerlerini tahmin etmek için oluşturulan YSA modelinin performansı analiz

edilmiştir. 11-12-13 Nisan 2024 verileri ardışık olarak değerlendirilmiş ve günlük 121 saniyelik veriler olmak üzere toplamda 363 saniyelik veri incelenmiştir.



Şekil 5.13 Yedinci YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.

Şekil 5.13’de Regresyon grafikleri bulunmaktadır. Grafiklerden görüldüğü üzere, modelin performansı oldukça yüksektir. Eğitim verisi için R değeri 0,99949, doğrulama verisi için R değeri 0,99929, test verisi için R değeri 0,99949 ve tüm veriler için R değeri 0,99946 olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek R değerleri, modelin veriyi iyi bir şekilde açıkladığını ve tahminlerde yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir.

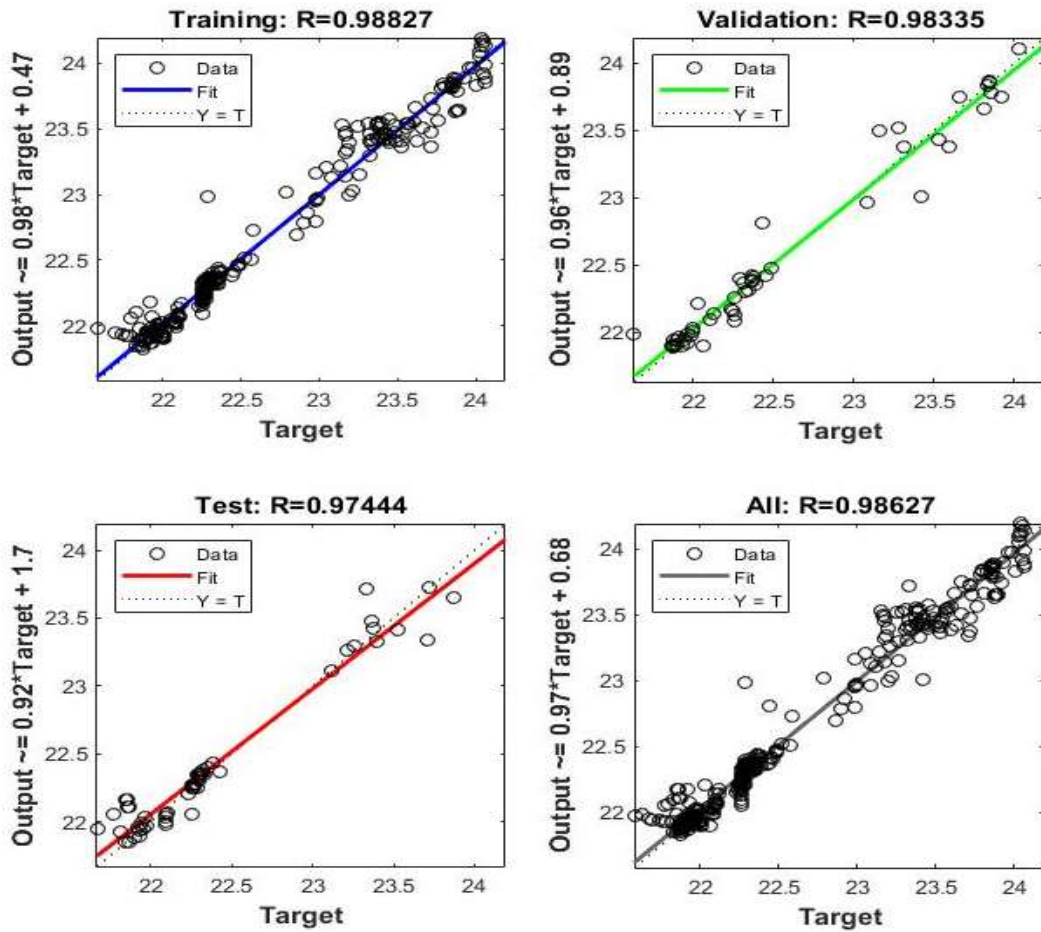


Şekil 5.14 Yedinci YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.

Şekil 5.14’de monokristal (üstte) ile perc monokristal (altta) güneş panellerinin gerçek ve tahmin edilen gerilim değerlerinin zaman içerisindeki değişimini gösteren grafikler bulunmaktadır. Gerçek değerler mavi çizgi ile belirtilmiş ve bu çizgi, gerçek gerilim değerlerinin doğrusal eğrisini göstermektedir. Eğitim tahminleri yeşil noktalar ile belirtilmiş ve bu noktalar, modelin eğitim verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Test tahminleri kırmızı çarpılar ile belirtilmiş ve bu çarpılar, modelin test verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,025172 ve test verisi için RMSE: 0,054822 olarak hesaplanmıştır. Perc monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,032706 ve test verisi için RMSE: 0,032802 olarak hesaplanmıştır. Her iki grafik de modelin hem eğitim hem de test verisi üzerinde yüksek performans gösterdiğini ve tahminlerin büyük ölçüde gerçek değerlerle uyumlu olduğunu göstermektedir.

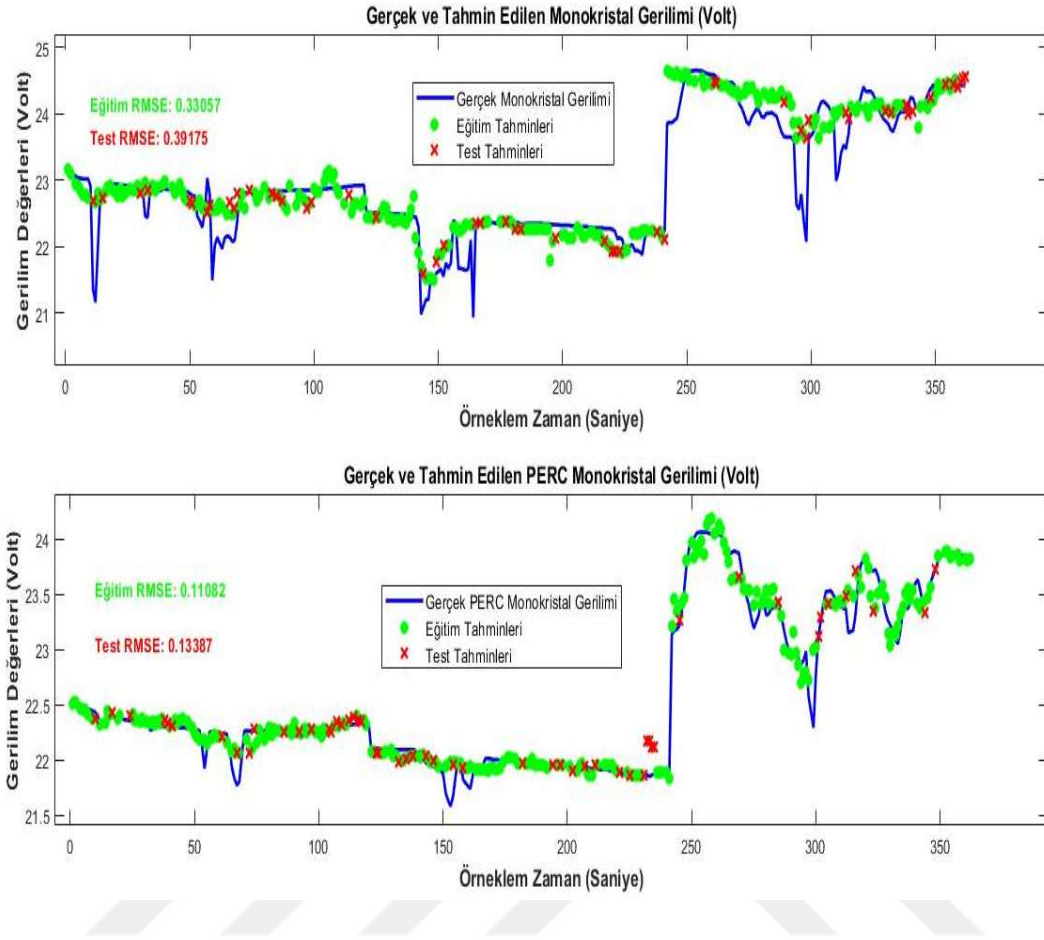
5.8 Sekizinci YSA Modeli: Ani Yağmurun Kaldırılması Durumu

Bu çalışmada çizelge 5.2'ye göre hazırlanan ani yağmurun kaldırılması durumunda güneş panellerinin gerilim değerlerini tahmin etmek için oluşturulan YSA modelinin performansı analiz edilmiştir. 11-12-13 Nisan 2024 verileri ardışık olarak değerlendirilmiş ve günlük 121 saniyelik veriler olmak üzere toplamda 363 saniyelik veri incelenmiştir.



Şekil 5.15 Sekizinci YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.

Şekil 5.15'de Regresyon grafikleri bulunmaktadır. Grafiklerden görüldüğü üzere, modelin performansı oldukça yüksektir. Eğitim verisi için R değeri 0,98827, doğrulama verisi için R değeri 0,98335, test verisi için R değeri 0,97444 ve tüm veriler için R değeri 0,98627 olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek R değerleri, modelin veriyi iyi bir şekilde açıkladığını ve tahminlerde yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir.

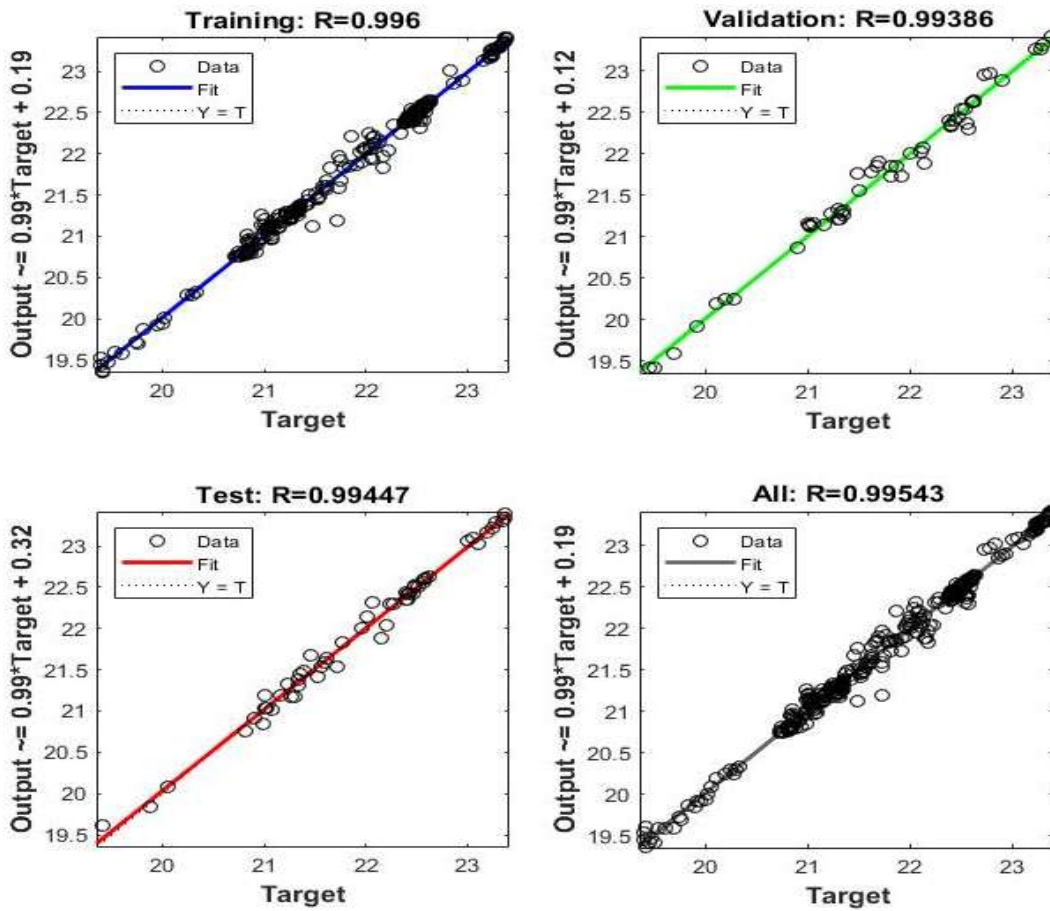


Şekil 5.16 Sekizinci YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.

Şekil 5.16’de monokristal (üstte) ile perc monokristal (altta) güneş panellerinin gerçek ve tahmin edilen gerilim değerlerinin zaman içerisindeki değişimini gösteren grafikler bulunmaktadır. Gerçek değerler mavi çizgi ile belirtilmiş ve bu çizgi, gerçek gerilim değerlerinin doğrusal eğrisini göstermektedir. Eğitim tahminleri yeşil noktalar ile belirtilmiş ve bu noktalar, modelin eğitim verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Test tahminleri kırmızı çarpılar ile belirtilmiş ve bu çarpılar, modelin test verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,33057 ve test verisi için RMSE: 0,39175 olarak hesaplanmıştır. Perc monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,11082 ve test verisi için RMSE: 0,13387 olarak hesaplanmıştır. Her iki grafik de modelin hem eğitim hem de test verisi üzerinde yüksek performans gösterdiğini ve tahminlerin büyük ölçüde gerçek değerlerle uyumlu olduğunu göstermektedir.

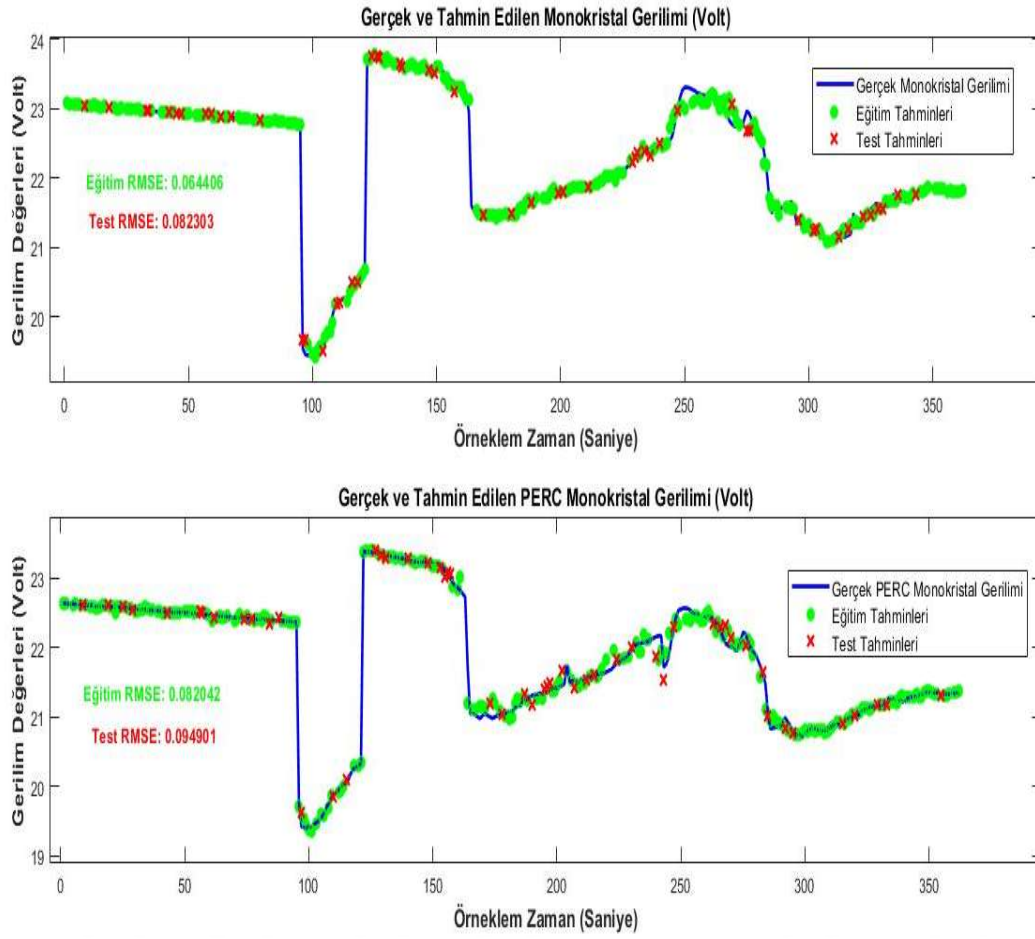
5.9 Dokuzuncu YSA Modeli: Ani Yağmur ve Gölgeleme Durumu

Bu çalışmada çizelge 5.2'ye göre hazırlanan ani yağmur ve gölgeleme durumunda güneş panellerinin gerilim değerlerini tahmin etmek için oluşturulan YSA modelinin performansı analiz edilmiştir. 11-12-13 Nisan 2024 verileri ardışık olarak değerlendirilmiş ve günlük 121 saniyelik veriler olmak üzere toplamda 363 saniyelik veri incelenmiştir.



Şekil 5.17 Dokuzuncu YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.

Şekil 5.17'de Regresyon grafikleri bulunmaktadır. Grafiklerden görüldüğü üzere, modelin performansı oldukça yüksektir. Eğitim verisi için R değeri 0,996, doğrulama verisi için R değeri 0,99386, test verisi için R değeri 0,99447 ve tüm veriler için R değeri 0,99543 olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek R değerleri, modelin veriyi iyi bir şekilde açıkladığını ve tahminlerde yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir.

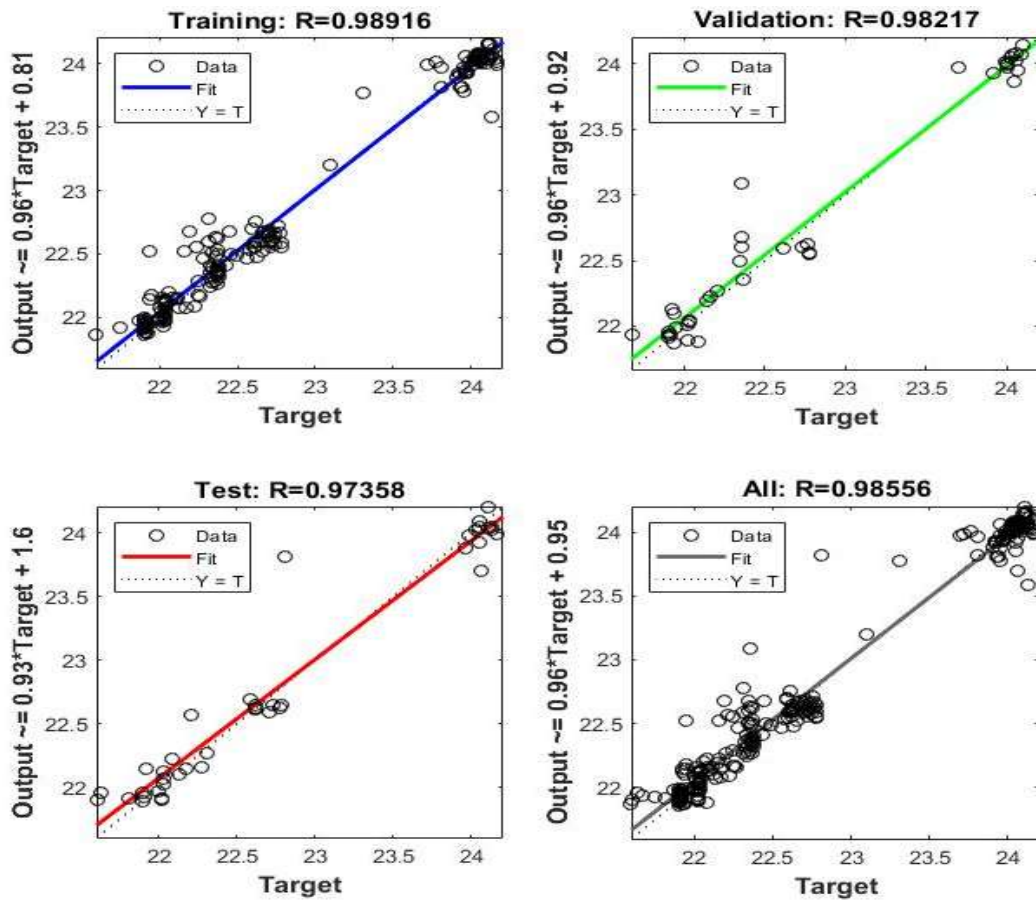


Şekil 5.18 Dokuzuncu YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.

Şekil 5.18’de monokristal (üstte) ile perc monokristal (altta) güneş panellerinin gerçek ve tahmin edilen gerilim değerlerinin zaman içerisindeki değişimini gösteren grafikler bulunmaktadır. Gerçek değerler mavi çizgi ile belirtilmiş ve bu çizgi, gerçek gerilim değerlerinin doğrusal eğrisini göstermektedir. Eğitim tahminleri yeşil noktalar ile belirtilmiş ve bu noktalar, modelin eğitim verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Test tahminleri kırmızı çarpılar ile belirtilmiş ve bu çarpılar, modelin test verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,064406 ve test verisi için RMSE: 0,082303 olarak hesaplanmıştır. Perc monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,082042 ve test verisi için RMSE: 0,094901 olarak hesaplanmıştır. Her iki grafik de modelin hem eğitim hem de test verisi üzerinde yüksek performans gösterdiğini ve tahminlerin büyük ölçüde gerçek değerlerle uyumlu olduğunu göstermektedir.

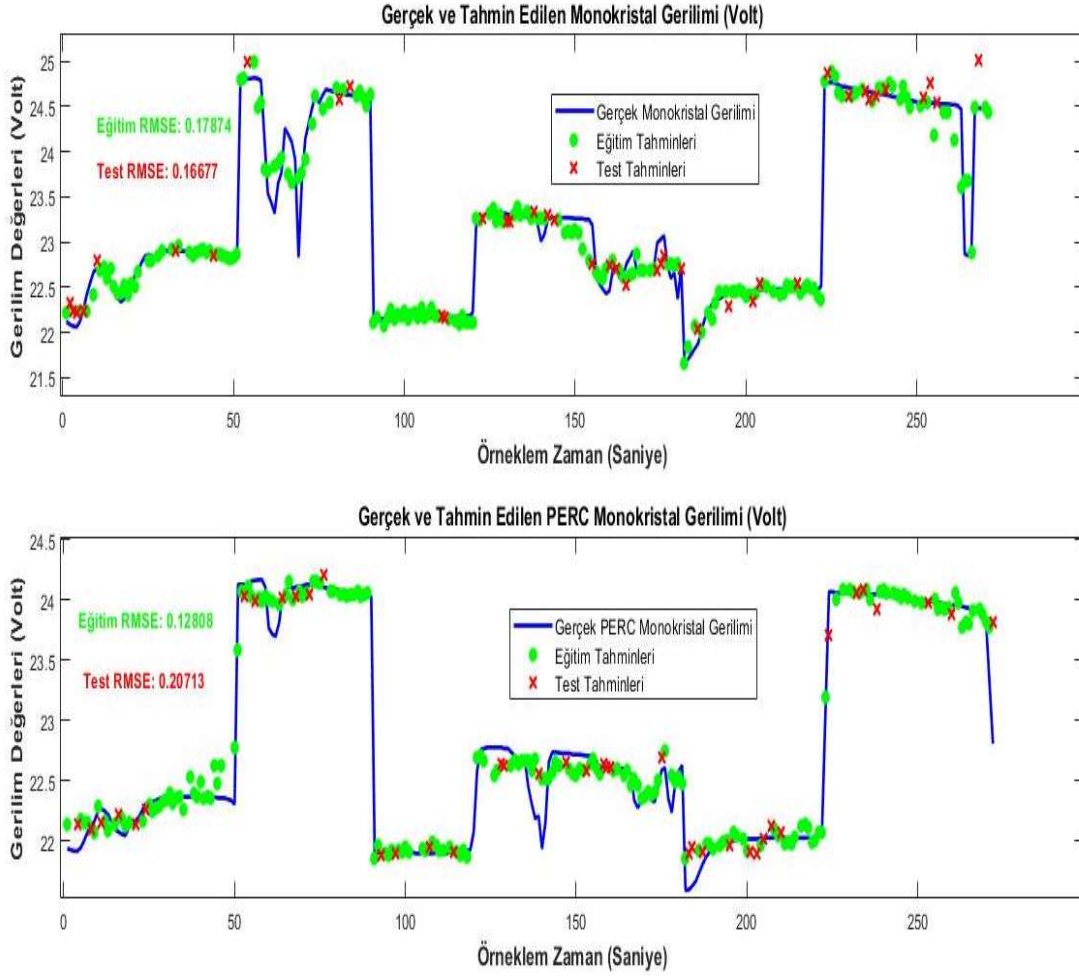
5.10 Onuncu YSA Modeli: Ani Yağmur ve Gölgelemenin Kaldırılması Durumu

Bu çalışmada çizelge 5.2'ye göre hazırlanan ani yağmur ve gölgelemenin kaldırılması durumunda güneş panellerinin gerilim değerlerini tahmin etmek için oluşturulan YSA modelinin performansı analiz edilmiştir. 11-12-13 Nisan 2024 verileri ardışık olarak değerlendirilmiş ve günlük 91 saniyelik veriler olmak üzere toplamda 273 saniyelik veri incelenmiştir.



Şekil 5.19 Onuncu YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.

Şekil 5.19'da Regresyon grafikleri bulunmaktadır. Grafiklerden görüldüğü üzere, modelin performansı oldukça yüksektir. Eğitim verisi için R değeri 0,98916, doğrulama verisi için R değeri 0,98217, test verisi için R değeri 0,97358 ve tüm veriler için R değeri 0,98556 olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek R değerleri, modelin veriyi iyi bir şekilde açıkladığını ve tahminlerde yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir.

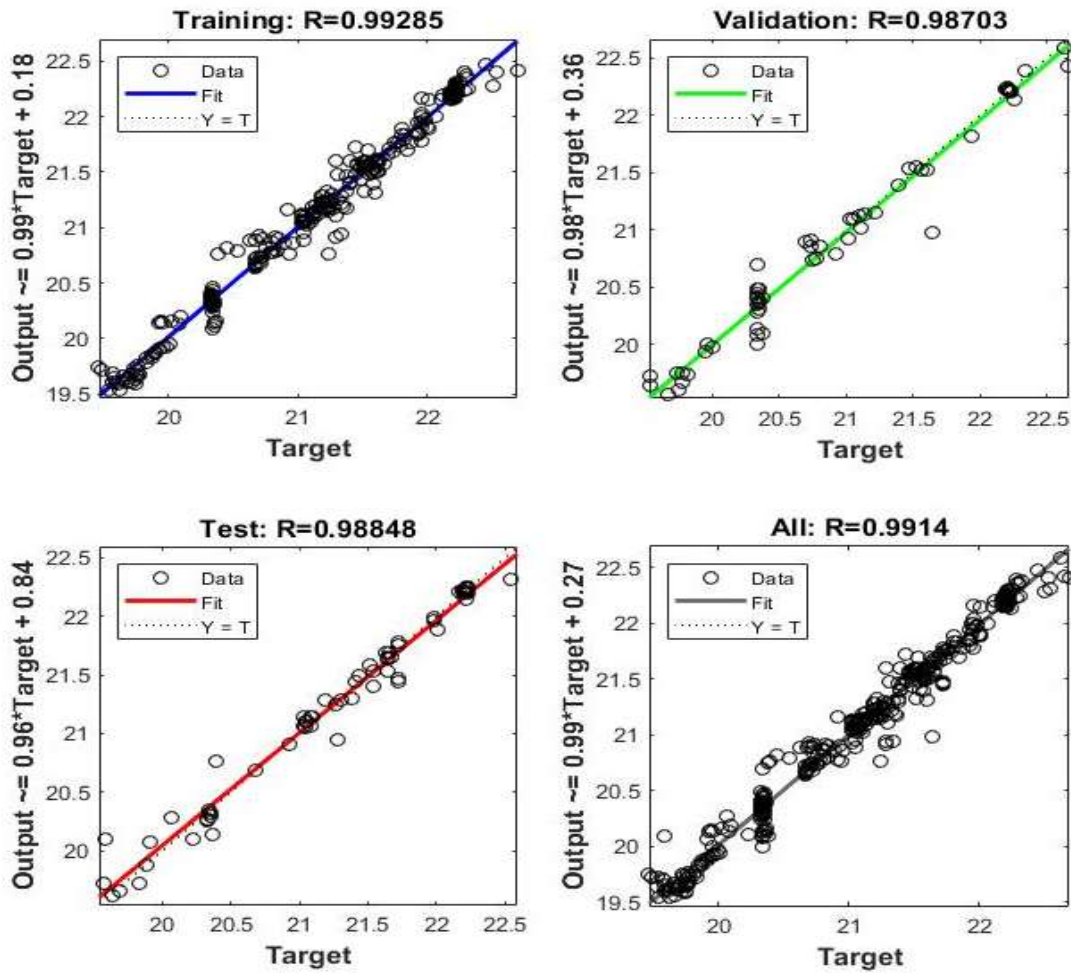


Şekil 5.20 Onuncu YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.

Şekil 5.20’de monokristal (üstte) ile perc monokristal (altta) güneş panellerinin gerçek ve tahmin edilen gerilim değerlerinin zaman içerisindeki değişimini gösteren grafikler bulunmaktadır. Gerçek değerler mavi çizgi ile belirtilmiş ve bu çizgi, gerçek gerilim değerlerinin doğrusal eğrisini göstermektedir. Eğitim tahminleri yeşil noktalar ile belirtilmiş ve bu noktalar, modelin eğitim verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Test tahminleri kırmızı çarpılar ile belirtilmiş ve bu çarpılar, modelin test verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,17874 ve test verisi için RMSE: 0,16677 olarak hesaplanmıştır. Perc monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,12808 ve test verisi için RMSE: 0,20713 olarak hesaplanmıştır. Her iki grafik de modelin hem eğitim hem de test verisi üzerinde yüksek performans gösterdiğini ve tahminlerin büyük ölçüde gerçek değerlerle uyumlu olduğunu göstermektedir.

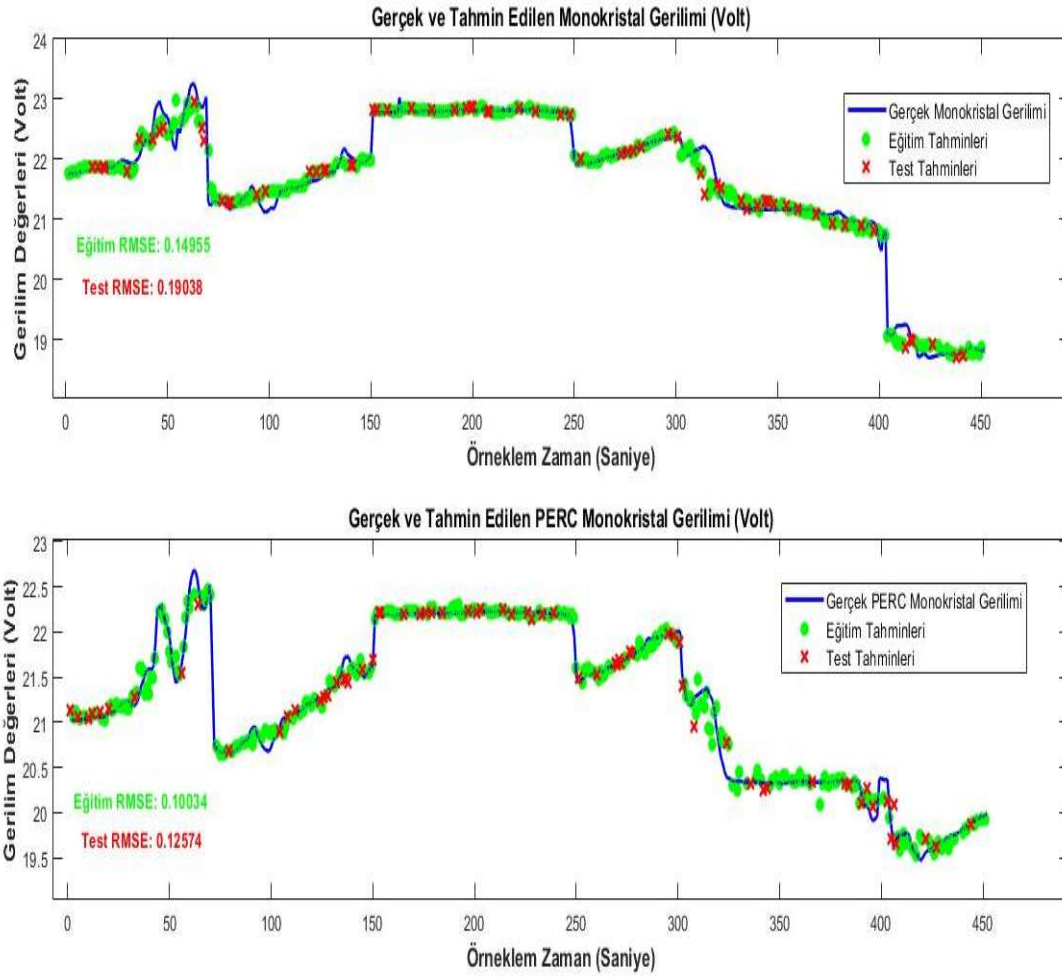
5.11 On Birinci YSA Modeli: Ani Yağmur, Rüzgar ve Gölgeleme Durumu

Bu çalışmada çizelge 5.2'ye göre hazırlanan ani yağmur, rüzgar ve gölgeleme durumunda güneş panellerinin gerilim değerlerini tahmin etmek için oluşturulan YSA modelinin performansı analiz edilmiştir. 11-12-13 Nisan 2024 verileri ardışık olarak değerlendirilmiş ve günlük 151 saniyelik veriler olmak üzere toplamda 453 saniyelik veri incelenmiştir.



Şekil 5.21 On Birinci YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.

Şekil 5.21'de Regresyon grafikleri bulunmaktadır. Grafiklerden görüldüğü üzere, modelin performansı oldukça yüksektir. Eğitim verisi için R değeri 0,99285, doğrulama verisi için R değeri 0,98703, test verisi için R değeri 0,98848 ve tüm veriler için R değeri 0,9914 olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek R değerleri, modelin veriyi iyi bir şekilde açıkladığını ve tahminlerde yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir.

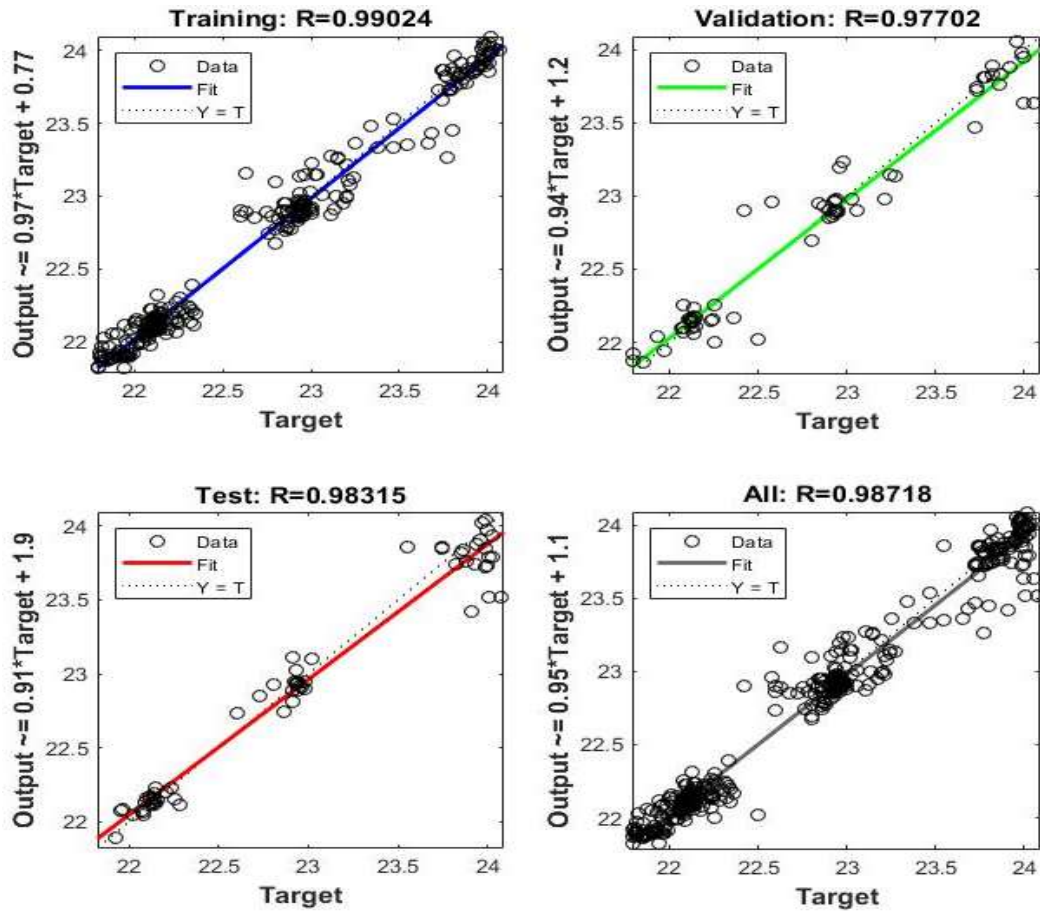


Şekil 5.22 On Birinci YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.

Şekil 5.22’de monokristal (üstte) ile perc monokristal (altta) güneş panellerinin gerçek ve tahmin edilen gerilim değerlerinin zaman içerisindeki değişimini gösteren grafikler bulunmaktadır. Gerçek değerler mavi çizgi ile belirtilmiş ve bu çizgi, gerçek gerilim değerlerinin doğrusal eğrisini göstermektedir. Eğitim tahminleri yeşil noktalar ile belirtilmiş ve bu noktalar, modelin eğitim verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Test tahminleri kırmızı çarpılar ile belirtilmiş ve bu çarpılar, modelin test verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,14955 ve test verisi için RMSE: 0,19038 olarak hesaplanmıştır. Perc monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,10034 ve test verisi için RMSE: 0,12574 olarak hesaplanmıştır. Her iki grafik de modelin hem eğitim hem de test verisi üzerinde yüksek performans gösterdiğini ve tahminlerin büyük ölçüde gerçek değerlerle uyumlu olduğunu göstermektedir.

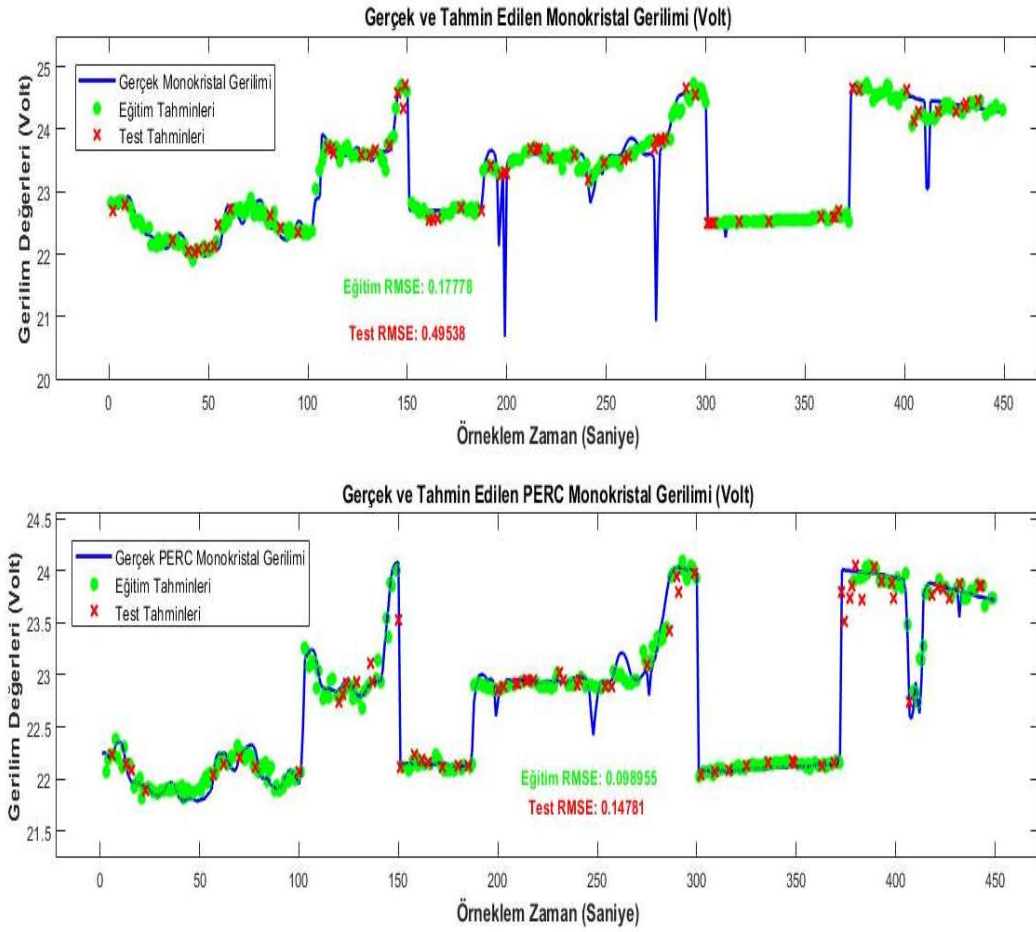
5.12 On İkinci YSA Modeli: Ani Yağmur, Rüzgar ve Gölgelemenin Kaldırılması Durumu

Bu çalışmada çizelge 5.2'ye göre hazırlanan ani yağmur, rüzgar ve gölgelemenin kaldırılması durumunda güneş panellerinin gerilim değerlerini tahmin etmek için oluşturulan YSA modelinin performansı analiz edilmiştir. 11-12-13 Nisan 2024 verileri ardışık olarak değerlendirilmiş ve günlük 150 saniyelik veriler olmak üzere toplamda 450 saniyelik veri incelenmiştir.



Şekil 5.23 On İkinci YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.

Şekil 5.23'de Regresyon grafikleri bulunmaktadır. Grafiklerden görüldüğü üzere, modelin performansı oldukça yüksektir. Eğitim verisi için R değeri 0,99024, doğrulama verisi için R değeri 0,97702, test verisi için R değeri 0,98315 ve tüm veriler için R değeri 0,98718 olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek R değerleri, modelin veriyi iyi bir şekilde açıkladığını ve tahminlerde yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir.

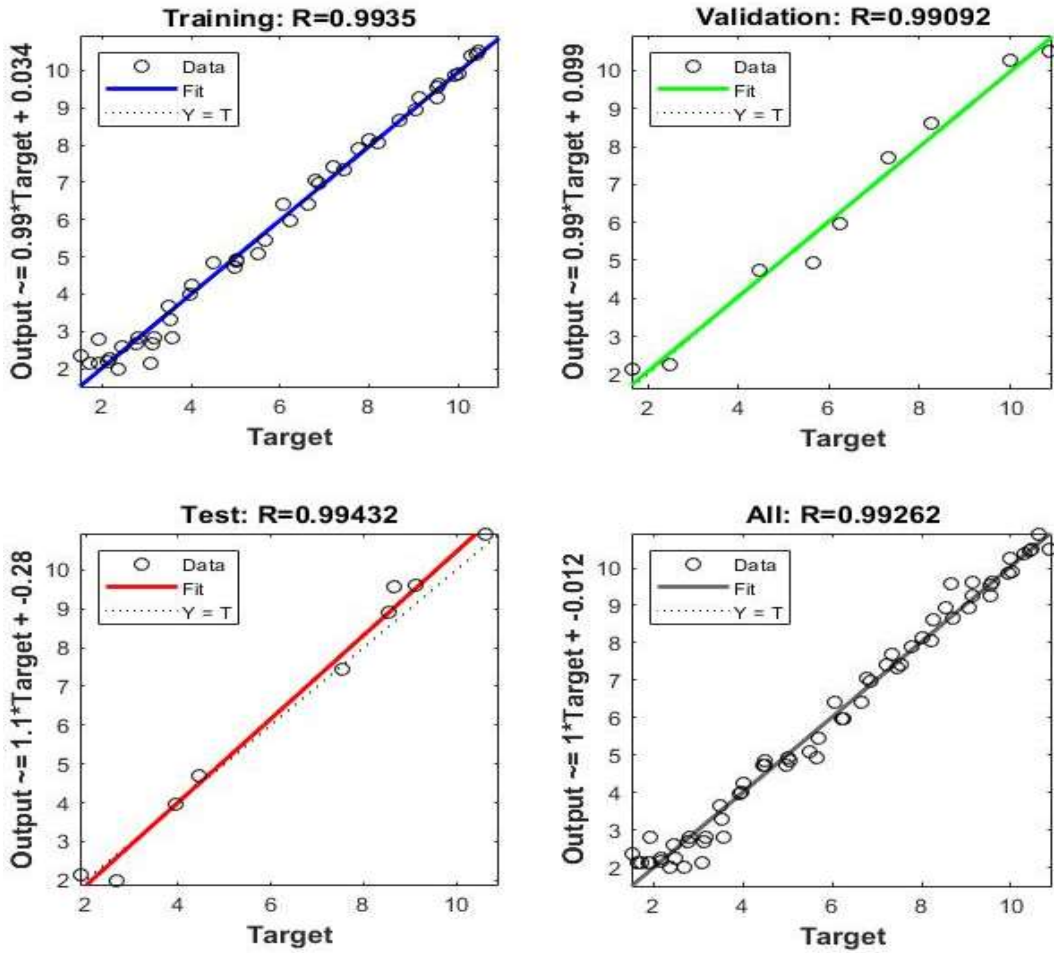


Şekil 5.24 On İkinci YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.

Şekil 5.24’de monokristal (üstte) ile perc monokristal (altta) güneş panellerinin gerçek ve tahmin edilen gerilim değerlerinin zaman içerisindeki değişimini gösteren grafikler bulunmaktadır. Gerçek değerler mavi çizgi ile belirtilmiş ve bu çizgi, gerçek gerilim değerlerinin doğrusal eğrisini göstermektedir. Eğitim tahminleri yeşil noktalar ile belirtilmiş ve bu noktalar, modelin eğitim verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Test tahminleri kırmızı çarpılar ile belirtilmiş ve bu çarpılar, modelin test verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,17778 ve test verisi için RMSE: 0,49538 olarak hesaplanmıştır. Perc monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,098955 ve test verisi için RMSE: 0,14781 olarak hesaplanmıştır. Her iki grafik de modelin hem eğitim hem de test verisi üzerinde yüksek performans gösterdiğini ve tahminlerin büyük ölçüde gerçek değerlerle uyumlu olduğunu göstermektedir.

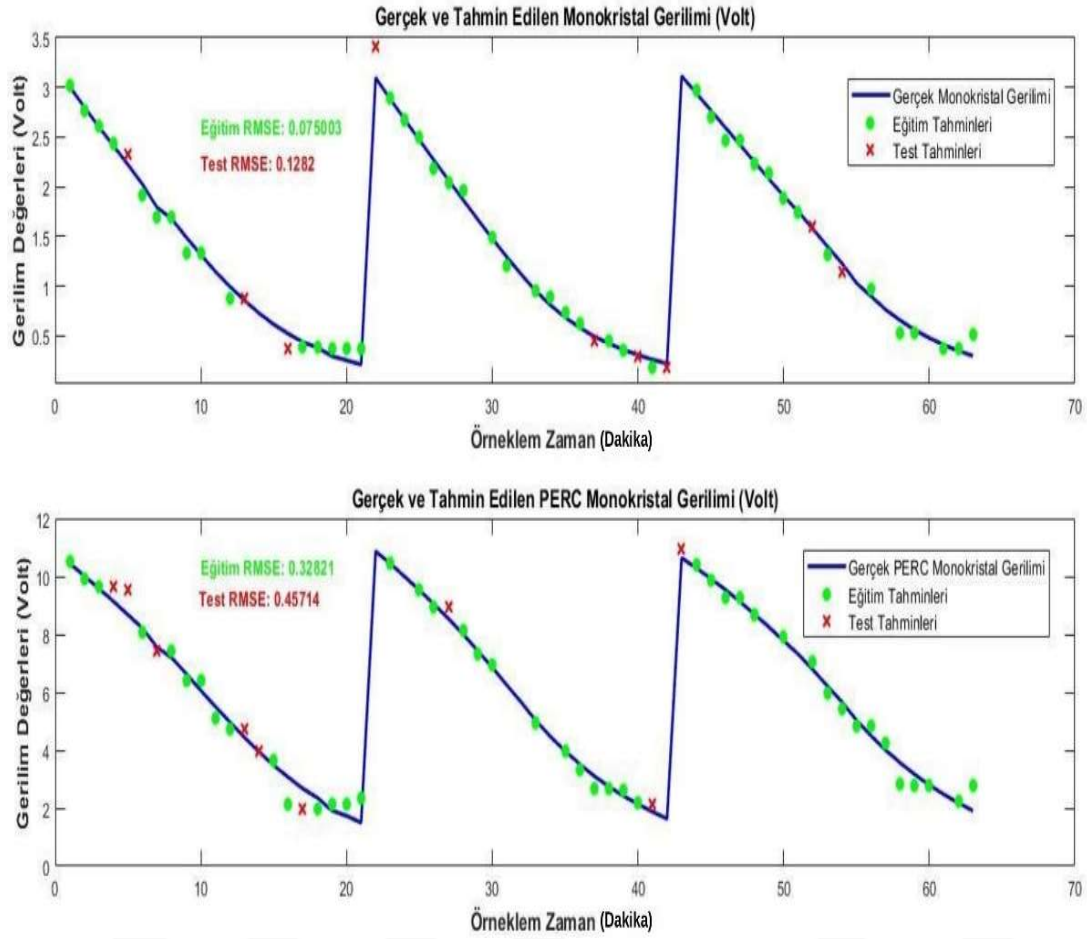
5.13 On Üçüncü YSA Modeli: Gün Batımı (Akşam) Durumu

Bu çalışmada çizelge 5.2'ye göre hazırlanan gün batımı (akşam) durumunda güneş panellerinin gerilim değerlerini tahmin etmek için oluşturulan YSA modelinin performansı analiz edilmiştir. 11-12-13 Nisan 2024 verileri ardışık olarak değerlendirilmiş ve dakikada 1 olan veriler kullanılarak günlük 21 dakikalık veriler olmak üzere toplamda 63 dakikalık veri incelenmiştir.



Şekil 5.25 On Üçüncü YSA modelinde panellerdeki regresyon grafiği.

Şekil 5.25'de Regresyon grafikleri bulunmaktadır. Grafiklerden görüldüğü üzere, modelin performansı oldukça yüksektir. Eğitim verisi için R değeri 0,9935, doğrulama verisi için R değeri 0,99092, test verisi için R değeri 0,99432 ve tüm veriler için R değeri 0,99262 olarak hesaplanmıştır. Bu yüksek R değerleri, modelin veriyi iyi bir şekilde açıkladığını ve tahminlerde yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir.



Şekil 5.26 On Üçüncü YSA modelinde panellerdeki eğitim ve test simülasyonları.

Şekil 5.26’de monokristal (üstte) ile perc monokristal (altta) güneş panellerinin gerçek ve tahmin edilen gerilim değerlerinin zaman içerisindeki değişimini gösteren grafikler bulunmaktadır. Gerçek değerler mavi çizgi ile belirtilmiş ve bu çizgi, gerçek gerilim değerlerinin doğrusal eğrisini göstermektedir. Eğitim tahminleri yeşil noktalar ile belirtilmiş ve bu noktalar, modelin eğitim verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Test tahminleri kırmızı çarpılar ile belirtilmiş ve bu çarpılar, modelin test verisi üzerindeki tahminlerini göstermektedir. Monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,075003 ve test verisi için RMSE: 0,1282 olarak hesaplanmıştır. Perc monokristal güneş panelindeki eğitim verisi için RMSE: 0,32821 ve test verisi için RMSE: 0,45714 olarak hesaplanmıştır. Her iki grafik de modelin hem eğitim hem de test verisi üzerinde yüksek performans gösterdiğini ve tahminlerin büyük ölçüde gerçek değerlerle uyumlu olduğunu göstermektedir.

6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada Afyonkarahisar'da bulunan monokristal ve perc monokristal güneş panellerinin farklı geçici durumlar altındaki performansları analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen deneylerde yapay gölgelenme, rüzgar, yağmur ve bu durumların kombinasyonları kullanılmıştır. Toplanan veriler yapay sinir ağları (YSA) teknikleri ile modellenmiş ve analiz edilmiştir.

Deney sonuçları ve YSA modelleri değerlendirildiğinde şu bulgulara ulaşılmıştır: Monokristal güneş panelleri, yüksek ışıyım koşullarında daha yüksek gerilim performansı sergilemiştir. Ortam standartları her iki panelde de aynı olduğu durumda gündüz ve akşam saatleri için panellerin gösterdiği performanslar değişiklik göstermiştir. Monokristal güneş panelleri, gündüz saatlerinde perc monokristal güneş panellerine göre ortalama olarak %2,5 oranında daha yüksek bir gerilim üretmiştir. Perc monokristal güneş panelleri, akşam saatlerinde monokristal güneş panellerine göre ortalama olarak %330 oranda daha fazla bir gerilim üretmiştir.

Gölgelenme durumlarında monokristal güneş panellerinin gerilim düşüşü daha belirgin olmuştur. Akşam vakitlerinde monokristal güneş panellerinin gerilim değerleri düşük ışıyım koşullarında daha az stabil kalmıştır. Perc monokristal güneş panelleri, düşük ışıyım koşullarında daha stabil gerilim değerleri sağlamıştır. Gölgelenme, rüzgar ve yağmur gibi geçici durumlarda, perc monokristal güneş panellerinin gerilim değişim oranları daha az olmuştur. Akşam vakitlerinde perc monokristal güneş panellerinin gerilim değerleri, monokristal güneş panellerine kıyasla daha yüksektir. Gölgelenme durumunda her iki panel tipinde de gerilim düşüşü gözlenmiştir; ancak, perc monokristal güneş panellerinde bu düşüş oransal olarak daha azdır. Yapılan literatür taramasında rüzgarın, panellerin yüzey sıcaklığını düşürmesi beklenirken, deneylerde rüzgar hızının gerilim değerlerine doğrudan etkisi belirgin olmamıştır. Yağmur durumunda panel yüzey sıcaklıkları düşmüş ve bu da gerilim değerlerini olumlu yönde etkilemiştir. Yapay sinir ağları ile yapılan modellemelerde monokristal güneş panellerinin gerilim değerlerinin yüksek ışıyım değişimlerine daha duyarlı olduğu görülmüştür. Perc monokristal güneş panellerinin

düşük ışınlm koşullarında daha kararlı performans sergilediğı ve model tahminlerinin bu durumu desteklediğı belirlenmiştir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, güneş panellerinin kurulum yerlerinin ve çevresel koşulların panel performansını doğrudan etkilediğini göstermektedir. Monokristal güneş panelleri yüksek ışınlm koşullarında daha verimli çalışırken perc monokristal güneş panelleri gölgelenme ve düşük ışınlm koşullarında daha stabil performans sergilemektedir. Çalışma sonuçları, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında ve kurulumunda dikkate alınması gereken önemli faktörleri vurgulamaktadır. Özellikle, panel tipi seçiminde bölgesel ışınlm koşullarının göz önünde bulundurulması gerektiğı sonucuna varılmıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, farklı geçici durumların daha uzun süreli etkileri incelenebilir ve YSA modellerinin doğruluğunu artırmak için daha geniş veri setleri kullanılabilir. Ayrıca, bu çalışmada elde edilen bulgular, güneş enerjisi sistemlerinin optimize edilmesi ve enerji verimliliğinin artırılması için önemli bir referans niteliğindedir. Bu çalışma, güneş enerjisi sistemlerinin daha verimli, güvenilir ve ekonomik olmasına katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, benzer çalışmaların yapılması ve farklı çevresel koşulların güneş panellerine etkilerinin detaylı olarak incelenmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılmasına yönelik önemli adımlar olacaktır.

KAYNAKÇA

- Abiem L T, Igbawua T, 2023, Environmental Factors And The Performance Of Pv Panels: An Experimental Investigation, African Journal of Environment and Natural Science Research, Volume 6, Issue 3, 2023 (pp. 231-247)
- Akan A E, Akal D, 2021, Işınım, Rüzgar Hızı Ve Çevre Sıcaklığının Pasif Soğutuculu Fotovoltaik Panel Güç Çıkışına Etkisi, Trakya University Journal of Engineering Sciences, 22(2), 65-72.
- Akyürek E F, Geliş K, Yoladı M, 2020, Farklı gölgeleme durumlarının fotovoltaik panel karakteristiği üzerine etkisi, GÜFBED/GUSTIJ, 11(1), 161-168.
- Ayaz E, Hocaoglu F O, 2019, Afyonkarahisar Bölgesinde Tesis Edilen Gerçek Bir Güneş Enerji Sisteminde Gölge Analizi Yapılması, Araştırma Makalesi.
- Başay V, Akyüz C, Yılmaz G, 2019, Uludağ Çevresinde Ormanlık ve Orta Yükseklikte Dağlık Bölgelerde Kurulan Güneş Enerjisi Santralinin Verimliliğini Belirleyen Etkenler, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 24, Sayı1.
- Batmaz E B, 2018, Güneş Enerji Sisteminde Meteorolojik Parametrelerin Etkilerinin Araştırılması, İstanbul Arel Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Bošnjaković M, Stojkov M, Katinić M, Lacković I, 2023, Effects of Extreme Weather Conditions on PV Systems, Sustainability 2023, 15, 16044.
- Dal A R, 2021, Güneş Enerji Panellerindeki Optimum Eğim Açısının Verime Etkisinin İncelenmesi, BŞEÜ Fen Bilimleri Dergisi 8(1), 241-250.
- Diğer F, 2011, Çevresel Faktörlerin Güneş Paneline Etkisinin MATLAB/Simulink Programında Modellenmesi ve Simülasyonu, Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 62s, Van.
- Geliş K, Akyürek E F, Yoladı M, 2020, Panel Konumu ve Açısının Fotovoltaik Panel Karakteristiği Üzerine Etkisi, Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi / Journal of the Institute of Science and Technology, 10(3), 1899-1908.
- Güven Ş, 2022, Fotovoltaik Panel Yüzey Sıcaklığının Denizli İli için Çıkış Gücü ve Verim Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Mühendis ve Makine cilt 63, sayı 707, s. 429-442, Araştırma Makalesi.

- Hasan D S, Farhan M S, ALRikabi H T S, 2022, Impact of Cloud, Rain, Humidity, and Wind Velocity on PV Panel Performance, Wasit Journal of Engineering Sciences 2022 10 (2).
- İzgi E, Özcan Ö, 2020, Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Çatı Sisteminin Karşılaştırmalı Performans Analizi, KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(3), Araştırma Makalesi.
- Karaduman B, 2023, Tipik Bir Güneş Panelinde Verimin İyileştirilmesi İçin Yeni Yaklaşımlar, İstanbul Teknik Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Karakaya H, Şen İ E, 2019, Fotovoltaik Panellerde Verim İyileştirme Yöntemleri, 7th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science Proceedings, 2(03), 130-135, Sanlıurfa, Türkiye.
- Karaman B, Taşkın S, 2021, Otonom fotovoltaik panel yüzey temizleme robotu geliştirilmesi ve temizleme aralığının enerji verimliliği üzerine analizi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Pamukkale Univ Muh Bilim Derg, 28(2), 234-239.
- Karaman B, Taşkın S, 2022, Otonom Fotovoltaik Panel Yüzey Temizleme Robotu Geliştirilmesi ve Temizleme Aralığının Enerji Verimliliği Üzerine Analizi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 28(2), 234-239.
- Kayabaşı A, Yıldız B, Durdu A, 2018, Bulanık Mantık Sistemine Dayalı Uyarlanırlı Ağ Kullanarak Solar Panel Sistemlerinde Çevresel Faktörlerin Verimliliğe Etkisinin İncelenmesi, VI. KOP Bölgesel Kalkınma Sempozyumu-KOPBKS.
- Kır Y, Korkmaz F, 2021, Güneş Paneli Parametrelerinin Online Ölçümü ve Uzaktan İzlenmesi, Isparta Süleyman Demirel Üniversitesi Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi, Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi 2021, 4(1): 46-52
- Mustafa R J, Gomaa M R, Al-Dhaifallah M, Rezk H, 2020, Environmental Impacts on the Performance of Solar Photovoltaic Systems, Sustainability 2020, 12, 608.
- Mutlu G, 2021, Çevresel Parametrelerin Güneş Santrallerinin Verimine Etkisinin Parametrik İncelenmesi, Bursa Üniversitesi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Bursa.
- Orhun M, Koca Y B, Hocaoglu F O, Çınar S M, 2012, Farklı Yüzey Açılarındaki Işınım Şiddetlerinin Afyonkarahisar Bölgesi İçin Karşılaştırılması ve Güneş

- Panellerinden Elde Edilebilecek En Yüksek Elektrik Enerjisi Üretimi İçin Uygun Açıkların Tespiti, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi.
- Piliouguine M, Carretero J, Sidrach-de-Cardona M, Montiel D, Sánchez-Friera P, 2008, Comparative Analysis of the Dust Losses in Photovoltaic Modules with Different Cover Glasses. In Proceedings of the 23rd European Solar Energy Conference, 1-5 September, Valencia, 2698-2700.
- Pratama B A, Hiendro A, Marpaung J, Yusuf M I, Imansyah F, 2023, Effect of Shading on Half-Cut Solar Panels Power Output, Telecommunications, Computers, and Electricals Engineering Journal (TELECTRICAL)Vol. 1, No. 2, October 2023, pp. 73~83
- Rusanescu C O, Rusanescu M, Istrate I A, Constantin G A, Begea M, 2023, The Effect of Dust Deposition on the Performance of Photovoltaic Panels, Energies 2023, 16, 6794.
- Selbaş R, Çetin H, 2022, Fotovoltaik Güneş Santrallerinin Verimlerinin Değişiminin İncelenmesi, Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi, Cilt 6, Sayı: 1, Sayfa 10-17.
- Shaik F, Lingala S S, Veeraboina P, 2023, Effect of various parameters on the performance of solar PV power plant: a review and the experimental study, Shaik et al. Sustainable Energy Research
- Şahin S, 2019, Güneş Enerji Santrallerinin Verimlerine Etki Eden Faktörlerin Değerlendirilmesi, Amasya Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Tan Bayar M, 2022, Fotovoltaik Sistemlerde Tozlanmanın Panel Verimi Üzerindeki Etkilerinin Deneysel Olarak Araştırılması, Batman Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı , Yüksek Lisans Tezi, Batman.
- Taşkın O, 2019, Kusurlu Güneş Panelinde (PV) Verimlerin Ölçülmesi, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 24, Sayı 1.
- Turhan S, Çetiner İ, 2012, Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi, 6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu, 12-13 Nisan 2012, Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi - Görükle Kampüsü, Bursa.
- Uysal S, Çelikaş M S, 2023, Güneş Enerjisi Santrallerinde Yağmur Suyu Hasadı, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(2), 334-342.

- Uz Ö, Özdemir T, Tüzün Özmen Ö, 2022, Fotovoltaik Enerji Üretiminin Meteorolojik Şartlarla İlişkilendirilmesi: İzmir Bakırçay Üniversitesi Örneği, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13(1), 49-62.
- Yang Z, 2023, A comprehensive analysis of environmental factors affecting solar cells: Dust accumulation, ambient temperature, and humidity, Proceedings of the 2023 International Conference on Functional Materials and Civil Engineering.
- Yolcan, O O, Köse R, 2020, Türkiye'nin Güneş Enerjisi Durumu ve Güneş Enerjisi Santrali Kurulumunda Önemli Parametreler, Kırklareli University Journal of Engineering and Science, 6(2), 196-215.

<https://solvoltaics.com>

<https://mirsolar.com.tr/monoperc-paneller>

<https://aydinlatma.org/gunes-paneli-solar-panel-acisi-nasil-hesaplanir.html>

<http://dunya.arztalep.com/tr-TR/afyon/afyon-haritasi.aspx>

<https://www.mmo.org.tr>

<https://enerji.gov.tr>