



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**KAR YAĞIŞI VE BUZLANMANIN ŞEBEKE
BAĞLANTILI DİZE VE MİKRO
İNVERTERLERİN ENERJİ ÜRETİMİNE
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

BURAK KARAÇAM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

Ocak-2022
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Burak KARAÇAM tarafından hazırlanan “Kar Yağışı ve Buzlanmanın Şebeke Bağlantılı Dize ve Mikro İnverterlerin Enerji Üretimine Etkisinin Araştırılması” adlı tez çalışması 21/01/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof.Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ

.....

Danışman

Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Ali ANADOL

.....

Üye

Doç.Dr.Mustafa YAĞCI

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Saadettin Erhan KESEN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Burak KARAÇAM

Tarih: 21.01.2022

İmza

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KAR YAĞIŞI VE BUZLANMANIN ŞEBEKE BAĞLANTILI DİZE VE MİKRO İNVERTERLERİN ENERJİ ÜRETİMİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Burak KARAÇAM

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali ANADOL

2021, 121 Sayfa

**Jüri
Dr.Öğr.Üyesi Mehmet Ali ANADOL
Prof.Dr.Ahmet Afşin KULAKSIZ
Doç.Dr.Mustafa YAĞCI**

Bu tez çalışması, kar yağışı ve buzlanmanın farklı panel, eğim açısı ve inverter teknolojisine sahip şebeke bağlantılı fotovoltaik tesislerin performansına etkilerini belirlemek ve değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir. Performans analizleri, aynı tesis alanı içinde kurulmuş şebeke bağlantılı hibrid inverter ve mikroinverter sistemlerine ait gerçek çalışma koşullarındaki işletme verileri ve meteorolojiden temin edilen atmosferik değişkenler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şebeke bağlantılı hibrid inverter sistemi, taşıyıcı sistem üzerinde 30° sabit eğim açısı ile güney yönünde ve yatay doğrultuda yerleştirilmiş olan 36 adet monokristal yapılı panelden oluşmaktadır. Şebeke bağlantılı mikro inverter sistemi ise çift panel girişli dokuz adet mikro inverter ile 0°, 10°, 20°, 30°, 40° ve 50°'lik altı farklı sabit eğim açısıyla güney yönünde ve yatay doğrultuda taşıyıcı sistem üzerinde yerleştirilmiş 18 adet polikristal yapılı panelden oluşmaktadır. Bu fotovoltaik tesisler, Konya Teknik Üniversitesi kampüs alanı içinde Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okuluna ait açık tesis alanına kurulmuştur.

Hibrid ve mikroinverter sistemleri için elde edilen performans sonuçları, dizi verim, nihai verim, referans verim, sistem kaybı, dizi yakalama kaybı, inverter verimliliği, performans oranı, sistem verimliliği ve kapasite faktörü olarak bilinen performans değişkenleri üzerinden literatürdeki önceki çalışmalarda elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, panel yüzeylerinde biriken kar ve buzlanmanın her iki inverter sisteminde de kayıplara neden olduğunu ve birbirine seri bağlı birçok panelden oluşan hibrid inverter sistemini mikroinverter sistemine nazaran daha çok etkilediğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Eğim açısı, fotovoltaik, hibrid inverter, kar yağışı, mikro inverter, monokristal panel, performans parametreleri, polikristal panel

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SNOWFALL AND ICE ON ENERGY GENERATION OF GRID CONNECTED STRING AND MICRO INVERTERS

Burak KARAÇAM

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Advisor: Asisst. Prof. Dr. Mehmet Ali ANADOL

2021, 121 Pages

**Jury
Asisst. Prof. Dr. Mehmet Ali ANADOL
Prof.Dr. Ahmet Afşin KULAKSIZ
Assoc. Prof. Dr. Mustafa YAGCI**

This thesis study was carried out to determine and evaluate the effects of snowfall and icing on the performance of grid-connected photovoltaic plants with different panels, inclination angles and inverter technology. Performance analyzes were carried out using atmospheric variables obtained from meteorology station and operational data under real operating conditions of grid-connected hybrid inverter and microinverter systems installed in the same facility area. The grid-connected hybrid inverter system consists of 36 monocrystalline panels placed on the carrier system with a fixed tilt angle of 30° in the south direction and horizontal orientation. The grid-connected microinverter system consists of nine micro-inverters with double panel inputs and 18 polycrystalline modules which are placed on the carrier system with six different fixed tilt angles of 0°, 10°, 20°, 30°, 40° and 50° in the south direction and horizontal orientation. These photovoltaic facilities were established in the open facility area of the Vocational School of Technical Sciences within the campus area of Konya Technical University.

The performance results obtained for hybrid and microinverter systems were compared with the results obtained in previous studies in the literature performance variables known as string efficiency, final efficiency, reference efficiency, system loss, string capture loss, inverter efficiency, performance ratio, system efficiency and capacity factor. The results show that snow and icing accumulated on the panel surfaces cause losses in both inverter systems and affect the hybrid inverter system, which consists of many panels connected in series, more than the microinverter system.

Keywords: Hybrid inverter, inclination angle, microinverter, monocrystalline module, performance parameters, photovoltaic, polycrystalline module, snowfall

ÖNSÖZ

Fosil yakıtların kısıtlı alanlarda bulunması, atmosfer üzerinde olumsuz etkileri ve tükenebilir oluşu ile alternatif elektrik enerjisi üretim kaynaklarının kullanımı gerekli hale gelmiştir. Günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin artması bu gerekliliği doğrulamaktadır. Fotovoltaik sistemler güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Bu sistem, çevre dostu ve güvenilirdir. Ayrıca maliyet açısından da gün geçtikçe daha uygun hale gelmektedir.

FV sistemlerin temel yapısal elemanlarından biri inverterdir. İnverterler, fotovoltaik sistemlerde paneller tarafından üretilen doğru akımı, alternatif akıma dönüştürürler. İnverterlerin seçimi yapılırken tesisin boyutunun yanı sıra tesisin bulunduğu bölgenin iklimsel ve atmosferik durumu da önem arz etmektedir. Panel çıkış gerilimini ve üretimini düşüren kar ve buzlanma, bina, bitki örtüsü, paneller arası gölgeleme, bulutlanma, tozlanma ve kirlenme gibi çeşitli dış ve çevresel faktörler, panellerin gölgeli çalışmasına sebep olmaktadır. Bu etkiler, inverterlerin genellikle tam yükün çok altında çalışmasına ve inverter performansının düşmesine neden olmaktadır. Bu durum FV tesislerde elektrik enerjisi üretimini de düşürmektedir. Çözüm önerisi olarak bypass diyotu kullanımı, panellerin yatay-dikey konumlandırılması ve panel yüzeyinin temizliği gibi metotlar sunulmaktadır.

Kış mevsiminde, kar yağışları sonucunda paneller üzerinde biriken kar ve buz birikintileri, fotovoltaik sistemlerin elektrik üretiminde kayıplara sebep olmaktadır. Bu yüzden kar yağışı olan yerlerde, fotovoltaik tesis kurmayı planlayan yatırımcının, kar ve buzlanmanın etkilerini, maliyet ve enerji üretimi açısından göz önünde bulundurması gerekmektedir.

Bu tez çalışması, kar ve buzlanmanın fotovoltaik enerji üretiminde çeşitli inverter teknolojilerine olan etkilerinin tespit edilmesini, bu etkilerin nitel olarak sayısal değerlere dönüştürülmesini, bu konunun çözümü için katkıda bulunmayı ve gelecekte bu konuda yapılacak araştırma çalışmaları için öncülük etmeyi amaçlamaktadır.

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında kıymetli bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan saygıdeğer danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ali ANADOL'a, benden maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Burak KARAÇAM

KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1.GİRİŞ	1
2.LİTERATÜR ÖZETİ.....	5
3.FOTOVOLTAİK SİSTEMLER VE İNVERTER TEKNOLOJİLERİ.....	30
3.1.Merkezi İnverter.....	31
3.2.Dize İnverter	33
3.3.Mikro İnverter.....	34
4.GÖLGELEME TÜRLERİ VE İNVERTER VERİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ..	35
4.1.Kar Yağışı ve Buzlanma.....	36
4.2.Binalar	37
4.3.Panellerin Birbirlerini Gölgelemesi	38
4.4.Bulutlanma.....	39
4.5.Toz ve Kirlenme.....	40
5.GÖLGELEME SORUNLARI İÇİN MEVCUT ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ	42
5.1.Bypass Diyot Kullanımı	42
5.2.Panellerin Yatay-Dikey Olarak Konumlandırılması	44
5.3.Panellerin Yüzeyinin Temizlenmesi	46
6.PERFORMANS PARAMETRELERİ.....	47
7.MATERYAL VE METOT	53
7.1.Şebekeye Bağlı FV Sistemlerin Tanımı	53
7.1.1.Şebeke bağlantılı hibrid inverter sistemi	53
7.1.2.Paneller	54
7.1.3.Akü grubu ve yük.....	55
7.1.4.Şebeke bağlantılı hibrid dize inverter	55
7.1.5.Şebeke bağlantılı mikro inverter sistemi	58
7.2.Metodoloji	61
8.HİBRİD İNVERTER VE MİKROİNVERTER SİSTEMLERİNİN ENERJİ ÜRETİMİNE KAR YAĞIŞININ ETKİSİ.....	62

9.HİBRİD İNVERTER VE MİKROİNVERTER SİSTEMLERİNİN PERFORMANS ANALİZİ	75
10.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	106
KAYNAKLAR	108
EKLER	119



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

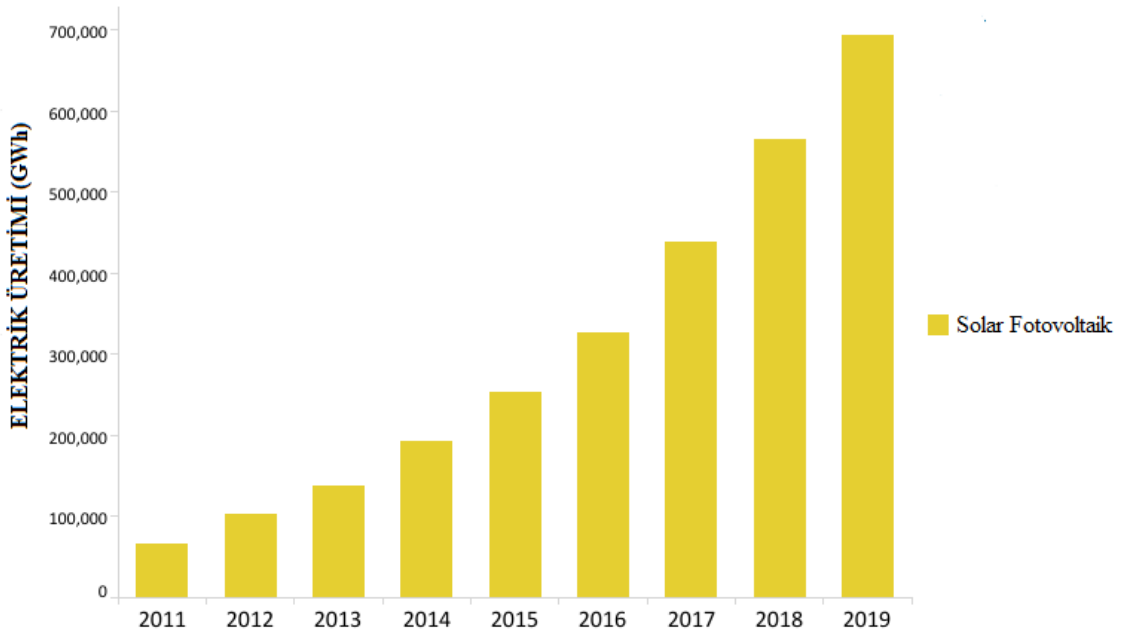
A	Amper
cm	Santimetre
cm ²	Santimetrekare
cos ϕ	Güç faktörü
dk	Dakika
GW	Gigawatt
Hz	Hertz
kVA	Kilovolt-amper
kW	Kilowatt
kWh/kWp	1 Kilowatt'a karşılık gelen Kilowatt saat
kWh/m ²	1 Metrekareye karşılık gelen Kilowatt saat
m ²	Metrekare
ms	Milisaniye
MW	Megawatt
V	Volt
VA	Volt-Amper
W	Watt
W/m ²	1 Metrekareye karşılık gelen Watt
μ s	Mikrosaniye
%	Yüzde
°	Derece
°C	Santigrat derece (Celcius)

Kısaltmalar

A	FV dizinin alanı
AC	Alternatif Akım
BIPV	Binaya Entegreli Fotovoltaik Sistem
CF	Kapasite faktörü
DC	Doğru Akım
E_{AC}	AC enerji çıkışı
E_{DC}	DC enerji çıkışı
FV	Fotovoltaik
H_t	Panel düzlemine gelen toplam ışıma
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
Imp	Maksimum Güçte Akım
Isc	Kısa Devre Akımı
ISPR	İnverterin sistem performans oranı
L_C	Dizi yakalama kayıpları
L_{cm}	Çeşitli yakalama kaybı
L_{ct}	Termal yakalama kaybı
L_S	Sistem kaybı
MPPT	Maksimum Güç Noktası Takibi
n_{CEC}	California (CEC) Verimliliği
n_{EURO}	Euro (Avrupa) Verimliliği
$n_{PV} - n_{FV}$	FV panel verimliliği
$n_j - n_{inv}$	İnverter verimliliği
n_R	Nominal çıkış verimliliği
n_{sys}	Sistem verimliliği
P_{in}	İnverterin nominal giriş gücü
P_{mp}	Maksimum Güç
P_o	FV dizinin kurulu gücü
P_{out}	İnverterin nominal çıkış gücü
P-N	Faz-nötr
P-P	Faz-faz
PR	Performans Oranı
STC	Standart test koşulları
THD	Toplam harmonik bozulma
V_{mp}	Maksimum Güçte Gerilim
Voc	Açık Devre Gerilimi
Y_A	Dizi verim
Y_F	Nihai verim
Y_R	Referans verim
$\%n_i$	İnverterin nominal çıkış gücündeki % i'nin dönüştürme verimliliği

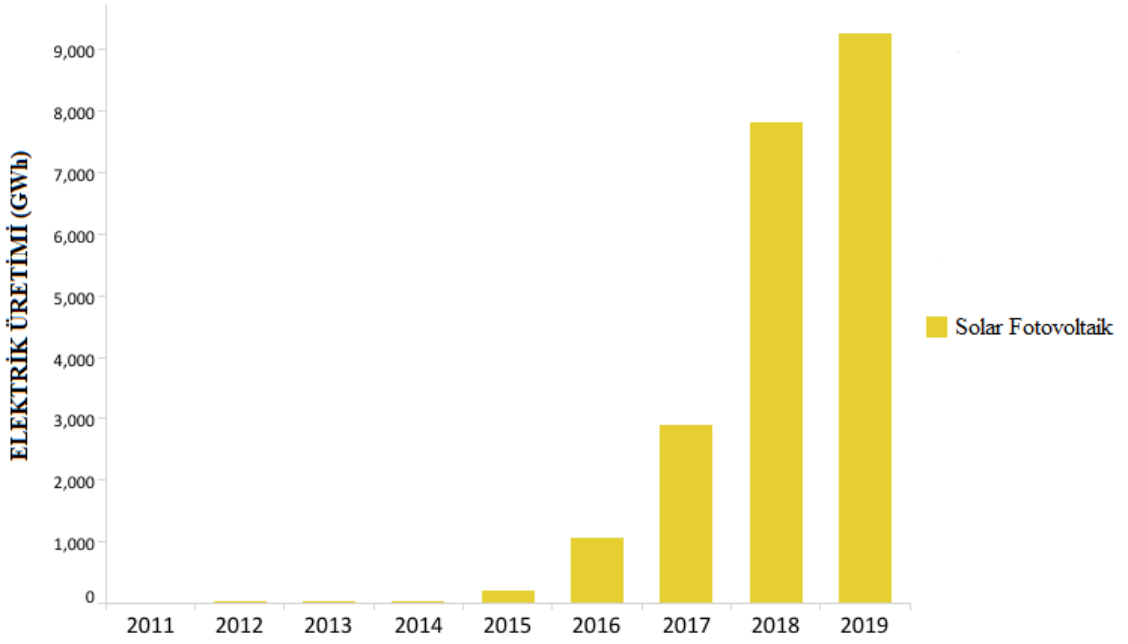
1. GİRİŞ

Günümüzde Dünya genelinde olduğu gibi Türkiye'de de fotovoltaik (FV) enerji üretimi her geçen gün artmaktadır. Şekil 1.1'de ve Şekil 1.2'de hem dünyada hem de Türkiye'de elektrik üretiminin yıllar içindeki gelişimini gösteren istatistikler verilmiştir. 2021 yılının Kasım ayı itibariyle Türkiye'de, fotovoltaik güneş enerjisi kurulu gücü 7745,6 MW'dır (Anonim, 2021). Türkiye'de 2027 yılına kadar güneş enerjisinin kurulu kapasitenin yaklaşık olarak 16 GW'a ulaşması hedeflenmiştir (Anonim1, 2020). Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik çalışmaların çoğalmasında fosil yakıtların azalması, elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın artması ve geleneksel enerji üretim metotlarının çevreye verdiği zararlar gösterilmektedir (Hassaine ve ark., 2014). Güneş enerjisine dayalı enerji üretimini sürdürebilmek ve maksimum kazanç sağlamak için sistem bileşenlerinin doğru seçilmesi, kurulumun yapılacağı bölgenin arazi ve meteorolojik şartlarının üretim için elverişli olması esastır.



Şekil 1.1. 2011-2019 yılları arasında Dünya'daki fotovoltaik sistemlerin elektrik üretimi¹

¹ <https://www.irena.org>



Şekil 1.2. 2011-2019 yılları arasında Türkiye'deki fotovoltaik sistemlerin elektrik üretimi²

Fotovoltaik sistemler, panel düzlemine gelen güneş ışınlarının fotovoltaik hücrelerde doğru akım şeklinde elektrik enerjisine dönüştürülmesini sağlayan ve bu doğru akımın yarı iletken dönüştürücü devreler yardımıyla alternatif akıma çeviren bileşenler bütünüdür. Fotovoltaik sistemi oluşturan panel, dize ve inverter bileşenlerinde kısmi veya tam gölgelemenin etkisi ile performans değişimleri ortaya çıkmaktadır. FV panellerin kısmi veya tam gölgeli çalışmasına neden olan olaylar, statik ve dinamik özelliğe sahip dış etkenlerdir. Gökyüzündeki bulutlanma, kar, buzlanma, sis ve tozlanma şeklindeki hava olayları veya tesis civarındaki bina, direk, ağaç ve bitki örtüleri şeklindeki engeller kısmi veya tam gölgeli çalışmaya örnek olarak gösterilebilir. Panel verimini dolayısıyla doğru akım üretimini düşüren bu engeller, tesisteki inverterlerde performans sorunlarına neden olmaktadır. Bu durumda panellerin hem birbirine hem de inverter yapılarına bağlantı şekli, ışınlam ve gölgeleme kayıpları bakımından işlevsel bir rol üstlenmektedir (Yılmaz ve Dinçer, 2017).

Tesisin bulunduğu bölge ve istenilen üretim gücü, hangi inverter türünün kullanılması gerektiğini belirleyen önemli unsurlardır. Ancak bu unsurlara ilave olarak gölgeleme sorunları da göz önünde bulundurularak inverter seçimi yapılmaktadır.

² <https://www.irena.org>

Çünkü gölgelerden etkilenen bir tesiste tercih edilecek olan inverter çeşidinin performansı, tesisin enerji üretimi açısından belirleyici bir etkiye sahiptir. Merkezi inverterler, gölgeli bir tesiste genellikle tercih edilmemektedir. Bunun sebebi merkezi inverterlerde, gölgelemeden etkilenen bir panelin performansı ne kadar düşerse diğer panellerde de performans düşüşleri meydana gelir ve bu durumda tesiste de büyük performans kayıpları açığa çıkar. Dize inverter teknolojisinde sadece gölgeli panellerin bağlı olduğu dizelerin performansında kayıplar meydana gelir. Dize inverterlerin aksine mikro inverterlerde bir panel gölgeli olduğunda hem diğer panelleri hem de fotovoltaik sistemin tamamını etkilememektedir (Harb ve ark., 2013). Bu durumda şebeke bağlantılı fotovoltaik uygulamalarında mikro inverter teknolojileri, farklı gölgeleme kaynaklarının (kar yağışı, tozlanma, bina, bulutlanma vb.) neden olduğu negatif etkilerin (kayıpların) azaltılmasında etkin bir rol oynamaktadır.

Fotovoltaik sistemlerde gölgeleme kaynaklı problemlerin çözümüne yönelik uygulamalar panelleri yatay veya dikey şekilde monte etmek, yıl boyunca gölgeleme olmayan yerlere kurulum yapmak, dizeler arası uygun boşluk bırakmak, panellerin bağlantı şeklini değiştirmek, bypass diyotu kullanmak, toz, kirlenme, bulutlanma, kar yağışı ve buzlanmanın etkilerine karşı temizlik yapmak ve uygun inverter seçimi tercih edilebilecek düzenlemelerdir.

Bu tez çalışması, fotovoltaik sistemlerde enerji üretimini artırabilmek için kar ve buzlanmanın inverterler üzerindeki etkisinin göz ardı edilemeyeceğini göstermektedir. Kış mevsiminde, kar yağışları sonucunda paneller üzerinde biriken kar ve buz birikintileri, fotovoltaik sistemlerin elektrik üretimini düşürmektedir. Yapılan incelemelerde fotovoltaik sistemler için kar ve buzlanmadan kaynaklı kayıpların, uygun inverter seçimi veya inverter tasarımı ile azaltılabileceği düşünülmektedir. Mikro inverter teknolojisi, panellere ayrı ayrı bağlandıklarından kısmi veya tam gölgede yüksek performansla çalışmaktadır. Bu sayede mikro inverterler, kaliteli ve verimli bir şekilde enerji üretimine katkıda bulunmaktadır.

Ülkemizde kar yağışı ve buzlanmanın fotovoltaik enerji üretiminde inverterin performansına olan etkileri ile ilgili olarak henüz bir çalışma gerçekleştirilmemiştir. Bu konudaki bilgi yetersizliğini ortadan kaldırabilmek için çalışma alanı olarak Konya ili seçilmiştir. Çünkü Konya ili, meteorolojik, coğrafi, iklimsel ve topografik (yer şekilleri) olarak fotovoltaik enerji üretimi açısından elverişli alanlara sahiptir. Diğer yandan karasal iklime sahip olması sebebiyle bu ilimizde kış mevsiminde kar yağışları meydana gelmektedir.

Tez çalışmasının amacı, kar yağışı ve buzlanmanın panellerde gölge oluşturmaları sonucunda şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerde ve çeşitli inverter teknolojilerinin performansları üzerindeki etkisini araştırmak ve incelemektir.

Bu tez çalışmasında, geçmişteki çalışmalardan farklı olarak kar ve buzlanmanın, hibrid inverter ve mikro inverter teknolojisine olan etkisi saha çalışmaları sonucu elde edilen ölçüm sonuçları ve performans analiz hesaplamaları ile tespit edilmiştir. Bu çalışmada, şebeke bağlantılı hibrid inverter sisteminde bulunan hibrid inverterin çıkış gücü invertere ait bilgisayar arayüz yazılım programıyla ve şebeke bağlantılı mikro inverter sisteminde olan mikro inverterlerin çıkış güçleri ise Gateway cihazı ile elde edilmiştir. Hesaplamalar, Microsoft Excel programında gerçekleştirilmiştir. Şebeke bağlantılı hibrid inverter sistemi ve şebeke bağlantılı mikro inverter sisteminde sayaçta ölçülen enerji değerleri ve meteorolojiden alınan ışıma verileri kullanılarak performans parametreleri hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda kar ve buzlanmanın mikro ve hibrid inverter üzerindeki etkileri analiz edilmiştir.

Bu tez çalışmasının ilk ve ikinci kısmında, giriş ve literatür özeti yer almaktadır. Üçüncü kısımda, fotovoltaik sistemler ve inverter tiplerinin özellikleri incelenmiştir. Dördüncü kısımda, gölgeleme çeşitleri ve gölgelemelerin inverterin verimi üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Beşinci kısımda, gölgelerin fotovoltaik tesisler üzerinde enerji üretimine olan negatif etkisinin azaltılabilmesi için kullanılan çözüm yöntemlerinin üzerinde durulmuştur. Altıncı kısımda performans parametreleri açıklanmıştır. Yedinci kısımda, şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin tanımı yer almaktadır. Sekizinci kısımda, hibrid ve mikroinverter sistemlerinin enerji üretimine kar yağışlarının etkisi incelenmiştir. Dokuzuncu kısımda, hibrid ve mikroinverter sistemlerinin performans analiz sonuçları verilmektedir. Son kısımda ise sonuçlar ve öneriler bulunmaktadır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

MacAlpine ve ark. (2017) yaptıkları çalışmada yirmi üç adet mikro inverter, bir merkezi inverter ve yirmi iki adet dize invertere sahip toplam kırk altı farklı FV konut sisteminin performans verilerini analiz etmiştir. SYSTEM ADVISOR MODEL (SAM) simülasyon programından yararlanılarak elde edilen performans verileri ile ölçülen veriler karşılaştırılmıştır. Performanslar incelenirken farklı gölgeleme koşulları göz önüne alınmıştır. FV sistemlerde gölgeli çalışmadan kaynaklı kayıpların %0-%20 arasında olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada, yapılan modelleme sayesinde uzaktan çalışma yapmanın mümkün olduğu ayrıca maliyet ve zaman olarak ise tasarrufun sağlanabileceği belirtilmiştir.

Torres Lobera ve ark. (2013) tarafından Tampere Teknoloji Üniversitesi'nde, şebekeye bağlı bir güneş FV tesis tasarlanarak fakülte binasının çatısına inşa edilmiştir. Bu tesisin kurulma amacı, farklı koşullar altında elektriksel ve iklimsel ölçümlerin hatasız olarak gerçekleştirilmesi ve tesisin performansını incelemektir. Tesis, yatay düzlemde 45° eğim açısına sahiptir. Bu araştırma tesisinde, kar ve binaların neden olduğu parçalı gölgeleme durumu için bir yıl boyunca meteorolojik, sıcaklık ve güneş ışıınım verileri toplanarak analiz edilmiştir. Verilerin ölçülmesinde panellerin üzerine konulan sıcaklık, rüzgâr, nem ve foto diyot sensörleri ile piranometreden yararlanılmıştır. Kar ve binanın santrale olan etkisi FV paneller ve dizelerin ölçülmesi aracılığıyla akım-gerilim ve güç-gerilim grafikleriyle gösterilmiştir. Sonuçlar ise panellerin buzlanan taraflarının ve tesisin çevresindeki karların dizelerin performansını etkilemesi ile ısı davranış yeterince açıklanamamıştır ve yeni bir dinamik termal modele gereksinim olduğunu göstermiştir.

Decker ve Jahn (1997) Almanya'da binaların çatılarına 2000'e yakın şebekeye bağlı FV tesiste montajı yapılan panelleri kullanarak çalışma yapmıştır. Bu tesislerin gücü 1 MWp ile 5 MWp arasındadır. 2000 FV tesisten toplam 392 kWp'lık güce sahip olan 172 tane FV tesis incelenmiştir. Bu makalede veriler saha ölçümleri ve L-MAP adlı izleme programı ile elde edilmiştir. Ağaçların ve binaların panellere parçalı gölge yapması nedeniyle verim ve performansının olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir. Performans oranı (PR)'nın %71 den düşük olan yedi tesisin üçünün kısmi gölgelemenin etkisi ile olduğu açıklanmıştır. Dört tesisten üçünün bağlantılarının devre dışı bırakılması ile panel dizilerinin çalışmaması ve bir tesisin ise inverterinin zayıf gerilime maruz kalması sebebiyle performans kayıplarını meydana getirdiği tespit edilmiştir.

Ayrıca kış şartlarının da performans düşüklüğünde payı olduğu belirtilmiştir. Gölgeleme durumunun bu tesislere olumsuz etkisi yaklaşık olarak %30'dur. Buna çözüm olarak ise gölgelemenin engellenmesi veya daha büyük FV tesislerde dizelerin mümkün olduğunca çok sayıda tutulması önerilmiştir. Bu sonuçlara göre gölgeli çalışan tesislerde yıllık yüzde %60-%79 arası performans alınabileceği belirtilmiştir. Verimin az olduğu tesislerde ise arızalar, gölgeleme durumları ve inverterlerin Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT) sistemlerinin yetersizliği üzerinde durulmuştur.

Díez-Mediavilla ve ark. (2013) şebekeye bağlı FV tesisler için deneysel çalışma ile belli kriterlere göre tesislerin performansının incelenmesi ve veri üretimlerinin karşılaştırılmasını amaçlamıştır. Çalışmada iki adet 100 kWp'lık FV tesisten yararlanılmıştır. İki tesis de manüel bir sistemle 5° ile 50° arasında değiştirilebilen eğim açıları ile yerleştirilmiştir. Bu iki tesis aynı bölgede, aynı kurulumla sahip olmakla birlikte aynı ışıma ve hava koşullarına maruz bırakılmıştır. Fakat inverter yapıları farklıdır. Tesisin birinde transformatörsüz inverter kullanılırken diğerinde transformatörlü inverter kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda transformatörsüz olan inverterin transformatörlü invertere göre hem daha az maliyetli olduğu hem de daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir. Transformatörsüz inverterin maliyeti, transformatörlü invertere göre %10 daha azdır ayrıca performans olarak ise %1,2 daha iyidir.

Díez-Mediavilla ve ark. (2014) şebekeye bağlı iki FV tesisin her ikisi de transformatörsüz olmak üzere iki ayrı inverter teknolojisi (merkezi ve dize) üzerinde iki yıl boyunca maliyet ve performansları açısından karşılaştırma yapmıştır. İki tesis de manüel bir sistemle 5° ile 50° arasında değiştirilebilen eğim açıları ile yerleştirilmiştir. Bu iki tesis aynı bölgede, aynı ışıma, aynı hava koşullarına ve aynı kurulumla sahip olduğu belirtilmiştir. Amaç, her iki tesisin, yerleşim sisteminin verimliliğini etkileyen ana faktörlerin, uzun süreler boyunca toplanan çalışma verilerini dikkate alarak etkisini incelemektir. Sonuç olarak dize inverterin, merkezi invertere kıyasla maliyet ve performans olarak daha iyi olduğu belirtilmiştir.

Zheng ve ark. (2014) mikro inverterler, dize inverterler ve merkezi inverterlerin farklı gölgelenme durumlarında ve çeşitli bypass diyotlarının kullanımına göre FV dizilerdeki performansı analiz ederek karşılaştırmıştır. Mikro, dize ve merkezi inverterlerin daha önce FV dizilerin enerji çıkarımına olan etkileri detaylı olarak karşılaştırılıp ele alınmadığı ifade edilmiştir. Bu çalışmada PSPICE simülasyon programından yararlanılmıştır.

Bypass diyotuna sahip olmayan paneller için yarı veya tam gölgeli çalışmada merkezi inverterin verimi sırasıyla %69,27 ve %37,25, dize inverterin verimi %69,98 ve %39,38, mikro inverterin verimi %79,72 ve %57,80 olarak tespit edilmiştir. Bypass diyotuna sahip paneller için yarı veya tam gölgeli çalışmada merkezi inverterin maksimum ve minimum verimi sırasıyla %96,73, %70,77, %96,66 ve %57,36 olarak bulunmuştur. Dize inverterin yarı gölgede maksimum ve minimum verimi sırasıyla %96,99 ve %74,96 ve tam gölgede %96,93 ve %73,35 olarak tespit edilmiştir. Mikro inverterin yarı gölgede maksimum ve minimum verimi sırasıyla %96,99 ve %79,76 ve tam gölgede %96,63 ve %73,35 olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak ise bypass diyotuna sahip panellerde merkezi inverterlerin maliyet, performans ve güvenilirlik açısından ideal bir model olabileceği söylenmiştir.

Eke ve Demircan (2015) iki FV sistemin günlük performansları ve mevsimlere göre gölgelenme etkilerini incelemiştir. Bu FV sistemlerin eğim açısı dikey düzlemde 60° olup binanın cephesinde 5 sıra bulunmakta ve iki özdeş dizinin verimleri karşılaştırılmıştır. Birinci dize yalnızca bir sıra gölgelenmeye sahipken ikinci dize de iki sıra gölge bulunmaktadır. Bu karşılaştırmada, dizilerin verimlerinin performansların yıllık ortalama yaklaşık olarak %16 oranında değiştiği belirtilmiştir. Kış aylarında, ağacın oluşturduğu gölgenin etkisi, sıra gölgelemenin olmadığı elektrik veriminde %1'den azdır. Ancak yaz aylarında hesaplanan verimin farkı yaklaşık % 15'tir. Yıllık güneş ışıınımı, hem deneysel verilerle hem de PVsyst simülasyon programıyla simüle edilerek karşılaştırılmıştır. İnverterlerin yıllık toplam enerjisi sadece tek sıra gölgeli inverter için 1072 kWh/kWp ve iki sıra gölgeli inverter için 889 kWh/kWp olarak hesaplanmıştır. Dizi düzlemlerinde yıllık ışıınım 1255 kWh/m² olarak ölçülmüş, yatay ışıınlama arasındaki fark bina oryantasyonu nedeniyle 245 kWh/m² olarak ölçülmüştür. Günlük ortalama inverter verimliliği yaklaşık %85'tir, ancak giriş gücü ve %20'nin üzerindeki nominal güç oranları düşünüldüğünde, günlük ortalama verimlilik yaklaşık %92,5 olarak hesaplanmıştır.

Ramaprabha ve Mathur (2012) farklı fotovoltaiik dize sistemlerinde gölgelenmenin etkilerini analiz etmek ve bypass diyotlarını ekleyerek kayıpları azaltmayı amaçlamıştır. Farklı gölgelenme durumları analiz edilmiştir. Deneysel analizin ekonomik olarak pahalı olması, zaman alması ve belirli hava durumu şartlarına bağlı olması nedeniyle gölgelenmenin gözlemlenmesinin zor olduğu ifade edilmiştir. Bu sebeplerden dolayı bilgisayar ortamında bir MATLAB M kodu yazılarak belirli bir sayıdaki, paralel veya seri bypass diyotları ile model oluşturulmuştur. Parçalı

gölgelenme koşulları altında maksimum güce ulaşmak için, bir panel veya hücre grubuyla paralel olmayan bir bypass diyotunun bağlanması gerektiği belirtilmiştir.

Woyte ve ark. (2003) tarafından şebekeye bağlı 5 kWp'lık bir FV sistemde, kısmi gölgeli dizilerin performansa olan etkileri analiz edilmiştir. FV sistemler merkezi inverter, dize inverter ve mikro inverterden oluşmaktadır. Paneller, güneşe dönük ve 30° eğime sahiplerdir. İki yıl boyunca gerçekleştirilen çalışma ile gölgeleme kayıpları izlenmiştir. Sonuçlar, düzensiz şekilli engellerin fotovoltaik diziye yakınlığı nedeniyle yapılan simülasyonların gölgeleme kayıplarını %10'a kadar düşük tahmin ettiğini göstermiştir. İncelenen sistem için farklı inverter tiplerinin gölgeleme durumları veya uzun panel dizileri ile orantılı kayıplar konusunda önemli farklılıklar doğrulanamamıştır. Bu makalede, PVcad ve StaSol simülasyon programlarından yararlanılmıştır. FV sistemin genel performansı %66 ve gölgelenme sonrası performans normal çalışma koşullarında %77 olarak hesaplanmıştır. Bu makale sonucunda ortaya çıkan verileri daha iyi ve kapsamlı bir ortamda doğrulamak için, farklı bölgelerde ve farklı gölgelemelerle benzer saha testi kurulması önerilmiştir.

Andenæs ve ark. (2018) panellerde biriken kar ve buzların hem fotovoltaik panellere hem de elektriksel üretime olan etkilerini araştırmıştır. Kar ve buz birikintilerinin, Binaya Entegreli Fotovoltaik (BIPV) sistemler üzerinde yarattığı olumsuzluklar incelenmiştir. Ayrıca karın derinliğinin, yansımalarının ve farklı gölgelenme durumlarının (az gölgelenme ve parçalı gölgelenme) FV sistemlere olan etkileri ele alınmıştır. Kışın FV panellerdeki kar ve buz birikintilerinin, FV sistemlere gelen güneş ışığını düşürmesi ile DC çıkış gücünün %1'den düşük olmasına neden olacağından dolayı, tesisin üretim yapamayacağı belirtilmiştir. Buna ek olarak panel üzerindeki kar kalınlığının iki santimetreye ulaşması bile FV performansı çok düşürürken kar kalınlığının on santimetreye ve daha üzerine çıkması durumunda ise FV performansın durma noktasına geldiği ifade edilmiştir.

Ubisse ve Sebitosi (2009) Afrika'daki tek panele sahip ev sistemlerine yönelik olarak gölgelenmenin ve kirlenmenin neden olduğu kayıpları minimuma indirmeyi hedeflemiştir. FV panellerin eğim açısı 37°'dir. Gölgelemeden ve kirlenmelerden kaynaklanan performans düşüklüğünün giderilebilmesi için FV panellerde, bypass diyot kullanımı önerilmiştir. Farklı gölgelenme durumları için tek bir panelde bulunan 36 FV panel üzerinde yapılan çalışmada, bir panel için altı adet bypass diyotunun yeterli olabileceği ifade edilmiştir.

Dolara ve ark. (2013) monokristal ve polikristal panellerin, farklı gölgeleme koşullarına göre performansı analiz edilmiştir. Tesis, her biri 60 seri bağlı hücreye, üç bypass diyotuna sahiptir. Tüm paneller güneye bakmakta olup sabit eğim açıları 30° 'dir. Tek bir FV hücrenin % 50'si gölgelendiğinde FV panel performansının % 30'dan fazla düştüğü belirtilmiştir. FV panel dikey, yatay ve çapraz olarak gölgelendirilmiş ve tek bir hücrenin gölgelenmesiyle benzer sonuçlar ortaya çıktığı ifade edilmiştir. Ayrıca monokristal ve polikristal hücre yapılarının, verim olarak birbirlerine yakın olduğu açıklanmıştır.

Deline (2010) tarafından 1,5 kW'lık konut FV sistemindeki çoklu dize inverterinin, DC-DC dönüştürücülü ve DC-DC dönüştürücüsüz olarak gölgeli çalışma durumu incelenerek sisteme olan etkisi belirlenmiştir. Panellerin eğim açısı $18,5^\circ$ 'dir. Gölgelemenin sebep olduğu performans kayıplarının % 40'ını gerilim uyumsuzlukları oluşturmuştur. DC-DC dönüştürücü kullanılan çoklu dize inverterlerinde performans %5 ile %10 arasında artmıştır ayrıca gölgelemeden dolayı azalan performansında %24 ile %48 arasında arttığı gözlemlenmiştir.

Li ve Zheng (2011) FV panellerin, farklı bypass diyot yapıları ile çeşitli gölgeleme durumlarının üretime olan etkisi gözlemlenmiştir. Akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristikleri analiz edilmiştir. Farklı gölgeleme durumlarında FV sistemin performansının değişken olabileceği ifade edilmiştir. Ayrıca MPPT'de birden fazla tepe gücünün meydana geldiği söylenmiştir. Bu çalışmanın sonucunda enerji üretiminin artırılması için, hem yeni FV panel modellenmesi hem de MPPT yapısının eksik yanlarının giderilmesi önerilmiştir.

Bulanyi ve Zhang (2014) şebekeye bağlı bir konut FV sisteminde gölgeleme durumları üzerinde araştırmalar yapmış, çeşitlendirmiş ve elektriksel olarak performansın artırılması için çalışma yapmıştır. Buna ilave olarak bypass diyotlarının panellere olan etkileri üzerinde durulmuştur. Gölgelemeler, öznel ve nesnel olmak üzere iki kısma ayrılmıştır. Nesnel gölgelemenin, hava olayları sonucu (örneğin bulut ve sis) meydana gelip ışınlı azalttığı, öznel gölgelemenin ise bazı objelerin panel üzerine yapışıp gölge yapması ile ya da belirli bir uzaklıkta panele etki yapabilecek durumda bulunmaları ile meydana geldiği ifade edilmiştir. Ayrıca öznel gölgeleme de, dinamik ve statik olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Statik gölgeleme, objelerin panel üzerine yapışıp gölge yapması ile oluşurken dinamik gölgeleme ise güneşin gün boyunca değişen konumuna göre meydana geldiği belirtilmiştir. Gölgenin az olduğu zamanlarda kullanılan bypass diyotlarının performansı düşürdüğü tespit edilmiştir. Ayrıca gölgelere

alınabilecek tedbirlerin ise kurulumun yapılmadan önce konumun iyi belirlenmesi, panellerin düzenli olarak temizlenmesi ve FV sistemin düzgün şekilde tasarlanmasının gerekli olduğunun önemine vurgu yapılmıştır.

Hassaine ve ark. (2014) tarafından şebekeye bağlı FV sistemlerde merkezi inverter, dize inverter, çoklu dize inverter ve mikro inverter yapıları incelenmiştir. Bu inverterlerin istenilen seviyede çalışma durumlarının, kontrol stratejileri ile ilişkili olduğu belirtilmiştir. FV sistemin maliyetini düşürebilmek için ortak bir baralı inverter yapısı önerilmiştir. Tek fazlı inverterlerin kontrol stratejileri DC-DC dönüştürücülü ve DC-DC dönüştürücüsüz olarak analiz edilmiştir. Üç fazlı inverterler ise dq, $\alpha\beta$ ve abc kontrol yapıları ile açıklanmıştır.

Yılmaz ve Dinçer (2017) tarafından inverter kapasitesinin büyük ölçekli güneş enerjisi tesislerinin performansına etkisi incelenmiştir. Farklı inverter tiplerinin performansı, çeşitli ölçüm ve simülasyon metotları yardımıyla analiz edilmiştir. Florida, Gainesville bölgesinde bulunan 43 aktif fotovoltaik güç üretim tesisinden elde edilen ölçüm sonuçları ve Pvsyst yazılımı sayesinde elde edilen 39 simülasyon sonuçları, inverter kapasitesinin performans üzerindeki etkisini analiz etmek için kullanılmıştır. Bulgular, dize inverterin, mikro invertere kıyasla %4,09 daha fazla enerji ürettiğini; merkezi inverterin mikro inverterden %5,45 daha fazla enerji ürettiğini ve merkezi inverterin yine dize invertere kıyasla %1,3 daha fazla enerji ürettiğini göstermektedir. Ayrıca, dize inverterdeki kaybın mikro invertere kıyasla %43,93 daha az olduğu; merkezi inverterdeki kaybın mikro inverterden %60,4 daha az olduğu ve merkezi inverterdeki kaybın yine dize inverterden %29,37 daha az olduğu gözlenmiştir.

Nuotio ve ark. (2014) çatılardaki FV sistemler için panele entegreli mikro inverter mimarisi tasarlamıştır. Bu tasarı ile amaç, FV sistemde daha kolay kurulum, daha fazla güvenilirlik daha fazla enerji elde etmektir. Geleneksel mikro inverter ile dize inverterli FV sistem karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda dize inverter maliyet ve performans olarak daha avantajlıdır. Mikro inverter; seri bağlantılı, çok amaçlı, düşük voltajlı ve AC panele entegreli olarak tasarlanmıştır. Önerilen seri bağlantılı çok amaçlı düşük gerilimli mikro inverter mimarisi, dize inverterlerin maliyetini, DC güç optimize edicilerinin çok amaçlılığını ve geleneksel mikro inverterlerin basitliğini birleştirdiği belirtilmiştir.

Gazis ve ark. (2013) her bir FV panelin en üst seviyede çalışabilmesini sağlamak için gereken inverter topolojisini belirlemeye çalışmıştır. Bu yüzden inverter topolojilerinin performansları PVSyst ile simüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre

mikro inverterler gölgeli ortamlarda, dize inverterlerden daha iyi performans göstermişlerdir. Ancak gölge olmayan ortamlarda ise tam tersi bir durum meydana gelmiştir. Maliyet olarak geri ödeme süreleri bakımından dize inverterlerin, mikro inverterlere göre daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca mikro inverterlerin gölgeli ortamlarda çok yüksek performans gösterdikleri de belirlenmiştir. Mikro inverterlerin kısmi gölgeleme altında elektriksel performansı %11,36 artmıştır. Gölgesiz koşullarda ise mikro inverterlerin elektriksel performansı %3,66 düşmüştür. Dize inverterlerin geri ödeme süresi, gölgesiz koşullarda üç veya dört yıl olarak tespit edilmiştir. Gölgeli koşullarda ise geri ödeme süresi beş veya altı yıl olarak hesaplanmıştır. Mikro inverterlerin geri ödeme süreleri ise gölgeli ve gölgesiz durumlarda altı veya yedi yıl olarak bulunmuştur.

Deline ve ark. (2012) üç farklı gölgeleme durumu altında mikro inverter ve dize inverterlerin performanslarını karşılaştırmak ve güç elektroniğinin bu şartlarda nasıl bir etki göstereceğini belirlemeyi amaçlamıştır. Bunun için birkaç konut tesisinden de yıllık gölgeleme verileri alınmıştır. Bu alınan veriler, iki adet yan yana kurulan 8 kW'lık FV tesis için gerçekleştirilecek tasarımda kullanılmıştır. Panellerin eğim açısı 20°'dir. FV sistemin birinde mikro inverter diğerinde ise dize inverter kullanılmıştır. Hafif, orta ve ağır gölgeleme koşulları altında yapılan testlerde mikro inverterlerin performansı dize inverterlerden daha iyi olduğu belirlenmiştir. Mikro inverterler, dize inverterlerle farklı gölgeleme koşulları altında karşılaştırıldığında hafif gölgeleme koşullarında %4, orta gölgelemede %8 ve ağır gölgeleme durumunda ise %12 oranında daha iyi verime sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca gölge arttıkça mikro inverterlerin performansı da artmıştır. Son olarak, güç elektroniklerinin gölgeden dolayı oluşan kayıpları geri kazanma oranı yaklaşık %50 olarak belirlenmiştir.

Zheng ve ark. (2012) FV enerji özelliklerinin farklı dönüştürücülerle (merkezi, dize ve mikro) farklı gölgeleme koşullarında nasıl etkilendiğine odaklanmıştır. Ayrıca FV paneller ve diziler açısından farklı bypass diyotları kullanılarak bu diyotların etkileri incelenmiştir. Gölgeleme olmadan, FV sistemi her üç dönüştürücü için aynı enerji verimine sahip olduğu görülmüştür. Gölgeleme altında ve bypass diyotları olmadan, mikro dönüştürücü tabanlı FV sistemi en yüksek enerji verimine sahipken, merkezi dönüştürücü tabanlı FV sistemi en düşük enerji üretimine sahip olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca makalede farklı dönüştürücü programları için FV dizi özelliklerinin simülasyon çalışması için bir Newton-Raphson algoritması geliştirilmiştir. Bu çalışmada bypass diyotuna sahip olmayan panellerdeki merkezi inverterlerin yarı ve tam gölgedeki güç

çıkışı sırasıyla 13,65 kW ve 7,34 kW, dize inverterlerin 13,79 kW ve 7,76 kW, mikro inverterlerin 15,71 kW ve 11,39 kW olarak ölçmüştür. Bypass diyotuna sahip panellerdeki merkezi inverterlerin yarı ve tam gölgedeki maksimum güç çıkışı sırasıyla 19,0610 kW ve 19,0475 kW, dize inverterlerin 19,1124 kW ve 19,1012 kW, mikro inverterlerin 19,1014 kW ve 19,1127 kW olarak bulunmuştur.

Sharkawi ve Hassan (2015) 288 kW'lık güce sahip olan bir fotovoltaik sistemde bulunan merkezi, dize ve mikro inverter yapılarının farklı gölgelemelerdeki performansı ve maliyet analizini yapmıştır. Bu çalışma için PV SOL Expert adlı simülasyon programından yararlanılmıştır. Simülasyon için hafif gölgelemede ağaçlar, orta gölgelemede binalar ve ağır gölgelemede ise duvarlar kullanılmıştır. Hafif gölgede % 6,6 gölge kaynaklı verim kaybı ve %79,5 performans ile en iyi çalışan inverter tipinin dize inverter olduğu belirtilmiştir. Orta gölgede ise %20,1 ile gölge kaynaklı en düşük verim kaybına mikro inverter sahipken en iyi performans oranına ise %76,3 ile dize inverter sahip olduğu belirtilmektedir. Ağır gölgede ise hem gölge kaynaklı verim kaybı %44'lük oranla en düşük olan hem de %61,3'lük performans ile mikro inverterlerin en iyi çalışan inverter tipi olduğu ifade edilmektedir. Farklı gölgelemelerde büyük ölçekli bir fotovoltaik sistemde dize inverterin en iyi performansa sahip olduğu tespit edilmiştir. Küçük ölçekli fotovoltaik sistemlerde ise en iyi performansa mikro inverterlerin sahip olduğu ifade edilmiştir. Ekonomik olarak yapılan karşılaştırmada ise en maliyetli inverter tipinin mikro inverter olduğu belirtilmiştir.

Mondol ve ark. (2007) yaptıkları çalışmada şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemde, 13 kVA değerinde, 415 V ve 3 fazlı inverter kullanmıştır. Minimum eğim açılı ve dikey pozisyonda bulunan bir panelin yıllık inverter verimliliği %81,6 olarak tespit edilmiştir. Yatay pozisyonda konumlandırılmış panellerin, Haziran ayındaki inverter verimliliği %88,7 iken Aralık ayındaki inverter veriminin ise Haziran ayına göre %25 daha düşük olduğu bulunmuştur.

Haydaroğlu ve Gümüş (2017) yaptıkları çalışmada iki ayrı grupta (kirli paneller ve temizlenmiş paneller) aynı tip 30 kW'lık ABB TRIO-27.6 TL-OUTD inverterler kullanmışlardır. Sonuçlara göre panelleri temizlenmiş olan inverter grubunun, kirli panellerde bulunan inverter grubuna göre günlük enerji üretimi %4,86 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Mostefaoui ve ark. (2018) çalışmasında şebeke bağlantılı Sunny Mini Central 11000TL tipi inverterleri tercih etmişlerdir ve temizlenmiş panellerdeki inverterin verimi %98.68, kirli olan paneldeki inverterin verimi ise %98,15 olarak ölçülmüştür.

Mohsin ve ark. (2018) ise, iki adet ABB mikro inverter kullanırlarken paneller temizlendikten sonra enerji veriminde %8,7 artış söz konusu olmuştur. Bu sonuçlara göre merkezi, dize veya mikro invertere sahip tesislerdeki panellerin yüzeyinde yapılan temizlik, inverter tiplerinin çalışma performansına ve verimine olumlu anlamda etki yapmaktadır.

Kymakis ve ark. (2009) Girit, Sitia'da bulunan, 171,36 kWp kurulu güce sahip, şebeke bağlantılı fotovoltaik parkın performansını bir yıl boyunca incelemişlerdir. FV parkta, Sunny Boy SB 2500 (2300 W nominal güce sahip) marka dize inverter ve polikristal panel tipi kullanılmıştır. FV paneller, güney yönlü ve 30° eğim açısı ile kurulmuştur. Aylık ortalama günlük dizi verimi 2,25 ile 6,6 saat/gün arasında ve nihai verim ise 1,95 ile 5,07 saat/gün arasında bulunmuştur.

Ayompe ve ark. (2011) İrlanda'nın Dublin şehrindeki Dublin Teknoloji Enstitüsü'ndeki Focas Enstitüsü binasının çatısında kurulu 1,72 kWp güce sahip şebekeye bağlı FV sistemin performansını bir yıl süreyle ölçmüşlerdir. FV tesiste, 53° eğim açısıyla güneşe yönlendirilmiş monokristal silikon paneller ve ayrıca 1550 W nominal güce sahip dize inverter tercih edilmiştir. Şebekeye bağlı FV sistemde, ortalama FV panel verimliliği, sistem verimliliği, inverter verimliliği, nihai verim, referans verim, dizi verimi, yakalama kayıpları, sistem kayıpları, CF ve PR değerleri sırasıyla %14,9 %12,6, %89,2, 2,41 kWh/kWp/gün, 2,85 kWh/kWp/gün, 2,63 kWh/kWp/gün, 0,23 saat/gün, 0,22 saat/gün, %10,1 ve %81,5 olarak ölçülmüştür.

Huang ve ark. (2011) Tayvan'da kurulu olan ve Endüstriyel Teknoloji Araştırma Enstitüsü'nden aldıkları üç yıllık verilerle 202 şebekeye bağlı FV sistemin performansını incelemişlerdir. Tayvan'daki ortalama nihai verim ve performans oranı sırasıyla 2,61 saat ve 0,74'tür.

Leloux ve ark. (2012) Fransa'da 6868 adet kurulu, FV konut sistemden alınan verilerle performans analizi gerçekleştirmişlerdir. FV konut sistemlerinde kristal silikon, arka kontak (back contact) silikon, çok bağlantılı içsel ince tabaka (HIT) ve bakır indiyum selenit ince film (CIS) tipi paneller tercih edilmiştir. FV paneller, genellikle 20° ile 50° arasında bir eğim açısına sahiptir. Ortalama performans oranı %76'dır.

Eke ve Demircan (2013) Türkiye'nin Muğla şehrinde, yaklaşık bir yıl boyunca multi kristalli silikon panellere sahip FV tesisi incelemişlerdir. Bu çalışmada, 2150 W maksimum çıkış gücüne sahip, tek fazlı, 2150 W maksimum AC çıkışlı, Solarmax 3000E markalı dize inverter kullanılmıştır. Panellerin yönleri güneye bakmaktadır. Ancak eğim açıları mevsimsel olarak değiştirilmiştir. FV paneller, yaz mevsiminde (Mayıs-Ekim) 15° , kış mevsiminde (Kasım-Nisan) ise 35° eğim açısına sahiptir. FV tesisdeki sistem kaybı %15, panelin yıllık ortalama verimi %9,54 ve performans oranı ise 0,72 olarak bulunmuştur.

Ghiani ve ark. (2013) İtalya'nın Sardunya bölgesinde kurulu olan şebekeye bağlantılı iki fotovoltaik tesisin performans analizini gerçekleştirmişlerdir. İlk fotovoltaik tesis (FV1), yere monteli kurulumu sahipken ikinci fotovoltaik tesis (FV2) ise çatı üstüne kurulmuştur. FV1 tesisinde, polikristal paneller ve 12,5 kW nominal güce sahip dize inverterler kullanılmıştır. FV2 tesisinde ise polikristal panellerin yanı sıra 300 kW (merkezi) ve 4,5 kW (dize) nominal güce sahip inverterler kullanılmıştır. FV1 tesisinde panellerin eğim açısı Mayıs, Haziran, Temmuz ve Ağustos ayında 11° ve diğer aylarda ise 30° 'dir. FV2 tesisinde ise panellerin eğim açısı 30° 'dir. FV1 ve FV2 tesislerinin yıllık ortalama performans oranları sırasıyla %87,3 ve %83,2 olarak elde edilmiştir.

Ghouari ve ark. (2013) Cezayir'de Batna Üniversitesi'nde bulunan 1,6 kWp, çatıya kurulu şebeke bağlantılı FV sistemde deneysel performans analizi gerçekleştirmişlerdir. FV tesislerde, 40° sabit eğim açısıyla güneye bakan monokristal paneller yer almaktadır. Bunun yanı sıra tek fazlı ve 1600 Wp maksimum güce sahip dize inverter kullanılmıştır. İnverterin verimi %92 ve FV tesisin performans oranı ise %51-%62 arasındadır.

Sharma ve Chandel (2013) Hindistan, Khatkar-Kalan'da kurulu, 190 kWp güce sahip, FV tesisin performansını analiz etmişlerdir. Bu çalışmada, Advanced Energy System (AES) marka, iki adet 100 kW'lık, üç fazlı merkezi inverter kullanılmıştır. Bu tesislerde polikristal paneller bulunmaktadır. Paneller, güney yönünde ve 25° sabit eğim açısı ile kurulmuştur. Nihai verim, referans verim, performans oranı, kapasite faktörü, sistem verimliliği sırasıyla 1,45 saat/gün ile 2,84 saat/gün arasında, 2,29 saat/gün ile 3,53 saat/gün arasında, %74, %9,27 ve %8,3 olarak tespit edilmiştir.

Zain ve ark. (2013) Malezya'nın Selangor Darul Ehsan bölgesinde, Universiti Teknologi MARA Shah Alam'da bulunan 6,11 kWp güce ve polikristal panele sahip ve 10 kWp güce ve monokristal panele sahip çatıya kurulu şebekeye bağlı FV tesisin performansını bir yıl süreyle karşılaştırmışlardır. 6,11 kWp'lık FV sistemde SB5000TL (4600 W nominal güce sahip) marka dize inverter, 10 kWp'lık FV sistemde ise STP8000TL (8000 W nominal güce sahip) marka dize inverter kullanılmıştır. Polikristal panellerin bulunduğu FV tesiste PR %80 iken, monokristal panellerin kurulu olduğu FV tesiste ise PR %77'dir. Ortalama panel verimliliği monokristal ve polikristal paneller için sırasıyla %11,8 ve %11,5'tir.

Kumar ve ark. (2014) Hindistan'ın Tiruchirappalli şehrinde 20 kWp'lık güce sahip, çatı üstüne kurulu olan şebeke bağlantılı FV tesisten elde edilen verileri ve sonuçları tartışmışlardır. FV tesiste üç fazlı ve 20 kWp nominal güce sahip merkezi inverter ve polikristal paneller kullanılmıştır. Panellerin verimi %10,14 ile %12,6 arasında elde edilmiştir. İnverterin verimi ise ortalama olarak %93,38 olarak bulunmuştur. Yıllık ortalama performans oranı ve kapasite faktörü ise sırasıyla %82 ve %17,2 olarak tespit edilmiştir.

Tripathi ve ark. (2014) Batı Hindistan, Gujarat'ta, aynı bölgede bulunan ve aynı sıcaklık ve ışıma sahip olan iki adet 500 kWp şebeke bağlantılı FV sistem üzerinde performans analizi ve karşılaştırma yapmışlardır. FV sistemlere, multi kristalli silikon ve amorf silikon paneller, 22.22° eğim açısıyla güneye bakacak şekilde kurulmuştur. Şebeke bağlantılı FV sistemlerde 315 V AC çıkışlı inverter kullanılmıştır. Multi kristalli silikon tesisinin dizi verimi, 2,92 saat/gün ile 5,46 saat/gün arasında, amorf silikon tesisi için ise dizi verimi 2,98 saat/gün ile 5,05 saat/gün arasındadır. Multi kristalli silikon tesisinin nihai verimi, 2,79 saat/gün ile 5,14 saat/gün arasında, amorf silikon tesisi için ise nihai verimi 2,62 saat/gün ile 4,84 saat/gün arasındadır. Multi kristalli silikon tesisinin panel ve sistem verimi sırasıyla %11,07 ve %6,56 iken amorf silikon tesisinin panel ve sistem verimi ise sırasıyla %10,52 ve %6,06'dır. Multi kristalli silikon tesisi için yıllık ortalama nihai verim 4,25 saat/gün, yıllık ortalama yakalama kayıpları 1,21 saat/gün ve yıllık ortalama sistem kayıpları 0,22 saat/gün'dür. Amorf silikon tesisi için yıllık ortalama nihai verim 3,99 saat/gün, yıllık ortalama yakalama kayıpları 1,37 saat/gün ve yıllık ortalama sistem kayıpları 0,31 saat/gün'dür. Multi kristalli silikon tesisinin ortalama performans oranı %75,3 ve amorf silikon tesisinin ortalama performans oranı ise %70,8 olarak bulunmuştur.

Al-Otaibi ve ark. (2015) Kuveyt'te, Azda ve Sawda isimli iki okulun çatılarında sırasıyla 85,05 kWp ve 21,6 kWp güce sahip, bakır indiyum galyum selenit (CIGS) ince film panellerle kurulu, şebeke bağlantılı FV sistemlerin bir yıllık performansını değerlendirmişlerdir. FV sistemlerde, 10 kW ve 17 kW nominal güce sahip üç fazlı dize inverterler kullanılmıştır. Panellerin eğim açısı 20° olarak ayarlanmıştır. FV sistemlerin yıllık ortalama günlük nihai verimleri 4,5 kWh/kWp/gün olarak bulunmuştur. Azda Okulu 0,7 ile 0,82 arasında ve Sawda Okulu ise 0,7 ile 0,85 arasında performans oranı elde edilmiştir.

Başoğlu ve ark. (2015) Türkiye'nin Kocaeli ili, Kocaeli Üniversitesi'nde Mühendislik Fakültesi çatısında kurulu, üç farklı fotovoltaiik panel teknolojisinin bir yıllık enerji performansını değerlendirmişlerdir. FV tesislerde kristalli (c-Si), multi kristalli (mc-Si) ve kadmiyum tellür (cdTe) tipi paneller 30° eğim açısı ile güneye doğru kurulu şekilde kullanılmıştır. Ayrıca tesiste üç adet SMA1300TL (1300Wp nominal güce sahip) marka dize inverter bulunmaktadır. Performans oranının ortalama değerleri mc-Si, c-Si ve CdTe panelleri için sırasıyla %83,8, %82,05 ve %89,76'dır. Ortalama dizi verimi değerleri mc-Si, c-Si ve CdTe panelleri için sırasıyla %12,72, %12,01 ve %10,75'tir. Ortalama kapasite faktörleri mc-Si, c-Si ve cdTe için sırasıyla %16,07, %15,75 ve %17,38'dir.

Emziane ve Ali (2015) Birleşik Arap Emirlikleri'nin Abu Dabi şehrinde, çatıya monteli dört farklı FV sistemin performans analizini bir yıl süreyle gerçekleştirmişlerdir. Bu saha çalışmasında bulunan dört farklı FV sistemin özellikleri sırasıyla şu şekildedir: Sistem 1'de multi kristalli panel (m-Si), 23° eğim açılı ve bu sistemde kullanılan dize inverterin maksimum AC gücü 13,800 W, Sistem 2'de multi kristalli panel (m-Si), 20° eğim açılı ve bu sistemde kullanılan dize inverterin maksimum AC gücü 4000 W, Sistem 3'de tek kristalli panel (c-Si), 3° eğim açılı ve bu sistemde kullanılan dize inverterin maksimum AC gücü 7000 W, Sistem 4'te c-Si, 25° eğim açılı ve bu sistemde kullanılan dize inverterin maksimum AC gücü 4600 W'dır. Bu dört FV sistem için CF değeri %16-%21 arasındadır. Sistem 1, Sistem 2, Sistem 3 ve Sistem 4 için nihai verim sırasıyla 5,1 kWh/kWp/gün, 6,2 kWh/kWp/gün, 4,6 kWh/kWp/gün ve 4,7 kWh/kWp/gündür. Bu sistemlerin panel verimliliği sırasıyla %14,2, %14,2, %18,4 ve %19,3'tür. İnverter verimliliği sırasıyla %97,3, %97,1, %96,1 ve %96,1'dir. Sistem 1, Sistem 2, Sistem 3 için performans oranı sırasıyla %80, %81 ve %70'tir. Bu çalışmada Sistem 4 için performans oranı değeri verilmemiştir.

Famoso ve ark. (2015) İtalya'nın Sicilya bölgesinde bulunan şebeke bağlantılı altı fotovoltaik sistemden bir yıl boyunca izledikleri performans verileriyle, simülasyon çalışması sonucu elde ettikleri performans verilerini karşılaştırmışlardır. İki dize inverter (S1 ve S2) ve dört mikro inverter sistemi (M1, M2, M3 ve M4) olmak üzere toplam altı farklı FV sistem vardır. S1 ve S2'de panel tipi olarak polikristal paneller tercih edilmiştir. S1'de paneller, 25° eğim açısıyla güney yönünde, S2'de ise 22° eğim açısıyla dizinin biri batıya diğeri doğu yönüne bakacak şekilde yerleştirilmiştir. S1'de tepe gücü 2,86 kW, S2'de tepe gücü ise 5,98 kW'tır. Dört mikro inverter sisteminde de polikristal paneller kullanılmıştır. M1, M2, M3 ve M4'ün tepe güçleri, eğim açıları ve panellerin kurulduğu yönler sırasıyla 3 kW, 15° eğim açısı, güneydoğu, 3 kW, 17° eğim açısı, güneydoğu, 2,88 kW, 51° eğim açısı, güneydoğu ve 2,94 kW, 37° eğim açısı, güneydoğudur. S1, S2, M1, M2, M3 ve M4 için simülasyon çalışması sonucu elde edilen performans oranı değerleri sırasıyla 0,77, 0,83, 0,74, 0,77, 0,81 ve 0,77'dir. S1, S2, M1, M2, M3 ve M4 için tesisin gerçek verileri sonucunda elde edilen performans oranı değerleri sırasıyla 0,70, 0,84, 0,73, 0,77, 0,77 ve 0,79'dur. Son olarak ise M1, M2, M3 ve M4'ün enerji verimi geliştirilerek elde edilen performans oranı değerleri sırasıyla 0,85, 0,90, 0,86 ve 0,90'dır.

Milosavljević ve ark. (2015) Sırbistan'ın Niş şehrinde, Fen ve Matematik Fakültesi'nin çatısında kurulu, 2 kW'lık güce sahip fotovoltaik tesisleri bir yıl boyunca gerçek iklim koşulları altında analiz etmişlerdir. FV tesislerde, 2kW'lık nominal güce sahip, tek fazlı dize inverter (Sunny Boy 2000 HF-30) yer almaktadır. Ayrıca bu tesislerde monokristal silikon panel kullanılmıştır. FV panellerin eğim açısı 32° ve güneye doğru yönlendirilmiştir. Referans verim, kapasite faktörü ve yıllık ortalama performans oranı sırasıyla 1390,9 saat, %12,88 ve %93,6 olarak elde edilmiştir.

Okello ve ark. (2015) Güney Afrika'nın Port Elizabeth şehrinde Nelson Mandela Üniversitesi'nin Açık Hava Araştırma Tesisinde kurulu olan 3,2 kWp'lık güce sahip şebeke bağlantılı FV sistemin ölçülen verileri ile PVsyst programı ile gerçekleştirilen simülasyon verilerini bir yıl süreyle karşılaştırmışlardır. FV tesislerde yere monteli polikristal silikon paneller kullanılmıştır. Bu paneller 34° sabit eğim açısıyla kuzeye doğru kurulmuştur. Ayrıca FV tesislerde, 3,2 kW DC giriş ve 3 kW AC çıkışa sahip dize inverter bulunmaktadır. Yıllık ortalama referans verim, nihai verim, performans oranı, kapasite faktörü ve sistem kaybı sırasıyla 5,8 kWh/kWp/gün, 4,9 kWh/kWp/gün, %84,3, %20,41 ve 0,91 kWh/kWp/gün olarak elde edilmiştir.

Attari ve ark. (2016) Fas'ın Tangier şehrinde bir hükümet binasının çatısında kurulu olan şebeke bağlantılı FV sistemin performansını bir yıllık deneysel çalışma ile elde edilen verilerle analiz etmişlerdir. Bu çalışmada 5 kW'luk nominal güce sahip dize inverter ve güneğe doğru 32° eğim açısıyla yerleştirilmiş polikristal paneller kullanılmıştır. Panel verimliliği, sistem verimliliği, inverter verimliliği, performans oranı, kapasite faktörü ve nihai verim değerleri sırasıyla %12,39, %12, %96,7, %79, %14,84 ve 4,45 kWh/kWp/gün olarak bulunmuştur.

Boughamrane ve ark. (2016) Fas'ın Assa kasabesindeki yere monteli, 806,52 kWp kurulu güce sahip şebekeye bağlı FV tesisin verileri ile PVsyst simülasyon verilerini bir yıl süreyle karşılaştırmışlardır. FV tesiste 20° eğim açılı polikristal paneller ve 100 kW nominal güce sahip üç fazlı merkezi inverterler tercih edilmiştir. Bu çalışmada FV tesisin nihai verim, referans verim, sistem verimliliği, PR ve CF değerleri sırasıyla 4,57 kWh/kWp/gün, 6,763 saat/gün, %9,97, %70,14 ve %18'dir. PVsyst simülasyonu sonucunda nihai verim, referans verim, sistem verimliliği, PR ve CF değerleri sırasıyla 4,68 kWh/kWp/gün, 6,022 saat/gün, %10,36, %77,9 ve 19'dur.

Dabou ve ark. (2016) Güney Cezayir'in (Adrar) Sahra bölgesinde kurulan, farklı iklim koşullarında (açık, bulutlu ve kum fırtınalı), üç günlük izlenen verilerle, 1,75 kWp güce sahip, şebeke bağlantılı FV sistem üzerinde performans analizi yapmışlardır. FV tesiste monokristal paneller ve 1300 W nominal güce sahip FRONIUS IG 15 marka dize inverter kullanılmıştır. Açık gün için FV dizinin (panel) verimliliği, inverterin verimliliği, sistemin verimliliği, referans verim, dizi verimi, nihai verim, yakalama kayıpları, sistem kayıpları ve performans oranının değeri sırasıyla %10,88, %94,65, %10,29, 6,16 kWh/kWp/gün, 4,98 kWh/kWp/gün, 4,71 kWh/kWp/gün, 1,18 saat/gün, 0,26 saat/gün ve %76,5 olarak elde edilmiştir. Bulutlu gün için FV dizinin verimliliği, inverterin verimliliği, sistemin verimliliği, referans verim, dizi verimi, nihai verim, yakalama kayıpları, sistem kayıpları ve performans oranının değeri sırasıyla %11,84, %96,63, %11,44, 3,30 kWh/kWp/gün, 2,90 kWh/kWp/gün, 2,80 kWh/kWp/gün, 0,39 saat/gün, 0,09 saat/gün ve %85 olarak bulunmuştur. Kum fırtınalı gün için performans değerleri sırasıyla %11,05, %97,79, %10,8, 2,65 kWh/kWp/gün, 2,17 kWh/kWp/gün, 2,12 kWh/kWp/gün, 0,47 saat/gün, 0,04 saat/gün ve %80,2 olarak tespit edilmiştir. Aylık ortalama günlük dizi kayıpları 0,54 ile 1,38 saat/gün arasında ve sistem kayıpları ise 0,29 ile 1,52 saat/gün arasında olduğu tespit edilmiştir. Ortalama yıllık nihai verim, referans verim, inverter kayıpları, kapasite faktörü ve performans oranı sırasıyla 1336,6 saat, 1984 saat, %7,84, %15,26 ve %67,36 olarak elde edilmiştir.

Dobaria ve ark. (2016) Hindistan'ın Rajkot şehrindeki Darshan Mühendislik ve Teknoloji Enstitüsü binasının çatısında kurulu, 5,05 kWp güce sahip şebekeye bağlı FV tesisin performansını üç yıl süreyle analiz etmişlerdir. Bu çalışmada 15° eğim açılı polikristal paneller ve 5 kW nominal güce sahip tek fazlı dize inverterler tercih edilmiştir. Referans verim, dizi verim, nihai verim, yakalama kaybı, sistem kaybı ve PR değerleri sırasıyla 6,06 saat/gün, 4,71 saat/gün, 4,49 saat/gün, 1,35 saat/gün, 0,23 saat/gün ve %74 olarak edilmiştir.

Ghouari ve ark. (2016) Cezayir'de Batna Üniversitesi'ndeki Batna Üniversitesi'ndeki laboratuvar binasının çatısında kurulu 1,6 kWp güce sahip şebeke bağlantılı FV sistemin performans analizini bir yıl süreyle gerçekleştirmişlerdir. FV tesiste, monokristal paneller yer almaktadır. Ayrıca sıra tek fazlı ve 1600 Wp nominal güce sahip dize inverter tercih edilmiştir. Bu çalışmada nihai verim, referans verim, dizi verim, dizi yakalama kaybı, sistem kaybı, panel verimliliği, inverter verimliliği, sistem verimliliği ve PR değerleri sırasıyla 3,03 saat/gün, 5,21 saat/gün, 3,44 saat/gün, 1,73 saat/gün, 0,4 saat/gün, %9,93, %88,2, %8.75 ve %57 olarak elde edilmiştir.

Humada ve ark. (2016) Malezya'nın Bangi bölgesindeki Malezya Ulusal Üniversitesi enerji laboratuvar binasının çatısında kurulu 10 kW güce sahip şebekeye bağlı FV sistemin performansını bir yıl süreyle değerlendirmişlerdir. FV sistemlerde 17° eğim açılı monokristal ve bakır indiyum diselenit tipi paneller yer almaktadır. Ayrıca 10 kW nominal güce sahip üç fazlı dize inverterler tercih edilmiştir. Bu çalışmada referans verim 3,64 ile 5,12 saat/gün arasındadır. Monokristal paneller için dizi verimi, nihai verim, panel verimi, CF ve PR değerleri sırasıyla 3,11-4,27 saat/gün, 2,92-4,14 saat/gün, %10,7, %18 ve %73,5 olarak elde edilmiştir. Bakır indiyum diselenit paneller için dizi verimi, nihai verim, panel verimi, CF ve PR değerleri sırasıyla 3,19-4,38 saat/gün, 2,98-4,31 saat/gün, %13,2, %18,9 ve %77,5 olarak tespit edilmiştir.

Shukla ve ark. (2016) Hindistan'ın Bhopal şehrindeki MANIT kampüsünde bulunan Hostel isimli binanın çatısında kurulu, 110 kWp güce sahip şebeke bağlantılı FV sistemin performansını analiz etmişlerdir. Ayrıca bu FV sistemin verileri ile Solargis PV Planner isimli simülasyon programı ile elde edilen verileri karşılaştırmışlardır. FV sistemde 23° eğim açısına sahip kristal silikon (c-Si), amorf silikon (a-Si), kadmiyum tellür (cdTe) ve bakır indiyum galyum selenit (CSI) tipi paneller yer almaktadır. c-Si, a-Si, cdTe ve CSI panelleri için yıllık performans oranı değeri sırasıyla %71,6, %79,5, %77 ve %73,1 olarak elde edilmiştir.

Sidi ve ark. (2016) Moritanya'nın Nuakşot şehrindeki 15 MWp kurulu güce sahip şebekeye bağlı Şeyh Zayed tesisinin performansını bir yıl süreyle incelemişlerdir. FV tesiste yere monteli, güney yönüne doğru kurulu, 10° eğim açısına sahip amorf silikon ve mikromorf silikon paneller yer almaktadır. Ek olarak, 500 kW ve 760 kW nominal güce sahip merkezi inverterler kullanılmıştır. Bu çalışmada Dizi 1 ve Dizi 17'nin performans analizi yapılmıştır. Dizi 1 için dizi verimi, dizi yakalama kaybı, CF ve PR değerleri sırasıyla 4,38 saat/gün, 2,02 saat/gün, %17,75 ve %67,99 olarak elde edilmiştir. Dizi 17 için dizi verimi, dizi yakalama kaybı, CF ve PR değerleri sırasıyla 4,79 saat/gün, 1,58 saat/gün, % 19,54 ve % 75,25 olarak tespit edilmiştir.

Adar ve ark. (2017) Fas'ın Beni Mellal şehrindeki Fen ve Teknoloji Fakültesi'nin çatısında bulunan toplam 6 kW kurulu güce sahip şebekeye bağlı FV tesisin performansını dört ay süreyle değerlendirmişlerdir. Bu tesislerde her biri 2 kW güce sahip polikristal, monokristal ve amorf silikon paneller kullanılmıştır. Tüm panellerin eğim açısı 30° 'dir. Ayrıca 2300 W nominal güce sahip dize inverterler tercih edilmiştir. Dört ay için monokristal panellerin bulunduğu tesisin minimum ve maksimum referans verim, dizi verim, nihai verim, sistem kaybı, dizi yakalama kaybı ve PR değerleri sırasıyla 131,34- 404,9 saat, 118,27-176,6 saat, 111,18- 166 saat, %7,1- %10,6, %10,58- %229,4 ve %40,75- %88,68 arasındadır. Dört ay için polikristal panellerin bulunduğu tesisin minimum ve maksimum referans verim, dizi verim, nihai verim, sistem kaybı, dizi yakalama kaybı ve PR değerleri sırasıyla 131,34- 404,9 saat, 122,91-178,34 saat, 115,54- 167,64 saat, %7,37- %11, %3,63- %226,6 ve %41,4- %91,70 arasındadır. Dört ay için amorf silikon panellerin bulunduğu tesisin minimum ve maksimum referans verim, dizi verim, nihai verim, sistem kaybı, dizi yakalama kaybı ve PR değerleri sırasıyla 131,34-404,9 saat, 107,7-168,57 saat, 101,24-158,46 saat, %6,46-%10,11, %23,64-%236,47 ve %39,2 -%80,88 arasındadır.

Arráez-Cancelliere ve ark. (2017) PVSOL 2017 isimli simülasyon programını kullanarak toplam 5,1 kWp güce sahip şebeke bağlantılı FV konut sistemindeki mikro ve dize inverter teknolojilerinin performansını karşılaştırmışlardır. Mikro inverter, 215 W nominal güce sahiptir. Dize inverterin nominal gücü ise 3800 W'tır. Simülasyon modeli için tercih edilen konum, Kolombiya'nın Medellin şehrinde yer alan Antioquia Üniversitesi'nin Mühendislik binasıdır. Bu çalışmada, polikristal paneller, 10° eğim açısıyla güneşe bakacak şekilde ayarlanmıştır. Mikro inverter ve dize inverter sistemleri, kısmi gölgeli olan ve gölgeli olmayan şartlar altında incelenmiştir. Kısmi gölgeli olan dize inverter sistemi ve gölgeli olmayan dize inverter sisteminin

performans oranı sırasıyla %63,8 ve %72,4'tür. Kısmi gölgeli olan mikro inverter sistemi ve gölgeli olmayan mikro inverter sisteminin performans oranı sırasıyla %71,8 ve %78,3'tür.

Balaska ve ark. (2017) Cezayir'in Saida şehrinde kurulan, beş farklı türdeki FV panel tipinin performansını değerlendirmişlerdir. Multi kristalli (mc-Si), bakır indiyum selenit (CIS), çok bağlantılı içsel ince tabakalı (HIT) mono-kristal, amorf silikon ve mikrokristal silikonun tandem yapısı (a-Si_μc-Si) ve arka kontak monokristal (m-Si (B-C)) panel tipi bu çalışmada tercih edilmiştir. FV paneller, fiziksel sabit destek üzerine monte edilmiş ve 30° eğim açısıyla güneye bakacak şekilde kurulmuştur. Aylık ortalama günlük referans verimi en düşük 3,26 saat, en yüksek ise 7,18 saattir. mc-Si, CIS, HIT, m-Si (B-C) ve a-Si_μc-Si panellerinin günlük ortalama performans oranı sırasıyla %88,59, %93,29, %93,74, %91,63 ve %95,19'dur.

Elibol ve ark. (2017) Türkiye'nin Düzce şehrindeki Düzce Üniversitesi Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar Uygulama ve Araştırma Merkezi'nin çatısında kurulu olan şebekeye bağlı FV sistemin performansını bir yıl süreyle analiz etmişlerdir. FV sistemde bulunan 2,35 kW kurulu güce sahip monokristal paneller, 2,64 kW kurulu güce sahip polikristal paneller ve 2,40 kW kurulu güce sahip amorf silikon panellerin tümü 30° eğim açısıyla kurulmuştur. FV sistemde 2500 W nominal güce sahip tek fazlı dize inverterler tercih edilmiştir. Amorf silikon paneller için PR ve inverter verimliliği sırasıyla %73 ve %87,3'tür. Polikristal paneller için PR ve inverter verimliliği sırasıyla %81 ve %90,7'dir. Monokristal paneller için PR ve inverter verimliliği sırasıyla %91 ve %89,4'tür.

Emmanuel ve ark. (2017) Yeni Zelanda'nın Wellington şehrindeki Maungaraki Okulu'nun çatısında 10 kWp kurulu güce sahip şebekeye bağlı FV sistemin performansını değerlendirmişlerdir. FV sistemde 41° eğim açılı monokristal paneller ve 4990 W nominal güce sahip tek fazlı dize inverterler tercih edilmiştir. Dizi verimi 1,2 saat/gün ile 5,4 saat/gün arasındadır. Ortalama yıllık nihai verim ve referans verim sırasıyla 2,99 saat/gün ve 3,87 saat/gündür. Dizi yakalama kaybı ve sistem kaybı sırasıyla 0,19-1,14 saat/gün ve 0,09-0,42 saat/gün arasındadır. İnverter verimliliği, sistem verimliliği, CF ve PR değerleri sırasıyla %94,9 -%95,7, %11,96, %12,5 ve %78 olarak elde edilmiştir.

Haibaoui ve ark. (2017) Fas'ın Kazablanka şehrindeki Ben M'sik Üniversitesi Fen Fakültesi binasının çatısında kurulu olan 5,94 kWp güce sahip şebekeye bağlı FV tesisin bir yıllık performansını analiz etmişlerdir. FV tesiste 30° eğim açısına sahip

monokristal, polikristal ve amorf silikon tipi paneller yer almaktadır. Ayrıca 2000 W nominal güce sahip dize inverterler tercih edilmiştir. Amorf silikon paneller için nihai verim, sistem verimi, PR ve CF değerleri sırasıyla 4,33 saat, %7,21, %73,1 ve %18,05 olarak elde edilmiştir. Polikristal paneller için nihai verim, sistem verimi, PR ve CF değerleri sırasıyla 4,47 saat, %11,4, %75,6 ve %18,64'tür. Monokristal paneller için nihai verim, sistem verimi, PR ve CF değerleri sırasıyla 4,53 saat, %11,7, %76,7 ve %18,86 olarak tespit edilmiştir.

De Lima ve ark. (2017) Brezilya'nın Fortaleza şehrindeki Ceara Eyalet Üniversitesi'nde yere monteli 2,2 kWp güce sahip şebeke bağlantılı FV sistemin performansını yaklaşık bir yıl süreyle analiz etmişlerdir. FV sistemde, 13° sabit eğim açısıyla kuzeye yönlendirilmiş multikristal paneller kullanılmıştır. Ayrıca bu sistemde 2500 W nominal güce sahip dize inverterler tercih edilmiştir. Bu çalışmada referans verim, dizi verim, nihai verim, dizi yakalama kaybı, sistem kaybı, genel kayıplar, sistemin verimi, inverterin verimi, PR ve CF değerleri sırasıyla 5,6 kWh/kWp, 4,9 kWh/kWp, 4,6 kWh/kWp, 0,13- 1,42 kWh/kWp, 0,21- 0,32 kWh/kWp, 0,38- 1,71 kWh/kWp, %12, 6, %94,6, %82,9 ve %19,2 olarak elde edilmiştir.

Quansah ve ark. (2017) Gana'nın Kumasi şehrindeki Kwame Nkrumah Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Mühendislik Fakülte binasının çatısında kurulu, toplam 20 kWp güce sahip beş farklı şebekeye bağlı FV tesisin performansını bir yıl süreyle karşılaştırmışlardır. FV tesislerin her biri 4 kW güce sahip ve 5° eğim açısı ile kurulmuş ancak hepsinin panel tipi farklıdır. Bu tesislerde mc-Si, p-Si, a-Si, CIS ve HIT tipi paneller kullanılmıştır. FV tesislerin hepsinde 3800 W nominal güce sahip dize inverterler tercih edilmiştir. Bu çalışmada nihai verim değeri minimum 2,12 saat/gün (CIS), maksimum 3,10 saat/gün (p-Si) olarak elde edilmiştir. mc-Si, p-Si, a-Si, CIS ve HIT tipi panellerin bulunduğu FV tesislerin kapasite faktör değerleri sırasıyla %11,47, %12,9, %12,8, %8,8 ve %12,6'dır. mc-Si, p-Si, a-Si, CIS ve HIT tipi panellerin bulunduğu FV tesislerin PR değerleri sırasıyla %67,9, %76,3, %75,8, %52,3 ve %74,8'dir.

Sharma ve Goel (2017) Hindistan'ın Bhubaneswar şehrindeki Siksha 'O' Anusandhan Üniversitesi'nde bir binanın çatısında bulunan 11,2 kWp güce sahip şebeke bağlantılı FV sistemi bir yıl süreyle analiz etmişlerdir. FV tesislerde 21° eğim açısına sahip polikristal paneller kullanılmıştır. Ayrıca bu tesislerde üç fazlı, 11,6 kW nominal güce sahip dize inverter bulunmaktadır. FV sistemlerde yıllık ortalama aylık nihai verim, referans verim ve dizi verimi sırasıyla 3,67 saat/gün, 4,73 saat/gün ve 4,09

saat/gün olarak elde edilmiştir. Sistem kaybı, yakalama kaybı, FV panelin verimliliği, sistemin verimliliği, kapasite faktörü, inverterin verimliliği ve performans oranı sırasıyla 0,43 saat/gün, 0,64 saat/gün, %13,42, %12,05, %15,27, %89,83 ve 0,78'dir.

Wang ve ark. (2017) İspanya'nın Madrid şehrinde, şebekeye bağlı ve çatı üstünde kurulu olan üç farklı panel teknolojisini analiz etmişlerdir. Fotovoltaik tesislerin her biri MPPT ile bağımsız olup tek fazlı, 1,2 kW'lık nominal güce sahip dize invertere bağlıdır. Bu tesislerde, polikristal (multi kristalli) silikon (Poli-Si), amorf silisyum (ince film) (a-Si) ve kadmiyum tellür (cdTe) tipi, toplam gerilim ve akımları birbirine yakın ve 30° eğim açısına sahip paneller kullanılmıştır. Üç yıl boyunca incelenen panellerin yıllık toplam performans oranları %81,89 (poli-Si), %81,01 (a-Si) ve %81,01 (cdTe) olarak bulunmuştur. Üç yıl boyunca ortalama yıllık sistem kayıplarının oranı %10,08 (poli-Si), %10,36 (a-Si) ve %10,27 (cdTe) olarak tespit edilmiştir. Ayrıca inverter dönüşüm verimleri %89,92 (poli-Si), %89,63 (a-Si) ve %89,73 (cdTe) olarak elde edilmiştir.

Daher ve ark. (2018) Cibuti'de, Cibuti Araştırma Merkezi'nin Yeni ve Yenilenebilir Enerjiler Laboratuvarı'nda yere monteli 302,4 kWp güce sahip şebeke bağlantılı FV sistemin performansını dört yıl süreyle değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada 12° eğim açısına sahip polikristal paneller ve 100 kWp nominal güce sahip merkezi inverterler kullanılmıştır. Nihai verim, referans verim, dizi verimi, sistem kayıpları, dizi yakalama kayıpları, sistem verimliliği, inverter verimliliği, panel verimliliği, CF ve PR değerleri sırasıyla 4,7 kWh/kWp, 5,6 kWh/kWp, 5,1 kWh/kWp, 0,37 kWh/kWp, 0,54 kWh/kWp, %11,75, %92,6- %92,81, %12,68, %16,35 ve %84 olarak elde edilmiştir.

Dondariya ve ark. (2018) Hindistan'ın Ujjain şehrinde bir binanın çatısında kurulu, 6,4 kWp güce sahip olan şebeke bağlantılı FV tesisin performansını incelemişlerdir. Ayrıca bu çalışmada PVSOL, PVGIS, SolarGIS ve SISIFO gibi simülasyon programları da kullanılmıştır. FV tesiste 23° sabit eğim açısına sahip monokristal paneller bulunmaktadır. Gerçek FV tesis, PVSOL, PVGIS, SolarGIS ve SISIFO programlarından elde edilen PR değerleri sırasıyla %75,01, %75,01, %73,5, %76,4 ve %73,8'dir.

Elamim ve ark. (2018) Fas'ın Errachidia şehrindeki Fen ve Teknikler Fakültesi binasının çatısında kurulu 5,94 kW güce sahip şebekeye bağlı üç FV sistemin performansını bir yıl süreyle PVSYST programı ile karşılaştırmışlardır. FV sistemlerde 30° sabit eğim açılı, güneğe doğru yönlendirilmiş amorf silikon, polikristal ve monokristal paneller kullanılmıştır. Ayrıca 2100 W nominal güce sahip dize inverterler

yer almaktadır. Bu çalışmada nihai verim, referans verim, PR, CF değerleri sırasıyla 5,26 saat/gün, 6,43 saat/gün, %82, %21,93 olarak elde edilmiştir.

Komoni ve ark. (2018) Kosova'nın Priştine şehrindeki Elektrik ve Bilgisayar Mühendislik Fakültesi Laboratuvar binasının çatısında kurulu, şebekeye bağlı FV sistemin performansını bir yıl süreyle analiz etmişlerdir. FV sistemde 45° sabit eğim açısına sahip 1,76 kW kurulu gücü olan monokristal ve 2,16 kW kurulu gücü bulunan polikristal paneller bulunmaktadır. Ek olarak, tek fazlı 2000 W nominal çıkış gücüne sahip dize inverterler tercih edilmiştir. FV sistemde referans verim 1,7-6,98 saat/gün arasındadır. Polikristal paneller için yıllık ortalama nihai verim, dizi verim, sistem kayıpları, panel verimliliği, sistem verimliliği ve PR değeri sırasıyla 3,53 saat/gün, 1,494-5,363 saat/gün, 0,075-0,27 saat/gün, %12,3, %11,67 ve %80'dir. Monokristal paneller için yıllık ortalama nihai verim, dizi verim, sistem kayıpları, panel verimliliği, sistem verimliliği ve PR değeri sırasıyla 3,64 saat/gün, 1,548-5,680 saat/gün, 0,078-0,46 saat/gün, %13,3, %12,78 ve %84'tür.

Necaibia ve ark. (2018) Cezayir'in Adrar şehrindeki Sahra bölgesinde Yenilenebilir Enerjiler Araştırma Birimi'nin çatısında kurulu 2,5 kWp güce sahip şebekeye bağlı FV sistemin performansını bir yıl süreyle analiz etmişlerdir. Şebekeye bağlı FV sistemde, $28,8^\circ$ eğim açısına sahip monokristal paneller ve ayrıca 1300 W nominal güce sahip dize inverterler yer almaktadır. Bu çalışmada referans verim, dizi verimi, nihai verim, yakalama kayıpları, sistem kayıpları, FV panel verimliliği, sistem verimliliği, inverter verimliliği, CF ve PR değeri sırasıyla 5,7-7,68 kWh/kWp/gün, 4,24-6,07 kWh/kWp/gün, 4,88 kWh/kWp/gün, 0,56-2 saat/gün, 0,21- 0,32 kWh/kWp/gün, %12,26, %11,26, %94,73, %7,90 ve %73,82 olarak elde edilmiştir.

Tahri ve ark. (2018) Japonya'nın Tsukuba şehrindeki Ulusal İleri Endüstriyel Bilim ve Teknoloji Enstitüsü'nün çatısında kurulu olan dört farklı şebekeye bağlı FV sistemin performansını bir yıl süreyle değerlendirmişlerdir. Bu dört FV sistemde eğim açısı 15° olan multi kristalli silikon (mc-Si) ve bakır indiyum selenit (CSI) paneller bulunmaktadır. Ek olarak, 4 KVA kapasiteye sahip inverterler kullanılmıştır. Bu çalışmada, dört FV sistem mc-Si 1, mc-Si 2, CSI 1 ve CSI 2 olarak isimlendirilmiştir. mc-Si 1 için yıllık günlük ortalama PR, nihai verim ve sistemin verimliliği sırasıyla %80,51, 4,05 kWh/kWp ve %10,69'dur. mc-Si 2 için yıllık günlük ortalama PR, nihai verim ve sistemin verimliliği sırasıyla %86,50, 3,85 kWh/kWp ve %10,24'tür. CSI 1 için yıllık günlük ortalama PR, nihai verim ve sistemin verimliliği sırasıyla %76,06,

3,95 kWh/kWp ve %10,17'dir. CSI 2 için yıllık günlük ortalama PR, nihai verim ve sistemin verimliliği sırasıyla %74,69, 3,9 kWh/kWp ve %9,93'tür.

Yadav ve Bajpai (2018) Hindistan'ın Lucknow şehrindeki Lucknow Üniversitesi'nde bulunan Yenilenebilir Enerji Eğitimi ve Araştırma Merkezi'nin çatısında kurulu 5 kW güce sahip şebeke bağlantılı FV tesisin performansını bir yıl süreyle analiz etmişlerdir. FV tesiste 26,5° eğim açılı polikristal paneller ve 5 kW nominal güce sahip dize inverterler tercih edilmiştir. Bu çalışmada dizi verimi, referans verim, nihai verim, yakalama kayıpları, sistem kayıpları, panel verimi, inverter verimliliği, sistem verimliliği, PR ve CF değeri sırasıyla 4,51 kWh/kWp/gün, 5,23 kWh/kWp/gün, 3,99 kWh/kWp/gün, %12,92, %11,62, %11,34, %88,38, %10,02, %76,97 ve %16,39'dur.

Wichliński ve Staszkievicz (2018) Mısır'ın Kahire şehrindeki çatılı bir otoparkta bulunan 437 kWp kurulu güce sahip şebekeye bağlı FV tesisin performansını değerlendirmişlerdir. Bu tesislerde güneğe doğru yönlendirilmiş, eğim açıları 5° ve 45° olan polikristal paneller kullanılmıştır. Bununla birlikte 25 kW nominal güce sahip üç fazlı dize inverterler tercih edilmiştir. Bu çalışmada yakalama kayıpları, sistem kayıpları, nihai verim ve PR değeri sırasıyla 1,97 kWh/kWp/gün, 0,28 kWh/kWp/gün, 3,68 kWh/kWp/gün ve %62 olarak hesaplanmıştır.

Ameur ve ark. (2019) Fas'ın İfran şehrindeki Al Akhawayn Üniversitesi'nde yere kurulu olan 5,94 kW güce sahip şebeke bağlantılı FV sistemin performansını dört yıl süreyle analiz etmişlerdir. FV sistemde 32° eğim açılı, güneğe yönlendirilmiş, monokristal, polikristal ve amorf silikon paneller bulunmaktadır. Ek olarak, 2000 W nominal güce sahip dize inverterler yer almaktadır. FV tesislerde referans verim 4,18-6,8 kWh/kWp/gün arasındadır. Monokristal paneller için nihai verim, sistem verimliliği, PR ve CF değeri sırasıyla 4,34 kWh/kWp/gün, %11,67, %76,7 ve %18,16'dır. Polikristal paneller için nihai verim, sistem verimliliği, PR ve CF değeri sırasıyla 4,33 kWh/kWp/gün, %11,68, %76,8 ve %18,12'dir. Amorf silikon paneller için nihai verim, sistem verimliliği, PR ve CF değeri sırasıyla 4,1 kWh/kWp/gün, %7,21, %72,9 ve %17,16'dır.

Arora ve ark. (2019) Hindistan'ın Gurugram şehrindeki Amity Üniversitesi'nde yere monteli, 185,6 kWp kurulu güce sahip şebekeye bağlı FV sistemindeki performans ölçüm verileri ile PVSyst programının simülasyonu sonucunda elde edilen verileri bir yıl süreyle karşılaştırmışlardır. FV sistemlerde 20° eğim açılı polikristal paneller ve ayrıca 55 kW nominal güce sahip dize inverterler tercih edilmiştir. FV sistemin ölçümü

sonucunda elde edilen dizi verim, nihai verim, referans verim, panel verimi, sistem verimi, CF ve PR değerleri sırasıyla 4,57 saat/gün, 4,28 saat/gün, 5,13 saat/gün, %14,77, %13,76, %17,8 ve %82,79'dur. PVSyst programının simülasyon sonuçlarına göre panel verimi, sistem verimi ve PR değeri sırasıyla %14,28, %14,16 ve %85,6 olarak elde edilmiştir.

De Lima Morais ve ark. (2019) Brezilya'nın Fortaleza şehrindeki Ceará Eyalet Üniversitesi'nde (UECE) Uygulamalı Fizik Bilimleri Akademik Yüksek Lisans Derecesi binasında kurulu 5,4 kWp güce sahip şebekeye bağlı FV sistemin performansını bir yıl süreyle değerlendirmişlerdir. Şebekeye bağlı FV sistemde nominal gücü 2500 W olan dize inverterler kullanılmıştır. Ayrıca bu FV tesislerde 24 panel yer almaktadır. Bu çalışmada referans verim, nihai verim, FV dizi verim, sistem verimliliği, inverter verimliliği, PR ve CF değeri sırasıyla 5,6 kWh/kWp/gün, 4,33 kWh/kWp/gün, 4,5 kWh/kWp/gün, %11,42, %95,8, %75,6 ve %18,07'dir.

Mensah ve ark. (2019) Gana'nın Navrongo şehrinde kurulu olan 2,5 MW'lık fotovoltaik enerji tesisinin, yaklaşık olarak üç yıllık dış mekân performansını analiz etmişlerdir. FV enerji tesisinde, 500 kWp nominal güç çıkışına sahip üç fazlı merkezi inverter ve polikristal silikon paneller kullanılmıştır. FV paneller güneye doğru, sabit 12,5° eğim açısıyla kurulmuştur. Yıllık ortalama kapasite faktörü %16,2 ve performans oranı ise %70,4 olarak tespit edilmiştir.

Ramanan ve ark. (2019) Hindistan'ın Kovilpatti Kasabası'ndaki Ulusal Mühendislik Koleji Enerji Araştırmaları Merkezi'nin çatısında kurulu olan iki şebeke bağlantılı FV sistemin performansını ölçüm verileri ve PVSyst simülasyon programı ile bir yıl süreyle değerlendirmişlerdir. FV sistemin birinde 1 kW kurulu güce sahip polikristal paneller, diğesinde ise 1,36 kW kurulu güce sahip bakır indiyum selenyum paneller bulunmaktadır. Her iki FV sistemde de paneller 10° eğim açısıyla yerleştirilmiştir. Ayrıca polikristal panellerin yer aldığı FV sistemlerde 1,2 kW nominal güçlü ve bakır indiyum selenyum panellerin bulunduğu sistemlerde ise 1,5 kW nominal güçlü, tek fazlı, dize inverterler yer almaktadır. Polikristal panellere sahip FV sistem için nihai verim, FV panel verimliliği, PR ve CF değerleri sırasıyla 4,31 saat/gün, %14,19, %78,48 ve %17,99'dur. Bakır indiyum selenyum panellere sahip FV sistem için nihai verim, FV panel verimliliği, PR ve CF değerleri sırasıyla 4,68 saat/gün, %12,19, %86,73 ve %19,57'dir.

Seme ve ark. (2019) Slovenya'da çoğunlukla çatıya kurulu, 258 MW güce sahip, 3326 şebekeye bağlı FV sistemin performansı sekiz yıl süreyle değerlendirilmiştir. FV tesislerde polikristal ve monokristal paneller bulunmaktadır. Ayrıca bu tesislerde kullanılan panellerin ortalama eğim açıları 32° 'dir. Bu çalışmada ortalama nihai verim, performans oranı ve kapasite faktörü sırasıyla 1028 kWh/kWp, %68,84 ve %11,85 olarak elde edilmiştir.

Žnidarec ve ark. (2019) Hırvatistan'ın Osijek şehrinin Osijek Elektrik Mühendisliği, Bilgisayar Bilimi ve Bilgi Teknoloji Fakültesi'ndeki Yenilenebilir Enerji Kaynakları Laboratuvarı'nın çatısında kurulu 10 kWp güce sahip şebeke bağlantılı FV tesisin performansını bir yıl süreyle incelemişlerdir. FV tesiste, 7° eğim açısına sahip monokristal ve polikristal paneller bulunmaktadır. Bu çalışmada üç fazlı, 5 kW nominal güce sahip dize inverterler kullanılmıştır. Monokristal ve polikristal paneller için yıllık ortalama CF değeri sırasıyla %12,69 ve %12,11'dir. Bu panellerin yıllık ortalama PR değeri ise sırasıyla %74,59 ve %73,75'tir.

Akhter ve ark. (2020) Malezya'nın başkenti Kuala Lumpur'da, Malaya Üniversitesi mühendislik binasının çatısında kurulu, üç farklı panel teknolojisine sahip şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin performansını karşılaştırmışlardır. Bu çalışma üç yıl boyunca sürmüştür. Bu FV tesislerde polikristal, monokristal ve amorf silikon tipi paneller kullanılmıştır. Tüm paneller güneye doğru kurulu, sabit ve 10° eğim açısına sahiptir. Şebeke bağlantılı FV tesislerde polikristal ve monokristal paneller için kullanılan dize inverterler 1600 W nominal güce sahipken amorf silikon panellerde ise 2500 W nominal güce sahiptir. Her üç FV panel teknolojisi için yıllık ortalama dizi kazancı, nihai verim, kapasite faktörü, dizi verimi, sistem verimi, inverter verimliliği, toplam kayıplar ve performans oranı sırasıyla 1166,1 saat, 1091 saat, %12,43, %9,63, %8,96, %93,5, 241,95 saat ve %81,6 olarak bulunmuştur.

Obaid ve ark. (2020) Irak'ın Bağdat şehrindeki Elektrik Bakanlığı'na ait Eğitim ve Araştırma Merkezi'nin çatısında kurulu 15 kWp güce sahip şebeke bağlantılı FV sistemin performansını bir yıl süreyle incelemişlerdir. Bu çalışmada 30° sabit eğim açılı HIT tipi paneller ve ayrıca 15 kW nominal güce sahip üç fazlı dize inverter tercih edilmiştir. Referans verim, nihai verim, sistem kaybı, dizi kaybı, inverter verimi, sistem verimi, dizi verimi, CF ve PR değerleri sırasıyla 5,9 kWh/kWp/gün, 4,4 kWh/kWp/gün, 1,53 kWh/kWp/gün, 1,38 kWh/kWp/gün, %96,8, %14,8, %15,2, %18,4 ve %75,5 olarak elde edilmiştir.

Imam ve ark. (2020) Suudi Arabistan'ın Cidde şehrindeki bir binanın çatısına kurulu 12,25 kW güce sahip şebekeye bağlı FV sistemin performansını SAM simülasyon programı ile analiz etmişlerdir. FV sistemde, 0°- 90° arasında sabit olmayan eğim açısına sahip monokristal paneller ve ayrıca 5 kW nominal güce sahip dize inverterler tercih edilmiştir. Bu çalışmada CF ve PR değerleri sırasıyla %22 ve %78 olarak elde edilmiştir.

Omar Nour-eddine ve ark. (2020) Fas'ın Safi şehrindeki Fas Ulusal Uygulamalı Bilimler Okulu 'nun çatısında kurulu 5,94 kWp güce sahip şebekeye bağlı FV sistemin performansını bir yıl süreyle analiz etmişlerdir. FV sistemde 32° sabit eğim açısına sahip m-Si, p-Si ve a-Si paneller kullanılmıştır. Ayrıca 2 kW nominal güce sahip dize inverterler tercih edilmiştir. Bu çalışmada FV sistemin ortalama referans verim değeri 6,15 Wh/Wp/gün'dür. m-Si, p-Si ve a-Si için nihai verim değeri sırasıyla 5,25 Wh/Wp/gün, 5,23 Wh/Wp/gün ve 4,71 Wh/Wp/gün'dür. Bu paneller için ortalama sistem verimliliği değeri sırasıyla %14,94, %14,91 ve %7, 57'dir. Ortalama PR değeri sırasıyla %85,51, %85,37 ve %76,66'dır. Son olarak ortalama CF değeri ise sırasıyla %21,87, %21,81 ve %17,9'dur.

De Souza Silva ve ark. (2020) Brezilya'nın Campinas bölgesindeki Campinas Üniversitesi'nde bulunan 336,96 kWp güce sahip çatıya kurulu şebeke bağlantılı FV tesisin ölçülen verileri ile PVsyst, PVSOL ve HOMER adlı simülasyon programlarından elde edilen verileri karşılaştırmışlardır. Bu FV tesiste polikristal paneller ve Ingecon Sun 55 TL PRO (55,3 kW nominal güce sahip) marka merkezi inverter kullanılmıştır. PVsyst, PVSOL ve HOMER adlı simülasyon programlarından elde edilen yıllık nihai verim değerleri sırasıyla 1,428.00 kWh/kWp, 1,220.42 kWh/kWp ve 1,627.58 kWh/kWp'dir. Yıllık PR değerleri ise sırasıyla %82, %85,7 ve %96,22'dir.

Sreenath ve ark. (2020) Malezya'nın Kuantan şehrindeki Kuantan Havaalanı'nda yere monteli 20 MW güce sahip şebeke bağlantılı FV sistemin kurulması için gerekli tasarımı sağlamak amacıyla Solargis simülasyon programını kullanarak değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada 10° eğim açısına sahip c-Si, a-Si, CdTe ve CIS tipi paneller tercih edilmiştir. Nominal gücü 500 kWp olan merkezi inverterler kullanılmıştır. Bu çalışmada nihai verim, sistem verimi, PR ve CF değerleri sırasıyla 90,7-125,7 MWh/MWp/ay arasında, %11,54, %76,88 ve %15,22'dir.

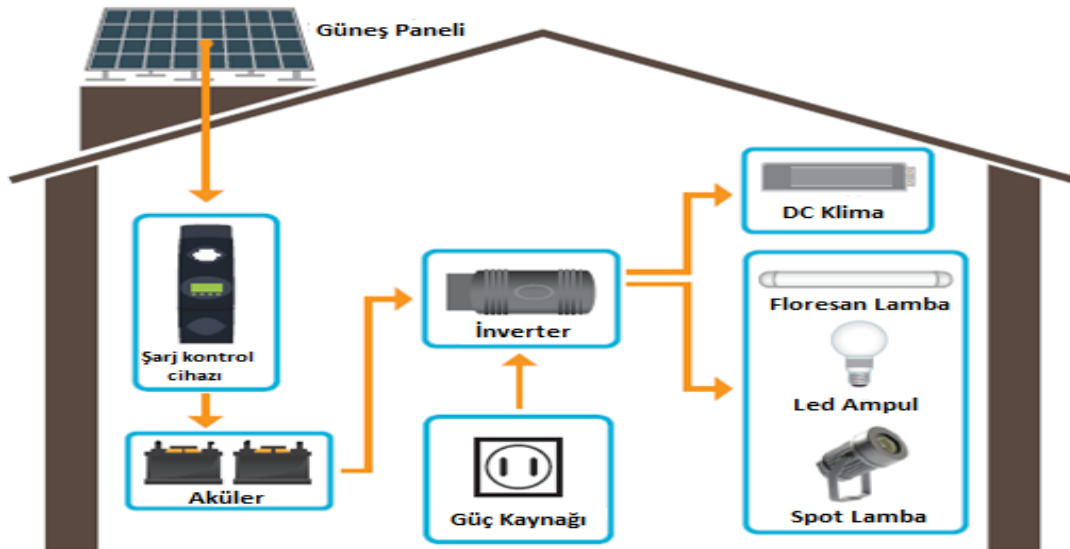
Thotakura ve ark. (2020) Hindistan'ın Andha Pradesh eyaletindeki GITAM Üniversitesi Eğitim Enstitüsü binasının çatısında kurulu 1 MW güce sahip şebekeye bağlı FV tesisin performansını bir yıl süreyle PVGIS, PV Watts ve PV Syst isimli simülasyon programlarını kullanarak değerlendirmişlerdir. FV tesislerde 10° sabit eğim açısına sahip polikristal paneller ile 20 ve 50 kW nominal güce sahip üç fazlı dize inverterler yer almaktadır. PVGIS, PV Watts ve PV Syst ile elde edilen CF değerleri sırasıyla %20,8, %23,06 ve %21,77'dir. PR değerleri ise sırasıyla %75, %69-%75 arası ve %86-%88 arasında elde edilmiştir.

Ates ve Singh (2021) Türkiye'nin Manisa ilinde, Celal Bayar Üniversitesi Köprübaşı Meslek Yüksekokulu'nda, şebeke bağlantılı, çatıya kurulu olan FV tesisin performansını bir yıl boyunca incelemişlerdir. FV tesiste, 30 kWp'lık nominal çıkış gücüne sahip üç fazlı dize inverter ve yatay olarak 12° eğim açısı ile yerleştirilmiş polikristal silikon paneller kullanılmıştır. FV panellerin yıllık ortalama verimliliği %13,59, inverterin yıllık ortalama verimliliği %97,88, sistemin yıllık ortalama verimliliği %13,29, performans oranı %83,61, kapasite faktörü %17,35 olarak tespit edilmiştir. Yıllık dizi verimi, referans verim ve nihai verim değerleri sırasıyla 4,25, 4,97 ve 4,16 saat/gündür. Ortalama sistem kayıpları ve yakalama kayıpları sırasıyla 0,09 saat/gün ve 0,72 saat/gün olarak bulunmuştur.

Yahya ve ark. (2021) Moritanya'nın Nuakşot şehrindeki Petrol, Enerji ve Madencilik Bakanlığı binasının çatısında kurulu olan 48 kWp güce sahip şebeke bağlantılı FV sistemin performansını bir yıl süreyle değerlendirmişlerdir. FV tesiste 15° eğim açısıyla güneğe yönlendirilmiş polikristal paneller yer almaktadır. Ayrıca bu tesiste 10 kW nominal güce sahip dize inverterler kullanılmıştır. Yıllık panel verimliliği, sistem verimliliği, inverter verimliliği, PR, CF ve nihai verim değerleri sırasıyla %11,22, %9,49, %84,6, %77,66, %19 ve 4,56 kWh/kWp/gün olarak elde edilmiştir.

3.FOTOVOLTAİK SİSTEMLER VE İNVERTER TEKNOLOJİLERİ

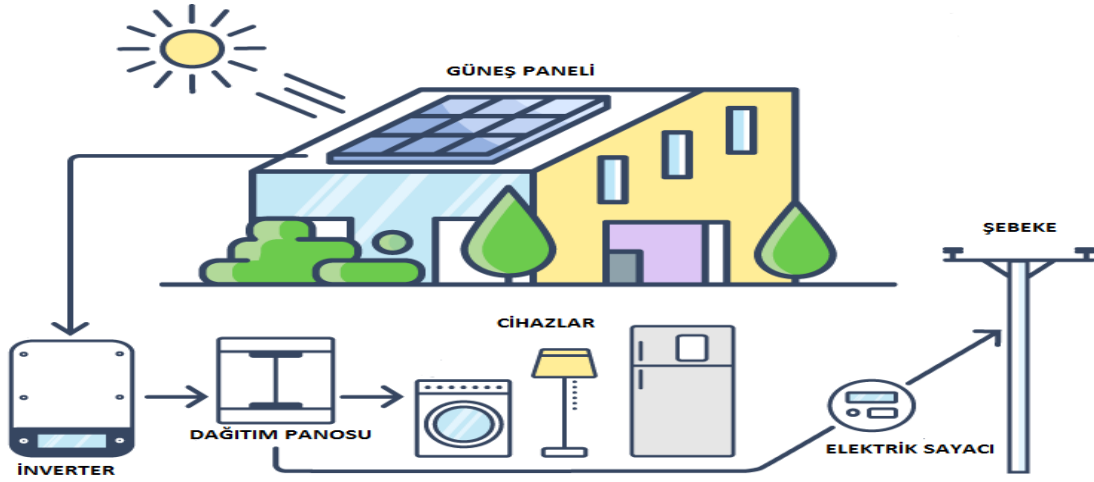
Fotovoltaik sistemler, şebekeden bağımsız veya şebeke bağlantılı olmak üzere iki şekilde tüketimi desteklemektedir. Şebekeden bağımsız şekilde işletilen sistemler, genellikle yerleşim bölgelerinden uzakta ve mevcut dağıtım sisteminden faydalanmanın imkânsız olduğu yerlerde tercih edilmektedir. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler, tarımsal sulamada ve içinde sınırlı elektrikli cihaz barındıran hobi bahçelerindeki veya yaylalardaki küçük çaplı evlerde kullanılmaktadır. Şebekeden bağımsız çalışan FV sistemlerinin temel elemanları, paneller, aküler, inverterler ve şarj kontrolör cihazıdır. Şekil 3.1'de şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerin prensip şeması verilmiştir. Bu sistemler, üretilen elektriği akü gruplarında depolar. İhtiyaç halinde gerekli enerji, bu akü gruplarından temin edilir.



Şekil 3.1. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemin prensip şeması³

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler, gün içinde tüketilen enerji miktarını azaltmak veya üretim fazlası enerjinin dağıtım sistemi üzerinden pazarlanmasını amaçlamaktadır. Güneş ışığından yeterince yararlanılamadığında üretim azalır veya durur. Bu durumda gerekli olan elektrik şebekeden temin edilir. Bu tür bir sistem, sistem verimini düşüren ve maliyeti arttıran akü gruplarına ihtiyaç duymadığından daha basittir. Sistem sadece panel, inverter, güvenlik elemanları (sigortalar, devre kesiciler, dalgalanma koruyucular vb.) ve kurulum ekipmanlarını içerir (Gazis ve ark., 2013). Şekil 3.2'de şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerin prensip şeması verilmiştir.

³ <https://eco-friendly-india-solutions.com/wp-content/uploads/2011/01/1kw-Solar-Power-System.gif>



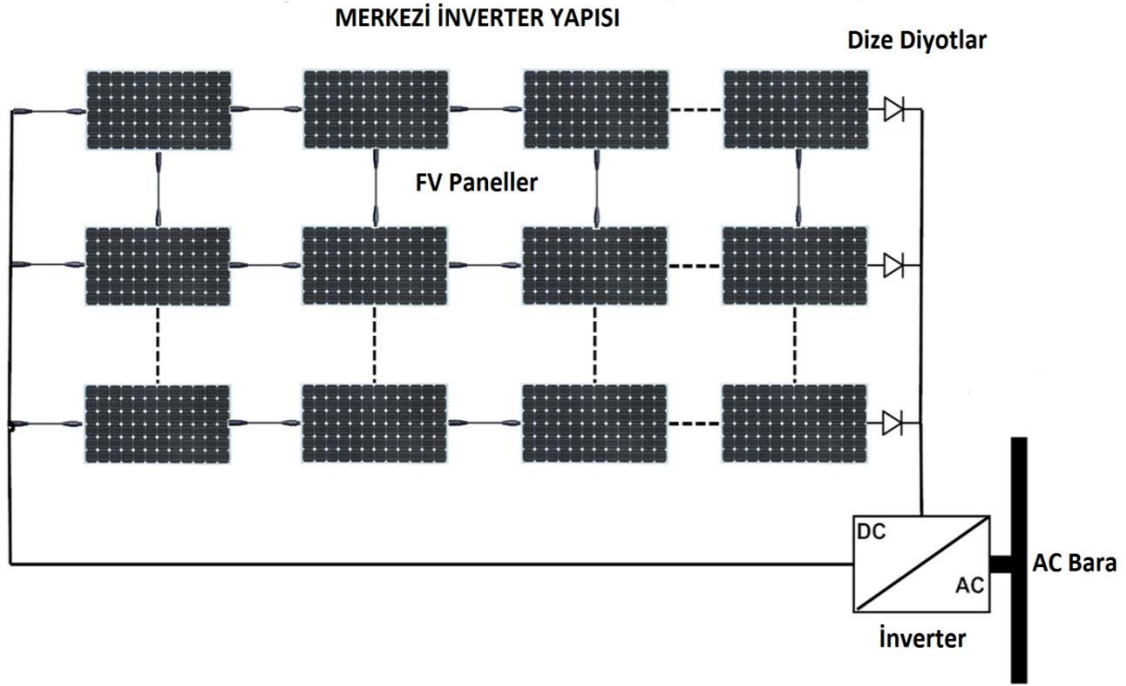
Şekil 3.2. Şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin prensip şeması⁴

Şebekeden bağımsız veya şebeke bağlantılı FV tesis uygulamaları için inverter yapıları, fotovoltaik enerji üretiminin anahtar elemanıdır. İnverter, panel çıkışındaki doğru akımı şebeke frekansı ve gerilimi ile uyumlu alternatif akıma dönüştüren güç sistem elemanlarıdır. Fotovoltaik üretim sisteminin kurulum yeri ve boyutlarına bağlı olarak tesisten maksimum kazanç elde edebilmek için merkezi, dize ve mikro inverter olmak üzere farklı inverter seçenekleri tercih edilmektedir. Ayrıca şebekeye bağlı fotovoltaik sistemlerde tercih edilecek inverter teknolojisini, seri-paralel bağlı toplam panel sayısı ve inverterin gücü belirlemektedir (Aganza-Torres ve ark., 2016; Sinha ve ark., 2018).

3.1. Merkezi İnverter

Merkezi inverterler, genellikle büyük ölçekli fotovoltaik üretim tesislerinde tercih edilmekle birlikte üç fazlı güç çıkışına sahiptir. Bu inverterlerin güç aralıkları 10-250 kW arasındadır (Hassaine ve ark., 2014; Mahela ve Shaik, 2017). Bu tür inverterlerin yapısı, paneller arası seri-paralel bağlantı düzenlemelerinin yapılmasını gerektirir (Deshpande ve Bhasme, 2017). Merkezi inverter teknolojisine sahip olan fotovoltaik tesislerin tamamı bir inverter ile şebekeye bağlanabilir. Şekil 3.3'te merkezi inverterin bağlantı şeması verilmiştir. Basit yapıları, büyük ölçekli tesislerde iyi performans gösterebilmeleri ve kurulum maliyetlerinin yüksek olmaması olumlu özellikleridir. Merkezi inverter ile donatılmış bir fotovoltaik tesiste, inverterin veya diğer ekipmanların arızalanması sonucunda yapılacak olan onarım veya ekipman değişimi sırasında fotovoltaik tesislerin elektrik üretimi tamamen durmaktadır.

⁴ <https://uploads.mysolarquotes.co.nz/how-grid-connect-solar-power-works-nz-01.png>



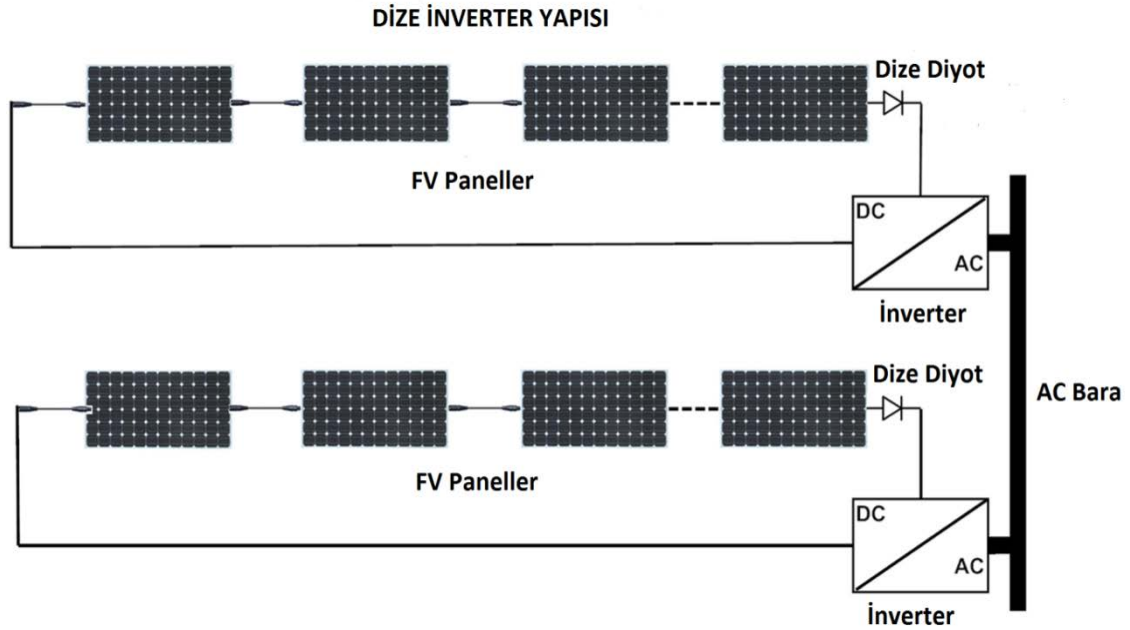
Şekil 3.3. Merkezi inverterin bağlantı şeması⁵

Kısmi veya tam gölgeler, merkezi inverterin performansında kayıplara sebep olmaktadır. Ayrıca merkezi inverterlerde, kısmi gölgede elektrik üretimi %25 ile %50 arası düşebilir ve bazen %100'e ulaşan düşüşler de meydana gelir (Elanchezhian ve Chinnaiyan, 2017). Merkezi inverterlere sahip fotovoltaik tesislerde, bir panelin bile gölgelenmesi sonucunda, FV sistemde yüksek performans kayıplarına sebep olmaktadır. Ayrıca panellerden üretilen enerjinin invertere iletilmesinde kullanılan DC kablolar, merkezi inverterde verim kaybını ortaya çıkarmaktadır. Çünkü DC kabloların iletim hattının uzun olması, invertere iletilen güçte kayıplar meydana getirmekle birlikte ekonomik açıdan da olumsuzluğa yol açmaktadır. Merkezi inverter teknolojisinde fotovoltaik tesisin gücü arttıkça maliyette artış olmaktadır. Merkezi inverterin veriminin normal şartlar altında % 98,5 olduğu belirtilmektedir (Anonim2, 2020).

⁵ <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1364032115002348-gr1.jpg>

3.2. Dize İnverter

Dize inverter teknolojisi genellikle orta ölçekli fotovoltaik sistemlerde tercih edilmekle birlikte tek veya üç fazlı güç çıkışına sahiptir. Dize inverterler 5 kW'a kadar güce sahiptirler (Jana ve ark., 2017). Dize inverterin avantajlı yönü, merkezi invertere göre dizelerde inverter ve MPPT sayısının fazla olması ile gölgeleme ve arızalardan kaynaklı performans kayıplarından daha az etkilenmesidir. Ancak dize inverter kullanımı, fotovoltaik tesislerde, kısmi veya tam gölgelerin oluşumu ile ortaya çıkan performans düşüşlerini önlemede kesin olarak çözüm sunmamaktadır. Dize inverter teknolojisi, kısmi ve tam gölgelerden işlevsel olarak olumsuz yönde etkilenmektedir. Dize inverterlerin gölgeli koşullar altındaki geri ödeme süresi, gölgeleme olmayan durumlara göre daha fazladır (Gazis ve ark., 2013). Dize inverterlerin verimi normal şartlarda %98,5 civarındadır (Anonymous, 2020). Şekil 3.4'te dize inverterin bağlantı şeması verilmiştir.

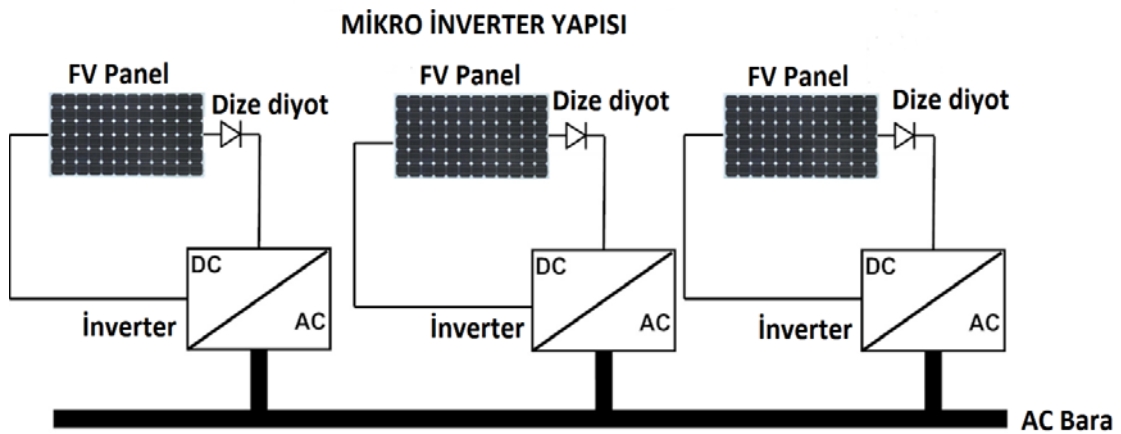


Şekil 3.4. Dize inverterin bağlantı şeması⁶

⁶ <https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1364032115002348-gr1.jpg>

3.3.Mikro İnverter

Mikro inverter yapısı, küçük ölçekli fotovoltaik tesislerde tercih edilmekle birlikte tek fazlı güç çıkışına sahiptir. Birçok mikro inverter teknolojisi, 100-250 W güç aralığına sahiptir (Sher ve Addoweesh, 2012). Mikro inverterde yapı, her bir panele inverterin ve MPPT'nin yerleştirilmesi şeklindedir. Şekil 3.5'te mikro inverterin şebekeye bağlantı şeması verilmiştir. Mikro inverterlerin olumlu özellikleri, basit kurulumu sahip olmaları ve fotovoltaik tesislerdeki herhangi bir ekipman ya da inverter arızalandığında tamirinin kolay olmasıdır. Mikro inverter teknolojilerinde kullanılan AC kabloların maliyetinin düşük olması ve bu inverterlerde DC kablo bulunmaması ile elektriksel kayıplara olan etkinin minimum olması da avantajlı yönleridir. Ayrıca mikro inverter teknolojisi, küçük ölçekli fotovoltaik tesislerde, gölgelemelerden kaynaklanabilecek performans kayıplarına karşı aktif rol üstlenir. Mikro inverterler, kısmi ve tam gölgede, merkezi inverter ve dize inverterlere göre daha yüksek performansta çalışır. Kurulum maliyetinin pahalı olması ve büyük ölçekli fotovoltaik tesislerde kullanılamaması ise olumsuz taraflarıdır. Mikro inverterler, geri ödeme süreleri bakımından hem gölgeli hem gölgesiz koşullarda aydınlırlar (Gazis ve ark., 2013). Mikro inverterlerin verimi normal çalışma koşullarında % 97-%97,5 olarak ifade edilmektedir (Anonymous1, 2020).



Şekil 3.5. Mikro inverterin şebekeye bağlantı şeması⁷

⁷ https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S1364032115002348-gr2_lrg.jpg

4. GÖLGELEME TÜRLERİ VE İNVERTER VERİMİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Gölgelemeler, nesnel ve öznel olmak üzere iki bölümde sınıflandırılırken öznel gölgelemeler, kendi içinde dinamik ve statik gölgeleme olarak ikiye ayrılır (Bulanyi ve Zhang, 2014; Rana ve ark., 2018). Herhangi bir hava olayının panellerde neden olduğu gölgeler sonucunda panellere gelen ışıнімda kayıplar meydana gelmesine sebep olan gölgeleme çeşidi, nesnel gölgeleme ile ifade edilmektedir. Öznel gölgeleme ise bazı objelerin, belirli bir mesafeden paneli gölgelemesi ile dinamik gölgeleme ve panelin üzerine yapışarak oluşan statik gölgelemeyle, panele gelen ışıнімı azaltmaya sebep olan gölgeleme türüdür. Kısmi ve tam gölgelemelere bağlı olarak; bulutlanma, kar yağışı, buzlanma, toz ve kirlenmenin yol açtığı gölgelere nesnel gölgeleme, binalar, ağaclar, direkler vb. nesnelerin sebep olduğu gölgeler ise öznel gölgeleme çeşidi içerisinde yer almaktadır. Rana ve ark. (2018) statik gölgelemeyi sert gölgeleme ve dinamik gölgelemeyi de yumuşak gölgeleme olarak tanımlamışlardır. Yumuşak gölgeler, örneğin; yakın binalar, telefon ve elektrik direklerinin sebep olduğu gölgelemeler, ışıнімın doğrudan hücrelerce emilimini önlerken ışıнімın sadece %10'luk kısmının geçişine izin vermektedir. Sert gölgeler, örneğin; kuş pisliği ve lekeler, doğrudan ya da dağınık olarak ışıнімın hücreler tarafından emilimini engellemektedir. (Ubisse ve Sebitosi, 2009).

Kar yağışı, buzlanma, bulutlanma, binalar, direkler, ağaclar, panellerin birbirlerini gölgelemesi, toz ve kirlenmeler panel yüzeyinde kısmi veya tam gölgelemeler meydana getirmektedir. Kısmi ve tam gölgeler, panellerin yeterince ışıнімdan faydalanamamasına neden olmaktadır. Bunun sonucunda gerekli enerji üretimi sağlanamayacağından dolayı DC çıkıştan inverttere enerji iletimi ya sınırlı ya da hiç olmamaktadır. Fotovoltaik sistemlerde DC çıkış, nominal gücün %1'inin altına düştüğünde inverterleri çalıştıracak güce ulaşamamasından dolayı enerji üretimi durmaktadır (Andenæs ve ark., 2018). Ayrıca şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerde, elektriksel verimin düşüşündeki temel etken olarak kısmi gölgeleme gösterilmektedir (Woyte ve ark., 2003).

4.1. Kar Yağışı ve Buzlanma

Kar, su buharının atmosferin üst seviyelerinde soğuk havayla karşılaşarak donmasıyla nemli bulutların buz kristalleri halinde yağmasıdır. Buz ise suyun sıvı halden katı hale geçmesi ya da başka bir ifadeyle suyun donarak katılaşmış şeklidir. Kar yağışları, iklime bağlı olarak ortaya çıkarken iklimden bağımsız olarak da yüksek rakımlı bölgelerde meydana gelmektedir. Kar yağışları veya buzlanmanın oluşumu ile panellerde tam veya kısmi gölgelemeler açığa çıkmaktadır. Şekil 4.1'de panellerin üzerinde oluşan kar ve buz kütleleri görülmektedir. Panelin eğim açısı ve karın yağışı miktarı, paneller üzerindeki gölgelerin oluşmasında etkili unsurlardır. Küçük eğim açısına sahip bir panel üzerinde, büyük eğim açılı bir panele göre daha fazla kar birikmektedir. Panellerde birikmiş olan karın kalınlığının 10 cm ve üstüne ulaşması enerji üretiminin yapılamamasına sebep olmaktadır (Andenæs ve ark., 2018). Kısmi ve tam gölgeler, fotovoltaik tesisler üzerindeki enerji üretimini ya kısıtlı hale getirir ya da durdurur. Sadece panelin üst kısmında biriken kar ve buzlanmalar değil, panelin alt kısmında toplanan kar ve buz kütlelerinin de fotovoltaik tesisteki enerji üretiminin düşüşünde etkili olmaktadır. Hatta panellerin alt kısımlarında toplanan karlar, normal bir kar örtüsüne göre enerji üretimi üzerinde daha fazla olumsuz etkiye sahip olmaktadır (Andenæs ve ark., 2018). Panellerin alt kısımlarında oluşan buzlar ve yansıyan karlar, bölgesel Maksimum Güç Noktası (MPP) meydana getirerek inverter yapısının görevini yerine getirmesine engel olmaktadır (Torres Lobera ve ark., 2013). Panellerin üzeri kar ile kaplanmadığı takdirde karın yansıtıcı özelliğiyle elektrik üretiminde avantaj söz konusu olmaktadır. Çünkü yerdeki kar yığınlarından yansıyan güneş ışınımının panelin enerji üretimine katkı sağlaması albedo etkisi olarak isimlendirilmektedir.



Şekil 4.1. Panellerin üzerine biriken kar ve buz kütleleri⁸

⁸<https://previews.123rf.com/images/rioblanco/rioblanco1502/rioblanco150200012/36488494-snow-reducing-output-of-photovoltaic-panels-on-a-roof.jpg>
<http://www.icefree.com/static/images/icefree/fotovoltaice-1.jpg>

Fotovoltaik yüzeyler ve karın panelin üzerine birikmesi açısından panellerin hangi pozisyonda ve eğim açısında yerleştirileceği kesinlikle ayarlanmalıdır. Panellerin eğim açıları genellikle en iyi ışınım alabilecek şekilde ayarlanır fakat kar yağışı olabilecek bölgelerde kar ve buzlanma etkileri de göz önüne alınarak eğim açıları belirlenir. Ayrıca panellerin dikey pozisyonda ve büyük eğim açısı ile kurulması genel anlamda kar birikintisini azaltır ama kar, ıslak olursa bu durumda panellere yapışıp birikir (Andenæs ve ark., 2018).

Merkezi inverterlerde kar ve buz kütlelerinin etkisi ile oluşan gölgeler, kullanılan inverter sayısının az olması ve panellerin bağlantı şekli itibarıyla inverterin veriminde düşüşe sebep olmaktadır. Dize inverterlerde, merkezi inverterlere göre bu durum daha iyi olsa da yine de kar ve buz birikintileri bu inverter yapısının da performansını düşürmektedir. Mikro inverter teknolojisinde ise bu inverterin her panele kurulabilmesi ve MPPT sayısının diğer inverterlere göre fazla olması sebebiyle mikro inverterler, kar ve buz kütlelerinin yaptığı gölgelerden daha az etkilenmektedir. İnverter teknolojilerinin mevcut durumu incelendiğinde kar yağışı ve buzlanma, inverter teknolojilerinin performansları ve verimleri üzerinde olumsuz etkiye sahiptir.

4.2. Binalar

Binalara, çatılara ve binaların çevrelerine kurulan şebeke bağlantılı fotovoltaik tesislerde, yüksek katlı binalar, bacalar, merdivenler, duvarlar, antenler, telefon, aydınlatma ve elektrik direkleri, ağaçlar, panellerin çevresinde bulunabilen bahçe telleri veya çitler vb. çeşitli nesneler panellerin üzerinde kısmi veya tam gölgelerin oluşumuna sebep olmaktadır. Şebeke bağlantılı binaya entegreli fotovoltaik sistemlerde oluşabilecek kısmi veya tam gölgelerin panel yüzeyinde kaplayabileceği alana bağlı olarak bu sistemlerin elektrik üretimi ya çok düşüktür ya da durur. Çatılara kurulan fotovoltaik tesislerde, yere montajlı fotovoltaik tesislere göre daha düşük kir ve toz kaybı meydana gelmektedir (Vidyanandan, 2017).

Merkezi inverterlerin genellikle büyük ölçekli tesislerde kullanılması, gölgelerden dolayı performansının olumsuz etkilenmesi ve ayrıca entegrasyonlarının zor olması nedeniyle BIPV sistemlerde pek tercih edilmemektedir. Dize inverterlerin ise gölgelemelerden dolayı negatif etkilenmesi neticesinde binaya entegreli fotovoltaik sistemlerin performansında fazlasıyla kayıplar meydana gelmektedir (Opsomer ve ark., 2019). Mikro inverter teknolojisinde ise, binaya entegreli tesislerde kurulumu güvenilir ve kolaydır (Oldenkamp ve De Jong, 1998).

Mikro inverterler, yüksek gerilim girişine gereksinim duymadan küçük konut kurulumları yapabilecek kullanıcılar için avantaj sunar (Zheng ve ark., 2012). Ayrıca mikro inverterler kısmi veya tam gölgelemenin neden olduğu performans kaybına karşı da yarar sağlamaktadır. Şekil 4.2'de bina, ağaç, elektrik direği, aydınlatma direği ve bacanın panelleri gölgelemesi görülmektedir.



Şekil 4.2. Ağaç, elektrik direği, aydınlatma direği ve bacanın panelleri gölgelemesi⁹

4.3. Panellerin Birbirlerini Gölgelemesi

Fotovoltaik sistemlerde ön gruptaki panellerin yerleşimine bağlı olarak arka sırasında bulunan panellerde gölge oluşmaktadır. Bu durum panellerin birbirlerini gölgelemesi olarak ifade edilir. Şekil 4.3'te panellerin birbirini gölgelemesi görülmektedir. Gölgelemeler, panellerin kurulumu yapılırken paneller arasındaki uzaklığın doğru ayarlanamaması veya panellerin eğim açılarından kaynaklı olarak da oluşmaktadır. Ayrıca panellerin yatay veya dikey pozisyonda kurulumuna göre kısmi veya tam gölgeler meydana gelmektedir. Panellerin kendi kendini gölgelemesiyle ortaya çıkan ışınım yetersizliği, panellerin oryantasyonu ve hücre-panel geometrisi gibi etkenlerle kendi kendini gölgeleyen fotovoltaik tesislerde elektrik üretimini düşürmektedir (Breckl ve Topic, 2011).

⁹ <https://static-01.hindawi.com/articles/ijp/volume-2014/763106/figures/763106.fig.003c.jpg>
<https://static-01.hindawi.com/articles/ijp/volume-2014/763106/figures/763106.fig.003b.jpg>
<https://d3i71xaburhd42.cloudfront.net/baa6f59a8ac4183ca6d2479429b7e892e1b73056/14-Figure11-1.png> https://lowcarbonlivingblog.files.wordpress.com/2012/06/img_0393.jpg



Şekil 4.3. Panellerin birbirlerini gölgelemesi¹⁰

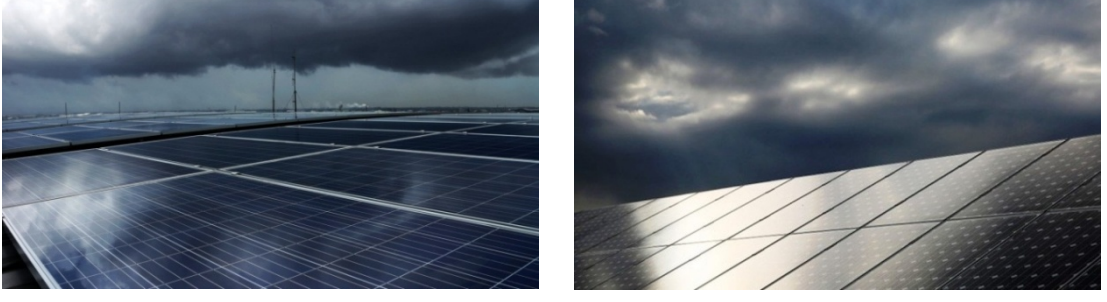
4.4. Bulutlanma

Bulutlar, panelleri gölgeleyerek fotovoltaik tesislere gelen ışınımı azaltırlar. Bulutlanma etkisinin hissedildiği günler, az ışınımın olması, fotovoltaik tesislerde verimliliği düşürmeyi sağlarken buna ilave olarak fotovoltaik sistemlerin performansı içinde belirleyici olabilmektedir (Mondol ve ark., 2006). Bulutlanmaların etkisi ile oluşacak gölgeleri engellemek mümkün gözükmemektedir. Bulutlanmanın etkisi ile oluşan gölgeler, panellerin düzensiz ışınım ve farklı sıcaklıklara maruz kalmalarına sebep olmalarının yanında inverterlerin AC güç çıkışlarında da dalgalanmaların ortaya çıkmasında rol oynamaktadır (Pal ve ark., 2016).

Merkezi inverterler gölgeleme ve bulutlanma durumu altında MPP'yi yakalayamazlar (Paul ve ark., 2014). Bu durum merkezi inverterlerin, paneller üzerinde oluşabilecek bulutlanma ya da gölgelemeler sonucunda, fotovoltaik tesisler üzerinde performans ve güç kaybını açığa çıkarmasına sebep olmaktadır. Dize inverter yapısında her bir dizede MPPT bulunduğundan bulutlanma ve gölgelemeden kaynaklanan etkilerde düşüş olur (Deshpande ve Bhasme, 2017). Ancak bulutlanma ve gölgeleme koşulları, dize inverterler üzerinde olumsuz etki bırakırken aynı koşullarda bu inverter tipine sahip fotovoltaik sistemlerinde verimlilikleri düşük seviyededir (Paul ve ark., 2014). Mikro inverter teknolojileri ise bulutlanma ve gölgeleme koşullarının oluşturduğu etkiyi düşürmeyi ya da yok etmeyi hedeflemektedir (Deshpande ve Bhasme, 2017).

Bu bilgiler göz önüne alındığında bulutlanma etkisinin, merkezi ve dize inverterlerin performanslarını ve verimliliklerini azaltmaktadır. Ancak mikro inverterlerin performans ve verimliliği ise olumsuz olarak fazla etkilenmemektedir. Şekil 4.4'te bulutlanmanın etkisi ile panellerde meydana gelen gölgeler görülmektedir.

¹⁰ <https://static-01.hindawi.com/articles/ijp/volume-2014/763106/figures/763106.fig.003f.jpg>
<http://www.greenefficientliving.com.au/wp-content/uploads/2018/02/shading.jpg>



Şekil 4.4. Bulutlanmanın etkisi ile panellerde meydana gelen gölgeler¹¹

4.5. Toz ve Kirlenme

Fotovoltaik paneller üzerine toz, kir ve kirlenme taşıyan maddelerin yerleşmesi durumu kirlenme olarak tanımlanmaktadır (Vidyanandan, 2017). Toz ise, ufak toprak parçalarından veya atık maddelerden oluşan yerde veya havada hareket eden küçük maddelerdir. Polen, kum, kuş pisliği, çimento, dumanlar, yapışkan nesneler vs. kaynaklı olarak panellerde tam ve kısmi gölgelemeler meydana gelmektedir. Şekil 4.5'te toz ve kirlenmenin panellerde yol açtığı gölgelemeler görülmektedir. Tozun şekli, ağırlığı, boyutu ile konum, panelin eğim açısı, yüzey kalitesi, rüzgâr hızı ve havanın durumu panellerde birikebilecek tozlar üzerinde belirleyici etkenler olarak dikkat çekmektedir (Vidyanandan, 2017). Panellerde biriken kir ve tozlar, güneşten gelen ışınımı engelleyerek fotovoltaik tesislerde, elektrik üretiminin düşmesine sebep olmaktadır. Motor egzozu, çimento gibi küçük toz parçaları, büyük toz parçalarına göre aralarındaki boşluğun daha az olması sebebiyle panellere ulaşabilecek ışınım miktarını daha çok düşürmelerinin yanında fotovoltaik tesislerde yüksek performans kaybına neden olmaktadır (Vidyanandan, 2017). Küçük eğim açısına sahip panellerde biriken toz ve kirlenmenin, büyük eğim açılı panellerdeki toz ve kirlere göre temizliği daha zahmetli olmaktadır. Hatta panellerin eğim açısının büyük olması, toz birikiminin önüne geçmekte ve buna ilaveten soğutma görevi de görebilmektedir (Su ve ark., 2012). Kir ve tozların etkisiyle oluşan gölgeleri ortadan kaldırabilmek mümkündür. Kir ve tozlar, panellerin periyodik zaman aralıklarıyla temizlenmesi ile yok edilmektedir. Toz ve kirlenmeye çözüm olarak ise manüel yıkama, temizleme robotu, kendi kendini temizleyen cam, elektrostatik perde vb. panelleri temizleme yöntemleri bulunurken bu temizlik yöntemlerinin kullanılma sıklığı konum, mevsim ve panelin montajı gibi faktörlerle belirlenmektedir (Vidyanandan, 2017).

¹¹ <https://edge.alluremedia.com.au/m/g/2017/04/iStock-540961960.jpg>
https://cdn10.bigcommerce.com/s-3yc5xwvk/product_images/uploaded_images/solar-panels-rain-clouds-copy.jpg



Şekil 4.5. Toz ve kirlenmenin panellerde sebep olduğu gölgemeler¹²

Merkezi inverterler, panellerin toz ve kirlerden kaynaklı olarak yeterince ısınım alamamasından dolayı performans olarak negatif etkilenmektedir. Çünkü merkezi inverter teknolojilerinde MPPT sayısı azdır. Ayrıca merkezi inverterlerin büyük ölçekli tesislerde bulunmasından dolayı tesisin temizliği hem daha zordur hem de zaman almaktadır. Dize inverter, merkezi inverterlere göre daha fazla MPPT ve invertere sahiptir. Buna ek olarak, dize inverterler daha küçük ölçekli fotovoltaik tesislerde tercih edilmelerinden dolayı kir ve tozların temizliğinin daha basit olması itibarıyla performans olarak gölgelerden daha az etkilenmektedir. Mikro inverterlerde ise doğru akımı, alternatif akıma çevirme işleminin her panelde yapılmasından dolayı gölgeleme, kir ve uyumsuzluk kayıpları minimum seviyede etki göstermektedir (Arráez-Cancelliere ve ark., 2017).

¹² https://newenergydrupalfs.s3.amazonaws.com/istock_47610030_large_tzahiv_0.jpg
<https://socal solarpro.com/wp-content/uploads/2017/05/Solar-Bird-Poop-Cleaning.jpg>

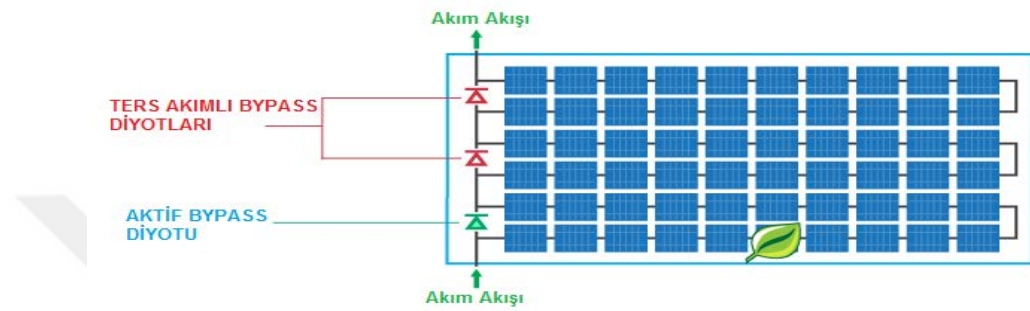
5.GÖLGELEME SORUNLARI İÇİN MEVCUT ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Gölgeleme sorunları için belli başlı çözüm yöntemleri vardır. Fotovoltaik tesisler kurulmadan önce, tesisin kurulacağı bölgede yapılacak fiziksel çalışmalarla gölgelemelere karşı birtakım çözümler uygulanmaktadır. Örneğin; tesisin kurulacağı çevrede bulunan elektrik, aydınlatma ve telefon direkleri, ağaçlar vb. yer değiştirilebilecek nesneler başka bir alana taşınabilir. Gerekli hesaplar yapıldıktan sonra panel sıraları arasında uygun boşluk bırakılarak panellerin birbirlerini gölgelememeleri sağlanır. Ayrıca taşınamayacak nesnelerin, örneğin; binaların yakınına mümkünse tesis kurulumu yapılmaz. Çatılara kurulacak tesislerde ise bacaların ve duvarların veya çatıda bulunabilecek başka cisimlerin panellere gölge yapmayacak şekilde tesislerin kurulumu gerçekleştirilebilir. Fotovoltaik tesislerin kurulumu sonrasında beklenilmeyen gölgelemeler meydana gelebilmektedir. Genellikle bunlar hava şartlarının ve dış etmenlerin etkisi ile ortaya çıkmaktadır. Özellikle hava şartlarına bağlı olarak oluşan gölgelere engel olunamamaktadır. Bu durumda ise fotovoltaik tesislerin, en azından gölgelerden minimum seviyede etkilenmesi için tesisler kurulmadan önce bu durumlar göz önüne alınarak tesisin iç ve dış yapısı oluşturulmaktadır. Panellerin yatay veya dikey pozisyonda kurulması, bypass diyotu kullanımı ve inverter çeşidinin gölgeleme şartlarına uyum sağlayacak şekilde belirlenmesi tercih edilen çözüm yöntemleridir. Ayrıca toz ve kirlenmenin, karın veya panellere yapışarak gölgelemeye sebep olabilecek nesnelerin panellerden temizlenmesi de bir çözüm metodudur.

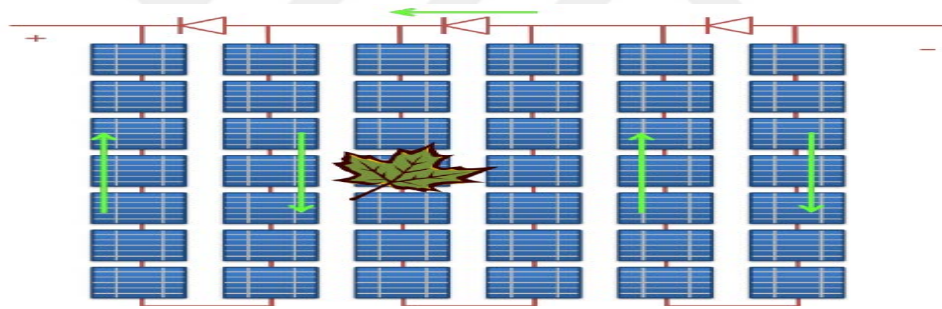
5.1. Bypass Diyotunun Kullanımı

Bypass diyotları, gölgelemelerin hücreleri etkileyerek onların aşırı ısınmasını önlemek amacıyla paneldeki hücrelerin alt dizelerine bağlanırlar (Vidyanandan, 2017). Bypass diyotları normal şartlarda açık anahtar modunda olduklarından üzerilerinden akım akmaz ve pasif haldedirler. Hücrenin gölgelenmesi sonucunda, bypass diyotu, kapalı anahtar haline geçer, aktifleşir ve üzerinden akım akar. Ayrıca bypass diyotları, hücrelerle ters kutuplu olarak yerleştirilir çünkü hücrelerde gölgeleme durumu meydana geldiğinde akım ters yönde akacağından dolayı bypass diyotunun işlevsel hale gelmesi gerekir (Li ve Zheng, 2011). Şekil 5.1'de bypass diyotlarının çalışma prensibi verilmiştir. Şekil 5.2'de ise gölgelenen paneldeki akımın, bypass diyotu üzerinden geçişi görülmektedir.

Gölgeli koşullar, hücrelerdeki enerji üretimini azaltırken bu duruma engel olunması için bypass diyotlarının paneldeki sayısı ve yerleşimi önemlidir (Andenæs ve ark., 2018). Genellikle seri bağlı on sekiz veya yirmi hücrede bir bypass diyotu tercih edilirken, altmış ile yetmiş iki arasında hücre bulunan panellerde ise üç bypass diyotu kullanılmaktadır. Birden daha çok bypass diyotuna sahip panellerde güç-gerilim eğrileri MPPT'de birkaç tepe oluşturması neticesinde fotovoltaiik tesislerin performansında azalmaya neden olmaktadır (Torres Lobera ve ark., 2013).



Şekil 5.1. Bypass diyotlarının çalışma prensibi¹³



Şekil 5.2. Hücrelerden geçen akımın akış yönü¹⁴

Bypass diyotu ile fotovoltaiik sistemde verim sağlanabilmesi için bypass diyotuna sahip olan hücrelerin sayısının düşük tutulması faydalı olabilmektedir (Zheng ve ark., 2014). Çünkü bu sayede gölgeli hücrelerdeki ters gerilim düşük olur ve güç kaybı azalmaktadır (Li ve Zheng, 2011; Zheng ve ark., 2013). Panellerin içlerine yerleştirilen bypass diyotlarının akımı sürmesi ile gölgelenme durumunda panellerde sıcak nokta oluşumu ve hücrelerin arızalanması engellenebilmektedir (Torres Lobera ve ark., 2013). Bu sayede hem hücre yapısı zarar görmez hem de fotovoltaiik sistemin performans kaybı düşük olmaktadır. Bu bilgilere dayanarak bypass diyotu kullanımı, panel ve hücrelerin korunmasında önemli bir rol üstlenmektedir.

¹³ <https://www.powerfromsunlight.com/wp-content/uploads/2017/09/Solar-Bypass-diode.png>

¹⁴ https://www.researchgate.net/profile/Anne_Gerd_Imenes/publication/268487729/figure/fig18/AS:295302155259912@1447416928374/PV-module-with-three-bypass-diodes-dividing-the-panel-into-three-strings-A-large-maple.png

Bypass diyotu, genellikle merkezi veya dize inverter teknolojisinin kullanıldığı fotovoltaiik sistemlerde tercih edilirken mikro inverter teknolojisi ise tercih edilmeyebilir (Zheng ve ark., 2014). Çünkü merkezi ve dize inverter yapılarının gölgeleme kayıplarından çok fazla etkilenmesi ve mikro inverter yapısının ise diğer inverterlere göre gölgelemelere karşı daha iyi performans göstermesi bu duruma sebep olabilir.

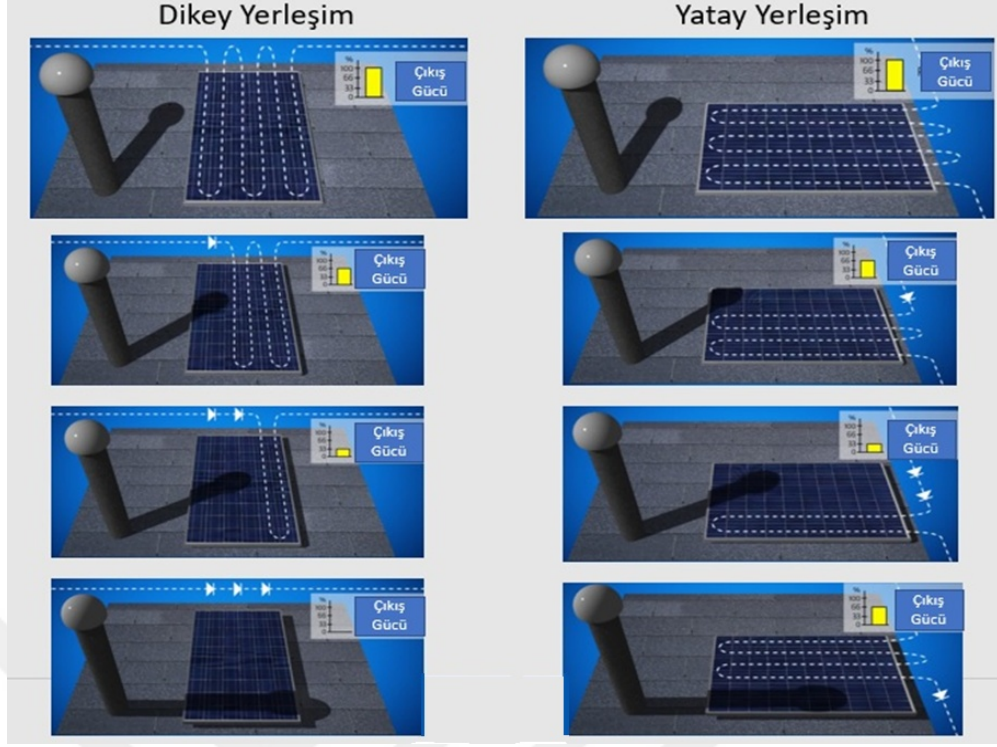
5.2. Panellerin Yatay-Dikey Olarak Konumlandırılması

Bir panel tam veya kısmi gölgelere maruz kalmaktadır. Gölgeyi çalışmanın paneller, inverterler ve tesisler üzerindeki yaratacağı kayıpları azaltmanın çözüm yollarından biri de panelin yatay veya dikey olarak konumlandırılmasıdır. Şekil 5.3'te yatay ve dikey pozisyonda yerleştirilmiş paneller görülmektedir. Panellerin konumlandırılış şekli, fotovoltaiik sistemler ve inverterler üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çünkü fotovoltaiik tesisler ve inverterlerin gölgeleme kayıplarından minimum seviyede etkilenmesi için panellerin yatay veya dikey pozisyonunun ayarlanması belirleyici rol üstlenmektedir. Bir panelin yatay veya dikey olarak yerleşimi ile tamamı gölgelenecek olan bir panelin kısmen gölgelenmesi sağlanır. Eğer bir panel tam gölgelenirse enerji üretimi kaybı fazla olacakken, bu kayıp kısmi gölgelenmede daha düşük olur. Bu açıdan bakılırsa panelin yatay-dikey konumunun ayarlanmasının, hem fotovoltaiik tesislere hem de inverterlere fayda sağlamaktadır. Şekil 5.4'te örnek olarak dikey ve yatay pozisyonda bulunan panellerin aynı şartlarda gölgelendiğinde oluşan çıkış güçlerinin yüzdeleri görülmektedir.



Şekil 5.3. Yatay ve dikey pozisyonda konumlandırılmış paneller¹⁵

¹⁵https://www.european-business.com/fileadmin/european-business/unternehmen/2127390_enersol-sprl/the_company_is_also_a_competent_partner_for_developing_solar_energy_solutions_for_customers_from_industry_and_commerce_DEFAULT_2_1.jpg
<https://www.gezegensolar.com/image/blogyazilari/160-500-kw-gunes-enerjisi-elektrik-uretimi.jpg>



Şekil 5.4. Panellerin dikey ve yatay konumlarda aynı şartlarda gölgelenmesiyle oluşan çıkış güçleri¹⁶

Panellerin yatay veya dikey pozisyonlarda kurulmasında panel çeşitleri de etkili olmaktadır. Seri bağlı ve iki hücre sırası boyunca bypass diyotuna sahip olan kristal silikonlu fotovoltaik paneller, ön taraflarında kısmi gölgeleme olduğunda alt hücrelerin korunması açısından fotovoltaik dizide yatay pozisyonda yerleştirilmelidir. İnce filmlı paneller, gölgelemenin etkisinin düşük olması için dikey şekilde monte edilir (Breck ve Topic, 2011). Bir panelin konumlandırılmasında, hava şartlarının ve gölgelerin panellerde hangi kısmı gölgelendirdiği de önemlidir. Hücreler, panelin en alt kısımlarına karların toplanması ihtimali düşünülerek yatay konumda aynı dizide bulunmaktadır. Çünkü bu sayede kar yağışı meydana geldiğinde daha az hücre etkilenmiş olur (Andenæs ve ark., 2018). Eğer bir panelin alt kenar kısımlarında gölgeleme meydana gelirse panelin yatay yönde monte edilmesi, panel kaybını 2/3 oranında düşürür (Bulanyi ve ark., 2014). Gölgeleme sebebiyle bypass diyotları ve hücrelerin, dize ve gölgeleme yönüne göre ayarlanabilmesi, panellerin dikey ya da yatay pozisyonda kurulumunda etkili olmaktadır (Trzmiel ve ark., 2020). Kar yağma durumu ve bypass diyotlarının çoğunlukla panelin uzun kenarına paralel olarak monte edilmesi gözetilerek panelin yatay şekilde kurulumunun yapılması esastır (Andenæs ve ark., 2018).

¹⁶http://www.keremcilli.com/wp-content/uploads/2019/12/g%C3%BCne%C5%9F_paneli_g%C3%B6lgelenme_etkisi.jpg

5.3. Panellerin Yüzeyinin Temizlenmesi

Panellerin yüzeyinde biriken kir ya da tozlar için tercih edilen metot panel yüzeyinin temizlenmesidir. Panellerin yüzeyinde kir ve toz birikimi panelin eğim açısına, kurulum çeşidine ve nem gibi faktörlere bağlıdır. Panellerin, güneşten gelen ışıklardan yeterince faydalanması için panelin üzerinde toplanan toz ve kirlerin, düzenli zaman aralıkları ile temizliğinin gerçekleştirilmesi gerekir. Panellerin temizliği, yağmur suları, su ile temizlik, manüel temizlik ve mekanize temizlik gibi bazı yöntemlerle gerçekleştirilmektedir. Şekil 5.5'te panel yüzeyinin temizlik yöntemlerine yer verilmiştir. Tesislere ulaşımı zor olan bölgeler için panellerin temizliği, yağmur suları ile kendiliğinden gerçekleşmektedir. Büyük ölçekli fotovoltaik sistemlerde, panellerin üzerinde birikmiş kir ve tozların su ile temizliğinin gerçekleştirilmesi için çok fazla ve basıncı yüksek olan suya ihtiyaç duyulmaktadır (Deb ve Brahmabhatt, 2018). Suyun önemli olduğu dünyamızda, su bazlı temizliğin yapılabilmesi için hem harcanacak su miktarı olabildiğince az olmalı hem de en az kullanılacak su miktarı ile panellerin temizliği sağlanmalıdır. Panellerin yüzeyindeki kir ve tozların fırça veya temizlik bezi ile yapıldığı metot ise manüel temizlik yöntemidir. Bu yöntemde kullanılan fırça veya bezin panele zarar vermeyecek şekilde seçilip kullanılması esastır. Teknolojik aletlerden veya robotlardan yararlanılarak yapılan temizlik yöntemi ise mekanize temizlik metodudur. Bu yöntem, tesislere ulaşımının zor ve suyun az olduğu bölgelerde kullanışlı olmaktadır. Ama bu yöntemde kullanılan ekipmanların bakımının ve tamirinin zor olmasının yanı sıra ekonomik olarak maliyeti de fazladır. Panellerin temizliğinin hangi metotla gerçekleştirileceği belirlenirken tesislerin bulunduğu bölgenin hava ve iklim şartları da göz önüne alınmaktadır.



Şekil 5.5. Panel yüzeyinin temizliği¹⁷

¹⁷ https://sc01.alicdn.com/kf/HTB1u_98Jb5YBuNjSspo762eNFXa7/229642255/HTB1u_98Jb5YBuNjSspo762eNFXa7.png_.webp
<http://www.onticaret.com.tr/dosya/files/W%2010.jpg>

6. PERFORMANS PARAMETRELERİ

Fotovoltaik sistemlerin performanslarını değerlendirebilmek için performans parametreleri kullanılmaktadır. Performans parametreleri, Uluslararası Elektroteknik Komisyonu'nun IEC 61724 Standardı ile belirlenmiştir. IEC 61724 Standardı, "ölçüm, veri alışverişi ve analiz için fotovoltaik sistem performans izleme kılavuzları" başlığı altında Avrupa Yönergeleri Doküman B'de yer almaktadır (Khalid ve ark., 2016). IEC 61724, FV sistemlerin izlenmesi ve performanslarının değerlendirilmesi açısından küresel bir bağlayıcılığa sahiptir. IEC 61724 ile FV sistem performansının izlenmesi ve analizi için yöntemlerin ve ekipmanların tespiti, FV sistem performansının kalite analizi için güç üretiminin ölçüm ve analizi, ayrıca FV sistemin enerji üretiminin ölçümü ve gerçek enerji üretimi ile beklenen enerji üretim sonuçlarının karşılaştırması yapılmaktadır.

Performans parametreleri, FV sistemlerin performansının matematiksel olarak hesaplanıp analiz edilmesinde tercih edilen yöntemlerdir. FV sistemlerde performans parametrelerinin hesaplanıp analiz edilebilmesi için güneş ışınımına, hücre ve panelin sıcaklığına, hava sıcaklığına, akım ve gerilim değerlerine, DC çıkış gücüne ve inverterin çıkış gücüne ihtiyaç duyulmaktadır. Performans parametreleri; FV tesislerin çalışma performansını analiz etmek, FV tesislerde meydana gelebilecek arıza ve kayıpların tespitini sağlamak, farklı bölgelerde bulunan veya farklı yapılardaki FV tesisleri karşılaştırmak ve FV tesislerin kurulumunu yapmadan önce tahminen elde edilebilecek sonuçları öngörmek amacıyla kullanılmaktadır. Farklı konumlarda kurulu olan FV sistemlerin performans analizi üzerine geçmişte birçok araştırma yapılmıştır. Performans parametreleri şunlardır: Dizi verim, referans verim, nihai verim, kapasite faktörü, performans oranı, yakalama kayıpları, sistem kayıpları, inverterin verimliliği, inverterin sistem performans oranı, sistemin verimliliği ve FV panelin verimliliğidir. Bu bölümün devamında performans parametrelerinin tanımları üzerinde durulacaktır.

Dizi Verim (Y_A): Günlük, aylık veya yıllık dizi çıkışının (E_{DC}), FV dizinin kurulu gücüne (P_o) oranı olarak hesaplanmaktadır (Khalid ve ark., 2016). Dizi verim, kWh/kW birimi ile yani saat cinsinden ölçülür. Farklı boyutlardaki FV sistemlerin karşılaştırılmasını sağlamaktadır.

$$Y_A = \frac{E_{DC}}{P_o} \quad (6.1)$$

Referans Verim (Y_R): Panel düzlemine gelen toplam ışınlam (H_t) ile fotovoltaik sistemin referans ışınlamı arasındaki oran olarak tanımlanmaktadır (Kymakis ve ark., 2009; Tripathi ve ark., 2014). Standart test koşulları (STC) altında, FV referans ışınlam, 1000 W/m^2 güneş ışınlamı ve 25° hücre sıcaklığına sahiptir. Referans verim, saat cinsinden ölçülür (Famoso ve ark., 2015). Referans verim, en yoğun güneş ışığı saatleri olarak da ifade edilmektedir. Referans verim, FV tesislerin bulunduğu konum, hava koşulları, FV panellerin eğimi ve yönü ile ilişkilidir.

$$Y_R = \frac{H_t (\text{kWh} / \text{m}^2)}{1 \text{ kW} / \text{m}^2} \quad (6.2)$$

Nihai Verim (Y_F): FV sistemin gerçek veya toplam AC enerji çıkışının (E_{AC}), FV dizinin toplam kurulu gücü veya nominal DC güce (P_o) oranıdır. Nihai verim, saat cinsinden ölçülür. Nihai verim, üretilen enerjiyi sistemin boyutuna göre normalleştirmektedir. Bu sayede, farklı boyuta sahip FV sistemleri karşılaştırmak mümkündür. Nihai verim değeri ne kadar yüksek olursa FV sistemin uygun koşullarda çalışma seviyesi de o kadar iyi olur. Panelin eğim ve azimut açısına, kirlenme ve FV tesis tasarımı ile ilişkilidir (Dobaria ve ark., 2016).

$$Y_F = \frac{E_{AC} (\text{kWh}_{AC})}{P_o (\text{kW}_{DC})} \quad (6.3)$$

Kapasite faktörü (CF): Yıllık nihai enerji çıkışının (Y_F), bir yıl (365 gün) boyunca 24 saat tam nominal güce (P_o) çalıştırılması sonucunda, FV sistemin üreteceği enerji miktarına oranıdır (Kymakis ve ark., 2009). FV sistem sürekli olarak tam anma gücü sağlarsa, CF değeri 1 olacaktır (Tripathi ve ark., 2014).

$$CF = \frac{Y_F}{8760} = \frac{E_{AC}}{P_o \times 24 \times 365} \quad (6.4)$$

Performans Oranı (PR): Nihai verimin (Y_F), referans verime (Y_R) oranı olarak tanımlanmaktadır (Sharma ve Chandel, 2013; Khalid ve ark., 2016). PR, FV sistemlerde ayrıntılı performans analizi gerçekleştiren ve dünya çapında kullanılan temel performans parametrelerinden biridir. PR, FV tesislerde sıcaklık, ışınlam ve sistem bileşenlerinin (panelin güç kaybı, verimsizlikleri, kablolama, şebekenin olmaması, gölgeleme vb.) düşük verimi veya arızalanması gibi durumlarda, dizi çıkışı üzerinde

meydana gelebilecek toplam kayıpları göstermektedir. PR, aylık veya yıllık olarak hesaplanmaktadır. Fakat günlük veya haftalık PR hesabı yapılırsa, FV tesislerde ortaya çıkabilecek olası arızaların tespiti ve çözümüne yardımcı olabilir. PR'nin kullanılması ile tahmini performans hesabına gerek yoktur. Yani, bilgisayar modellemelerine ve bu modellemelerin ortaya çıkarabileceği ek kayıplar ve hatalarla uğraşmaya gerek kalmaz. Şebeke bağlantılı FV sistemlerde PR'nin hesaplanmasıyla, performans kayıplarının ve performansa dayalı maliyet yükünün azalması sağlanabilir. FV sistemlerde PR değeri ne kadar yüksekse FV tesis o kadar yüksek verimle çalışır. Şebekeye bağlı FV sistemlerde 0,8-0,85 civarındaki değerler PR performansının yüksek olduğunu göstermektedir (Khalid ve ark., 2016). PR, panel sıcaklığının düşük olması sebebiyle kış aylarında daha yüksekken, yaz aylarında güneş ışıınımı artsa bile panel sıcaklığının yükselmesiyle daha düşüktür. PR, hava koşullarından etkilenmesine rağmen referans verim gibi konuma bağlı değildir. Performans oranı şu şekilde hesaplanır (Sharma ve Chandel, 2013; Khalid ve ark., 2016):

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (6.5)$$

Dizi yakalama kayıpları (L_C): Panel düzlemine gelen ışıının, bazı iç ve dış etkilere dolaylı elektrik enerjisine dönüştürülemediği sonucu meydana gelen kayıplardır. Bu iç ve dış etkileri panelin gölgelenmesi, kirlenmesi, panel sıcaklığının yüksek olması ve MPP'nin olağan dışı çalışması gibi faktörler oluşturmaktadır. Dizi yakalama kayıpları, referans verimi (Y_R) ile dizi verimi (Y_A) arasında fark alınarak hesaplanmaktadır (Sreenath ve ark., 2020). FV dizi kayıpları, yakalama kayıplarına sebep olmaktadır (Tripathi ve ark., 2014).

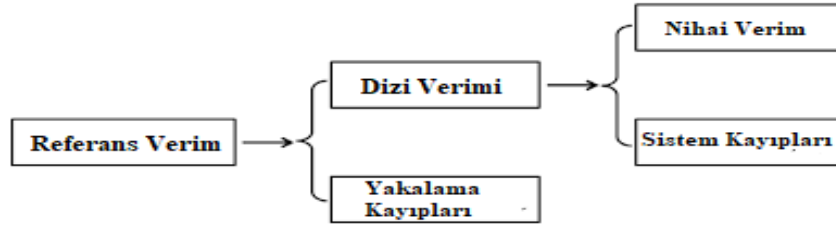
$$L_C = Y_R - Y_A \quad (6.6)$$

Yakalama kayıpları, termal yakalama kaybı (L_{ct}) ve çeşitli yakalama kaybı (L_{cm}) olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Termal yakalama kaybı, FV panelin 25°C'nin üzerinde çalışması sonucunda meydana gelmektedir. Çeşitli yakalama kaybına ise gölgeleme, bozulma, uyumsuzluk ve kablo kayıpları sebep olmaktadır (Sharma ve Goel, 2017). Termal yakalama kaybı ve çeşitli yakalama kaybının toplamı, yakalama kaybını vermektedir.

$$L_c = L_{ct} + L_{cm} \quad (6.7)$$

Sistem kayıpları (L_S): Dizi verimi (Y_A) ile nihai verim (Y_F), arasında çıkarma işlemi yapılarak bulunur. İnverter ve transformatör dönüşüm kayıpları sonucunda oluşmaktadır. Normalleştirilmiş parametreler arasındaki ilişki aşağıda Şekil 6.1'de yer almaktadır.

$$L_S = Y_A - Y_F \quad (6.8)$$



Şekil 6.1. Normalleştirilmiş parametreler arasındaki ilişki¹⁸

İnverterin verimliliği (n_j): Şebeke bağlantılı FV sistemlerde inverterin verimliliği, nihai verimin (Y_F), dizi verimine (Y_A) oranıdır (Khalid ve ark., 2016).

$$n_j = \frac{Y_F}{Y_A} \quad (6.9)$$

FV tesis kullanıcıları tarafından inverterin verimliliği değerlendirilirken genel olarak sadece inverterin tepe (nominal çıkış) verimliliği dikkate alınmaktadır. Ancak sadece nominal çıkış verimliliğini almak yeterli değildir. Çünkü inverterin verimi sadece nominal çıkış verimliliği ile sınırlı değildir. Bunun yanında ağırlıklı verimlilikte önem arz etmektedir. Dönüştürme verimliliği kendi içinde tepe (nominal çıkış) verimliliği ve ağırlıklı (ortalama) verimlilik olmak üzere iki kısımda sınıflandırılmaktadır. Ayrıca ağırlıklı verimlilik, Euro (Avrupa) verimlilik ve California (Kaliforniya) verimlilik olmak üzere iki alt dala ayrılmaktadır.

Dönüştürme Verimliliği: DC-AC dönüştürme verimliliği FV inverterin verimliliği için oldukça önemlidir. DC-AC dönüşüm verimliliği ne kadar yüksek olursa inverterin verimliliği de doğru orantılı olarak artış gösterir. Hem inverterin nominal çıkışlı verimliliğini hem de ağırlıklı verimliliği içinde barındırmaktadır. Nominal çıkışlı verimlilik ve ağırlıklı verimlilik hakkında bilgiler aşağıda verilmiştir.

¹⁸https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSnr-twPoI1ybm4-3IS_I2Yl8BVAWkUA65Gnw&usqp=CAU

1-) Nominal Çıkışlı (Tepe) Verimlilik: Nominal çıkış verimliliği, inverterlerin veri sayfalarında yer alan, kullanıcılar tarafından en çok dikkate alınan ancak genellikle üzerinde yazan değerlere günün en verimli saatlerinde ulaşan veya ulaşamayan dönüşüm verimliliği türlerindendir. Nominal çıkış verimliliği (n_R), inverterden gelen nominal çıkış gücünün (P_{out}) nominal çıkıştaki inverterin giriş gücüne (P_{in}) oranının yüzdesi alınarak tespit edilmektedir (Salam ve Rahman, 2014). P_{out} ve P_{in} 'nin birimi Watt'tır.

$$n_R = (P_{out} / P_{in}) \times 100 \quad (6.10)$$

2-) Ağırlıklı (Ortalama) Verimlilik: Güneş ışınlamına bağlı olarak inverterin verimi gün içinde değişmektedir. Bu yüzden inverterin verimliliğini değerlendirirken nominal çıkışlı verimliliğin yanında ağırlıklı verimliliğe de ihtiyaç duyulmaktadır. Ağırlıklı verimliliğin analizinde bir bölgenin iklim koşulları (enlem) ve izleme stratejileri, inverterlerin verimliliğini etkilemektedir. Ağırlıklı verimlilikler, inverterlerin maksimum dönüşüm verimliliğinden daha kesin olarak yıllık verim tahmini elde etmek için kullanılabilir (Ongun ve Özdemir, 2013). Euro ve California verimlilik, ağırlıklı verimlilik içinde sınıflandırılmaktadırlar.

a-) Euro (Avrupa) Verimliliği: Şebekeye bağlı FV inverterlerin verimliliğini karşılaştırmak için en çok kullanılan ağırlıklı verimliliktir. Euro verimlilik, gün boyunca zamana karşı dönüştürme verimliliğinin integraline yaklaşmayı hedeflemektedir (Valentini ve ark., 2008). Ayrıca Euro verimlilik, kapasite aralığı boyunca inverterin performansının ölçülmesini sağlar (Salam ve Rahman, 2014). Euro verimlilik, daha çok ışınlam seviyesi yüksek olmayan bölgeleri değerlendirmek için uygundur. Euro verimliliğin formülü aşağıda verilmiştir.

$$n_{EURO} = 0.03.n_{5\%} + 0.06.n_{10\%} + 0.13.n_{20\%} + 0.10.n_{30\%} + 0.48.n_{50\%} + 0.20.n_{100\%} \quad (6.11)$$

$\%n_i$ inverterin nominal çıkış gücündeki $\% i$ 'nin dönüştürme verimliliği olarak tanımlanmaktadır (Valentini ve ark., 2008). Baştaki katsayılar ise ağırlıklı faktörlerdir. Ağırlıklı faktörler, güneş ışınlamına bağlıdır. Ek olarak Euro verimlilik, 1991 yılında Almanya'nın Trier şehrinden alınan iklim verileri ile oluşturulmuştur (Salam ve Rahman, 2014). İnverterlerin Euro verimliliği, tipik olarak $\%93,5$ - $\%97,5$ arasındadır (Shukla ve ark., 2016).

b-) California (CEC) Verimliliği: CEC verimliliği, Euro verimliliğin, yüksek ışıma sahip bölgelere uygun olmaması üzerine California Enerji Komisyonu tarafından Sacramento Tipik Meteoroloji Yılı için alınan ışıma verileri ile oluşturulmuştur (Salam ve Rahman, 2014). Euro verimlilik ile aynı yapıda olmalarına rağmen CEC verimlilik farklı ağırlıklı faktör ve dönüştürme verimliliği değerlerine sahiptir. CEC verimliliğinin formülü aşağıda verilmiştir.

$$n_{CEC} = 0.04.n_{10\%} + 0.05.n_{20\%} + 0.12.n_{30\%} + 0.21.n_{50\%} + 0.53.n_{75\%} + 0.05.n_{100\%} \quad (6.12)$$

İnverterin sistem performans oranı (ISPR): Ömür boyu enerji dönüşüm verimliliğinin genel bir indeksidir. AC enerji çıkışının, DC enerji çıkışına oranıdır (He ve ark., 2012).

$$ISPR = \frac{E_{AC}}{E_{DC}} \quad (6.13)$$

Sistemin Verimliliği (n_{sys}): İnverterin günlük çıkış gücünün (kWh), toplam düzlem içi güneş ışıması (kWh/m²) ile FV dizinin alanının (m²) çarpımına oranıdır.

$$n_{sys} = \frac{E_{AC}}{H_t \times A} \times 100 \quad (6.14)$$

FV panelin verimliliği (n_{PV}): DC çıkış gücü (E_{DC}), panel düzlemine gelen güneş ışıması (H_t) ve panelin alanına (A) bağlıdır.

$$n_{PV} = \frac{100 \times E_{DC}}{H_t \times A} (\%) \quad (6.15)$$

7. MATERYAL VE METOT

7.1. Şebekeye Bağlı FV Sistemlerin Tanımı

Şebeke bağlantılı fotovoltaik tesisler, Türkiye'nin Konya ili sınırları içerisinde 38.029649°K enlem ve 32.50487°D boylama sahip ve deniz seviyesinden 1168 m yüksekte yer alan Konya Teknik Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu'nda 350 m²'lik açık tesis alanına kurulmuştur. Tesisler, şebeke bağlantılı hibrid inverter sistemi ve şebeke bağlantılı mikro inverter sistemi olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Şekil 7.1'de ön kısımda yer alan 18 panel şebeke bağlantılı mikro inverter sistemi, arka kısımda yer alan 36 panel ise şebeke bağlantılı hibrid inverter sistemi göstermektedir.



Şekil 7.1. FV tesisler

7.1.1. Şebeke bağlantılı hibrid inverter sistemi

Şebeke bağlantılı hibrid inverter sisteminde monokristal paneller, DC sigorta, akü grubu üç fazlı hibrid dize inverter, AC sayaç ve kritik yük gibi FV sistem bileşenleri bulunmaktadır. Şebeke bağlantılı hibrid inverter sistem, 9580 W kurulu güce sahiptir. Hibrid dize inverter ve sistem bileşenleri Şekil 7.2'de, sistemin özellikleri Çizelge 7.1'de verilmiştir.



Şekil 7.2. Hibrid dize inverter ve sistem bileşenleri

Çizelge 7.1. Şebeke bağlantılı hibrid inverter sistemin özellikleri

Tesisin Kurulu Gücü	9580 W
FV Paneller	Monokristal
Toplam Panel Sayısı	36
Paralel Dize Sayısı	2
FV Panellerin Toplam Yüzey Alanı	57,75336 m ²
Eğim Açısı	30° (sabit)
Doğrultu / Pozisyon	Güney / Yatay
Akü Grubu	4*12V-200Ah Jel Akü
Yük	2*70W/220V Led Projektör, M. Bilgisayar

7.1.2. Paneller

Şebeke bağlantılı hibrid inverter sistemde, 30° sabit eğim açısıyla güneye yönlendirilmiş ve yere monteli monokristal paneller tercih edilmiştir. Bu sistemde toplam 36 adet panel bulunup iki dize halinde yer almaktadır. Sistemdeki panellerin kurulumunda M60-265 ve M60-270A isimli Endüstriyel marka olan iki panel tipi kullanılmıştır. Panel tipleri isimlendirilirken genellikle panelin maksimum çıkış gücü değeri dikkate alınmaktadır. Bu panel tipleri 265 W ve 270 W maksimum çıkış gücüne sahiptir. Dizenin birinde 18 adet M60-265, diğer dizede ise 10 adet M60-265 ve 8 adet M60-270A tipi panel bulunmaktadır. Monokristal panellerin teknik özellikleri EK-1'de verilmiştir (Anonim3, 2021).

7.1.3. Akü grubu ve yük

Akü grubu, 4 adet 12V-200Ah'lık seri bağlı akülerden meydana gelmektedir. Bu aküler, Deep Cycle (Derin Döngü) jel tipi yapıya sahiptir. Bu akü tipi, uzun yıllar kullanılmaya elverişlidir. Akü grubu, şebekedeki elektrik kesintileri meydana geldiğinde inverterlerin çıkışındaki kritik yükün beslenmesini sağlamaktadır. İnverter, FV sistemde üretilen elektrik enerjisi ile akü grubunu şarj etmektedir. Diğer yandan ise inverter, AC çıkışındaki elektrik enerjisi ile yükü beslemektedir. Ek olarak inverter, artan elektrik enerjisini de şebekeye vererek üniversitenin enerji gereksiniminin de karşılanmasına yardım etmektedir. Yük, FV sistem verilerinin işlenmesi için kullanılan bir adet masaüstü bilgisayar ve iki adet Helios (LMCP70W, Beyaz, 220VAC) marka led projektör lambasından oluşmaktadır. Akü grubu Şekil 7.3'te verilmiştir.



Şekil 7.3. Akü grubu

7.1.4. Şebeke bağlantılı hibrid dize inverter

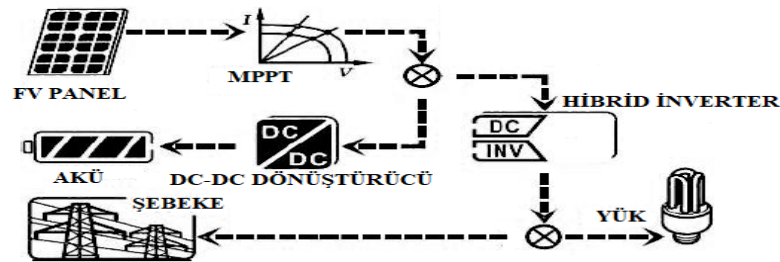
İnverterler, şebeke bağlantılı FV sistemlerde elektrik enerjisinin üretimi ve üretilen gücün şebekeye iletimi açısından anahtar rol üstlenmektedir. İnverter, şebekeye bağlı fotovoltaik tesislerde paneller tarafından üretilen DC enerjiyi, AC saf sinüs çıkışlı enerji haline dönüştürerek kritik yüklerde kullanılmasının yanı sıra şebekeye aktarımını da sağlamaktadır. Dize inverterlerde, gölgeli çalışma durumlarında elektrik üretimi devam ettirmek için her bir dizede ayrı MPPT sistemi bulunmaktadır. Böylece gölgeleme, bulutlanma ve atmosferik olaylardan dolayı dizelerin güç üretim performansı fazla etkilenmemektedir. Fotovoltaik sistemde üç fazlı, 10 kVA güce sahip ABAX marka trafosuz hibrid dize inverter tercih edilmiştir (Anadol ve Erhan, 2019).

Bu inverter, 10000W maksimum çıkış gücüne ve % 91 verime sahiptir (Anonymous2, 2021). Hibrid inverterler, hem şebekeye bağlı hem de şebekeden bağımsız sistemlerin kullanımına olanak sağlamaktadır. Bu inverter tipi sadece monokristal ve polikristal panellerde kullanılabilir. Diğer panel tipleri ile uyumlu değildir. Hibrid dize inverter iki ayrı dize girişine sahip 18 panelin seri bağlanması ile toplam 36 panel grubuna bağlıdır. Hibrid dize inverter Şekil 7.4'te ve bu inverterin teknik özellikleri ise EK-2'de gösterilmektedir (Anonymous2, 2021).



Şekil 7.4. Hibrid inverter

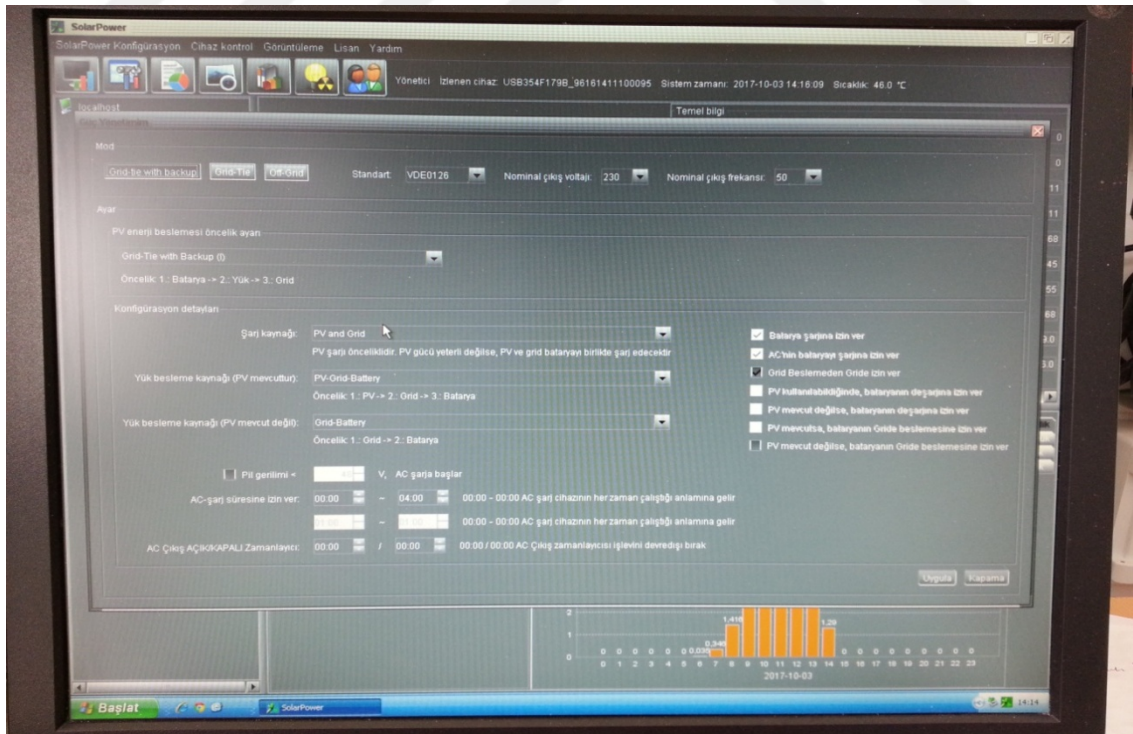
Hibrid inverterler yedekli şebekeye bağlı, şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olmak üzere üç farklı şekilde çalışmaktadır. Yedekli şebekeye bağlı çalışma modunda FV sistemin ürettiği elektrik enerjisi şebekeye, yüke ve aküye ulaşmaktadır. Şebekeye bağlı çalışma modunda FV sistemde üretilen enerji sadece şebekeye verilmektedir. Şebekeden bağımsız çalışma modunda ise üretilen elektrik, aküyü ve yükü beslemektedir. Hibrid dize inverterin çalışma şeması Şekil 7.5'te yer almaktadır.



Şekil 7.5. Hibrid dize inverterin çalışma şeması¹⁹

¹⁹ <https://voltronicpower.com/>

Hibrid dize inverter, yedekli ve şebeke bağlantılı çalışma biçimini kullanacak şekilde ayar edilmiştir. Yani ilk önce FV sistemde üretilen elektrik enerjisi, aküyü şarj etmektedir. FV sistemde üretilen elektrik enerjisi fazla ise yüke verilmektedir. Bu sayede yükün enerji ihtiyacı, FV sistemden karşılanmış olur. Daha da fazla elektrik enerjisi mevcutsa bu enerji, şebekeye iletilerek fakültenin elektrik enerjisine olan bağımlılığının azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. Bu çalışma modunda akü, ilk önce FV sistemin ürettiği enerji ile şarj edilmektedir. Ancak üretimin yeterli olmadığı durumda akünün şarjı şebekeden temin edilmektedir. Eğer FV sistemde enerji üretimi gerçekleşiyorsa yükü beslemek için gerekli olan enerji sırasıyla FV sistem, şebeke ve aküden elde edilmektedir. FV sistemde üretilen enerji, aküyü şarj ettikten sonra yeterli seviyede ise yüke iletilmektedir. Eğer FV sistemin ürettiği enerji yeterli değilse bu enerji, şebekeden çekilmektedir. Şebeke devre dışı ise akünün yedeklediği enerji ile yükün enerji ihtiyacı karşılanmaktadır. Bunun dışında FV sistemde enerji üretimi söz konusu değilse yükü beslemek için şebekeden faydalanılmaktadır. Ayrıca yüke enerji iletimi gerçekleştirmek için aküdeki elektrik enerjisinin kullanımı tercih edilmemektedir. Hibrid dize inverterin, FV sistemdeki çalışma modu ile ilgili görsel Şekil 7.6'da verilmektedir.



Şekil 7.6. Hibrid dize inverterin çalışma modu

7.1.5. Şebeke bağlantılı mikro inverter sistemi

Şebeke bağlantılı mikro inverter sistemde yatay pozisyonda, güney yönde, kurulumu taşıyıcı sistem üzerine yapılmış olan 18 adet polikristal yapıya sahip paneller bulunmaktadır. Bu panel grubu P60-265A tipi olup maksimum çıkış gücü 265 W'tır. Polikristal panellerin teknik özellikleri EK-1'de verilmektedir (Anonim3, 2021). Şebeke bağlantılı mikro inverter sistem, 4770 W kurulu güce sahiptir. Ön kısımda 9 adet panel yer alırken bunlar üçerli grup halinde sırasıyla 0°, 10° ve 20° eğim açısına sahiptir. Arka kısımda ise yine 9 adet panel bulunurken bunlarda da üçerli grup halinde sırasıyla 30°, 40° ve 50° eğim açısı mevcuttur. Ayrıca, bu sistemde her iki panel başına bir mikro inverterin montajı gerçekleştirilmiştir. Bu sistemde toplam 9 adet Northern Electric (NEP) BDM-600 markalı mikro inverter bulunmaktadır. Bu inverter, 550 W maksimum çıkış gücüne ve % 99,5 CEC verimine sahiptir (Anonymous3, 2021). Şebeke bağlantılı mikro inverter montajı Şekil 7.7'de verilmektedir. Ayrıca, şebeke bağlantılı mikro inverter sisteminin özellikleri Çizelge 7.2'de yer almaktadır. Mikro inverter teknik özellikleri ise EK-3'te verilmektedir (Anonymous3, 2021).



Şekil 7.7. Mikro inverter montajı

Çizelge 7.2. Şebeke bağlantılı mikro inverter

Tesisin Kurulu Gücü	4770 W
FV Panel	Endüstriyel P60-265A (Polikristal)
Toplam Panel Sayısı	18 (Her eğim açısında üç panel)
FV Panellerin Toplam Yüzey Alanı	28,87668 m ²
Eğim Açısı	0°-10°-20°-30°-40°-50° (Sabit)
Doğrultu / Pozisyon	Güney / Yatay

Ölçüm, kayıt ve uzaktan izleme sistemi Şekil 7.8'de gösterilmiştir. Tüm panel ve mikro inverter işletme verileri, inverterler ile uyumlu Gateway (NEP BDG-256P3) cihazı ile elde edilmiştir. Bu cihaz, mikro inverterler ile güç hattı üzerinden haberleşmektedir. Gateway cihazı, işletme verilerini internet üzerinden inverter üreticisi firmanın bulut sunucusuna aktarmaktadır. Böylece, sunucu üzerindeki veri kayıtlarına kayıtlı kullanıcı bilgileri kullanılarak uzaktan akıllı cihazlarla veya yerel olarak erişmek ve izlemek mümkün olmaktadır. Ayrıca internet olmadan yerel izleme gerçekleştirilmektedir. Pratik kullanıma sahip ekranı ile inverterler anlık olarak izlenebilmektedir. Bu sayede olası arızaların giderilmesi kolaylaştırılır. Bu Gateway cihazı, 255 mikroinvertere kadar izleme kapasitesi, 7 inç ekran ve 8 W maksimum güç tüketimi gibi teknik özelliklere sahiptir. Ayrıca çift gerilim (100-240 VAC) ve frekans (50-60 Hz) desteğinin yanı sıra 3G-4G internet desteği de bulunmaktadır (Anonymous4, 2021). Gateway cihazının ön görünümü Şekil 7.9'da yer almaktadır.

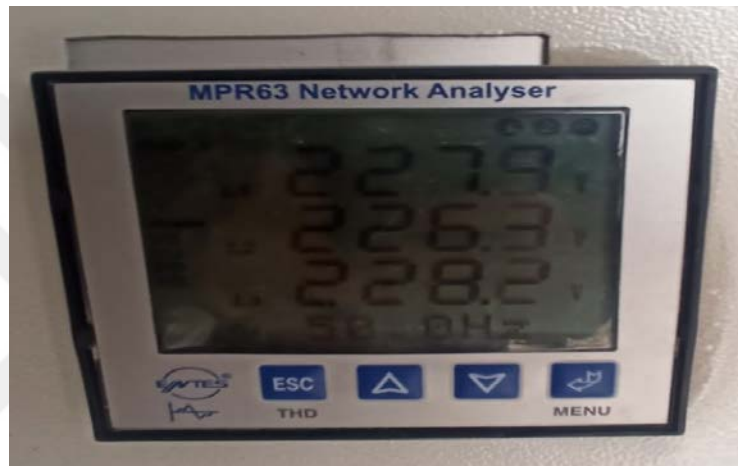


Şekil 7.8. Ölçüm, kayıt ve uzaktan izleme sistemi



Şekil 7.9. Gateway cihazının ön görünümü

3 fazlı elektrik şebekesinin sistem parametrelerini ölçmek için bir şebeke analizörü (ENTES, MPR63) kullanılmıştır. Bu şebeke analizörü ile faz akımları, gerilimleri, frekans ve toplam harmonik bozulma (THD) gibi değerlerin ölçümleri yapılmaktadır. Şebeke analizörü Şekil 7.10'da gösterilmektedir. Bu veriler, RS485-USB2 çevirici üzerinden tesis alanındaki bilgisayara 1 dk örnekleme aralığıyla sürekli kayıt edilmektedir. Sistem parametrelerini izlemek ve analiz etmek için analizör cihazı ile uyumlu bilgisayar yazılımı (ENTBUS Plus) kullanılmıştır. Bununla birlikte test sistemindeki cihazların iç tüketimi ve şebekeye aktarılan enerji, çift yönlü elektrik sayacı (KOHLE, AEL.TF.21) ile ölçülmektedir.



Şekil 7.10. Şebeke analizörü

Şebeke düzensizlikleri ve kesintileri nedeniyle tesisteki veri kayıt ve diğer izleme cihazlarında veri kaybını önlemek için saf sinüs çıkış dalga şekline sahip bir kesintisiz güç kaynağı (Tunçmatik, 1 KVA On Line Newtech Pro) kullanılmıştır. Ayrıca, panel yüzeylerinde kar ve buzlanma olaylarını gözlemlemek ve güvenlik açısından tesis alanına bir IP kamera (Haikon DS-2CD2620F-IS) ve NVR kayıt cihazı (Haikon 7600) konulmuştur. Kamera sistemi, 7/24 süreyle dâhili harddisk'e sürekli kayıt yapmaktadır (Anadol, 2020).

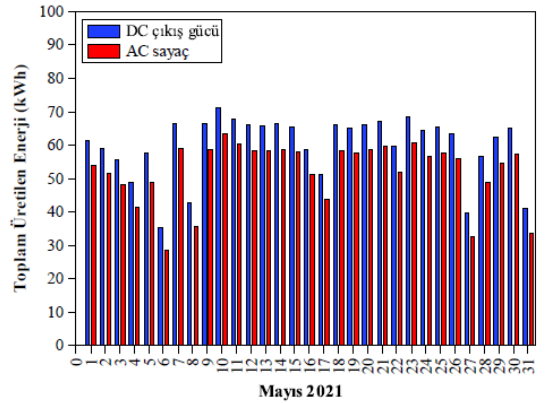
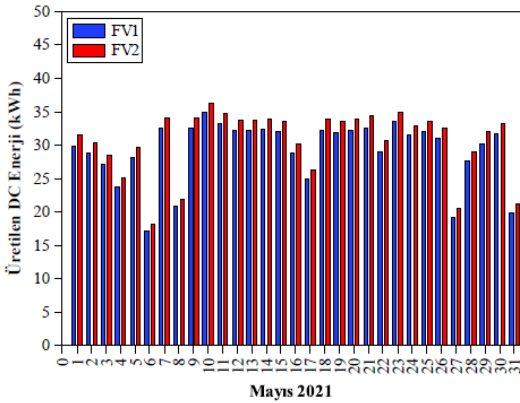
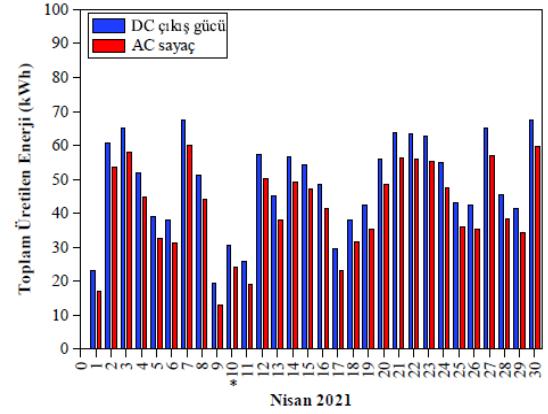
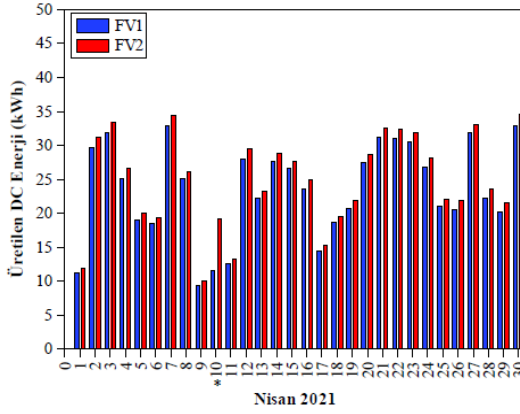
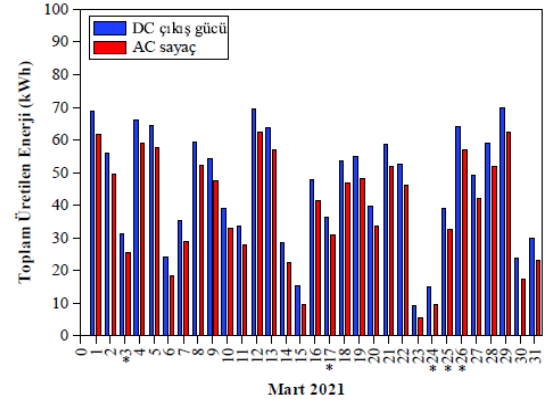
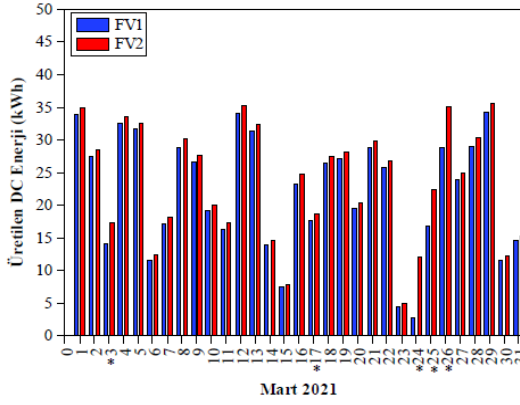
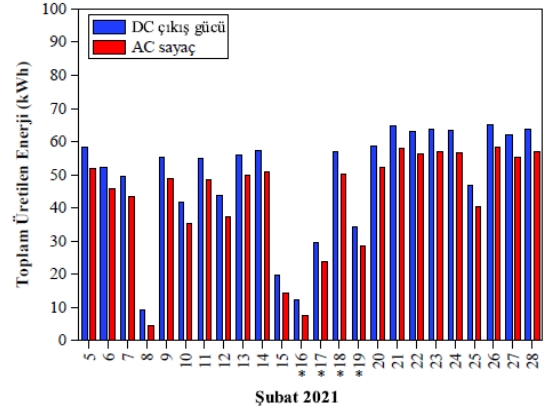
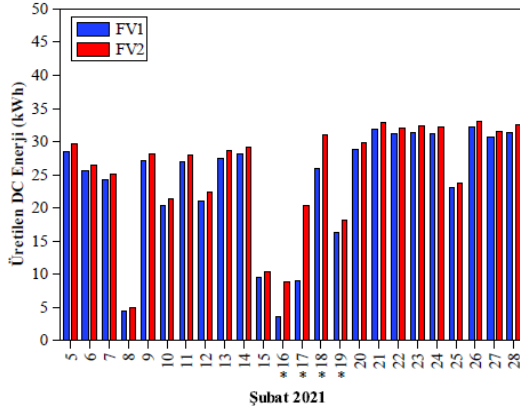
7.2. Metodoloji

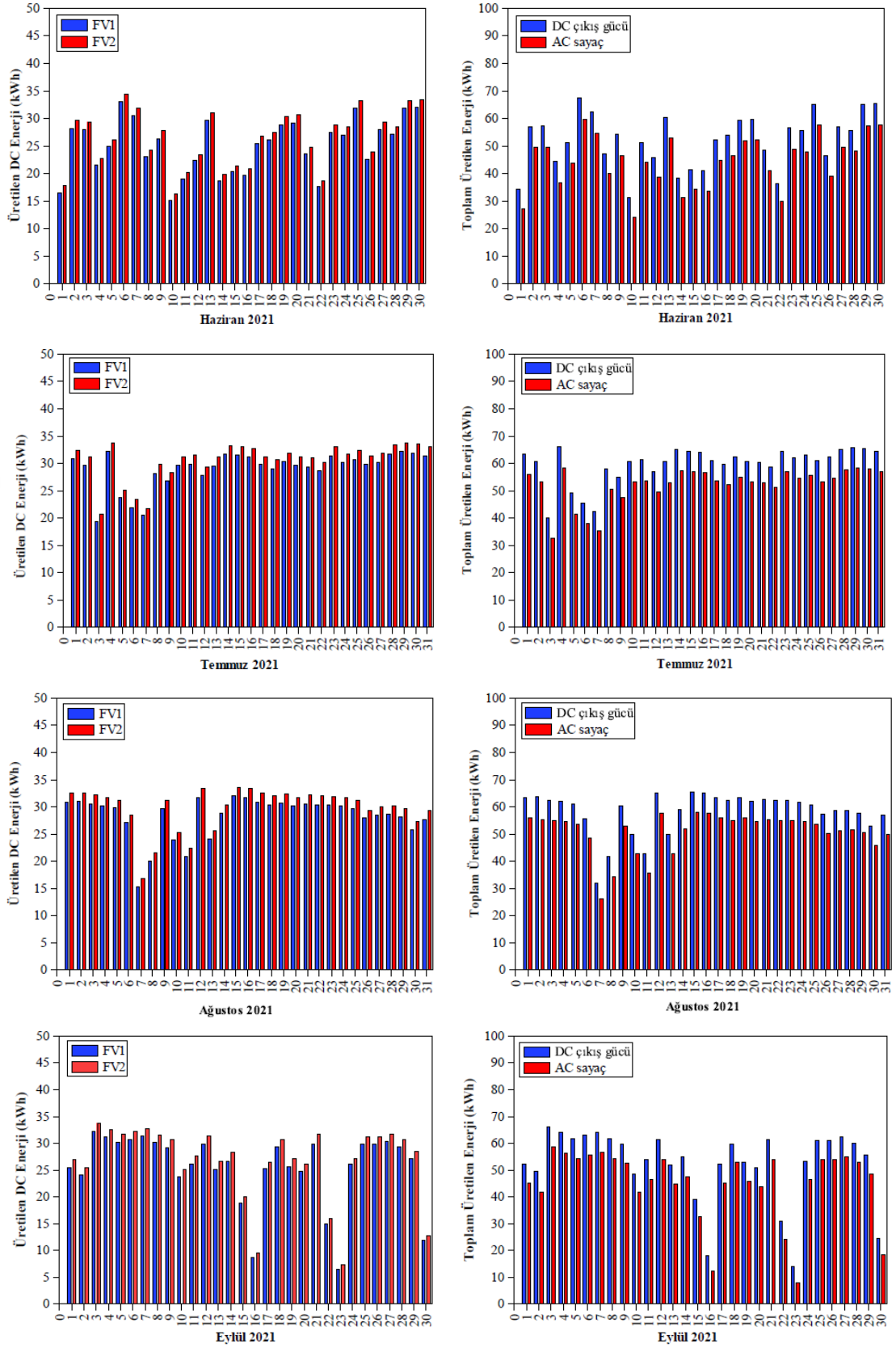
Bu tez çalışmasında, kar ve buzlanmanın hibrid inverter sistemi ve mikro inverter sistemi üzerindeki etkilerini analiz edebilmek için sayaç ile analizörün ölçüm değerleri ve inverterlerin bulut sistemindeki verileri kullanılmıştır. Ayrıca ışıınım ve sıcaklık verileri, meteoroloji İstasyon'undan temin edilmiştir. Bu verilerin tümü dakikalık olarak işlenmektedir. Bu veriler, hibrid inverter sistemi ve mikro inverter sisteminin performans analizinde kullanılmıştır. Bu verilerin takibi, 2021 yılının Şubat ayından başlanarak Ekim ayına kadar gerçekleştirilmiştir. Şebekeye bağlı hibrid inverter sistemi ve mikro inverter sistemini karşılaştırabilmek için performans parametrelerinin matematiksel hesapları, Microsoft Excel programı ile yapılmıştır.

Kar yağışlı bazı günlerde hibrid inverter sistemindeki iki dizeden biri ve mikro inverter sisteminden ise her eğim açısındaki bir panel çek-çek ile temizlenmiştir. Panel temizliği gerçekleştirilmeyen kar yağışlı günlerde ise kar örtüsü ve buz kütlelerinin şebekeye bağlı FV sistemlere olan etkisi incelenmiştir. Bu incelemeyi gerçekleştirmek amacıyla şebekeye bağlı FV sistemler, kamera ile kayıt altına alınmıştır.

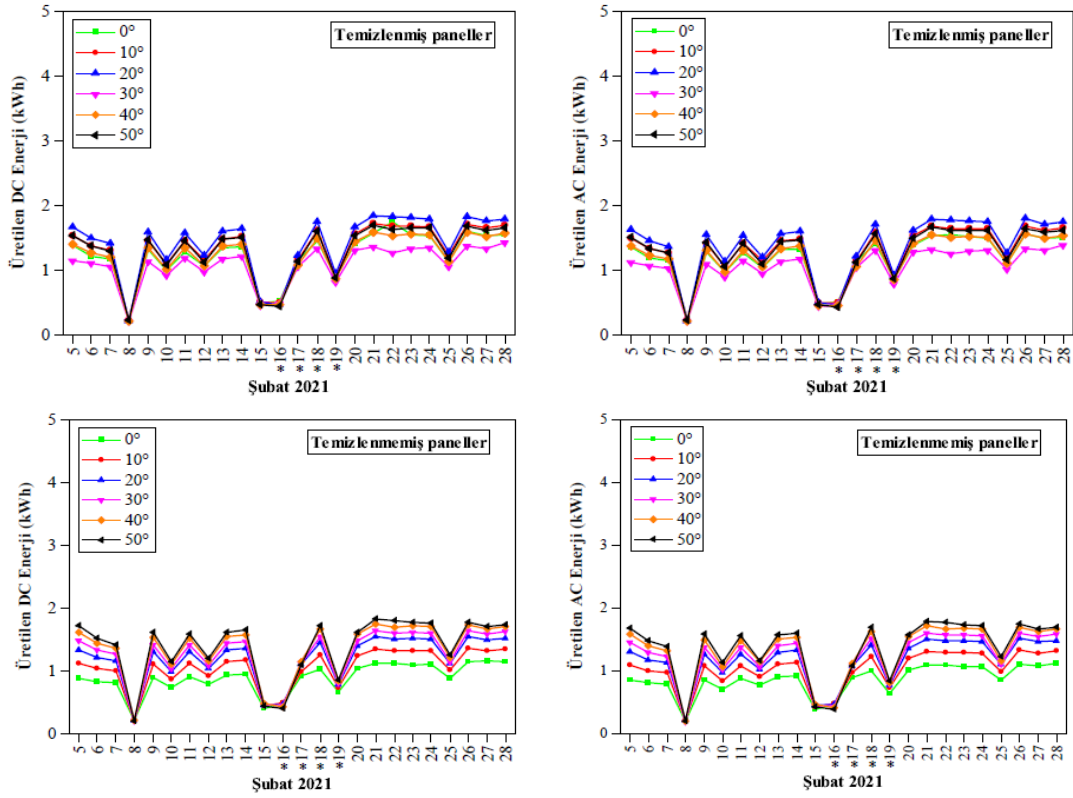
8. HİBRİD İNVERTER VE MİKROİNVERTER SİSTEMLERİNİN ENERJİ ÜRETİMİNE KAR YAĞIŞININ ETKİSİ

Şekil 8.1'de şebeke bağlantılı hibrid dize inverter sisteminin iki ayrı dizesinde üretilen günlük DC enerji ve hibrid inverterdeki toplam günlük DC ve AC enerji üretim değerlerinin aylar içindeki değişimi verilmiştir. Şekil 8.2 ile Şekil 8.10 arası verilen grafiklerde mikroinverter sisteminde kar birikintileri temizlenmiş ve temizlenmemiş farklı eğim açıları ile yerleştirilmiş panellerin aylar içindeki günlük DC ve AC enerji üretiminin değişimi gösterilmiştir. Şekil 8.11'de çalışma periyodu boyunca kar yağışlı günlerde panel yüzeylerinde biriken kar yığınlarının gün içinde farklı zamanlarda değişimlerini gösteren anlık görüntüler, şebeke bağlantılı FV sistemlerin kurulu olduğu tesis alanını görüntüleyen kamera kayıtlarından alınmıştır. 2021 yılı boyunca çalışma periyodu içinde kar yağışları Şubat, Mart ve Nisan ayında meydana gelmiştir. Şubat ayında, kış mevsiminin olağan hava koşullarına bağlı olarak genel enerji üretimi düşüktür. Çünkü bu ayda, kar yağışlarının meydana gelmesi ve gökyüzünün çoğunlukla bulutlu olması panel düzlemine gelen güneş ışınımını olumsuz olarak etkilemektedir. Kış aylarında gün ışığından faydalanma sürelerinin kısa olmasına ek olarak kar yağışlı günlerde panellerin kar örtüsü ile kaplanması inverter sistemlerindeki enerji üretimi düşürmektedir. 2021 yılı Mart ayı, çalışma periyodu içinde toplamda 5 gün ile en fazla kar yağışı ve enerji kaybının gerçekleştiği ay olmuştur. Konya'da nadiren de olsa ara sıra Mayıs ayında kar yağışı meydana gelmekte ve genel olarak yağışlar yağmur şeklinde görülmektedir. Fakat 2021 yılı Mayıs ayında ne kar, ne de yağmur şeklinde yağış olmamıştır. Bölge ortalamasının çok üstündeki yüksek ısıtım, gökyüzündeki bulutlu gün sayısındaki azalma ve çok yüksek olmayan çalışma ortamı sıcaklığı sayesinde yaz aylarındaki kadar yüksek enerji üretimi gerçekleşmiştir. Bölgede genellikle Mayıs ayında yağması beklenen yağmur yağışları, 2021 yılında çoğunlukla Haziran'da gerçekleşmiştir. Haziran ayındaki yağışlar ve bulutlu gün sayısındaki artış, FV tesislerden elde edilecek enerji üretimini düşürmüştür. Temmuz ve Ağustos aylarında gün ışığından yararlanma sürelerinin uzaması ve güneş ışınlarının düşük eğim açılı yüzeylere dik şekilde gelmesi enerji üretimini artırırken, yaz aylarına özgü yüksek çalışma ortamı sıcaklıkları panellerdeki verimin düşmesine neden olmuştur.

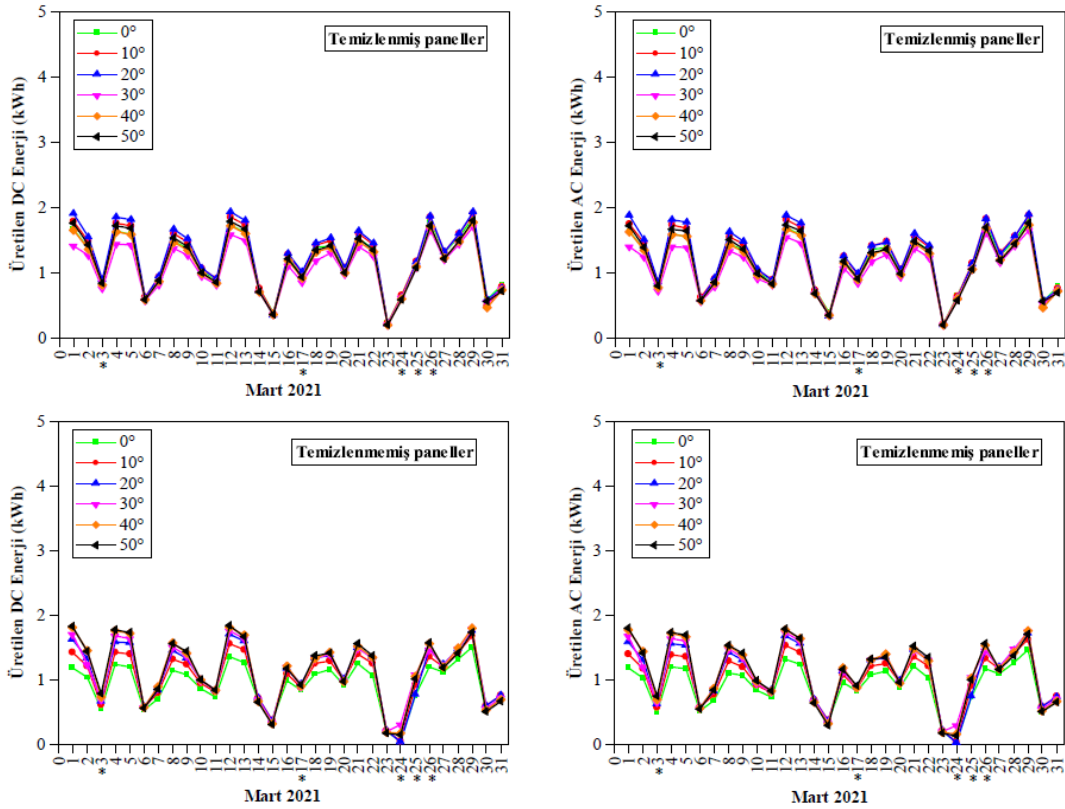




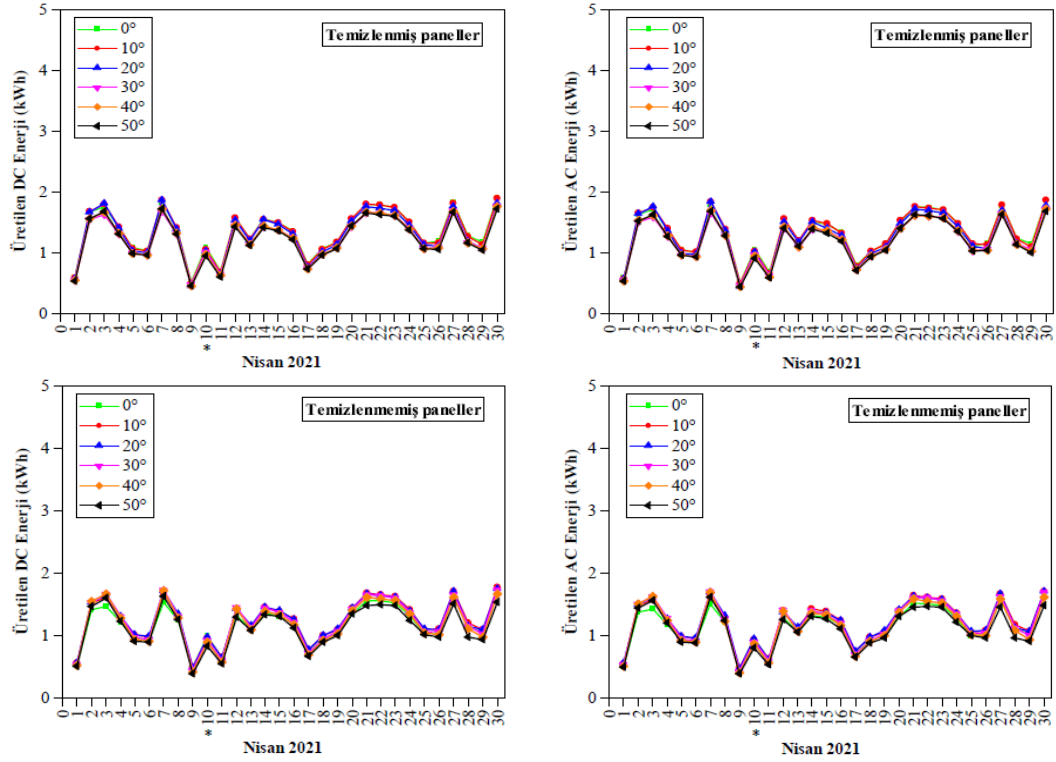
Şekil 8.1. Şebeke bağlantılı hibrid dize inverter sisteminin fotovoltaik dizelerinde DC enerji üretimi (solda) ile hibrid inverterin toplam DC ve AC enerji üretiminin (sağda) aylar içindeki değişimi (Kar yağışlı günler yıldızla işaretlenmiştir)



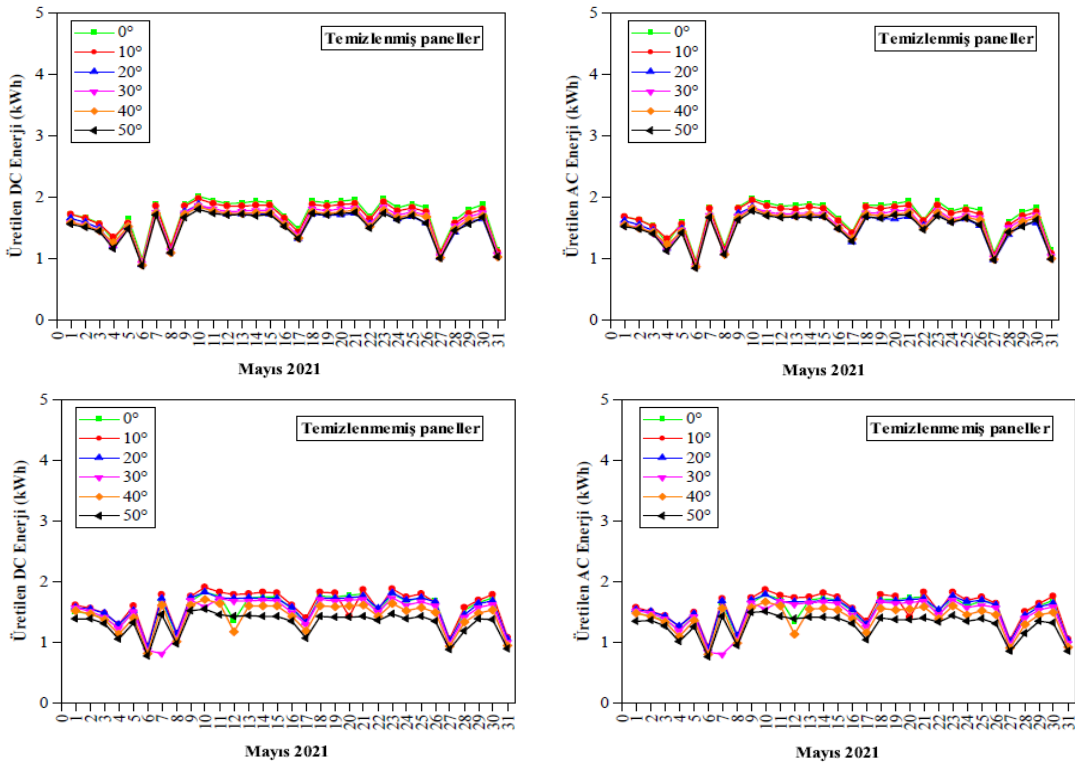
Şekil 8.2. Mikroinverter sisteminde farklı eğim açıları ile yerleştirilmiş olan temizlenmiş ve temizlenmemiş panellerin Şubat ayı içindeki günlük DC enerji üretimi (solda) ve AC enerji üretiminin (sağda) değişimi (Kar yağışlı günler yıldızla işaretlenmiştir)



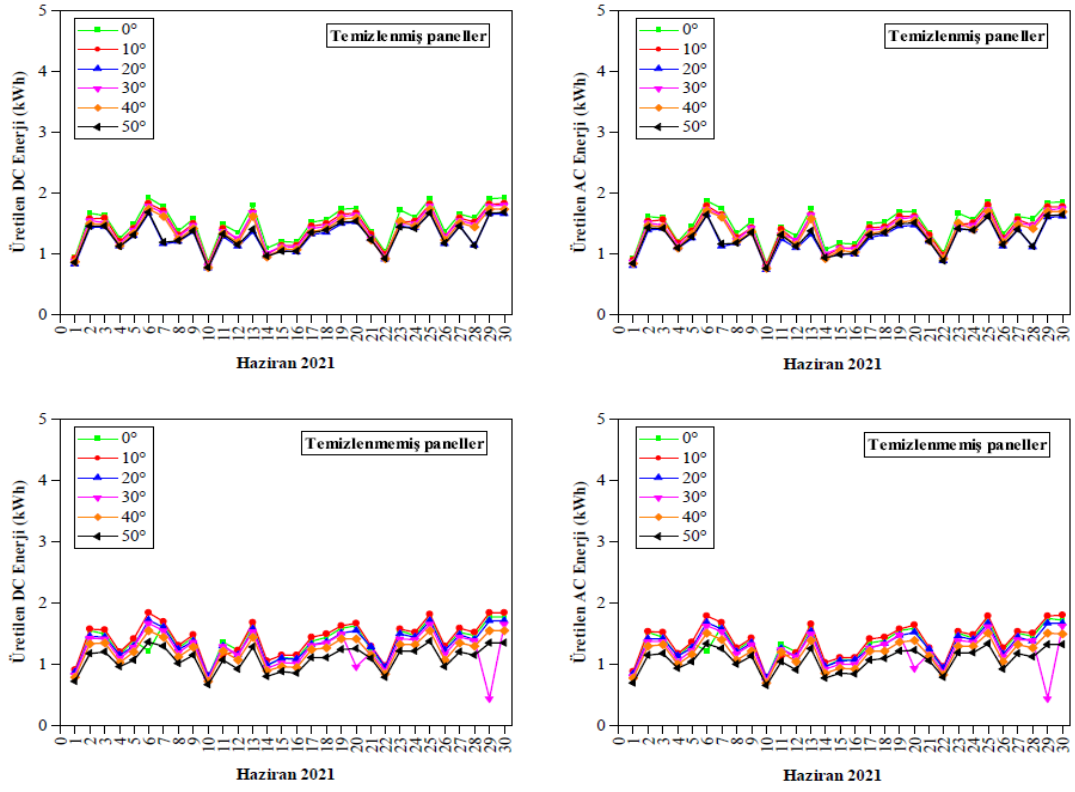
Şekil 8.3. Mikroinverter sisteminde farklı eğim açıları ile yerleştirilmiş olan temizlenmiş ve temizlenmemiş panellerin Mart ayı içindeki günlük DC enerji üretimi (solda) ve AC enerji üretiminin (sağda) değişimi (Kar yağışlı günler yıldızla işaretlenmiştir)



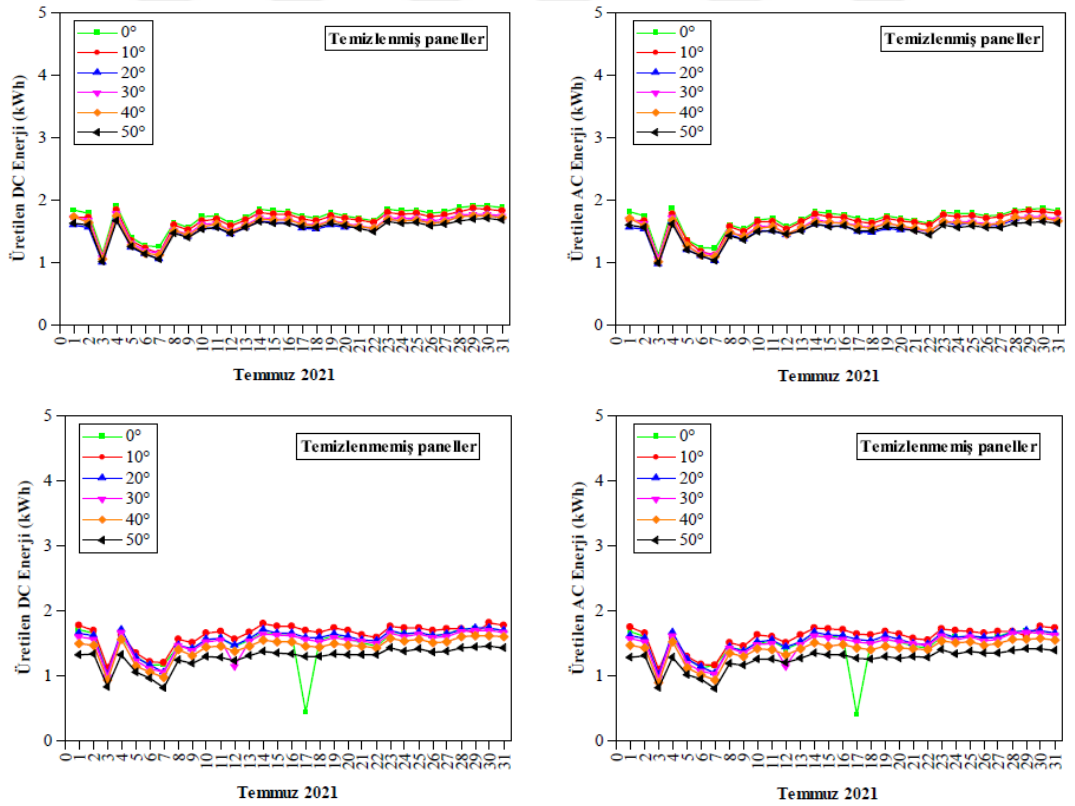
Şekil 8.4. Mikroinverter sisteminde farklı eğim açıları ile yerleştirilmiş olan temizlenmiş ve temizlenmemiş panellerin Nisan ayı içindeki günlük DC enerji üretimi (solda) ve AC enerjinin (sağda) değişimi (Kar yağışlı günler yıldızla işaretlenmiştir)



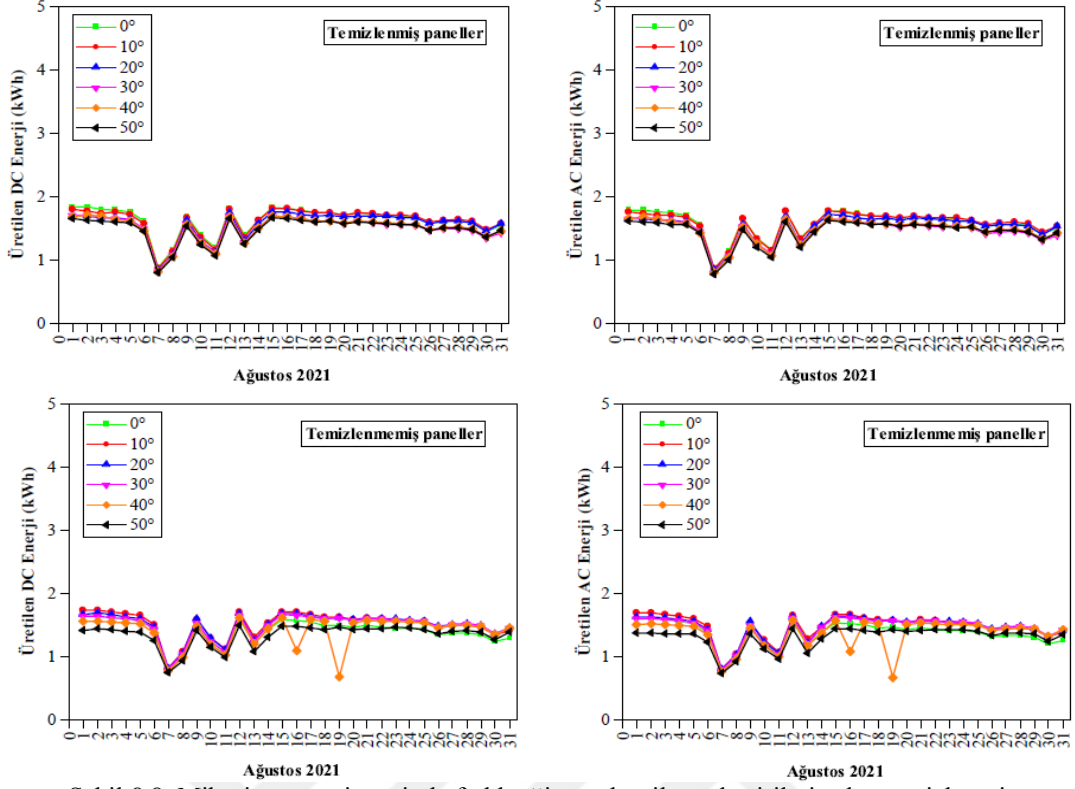
Şekil 8.5. Mikroinverter sisteminde farklı eğim açıları ile yerleştirilmiş olan temizlenmiş ve temizlenmemiş panellerin Mayıs ayı içindeki günlük DC enerji üretimi (solda) ve AC enerjinin değişimi (sağda)



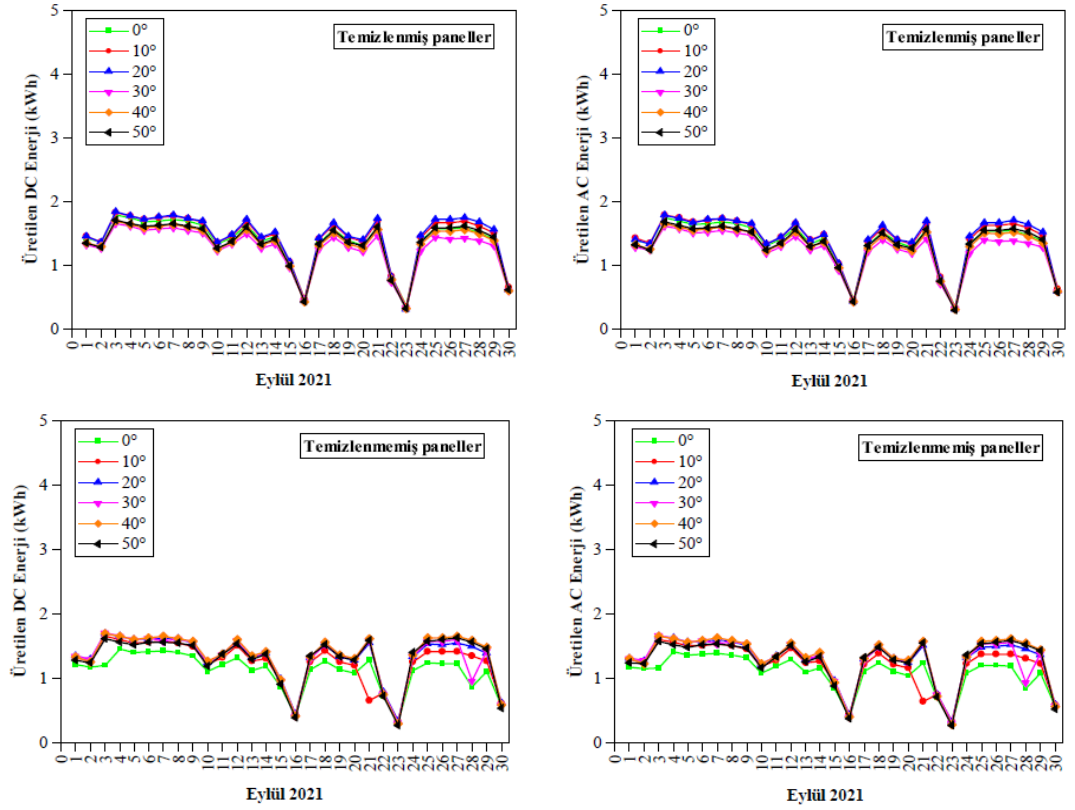
Şekil 8.6. Mikroinverter sisteminde farklı eğim açıları ile yerleştirilmiş olan temizlenmiş ve temizlenmemiş panellerin Haziran ayı içindeki günlük DC enerji üretimi (solda) ve AC enerji üretiminin değişimi (sağda)



Şekil 8.7. Mikroinverter sisteminde farklı eğim açıları ile yerleştirilmiş olan temizlenmiş ve temizlenmemiş panellerin Temmuz ayı içindeki günlük DC enerji üretimi (solda) ve AC enerji üretiminin değişimi (sağda)

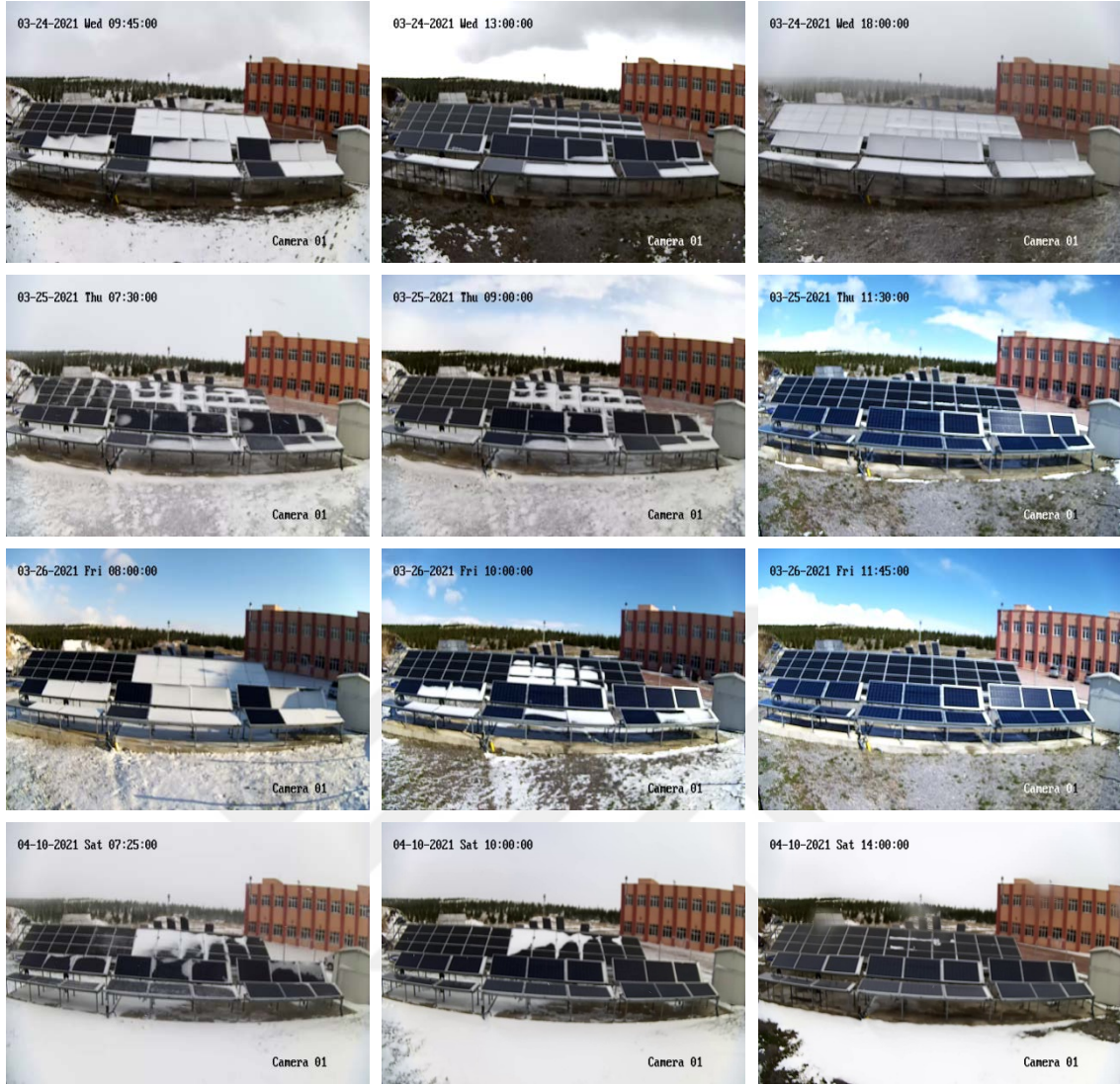


Şekil 8.8. Mikroinverter sisteminde farklı eğim açıları ile yerleştirilmiş olan temizlenmiş ve temizlenmemiş panellerin Ağustos ayı içindeki günlük DC enerji üretimi (solda) ve AC enerji üretiminin değişimi (sağda)

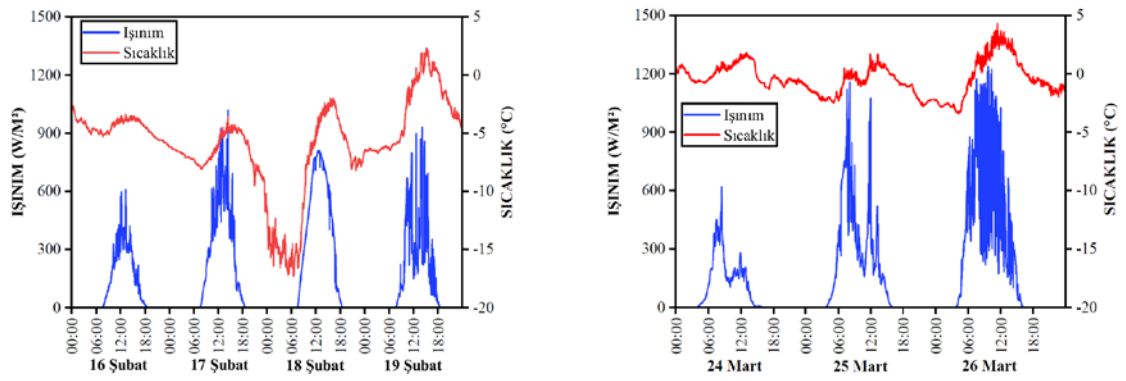


Şekil 8.9. Mikroinverter sisteminde farklı eğim açıları ile yerleştirilmiş olan temizlenmiş ve temizlenmemiş panellerin Eylül ayı içindeki günlük DC enerji üretimi (solda) ve AC enerji üretiminin değişimi (sağda)





Şekil 8.10. Şebeke bağlantılı FV tesislerdeki panellerin yüzeyinde biriken kar yığınlarının gün içindeki değişimi



Şekil 8.11. Kar yağışı meydana gelen ardışık günlerde ısıtım ve sıcaklık değişimi

Kar yağışının en etkili ve enerji kayıplarının en büyük olduğu ardışık günlere ait ısıtım ve sıcaklık değişimleri Şekil 8.11'de verilmiştir. Şubat ayı içinde 16 Şubat, 17 Şubat ve 19 Şubat'ta kar yağışı meydana gelmiştir. Tesis alanındaki hibrid ve mikroinverterli FV sistemlerin kar yağışından kaynaklanan performans kayıplarını değerlendirmek ve karşılaştırma yapmak için aynı eğim açısındaki panel ve dizelerden biri çek-çek ile temizlenirken diğeri kar kaplı bırakılmıştır. Şekil 8.12 ve Şekil 8.13'te kar yağışlı günlere ait sırasıyla hibrid inverterli sistemdeki dizelerin güç üretimi ve mikroinverterli sistemde farklı eğim açıları ile yerleştirilmiş panellerdeki güç üretimi karşılaştırmalı olarak verilmiştir. 16 ve 17 Şubat'taki kar yağışlı günlerde tesis alanındaki kuvvetli rüzgar ve toz şeklinde yağan kar, panel yüzeylerinde düzensiz kar dağılımına sebep olmuştur. Mikroinverterli sistemde çeşitli eğim açılarındaki panellerin yüzeyinde kuvvetli rüzgar ve paneller arası açıklıklar nedeniyle kar birikmemiştir.

Hibrid dize inverter sisteminde dizelerden birinin karla kaplanması ve diğer dizedeki kar temizleme faaliyeti, dizeler arası güç üretiminde belirgin şekilde farklılık göstermektedir. Panel yüzeylerinin kardan temizlenmesi dizenin güç üretimini belirgin şekilde arttırmaktadır. 18 Şubat'ta panel yüzeylerinde biriken dağınık kar yığınları havanın açması ve güneşin etkisi ile erimiştir. Bu nedenle dizelerin enerji üretiminde gözle görülür bir artış meydana gelmiştir. 19 Şubat'ta sabaha karşı başlayan kar yağışı çok kısa sürmüş ve gün içinde güneşin etkisini göstermesiyle kısa sürede erimiştir. Sabah saatlerinde düşük eğimli panel yüzeylerindeki kar kalınlığı yaklaşık 1,2 cm olarak ölçülmüştür. Eğim açısı büyük panellerde ise kar kalınlığı 0,5 cm olarak ölçülmüştür. Dizeler arasında güç üretimi, 19 Şubat tarihinde hızlı değişen bu hava olayları nedeniyle çok fazla değişiklik göstermemiştir. 16 ile 19 Şubat arasında yaşanan kar yağışı olayları nedeniyle temizlenen ve temizlenmeyen dizelerin toplan DC enerji üretimi üzerinden yapılan karşılaştırmada enerji kaybı, yaklaşık %30 olarak hesaplanmıştır.

2021 yılı Mart ayı içinde farklı zamanlarda kar yağışı meydana gelmiştir. 3 Mart 2021'de gece yağan kar nedeniyle tesis alanındaki tüm paneller kar ile kaplanmıştır. Sabah saatlerinde kar kalınlığı, en düşük eğimli panel yüzeyinde (0°) yaklaşık 3 cm olarak ölçülürken, en yüksek eğim açısına sahip panel yüzeyinde (50°) 1,5 cm olarak ölçülmüştür. Tesis alanındaki panel ve dizelerden biri kar kaplı bırakılırken diğeri temizlenmiştir. Kar yağışı, gün içinde devam etmemiştir. Hava sıcaklığının çok düşük olmaması nedeniyle öğle saatlerine doğru panel yüzeylerdeki kar, eğimli yüzeylerde panelin alt kenarına doğru kaymaya başlamıştır. Öğleden sonra yüzünü gösteren güneş,

tüm panel yüzeylerindeki karı eritmiştir. Bu nedenle dizelerin enerji üretimi arasındaki fark, çok fazla açılmamıştır. Kar yağışının dizelerin toplam enerji üretimine etkisi çok az olmuştur. Dizeler arasındaki toplam DC enerji kaybı, yaklaşık %18,75 olarak hesaplanmıştır. Aynı eğim açısına sahip mikroinverterli panelde ise enerji kaybı yaklaşık %25,36 olarak hesaplanmıştır. En az üretim kaybı ise %5,83 ile 50° eğim açısına sahip panelde gerçekleşmiştir.

Mart ayı içinde kar yağışı meydana gelen bir diğer gün 17 Mart tarihi olmuştur. Sabah erken saatlerinde başlayan kar yağışı öğle saatlerine kadar devam etmiştir. Panel yüzeyinde biriken kar yığınlarının çok sulu olması nedeniyle panel yüzeyindeki kar birikintileri erken saatlerde panel yüzeyinden kayarak dökülmüştür. Hava sıcaklığının sıfırın üzerinde olması nedeniyle öğle saatlerinde panel yüzeylerinde hemen hemen hiç kar kalmamıştır. Bu nedenle, tesis alanındaki panel yüzeylerinde kar temizleme faaliyeti gerçekleştirilmemiştir.

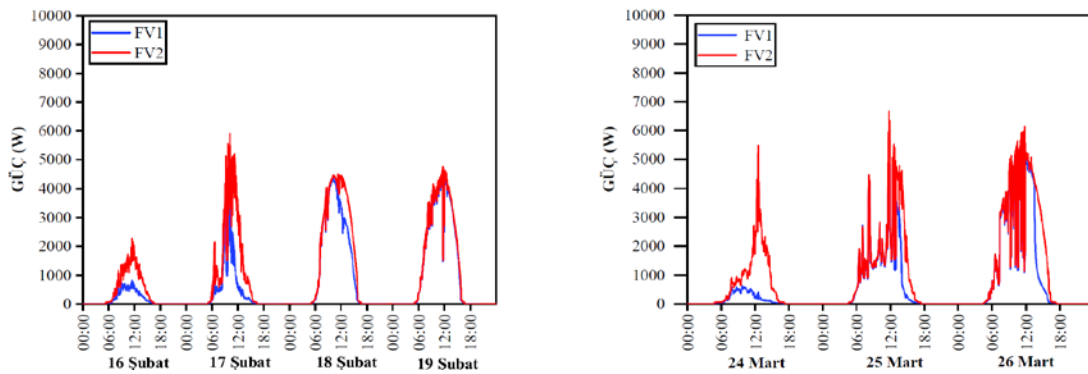
Mart ayı içinde en etkili kar yağışları 24-26 Mart tarihleri arasında gerçekleşmiştir. 24 Mart'ta panel yüzeylerindeki kar kalınlığı düşük eğimli yüzeylerde yaklaşık 3 cm iken, 30° ve üzeri eğim açısına sahip panel yüzeylerinde 1,5 cm olarak ölçülmüştür. Sabah saatlerinde panel yüzeylerinde donan kar yığınlarını temizlemek zaman almıştır. Öğleye doğru artan ortam sıcaklığı sayesinde panellerdeki kar tabakaları eğimli yüzeylerde panelin alt kenarına doğru kaymaya başlamıştır. Gün boyu hava bulutlu ve kapalı olduğundan eğimli paneller yarı gölgeli şekilde çalışmıştır. Düşük eğimli yüzeylerde ise panelin büyük bir kısmı uzun süre kar kaplı kalmıştır. Gün sonunda kar yağışı tekrar başlamış ve panellerin yüzeyi karla kaplanmıştır. Hibrid inverterli sistemde kar kaplı dizelerde DC enerji kaybı, %76,83 iken aynı eğim açısındaki mikroinverterli panelde enerji kaybı, %49,67 olarak hesaplanmıştır. Hibrid inverterli sistemde aynı dizelerde birbirine seri bağlı karla kaplanan panel sayısının fazla olması enerji kaybını arttırmıştır. Mikroinverterli sistemde en yüksek enerji kaybı, yaklaşık %92 ile düşük eğimli panellerde gerçekleşmiştir. 40° ve 50° eğim açısına sahip panellerde DC enerji kaybı ise yaklaşık %75 olarak hesaplanmıştır. Üretim kaybının düşük çıkması beklenen yüksek eğim açılı panellerde kaybın bu kadar fazla çıkmasının nedeni, bu tarihlerde yüksek eğimli panel düzlemine gelen ışınım miktarının az olmasıdır.

25 Mart sabahı tesis alanındaki kuvvetli rüzgar ve hafif kar yağışı nedeniyle hibrid inverterli sistemde panel yüzeyleri dağınık kar yığınları ile kaplanmıştır. Dizelerden biri temizlenirken diğeri kar kaplı bırakılmıştır. Mikroinverterli sistemde

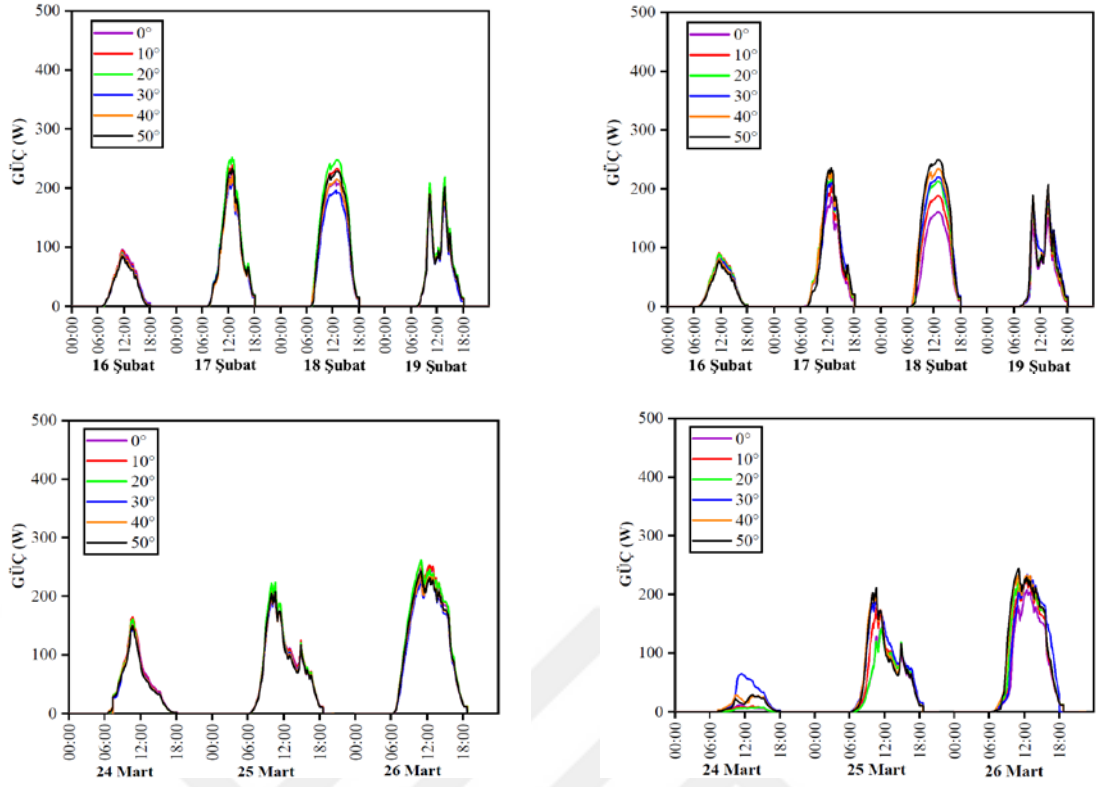
eğim açısı yüksek panellerde rüzgarın etkisiyle kar birikmemiştir. Düşük eğimli panel yüzeyleri ise çok az karla kaplanmıştır. Öğle saatlerine doğru kar yağışı ve rüzgar kesilerek açık ve güneşli bir gökyüzü ortaya çıkmıştır. Öğleden sonra kar kaplı panellerin yüzeyindeki kar tümüyle erimiştir. Hibrid inverterli sistemde üretim kaybı, yaklaşık %25,35 iken mikroinverterli sistemin 30° ve üzeri eğim açısına sahip panellerinde enerji kaybı olmamıştır. Bu panellerin günlük enerji üretiminde sadece üreticinin belirttiği sınır değerler dahilinde küçük üretim farklılıkları görülmüştür. 0° , 10° ve 20° eğim açısına sahip panellerde ise sırasıyla %34,5, %21,7 ve %33,70 üretim kayıpları meydana gelmiştir.

26 Mart gününün ilk saatlerinde başlayan kar yağışı nedeniyle panel yüzeyleri tekrar karla kaplanmıştır. Sabah panel yüzeylerindeki kar kalınlığı, yaklaşık 0,5 cm olarak ölçülmüştür. Tesis alanında kar temizleme faaliyeti yapılmasına karşın havanın güneşli ve açık olması nedeniyle bu kar tabakaları, öğle saatlerinden önce panel yüzeylerinde eriyerek kaybolmuştur. Hibrid inverterli sistemde kar kaplı dizinin enerji kaybı yaklaşık %18,17 olarak hesaplanmıştır. Mikroinverterli sistemdeki 0° , 10° , 20° , 30° , 40° ve 50° eğim açısına sahip panellerde ise enerji kaybı sırasıyla %33, %26,42, %20,70, %11,40, %8,50 ve %8,35 olarak hesaplanmıştır.

Nisan ayında kar yağışı, sadece 10 Nisan tarihinde meydana gelmiştir. Sabah erken saatlerdeki kuvvetli rüzgar ve hafif kar yağışı hibrid inverterli sistemin panel yüzeylerinde dağınık kar birikintilerine neden olmuştur. Diğer kar yağışlı günlerde olduğu gibi dizelerden biri temizlenmiş ve diğeri kar kaplı bırakılmıştır. Gün içinde hafif kar atıştırmış fakat ortam sıcaklığının sıfırın üstünde olması nedeniyle bu kar birikintileri öğleye doğru panel yüzeylerinde erimiştir. Kuvvetli rüzgar nedeniyle mikroinverterli sistemdeki panel yüzeyleri karla kaplanmamıştır. Hibrid inverterli sistemde kar kaplı dizinin enerji kaybı, yaklaşık %39,26 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 8.12. Kar yağışı meydana gelen ardışık günlerde temizlenen ve kar kaplı bırakılan hibrid inverter sistemindeki dizilere ait anlık DC güç üretimi



Şekil 8.13. Kar yağışı meydana gelen ardışık günlerde temizlenen (solda) ve kar kaplı bırakılan (sağda) mikroinverter sistemindeki panellerde anlık DC güç üretimi

9. HİBRİD İNVERTER VE MİKROİNVERTER SİSTEMLERİNİN PERFORMANS ANALİZİ

Hibrid ve mikroinverter teknolojilerine sahip iki farklı FV sistemin performans analizi için bu tesislere ait gerçek çalışma koşullarındaki işletme verileri ve bölgesel meteorolojik veriler (ışınım, sıcaklık, nem ve rüzgar hızı) çalışma periyodu süresince toplanmıştır. Bununla birlikte, aynı tesis alanındaki farklı eğim açlarına sahip panellerin düzlemine gelen ışıınım miktarı, yıl içindeki bölgesel küresel ışıınımın değişimine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Tesis alanındaki farklı eğim açlarına sahip panellerin düzlemine gelen saatlik toplam ışıınım değerleri, gün boyunca yatay düzleme gelen dakikalık çözünürlükteki küresel ışıınım değerlerinin literatürde kabul görmüş, basitlik ve kullanım kolaylığı ile bilinen ISOTROPIC gökyüzü modelinde dönüştürülmesiyle elde edilmiştir. Daha sonra Nihai Verim, Referans Verim, Dizi Verimi, Performans Oranı, Sistem Kayıpları, Yakalama Kayıpları ve Kapasite Faktörü gibi çeşitli performans göstergelerini analiz edilmiştir.

Mikroinverterli sistemdeki panellerin dizi ve nihai verimi, gateway cihazı ile kaydedilen DC ve AC enerji üretim verileri kullanılarak temizlenen ve kar kaplı bırakılan paneller için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu panellerde üretilen DC enerji, mikroinverterler üzerinden şebekeyi beslemektedir. Hibrid inverterli sistemde ise her bir dizeden şebekeye aktarılan AC güç, inverterin mevcut yapısından dolayı ayrı ayrı ölçülememiştir. Ayrıca hibrid inverterli sistemde bulunan akü grubu, gün içinde dizelerden elde edilen güç ile şarj edilmekte, artan güç fazlası şebekeyi beslemektedir. Bu nedenle, gün içinde şebekeye aktarılan toplam AC enerji miktarı azalmaktadır. Diğer yandan kar yağışlı günlerde dizelerden biri kar kaplı bırakılırken diğer dizede kar temizleme faaliyeti yapılmaktadır. Hibrid sistemin çıkışından ölçülen toplam AC enerji, bu iki dizenin şebekeye aktardığı toplam enerjidir. Dolayısıyla hibrid inverterli sistemin dizi ve nihai verim hesaplarında dizilerden elde edilen toplam enerji değerleri kullanılmıştır.

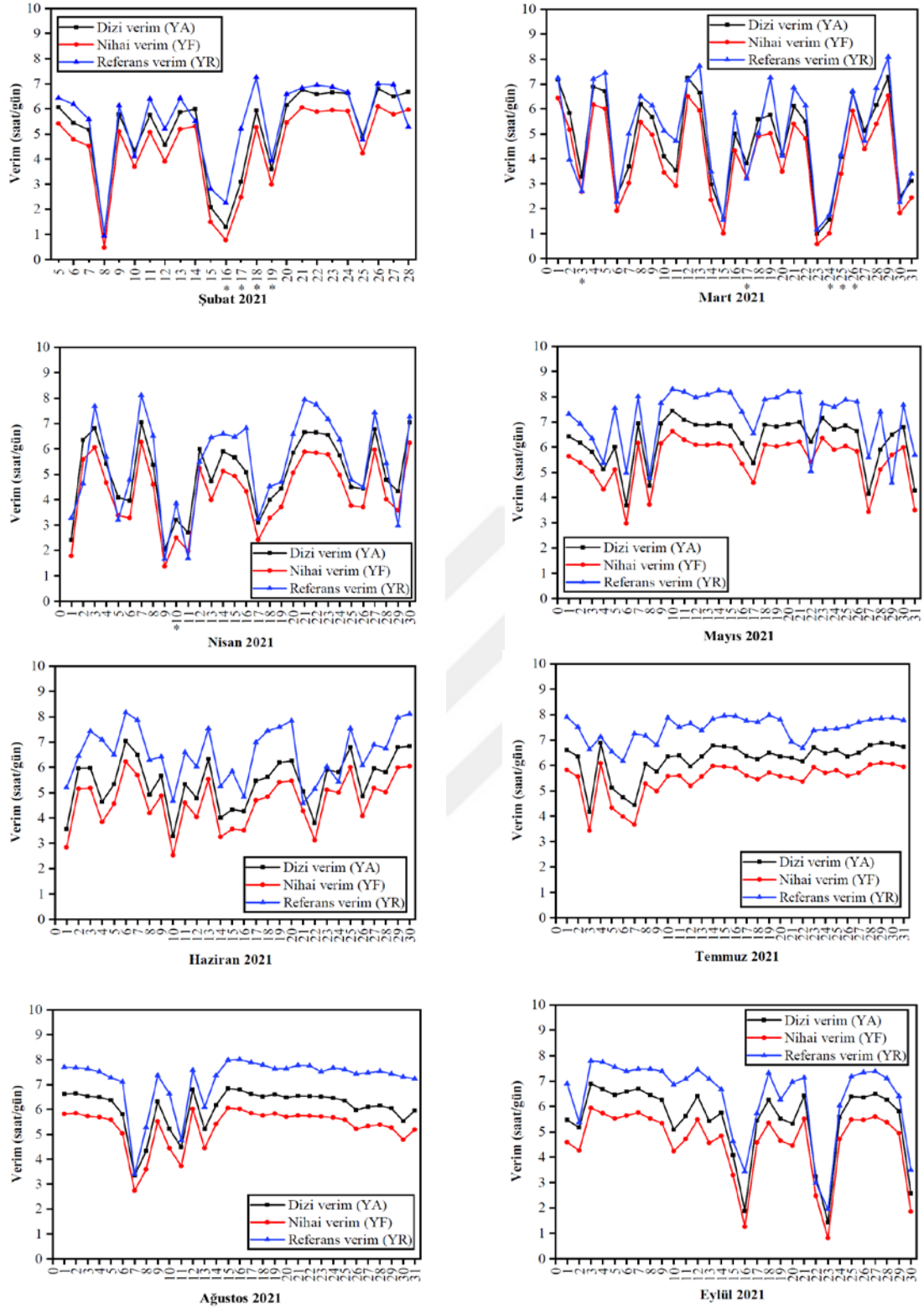
Şebeke bağlantılı hibrid inverter sistemine ait dizi verimi, nihai verim ve referans verimin çalışma periyodu süresince aylar içindeki değişimi Şekil 9.1'de verilmiştir. Şekil 9.2 ile Şekil 9.10 arası verilen grafikler, mikroinverter sisteminde temizlenen ve temizlenmeyen panellere ait dizi verimi, nihai verim ve referans verimin çalışma periyodu boyunca aylar içindeki değişimlerini göstermektedir.

Referans verim, panel düzlemine gelen ışınlam miktarına bağlıdır. Gökyüzündeki bulutlanma ve güneş ışınlarının geliş açısına bağlı olarak referans verim, yaz aylarında eğim açısı küçük yüzeylerde ve kış aylarında eğim açısı büyük yüzeylerde yüksektir. Tesis alanı için 2021 yılı Mayıs, Temmuz ve Ağustos ayları referans verimin en yüksek olduğu aylardır. Yaz aylarından farklı olarak Mayıs ayında yağış olmaması ve açık gökyüzü nedeniyle hem ışınlam hem de referans verim, mevsim normallerinin çok üzerindedir.

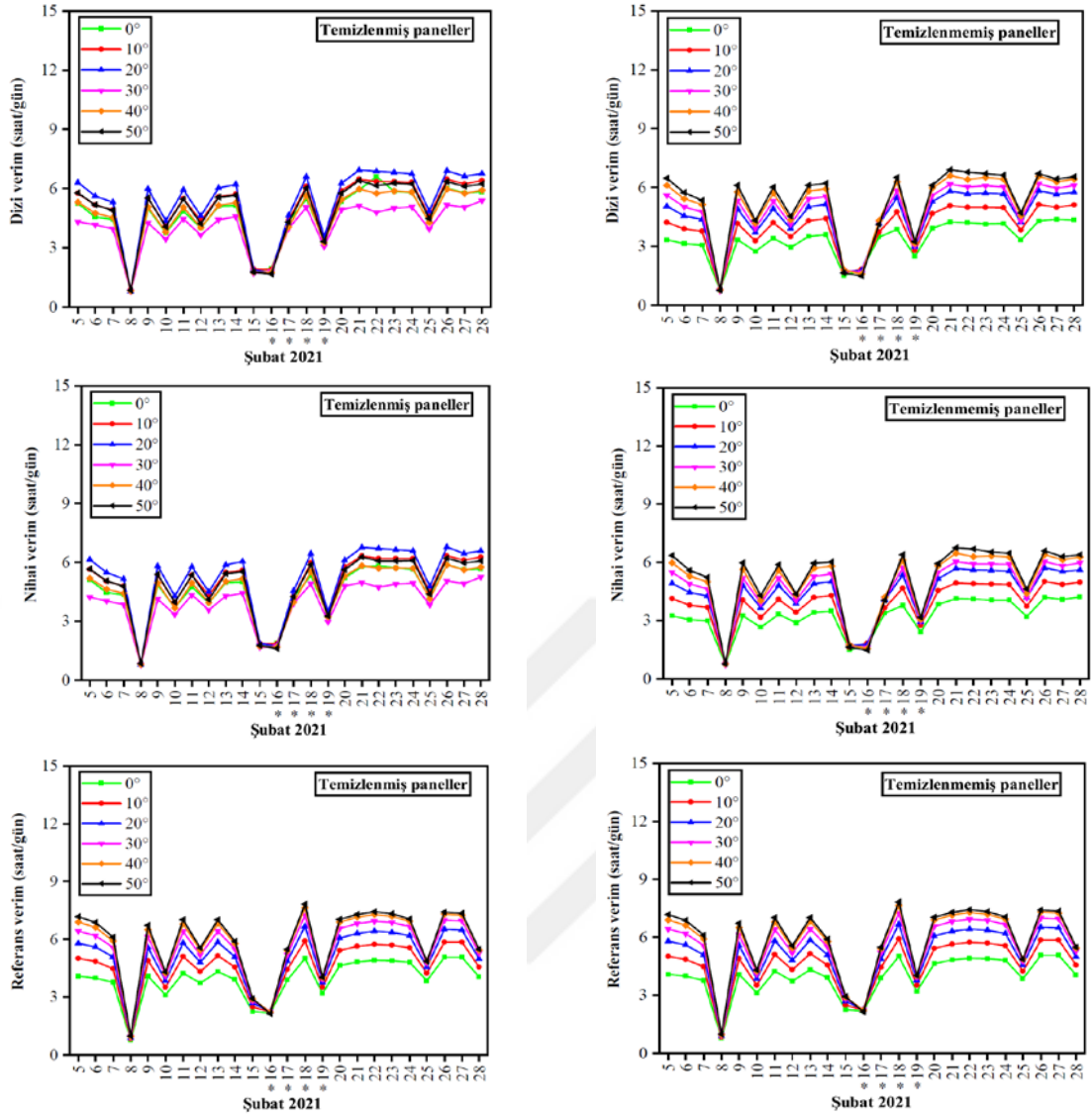
Dizi ve nihai verim, FV tesislerin sırasıyla DC ve AC güç çıkışı ile orantılıdır. FV sistemlerde enerji üretimi, ışınlama bağlı olduğundan dizi ve nihai verim de dolaylı olarak ışınlamdan etkilenmektedirler. FV sistemlerin panel düzlemine gelen ışınlamdan maksimum düzeyde faydalanması için panel yüzeylerinin gölgelenmemesi ve temiz olması gerekir. Şubat ve Mart aylarında gökyüzündeki bulutlanma ve kar yağışları hem küresel ışınlamı hem de panel düzlemine gelen ışınlamı düşürdüğünden referans verim ile birlikte FV sistemlerin DC ve AC enerji üretimleri de düşmektedir. Diğer yandan FV sistemlerin DC ve AC enerji üretimleri, panel yüzeyleri karla kaplandığında da azalmaktadır.

Şubat ve Mart aylarında aynı eğim açısına sahip hibrid ve mikroinverterli sistemlerin dizi ve nihai verimleri karşılaştırıldığında mikroinverterli sistemin hem dizi hem de nihai verimi hibrid inverterli sistemden daha yüksek çıkmaktadır. Dolayısıyla aynı tesis alanındaki mikroinverterli FV sistem, hibrid inverterli sisteme kıyasla panel düzlemine gelen ışınlamı daha çok DC ve AC enerjiye dönüştürebilmektedir.

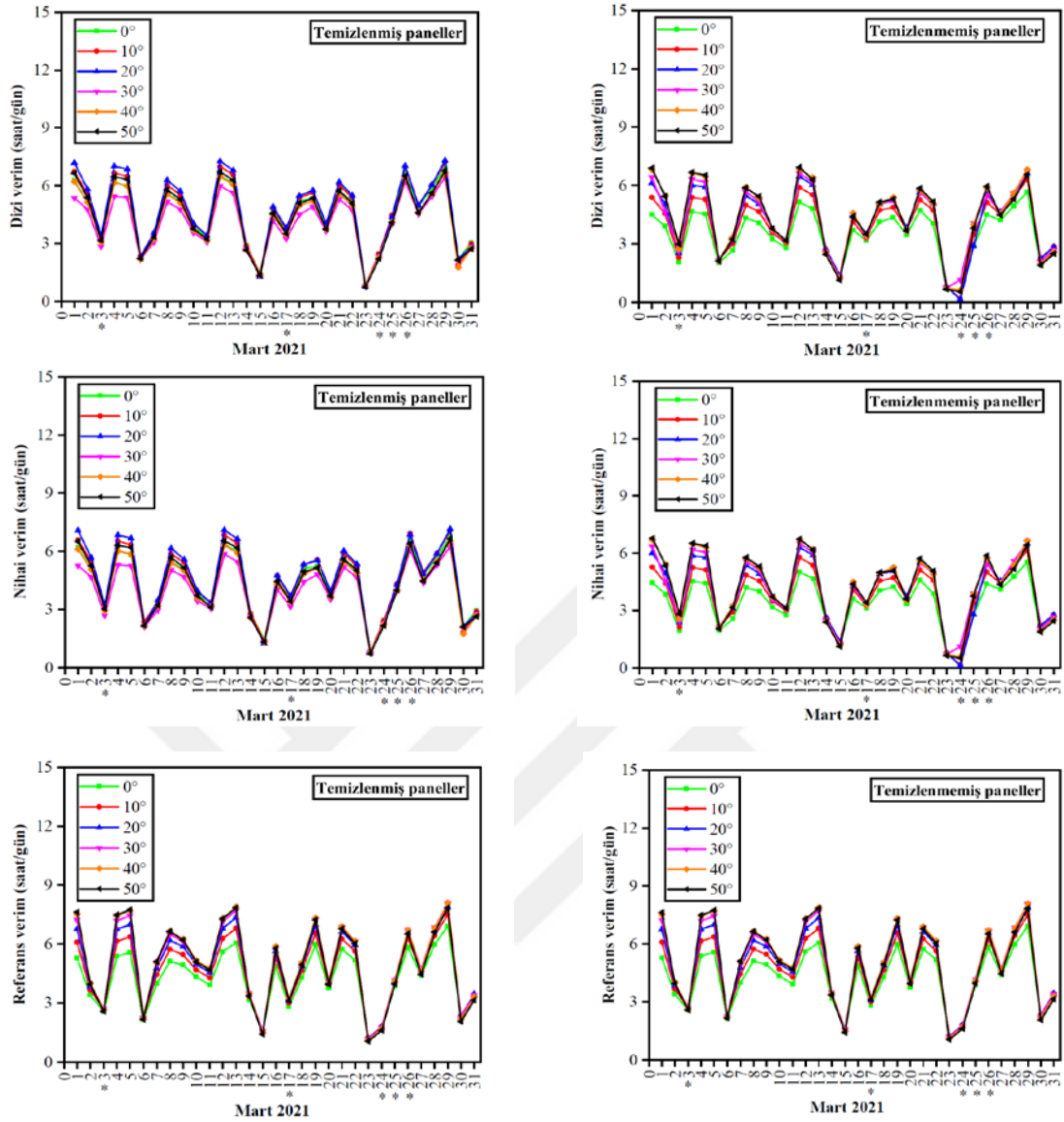
Mikroinverter sisteminde karşılaştırma yapmak için kullanılan temizlenmemiş panellerin bağlı olduğu bazı mikroinverterlerde çalışma periyodu boyunca hem DC ve AC enerji üretim değerlerinde (Şekil 8.5 - Şekil 8.9) hem de dizi ve nihai verim değerlerinde (Şekil 9.5 - Şekil 9.9) çeşitli zamanlarda atmosferik değişimlerden bağımsız olarak beklenmedik günlük verim ve üretim kayıpları meydana gelmektedir. Sorunun tespiti ile alakalı inverter veri kayıtları incelendiğinde herhangi bir hata raporuna rastlanmamıştır. Şebekenin aynı fazında bağlı diğer mikroinverterlerde bu tür problemlerin oluşmaması sorunun şebeke kaynaklı olmadığını göstermektedir. Dolayısıyla, verim ve üretim kaybı yaşanan mikroinverterlerde sorunun kaynağı olarak inverterin yapısındaki MPPT sisteminin panelin maksimum güç noktasını yakalayamaması görülmektedir.



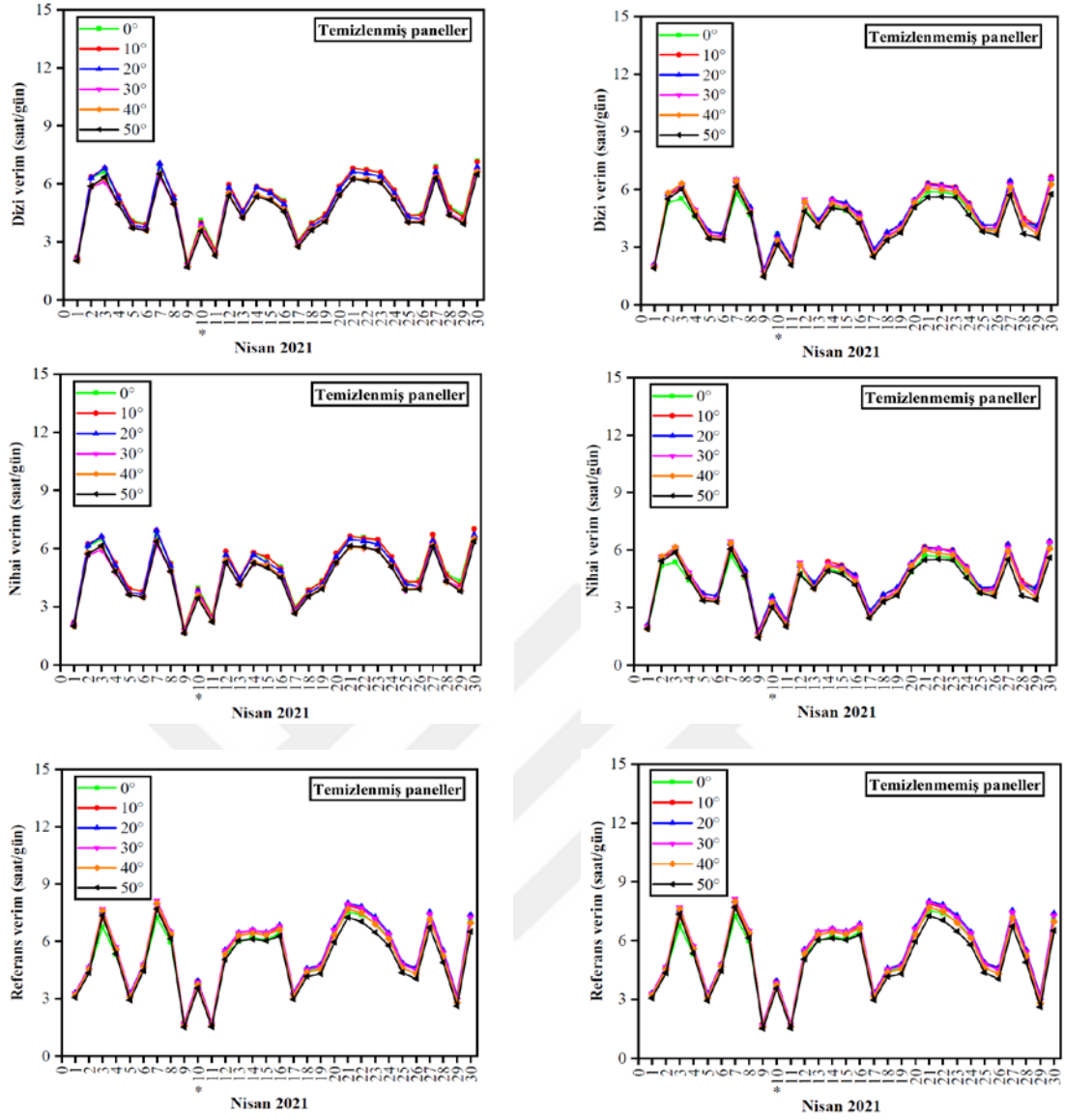
Şekil 9.1. Şebeke bağlantılı hibrid dize inverter sisteminin aylık dizi verimi, nihai verimi ve referans verimi (Kar yağışlı günler yıldızla işaretlenmiştir.)



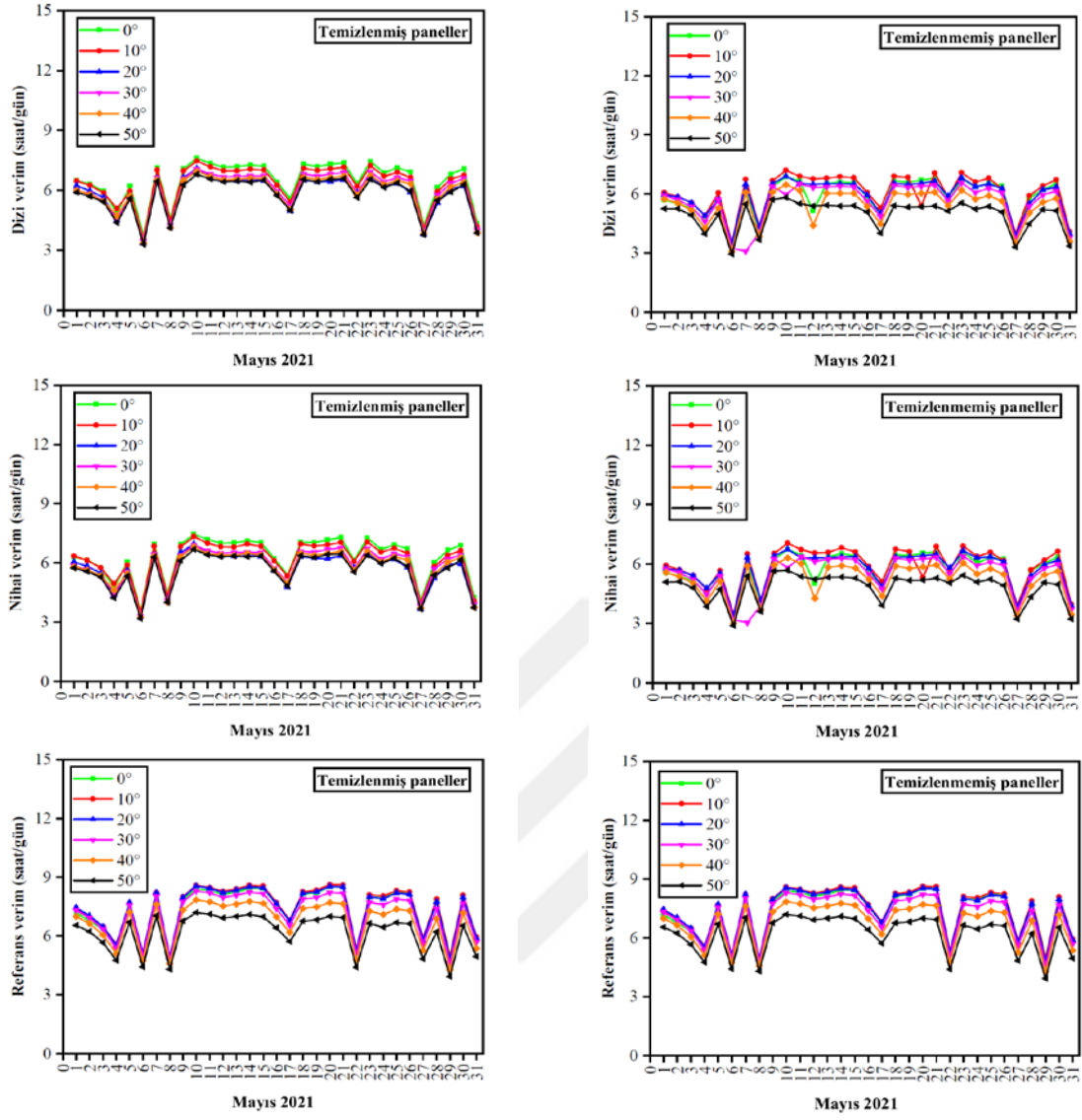
Şekil 9.2. Mikroinverter sisteminde temizlenen (solda) ve temizlenmeyen (sağda) panellere ait dizi verimi, nihai verim ve referans veriminin Şubat ayı içindeki değişimi (Kar yağışlı günler yıldızla işaretlenmiştir.)



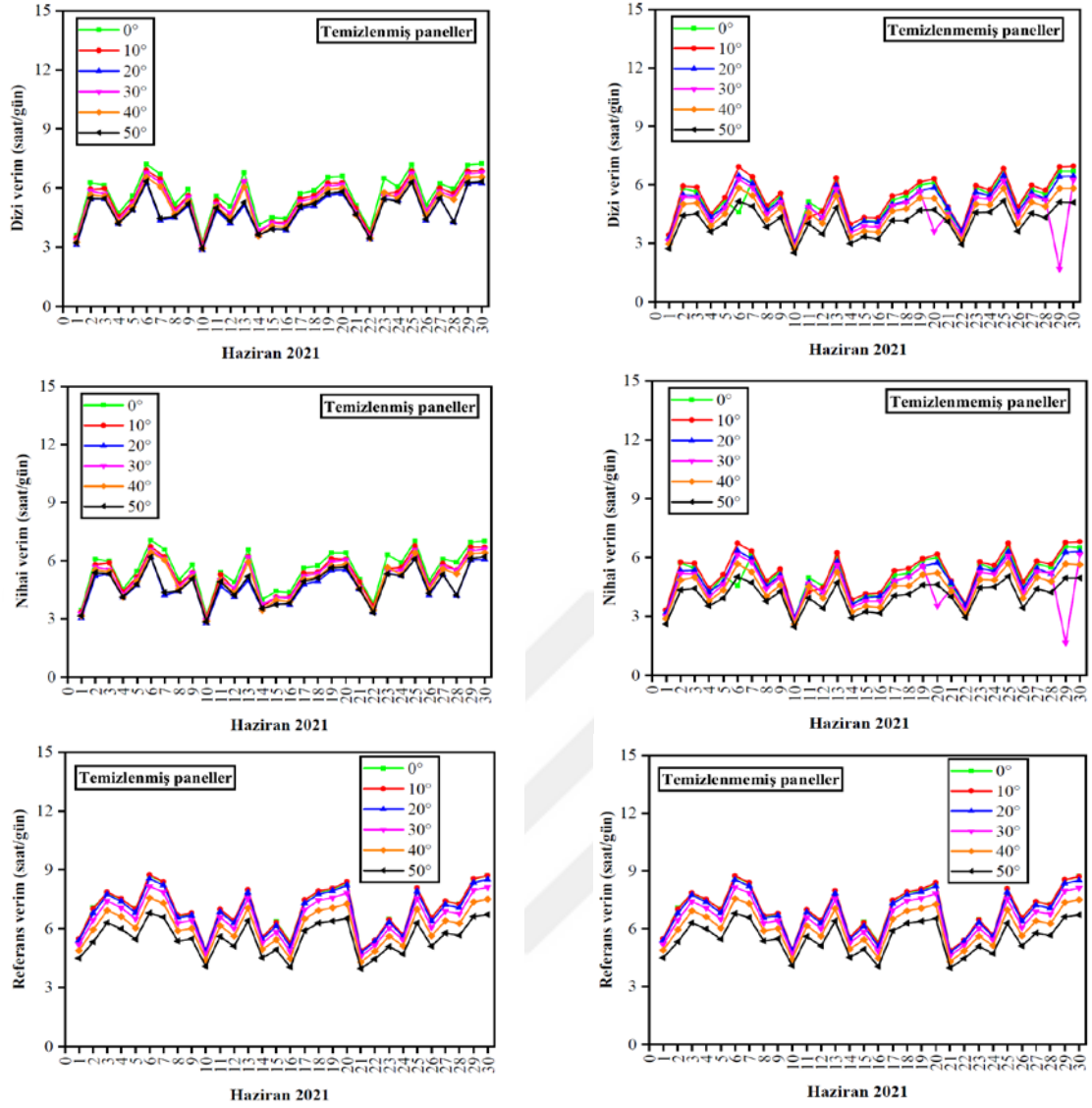
Şekil 9.3. Mikroinverter sisteminde temizlenen (solda) ve temizlenmeyen (sağda) panellere ait dizi verimi, nihai verim ve referans veriminin Mart ayı içindeki değişimi (Kar yağışlı günler yıldızla işaretlenmiştir.)



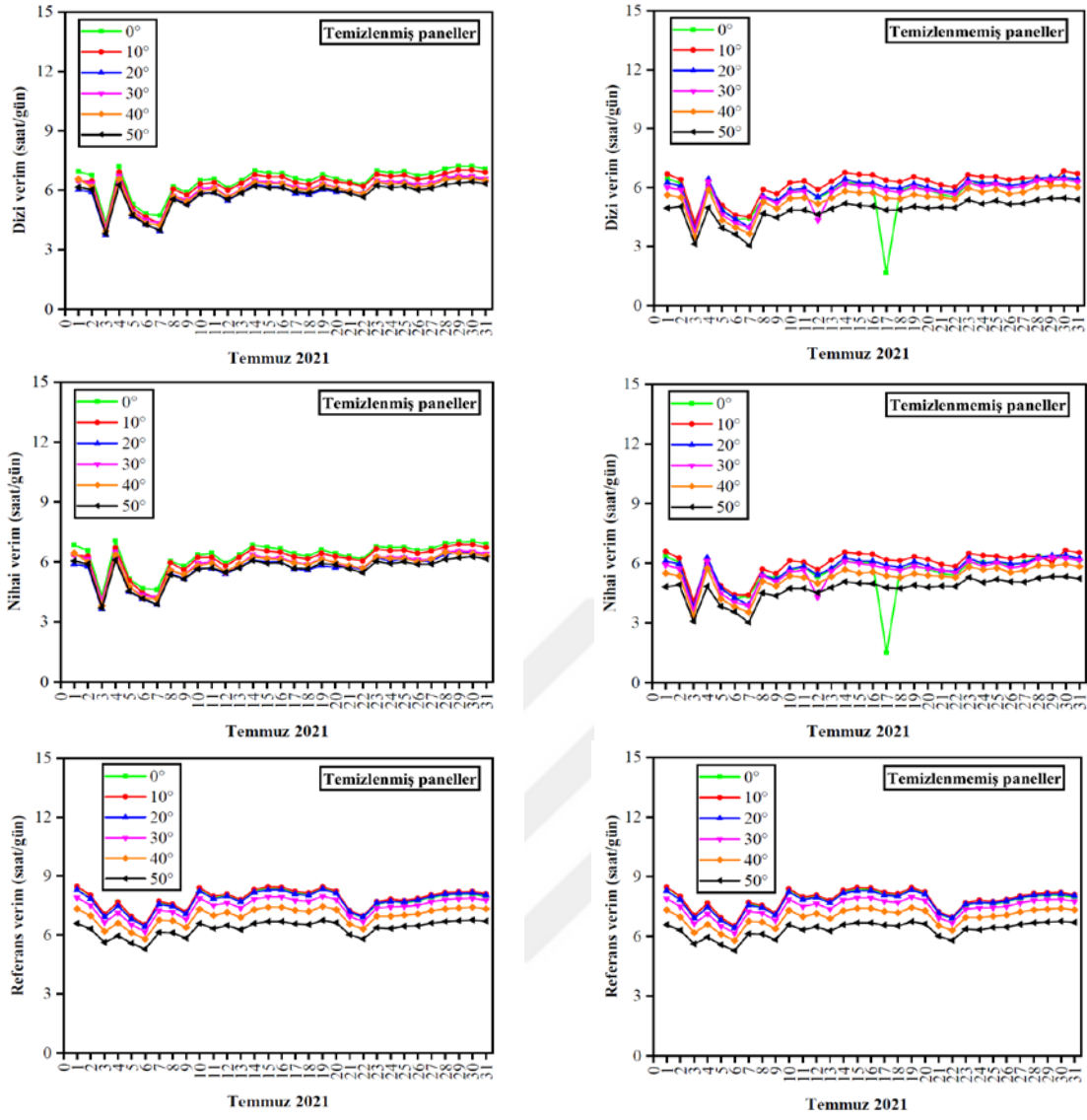
Şekil 9.4. Mikroinverter sisteminde temizlenen (solda) ve temizlenmeyen (sağda) panellere ait dizi verimi, nihai verim ve referans veriminin Nisan ayı içindeki değişimi (Kar yağışlı günler yıldızla işaretlenmiştir.)



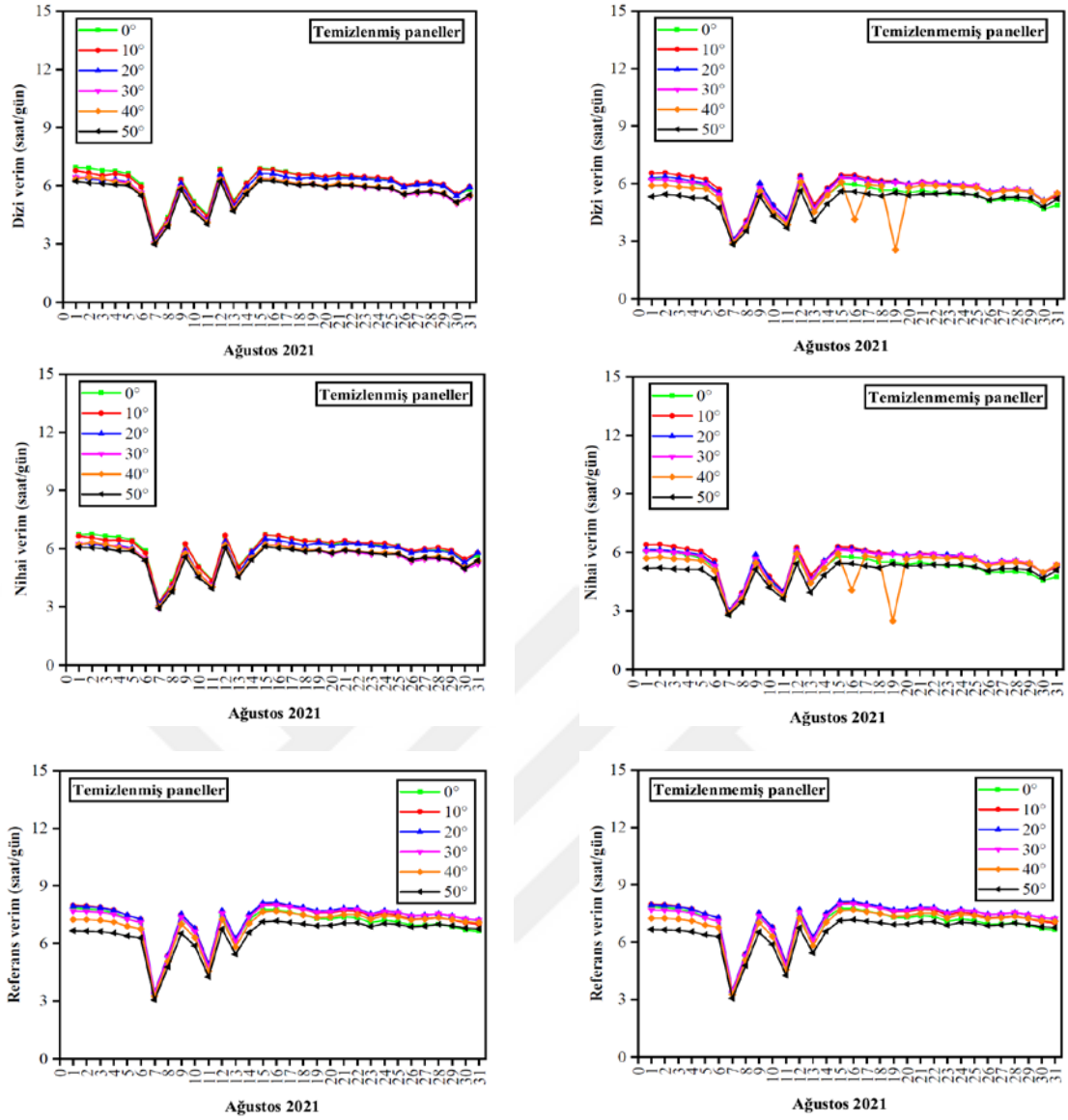
Şekil 9.5. Mikroinverter sisteminde temizlenen (solda) ve temizlenmeyen (sağda) panellere ait dizi verimi, nihai verim ve referans veriminin Mayıs ayı içindeki değişimi



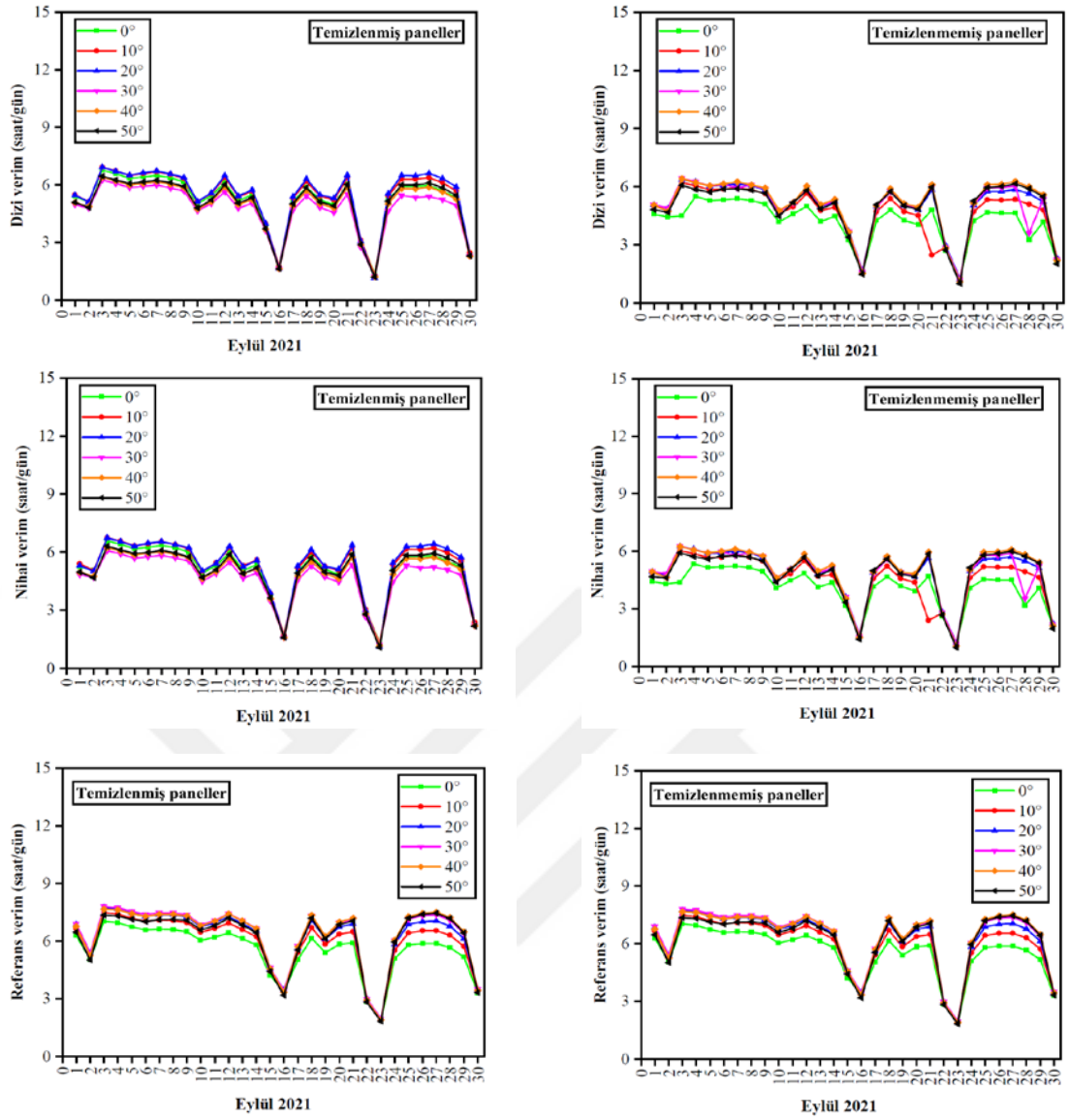
Şekil 9.6. Mikroinverter sisteminde temizlenen (solda) ve temizlenmeyen (sağda) panellere ait dizi verimi, nihai verim ve referans veriminin Haziran ayı içindeki değişimi



Şekil 9.7. Mikroinverter sisteminde temizlenen (solda) ve temizlenmeyen (sağda) panellere ait dizi verimi, nihai verim ve referans veriminin Temmuz ayı içindeki değişimi



Şekil 9.8. Mikroinverter sisteminde temizlenen (solda) ve temizlenmeyen (sağda) panellere ait dizi verimi, nihai verim ve referans veriminin Ağustos ayı içindeki değişimi



Şekil 9.9. Mikroinverter sisteminde temizlenen (solda) ve temizlenmeyen (sağda) panellere ait dizi verimi, nihai verim ve referans veriminin Eylül ayı içindeki değişimi

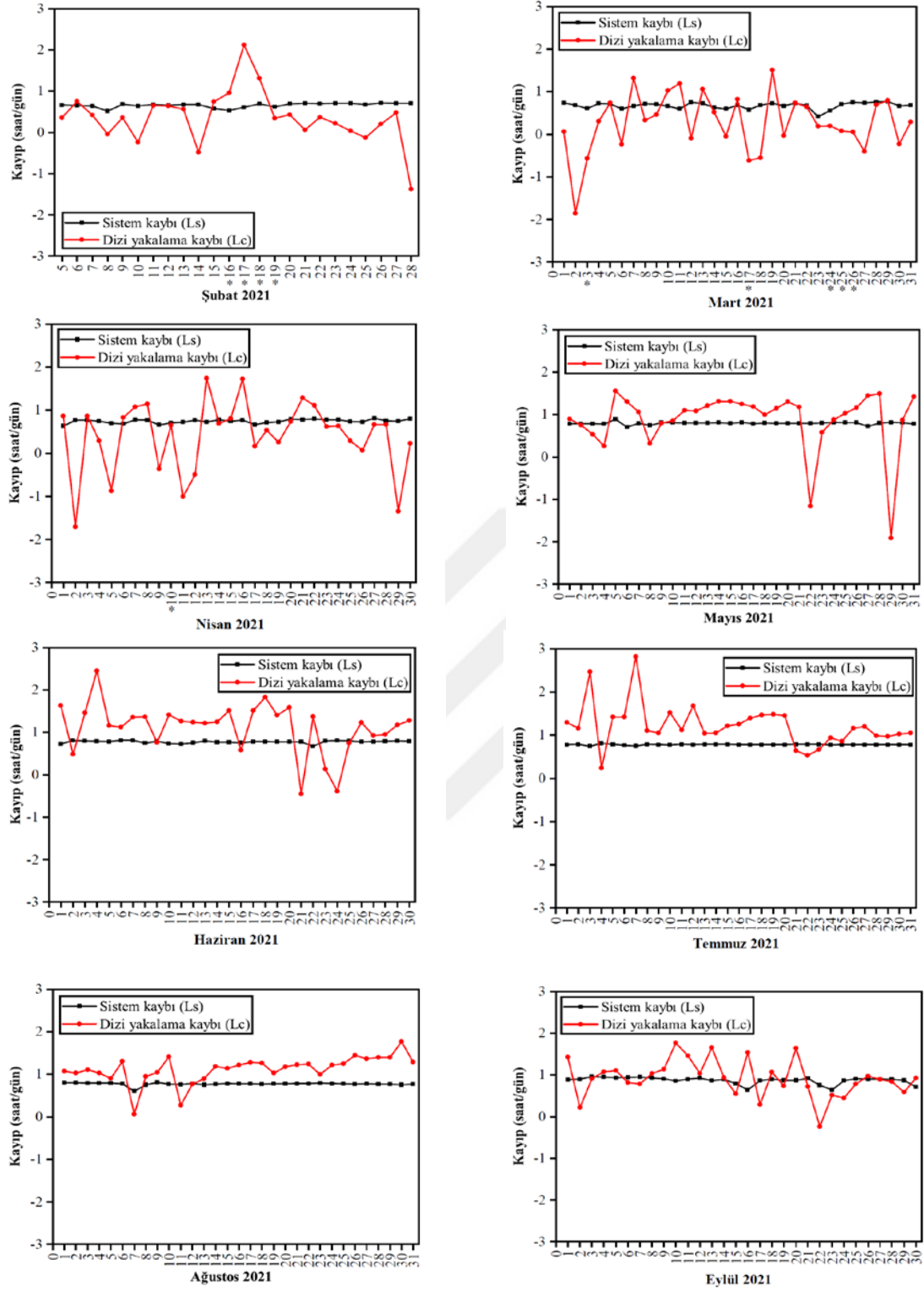
Sistem kaybı, inverterin FV panellerde üretilen DC enerjiyi AC enerjiye dönüştürmesi sırasında ortaya çıkan kayıplardır. Dizi yakalama kayıpları, belirli bir yerde uygun eğim açısıyla kurulan FV tesislerdeki panellerin panel düzlemine gelen ışınlamayı ne ölçüde DC enerjiye dönüştürdüğünün bir göstergesidir. Panellerin eğim açısı, panel sıcaklığı, statik ve/veya dinamik gölgeler dizi yakalama kaybını etkiler. FV sistemde kullanılan panel ve inverterler açısından bu kayıpların küçük çıkması istenir.

Şekil 9.10'da şebeke bağlantılı hibrid inverter sistemine ait sistem kaybı ve dizi yakalama kayıplarının çalışma periyodu süresince aylık değişimi verilmektedir. Mikroinverter sisteminde temizlenen ve temizlenmeyen panellere ait sistem kaybı ve dizi yakalama kayıplarının aylık değişimleri Şekil 9.11 ile Şekil 9.18 arası verilen grafiklerde gösterilmiştir.

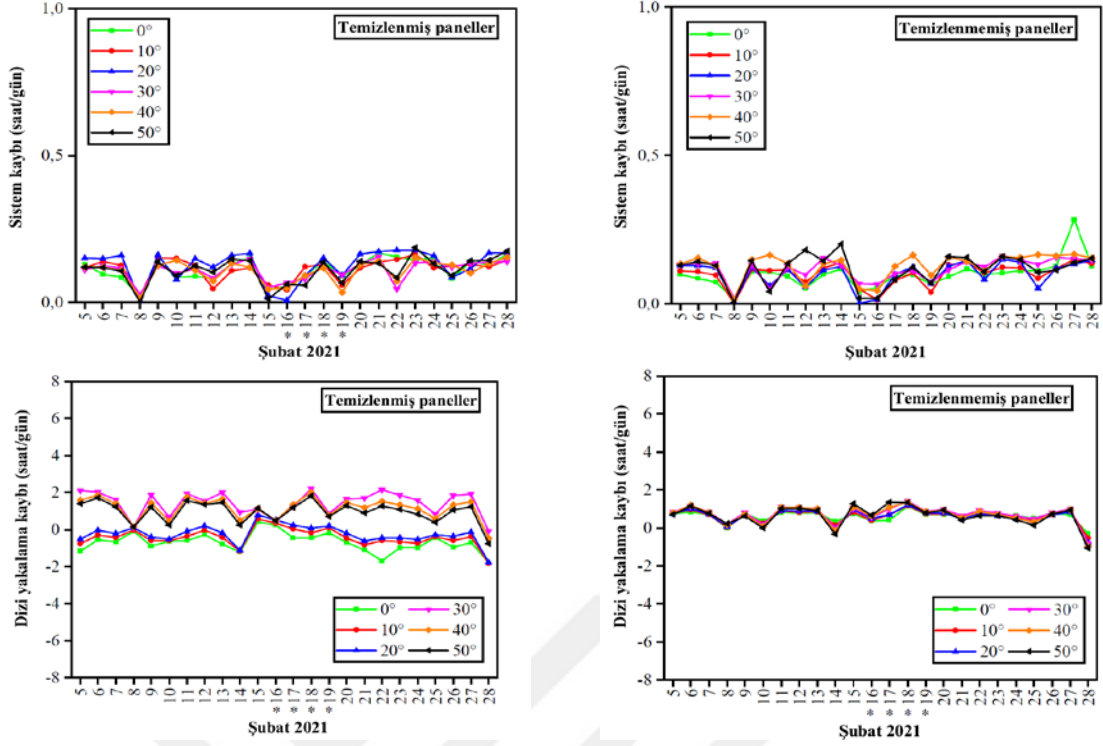
Hibrid inverterli sistemde inverterin DC/AC dönüştürme kaybı, çalışma periyodu süresince hemen hemen sabit kalmıştır. Tesis alanındaki bulutlanma, yağmur ve kar yağışı gibi ortam şartları panellerin hem DC hem de AC üretimini aynı oranda etkilediğinden sistem kaybı değişmemiştir.

Dizi veriminin referans verimden büyük olması dizi yakalama kayıplarının negatif değerler almasına neden olmaktadır. Panel düzlemine gelen ışınlam değerleri Isotropic gökyüzü modeliyle elde edildiğinden dizi yakalama kaybı hesabında kullanılan referans verim düşük tahmin edilmiş olabilir. Bir diğer hata kaynağı ise panellerin DC ve AC enerji üretim verilerinin inverter üreticisi firmanın ara yüz yazılımıyla elde edilmesidir. İnverter yazılımı, inverterdeki DC ve AC enerji üretimlerini olması gereken değerden daha büyük hesaplamış olabilir.

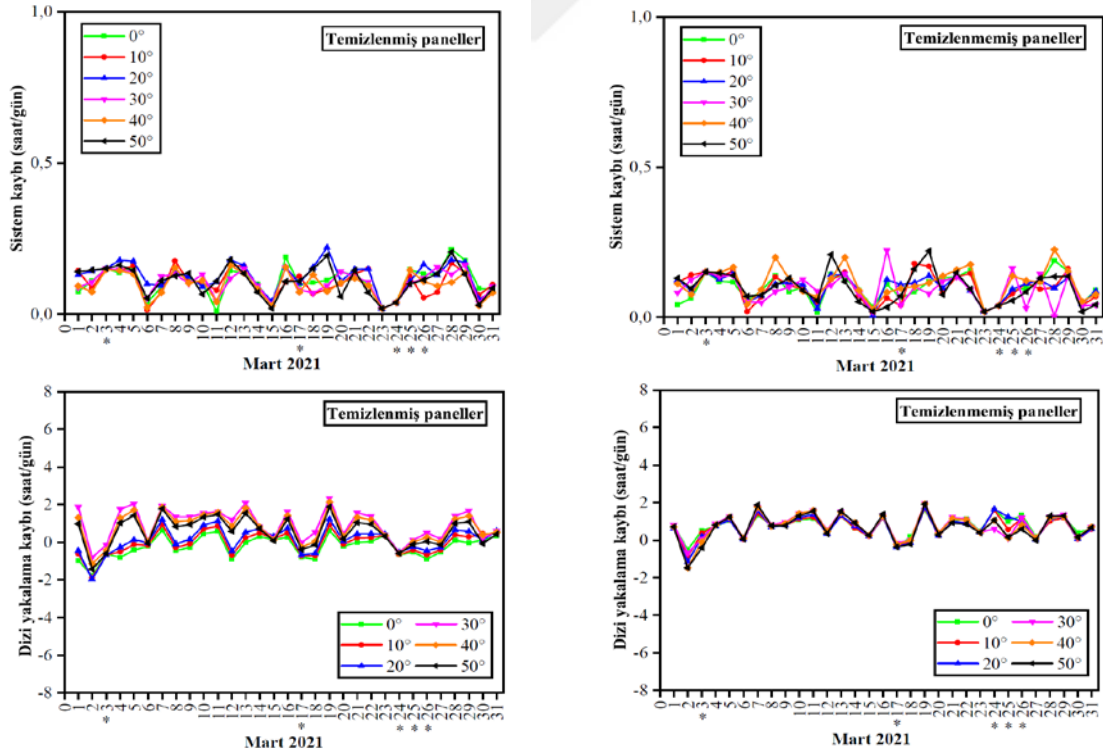
Pozitif dizi yakalama kayıpları ise güneş ışınlarının FV hücrelere ulaşmasını engelleyen gölgeleme, kirlenme, panel sıcaklığının artması ve panelin maksimum güç noktasını inverterin takip edememesi gibi olumsuz durumlar sebep olmaktadır. Ayrıca FV panellerin standart test şartları için verilen çalışma değerlerine gerçek çalışma ortamında ulaşamaması dizi ve nihai verim sonuçlarının düşük tahmin edilmesine yol açmaktadır.



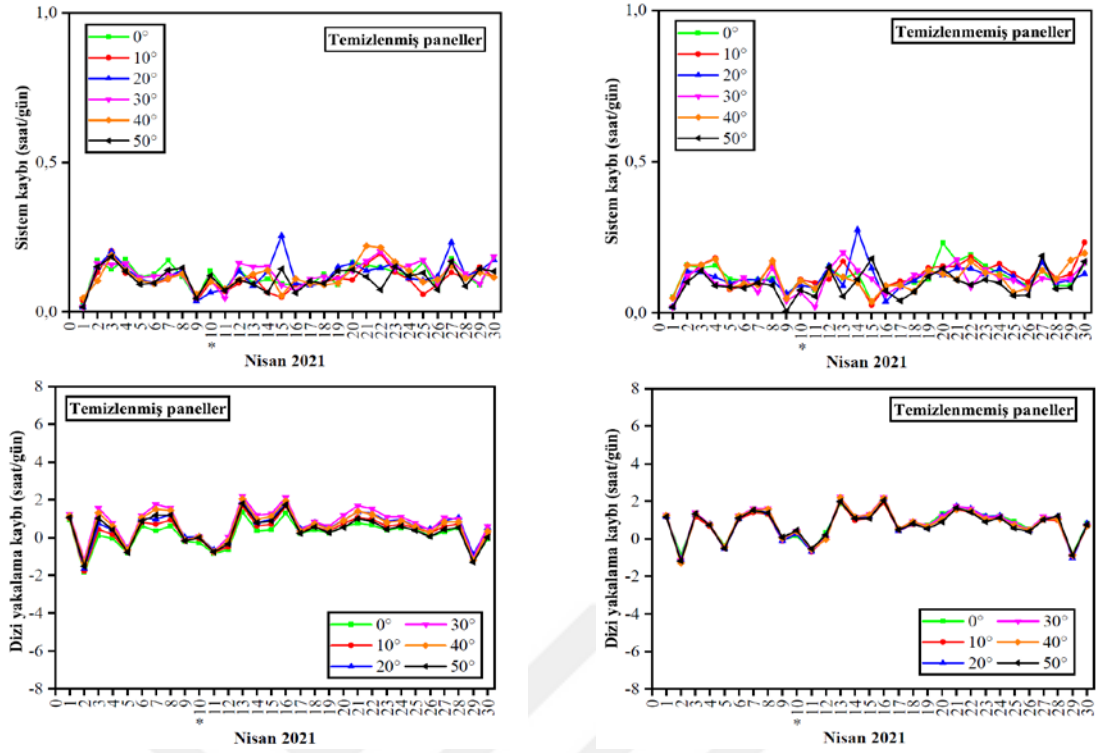
Şekil 9.10. Şebeke bağlantılı hibrid inverter sisteminde sistem kaybı ve dizi yakalama kaybının aylar içindeki değişimi (Kar yağışlı günler yıldızla işaretlenmiştir)



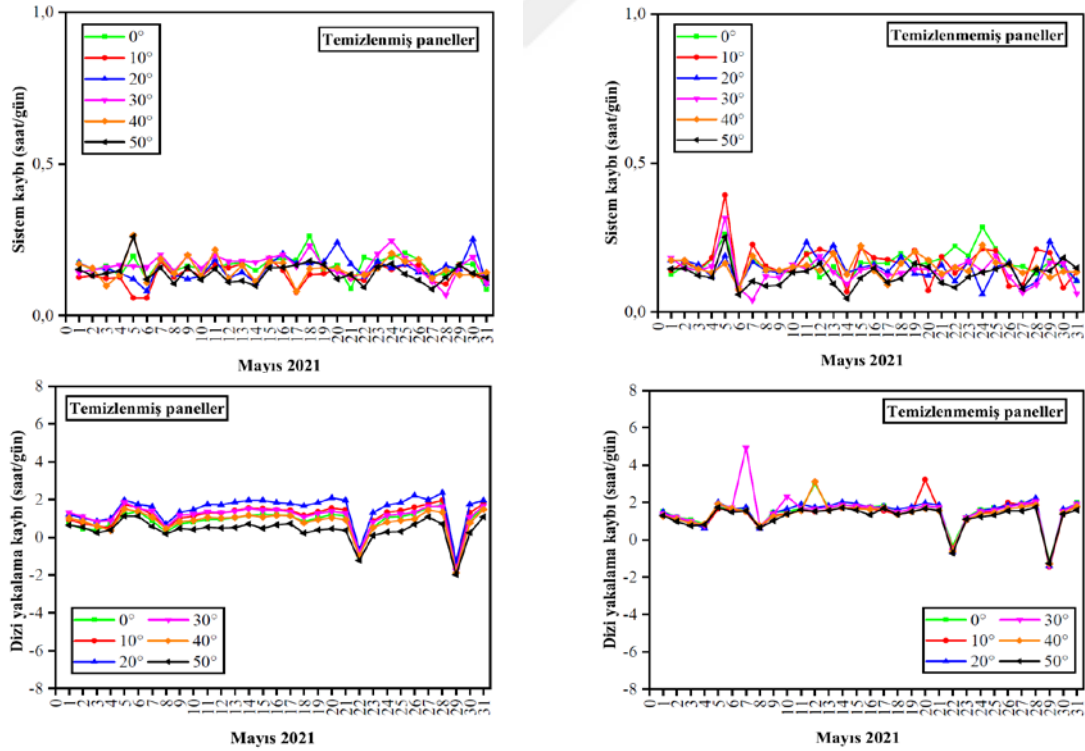
Şekil 9.11. Mikroiverter sisteminde temizlenen (solda) ve temizlenmeyen (sağda) panellere ait sistem kaybı ve dizi yakalama kaybının Şubat ayı içindeki değişimi (Kar yağışlı günler yıldızla işaretlenmiştir)



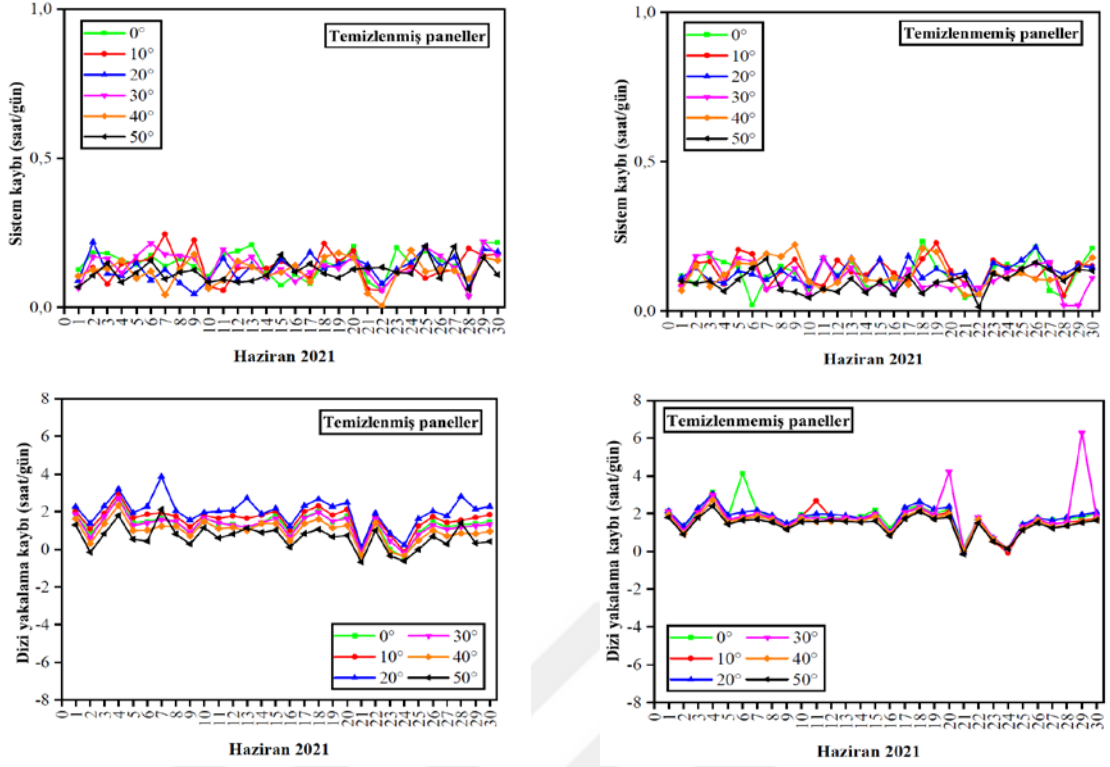
Şekil 9.12. Mikroiverter sisteminde temizlenen (solda) ve temizlenmeyen (sağda) panellere ait sistem kaybı ve dizi yakalama kaybının Mart ayı içindeki değişimi (Kar yağışlı günler yıldızla işaretlenmiştir)



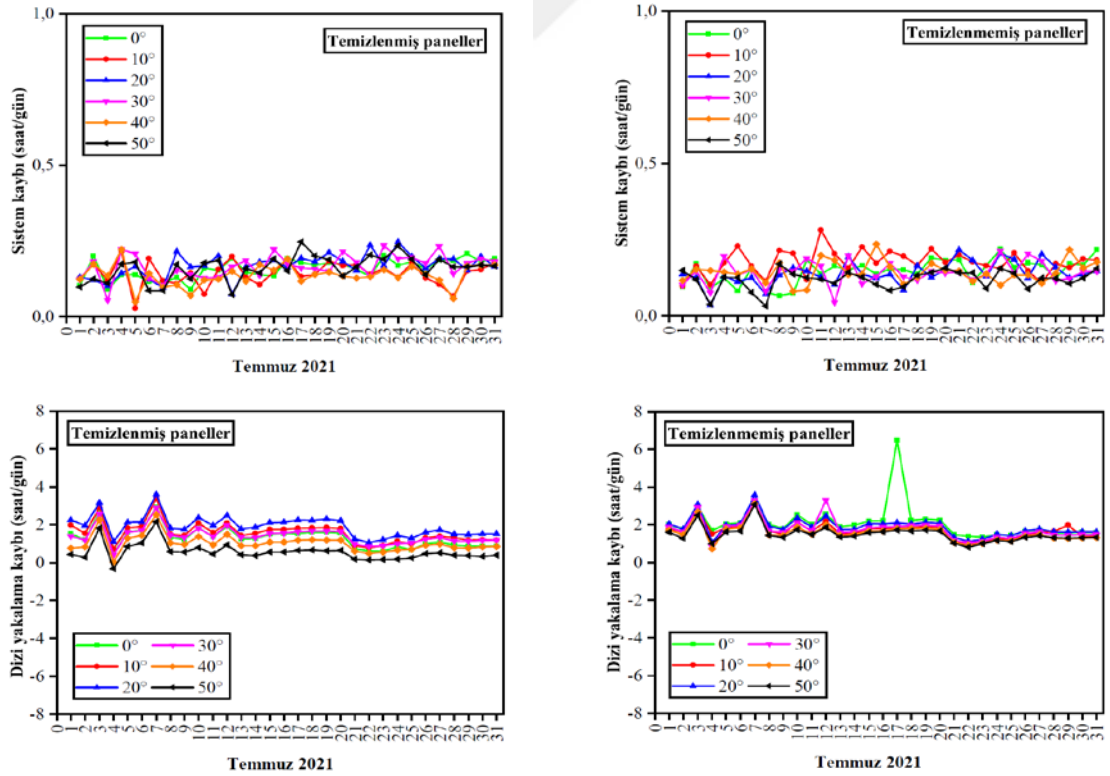
Şekil 9.13. Mikroiverter sisteminde temizlenen (solda) ve temizlenmeyen (sağda) panellere ait sistem kaybı ve dizi yakalama kaybının Nisan ayı içindeki değişimi (Kar yağışlı günler yıldızla işaretlenmiştir)



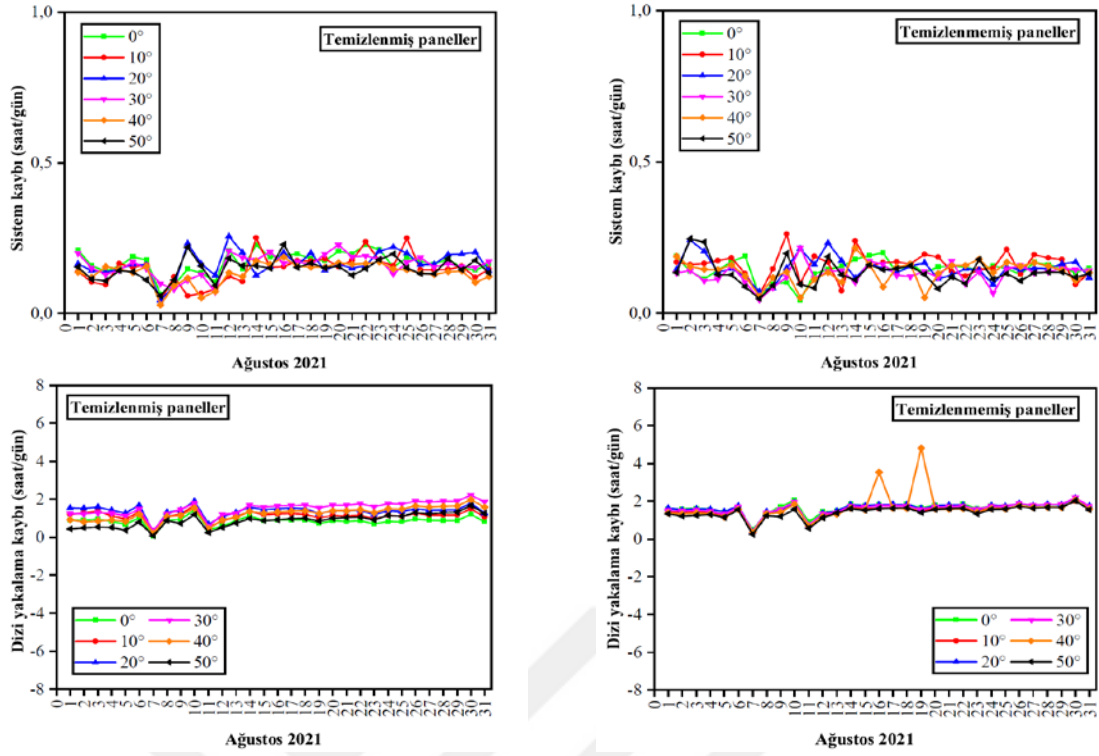
Şekil 9.14. Mikroiverter sisteminde temizlenen (solda) ve temizlenmeyen (sağda) panellere ait sistem kaybı ve dizi yakalama kaybının Mayıs ayı içindeki değişimi



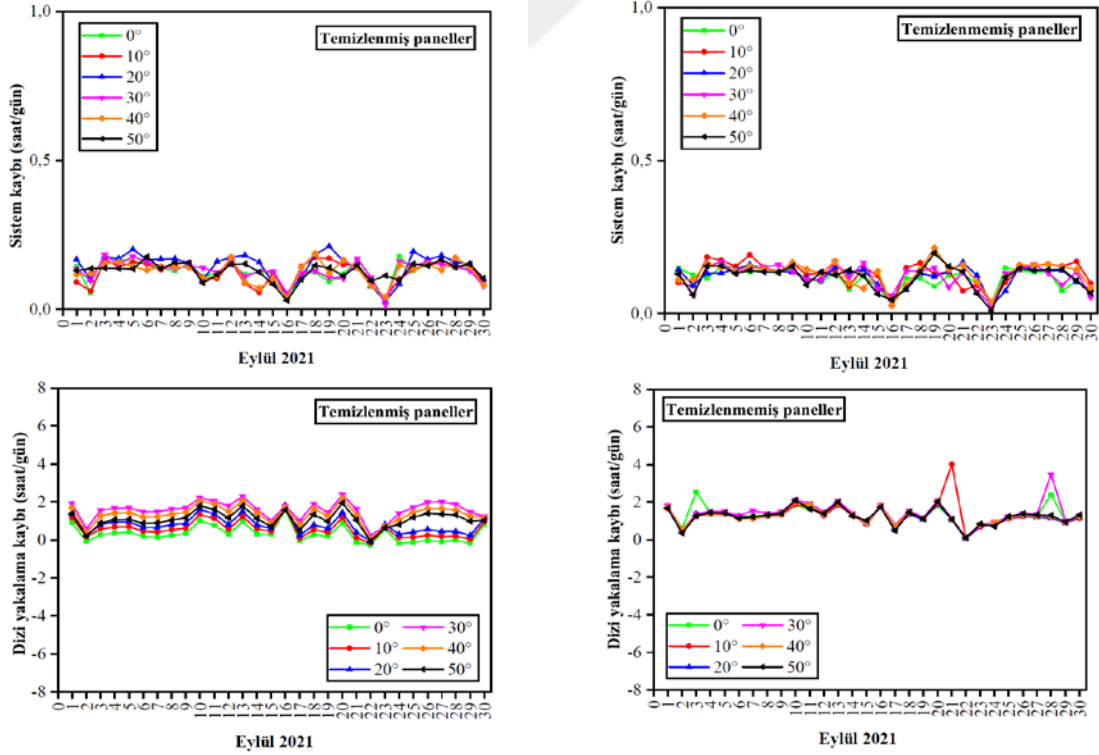
Şekil 9.15. Mikroiinverter sisteminde temizlenen (solda) ve temizlenmeyen (sağda) panellere ait sistem kaybı ve dizi yakalama kaybının Haziran ayı içindeki değişimi



Şekil 9.16. Mikroiinverter sisteminde temizlenen (solda) ve temizlenmeyen (sağda) panellere ait sistem kaybı ve dizi yakalama kaybının Temmuz ayı içindeki değişimi



Şekil 9.17. Mikroinverter sisteminde temizlenen (solda) ve temizlenmeyen (sağda) panellere ait sistem kaybı ve dizi yakalama kaybının Ağustos ayı içindeki değişimi



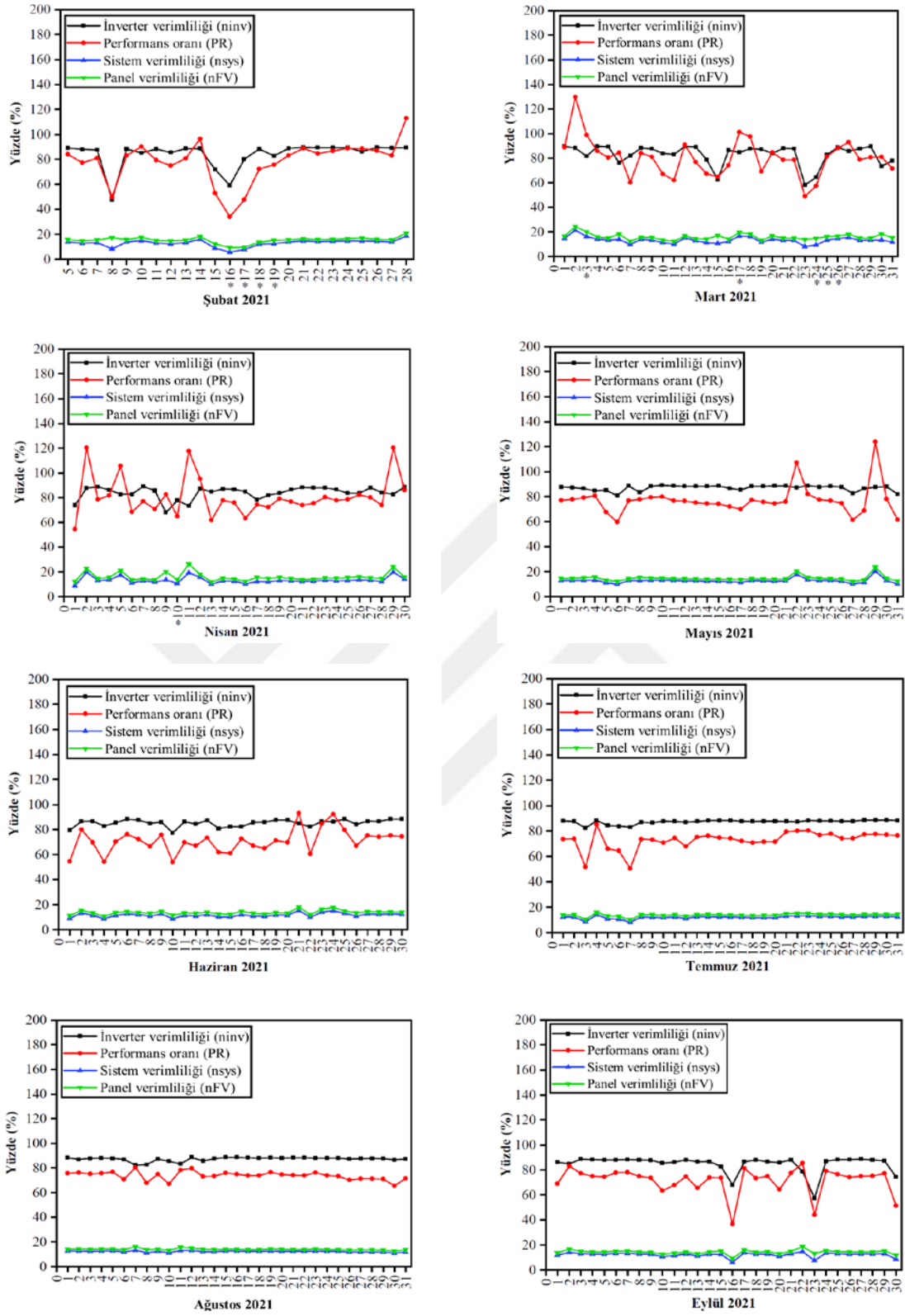
Şekil 9.18. Mikroinverter sisteminde temizlenen (solda) ve temizlenmeyen (sağda) panellere ait sistem kaybı ve dizi yakalama kaybının Eylül ayı içindeki değişimi

Şebeke bağlantılı hibrid inverter ve mikro inverter sistemlerinin inverter verimliliği, performans oranı, sistem verimliliği ve panel verimliliğinin çalışma periyodu boyunca aylar içindeki değişimleri sırasıyla Şekil 9.19 ve Şekil 9.20 ile Şekil 9.27 arası verilen grafiklerde gösterilmiştir.

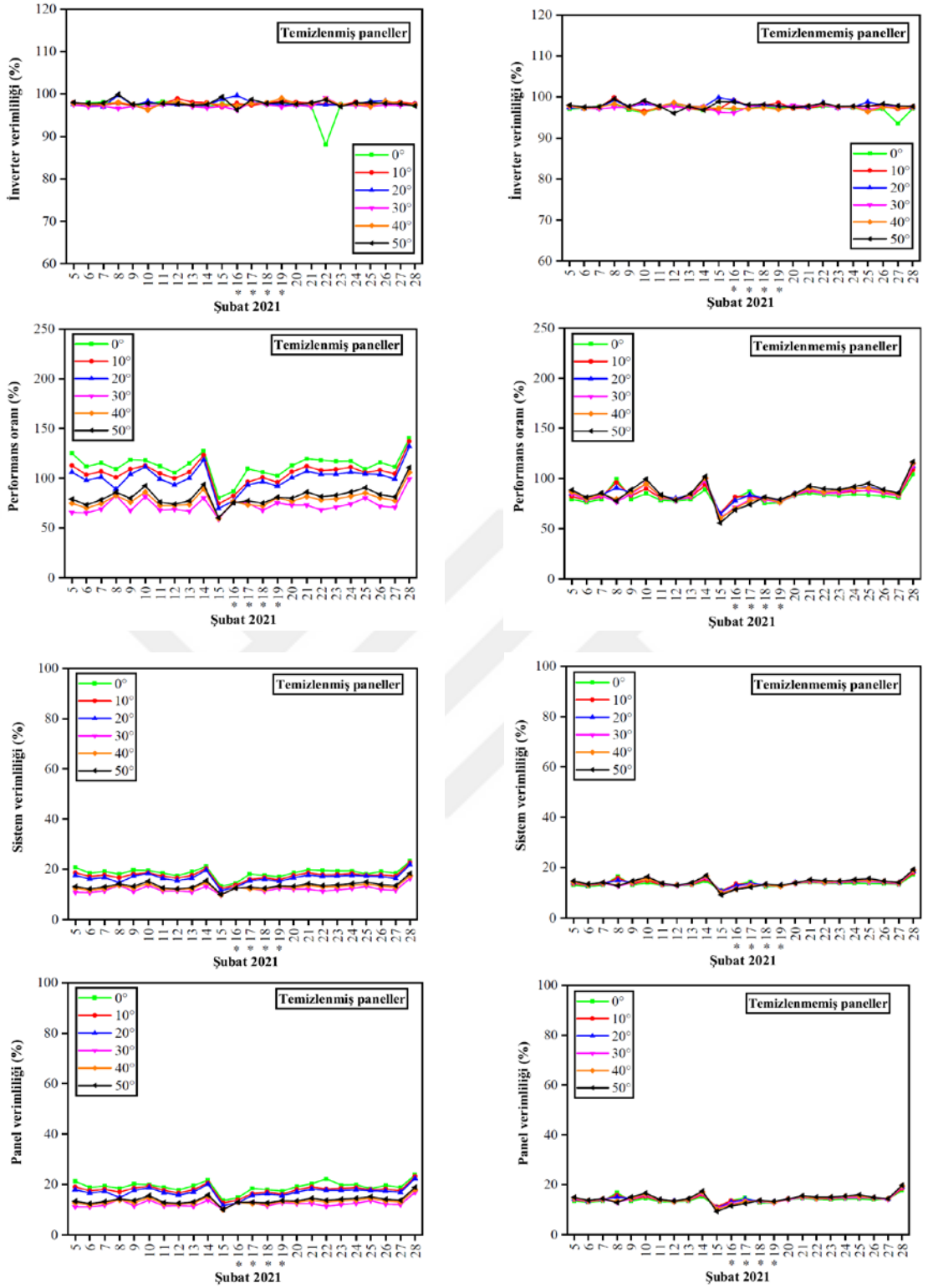
Aynı tesis alanında yer alan iki farklı inverterin gerçek çalışma şartlarındaki verimlilikleri incelendiğinde hibrid ve mikroinverter sistemlerinin yıl boyunca sırasıyla yaklaşık %85 ve %97 verimle çalıştıkları ve kar yağışlı günler dışında bu değerlerde çok büyük değişimlerin olmadığı gözlemlenmiştir.

Hibrid ve mikroinverter sistemlerinde panel ve sistem verimlilikleri çalışma süresi boyunca hemen hemen aynı değişimi göstermiş ve kar yağışlı günler dışında verim kaybı olmamıştır. Monokristal hücre yapısına sahip hibrid inverter sisteminde panel ve sistem verimliliği ortalama %12,6 iken polikristal hücre yapısına sahip mikroinverter sisteminde panel ve sistem verimlilikleri eğim açısına bağlı olarak ortalama %13 ile %15 arasında değişmektedir. Aynı tip paneller arasındaki verim farklılığına panellerin üretimi sırasında kullanılan hücreler arası uyumsuzluğun neden olduğu düşünülmektedir.

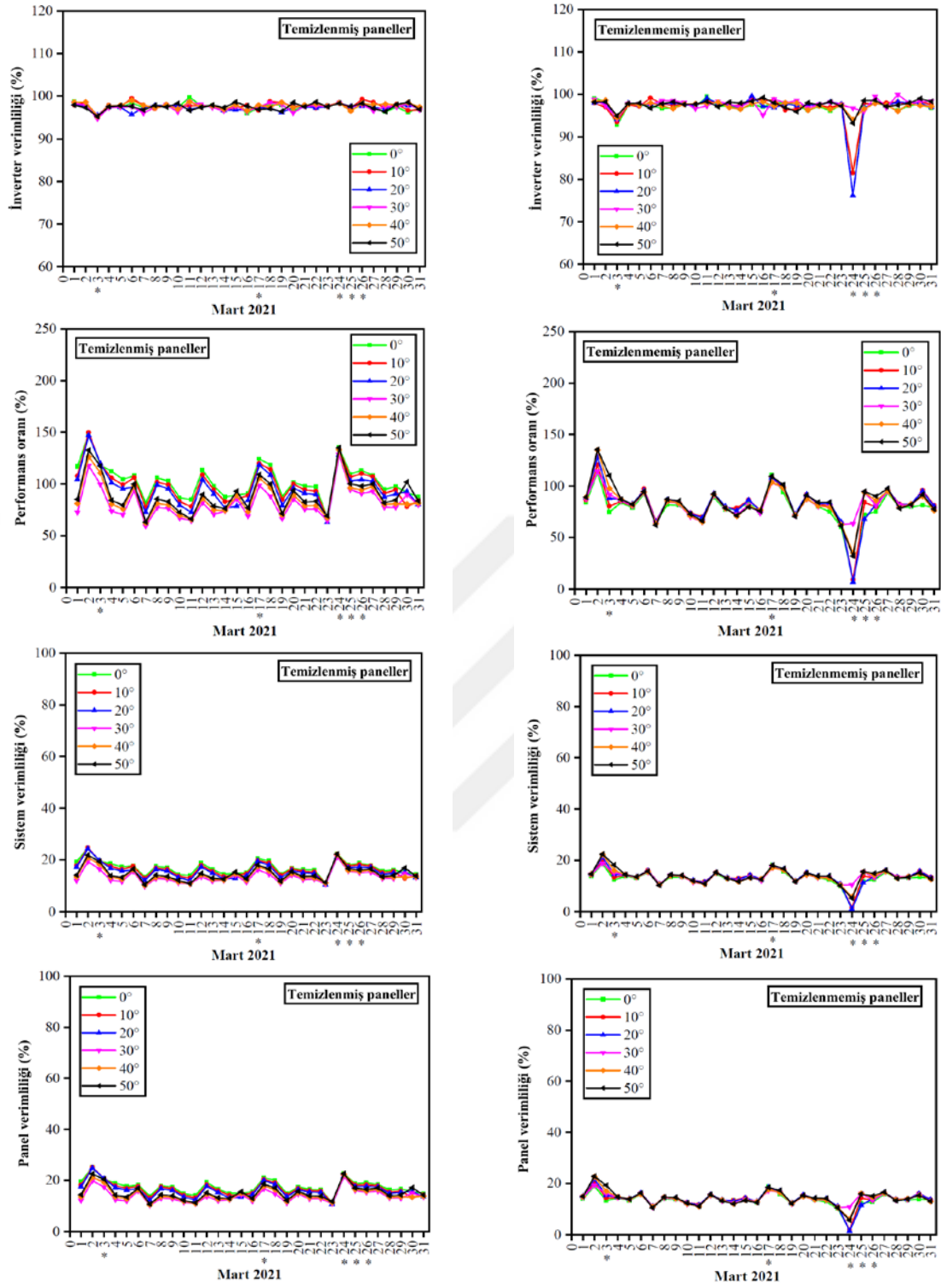
Performans oranı, FV sistemdeki kayıpların etkisini gösteren boyutsuz bir niceliktir ve işletme sırasında ortaya çıkan sorunların ne zaman ortaya çıktığını belirlemek veya uzun süreli değişiklikleri değerlendirmek için kullanılır (Marion ve ark., 2005). Hibrid inverter sisteminin hesaplanan ortalama performans oranı, yaklaşık %75 iken mikroinverterli sistemin ortalama performans oranı, %83'ün üzerindedir. Her iki sistemin performans oranı, yaz aylarında düşmekte ve kış aylarında artmaktadır. Performans oranı en düşük değerini, kar yağışlı günlerde almaktadır.



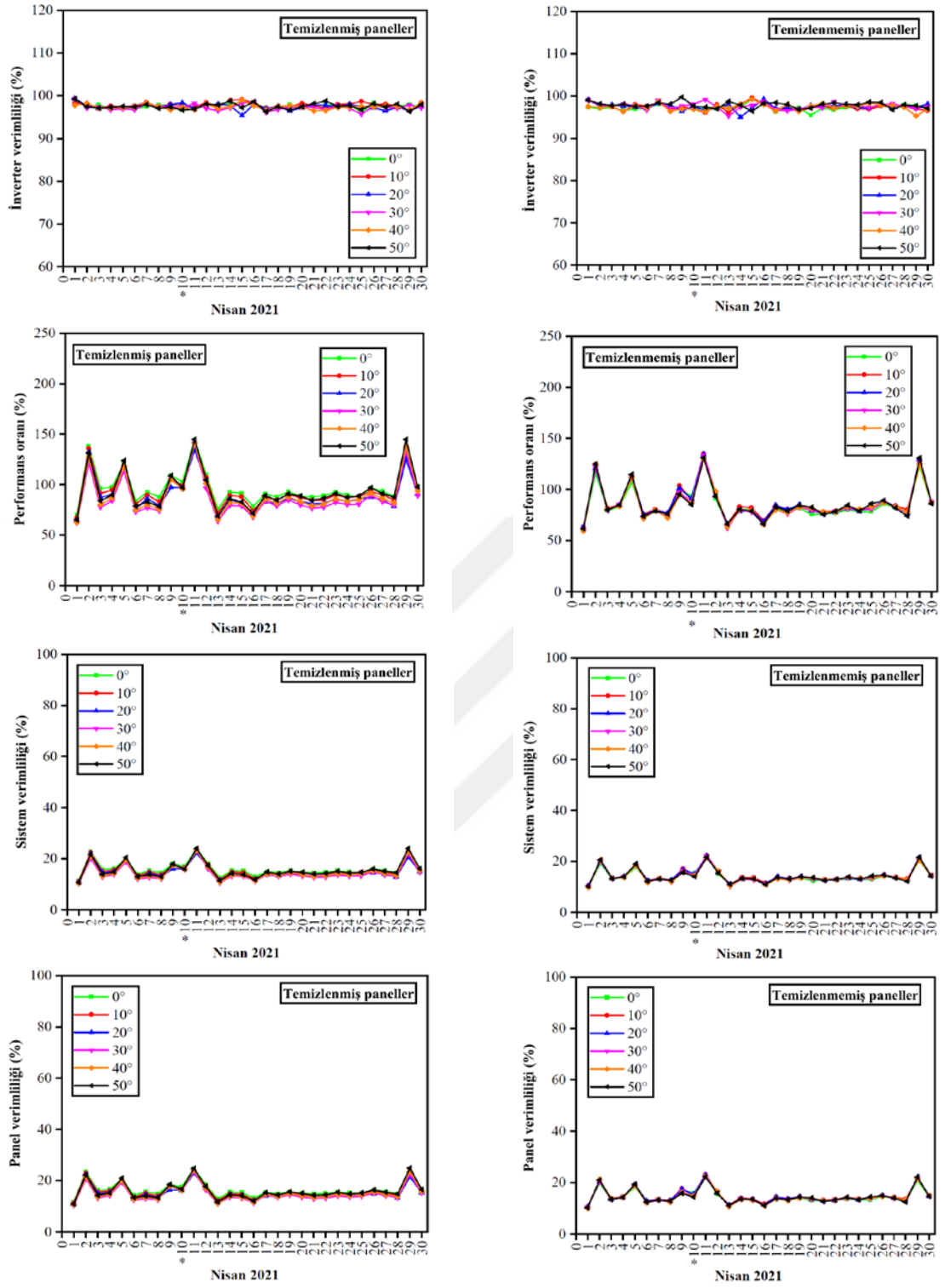
Şekil 9.19. Şebeke bağlantılı hibrid inverter sisteminde inverter verimliliği, performans oranı, sistem verimliliği ve panel verimliliğinin aylar içinde değişimi (Kar yağışlı günler yıldızla işaretlenmiştir.)



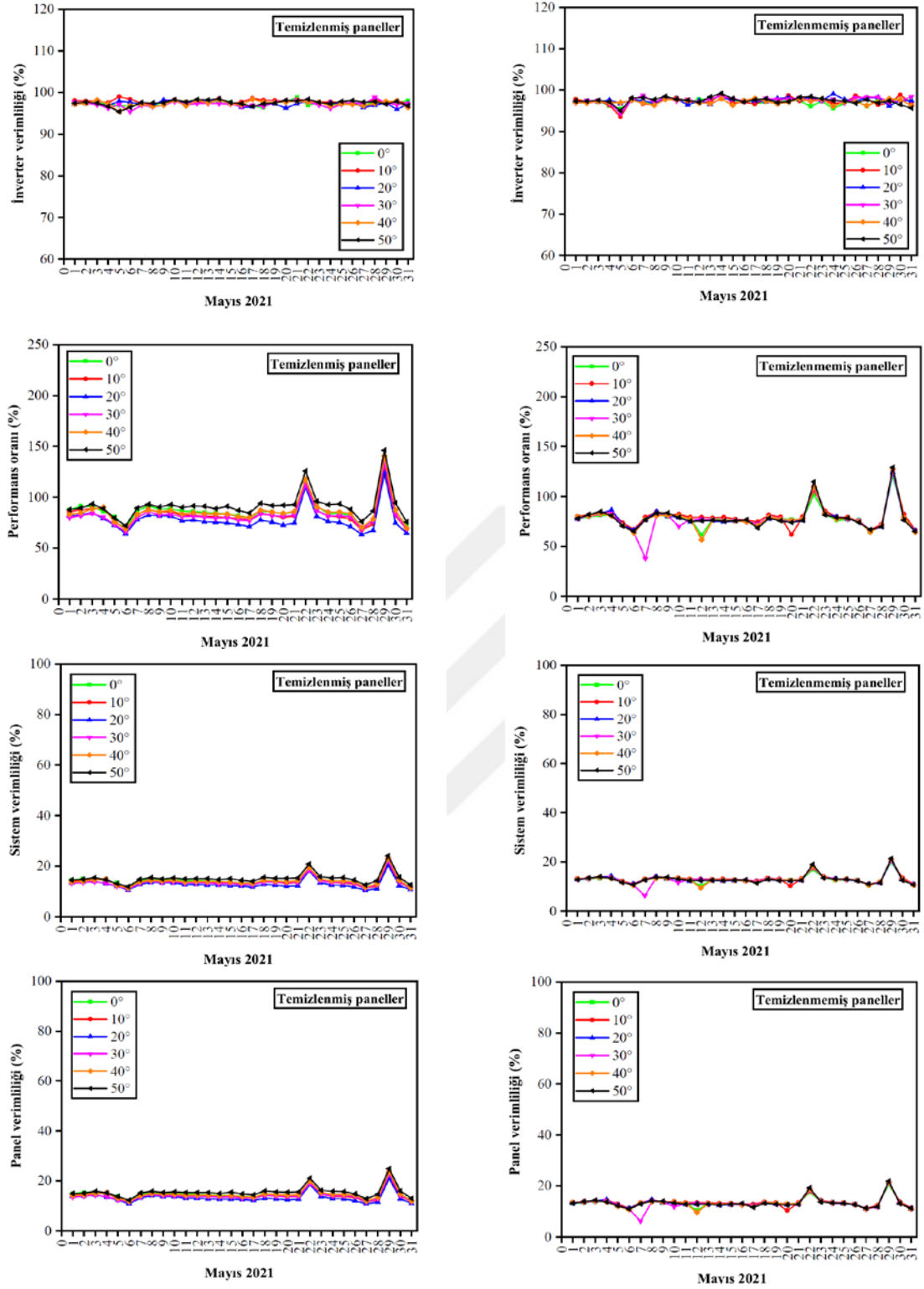
Şekil 9.20. Mikro inverter sisteminde inverter verimliliği, performans oranı, sistem verimliliği ve panel verimliliğinin Şubat ayı içinde değişimi (Kar yağışlı günler yıldızla işaretlenmiştir.)



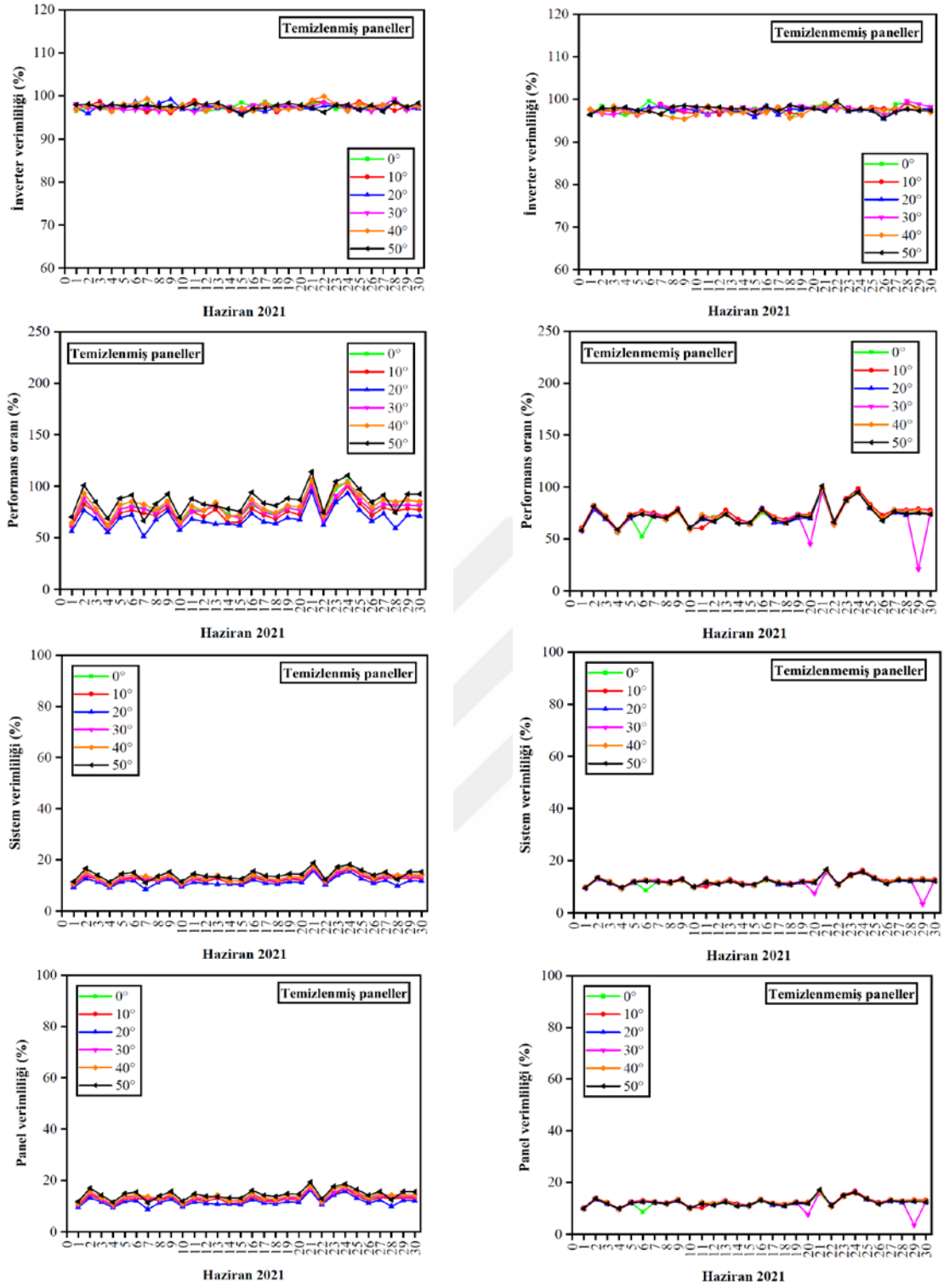
Şekil 9.21. Mikro inverter sisteminde inverter verimliliği, performans oranı, sistem verimliliği ve panel verimliliğinin Mart ayı içinde değişimi (Kar yağışlı günler yıldızla işaretlenmiştir.)



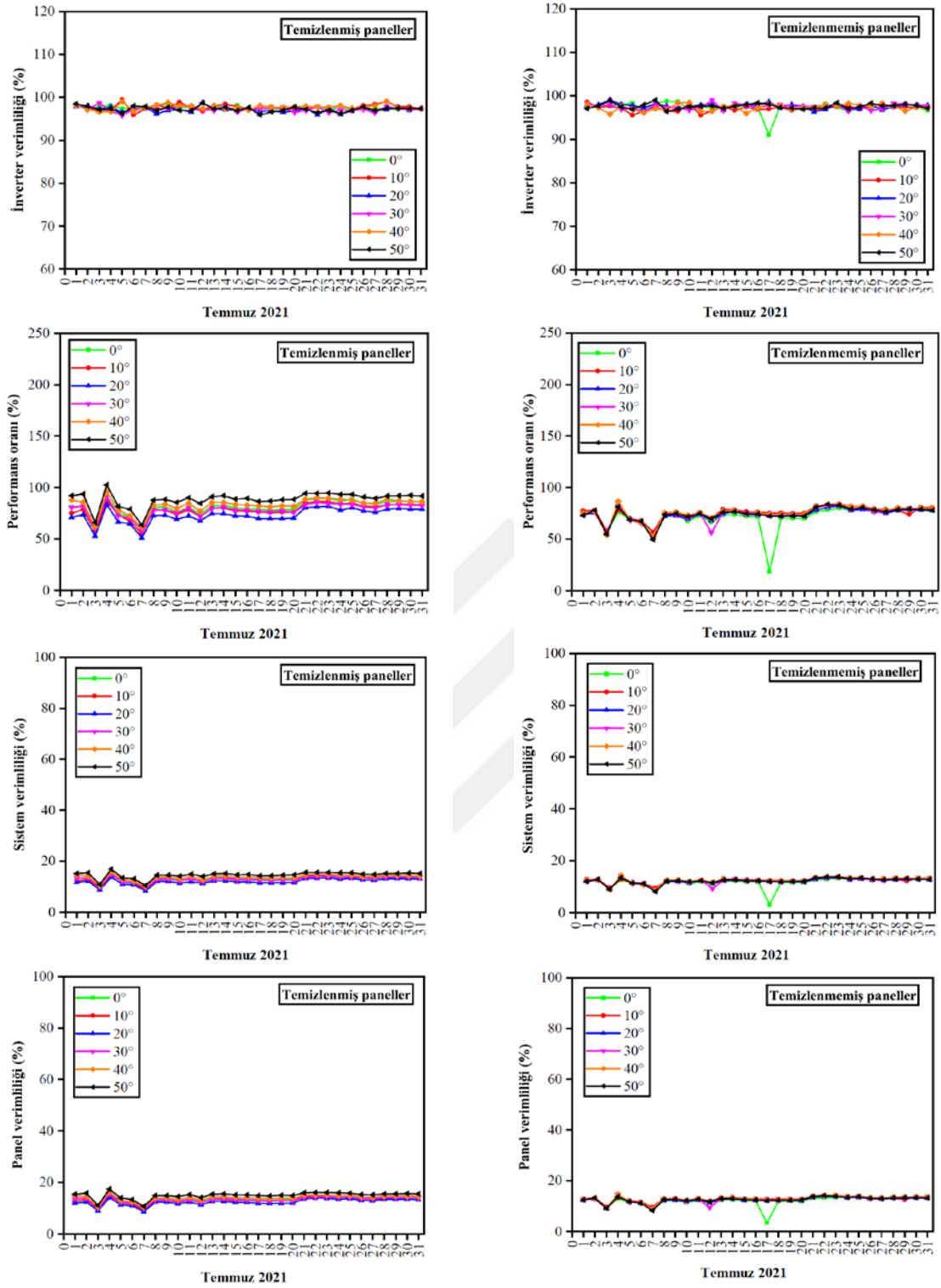
Şekil 9.22. Mikro inverter sisteminde inverter verimliliği, performans oranı, sistem verimliliği ve panel verimliliğinin Nisan ayı içinde değişimi (Kar yağışlı günler yıldızla işaretlenmiştir.)



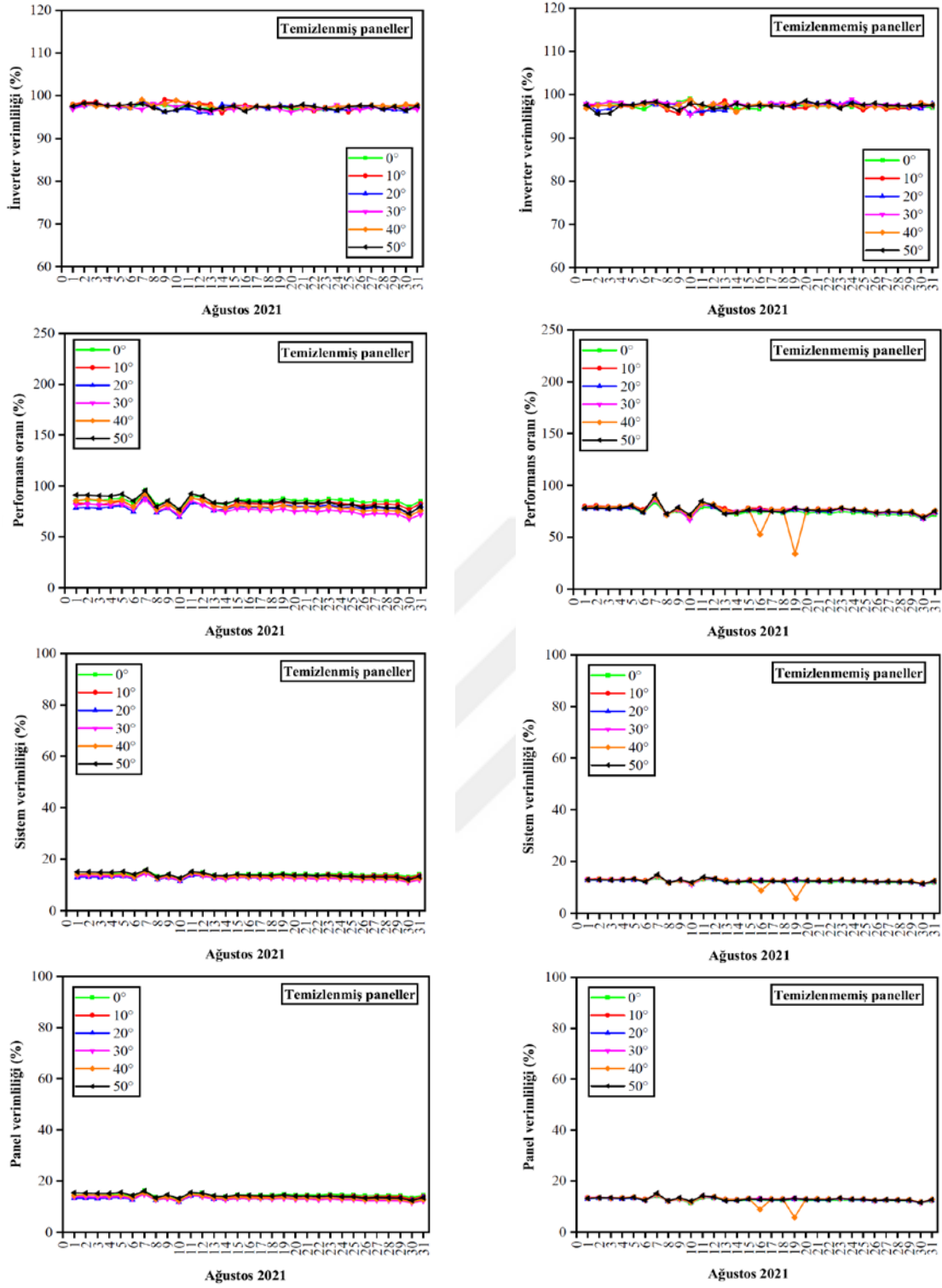
Şekil 9.23. Mikro inverter sisteminde inverter verimliliği, performans oranı, sistem verimliliği ve panel verimliliğinin Mayıs ayı içinde değişimi



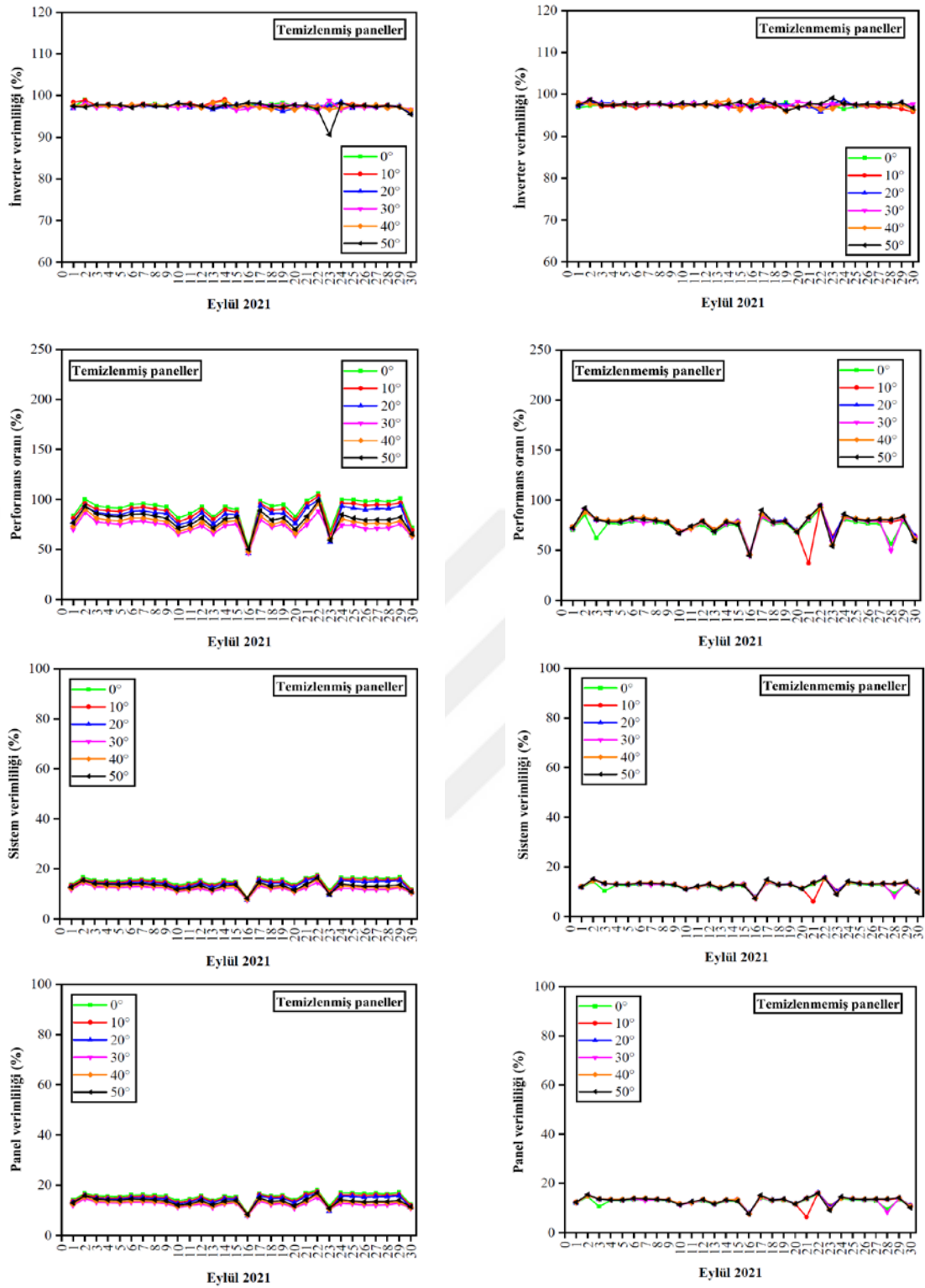
Şekil 9.24. Mikro inverter sisteminde inverter verimliliği, performans oranı, sistem verimliliği ve panel verimliliğinin Haziran ayı içinde değişimi



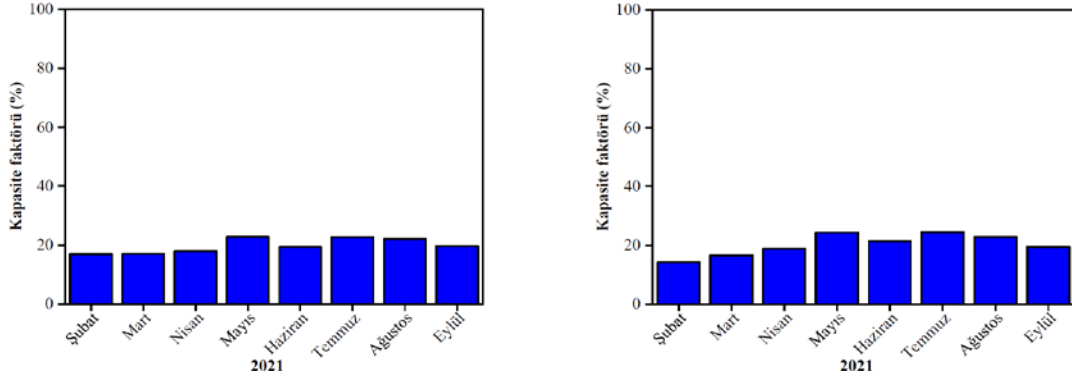
Şekil 9.25. Mikro inverter sisteminde inverter verimliliği, performans oranı, sistem verimliliği ve panel verimliliğinin Temmuz ayı içinde değişimi



Şekil 9.26. Mikro inverter sisteminde inverter verimliliği, performans oranı, sistem verimliliği ve panel verimliliğinin Ağustos ayı içinde değişimi



Şekil 9.27. Mikro inverter sisteminde inverter verimliliği, performans oranı, sistem verimliliği ve panel verimliliğinin Eylül ayı içinde değişimi



Şekil 9.28. Hibrid inverter (solda) ve aynı eğim açısındaki mikroinverter sisteminin (sağda) aylık kapasite faktörü

Şekil 9.28'de karşılaştırma amacıyla şebeke bağlantılı hibrid inverter ve aynı eğim açısındaki mikroinverter sistemi için aylık kapasite faktörleri verilmiştir. Kapasite faktörü, FV tesislerin performans seviyesini belirleyen parametrelerden biridir. Tesislerin AC enerji üretimi artarsa, kapasite faktörü de artar. Karşılaştırma yapılan hibrid ve mikroinverter sistemlerinde CF, ortalama olarak %16 ile %23 arasında değişmektedir. Her iki FV sistemde Mayıs, Ağustos ve Temmuz aylarında AC enerji üretiminin dolayısıyla CF değerlerinin arttığı görülmektedir. Göküzünün çoğunlukla bulutlu, ısınım seviyesinin düşük ve kar yağışının görüldüğü Şubat, Mart ve Nisan aylarında hem AC enerji üretimi hem de CF değerini azalmaktadır.

Tez çalışmasının son bölümünde literatür kısmında yer alan şebeke bağlantılı FV tesisler ile mevcut çalışmanın bazı performans parametreleri karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma için tez çalışmasında kullanılan monokristal ve polikristal panellerle literatürde aynı panel tipine sahip şebeke bağlantılı FV sistemler seçilmiştir. Karşılaştırma işlemi için dizi verimi, referans verim, nihai verim, CF, PR, inverter verimliliği ve sistem verimliliği olarak bilinen performans parametre değerleri kullanılmıştır. Bu tez çalışmasından elde edilen sonuçların literatürdeki çalışmalarda verilen performans parametreleri ile karşılaştırılması Çizelge 9.1'de sunulmuştur. Karşılaştırma sonucunda hibrid inverter ve mikroinverter sistemi için hesaplanan performans parametrelerinin literatürdeki diğer şebeke bağlantılı FV sistemler ile benzer sonuçlara sahip olduğu görülmektedir. Bu tez çalışmasında faydalanan hibrid ve mikroinverterli FV enerji üretim tesislerine ait işletme değerlerinin performans parametreleri açısından kabul edilebilir sınırlar içinde olduğu ve çalışma periyodu süresince sistemlerin sorunsuz şekilde çalıştığı görülmüştür.

Çizelge 9.1.Literatürde Verilen Performans Parametrelerinin Tablosu

Referans	Konum	FV Panel Tipi	Eğim açısı	Yerleşim (Çatı, Yere montajlı)	İnverter ve Nominal Güç	Dizi verim	Referans verim	Nihai verim	CF	PR	İnverter verimliliği	Sistem verimliliği
Kymakis ve ark. (2009)	Girit -Sitia	Polikristal	30°	Yere montajlı	Dize inverter 2,3 kW	2,25 -6,6 saat/gün	-	1,95 -5,07 saat/gün	-	-	-	-
Ayompe ve ark. (2011)	İrlanda - Dublin	Monokristal	53°	Çatı	Dize inverter 1,55 kW	2,63 kWh/kWp/gün	2,85 kWh/kWp/gün	2,41 kWh/kWp/gün	%10,1	%81,5	%89,2	%12,6
Ghouari ve ark. (2013)	Cezayir - Batna	Monokristal	40°	Çatı	Dize inverter 1,6 kW	-	-	-	-	%51 - %62	%92	-
Sharma ve Chandel (2013)	Hindistan - Khatkar - Kalan	Polikristal	25°	Yere montajlı	Merkezi inverter 100 kW	-	1,45 -2,84 saat/gün	2,29 -3,53 saat/gün	%9,27	%74	-	%8,3
Milosavljević ve ark. (2015)	Sırbistan - Niş	Monokristal	32°	Çatı	Dize inverter 2 kW	-	1390,9 saat	-	%12, 88	%93,6	-	-
Okello ve ark. (2015)	Güney Afrika - Port Elizabeth	Polikristal	34°	Yere montajlı	Dize inverter 3 kW	-	5,8 kWh/kWp/gün	4,9 kWh/kWp/gün	%20,41	%84,3	-	-
Attari ve ark. (2016)	Fas - Tangier	Polikristal	32°	Çatı	Dize inverter 5 kW	-	-	4,45 kWh/kWp/gün	%14,84	%79	%96,7	%12
Boughamrane ve ark. (2016)	Fas -Assa	Polikristal	20°	Yere montajlı	Merkezi inverter 100 kW	-	6,763 saat/gün	4,57 kWh/kWp/gün	%18	%70,14	-	%9,97

Dobaria ve ark. (2016)	Hindistan - Rajkot	Polikristal	15°	Çatı	Dize inverter 5 kW	4,71 saat/gün	6,06 saat/gün	4,49 saat/gün	-	%74	-	-
Ghouari ve ark. (2016)	Cezayir - Batna	Monokristal	-	Çatı	Dize inverter 1,6 kW	3,44 saat/gün	5,21 saat/gün	3,03 saat/gün	-	%57	%88,2	%8,75
Emmanuel ve ark. (2017)	Yeni Zelanda - Wellington	Monokristal	41°	Çatı	Dize inverter 4,99 kW	1,2 -5,4 saat/gün	3,87 saat/gün	2,99 saat/gün	%12,5	%78	%94,9 - %95,7	%11,96
Sharma ve Goel (2017)	Hindistan - Bhubaneswar	Polikristal	21°	Çatı	Dize inverter 11,6 kW	4,09 saat/gün	4,73 saat/gün	3,67 saat/gün	%15,27	%78	%89,83	%12,05
Daher ve ark. (2018)	Cibuti	Polikristal	12°	Yere montajlı	Merkezi inverter 100 kW	5,1 kWh/kWp	5,6 kWh/kWp	4,7 kWh/kWp	%16,35	%84	%92,6 - %92,81	%11,75
Komoni ve ark. (2018)	Kosova - Priştine	Monokristal	45°	Çatı	Dize inverter 2 kW	1,548 -5,68 saat/gün	1,7 -6,98 saat/gün	3,64 saat/gün	-	%84	-	%12,78
		Polikristal				1,494 -5,363 saat/gün		3,53 saat/gün				
Necaibia ve ark. (2018)	Cezayir - Adrar	Monokristal	28,8°	Çatı	Dize inverter 1,3 kW	4,24 -6,07 kWh/kWp/gün	5,7 -7,68 kWh/kWp/gün	4,88 kWh/kWp/gün	%7,9	%73,82	%94,73	%11,26
Yadav ve Bajpai (2018)	Hindistan - Lucknow	Polikristal	26,5°	Çatı	Dize inverter 5 kW	4,51 kWh/kWp/gün	5,23 kWh/kWp/gün	3,99 kWh/kWp/gün	%16,39	%76,97	%88,38	%10,02

Wichliński ve Staszkievicz (2018)	Mısır-Kahire	Polikristal	5° -45°	Çatı	Dize inverter 25 kW	-	-	3,68 kWh/kWp/gün	-	%62	-	-
Arora ve ark. (2019)	Hindistan - Gurugram	Polikristal	20°	Yere montajlı	Dize inverter 55 kW	4,57 saat/gün	5,13 saat/gün	4,28 saat/gün	%17,8	%82,79	-	%13,76
Mensah ve ark. (2019)	Gana-Navrongo	Polikristal	12,5°	-	Merkezi inverter 500 kW	-	-	-	%16,2	%70,4	-	-
Žnidarec ve ark. (2019)	Hırvatistan -Osijek	Monokristal Polikristal	7°	Çatı	Dize inverter 5 kW	-	-	-	%12,69 %12,11	%74,59 %73,75	-	-
Imam ve ark. (2020)	Suudi Arabistan - Cidde	Monokristal	0°-90°	Çatı	Dize inverter 5 kW	-	-	-	%22	%78	-	-
Ates ve Singh (2021)	Türkiye-Manisa	Polikristal	12°	Çatı	Dize inverter 30 kW	4,25 saat/gün	4,97 saat/gün	4,16 saat/gün	%17,35	% 83,61	%97,81	%13,29
Yahya ve ark. (2021)	Moritanya - Nuakşot	Polikristal	15°	Çatı	Dize inverter 10 kW	-	-	4,56 kWh/kWp/gün	%19	%77,66	%84,6	%9,49
Mevcut çalışma	Türkiye-Konya	Monokristal	30°	Yere montajlı	Hibrid inverter 10 kW	5,552 saat/gün	6,337 saat/gün	4,794 saat/gün	%19,827	%75,659	%85,363	%12,593
Mevcut çalışma	Türkiye-Konya	Polikristal	0° 10° 20° 30° 40° 50°	Yere montajlı	Mikro inverter 600W	5,520 saat/gün 5,525 saat/gün 5,366 saat/gün 5,081 saat/gün 5,159 saat/gün 5,139 saat/gün	6,006 saat/gün 6,262 saat/gün 6,374 saat/gün 6,337 saat/gün 6,152 saat/gün 5,826 saat/gün	5,381 saat/gün 5,400 saat/gün 5,223 saat/gün 4,944 saat/gün 5,035 saat/gün 5,011 saat/gün	%22,087 %22,135 %21,374 %20,303 %20,646 %20,520	%92,053 %88,131 %83,565 %78,937 %82,728 %86,941	%97,493 %97,697 %97,346 %97,279 %97,580 %97,475	%15,222 %14,574 %13,819 %13,053 %13,680 %14,377

10. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

İnverterler, FV panellerde üretilen DC enerjinin, şebeke frekansı ve gerilimiyle uyumlu, AC enerjiye dönüştürülmesini sağlayan temel FV sistem ekipmanlarından biridir. FV sistemlerin olağan çalışma ortamında bulutlanma, tozlanma, kirlenme, kar yağışı ve buzlanma gibi farklı şekillerde ortaya çıkan gölgeli çalışma şartları, hem panellerin hem de inverterlerin performansını, gölgelenmenin şiddetine bağlı olarak azaltmaktadır. Şebeke bağlantılı FV sistemlerde enerji üretiminin yüksek olması ve FV tesislerin ekonomik olarak kârlı duruma geçebilmesi inverter performansına bağlıdır. Fakat kış mevsiminde, kar yağışları sonucunda paneller üzerinde biriken kar ve buz birikintileri, FV sistemin enerji üretiminde kayıplara sebep olmaktadır. Kar yağışlı bölgelerde FV tesis kurmayı planlayan yatırımcının maliyet ve enerji üretimi açısından bu kayıpları göz önünde bulundurması ve uygun inverter seçimi yapması gerekir.

Bu tez çalışması, panel yüzeyinde biriken kar ve buzlanmanın farklı eğim açısı ve inverter teknolojisine sahip FV tesislerin performansına etkilerini karşılaştırmak ve değerlendirmek için gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla hibrid inverter sisteminde dizilerden biri, mikroiinverter sisteminde ise aynı eğim açısındaki panellerden biri geleneksel metotla kar birikintilerinden temizlenmiştir. Kar kaplı bırakılan diğer dize ve paneller üzerindeki kar birikintileri ise ortamın sıcaklığı ve güneşin etkisiyle kendiliğinden panel yüzeyinden kayarak veya eriyerek kaybolmuştur. Performans analizleri, inverter üreticisi firmaların arayüz yazılımlarıyla veri tabanına kaydedilen dakikalık ölçekteki üretim değerleri ve meteorolojiden alınan dakikalık çözünürlükteki ışıınım değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hibrid ve mikroiinverter sistemleri için elde edilen performans sonuçları, dizi verim, nihai verim, referans verim, sistem kaybı, dizi yakalama kaybı, inverter verimliliği, performans oranı, sistem verimliliği ve kapasite faktörü olarak bilinen performans değişkenleri üzerinden literatürdeki önceki çalışmalarda elde edilmiş sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Tez çalışması, 2021 Şubat ve Eylül ayları arasındaki çalışma periyodunu kapsamaktadır. Hibrid inverter sistemi için dizi verimi, referans verim, nihai verim, kapasite faktörü, performans oranı, inverter verimliliği ve sistem verimliliği değerleri ortalama olarak sırasıyla 5,552 saat/gün, 6,337 saat/gün, 4,794 saat/gün, %19,827, %75,659, %85,363 ve %12,593 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler mikroinverter sistemi için eğim açısına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bununla birlikte hibrid inverterle aynı eğim açısındaki mikroinverter sistemi için bu değerler ortalama olarak sırasıyla 5,081 saat/gün, 6,337 saat/gün, 4,944 saat/gün, %20,303, %78,937, %97,279, %13,053 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar, panel yüzeylerinde biriken kar ve buzlanmanın her iki inverter sisteminde de kayıplara neden olduğu fakat birbirine seri bağlı birçok panelden oluşan hibrid inverter sistemini mikroinverter sistemine nazaran daha çok etkilediğini göstermektedir.

Panellerin üzerindeki kar ve buz birikintileri, FV enerji üretiminin güvenilirliğini ve sürdürülebilirliği açısından tehdit oluşturmaktadır. Bu tehditleri azaltmak için hem teknolojik hem de maliyeti düşük panel temizlik metotları geliştirilmelidir. Bu teknolojik gelişmeler ortaya çıkana kadar panelleri uzun süre kar kaplı kalan ve mevcut temizleme yöntemlerinin kullanılamadığı yerlerde kurulacak FV tesisler için mikroinverter yapıları tercih edilmelidir. Kar yağışının etkili olduğu bölgelerde kışın güneş ışınımından daha fazla faydalanmak ve kar yağışının etkilerini azaltmak için büyük eğim açıları tercih edilmelidir. Ayrıca panellerin yatay yönelimli şekilde taşıyıcı sistemler üzerine montajının yapılması panel üzerinde biriken kar ve buzlanmanın olumsuz etkisini azaltmada sınırlı bir fayda sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- Adar, Mustapha, et al. "Performance analysis of PV grid-connected in fours special months of the year." *2017 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*. IEEE, 2017.
- Aganza-Torres, A., Cárdenas, V., Pacas, M., & González, M. (2016). An efficiency comparative analysis of isolated multi-source grid-connected PV generation systems based on a HF-link micro-inverter approach. *Solar Energy*, 127, 239-249.
- Akhter, M. N., Mekhilef, S., Mokhlis, H., Olatomiwa, L., & Muhammad, M. A. (2020). Performance assessment of three grid-connected photovoltaic systems with combined capacity of 6.575 kWp in Malaysia. *Journal of Cleaner Production*, 277, 123242.
- Al-Otaibi, A., Al-Qattan, A., Fairouz, F., & Al-Mulla, A. (2015). Performance evaluation of photovoltaic systems on Kuwaiti schools' rooftop. *Energy Conversion and Management*, 95, 110-119.
- Ameur, A., Sekkat, A., Loudiyi, K., & Aggour, M. (2019). Performance evaluation of different photovoltaic technologies in the region of Ifrane, Morocco. *Energy for Sustainable Development*, 52, 96-103.
- Anadol, M. A., & Erhan, E. (2019). The effect of snowfall and icing on the sustainability of the power output of a grid-connected photovoltaic system in Konya, Turkey. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 27(6), 4608-4623.
- Anadol, M. A. (2020). Snow melting on photovoltaic module surface heated with transparent resistive wires embedded in polyvinyl butyral interlayer. *Solar Energy*, 212, 101-112.
- Andenæs, E., Jelle, B. P., Ramlo, K., Kolås, T., Selj, J., & Foss, S. E. (2018). The influence of snow and ice coverage on the energy generation from photovoltaic solar cells. *Solar Energy*, 159, 318-328.
- Anonim, 2021, Türkiye Elektrik İletim A.Ş., Ocak 2020 Kurulu Güç Raporu [online], <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari>, [Ziyaret Tarihi: 6 Aralık 2021].
- Anonim1, 2020, T.C. Cumhurbaşkanlığı Yatırım Ofisi, Enerji [online], <https://www.invest.gov.tr/tr/sectors/sayfalar/energy.aspx>, [Ziyaret Tarihi: 15 Mayıs 2020].
- Anonim2, 2020, ABB, Merkezi İnverterler [online], <https://new.abb.com/power-converters-inverters/tr/solar-inverterler/merkezi-inverterler> [Ziyaret Tarihi: 8 Haziran 2020].
- Anonim3, 2021, Endüstriyel Elektrik [online], <https://endustriyel.com/> [Ziyaret Tarihi: 7 Aralık 2021].

- Anonymous, 2020, KACO New Energy, String Inverters [online], <https://kaco-newenergy.com/products/Category/string-inverters/> [Ziyaret Tarihi: 8 Haziran 2020].
- Anonymous1, 2020, ENPHASE, Microinverters [online], <https://enphase.com/en-us/products-and-services/microinverters/family> [Ziyaret Tarihi: 8 Haziran 2020].
- Anonymous2, 2021, Voltronic Power [online], <https://voltronicpower.com/> [Ziyaret Tarihi: 7 Aralık 2021].
- Anonymous3, 2021, NORTHERN ELECTRIC, BDM 600 Microinverter [online], <https://northernep.com/products/microinverters/bdm-600> [Ziyaret Tarihi: 7 Aralık 2021].
- Anonymous4, 2021, NORTHERN ELECTRIC, Gateway BDG-256P3 [online], <https://northernep.com/products/gateways/bdg-256-p3> [Ziyaret Tarihi: 7 Aralık 2021].
- Arora, R., Arora, R., & Sridhara, S. N. (2019). Performance assessment of 186 kWp grid interactive solar photovoltaic plant in Northern India. *International Journal of Ambient Energy*, 1-14.
- Arráez-Cancelliere, O. A., Muñoz-Galeano, N., & Lopez-Lezama, J. M. (2017, May). Performance and economical comparison between micro-inverter and string inverter in a 5, 1 kWp residential PV-system in Colombia. In *2017 IEEE Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA)* (pp. 1-5). IEEE.
- Ates, A. M., & Singh, H. (2021). Rooftop solar Photovoltaic (PV) plant–One year measured performance and simulations. *Journal of King Saud University-Science*, 33(3), 101361.
- Attari, K., Elyaakoubi, A., & Asselman, A. (2016). Performance analysis and investigation of a grid-connected photovoltaic installation in Morocco. *Energy Reports*, 2, 261-266.
- Ayompe, L. M., Duffy, A., McCormack, S. J., & Conlon, M. (2011). Measured performance of a 1.72 kW rooftop grid connected photovoltaic system in Ireland. *Energy conversion and management*, 52(2), 816-825.
- Balaska, A., Tahri, A., Tahri, F., & Stambouli, A. B. (2017). Performance assessment of five different photovoltaic module technologies under outdoor conditions in Algeria. *Renewable Energy*, 107, 53-60.
- Baçoğlu, M. E., Kazdaloğlu, A., Erfidan, T., Bilgin, M. Z., & Çakır, B. (2015). Performance analyzes of different photovoltaic module technologies under İzmit, Kocaeli climatic conditions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 357-365.

- Boughamrane, L., Boulaid, M., Tihane, A., Sdaq, A., Bouabid, K., & Ihlal, A. (2016). Comparative Analysis of Measured and Simulated Performance of the Moroccan First MV Grid Connected Photovoltaic Power Plant of Assa, Southern Morocco.
- Brecl, K., & Topič, M. (2011). Self-shading losses of fixed free-standing PV arrays. *Renewable Energy*, 36(11), 3211-3216.
- Bulanyi, P., & Zhang, R. (2014, May). Shading analysis & improvement for distributed residential grid-connected photovoltaics systems. In *The 52nd Annual Conference of the Australian Solar Council*.
- Dabou, R., Bouchafaa, F., Arab, A. H., Bouraiou, A., Draou, M. D., Neçaibia, A., & Mostefaoui, M. (2016). Monitoring and performance analysis of grid connected photovoltaic under different climatic conditions in south Algeria. *Energy Conversion and Management*, 130, 200-206.
- Daher, D. H., Gaillard, L., Amara, M., & Ménézo, C. (2018). Impact of tropical desert maritime climate on the performance of a PV grid-connected power plant. *Renewable energy*, 125, 729-737.
- De Lima, L. C., de Araújo Ferreira, L., & de Lima Moraes, F. H. B. (2017). Performance analysis of a grid connected photovoltaic system in northeastern Brazil. *Energy for Sustainable Development*, 37, 79-85.
- De Lima Moraes, F. H. B., de Lima, L. C., & Accioly Filho, J. B. P. COB-2019-1829 PERFORMANCE ANALYSIS OF A 5.4 KWP ON-GRID PV SYSTEM IN THE STATE OF CEARÁ-BRAZIL.
- De Souza Silva, J. L., Costa, T. S., de Melo, K. B., Sakô, E. Y., Moreira, H. S., & Villalva, M. G. (2020, February). A Comparative Performance of PV Power Simulation Software with an Installed PV Plant. In *2020 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)* (pp. 531-535). IEEE.
- Deb, D., & Brahmbhatt, N. L. (2018). Review of yield increase of solar panels through soiling prevention, and a proposed water-free automated cleaning solution. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3306-3313.
- Decker, B., & Jahn, U. (1997). Performance of 170 grid connected PV plants in northern Germany—analysis of yields and optimization potentials. *Solar Energy*, 59(4-6), 127-133.
- Deline, C. (2010, June). Partially shaded operation of multi-string photovoltaic systems. In *2010 35th IEEE Photovoltaic Specialists Conference* (pp. 000394-000399). IEEE.
- Deline, C., Meydbray, J., Donovan, M., & Forrest, J. (2012). *Photovoltaic shading testbed for module-level power electronics* (No. NREL/TP-5200-54876). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).

- Deshpande, S., & Bhasme, N. R. (2017, April). A review of topologies of inverter for grid connected PV systems. In *2017 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)* (pp. 1-6). IEEE.
- Díez-Mediavilla, M., Dieste-Velasco, M. I., Rodríguez-Amigo, M. D. C., García-Calderón, T., & Alonso-Tristán, C. (2013). Performance of grid-tied PV facilities: a case study based on real data. *Energy conversion and management*, 76, 893-898.
- Díez-Mediavilla, M., Dieste-Velasco, M. I., Rodríguez-Amigo, M. D. C., García-Calderón, T., & Alonso-Tristán, C. (2014). Performance of grid-tied PV facilities based on real data in Spain: Central inverter versus string system. *Energy conversion and management*, 86, 1128-1133.
- Dobaria, B., Pandya, M., & Aware, M. (2016). Analytical assessment of 5.05 kWp grid tied photovoltaic plant performance on the system level in a composite climate of western India. *Energy*, 111, 47-51.
- Dolara, A., Lazaroiu, G. C., Leva, S., & Manzolini, G. (2013). Experimental investigation of partial shading scenarios on PV (photovoltaic) modules. *Energy*, 55, 466-475.
- Dondariya, C., Porwal, D., Awasthi, A., Shukla, A. K., Sudhakar, K., SR, M. M., & Bhimte, A. (2018). Performance simulation of grid-connected rooftop solar PV system for small households: A case study of Ujjain, India. *Energy Reports*, 4, 546-553.
- Eke, R., & Demircan, H. (2013). Performance analysis of a multi crystalline Si photovoltaic module under Mugla climatic conditions in Turkey. *Energy conversion and Management*, 65, 580-586.
- Eke, R., & Demircan, C. (2015). Shading effect on the energy rating of two identical PV systems on a building façade. *Solar Energy*, 122, 48-57.
- Elamim, A., Hartiti, B., Haibaoui, A., Lfakir, A., & Thevenin, P. (2018). Performance evaluation and economical analysis of three photovoltaic systems installed in an institutional building in Errachidia, Morocco. *Energy Procedia*, 147, 121-129.
- Elanchezhian, P., & Chinnaiyan, V. K. (2017). Modeling and Simulation of High-Efficiency Interleaved Flyback Micro-inverter For Photovoltaic Applications. *Materials Today: Proceedings*, 4(9), 10417-10421.
- Elibol, E., Özmen, Ö. T., Tutkun, N., & Köysal, O. (2017). Outdoor performance analysis of different PV panel types. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67, 651-661.
- Emmanuel, M., Akinyele, D., & Rayudu, R. (2017). Techno-economic analysis of a 10 kWp utility interactive photovoltaic system at Maungaraki school, Wellington, New Zealand. *Energy*, 120, 573-583.

- Emziane, M., & Al Ali, M. (2015). Performance assessment of rooftop PV systems in Abu Dhabi. *Energy and Buildings*, 108, 101-105.
- Famoso, F., Lanza fame, R., Maenza, S., & Scandura, P. F. (2015). Performance comparison between micro-inverter and string-inverter photovoltaic systems. *Energy Procedia*, 81, 526-539.
- Gazis, F. S., Vokas, G. A., Katsimardou, I. J., & Kaldelis, J. K. (2013, September). Micro inverters for PV plants compared to the ordinary string or central inverters. In *Conference for International Synergy in Energy, Environment, Tourism and contribution of Information Technology in Science, Economy, Society and Education* (pp. 1-9).
- Ghiani, E., Pilo, F., & Cossu, S. (2013). Evaluation of photovoltaic installations performances in Sardinia. *Energy conversion and management*, 76, 1134-1142.
- Ghouari, A., Hamouda, C., & Chaghi, A. (2013, March). Performances Analysis of Grid connected PV system in the perspective of use in a smart house in Algeria. In *2013 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)* (pp. 521-524). IEEE.
- Ghouari, A. (2016). Data monitoring and performance analysis of a 1.6 kWp grid connected PV system in Algeria. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 6(1), 34-42.
- Haibaoui, A., Hartiti, B., Elamim, A., Karami, M., & Ridah, A. (2017). Performance indicators for grid-connected PV systems: a case study in Casablanca, Morocco. *IOSR J. Electr. Electron Eng.(IOSR JEEE)*, 12(2), 55-65.
- Harb, S., Kedia, M., Zhang, H., & Balog, R. S. (2013, June). Microinverter and string inverter grid-connected photovoltaic system—A comprehensive study. In *2013 IEEE 39th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)* (pp. 2885-2890). IEEE.
- Hassaine, L., OLias, E., Quintero, J., & Salas, V. (2014). Overview of power inverter topologies and control structures for grid connected photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 30, 796-807.
- Haydaroğlu, C., & Gümüş, B. (2017). Investigation of the effect of short term environmental contamination on energy production in photovoltaic panels: Dicle University solar power plant example. *Applied Solar Energy*, 53(1), 31-34.
- He, F., Zhao, Z., & Yuan, L. (2012). Impact of inverter configuration on energy cost of grid-connected photovoltaic systems. *Renewable Energy*, 41, 328-335.
- Huang, H. S., Jao, J. C., Yen, K. L., & Tsai, C. T. (2011). Performance and availability analyses of PV generation systems in Taiwan. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 5(6), 736-740.

- Humada, A. M., Hojabri, M., Hamada, H. M., Samsuri, F. B., & Ahmed, M. N. (2016). Performance evaluation of two PV technologies (c-Si and CIS) for building integrated photovoltaic based on tropical climate condition: A case study in Malaysia. *Energy and Buildings*, 119, 233-241.
- Imam, A. A., & Al-Turki, Y. A. (2020). Techno-economic feasibility assessment of grid-connected PV systems for residential buildings in Saudi Arabia—A Case Study. *Sustainability*, 12(1), 262.
- Jana, J., Saha, H., & Bhattacharya, K. D. (2017). A review of inverter topologies for single-phase grid-connected photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, 1256-1270.
- Khalid, A. M., Mitra, I., Warmuth, W., & Schacht, V. (2016). Performance ratio—Crucial parameter for grid connected PV plants. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65, 1139-1158.
- Komoni, V., Gebremedhin, A., & Ibrahim, N. (2018). A comparison of the performance of mono-Si and poly-Si photovoltaic modules operating under Kosovo climate condition. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 10(1), 013504.
- Kumar, K. A., Sundareswaran, K., & Venkateswaran, P. R. (2014). Performance study on a grid connected 20 kWp solar photovoltaic installation in an industry in Tiruchirappalli (India). *Energy for Sustainable Development*, 23, 294-304.
- Kymakis, E., Kalykakis, S., & Papazoglou, T. M. (2009). Performance analysis of a grid connected photovoltaic park on the island of Crete. *Energy Conversion and Management*, 50(3), 433-438.
- Leloux, J., Narvarte, L., & Trebosc, D. (2012). Review of the performance of residential PV systems in France. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(2), 1369-1376.
- Li, S., & Zheng, H. (2011, July). Energy extraction characteristic study of solar photovoltaic cells and modules. In *2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting* (pp. 1-7). IEEE.
- MacAlpine, S., Deline, C., & Dobos, A. (2017). Measured and estimated performance of a fleet of shaded photovoltaic systems with string and module-level inverters. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 25(8), 714-726.
- Mahela, O. P., & Shaik, A. G. (2017). Comprehensive overview of grid interfaced solar photovoltaic systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 316-332.
- Marion, B., Adelstein, J., Boyle, K. E., Hayden, H., Hammond, B., Fletcher, T., ... & Townsend, T. (2005, January). Performance parameters for grid-connected PV systems. In *Conference Record of the Thirty-first IEEE Photovoltaic Specialists Conference*, 2005. (pp. 1601-1606). IEEE.

- Mensah, L. D., Yamoah, J. O., & Adaramola, M. S. (2019). Performance evaluation of a utility-scale grid-tied solar photovoltaic (PV) installation in Ghana. *Energy for sustainable development*, 48, 82-87.
- Milosavljević, D. D., Pavlović, T. M., & Piršl, D. S. (2015). Performance analysis of A grid-connected solar PV plant in Niš, republic of Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 44, 423-435.
- Mohsin, L., Sakhrieh, A., Aboushi, A., Hamdan, A., Abdelhafez, E., & Hamdan, M. (2018). Optimized cleaning and cooling for photovoltaic modules based on the output performance. *Thermal Science*, 22(1 Part A), 237-246.
- Mondol, J. D., Yohanis, Y., Smyth, M., & Norton, B. (2006). Long term performance analysis of a grid connected photovoltaic system in Northern Ireland. *Energy Conversion and management*, 47(18-19), 2925-2947.
- Mondol, J. D., Yohanis, Y. G., & Norton, B. (2007). The impact of array inclination and orientation on the performance of a grid-connected photovoltaic system. *Renewable Energy*, 32(1), 118-140.
- Mostefaoui, M., Neçaibia, A., Ziane, A., Dabou, R., Rouabhia, A., Khelifi, S., ... & Sahouane, N. (2018, April). Importance cleaning of PV modules for grid-connected PV systems in a desert environment. In *2018 4th International Conference on Optimization and Applications (ICOA)* (pp. 1-6). IEEE.
- Necaibia, A., Bouraiou, A., Ziane, A., Sahouane, N., Hassani, S., Mostefaoui, M., ... & Mouhadjer, S. (2018). Analytical assessment of the outdoor performance and efficiency of grid-tied photovoltaic system under hot dry climate in the south of Algeria. *Energy Conversion and Management*, 171, 778-786.
- Nuotio, M., Ilic, M., Liu, Y., Bonanno, J., & Verlinden, P. J. (2014, June). Innovative AC photovoltaic module system using series connection and universal low-voltage micro inverters. In *2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)* (pp. 1367-1369). IEEE.
- Obaid, N. M., Hashim, E. T., & Kasim, N. K. (2020). Performance Analyses of 15 kW Grid-Tied Photo Voltaic Solar System Type under Baghdad city climate. *Journal of Engineering*, 26(4), 21-32.
- Okello, D., Van Dyk, E. E., & Vorster, F. J. (2015). Analysis of measured and simulated performance data of a 3.2 kWp grid-connected PV system in Port Elizabeth, South Africa. *Energy conversion and management*, 100, 10-15.
- Oldenkamp, H., & de Jong, I. (1998, July). Next generation of AC-module inverters. In *Paper presented at the 2nd World Conference and Exhibition on Photovoltaic Solar Energy Conversion* (Vol. 6, p. 10).
- Omar Nour-eddine, I., Lahcen, B., Fahd, O. H., Amin, B., & Aziz, O. (2020). Outdoor performance analysis of different PV technologies under hot semi-arid climate. *Energy Reports*, 6, 36-48.

- Ongun, I., & Özdemir, E. (2013). Weighted efficiency measurement of PV inverters: introducing $\eta_{\text{IZMİR}}$. *Journal of optoelectronics and advanced materials*, 15(5-6), 550-554.
- Opsomer, R., Ravyts, S., van den Broeck, G., & Driesen, J. (2019, October). Techno-economic analysis of building integrated photovoltaics electrical installations. In *IECON 2019-45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society* (Vol. 1, pp. 2572-2577). IEEE.
- Pal, D., Koniki, H., & Bajpai, P. (2016, December). Central and micro inverters for solar photovoltaic integration in AC grid. In *2016 National Power Systems Conference (NPSC)* (pp. 1-6). IEEE.
- Paul, G., Kannan, S., Johnson, N., & George, J. (2014). Modeling and analysis of PV micro-inverter. *International Journal of innovative research in electrical, electronics, instrumentation and control engineering*, 2(2), 1055-1058.
- Quansah, D. A., Adaramola, M. S., Appiah, G. K., & Edwin, I. A. (2017). Performance analysis of different grid-connected solar photovoltaic (PV) system technologies with combined capacity of 20 kW located in humid tropical climate. *International journal of hydrogen energy*, 42(7), 4626-4635.
- Ramanan, P., & Karthick, A. (2019). Performance analysis and energy metrics of grid-connected photovoltaic systems. *Energy for Sustainable Development*, 52, 104-115.
- Ramaprabha, R., & Mathur, B. L. (2012). A comprehensive review and analysis of solar photovoltaic array configurations under partial shaded conditions. *International Journal of Photoenergy*, 2012.
- Rana, A. S., Nasir, M., & Khan, H. A. (2018). String level optimisation on grid-tied solar PV systems to reduce partial shading loss. *IET Renewable Power Generation*, 12(2), 143-148.
- Salam, Z., & Rahman, A. A. (2014, October). Efficiency for photovoltaic inverter: A technological review. In *2014 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON)* (pp. 175-180). IEEE.
- Seme, S., Sredenšek, K., Štumberger, B., & Hadžiselimović, M. (2019). Analysis of the performance of photovoltaic systems in Slovenia. *Solar Energy*, 180, 550-558.
- Sharkawi, L., & Hassan, M. (2015, February). Photovoltaic systems analysis taking into consideration the shadows effect. In *2015 IEEE 8th GCC Conference & Exhibition* (pp. 1-6). IEEE.
- Sharma, V., & Chandel, S. S. (2013). Performance analysis of a 190 kWp grid interactive solar photovoltaic power plant in India. *Energy*, 55, 476-485.
- Sharma, R., & Goel, S. (2017). Performance analysis of a 11.2 kWp roof top grid-connected PV system in Eastern India. *Energy Reports*, 3, 76-84.

- Sher, H. A., & Addoweesh, K. E. (2012). Micro-inverters—Promising solutions in solar photovoltaics. *Energy for Sustainable Development*, 16(4), 389-400.
- Shukla, A. K., Sudhakar, K., & Baredar, P. (2016). Simulation and performance analysis of 110 kWp grid-connected photovoltaic system for residential building in India: A comparative analysis of various PV technology. *Energy Reports*, 2, 82-88.
- Sidi, C. E. B. E., Ndiaye, M. L., El Bah, M., Mbodji, A., Ndiaye, A., & Ndiaye, P. A. (2016). Performance analysis of the first large-scale (15 MWp) grid-connected photovoltaic plant in Mauritania. *Energy Conversion and Management*, 119, 411-421.
- Sinha, A., Jana, K. C., & Das, M. K. (2018). An inclusive review on different multi-level inverter topologies, their modulation and control strategies for a grid connected photo-voltaic system. *Solar Energy*, 170, 633-657.
- Sreenath, S., Sudhakar, K., Yusop, A. F., Solomin, E., & Kirpichnikova, I. M. (2020). Solar PV energy system in Malaysian airport: Glare analysis, general design and performance assessment. *Energy Reports*, 6, 698-712.
- Su, Y., Chan, L. C., Shu, L., & Tsui, K. L. (2012). Real-time prediction models for output power and efficiency of grid-connected solar photovoltaic systems. *Applied energy*, 93, 319-326.
- Tahri, F., Tahri, A., & Oozeki, T. (2018). Performance evaluation of grid-connected photovoltaic systems based on two photovoltaic module technologies under tropical climate conditions. *Energy Conversion and Management*, 165, 244-252.
- Thotakura, S., Kondamudi, S. C., Xavier, J. F., Qunjin, M., Reddy, G. R., Gangwar, P., & Davuluri, S. L. (2020). Operational performance of megawatt-scale grid integrated rooftop solar PV system in tropical wet and dry climates of India. *Case Studies in Thermal Engineering*, 18, 100602.
- Torres Lobera, D., Mäki, A., Huusari, J., Lappalainen, K., Suntio, T., & Valkealahti, S. (2013). Operation of TUT solar PV power station research plant under partial shading caused by snow and buildings. *International Journal of Photoenergy*, 2013.
- Tripathi, B., Yadav, P., Rathod, S., & Kumar, M. (2014). Performance analysis and comparison of two silicon material based photovoltaic technologies under actual climatic conditions in Western India. *Energy Conversion and Management*, 80, 97-102.
- Trzmiel, G., Gluchy, D., & Kurz, D. (2020). The impact of shading on the exploitation of photovoltaic installations. *Renewable Energy*, 153, 480-498.

- Ubisse, A., & Sebitosi, A. J. E. C. (2009). A new topology to mitigate the effect of shading for small photovoltaic installations in rural sub-Saharan Africa. *Energy Conversion and Management*, 50(7), 1797-1801.
- Valentini, M., Raducu, A., Sera, D., & Teodorescu, R. (2008, May). PV inverter test setup for European efficiency, static and dynamic MPPT efficiency evaluation. In *2008 11th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment* (pp. 433-438). IEEE.
- Vidyanandan, K. V. (2017). An overview of factors affecting the performance of solar PV systems. *Energy Scan*, 27(28), 216.
- Wang, H., Muñoz-García, M. A., Moreda, G. P., & Alonso-García, M. C. (2017). Seasonal performance comparison of three grid connected photovoltaic systems based on different technologies operating under the same conditions. *Solar Energy*, 144, 798-807.
- Wichliński, M., & Staszkievicz, J. (2018). Photovoltaic installation for a roofed car park in Egypt as an example of effective use of solar energy. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 49, p. 00127). EDP Sciences.
- Woyte, A., Nijs, J., & Belmans, R. (2003). Partial shadowing of photovoltaic arrays with different system configurations: literature review and field test results. *Solar energy*, 74(3), 217-233.
- Yadav, S. K., & Bajpai, U. (2018). Performance evaluation of a rooftop solar photovoltaic power plant in Northern India. *Energy for Sustainable Development*, 43, 130-138.
- Yahya, A. M., Mahmoud, A. K., DAHER, D. H., GAILLARD, L., MENEZO, C., Youm, I., & Mellit, A. (2021). Performance analysis of a 48kWp grid-connected photovoltaic plant in the Sahelian climate conditions of Nouakchott, Mauritania.
- Yilmaz, S., & Dincer, F. (2017). Impact of inverter capacity on the performance in large-scale photovoltaic power plants—A case study for Gainesville, Florida. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 15-23.
- Zain, Z. M., Yusof, M. I., Hussin, M. Z., Dahlan, N. Y., & Rimon, L. A. (2013, December). Grid connected monocrytalline and polycrystalline photovoltaic system: A comparative study on performance. In *2013 IEEE Conference on Systems, Process & Control (ICSPC)* (pp. 275-278). IEEE.
- Zheng, H., Li, S., & Proano, J. (2012, July). PV energy extraction characteristic study under shading conditions for different converter configurations. In *2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting* (pp. 1-8). IEEE.
- Zheng, H., Li, S., Haskew, T. A., & Xiao, Y. (2013). Impact of uneven shading and bypass diodes on energy extraction characteristics of solar photovoltaic modules and arrays. *International Journal of Sustainable Energy*, 32(5), 351-365.

- Zheng, H., Li, S., Chaloo, R., & Proano, J. (2014). Shading and bypass diode impacts to energy extraction of PV arrays under different converter configurations. *Renewable Energy*, 68, 58-66.
- Žnidarec, M., Šljivac, D., Došen, D., & Dumniņ, B. (2019, July). Performance assessment of mono and poly crystalline silicon photovoltaic arrays under Pannonian climate conditions. In *IEEE EUROCON 2019-18th International Conference on Smart Technologies* (pp. 1-6). IEEE.



EKLER**EK-1 Monokristal-Polikristal Panel Teknik Özellikleri**

Marka (Endüstriyel)		M60-270A	M60-265	P60-265A
Panel Tipi		Monokristal	Monokristal	Polikristal
Maksimum Güç (0-3%)	Pmp	270 W	265 W	265 W
Açık Devre Gerilimi	Voc	39,02 V	38,55 V	37,94 V
Kısa Devre Akımı	Isc	9,309 A	8,664 A	9,15 A
Maksimum Güçte Gerilim	Vmp	31,27 V	31,24 V	30,7 V
Maksimum Güçte Akım	Imp	8,634 A	8,482 A	8,631 A



EK-2 Hibrid İnverter Teknik Özellikleri

Marka/Model	ABAX / TRIGEN TP 10K
Nominal Güç	10 kW
FV GİRİŞ (DC)	
Maksimum DC Güç	14850 W
Nominal DC Gerilim	720 VDC
Maksimum DC Gerilim	900 VDC
Çalışma DC Gerilim Aralığı	300 ~ 900 VDC
Başlangıç Gerilimi / Başlangıç Besleme Gerilimi	320 VDC / 350 VDC
MPP Gerilim Aralığı / Tam Yük MPP Ger. Aralığı	350 ~ 850 VDC / 400 ~ 800 VDC
Maksimum Giriş Akımı	2x18.6 A
Isc FV (Mutlak Maksimum)	25 A
Maks. Diziye İnverter Geri Besleme Akımı	0 A
ŞEBEKE ÇIKIŞI (AC)	
Nominal Çıkış Gerilimi	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Çıkış Gerilim Aralığı	184-265 VAC (faz başına)
Çıkış Frekans Aralığı	47.5 ~ 51.5 Hz / 59.3 ~ 60.5 Hz
Nominal Çıkış Akımı	14.5 A (faz başına)
Kalkış Akımı/Süresi	17 A (faz başına) / 20 ms
Maksimum Çıkış Hatası Akımı/Süresi	51 A (faz başına) / 1 ms
Maksimum Çıkış Aşırı Akım Koruması	51 A (faz başına)
Güç Faktörü Aralığı	0.9 ileri - 0.9 geri
AC GİRİŞ	
AC Başlangıç Gerilimi	120-140 VAC (faz başına)
Otomatik Yeniden Başlatma Gerilimi	180 VAC (faz başına)
Kabul Edilebilir Giriş Gerilim Aralığı	170-280 VAC (faz başına)
Nominal Frekans	50 Hz / 60 Hz
AC Giriş Gücü	10000VA/10000W
Maksimum AC Giriş Akımı	40 A
Kalkış Giriş Akımı	40 A / 1 ms
AKÜ MODU ÇIKIŞ (AC)	
Nominal Çıkış Gerilimi	230 VAC (P-N) / 400 VAC (P-P)
Çıkış Frekansı	50 Hz / 60 Hz (Otomatik algılama)
Çıkış Dalga Formu	Saf Sinüs Dalga
Çıkış Gücü	10000VA/10000W
Verimlilik (DC'den AC'ye)	%91
AKÜ & ŞARJ CİHAZI	
DC Gerilim Aralığı	40-60 VDC
Nominal DC Gerilimi	48 VDC
Maksimum Akü Boşaltma Akımı	275 A
Maksimum Şarj Akımı	200 A

EK-3 Mikro İnverter Teknik Özellikleri

Marka/Model	NEP (NORTHERN ELECTRIC)/BDM-600 (300X2) MİKRO İNVERTER		
GİRİŞ (DC)			
Önerilen Maksimum FV Güç (Wp)	450x2 W		
Maksimum DC Açık Devre Gerilimi (Vdc)	60 V		
Maksimum DC Giriş Akımı (Adc)	14x2 A		
MPPT İzleme Doğruluğu	>%99.5		
MPPT İzleme Aralığı (Vdc)	22-55 V		
Isc FV (Mutlak Maksimum) (Adc)	18x2		
ÇIKIŞ (AC)			
Maksimum (Tepe) AC Çıkış Gücü (Wp)	550 W		
Anma AC Çıkış Gücü (Wp)	500 W		
Nominal Güç Şebeke Gerilimi (Vac)	240 V	208 V	230 V
İzin Verilebilen Güç Şebeke Gerilimi (Vac)	211-264 V	183-229 V	-
İzin Verilebilen Güç Şebeke Frekansı (Hz)	59.3-60.5 Hz	59.3-60.5 Hz	-
THD	<%3 (Anma Gücünde)		
Güç Faktörü (cos ϕ, sabit)	>0.99(Anma Gücünde)		
Anma Çıkış Akımı (Aac)	2.08 A	2.40 A	2.17 A
Akım (Ani) (Tepe ve Süre)	24 A, 15 µs		
Nominal Frekans (Hz)	60 Hz	50 Hz	
Maksimum Çıkış Hata Akımı (Aac)	4.4 A (tepe)		
Maksimum Çıkış Aşırı Akım Koruması (Aac)	10		
Dal Başına Maksimum Birim Sayısı (20A)	7	6	7
SİSTEMİN VERİMLİLİĞİ			
Ağırlıklı Ortalama Verim (CEC)	%99.5		
Gece Vakti Fire (Güç) Kaybı (Wp)	0.11 W		