

**T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FOTOKATALİTİK MALZEMELERİN GÜNEŞ PANELİ VERİMİ
ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AYDIN DENER

YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ANABİLİM DALI

**TEZ DANIŞMANI
Dr. Öğr. Üyesi. Dursun ÖZTÜRK**

BİNGÖL-2022

ÖNSÖZ

Bu tezin konusunu belirlemede, deneysel çalışmaların yönlendirilmesinde, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yardımlarını ve bilgi birikimini esirgemeyen, çalışmaların tamamlanabilmesi için gerekli desteği veren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Dursun ÖZTÜRK'e çok teşekkür ederim. Tez çalışmasına desteklerinden dolayı Bingöl Üniversitesi Rektörlüğüne, (Proje No: BAP-FBE.2021.001), Bingöl Üniversitesi BAP birimine teşekkür ederim.

Bu günlere gelmemde emekleri olan, benim için çok fedakârlık yapan ve dualarını esirgemeyen anne ve babama, tezin hazırlanması sırasında gösterdikleri sabır, fedakârlık ve desteklerinden dolayı eşime ve çocuklarıma teşekkür ederim.

Aydın DENER
Bingöl 2022

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
3. GÜNEŞ ENERJİSİ VE FOTOVOLTAİK SİSTEMLER	10
3.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli	10
3.2. Bingöl'ün Güneş Enerjisi Potansiyeli	12
3.3. FV Sistemler	13
3.3.1. FV Hücreler ve Çalışma Prensibi	15
3.3.2. FV Panellerin Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim Karakteristikleri	16
3.4. FV Hücre Çeşitleri	17
3.4.1. Monokristal Hücreler	17
3.4.2. Polikristal Hücreler	18
3.4.3. İnce Film Hücreler	18
3.5. FV Sistemlerin Verimliliğini Etkileyen Faktörler	18
3.5.1. Güneş Işınımı	18
3.5.2. Güneş Işınlığının Yansıma Etkisi	19
3.5.3. Sıcaklık Etkisi	19

3.5.4. Kirlenme Etkisi	19
3.5.5. Gölgeleme Etkisi	19
4. FOTOKATALİTİK MALZEMELER	21
4.1. Foto Kataliz Olayı	21
4.2. Nano Kaplamalar	22
4.3. Nano Yüzey Kaplama Metotları	22
4.3.1 Kuru Metot	22
4.3.1.1 Kimyasal Buhar Biriktirme Metodu	23
4.3.1.2 Fiziksel Buhar Biriktirme Metodu	23
4.3.1.3 Doğrudan Buhar Biriktirme Metodu	23
4.3.2 Sol-Jel Metodu	23
4.3.2.1. Sol-Jel Kaplama Teknikleri	24
4.4. Titanyum Dioksit (TiO ₂)	25
5. MATERYAL VE YÖNTEM	26
5.1. Deneysel Sistem	26
5.2. Deneysel Sonuçlar	29
6. BULGULAR VE TARTIŞMA	29
6.1. Güz Döneminin (Eylül, Ekim, Kasım) Değerlendirilmesi	29
6.2. Kış Döneminin (Aralık, Ocak, Şubat) Değerlendirilmesi	32
6.3. İlkbahar Döneminin (Mart, Nisan Mayıs) Değerlendirilmesi	36
6.4. Yaz Döneminin (Haziran ve Temmuz) Değerlendirilmesi	40
6.5. Foto Katalitik Kaplamanın Maliyeti ve Amortisman Süresi	44
6.5.1. Foto Katalitik Kaplama İşleminin Maliyeti	44
6.5.2. Amortisman Süresi	45
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	47
KAYNAKLAR	49

EKLER	54
ÖZGEÇMİŞ	66



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AA, AC	: Alternatif akım
DA, DC	: Doğru akım
I	: Akım
V, U	: Gerilim
P	: Güç
O ₂	: Oksijen
TiO ₂	: Titanyum dioksit
FV	: Fotovoltaik
I _{KD}	: Kısa devre akımı
kW	: Kilowatt
V _{KD}	: Açık devre gerilimi
CO ₂	: Karbondioksit
kWh	: Kilowatt saat
t	: Zaman
wh	: Watt saat
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
SiO ₂	: Silisyum dioksit
ZnO	: Çinko oksit
UV	: Ultraviyole
Å	: Angstrom sembolü- ($1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ metre}$)
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları
EÜAŞ	: Elektrik Üretim Anonim Şirketi

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1.	Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası	11
Şekil 3.2.	Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m ² /gün)	11
Şekil 3.3	Türkiye güneşlenme süreleri (saat)	12
Şekil 3.4	Bingöl ili güneş radyasyon değerleri	12
Şekil 3.5.	Bingöl ili global radyasyon değerleri (kWh/m ² /gün)	13
Şekil 3.6.	Bingöl ili güneşlenme süresi (saat)	13
Şekil 3.7.	FV sisteminin temel şeması	14
Şekil 3.8.	On grid sisteminin blok şeması.....	15
Şekil 3.9.	Off grid sisteminin blok şeması.....	15
Şekil 3.10.	FV hücrenin çalışma ilkesi	16
Şekil 3.11.	FV panelin akım – gerilim karakteristiğinin yüklerle değişimi	17
Şekil 3.12.	FV panelin I-V ve PV karakteristiği	17
Şekil 4.1.	Foto kataliz ve fotosentez	21
Şekil 4.2.	Sol-jel yöntemi blok şeması	24
Şekil 5.1.	Uygulama düzeneği	26
Şekil 5.2.	Polisaj makinası ile nano teknolojik temizleme kimyasalı ile yüzeyin derinlemesine temizlenmesi	27
Şekil 5.3.	Sprey tabanca ile fotokatalitik kaplama uygulaması	27
Şekil 5.4.	Kısa devre akımı ve açık devre gerilimi ölçümü	28
Şekil 6.1.	Eylül ayı güç grafikleri	30
Şekil 6.2.	Ekim ayı güç grafikleri	31
Şekil 6.3.	Kasım ayı güç grafikleri	32
Şekil 6.4.	Aralık ayı güç grafikleri	34
Şekil 6.5.	Ocak ayı güç grafikleri	35
Şekil 6.6.	Şubat ayı güç grafikleri	36
Şekil 6.7.	Mart ayı güç grafikleri	38
Şekil 6.8.	Nisan ayı güç grafikleri	39
Şekil 6.9.	Mayıs ayı güç grafikleri	40

Şekil 6.10.	Haziran ayı güç grafikleri	42
Şekil 6.11.	Temmuz ayı güç grafiği	43
Şekil 6.12.	Ağustos ayı güç grafikleri	44
Şekil A.1.	PV Panellerin teknik özellikleri	53



TABLolar LİSTESİ

Tablo 6.1.	Güz dönemi ortalama güç farkları	29
Tablo 6.2.	Kış dönemi ortalama güç farkları	33
Tablo 6.3.	Bahar dönemi ortalama güç farkları	37
Tablo 6.4.	Yaz dönemi ortalama güç farkları	41
Tablo 6.5.	Panel Yüzeyinin Foto Katalitik Malzeme ile Kaplama İşleminin Amortisman Süresi	46
Tablo B.1.	Eylül ayında ölçülen panellerin güç değerleri	54
Tablo B.2.	Ekim ayında ölçülen panellerin güç değerleri	55
Tablo B.3.	Kasım ayında ölçülen panellerin güç değerleri	56
Tablo B.4.	Aralık ayında ölçülen panellerin güç değerleri	57
Tablo B.5.	Ocak ayında ölçülen panellerin güç değerleri	58
Tablo B.6.	Şubat ayında ölçülen panellerin güç değerleri	59
Tablo B.7.	Mart ayında ölçülen panellerin güç değerleri	60
Tablo B.8.	Nisan ayında ölçülen panellerin güç değerleri	61
Tablo B.9.	Mayıs ayında ölçülen panellerin güç değerleri	62
Tablo B.10.	Haziran ayında ölçülen panellerin güç değerleri	63
Tablo B.11.	Temmuz ayında ölçülen panellerin güç değerleri	64
Tablo B.12.	Ağustos ayında ölçülen panellerin güç değerleri	65

FOTOKATALİTİK MALZEMELERİN GÜNEŞ PANELİ VERİMİ ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZET

Ülkeler ihtiyaç duydukları enerjiyi karşılamak için çaba sarf ederler. Ayrıca fosil yakıtların hem çevreye zararlarından dolayı hem de kaynaklarının her geçen gün tükeniyor olması nedeniyle alternatif enerji kaynaklarına yönelmektedirler.

Güneş, dünyada var olan tüm enerji türlerinin kaynağıdır. Güneş enerjisi bitmeyen, temiz ve kolay erişilebilen bir enerjidir. Fotovoltaik (FV) paneller yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Artan elektrik enerjisi ihtiyacını karşılayabilmek için güneş pillerinin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır.

Kirlilik, güneş panellerinde verimliliği etkileyen başlıca faktörlerden biridir. Paneller dış ortamda olmaları nedeniyle kirlenirler. Böylece daha az güneş ışığı emilmekte ve bunun sonucu olarak daha az miktarda elektrik enerjisi üretilmektedir. Panellerin belirli periyotlarla temizlenmesi ilave ekonomik ve iş yükü kaybına yol açacaktır. Ayrıca temizlik için kullanılacak kimyasalların panellere zarar verebilmesi de söz konusudur.

Kirin panel verimi üzerindeki olumsuz etkisini azaltmak için panellerin yüzeyi kendi kendini temizleyen fotokatalitik malzemeler ile kaplanır. Fotokatalitik yüzeylerde güneş ışığındaki ultraviyole ışınları (UV) yardımıyla oksijen ve nano partiküller oluşur. Bu partiküller, kaplama ile yüzey arasında kimyasal bir reaksiyon oluşturarak yüzeydeki kirleri parçalar ve yok eder.

Bu çalışmada Bingöl İli Merkez İlçesinde (Enlem:38,8851578 Boylam:40,5072665 Rakım: 1.126 m) iki adet aynı güçte polikristal güneş panelleri aynı açıyla konstrüksiyona yerleştirilerek deneysel uygulama yapılmıştır. Bir panel titanyum dioksit (TiO_2) malzemeden oluşan fotokatalitik yüzey kaplanmıştır. Diğer panelin yüzeyine herhangi bir işlem uygulanmamıştır. Panellerin kısa devre akımı ve açık devre gerilimleri her gün yaklaşık olarak aynı saatlerde ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

Deney sonuçları, fotokatalitik malzemelerin panel gücü üzerine sınırlı miktarda da olsa olumlu bir etki gösterdiğini ortaya koymuştur. Özellikle yağışın olmadığı dönemlerde iki panel arasındaki güç farkı artmıştır. Kış mevsiminde ve yağışlı dönemlerde fark azalmıştır. Bu fark şubat ayında en aza inmiştir.

Anahtar Kelimeler: Fotokatalitik malzeme, TiO_2 , panellerde kirlenme, panel verimi, panel kaplama.

EFFECT OF PHOTOCATALYTIC MATERIALS ON SOLAR PANEL EFFICIENCY

ABSTRACT

Countries make an effort to meet the energy they need. In addition, they turn to alternative energy sources because of both the environmental damage of fossil fuels and the fact that their resources are being depleted day by day.

The sun is the source of all forms of energy in the world. Solar energy is an endless, clean and easily accessible energy. It can be converted into electrical energy with the help of photovoltaic panels. The use of solar cells is increasing day by day in order to meet the increasing need for electrical energy.

Pollution is one of the main factors affecting efficiency in solar panels. Panels get dirty due to being outdoors. Thus, less sunlight is absorbed and, as a result, less electrical energy is produced. Periodic cleaning of the panels will cause additional workload as well as economic loss. In addition, it is possible that the chemicals used for cleaning may damage the panels.

In order to reduce the negative effect of dirt on the panel efficiency, the surface of panels are covered with self-cleaning photocatalytic surfaces. Oxygen and nanoparticles are formed on photocatalytic surfaces with the help of ultraviolet (UV) rays in sunlight. These particles form a chemical reaction between the coating and the surface, breaking down and destroying the dirt on the materials.

In this study, two polycrystalline solar panels of the same power (285 W) were placed in the construction at the same angle and an experimental application was made in the Central District of Bingöl Province (Latitude: 38,8851578 Longitude:40,5072665 Altitude: 1.126 m). Photocatalytic surface consisting of titanium dioxide (TiO_2) material was coated on one of the panels. No treatment was applied to the surface of the other panel. The short-circuit current and open-circuit voltages of the panels were measured at approximately the same time each day, and the measurement results were recorded.

The experimental results revealed that the photocatalytic materials had a positive effect on the panel strength, albeit to a limited extent. The power difference between the two panels increased, especially during periods of no precipitation. The difference decreased in winter and rainy seasons. This difference was minimized in February.

Keywords: Photocatalytic materials, TiO_2 , pollution of panel, panel efficiency, panel coating

1. GİRİŞ

Dünya nüfusundaki hızlı nüfus artışı, sanayi ve teknolojiye bağlı olarak kullanılan elektrikli cihazların artması ve insanların refah seviyesinin yükselmesi ülkelerin enerjiye olan ihtiyacını artırmaktadır. Fosil yakıtların kullanımı sonucu atmosfere karbondioksit salınmaktadır. Artan karbondioksit miktarı atmosferde sera etkisine neden olmakta ve böylece dünyanın ortalama sıcaklığı yükselmektedir. Sıcaklığın 1°C yükselmesi, iklimlerin değişmesine yol açarken, 3°C'lik bir yükselmesi ise, buzulların erimesine, buna bağlı olarak denizlerin yükselmesine, göllerin kurumasına ve tarım alanlarında kuraklığa neden olabilmektedir [1], [2]. Ayrıca fosil enerji kaynaklarının sınırlı olması, ani fiyat değişikliklerinin olabilmesi, enerjide dışa bağımlılığın çeşitli siyasi ve ekonomik sorunlara yol açması gibi birçok olumsuz etkenler yenilenebilir enerji kaynaklarına (YEK) yönelimi zorunlu kılmaktadır. Ekonomik Kalkınma ve İş birliği Örgütü (OECD) ülkelerinin 1991-2017 yılları arasında yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretim oranları verileri incelendiğinde sürekli bir artış olduğu görülmektedir [3]. Ülkeler fosil enerji kaynaklarına olan bağımlılıklarını azaltmak için YEK'lerden elektrik üretme arayışına girmektedirler. Günümüzde enerji tüm ülkelerin en önemli ihtiyaçlarından biri haline gelmiştir. Bu ihtiyacı karşılayabilmek için YEK'lerin daha etkin kullanılması gerekmektedir. Ülkemizde de YEK'lerden enerji üretim miktarı her geçen yıl artış göstermiştir. 2022 yılı haziran ayı sonu itibarıyla kurulu gücün yarısından fazlası YEK'ler oluşturmaktadır. Elektrik Üretim A.Ş.'nin (EÜAŞ) 2022 yılı haziran ayı verilerine göre ülkemiz kurulu gücünün %31,09'unu hidroelektrik, %10,81'ni rüzgâr, %8,35'ni güneş, %1,66'sını ise jeotermal kaynaklar oluşturmaktadır [4].

Artan enerji talebini karşılamak için tükenmeyen ve temiz enerji olan güneş enerjisi kullanımı yaygınlaşmaktadır. FV paneller ile güneş enerjisinden elektrik üretimi, fosil yakıtlara kıyasla son derece temiz ve çevre dostu bir yöntemdir.

Türkiye dünya üzerindeki bulunduğu coğrafi konumu itibariyle güneşlenme alanı ve süresi bakımından dünya ortalamasının üzerindedir. Bu nedenle ülkemizde güneş enerjisi önemli bir yenilenebilir enerji kaynağıdır. Ülkemizin güneş enerjisinden yararlanma potansiyeli, Avrupa ülkeleri arasında İspanya'dan sonra ikinci ülke konumundadır [5].

Güneş enerjisi santrallerinin (GES) başlangıç kurulum maliyetleri diğer santrallere oranla daha yüksektir. Sistemin uzun süre kullanımı ile bu maliyet yıllara yayılarak telafi edilebilir. Kurulan GES'lerden en az kayıp ve en yüksek verim amaçlanmaktadır. Panellerin yüzeylerinde biriken ve güneş ışınlarını perdeleyen kir tabakasının temizlenmesi panellerin verimini artıracaktır. FV sistemlerde temizlik, bakım vb. maliyetlerin en aza indirilerek verimliliğin artırılması amaçlanmaktadır. Güneş panellerinin verimliliğini arttırmaya yönelik bilimsel araştırma çalışmaları yapılmakla beraber paneller çevresel nedenlerden dolayı sıklıkla kirlenmekte ve verimleri düşmektedir. Dış ortamda bulunan paneller genellikle toz, kir, kuş pisliği ve yaprak vb. etkenler ile kirlenirler. Kirlenen paneller güneş ışığını daha az soğuracağından üreteceği elektrik enerjisi miktarı da azalacaktır. Büyük alanlar üzerine kurulan GES'ler belirli aralıklarla su ve kimyasallarla temizlenebilir ancak bu işlem, hem maliyet ve zaman kaybına yol açabilir, hem de panellerinin yapısına zarar verebilir.

Panel yüzeylerinin su ve kimyasallar ile temizlenmesi yerine kendi kendini temizleyen malzemeler ile kaplanması daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Nano teknolojik temizleme ve koruma ürünleri ile kaplanan panel yüzeyleri, uzun süre kir tutmayarak panellerin daha yüksek verimle çalışmasını sağlayabilir. Bu tezin ikinci bölümünde verilen bazı literatür çalışmalarında da görüleceği gibi FV sistemlerin kirlenmesini azaltarak verimliliğini arttırmaya yönelik birçok çalışma yapılmıştır.

Az yağış alan bölgelerdeki panellerin yüzeyleri daha çok tozlanmaktadır. Aşırı tozlanmanın olduğu yerlerde %15'lere varan verim kayıpları meydana gelmektedir. Panellerin yatay eksenle yaptığı açı 16 dereceden büyük olduğunda, panel yüzeyinin yağın yağmur suyuyla temizlendiği kabul edilebilir. Bu koşullardaki kirlenmenin %6'lık bir verim kaybına neden olduğu var sayılır. Ancak eğim açısının 16 dereceden küçük olması, tarımsal ve endüstriyel faaliyetler sonucu oluşan aşırı tozlanma veya bölgeye az

yağış düşmesi durumlarında verim kaybı %6'dan daha büyük olur. Yüzeyi periyodik olarak temizlenen bir FV sistemde tozlanma kayıpları %5 civarındadır [6], [7].

Bu tezin amacı, ülkemizde daha önce kurulmuş veya yeni kurulacak olan GES sistemlerinde kirlenmenin panel verimine olan etkisine dikkat çekebilmek, olası etkilerinin tartışıldığı bir kaynak oluşturmak, foto katalitik kaplama ile panellerin kirlenmesini azaltmak ve fotokatalitik kaplamanın panel verimine etkisini deneysel olarak ortaya koyabilmektir.

Yaptığımız çalışmada; teknik özellikleri Ek-A'da gösterilen aynı güçte iki adet polikristal solar güneş panelleri aynı açıyla konstrüksiyona yerleştirilerek deneysel uygulama yapılmıştır. Panellerden biri titanyum dioksit (TiO_2) malzemeden oluşan fotokatalitik yüzey ile kaplanmıştır. Diğer panelin yüzeyine ise herhangi bir işlem uygulanmamıştır.

19.09.2021 tarihinden itibaren her gün yaklaşık aynı saatlerde panellerin kısa devre akımı ve açık devre gerilimleri ölçülmüş ve sonuçları kaydedilmiştir. Bu ölçümler yardımıyla, foto katalitik malzeme ile kaplı güneş panelinin ürettiği güç ile normal panelin ürettiği güç karşılaştırılmıştır.

Bu çalışmada hazırlanan tez altı bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde; enerjinin önemi belirtilerek, mevcut YEK'lerin önemi ve potansiyelleri hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 2'de kirlenmenin panellerin verimi üzerine etkisi hakkında kaynak taraması yapılmıştır. Bölüm 3'te; güneş enerjisinin oluşumu, Türkiye ve Bingöl'ün enerji potansiyeli ile FV hücrelerin çalışması hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 4'te foto katalitik malzemeler hakkında bilgiler verilmiştir. Bölüm 5'te, materyal ve metoda yer verilmiş olup ayrıca deneysel sistem de açıklanmıştır. Bölüm 6'da bulgular ve tartışma ile elde edilen deneysel sonuçlar grafikler yardımıyla açıklanmıştır. Bu bölümde son olarak yapılan katalitik yüzey kaplama işleminin maliyeti ve amortisman süreleri açıklanmıştır. 7. Bölüm 'de yapılan tüm işlemler ve elde edilen sonuçlar ve öneriler değerlendirilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Kayri ve Tan Bayar, 2021 yılında Batman’da tozlanmanın panel verimi üzerindeki etkisini araştırmak üzere deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışmada, temiz bir FV panel ile yüzeyinde 5 günlük, 1 aylık ve 6 aylık toz biriken bir FV panelin ürettiği enerji değerleri ölçülmüştür. Elde edilen verilere göre, temiz panele kıyasla 5 günlük tozlanmaya maruz kalan panel %5,26; 1 aylık tozlanmaya maruz kalan panel %28,49 ve 6 aylık tozlanmaya maruz kalan panel %78,38 daha az enerji üretmiştir [8].

Ekinci ve arkadaşları 2022 yılında yaptıkları çalışmada, FV paneller üzerinde biriken toz ve kiri uzaklaştırmak için 3D yazıcı teknolojisi kullanarak temizleme robotu tasarlamışlardır. Panellere laboratuvar koşullarında hazırlanan üç farklı kimyasal solüsyon robotlar tarafından panel yüzeyine uygulanmıştır. Böylece panel verimliliğini artırmaya yönelik kimyasal çözümlerin etkinliği ortaya konmuştur. Kimyasal çözeltilerin FV panel yüzeyine penetrasyonu, FV panel temizleme robotu tarafından sağlanmaktadır. Deney seti, doğal toz ve kir koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Güneş panellerinin elektriksel performans analiz sonuçları ölçümler ve testler ile gösterilmiştir [9].

Dahlioui ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, FV modüllerin temizliği için ekolojik bir çözüm sunulmaktadır. Çalışma alanı, Fas’ın kuzeybatısındaki Rabat şehrinde, ENS’nin RDI (Araştırma, Geliştirme ve İnovasyon) Güneş Enerjisi Platformunda yer almaktadır. Ön camın yüzeyinde oluşan çiy suyunun FV modüllerinin temizliği üzerindeki etkisini incelemek için, sistematik kirlilik oranı ölçümleri yapılmıştır. Deneyler, gerçek dış ortam koşullarına maruz kalan cam yüzeyler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kirlenme oranı, cam tarafından iletilen ve alınan ışınlam ölçülerek yapılmıştır. Yaklaşık olarak gün doğumunda, camın yatay konumdan 30° eğim açısına müteakip permütasyonu çiy damlacıklarının akışını desteklemektedir. Daha sonra temizlemenin etkinliği araştırılmıştır. Sabit cam ve değişken camın çiy suyu akışı ile kirlenme kayıplarının bir karşılaştırması sunulmuştur. Sabit cam için kirlilik kayıplarının maruz kalma süresi boyunca ortalama %9,3 olduğu, değişken camların ise sadece %3,3 olduğu bulunmuştur. Başka bir deyişle, sabit cam için kirlenmeden kaynaklanan kayıplar, çiy suyu kullanılarak

yapılan temizleme ile değişken bir cama kıyasla üç kat daha fazla kayıp oluşturmaktadır [10].

Yao ve arkadaşlarının 2022 yılında yaptığı çalışmada, Çin Tianjin’de, tartım ve geçirgenlik belirleme yoluyla tozun FV paneller üzerindeki etkisini analiz etmek için birden fazla faktör (yağış, rüzgâr hızı, rüzgâr yönü ve eğim açısı) dikkate alınmıştır. Dış mekândaki FV panellerin iletimini ölçmek için 4 tipik yönelimli ve 7 eğimli bir test platformu inşa edilmiştir. Sonuçlar, güneye bakan FV panellerin rüzgâr hızı bakımından diğerlerinden daha fazla etkilendiğini göstermiştir. Güneye bakan FV panellerdeki toz miktarı önce hızlı bir şekilde artmış ve ardından yağışın etkisiyle azalmıştır. Yağış olmadan, 30 gün boyunca 45°’ye yerleştirilen güneye bakan FV panellerindeki toz yoğunluğu, doğuya bakana göre %1,90 daha düşük, batıya ve kuzeye bakanlardan ise sırası ile %7,32 ve %11,95 daha yüksektir. Toz yoğunluğu ve eğim açısı arasındaki fonksiyonel ilişki regresyon analizi ile kurulmuş olup FV paneller için temizleme süresi yağışın az olduğu mevsimlerde en az ayda birdir [11].

Zhao ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, parçacıklar ile FV modülleri arasında bir çarpışma-yapışma modeli oluşturulmuştur. Daha sonra mekanik dengeye dayalı ve enerjiye dayalı parçacık yapışma mekanizmaları araştırılmış ve parçacık biriktirme koşulu önerilmiştir. Ayrıca, enerji tabanlı partikül yapışma mekanizması kullanılarak oluşturulan simülasyon modelinin rasyonelliğini doğrulamak için bir toz biriktirme deneyi oluşturulmuştur. Buna dayanarak, çeşitli faktörlerin partikül birikimi üzerindeki etkisi üzerine bir simülasyon yapılmıştır. Sonuçlar, çarpışmada 10^{-13} joule büyüklüğündeki parçacık kinetik enerji kaybının nem ve parçacık boyutu ile pozitif, rüzgar hızı ve eğim açısı ile negatif ilişkili olduğunu göstermektedir. Parçacık biriktirme miktarı, artan rüzgar hızı ve parçacık boyutu ile önce azalmış daha sonra ise artmıştır. Ancak nemin yükselmesi ile artmış, eğim açısının büyümesi ile azalmıştır. Ek olarak, eğim açısı 15°’den 60°’ye yükseldiğinde, partikül çökeltme miktarı 7 m/s’nin altında 4,28 g/m²’den 1,81 g/m²’ye düşmüştür. Gelecekteki FV enerji santrallerinin inşasında, partikül boyutunun ve ortalama yıllık rüzgar hızının 30 µm ve 7 m/s’den az olduğu alanlar için eğim açısının uygun şekilde artırılması toz birikimini azaltabilir [12].

Fan ve arkadaşları tarafından 2022 yılında yapılan çalışmada, suyun az olduğu alanlarda kurulmuş FV panellerinde tozları gidermek için yeni bir susuz temizleme robotu

önerilmektedir. Bir kuvvet analizi yapılmış ve robotun geniş bir açıyla kurulmuş FV panellerini güvenli bir şekilde temizleyebilmesini sağlamak için güvenli çalışma koşulları göz önünde bulundurulmuştur. Robotun malzemesi, yapısı ve sızdırmazlık cihazı, PV sisteminin taşıma kapasitesine ve çalışma verimliliğine göre optimize edilmiştir. Temizleme sırasında tozun yükselmesini önlemek için döner fırça ve negatif basınçtan oluşan kombine bir toz giderme sistemi geliştirilmiştir. Negatif basınçlı adsorpsiyon sisteminin etkinliğini ve robotun engelleri aşma ve temizleme yeteneklerini doğrulamak için Kuzeydoğu Çin'deki bir üniversitenin çatısında 2 kW'lık dağıtılmış bir FV sistemi üzerinde deneyler yapılmıştır. Sonuçlar, susuz temizlik robotunun panellerdeki tozu etkili bir şekilde temizleyebildiğini göstermektedir. Ortalama toz temizleme oranı %92,46 olup, FV verimliliğindeki artış oranı %11,06 ile %49,53 arasında değişmektedir. Ayrıca robot, küçük bir hacme ve ağırlığa sahiptir ve suyun az olduğu alanlarda kurulmuş FV panellerinden toz giderme için manuel veya mekanik temizlemeden daha uygun olduğu gösterilmiştir [13].

Kazema ve Chaichanb tarafından yapılan çalışmada, rüzgâr hızı, bağıl nem gibi belirli hava faktörlerinin toz birikimi üzerindeki etkisi ile her bir şehre uygulanan temizleme yönteminin etkisi ayrı ayrı incelenmiştir. İklim koşulları ve bu çalışmada kurulan ve kullanılan altı sistemin çıktıları üzerine bir yıllık gözlem yapılmış ve veriler toplanmıştır. Liwa, Sohar ve Maskat şehirlerinin en yüksek toz ve kirletici yüzdesine sahip oldukları görülmüştür. En belirgin kirleticiler, enerji santrallerinin bacalarından çıkan partikül maddeler ve sanayi şehri Sohar'daki izabe tesisleridir. Ayrıca, Muscat'ta önemli sayıda aracın hareketi, FV panelleri üzerinde biriken partikül maddelerin artışına neden olmuştur. Bu çalışmada incelenen diğer üç şehir (Al-Khabourh, Suwaiq ve Shinas) sanayi bölgelerinden uzak ve trafik yoğunluğu düşüktür. Bu nedenle bu şehirlerdeki FV panel yüzeylerinin kirlenme yüzdesi sınırlı kalmıştır. Bir ay süresince toz birikimi ardından FV panelleri temizlemek için mevcut dokuz yöntem kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır [14].

Hammoud ve arkadaşları, robot kullanarak ıslak temizlemenin etkinliği üzerine yaptıkları çalışmanın sonuçlarını sunmuşlardır. Bu çalışma, Lübnan'ın bir kıyı bölgesi olan Zahrani'de 1 MW'lık GES'in bir kısmı üzerinde gerçekleştirilmiştir. Robot, bu santraldeki panelleri temizlemek için tasarlanmış ve test edilmiştir. Paneller 15 Haziran – 30 Eylül

2018 tarihleri arasında temizlenmiş, üretilen güç değerleri 2017 yılının aynı döneminde temizlik yapılmadan elde edilen güç değerleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, temizleme prosedürünün güneş paneli verimi üzerinde olumlu etki yaptığını, elektrik üretiminde ortalama %32,27 oranında artış gösterdiğini ortaya koymuştur [15].

Zeki ve arkadaşları 2014 yılında yaptıkları çalışmada, tozlanmanın FV sistemlerin performansı üzerindeki etkisine odaklanan birçok çalışma yapıldığını ancak toz kirletici tipinin performans üzerindeki etkisini araştıran çalışmaların sınırlı kaldığını belirtmişlerdir. Yapılan bu çalışma ile kirletici türünün etkisi iç mekânlarda ve az sayıda dış mekânda araştırılmış ve kirletici türlerinin FV sistemlerin performansına etkileri gözden geçirilmiş ve denenmiştir [16].

Yusuf ve arkadaşları, toz birikiminin FV modül performansı üzerindeki etkilerini ve bunları azaltmak için alınması gereken önlemleri incelemişlerdir. Nijerya'nın yenilenebilir enerji hedeflerine ulaşmasında tozlanmanın bir engel teşkil edebileceği ifade edilmiştir. Bununla birlikte makalede; kirlenmenin etkilerini azaltma veya önlemede en uygun tekniğin göz önünde bulundurularak FV modül sistemlerinin tasarlamasına ve kullanılabilir verileri elde etmek için Nijerya'daki tüm jeopolitik bölgelerde tozun etkileri hakkında daha kapsamlı araştırmalar yapılmasına ihtiyaç olduğu belirtilmiştir [17].

Syed A.M. ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, iklim koşulları ve kirliliğin FV modül performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Yapılan araştırmalar, toz birikmesinin FV modülün ışık geçirgenliğini azalttığı için modül performansı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Yapılan çalışma, çevresel etkilerin ve kirliliğin azaltılmasına yönelik geçmiş, mevcut ve gelecek vaat eden yaklaşımları özetlemektedir. Elektrostatik temizleme yöntemi ile mikro/nano ölçekli yüzey işlevselleştirme yöntemi kombinasyonun, özellikle kurak bölgelerde toz birikmesinin olumsuz etkilerine karşı koyma potansiyeline sahip olduğunu göstermişlerdir [18].

Sanaz Ghazi ve arkadaşları, kirli FV panellerin yüzeyini temizlemek için çeşitli yenilikçi yöntemler kullanıldığını ancak temizleme mekanizmasının farklı iklim koşullarında bütünsel bir yaklaşımla gösterilmesi gerektiğini savunmuşlar. Dünyanın farklı

bölgelerindeki toz dağılım paterni değerlendirilmiş ve Orta Doğu ile Kuzey Afrika Bölgelerinin dünyanın en kötü toz birikim bölgelerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Son olarak, özellikle FV sistem kurucularına yönelik uygun bir temizleme sistemi için farklı iklim bölgeleri ve özellikleri ile ilgili bir dizi tavsiye ve kılavuz sunulmuştur [19].

S. Mekhilefa ve arkadaşları; toz birikimi, nem seviyesi ve hava hızının etkisini hem ayrı ayrı hem de her birinin diğerine etkisini göstermek için bir çalışma yapmışlardır. Bu üç faktörün her birinin diğer ikisini etkilediği gösterilmiş ve güneş pili tasarımı hakkında derinlemesine bir fikir sahibi olmak için bu faktörlerin etkisinin paralel olarak dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir [20].

Monto M. ve Rohit P. yaptıkları çalışmada, tozlanmanın FV sistem performansı üzerindeki etkisini inceleyen araştırmaların mevcut durumu hakkında bir değerlendirme yapmışlar ve tozun yerleşmesini/asimilasyonunu yöneten çeşitli faktörlerin ve olası hafifletme önlemlerinin anlaşılması için bir çerçeve sunmuşlardır [21].

Fardila ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada, tozlanmanın FV panel verimi üzerindeki etkileri ile panelde toz birikimini yöneten faktörler gözden geçirilmiştir. Toz, değiştirilemez çevresel faktörlerden biri olup fiziksel hasarlara, gelen güneş ışınımının azalmasına ve sıcaklık artışına bağlı olarak FV panel veriminin düşmesine neden olabilir. Bir FV panelde 20 g/m^2 toz birikmesi sonucu, ölçülen kısa devre akımı %15–21, açık devre gerilimi %2–6 ve verimliliği ise %15–35 oranında azalmıştır [22].

Deepanjana ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, FV panellerin istenen optimum performansı korumak için periyodik olarak temizlenmesi gerektiğini, bu sistemlerin büyük olması, uzak yerlere kurulması veya kolayca erişilemez olması durumunda ise manuel temizleme işleminin hem zor hem de oldukça maliyetli olacağını, bu durumlarda cam yüzeylere kendi kendini temizleyen uygun kaplamaların uygulanmasını savunmaktadırlar. Geleneksel olarak bu tür kaplama geliştirmeleri için sol-jel yöntemleri kullanılmakla beraber, büyük hacimli üretim için spreylere bazlı proseslerin özellikle daha düşük maliyetleri ve imalat kolaylığı bakımından belirli avantajları vardır. Kendi kendini temizleyen kaplamalar hidrofobik veya hidrofilik olabilir. Ayrıca, kendi kendini temizleyen veya kirlenme önleyici kaplamanın optik şeffaflığı, FV panellerde büyük

önem taşımaktadır. Bu nedenle, uygun maliyetli ek yansıma önleyici kaplamalarla performanslarını artırmak, makul bir çözüm olarak sunulmuştur. Mevcut incelemenin kapsamı, konsantre güneş enerjisi ile ilgili belirli konuların dahil edilmesiyle genişletilmiştir. Cihazlar ve atmosferik basınçlı plazma biriktirme süreçlerindeki son gelişmeler vurgulanmış, ek olarak kendi kendini temizleyen kaplamaların üretimi için florlu olmayan polimer malzemelerin ve ilgili nano yapılı malzemelerin kullanılması önerilmiştir [23].

Ali A. ve arkadaşları, Irak'ta tozlanmanın FV sistem üzerindeki etkisine ilişkin bir çalışma yapmışlardır. FV sistemleri üzerindeki toz nedenleri, türleri ve özelliklerini inceleyen kapsamlı bir araştırma sunmuşlardır [24].

Shaharin A. ve arkadaşları tarafından, FV panelin gücünü ve verimliliği belirlemek için güneş panelleri üzerinde toz parçacıkları kullanılarak bazı deneyler yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, FV güneş paneli yüzeyinde biriken tozun, sistemin verimini %50 oranında azaltabileceği tespit edilmiştir [25].

Literatürde yapılan bu çalışmalardan da görüleceği gibi FV sistemlerde panel verimini etkileyen toz, kir, sıcaklık, nem ve rüzgâr gibi birçok faktör vardır. Araştırmacılar bu faktörlerin olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak veya en aza indirebilmek için çalışmalarına devam etmektedir.

3. GÜNEŞ ENERJİSİ VE FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan füzyon süreci ile açığa çıkan ısıdır. Güneşteki hidrojen atomları birleşerek helyum atomunu oluştururlar. Bu olaya füzyon denir ve sonuçta çok büyük miktarda enerji açığa çıkar. Güneşin yüzeyinde güneş radyasyonunun yoğunluğu yaklaşık $6,33 \times 10^7 \text{ W/m}^2$ 'dir. Dünya atmosferinin dışında güneş ısı şiddeti 1370 W/m^2 sabit kabul edilir. Yeryüzünde ise $0-1100 \text{ W/m}^2$ değerleri arasında değişim göstermektedir [26]. Dünyaya gelen ısı şiddetinin %34'ü atmosferden geri yansır. Yeryüzüne ulaşan %66'lık kısmı ısı enerjisine dönüşür ve daha sonra geri yayılır. Yeryüzüne gelen enerjinin sadece %1'lik kısmı fotosentez olarak kullanılır. Güneş enerjisinin bir yılda dünyaya ulaşan miktarı yaklaşık $1,5 \times 10^{18} \text{ kWh}$ olup $1,9 \times 10^{14}$ ton kömüre eşdeğerdir. Dünyanın enerji tüketiminin 10×10^{10} kömür eşdeğer ton/yıl olduğu göz önüne alınırsa ortaya çıkacak enerjinin büyüklüğü daha iyi anlaşılacaktır [27].

Güneş enerjisi temiz, çevre dostu ve sürekli olan birincil enerji kaynağıdır. Güneş enerjisi kullanım alanları her geçen gün artmaktadır. Güneş enerjisi sistemlerindeki teknolojik gelişmelere bağlı olarak sistemin maliyetinde azalmalar olmaktadır. Tüm bunlara bağlı olarak güneş enerjisinin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Başta elektrik enerjisinin ulaştırılamadığı kırsal alanlardaki evlerin ihtiyacını karşılamak üzere tarımsal ve sanayi faaliyetlerine kadar birçok alanda kullanılmaktadır.

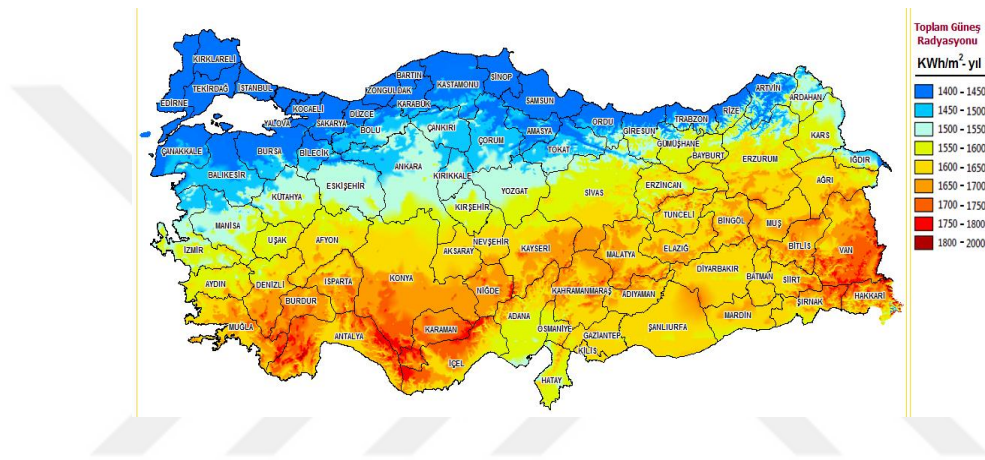
3.1. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

Türkiye coğrafi konumu itibarı ile güneş enerjisi sistemlerine oldukça elverişlidir. Tüm dünyada ve ülkemizde güneş enerjisinden elektrik üretimi oranı her geçen gün artış göstermektedir. Diğer yenilenebilir enerji (rüzgâr, biokütle, hidroelektrik vb.) kaynaklarına kıyasla kurulumu daha kolay ve kurulacak alanlar daha çok olduğundan hızla yayılmaktadır.

2010 yılında Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) tarafından Türkiye güneş enerjisi potansiyel atlası (GEPA) hazırlanmıştır (Şekil 3.1). Yapılan çalışmaya göre, Türkiye'nin yaklaşık

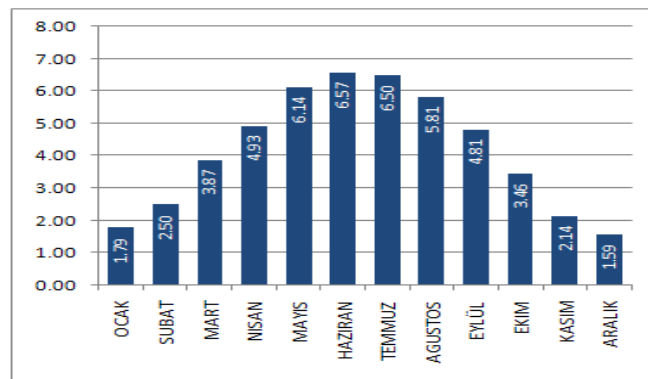
56.000 MW gücünde potansiyele sahip olduğu ve yıllık ortalama 380 milyar kWh enerji üretilebileceği hesaplanmıştır [28].

Şekil 3.1’de güneş enerjisi global radyasyon değerleri şehirler bazından farklı renklerle gösterilmiştir. Ülkemizde global radyasyon değerleri 1600 - 1800 kWh/m² yıl arasında değişiklik göstermektedir. Güneş enerjisi potansiyeline sahip bölgelerimiz en çoktan en aza doğru sırasıyla Güney Doğu Anadolu, Doğu Anadolu, İç Anadolu, Ege, Marmara ve Karadeniz bölgeleridir [29].



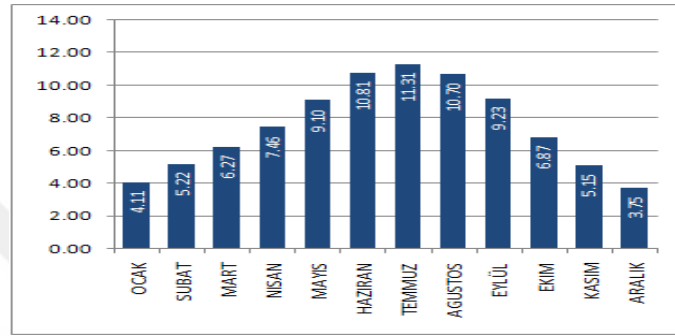
Şekil 3.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli haritası [28]

Ülkemizin aylık ortalama günlük global radyasyon Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Global radyasyon değeri en fazla haziran ayında görülmektedir. Ülkemizde aylık bazda ortalama günlük ışıınım şiddetinin 4,18 kWh/m²-gün, yıllık ortalama toplam global radyasyon değerinin ise 1524,18 kWh/m²-yıl olduğu görülmektedir [29].



Şekil 3.2. Türkiye global radyasyon değerleri (kWh/m²/gün) [28]

Ülkemizin aylık bazda ortalama güneşlenme süreleri Şekil 3.3'te görülmektedir. Ülkemizde güneşlenme süresinin en çok olduğu aylar sırası ile temmuz, haziran, ağustos, mayıs, eylül, nisan, ekim, mart, kasım, ocak ve aralık ayıdır. Türkiye'nin günlük ortalama güneşlenme süresi 7,49 saat/gün, yıllık toplam güneşlenme süresi ise 2736,89 saat/yıldır. Bu veriler, Türkiye'nin güneşlenme süresi bakımından yüksek potansiyele sahip olduğunu göstermektedir [29].



Şekil 3.3. Türkiye güneşlenme süreleri (saat) [28]

3.2. Bingöl'ün Güneş Enerjisi Potansiyeli

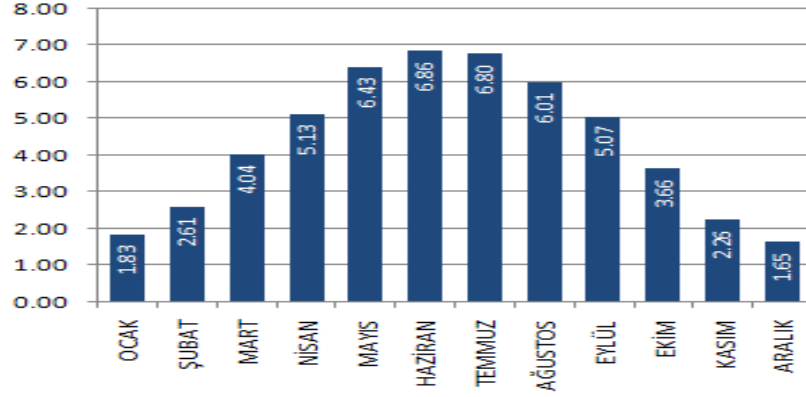
Bingöl Doğu Anadolu bölgesinde bulunan bir ilimizdir. Bingöl ili güneş radyasyon değerleri Şekil 3.4'te, aylara göre ortalama radyasyon değerleri Şekil 3.5'te ve aylara göre ortalama güneşlenme süreleri ise Şekil 3.6'da verilmiştir. Şekiller incelendiğinde Bingöl ilinin GES yatırımı için cazip konumda olduğu görülmektedir.

Şekil 3.4 incelendiğinde Bingöl güneş enerjisi global radyasyon değerlerinin 1600-1700 kWh/m² -yıl arasında değiştiği görülmektedir.



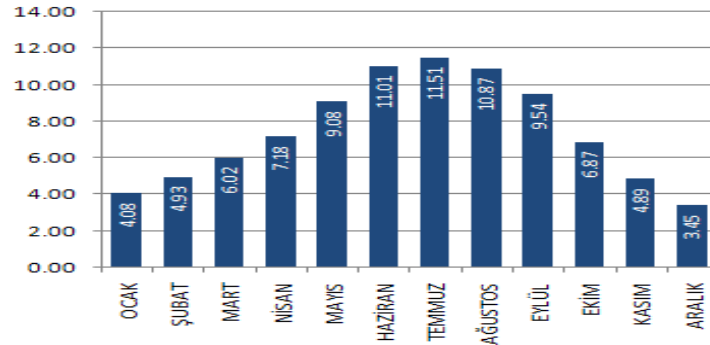
Şekil 3.4 Bingöl ili güneş radyasyon değerleri [28]

Şekil 3.5'te aylara göre günlük global radyasyon değerleri gösterilen Bingöl ilinin ortalama global radyasyon değeri $4285 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$ olup bu değer Türkiye'nin ortalama global radyasyon değerinden ($1524,18 \text{ kWh/m}^2\text{-yıl}$) büyüktür.



Şekil 3.5. Bingöl ili global radyasyon değerleri ($\text{kWh/m}^2\text{/gün}$) [28]

Şekil 3.3 ile Şekil 3.6 karşılaştırıldığında yaz aylarında Bingöl ilinin güneşlenme süresinin Türkiye ortalamasının üzerinde olduğu, geri kalan dönemlerde ise hemen hemen aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 3.6. Bingöl ili güneşlenme süresi (saat) [28]

3.3. FV Sistemler

FV sistemler, güneşin ışığındaki enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürürler. FV panellerinin çıkışında dc gerilim elde edildiğinden dc yükler doğrudan beslenebilir.

Alternatif yükleri beslemek için panel çıkışına inverter (evirici) bağlanarak DC enerji AC enerjiye dönüştürülür.

Günün farklı zamanlarında ve mevsimsel şartlara göre güneş ışınlamı değişiklik gösterdiğinden panellerden elde edilen güç de farklı olmaktadır. Bundan dolayı panellerden üretilen enerji bazen yetersiz bazen de fazla olabilir. Üretilen enerjinin talep edilen miktardan fazla olması durumunda fazla enerji akülerde depolanabilir. Üretiminin yetersiz kaldığı zamanlarda ise akülerde depolanan enerji kullanılarak yükler sürekli beslenebilir.

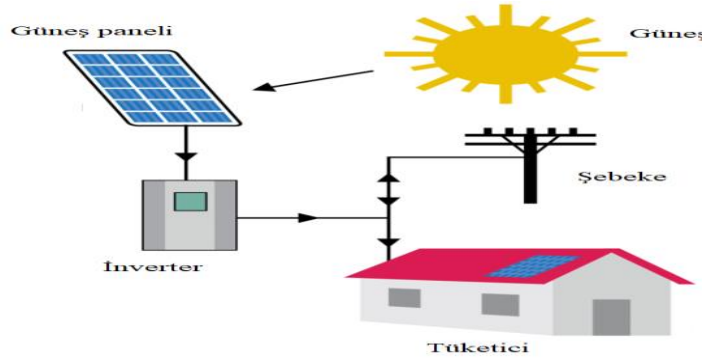
Şekil 3.7’de bir FV sisteminin temel şeması verilmiştir. Şemada da görüleceği üzere bir FV sistem; FV panel, şarj kontrol cihazı, batarya, inverter ve amacına uygun yüklerden oluşur [30].



Şekil 3.7. FV sisteminin temel şeması

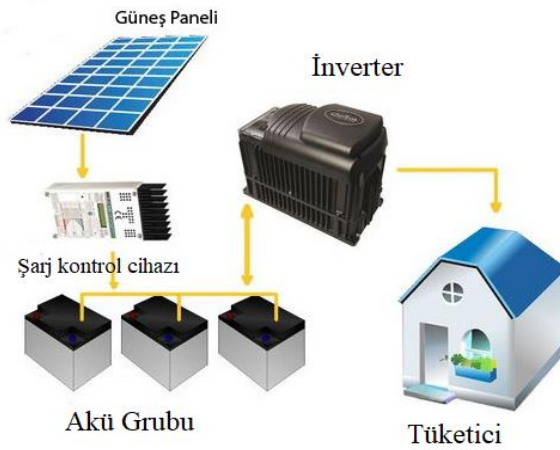
FV sistemler, off-grid (şebekeden bağımsız) sistemler ve on-grid (şebekeye bağlı sistemler) olmak üzere ikiye ayrılır.

Şekil 3.8’de gösterilen on grid sistemlerin çalışma prensibi şu şekildedir: Güneş panellerinden üretilen elektrik enerjisi, inverterler yardımıyla şebeke frekansına sahip alternatif gerilime dönüştürülür. Dönüştürülen enerjinin tüketilemeyen kısmı şebekeye aktarılır. Yükün harcadığı enerji miktarı üretilenden fazla olması durumunda yük şebeke tarafından beslenir.



Şekil 3.8. On grid sistemler

Şekil 3.9’da gösterilen off-grid sistemlerin çalışması şu şekildedir: Güneş panelleri ile üretilen elektrik enerjisi yine inverterler yardımıyla AC gerilime dönüştürülür. Yükler tarafından kullanılmayan fazla enerji akülerde depolanır. Üretilen enerjinin yetersiz olduğu zamanlarda depolanan enerji yine inverterle dönüştürülerek kullanılır. Bu sistemler ilave batarya sistemler gerektirdiğinden yüksek maliyetlidir. Daha çok şebekeden uzak kırsal yerlerde kullanılır.

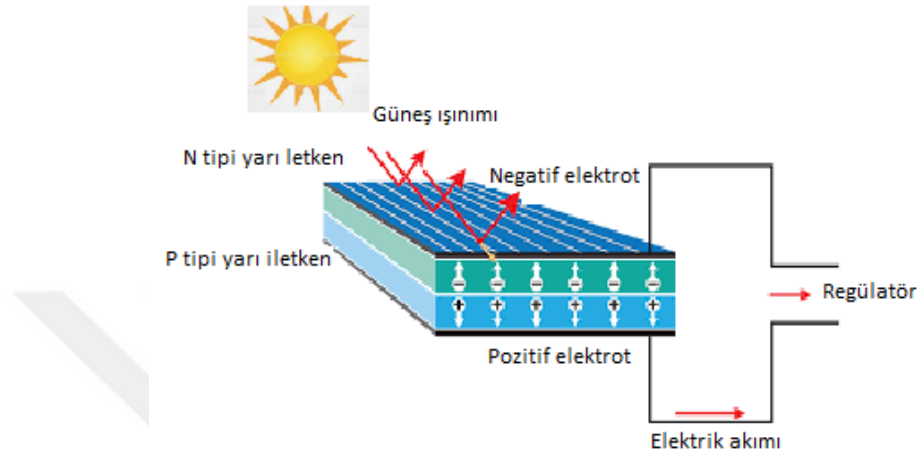


Şekil 3.9. Off grid sisteminin blok şeması

3.3.1. FV Hücreler ve Çalışma Prensibi

Güneş hücreleri, 1839 yılında Becquerel tarafından ilk defa araştırmaya başlanmıştır [31]. Güneş ışığındaki enerji fotonlar tarafından taşınır. Fotonlar, panel yüzeyine çarptığında bir bölümü panel tarafından soğurularak enerji elde edilir.

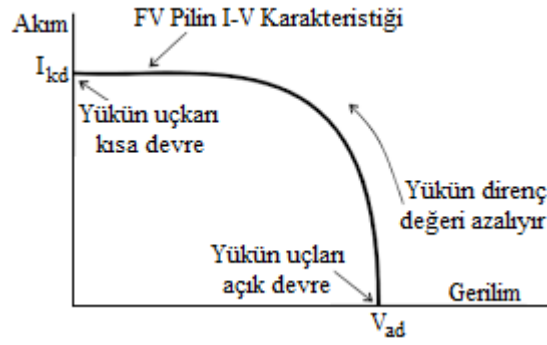
Şekil 3.10’da gösterilen FV hücre, güneş ışınlarını emen ve elektrik akımı oluşturan yarı iletken malzemelerden yapılır. Hücresinin üst katmanındaki elektronlar güneş enerjisi yardımıyla alt katmana geçer. İki katman arasındaki elektron hareketliliği, elektrik akımının oluşmasını sağlar.



Şekil 3.10. FV hücresinin çalışma ilkesi

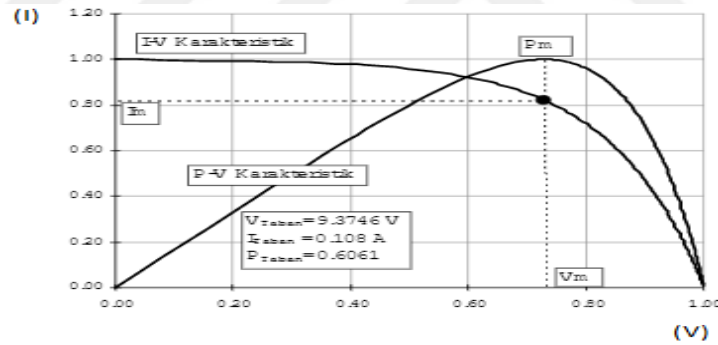
3.3.2. FV Panellerin Akım-Gerilim ve Güç-Gerilim Karakteristikleri

Güneş paneli, üzerinde güneş enerjisini soğurmaya yarayan birçok güneş hücresi bulunduran bir dc elektrik üreticidir. Panel yüksüz iken ve maksimum ışınlam altında, panel uçları arasında ölçülen gerilim açık devre (V_{ad}) gerilimidir. Maksimum ışınlamda panelin çıkış uçları kısa devre edilerek kısa devre akımı (I_{kd}) ölçülür. Açık devre gerilimi ve kısa devre akımı panelin maksimum gücünü belirleyen en temel parametrelerdir. Şekil 3.11’de FV panelin I-V karakteristik eğrisi verilmiştir. Ölçüm yapılırken diyot akımı ve sızıntı akımı ihmal edilirse $I_{faz} (I_L) = I_{kd}$ olur. Açık devre ve kısa devre şartlarında hücrede güç üretilmez [32].



Şekil 3.11. FV panelin I-V karakteristiğinin yüklerle değişimi [33]

Şekil 3.12’de görüldüğü gibi gerilim ve akım değerleri belirli şartlarda maksimum noktalara ulaşmaktadır. FV panelin üretebileceği güç, yüzeyine gelen güneş radyasyonu miktarı ile panelin ve ortamın sıcaklığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Şekil 3.12’de verilen; akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristikleri 20°C’lik ortam sıcaklığında ve 80 mW/cm²’lik güneş radyasyonu seviyesinde elde edilen karakteristikleridir.



Şekil 3.12. FV panelin I-V ve P-V karakteristiği [33]

3.4. FV Hücre Çeşitleri

3.4.1. Monokristal Hücreler

Önce büyütülüp daha sonra 200 mikron kalınlıkta ince tabakalar halinde dilimlenen monokristal silisyum bloklardan üretilir. Monokristal hücrelerde laboratuvar şartlarında %26, ticari hücrelerde ise %18’in üzerinde verim elde edilmektedir [34].

3.4.2. Polikristal Hücreler

Polikristal hücreler, dökme silisyum blokların dilimlenmesinden elde edilir. Monokristal hücrelere göre daha ucuz olup verimleri daha düşük olmaktadır. Verimleri, laboratuvar şartlarında %21, ticari modüllerde ise %14 civarındadır [34].

3.4.3. İnce Film Hücreler

1 mikron kalınlığında ince filmlerden yapıldıklarından dolayı hem ışığı daha iyi soğururlar hem de maliyetleri diğer hücrelerden daha ucuzdur. İnce film FV hücreler piyasadan çok laboratuvarlarda kullanılmaktadır.

FV hücre yapımında genel olarak şu malzemeler kullanılır;

- Bakır İndiyum Galyum Diselenid
- Amorf Silikon
- Bakır İndiyum Selenid
- Kadmiyum Tellür

3.5. FV Sistemlerin Verimliliğini Etkileyen Faktörler

Panel verimine etki eden birçok faktör vardır. Bu faktörlerin bir kısmı panelin kendisine bağlıyken bazı faktörler ise dış etkenlere bağlıdır. Panelin kendisine bağlı olan faktörler; kullanılan hücrenin tipi ve malzemelerin özellikleri olarak sayılabilir. Sıcaklık, radyasyon miktarı, gölgeleme, ışığın geliş açısı gibi faktörler ise doğrudan panele bağlı olmayan dış faktörlerdir. En önemli dış faktörlerden biri de kirlenmedir. Dış ortamlarda bulunan panellerin yüzeyleri kirlendiğinden dolayı daha az ışık soğurmakta ve böylece verimleri düşmektedir.

3.5.1. Güneş Işınımı

FV sistemlerin çıkış akımı ve gerilimini etkileyen en önemli faktör ışıdır. Panel çıkış gerilimi güneş ışıdır ile logaritmik değişmektedir. Panel akımı ise güneş ışıdır ile doğru orantılıdır. FV sistemlerin ışıdır performansını etkileyen başka faktörler de vardır. Güneş ışıdırın geliş açısı da panel verimini etkileyen bir faktördür. Bulutlu günlerde,

sabahın erken saatlerinde ve akşam güneş batımına doğru ışığın geliş açılarına bağlı olarak panel verimi düşük olabilmektedir [32].

3.5.2. Güneş Işınlарının Yansıma Etkisi

FV panellerin üzerine düşen ışığın bir kısmı yüzeyden geri yansır ve yansıma kayıpları oluşur. Panel yüzeylerinin ışığı daha az yansıtan malzemelerden yapılması panelin performansını artıracaktır. Yansıtmayı azaltmak için FV paneller farklı katmanlardan oluşturulur. Ortalama bir ışınım altında panellere gelen ışığın yaklaşık olarak %96'sı emilirken geri kalan %4'lük kısmı ise dış ortama yansıtılır [35].

3.5.3. Sıcaklık Etkisi

FV panellerinin verimi sıcaklıkla değişiklik göstermektedir. Panel sıcaklığı, etiketinde belirtilen ideal sıcaklığın üzerine çıkması veya altına düşmesi durumunda panel performansı düşmektedir. Güneş enerjisinin ısı etkisinden dolayı panelin sıcaklığı artar. Panelin arka kısmının havalandırılması panelin sıcaklığını doğrudan etkiler. Panel arka yüzeyi ve montaj yüzeyi arasında boşluk bırakılması panelin sıcaklığını azaltır. Paneller arka yüzeyi hava alacak şekilde konstrüksüyona yerleştirilmelidir [32].

3.5.4. Kirlenme Etkisi

Toz, kir, su, kum ve yosun gibi parçacıkların FV panel yüzeyinde birikmesi, hücreye düşen ışığı engeller ve dağıtır. Kirlenmeden dolayı oluşan kayıp coğrafi özelliklere göre değişkenlik göstermektedir. Yağmurlar ve tozlu rüzgârlar, panel kirliliğini etkilediğinden kayıplar belli zamanlarda çevresel etkilere bağlı olarak maksimum ve minimum noktalar arasında değişkenlik göstermektedir.

3.5.5. Gölgeleme Etkisi

FV sistemlerde verimliliği etkileyen bir diğer önemli faktörlerden biri de gölgelemedir. Bulutlanma olayı doğal gölgelenme olup ayrıca ağaçlar, binalar, elektrik ve telefon direkleri de paneller üzerinde gölgelemeye sebep olmaktadır. Tüm bunlara ilave olarak

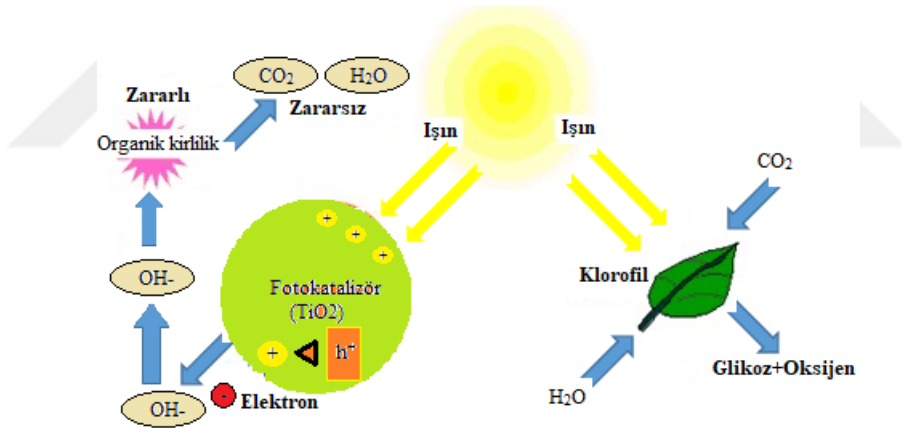
FV sistemin tasarımından kaynaklı olarak paneller de birbirlerini gölgeleyebilmektedir. FV sistemler tasarlanırken gölgeleme durumu dikkate alınmalıdır. Gölgeleme %1 ile 6 arasında verim kaybına sebep olabilmektedir [32].



4. FOTOKATALİTİK MALZEMELER

4.1. Foto Kataliz Olayı

Foto kataliz ile fotosentez olayları birbirine benzetilebilir. Fotosentez olayında, klorofil üzerine düşen güneş ışınları soğurulur ve alınan su ile CO_2 , oksijen ve glikoza dönüştürülür. Benzer şekilde foto katalizörler soğurduğu güneş ışınları yardımıyla yüzeyinde kuvvetli yükseltgen türler olan radikalleri (oksit, peroksit ve hidroksil) oluştururlar ve bu radikaller yardımıyla zararlı organik molekülleri parçalayarak su ve CO_2 gibi zararsız bileşenlerin ortaya çıkmasını sağlarlar [36]. Foto kataliz ve fotosentez olayları basitçe Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Foto kataliz ve fotosentez [37]

Son zamanlarda panellerin verimini artırmak için paneller nano malzemeler ile kaplanmaktadır. Bu işlem ile panel yüzeyi, içerisinde nano boyutta TiO_2 , SiO_2 vb. parçacıklar bulunan bir tabaka ile kaplanır. Böylece malzemeye kendi kendini temizleme, kolay temizlenebilme, antimikrobiyel, aşınmazlık, çizilmeye karşı dayanıklılık, korozyon gibi birçok farklı üstün özellik kazandırılmaktadır [38]. Kaplama işlemleri; daldırma, döndürme, sprej (püskürtme), plazma ve kimyasal buhar çökertme yöntemleri ile gerçekleştirilmektedir [39]. Bu yöntemler ile kaplanan yüzeyler; hidrofobik (suyu uzaklaştıran), hidrofilik (suyu çeken) veya fotokatalitik yüzeyler olarak adlandırılırlar.

Yüzeye düşen su damlası hidrofobik yüzeylerde yayılmayıp küre şeklini alırken, hidrofilik yüzeylerde ise yayılma özelliği gösterir.

4.2. Nano Kaplamalar

Hidrofobik etki oluşturan nano kaplamalar, lotus bitkisi yapraklarının özel yapısından esinlenilerek tanımlanmış ve literatürde “lotus etkisi” olarak adlandırılmaktadır. Lotus bitkisinin yaprak yüzeyinde bulunan nano ve mikro düzeydeki çukur ve tepecikli yapılar nedeniyle su damlacıkları kayarken yaprak yüzeyindeki kirleri temizlemektedir [35].

Foto katalitik etkiyi ortaya çıkartan TiO_2 veya ZnO parçacıklarıdır. Yüzeydeki kirler güneş ışımasındaki UV etki sayesinde parçalanmakta ve yağmur suyu yardımıyla akarak temizlenmektedir. Yağmur suyunun hızlı bir şekilde akabilmesi ve parçalanmış kirleri de yüzeyden atabilmesi için temel şart yüzeyin hidrofilik yapıda olması gerekir [35].

Nano kaplama; içerisinde nano boyutta parçacık (titanyum dioksit, silisyum dioksit, vb.) bulunan karışımın yüzeylere farklı metotlarla kaplanması işlemidir. İstenen özellikte yüzey elde etmek için bazen malzeme karışımlarına nano parçacıklar doğrudan eklenebilmektedir. Nano malzeme eklenerek yapılan bu kaplamalar seramik, plastik, cam, metal ve beton gibi malzemelere uygulanabilmektedir [40].

Kaplama sonucu malzemeye kendi kendini temizleme, yağmurlu havalarda kolay temizlenebilme, çizilmeye ve korozyona dayanıklılık gibi birçok farklı üstün özellikler kazandırılmaktadır [38].

4.3. Nano Yüzey Kaplama Metotları

Nano yüzey kaplamada en çok kuru metot ve sol-jel metodu kullanılır.

4.3.1 Kuru Metot

Kimyasal, fiziksel ve doğrudan buhar biriktirme yöntemlerinden oluşur.

4.3.1.1. Kimyasal Buhar Biriktirme Metodu

Bu yöntem; bazı kimyasal işlemlerden geçirilen buhar fazındaki kaplama malzemesinin ön ısıtılmış levha üzerine biriktirilerek kaplanması işlemidir. Kimyasal buhar biriktirme metodu ile malzeme yüzeyinde çok sert bir yapı oluşmaktadır.

4.3.1.2. Fiziksel Buhar Biriktirme Metodu

Önce temizlenen kaplama malzemesi vakum odasına yerleştirilir. Oda içerisindeki hava çekilerek yüksek vakum değerlerine ulaşılır. Saflık derecesi yüksek kaplama malzemesi (Titanyum) üzerine DC güç kaynağı yardımıyla ark oluşturularak metal buharlaştırılır. Böylece metal iyonlarının plazma oluşturulması sağlanır. Bu yöntem; kaplama işleminin düşük sıcaklıklarda yapılabilmesi ve kaplama kalınlığının yüksek olması nedeniyle tercih edilmektedir [20].

4.3.1.3. Doğrudan Buhar Biriktirme Metodu

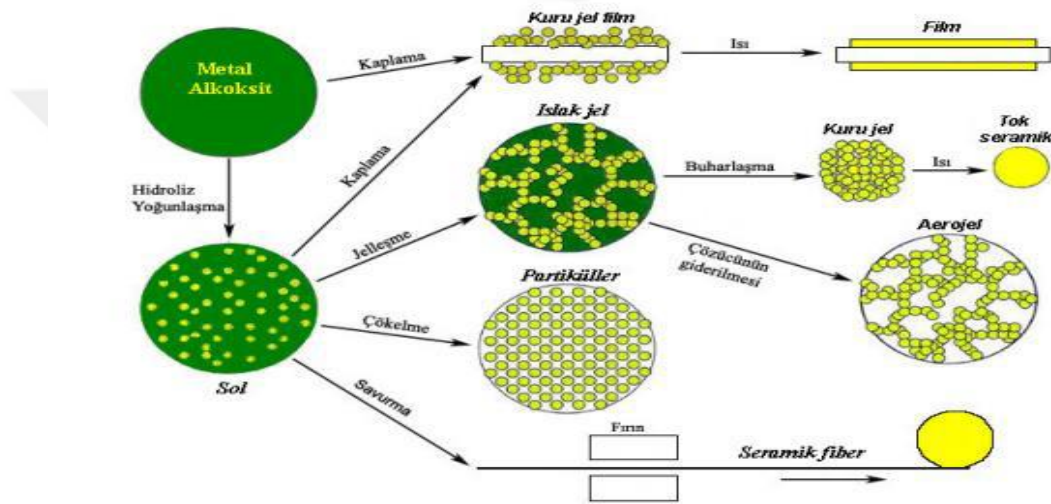
Bu yöntemde elektron-ışın teknolojisi kullanılarak kaplama yapılmaktadır. Yerleştirilen çubuk metaller elektron-ışın yardımı ile önce buharlaştırılıp sonra malzeme yüzeyine püskürtülerek kaplama oluşturulur.

4.3.2. Sol-Jel Metodu

Sol-jel yöntemi ilk olarak 1846 yılında kimyacı Ebelmen tarafından bulunmuştur. 1939 yılında Geffcken SiO_2 ile film oluşturulabileceğini iddia etmiştir. 1953 yılından itibaren arabaların dikiz ayna yüzeylerinde kullanılmaya başlanmıştır [35]. Yapılan çalışmalar sonucunda bu yöntem birçok alanda kullanılabilir duruma gelmiştir.

Katı maddelerin sıvılar içinde dağınık olarak durmasında “sol” denir. Van Der Waals yasasına göre; elektriksel itme kuvveti, yer çekimi kuvvetine göre daha fazladır. Bu nedenle sol-ün oluşumunu sağlayan maddeler dibe çökmez. Molekül çözelti içerisinde büyüüp geniş boyutlara ulaşmasından kaynaklı ortaya çıkan maddeye ise “jel” adı verilir [41], [40].

Sol-jel metodu uygulanarak seramik ve cam gibi malzemelerde üstün özelliklere sahip bir yüzey oluşturulabilir. Süreç sıvı (sol fazdan) katı (jel fazına) geçiş olarak gerçekleşir. Bu yöntem bazı istenilen özelliklere (korozyona ve çizilmelere karşı dayanıklılık vb.) sahip malzemelerin üretilmesine imkân sağlar. Cam, seramik, fiberler, ince film kaplamalar vb. bu yöntem yardımıyla üretilmektedir. Yine bu yöntem ile hafif maddeler ve tok seramiklerin üretilmesine olanak sağlanmaktadır [35]. Sol-jel yöntemi blok şeması Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Sol-jel yöntemi blok şeması [35]

4.3.2.1. Sol-Jel Kaplama Teknikleri

Cam, seramik ve metal gibi malzemeler üzerine daldırma, döndürme ve püskürtme teknikleri kullanılarak TiO_2 kaplanabilmektedir

Döndürerek kaplama yönteminde kaplama yapılacak malzeme bir döner disk üzerine yerleştirilir. Daha sonra kaplama yapılacak malzeme yüzeyine çözelti damlatılır ve döner disk yardımıyla çözelti malzeme üzerinde homojen olarak dağılır [43].

Sıvı püskürtme yöntemi; organik çözücüler ve alkolden oluşan çözeltinin bir sprey tabancası yardımıyla önceden ısıtılmış cam yüzeyine püskürtülmesi işlemidir. Homojen bir kaplama kalınlığını elde etmek oldukça zordur [43].

Daldırma yönteminde önce kaplanacak malzeme temizlenir. Daha sonra TiO_2 çözeltisine daldırılır ve kontrollü bir şekilde dikey tüp fırın içerisine çekilerek kurutulur [43], [44]. Kaplamanın kalınlığı, daldırmadan sonra çekme esnasındaki açı, hız ve çözeltinin derişimi belirlemektedir. Çözeltinin derişimi atmosferde alkolün buharlaşmasıyla değişeceğinden çözelti kapalı tutulmalıdır [45], [46].

4.4. Titanyum Dioksit (TiO_2)

TiO_2 bir yarı iletken madde olup brookit, anataz ve rutil olmak üzere üç kristal yapıya sahiptir. Fotokatalitik uygulamalarda en çok anataz kristal yapıdaki TiO_2 kullanılmaktadır [36].

TiO_2 içeren ince filmler hem fotokatalitik özelliklere hem de çok iyi hidrofilik yüzeye sahiptirler. Ayrıca nano boyutta kendi kendini temizleyen, anti bakteriyel yüzeylerin oluşumunu sağlayan, kokuları önleyebilen, buğulanmayan vb. birçok üstün özelliklere sahiptir. Bu üstün özellikler sayesinde TiO_2 filmlerin kullanımı, son zamanlarda oldukça yaygınlaşmıştır. Bu filmlerin kaplandığı yüzeylerde, yüzeye tutunan organik kirler UV ışınlar yardımıyla parçalanmakta ve hidrofilik özellik sayesinde su ile yüzeyden kolayca uzaklaştırılmaktadır. Böylece yüzey kendi kendini temizleyebilmektedir [7], [36], [47].

Son yıllarda, fotokatalitik özelliğinden dolayı TiO_2 üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. Bu çalışmalar sayesinde kanser tedavisinden endüstriyel faaliyetlere kadar birçok farklı alanda kullanılmakta ve her geçen gün yaygınlaşmaktadır [7], [36], [47].

5. MATERYOL VE YÖNTEM

5.1. Deneysel Sistem

Bu çalışmada Bingöl İli Merkez İlçesinde (Enlem:38,8851578 Boylam:40,5072665 Rakım: 1.126 m) teknik özellikleri Ek-A’da verilen iki adet aynı güçte polikristal güneş panelleri aynı açıyla konstrüksiyona yerleştirilerek deneysel uygulama yapılmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Uygulama düzeneği

Şekil 5.2’de görüldüğü gibi panellerden birinin yüzeyi, önce polisaj makinası ile nano teknolojik temizleme kimyasalı kullanılarak derinlemesine temizlenmiş sonra temizlenen yüzeyler demineralize su ile durulanmış ve kurutulmaya bırakılmıştır. Kuruduktan sonra sprej tabanca ile titanyum dioksit (TiO_2) malzemeden oluşan fotokatalitik yüzey yaklaşık 300 nanometre kalınlığında kaplanmıştır (Şekil 5.3). Diğer panelin yüzeyine ise herhangi bir işlem uygulanmamıştır.



Şekil 5.2. Polisaj makinası ile nano teknolojik temizleme kimyasalı ile yüzeyin derinlemesine temizlenmesi



Şekil 5.3. Sprey tabanca ile fotokatalitik kaplama uygulaması

19.09.2021 tarihinden itibaren her gün yaklaşık aynı saatte panellerin kısa devre akımı ve açık devre gerilimleri ölçülmüş ve sonuçlar kaydedilmiştir (Şekil 5.4). Bu ölçümler yardımıyla, kendi kendini temizleyen malzemeyle (TiO_2) kaplı güneş panelinin ürettiği güç ile normal panelin ürettiği güç değerleri karşılaştırılmıştır. Ölçüm sonuçları her bir ay için tablolar halinde Ek B’de verilmiştir.



Şekil 5.4. Kısa devre akımı ve açık devre gerilimi ölçümü

19 Eylül 2021 tarihinde ilk ölçülen veriler incelendiğinde iki panel arasındaki güç farkının 6,64 W ve yüzdelik farkın ise %2,26 olduğu görülmektedir. Daha sonraki günlerde panel yüzeylerinin zamanla kirlenmesine bağlı olarak aradaki farkın gittikçe arttığı görülmüştür. Yağmurlu havalardan sonra, panel yüzeylerinin temizlenmesine bağlı olarak, panel güçlerinin tekrar birbirine yaklaştığı kaydedilmiştir. Yine tablodaki veriler incelendiğinde bulutlu günlerde ve gölgeli durumlarda üretilen gücün oldukça düşük çıktığı görülmektedir.

Ayrıca panel yüzeyleri aynı kir seviyesine sahipken ve meteorolojik koşullardan bağımsız olarak yüzeyi TiO_2 ile kaplı panelin az da olsa normal panelden daha fazla güç ürettiği görülmüştür. Bu durum TiO_2 ile kaplı panelin güneş ışınlarını daha iyi soğurması ile açıklanabilir.

Her bir ay için kaydedilen ölçüm sonuçları incelendiğinde, iki panel arasında üretilen ortalama güç farkının; eylül ayında %5,39, ekim ayında %4,09, kasım ayında %3,18, aralık ayında %2,09, ocak ayında %0,36, şubat ayında %1,07, mart ayında %1,06, nisan ayında %1,14, mayıs ayında %1,27, haziran ayında %1,34 ve temmuz ayında ise %1,77 olduğu görülecektir.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Güz Döneminin (Eylül, Ekim, Kasım) Değerlendirilmesi

19 Eylül 2021 tarihinde ilk ölçülen veriler incelediğinde iki panel arasındaki güç farkının 6,64 watt ve yüzdelik farkın ise %2,26 olduğu görülmektedir. Daha sonra 22 Eylül 2021 tarihinde yapılan ölçümlerde panellerin kirlenmesine bağlı olarak aradaki farkın 10,2 watt'a ve yüzdelik olarak ise %19,74'e kadar çıktığı görülmektedir (Ek B1). 24 Eylül 2021 günü yağmur yağdıktan sonra, 25 Eylül günü yapılan ölçümlerde üretilen güçlerin tekrar birbirine yaklaştığı görülmüştür. Yağmurdan sonra paneller temizlendiğinden üretilen güç farkı tekrar azalmıştır. Yine tablodaki veriler incelendiğinde bulutlu günlerde ve gölgeli durumlarda üretilen gücün oldukça düştüğü görülmektedir.

Tablo 6.1'de eylül ekim ve kasım aylarına ait paneller arası güç farkı değerleri verilmiştir. Eylül ayı ortalama güç farkının 6,22 W (%5,39) olduğu, ekim ve kasım aylarında ise hem sıcaklığın azalması hem de meteorolojik şartların değişimine bağlı olarak aradaki farkın giderek azaldığı görülmektedir. Üç ayın güç farkı ortalaması 6,18 W (%4,22) olarak hesaplanmıştır.

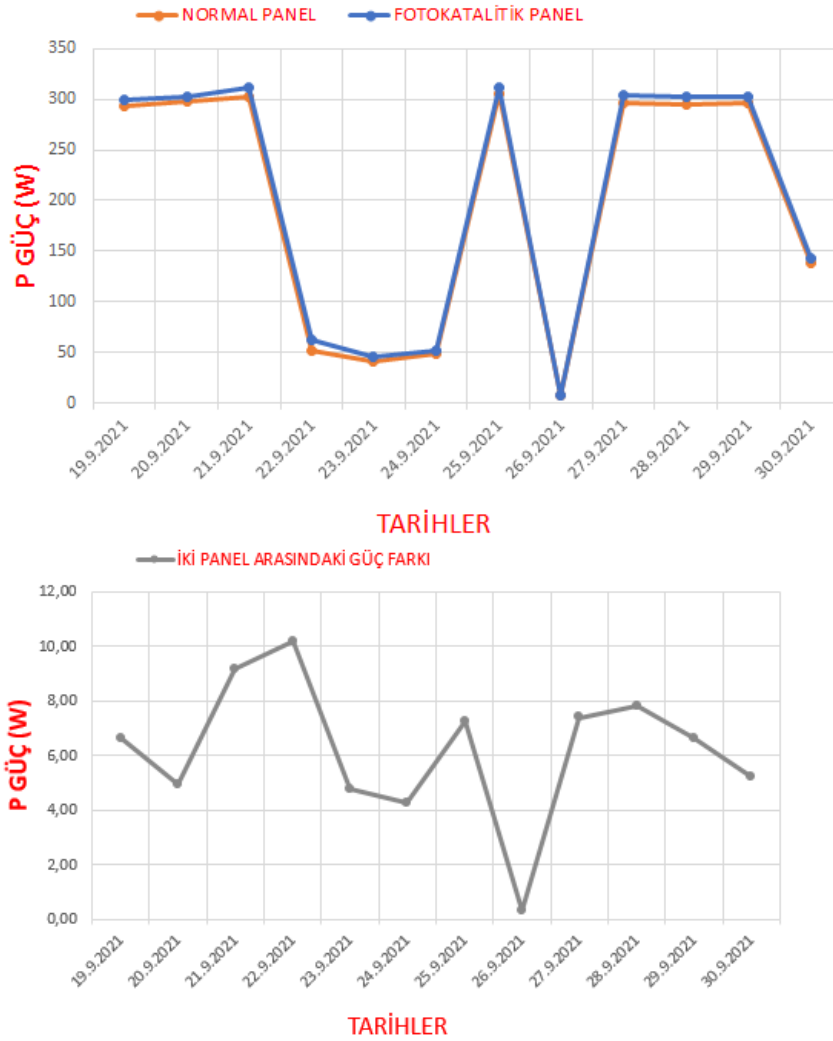
Tablo 6.1. Güz dönemi ortalama güç farkları

FOTO KATALİTİK PANEL İLE NORMAL PANEL ARASINDAKİ MEVSİMSEL ORTALAMA GÜÇ FARKLARI				
SIRA NO	DÖNEM	AYLAR	ORTALAMA GÜÇ FARKI	
			WATT	YÜZDE
1	SON BAHAR	EYLÜL	6,22	5,39%
2		EKİM	7,26	4,09%
3		KASIM	5,07	3,18%
GÜZ ORTALAMASI			6,18	4,22%

Ek B1'de tablo olarak verilen her iki panelin eylül ayı güç değerleri Şekil 6.1'de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 6.1 incelendiğinde eylül ayında foto katalitik panelin ürettiği

gücün normal panelin ürettiği güçten fazla olduğu görülmektedir. Yağmurlu havalardan sonra panellerin temizlenmesinden dolayı iki panel arasındaki güç farkı azalmıştır.

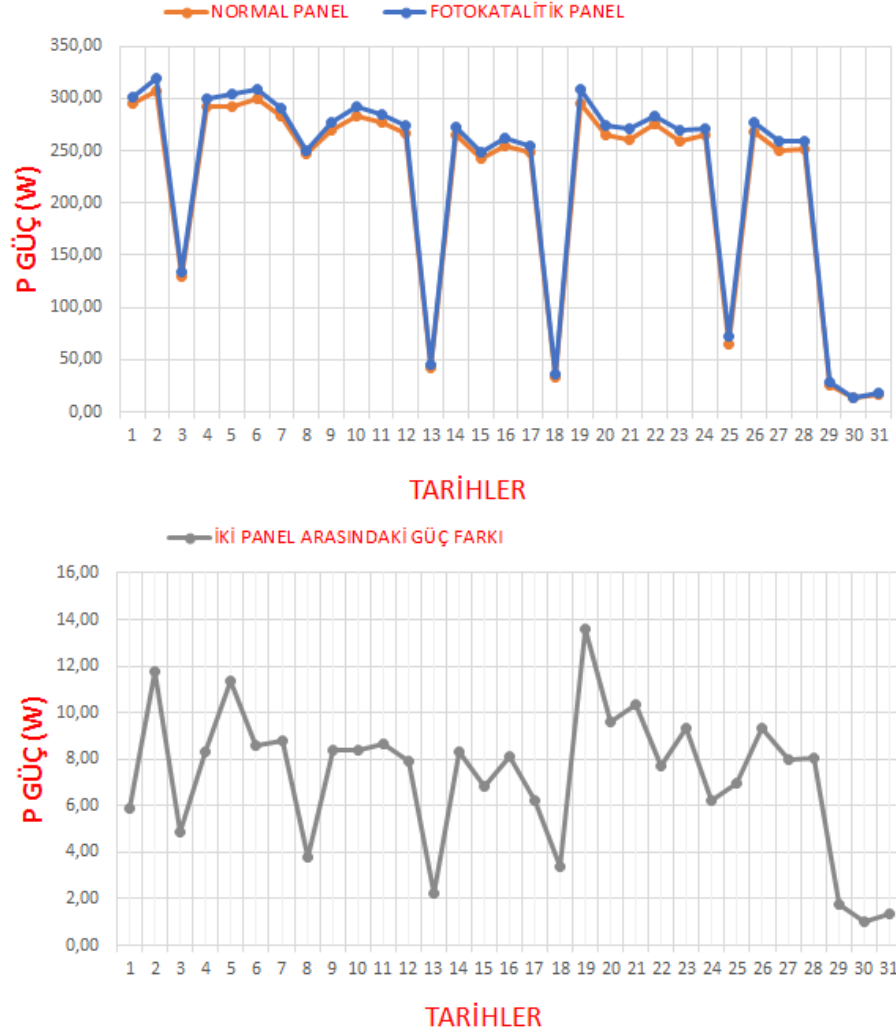
25 Eylül tarihinde foto katalitik kaplama yapılan panel 312,35 W, normal panel ise 305,12 W güç üretmiş olup bu değerler eylül ayında üretilen en yüksek güç değerleridir. 26 Eylül günü hava yağmurlu olup paneller eylül ayı için en küçük güç değerlerini üretmişlerdir.



Şekil 6.1. Eylül Ayı Güç Grafikleri

Ek B2’de tablo olarak verilen her iki panelin ekim ayı güç değerleri Şekil 6.2’de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 6.2 incelendiğinde eylül ayında foto katalitik panelin ürettiği gücün normal panelin ürettiği güçten fazla olduğu görülmektedir. Yağmurlu havalardan sonra panellerin temizlenmesinden dolayı iki panel arasındaki güç farkı azalmıştır.

6 Ekim tarihinde foto katalitik kaplama yapılan panel 309,05 W, normal panel ise 300,46 W güç üretmiş olup bu değerler ekim ayında üretilen en yüksek güç değerleridir. 30 Ekim günü hava yağmurlu olup paneller ekim ayı için en küçük güç değerlerini üretmişlerdir.

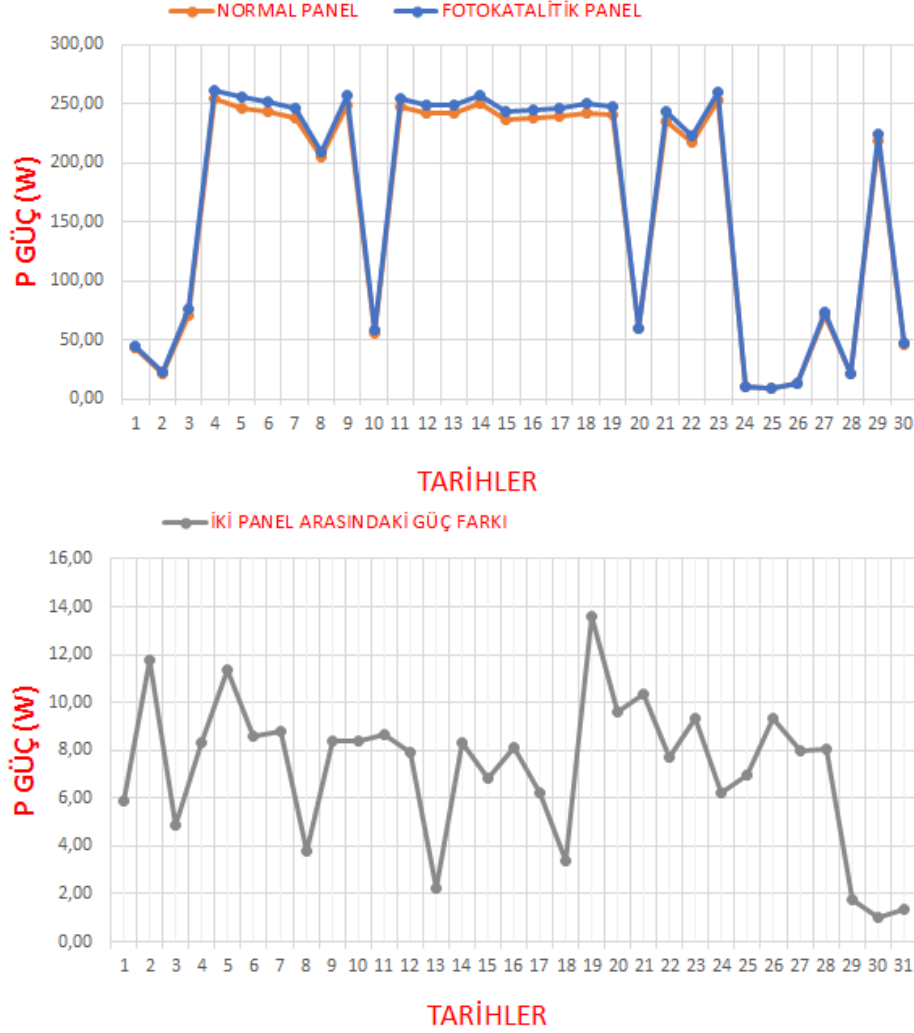


Şekil 6.2. Ekim Ayı Güç Grafikleri

Ek B3'de tablo olarak verilen her iki panelin kasım ayı güç değerleri Şekil 6.3'te grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 6.3 incelendiğinde kasım ayında foto katalitik panelin ürettiği gücün normal panelin ürettiği güçten fazla olduğu görülmektedir. Yağmurlu havalardan sonra panellerin temizlenmesinden dolayı iki panel arasındaki güç farkı azalmıştır.

23 Kasım tarihinde foto katalitik kaplama yapılan panel 259,88 W, normal panel ise 252,76 W güç üretmiş olup bu değerler kasım ayında üretilen en yüksek güç değerleridir.

25 Kasım günü hava yağmurlu olup paneller kasım ayı için en küçük güç değerlerini üretmişlerdir.



Şekil 6.3. Kasım Ayı Güç Grafikleri

6.2. Kış Döneminin (Aralık, Ocak, Şubat) Değerlendirilmesi

Ek B4, B5 ve B6'da verilen aralık, ocak ve şubat ayına ait veriler incelendiğinde; aralık ayında iki panel arasındaki ortalama güç farkı %2,09 iken ocak ayında bu değer hava sıcaklığının düşmesine ve yağışların artışına bağlı olarak %0,36'ya kadar düştüğü görülmektedir. 2022 yılı ocak ayında Bingöl ilinde yoğun kar yağışı görülmüş ve paneller uzun süre kar altında kalmıştır. Bu durum ölçümlere yansımıştır. Şubat ayında kar yağışı

ocak ayına nispeten daha az olduğundan panel güç değerleri ocak ayına göre daha yüksek ölçülmüştür.

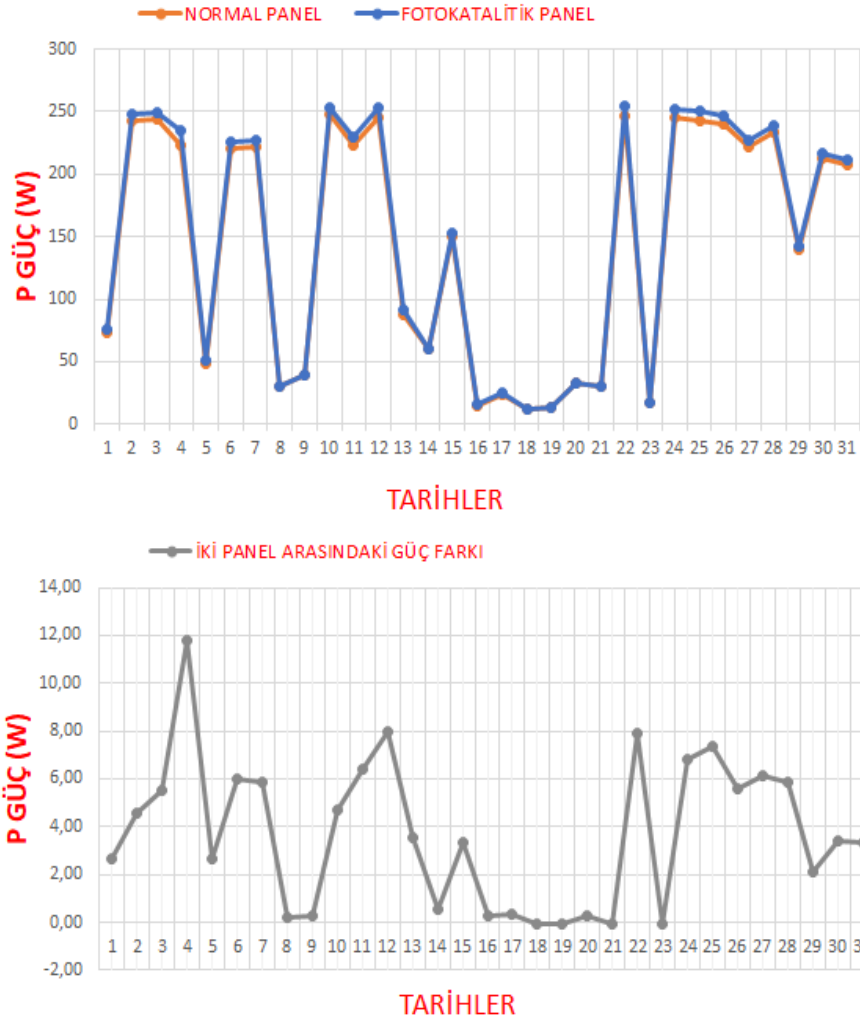
Tablo 6.2’de aralık, ocak ve şubat aylarına ait paneller arası güç farkı değerleri verilmiştir. Aralık ayı ortalama güç farkı 3,71 W (%2,09) iken ocak ayında diğer aylara nispeten daha fazla yoğun kar yağışı olduğundan iki panel arasındaki ortalama güç farkı en az değerine (%0,36) inmiştir. Üç ayın güç farkı ortalaması 2,85 W (%1,17) olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.2. Kış dönemi ortalama güç farkları

FOTO KATALİTİK PANEL İLE NORMAL PANEL ARASINDAKİ MEVSİMSEL ORTALAMA GÜÇ FARKLARI				
SIRA NO	DÖNEM	AYLAR	ORTALAMA GÜÇ FARKI	
			WATT	YÜZDE
1	KIŞ	ARALIK	3,71	2,09%
2		OCAK	2,11	0,36%
3		ŞUBAT	2,73	1,07%
KIŞ ORTALAMASI			2,85	1,17%

Ek B4’te tablo olarak verilen her iki panelin aralık ayı güç değerleri Şekil 6.4’te grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 6.4 incelendiğinde aralık ayında foto katalitik panelin ürettiği gücün normal panelin ürettiği güçten fazla olduğu görülmektedir. Yağmurlu havalardan sonra panellerin temizlenmesinden dolayı iki panel arasındaki güç farkı azalmıştır.

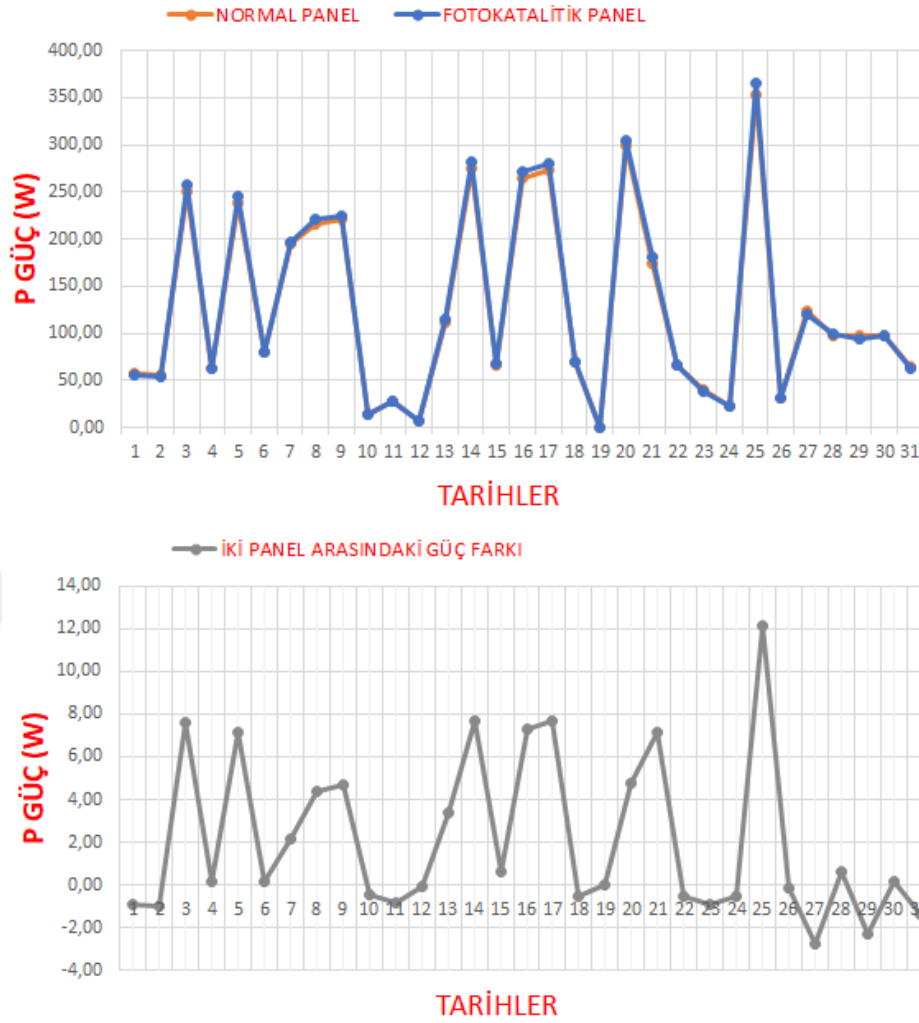
22 Aralık tarihinde foto katalitik kaplama yapılan panel 254,76 W, normal panel ise 246,84 W güç üretmiş olup bu değerler aralık ayında üretilen en yüksek güç değerleridir. 19 Aralık günü hava yağmurlu olup paneller aralık ayı için en küçük güç değerlerini üretmişlerdir.



Şekil 6.4.. Aralık Ayı Güç Grafikleri

Ek B5'te tablo olarak verilen her iki panelin ocak ayı güç değerleri Şekil 6.5'te grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 6.5 incelendiğinde ocak ayında foto katalitik panelin ürettiği gücün normal panelin ürettiği güçten az da olsa fazla olduğu görülmektedir. 2022 yılı ocak ayında Bingöl ilinde yoğun kar yağışı olmasından dolayı iki panel arasındaki güç farkı oldukça azalmıştır.

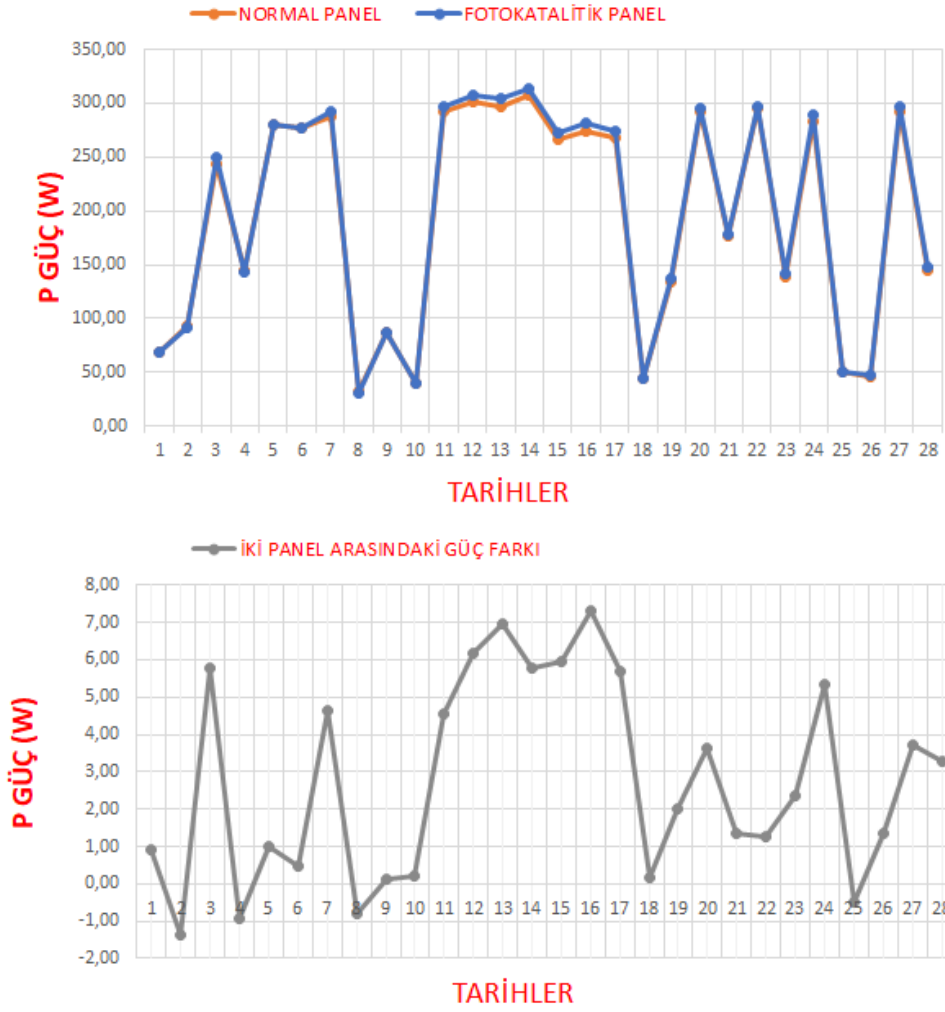
3 Ocak tarihinde foto katalitik kaplama yapılan panel 257,44 W, normal panel ise 249,81 W güç üretmiş olup bu değerler ocak ayında üretilen en yüksek güç değerleridir. 12 Ocak günü hava yağmurlu olup paneller ocak ayı için en küçük güç değerlerini üretmişlerdir.



Şekil 6.5. Ocak Ayı Güç Grafikleri

Ek B6'da tablo olarak verilen her iki panelin şubat ayı güç değerleri Şekil 6.6'da grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 6.6 incelendiğinde şubat ayında foto katalitik panelin ürettiği gücün normal panelin ürettiği güçten az da olsa fazla olduğu görülmektedir. Yağmurlu havalardan sonra panellerin temizlenmesinden dolayı iki panel arasındaki güç farkı azalmıştır.

13 Şubat tarihinde foto katalitik kaplama yapılan panel 304,02 W, normal panel ise 297,07 W güç üretmiş olup bu değerler şubat ayında üretilen en yüksek güç değerleridir. 8 Şubat günü hava kar yağışlı olup paneller şubat ayı için en küçük güç değerlerini üretmişlerdir.



Şekil 6.6. Şubat Ayı Güç Grafikleri

6.3. İlkbahar Döneminin (Mart, Nisan ve Mayıs) Değerlendirilmesi

Ek B7, B8 ve B9’da verilen mart, nisan ve mayıs aylarına ait veriler incelendiğinde; mart ayı başında panel güç değerleri birbirine çok yakınken sonraki günlerde havaların ısınması ve panellerin kirlenmesine bağlı olarak aradaki farkın %2,19’a kadar çıktığı görülmektedir. 2022 yılı nisan ayında Bingöl ilinde yağışın az olmasından dolayı panellerin kir düzeyi önceki aya göre artmıştır. Buna bağlı olarak TiO_2 kaplı panel ile normal panelin güç farkları bazı günlerde %3,64’e kadar çıkmıştır. Bu durum mayıs ayında da devam ettiğinden bahar dönemi içerisinde en yüksek ortalama güç farkı bu ayda hesaplanmıştır (%1,27).

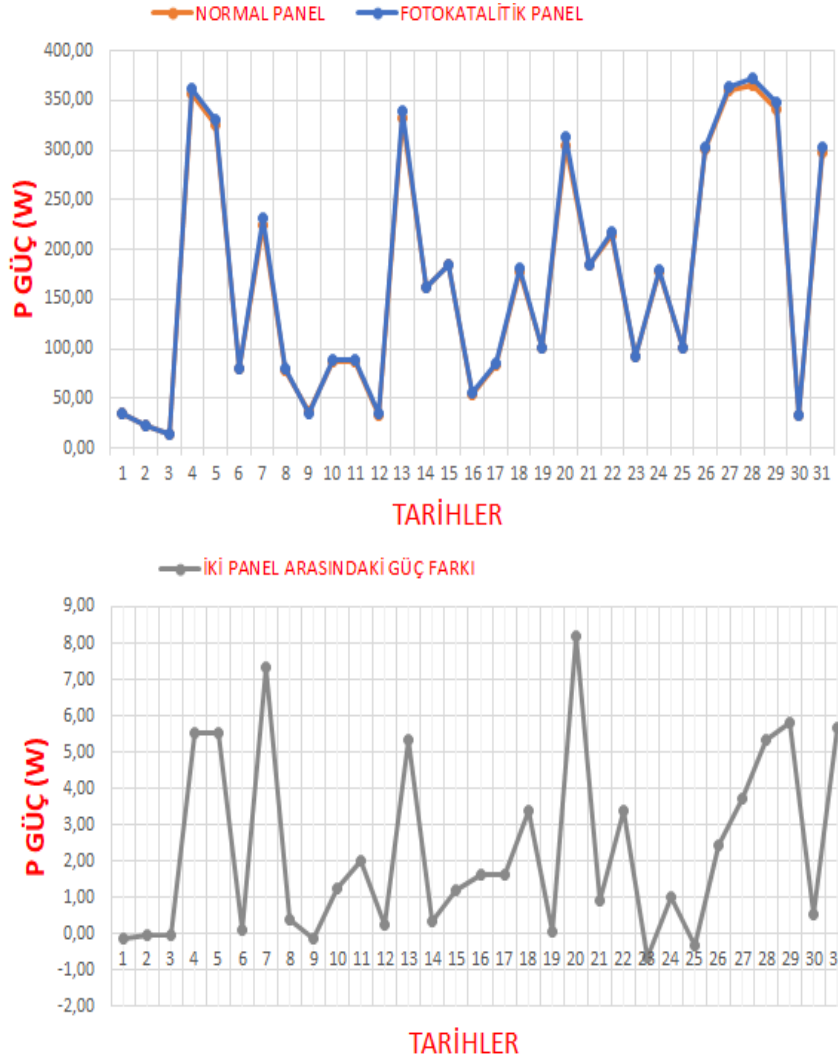
Tablo 6.3’de mart, nisan ve mayıs aylarına ait paneller arası güç farkı değerleri verilmiştir. Mart ayı ortalama güç farkı 2,31 W (%1,06) iken nisan ve mayıs aylarında sıcaklıkların artması ve yağışların azalmasına bağlı olarak iki panel arasındaki güç farkı giderek artmıştır. Üç ayın güç farkı ortalaması 2,54 W (%1,27) olarak hesaplanmıştır.

Tablo 6.3. Bahar dönemi ortalama güç farkları

FOTO KATALİTİK PANEL İLE NORMAL PANEL ARASINDAKİ MEVSİMSSEL ORTALAMA GÜÇ FARKLARI				
SIRA NO	DÖNEM	AYLAR	ORTALAMA GÜÇ FARKI	
			WATT	YÜZDE
1	İLKBAHAR	MART	2,31	1,06 %
2		NİSAN	2,94	1,14 %
3		MAYIS	2,37	1,27 %
İLKBAHAR ORTALAMASI			2,54	1,27 %

Ek B7’de tablo olarak verilen her iki panelin mart ayı güç değerleri Şekil 6.7’de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 6.7 incelendiğinde mart ayında foto katalitik panelin ürettiği gücün normal panelin ürettiği güçten az da olsa fazla olduğu görülmektedir. Yağmurlu havalardan sonra panellerin temizlenmesinden dolayı iki panel arasındaki güç farkı azalmıştır.

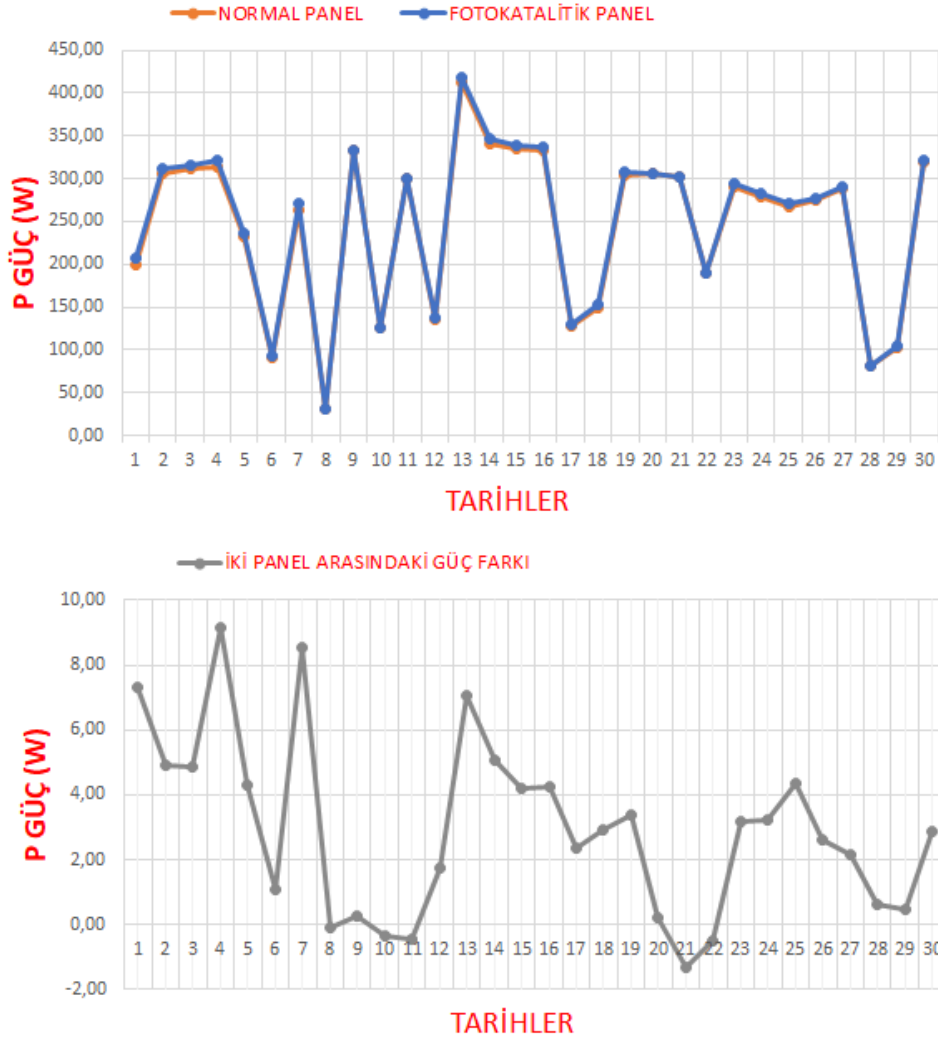
28 Mart tarihinde foto katalitik kaplama yapılan panel 331,76 W, normal panel ise 366,01 W güç üretmiş olup bu değerler mart ayında üretilen en yüksek güç değerleridir. 3 Mart günü hava kapalı olup paneller mart ayı için en küçük güç değerlerini üretmişlerdir.



Şekil 6.7. Mart Ayı Güç Grafikleri

Ek B8’de tablo olarak verilen her iki panelin nisan ayı güç değerleri Şekil 6.8’de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 6.8 incelendiğinde nisan ayında foto katalitik panelin ürettiği gücün normal panelin ürettiği güçten az da olsa fazla olduğu görülmektedir. Yağmurlu havalardan sonra panellerin temizlenmesinden dolayı iki panel arasındaki güç farkı azalmıştır.

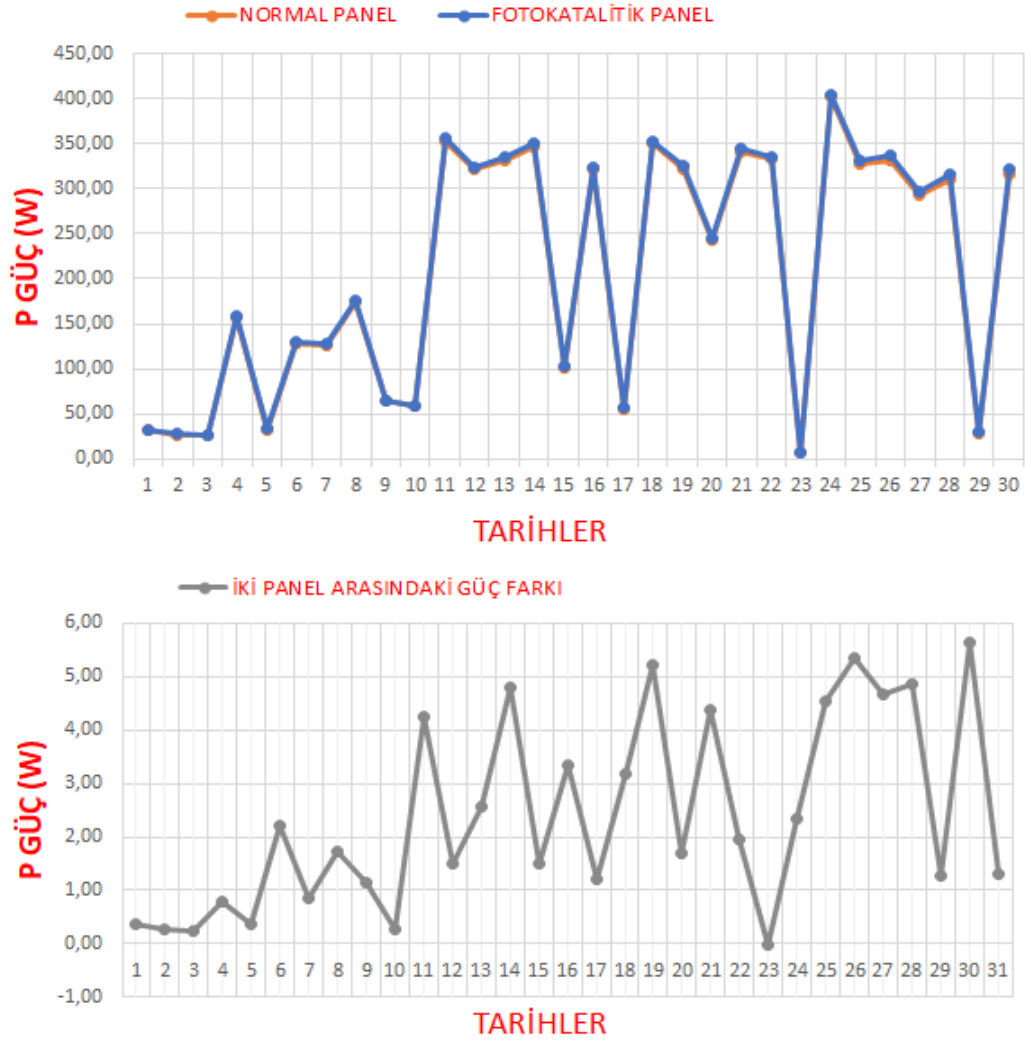
16 Nisan tarihinde foto katalitik kaplama yapılan panel 336,70 W, normal panel ise 332,46 W güç üretmiş olup bu değerler nisan ayında üretilen en yüksek güç değerleridir. 29 Nisan günü hava bulutlu olup paneller nisan ayı için en küçük güç değerlerini üretmişlerdir.



Şekil 6.8. Nisan Ayı Güç Grafikleri

Ek B9’da tablo olarak verilen her iki panelin mayıs ayı güç değerleri Şekil 6.9’da grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 6.9 incelendiğinde mayıs ayında foto katalitik panelin ürettiği gücün normal panelin ürettiği güçten az da olsa fazla olduğu görülmektedir. Yağmurlu havalardan sonra panellerin temizlenmesinden dolayı iki panel arasındaki güç farkı azalmıştır.

24 Mayıs tarihinde foto katalitik kaplama yapılan panel 404,02 W, normal panel ise 401,67 W güç üretmiş olup bu değerler mayıs ayında üretilen en yüksek güç değerleridir. 23 Mayıs günü hava bulutlu olup paneller mayıs ayı için en küçük güç değerlerini üretmişlerdir.



Şekil 6.9. Mayıs Ayı Güç Grafikleri

6.4. Yaz Döneminin (Haziran ve Temmuz) Değerlendirilmesi

Ek B10 ve B11’de verilen haziran ve temmuz aylarına ait veriler incelendiğinde; sıcaklığın artması ve yağışların azalmasına bağlı olarak panel güç farkı değerleri artış gösterdiği görülmektedir. 19 Temmuz günü iki panel arasındaki güç farkı 7,6 W (%2,58) ile en yüksek değerine ulaşmıştır. Yine bu tablolar incelendiğinde, haziran ayında bazı günlerin yağmurlu olduğu ve bunları takip eden günlerde paneller arasındaki güç farkının tekrar azaldığı görülmektedir.

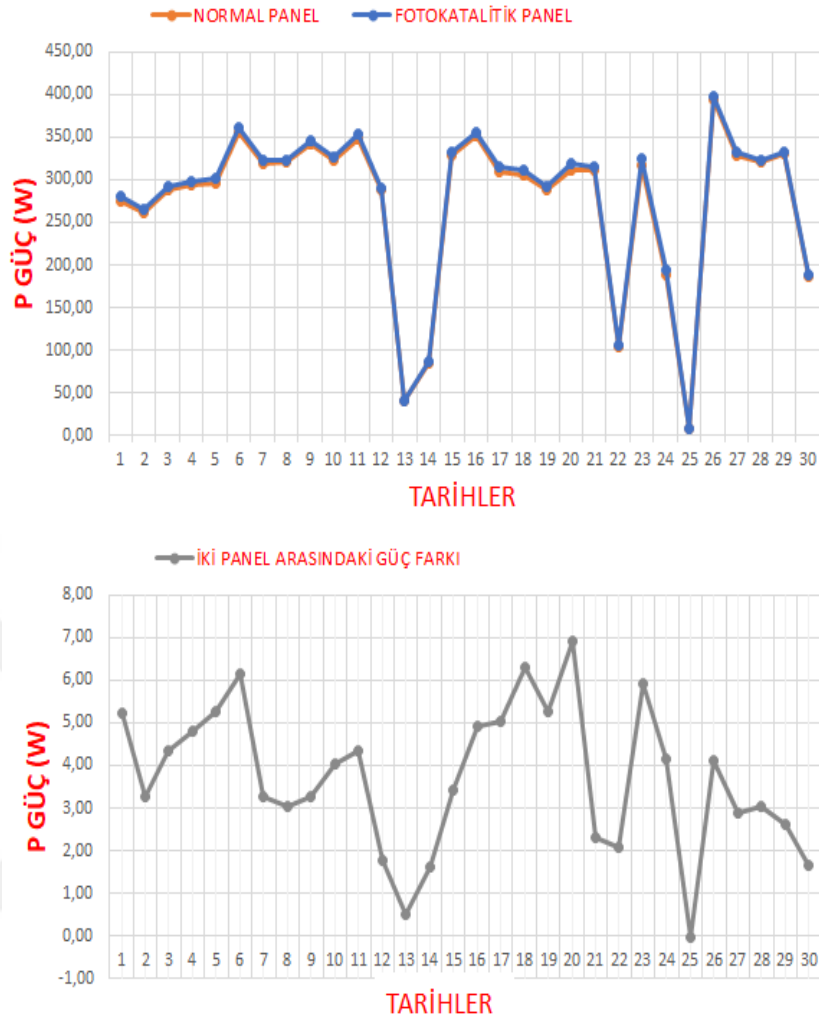
Tablo 6.4. Yaz dönemi ortalama güç farkları

FOTO KATALİTİK PANEL İLE NORMAL PANEL ARASINDAKİ MEVSİMSEL ORTALAMA GÜÇ FARKLARI				
SIRA NO	DÖNEM	AYLAR	ORTALAMA GÜÇ FARKI	
			WATT	YÜZDE
1	YAZ	HAZİRAN	3,72	1,34 %
2		TEMMUZ	5,29	1,77 %
3		AĞUSTOS	4,89	1,70%
YAZ ORTALAMASI			4,63	1,60%

Tablo 6.4'te haziran, temmuz ve ağustos aylarına ait paneller arası ortalama güç farkı değerleri verilmiştir. Haziran ayı ortalama güç farkı değeri 3,72 W (%1,34), temmuz ayı değeri 5,29W (%1,77), ağustos ayı ise 4,89 W (%1,70) olarak gerçekleşmiştir. Bingöl İlinde 2022 yılı temmuz ve ağustos aylarında hiç yağmur yağmadığından artan kirlenmeye bağlı olarak, bu aylarda ölçülen iki panel arasındaki güç farkı, haziran ayına göre daha büyük değerlere ulaşmıştır. Ayrıca ağustos ayı sıcaklık değerlerinin temmuz ayına göre daha yüksek olmasına bağlı olarak, temmuz ayı panel güç değerleri daha büyük ölçülmüştür.

Ek B10'da tablo olarak verilen her iki panelin haziran ayı güç değerleri Şekil 6.10'da grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 6.10 incelendiğinde haziran ayında foto katalitik panelin ürettiği gücün normal panelin ürettiği güçten fazla olduğu görülmektedir. Yağmurlu havalardan sonra panellerin temizlenmesinden dolayı iki panel arasındaki güç farkı azalmıştır.

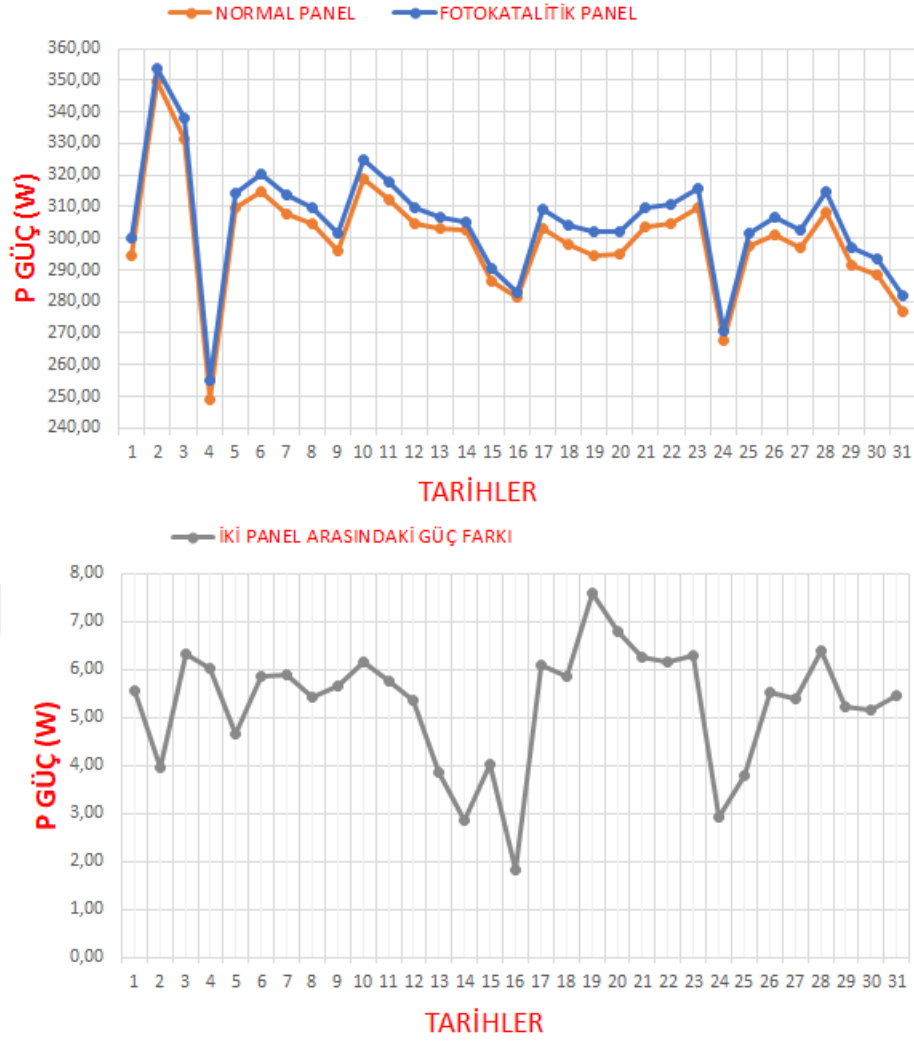
26 Haziran tarihinde foto katalitik kaplama yapılan panel 397,86 W, normal panel ise 393,75 W güç üretmiş olup bu değerler haziran ayında üretilen en yüksek güç değerleridir. 25 Haziran günü hava yağmurlu olduğundan paneller haziran ayı için en küçük güç değerlerini üretmişlerdir.



Şekil 6.10. Haziran Ayı Güç Grafikleri

Ek B11’de tablo olarak verilen her iki panelin temmuz ayı güç değerleri Şekil 6.11’de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 6.11 incelendiğinde temmuz ayında foto katalitik panelin ürettiği gücün normal panelin ürettiği güçten fazla olduğu görülmektedir. Kirlenmenin değişimine bağlı olarak iki panel arasındaki güç farkı da değişiklik göstermiştir.

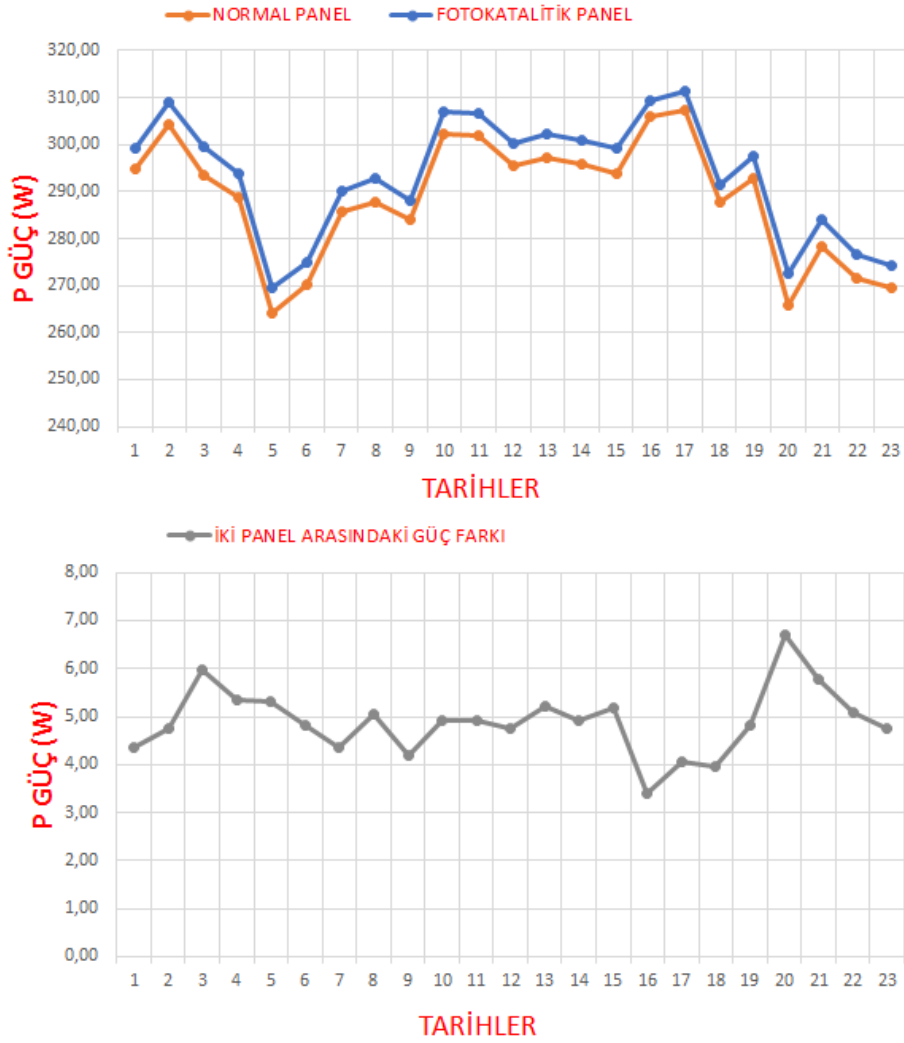
3 Temmuz tarihinde foto katalitik kaplama yapılan panel 337 W, normal panel ise 301 W güç üretmiş olup bu değerler temmuz ayında üretilen en yüksek güç değerleridir. Temmuz ayı içerisinde panellerin en az güç ürettikleri gün ise 16 Temmuz olarak kaydedilmiştir.



Şekil 6.11. Temmuz Ayı Güç Grafiği

Ek B12’de tablo olarak verilen her iki panelin ağustos ayı güç değerleri Şekil 6.12’de grafik olarak gösterilmiştir. Şekil 6.12 incelendiğinde ağustos ayında foto katalitik panelin ürettiği gücün normal panelin ürettiği güçten fazla olduğu görülmektedir. Kirlenmenin değişimine bağlı olarak iki panel arasındaki güç farkı da değişiklik göstermiştir.

17 Ağustos tarihinde foto katalitik kaplama yapılan panel 311,42 W, normal panel ise 307,31 W güç üretmiş olup bu değerler ağustos ayında üretilen en yüksek güç değerleridir. Ağustos ayı içerisinde panellerin en az güç ürettikleri gün ise 5 Ağustos olarak kaydedilmiştir.



Şekil 6.12. Ağustos Ayı Güç Grafikleri

6.5. Foto Katalitik Kaplamanın Maliyeti ve Amortisman Süresi

6.5.1. Foto Katalitik Kaplama İşleminin Maliyeti

Tez çalışmasında kullanılan deney düzeneği, Bingöl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BÜBAP) tarafından desteklenen BAP-FBE.2021.001 nolu proje yardımı ile kurulmuştur. Proje kapsamında temin edilen ve 1,66 m² yüzey alanına sahip 285 W gücündeki bir panelin yüzeyi, sprej (püskürtme) yöntemi kullanılarak TiO₂ ile kaplanmıştır. Bu işlem için proje bütçesinden Ağustos 2021 tarihinde 700 TL ödenmiştir. Bu miktarın o tarihteki kur değeri yaklaşık 82 \$'dır.

TiO₂ günümüzde ithal edilen bir ürün olduğundan değeri dövizle bağlı olarak artış göstermektedir. Bu nedenle ülkemizde panel yüzey kaplama maliyeti pahalı bir işlemdir. Belirtilen tarihte panelin kendisine proje bütçesinden ödenen miktar 1250 TL olduğu dikkate alınırsa yüzey kaplama maliyetinin panel maliyetinin yaklaşık %60'ına karşılık geldiği görülecektir.

6.5.2. Amortisman Süresi

Foto katalitik yüzey kaplanmış panelin amortisman süresi Tablo 6.5'te ayrıntılı olarak verilmiştir.

Tablo 5.5'te; her bir ay için ortalama güç farkı değerleri, o aya ait güneşlenme süreleri ve gün sayısı birlikte çarpılarak hesaplanan ay için fotokatalitik panelin diğer panele göre ürettiği fazla enerji miktarı hesaplanmıştır. Hesaplanan enerji değeri EPDK'nın Temmuz 2022 perakende birim satış fiyatı [48] (vergiler ve fonlar hariç) ile çarpılarak foto katalitik kaplı panelin TL cinsinden kazancı bulunmuştur. Yüzey kaplama için ödenen miktar bir yıllık toplam kazanca bölünerek amortisman süresi hesaplanmıştır.

Amortisman süresi beklenenden daha fazla çıkmıştır. Bunun başlıca sebepleri şunlar olabilir;

- Kış ve ilkbahar dönemlerinde yağışların bol olmasına bağlı olarak kirlenmenin yıl boyunca kısıtlı bir zaman dilimi ile sınırlı kalması,
- Deney düzeneği şehir merkezine kurulduğundan dolayı tozlanmanın kırsal alanlar kadar fazla olmaması,
- Yine deney düzeneğinin şehir merkezinde kurulması nedeniyle panel yüzeylerinin kırsal tozlanma yerine başta egzoz gazları olmak üzere kimyasal kirlerle kirlenmesi ve foto katalitik yüzeyin bu kir türlerini yeterince temizleyememesi,
- Kış mevsimindeki yoğun kar yağışı ve buzlanmanın etkisi ile foto katalitik yüzeyin işçilik hatalarına bağlı olarak aşınmış olabileceği,
- Önceki bölümde püskürtme yöntemi açıklanırken bahsedildiği gibi, homojen bir kaplama yüzeyinin oluşturulamaması,
- Kaplama maliyetinin yüksek olması.

Tüm bunlara ilave olarak yüzey kaplama işleminin ömrünün maksimum 10 yıl olacağı göz önüne alınırsa amortisman süresinin daha da artacağı anlaşılmaktadır. Bir yıllık ölçümlerin sonunda iki panel arasındaki ortalama güç farkının %2 civarında olduğu görülmektedir. Güç farkının düşük ve kaplama maliyetinin yüksek olması, amortisman süresinin uzun olmasına yol açmıştır.

Tablo 6.5. Panel Yüzeyinin Foto Katalitik Malzeme ile Kaplama İşleminin Amortisman Süresi

Foto Katalitik Panelin Amortisman Süresi								
Sıra No	Aylar	2 Panel Arasındaki Güç Farkı		Bingöl İli Günlük Güneşleme Saati	Bir Aydaki Gün Sayısı	Aylara Göre Üretilen Toplam Enerji (kWh)		
		Watt	Yüzde %			Tahmini Üretilecek Fazla Enerji (kWh)	Perakende Satış Fiyatı (TL)	Tutar (TL)
1	EYLÜL	6,22	5,39	9,54	30	1,78	1,29 ₺	2,30 ₺
2	EKİM	7,26	4,09	6,87	31	1,55	1,29 ₺	1,99 ₺
3	KASIM	5,07	3,18	4,89	30	0,74	1,29 ₺	0,96 ₺
4	ARALIK	3,71	2,09	3,45	31	0,40	1,29 ₺	0,51 ₺
5	OCAK	2,11	0,36	4,08	31	0,27	1,29 ₺	0,34 ₺
6	ŞUBAT	2,73	1,07	4,93	28	0,38	1,29 ₺	0,49 ₺
7	MART	2,31	1,06	6,02	31	0,43	1,29 ₺	0,56 ₺
8	NİSAN	2,94	1,14	7,18	30	0,63	1,29 ₺	0,82 ₺
9	MAYIS	2,38	1,27	9,08	31	0,67	1,29 ₺	0,86 ₺
10	HAZİRAN	3,72	1,34	11,01	30	1,23	1,29 ₺	1,59 ₺
11	TEMMUZ	5,29	1,76	11,51	31	1,89	1,29 ₺	2,43 ₺
12	AĞUSTOS	4,89	1,70	10,87	31	1,65	1,29 ₺	2,13 ₺
TOPLAM TUTAR								14,98 ₺
Amortisman Süresi								
Foto Katalitik Kaplamanın Maliyeti (TL)		Foto Katalitik Kaplı Bir Panelin Ürettiği Fazla Güçten Elde Edilen Tutar (TL/Yıl)*			Yatırımın Geri Dönüş Süresi (Yıl) **			
700,00 ₺		14,98 ₺/yıl			46,74 yıl			
*	Toplam kWh= 2 Panel Arasındaki Güç Farkı X Bingöl İli Günlük Güneşleme Saati X Bir Aydaki Gün Sayısı							
**	Yatırımın Geri Dönüş Süresi = Foto Katalitik Panelin Maliyeti / Foto Katalitik Panelin Ürettiği Fazla Güçten Elde Edilen Tutar							

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Bingöl İli Merkez İlçesinde (Enlem:38,8851578 Boylam:40,5072665 Rakım: 1.126 m) biri fotokatalitik malzeme ile yüzeyi kaplanmış aynı güçte iki polikristal güneş paneli aynı açıyla konstrüksiyona yerleştirilmiştir. Her gün yaklaşık aynı saatlerde panellerin açık devre gerilimleri ve kısa devre akımları ölçülmüş sonuçları kaydedilmiştir.

Elde edilen veriler incelendiğinde sonbahar mevsiminde iki panelin ortalama güç farkı değerinin %4,22 olduğu görülmektedir. Bu değer kış mevsimi için %1,17, ilkbahar için %1,27 ve yaz mevsimi için %1,55 olarak hesaplanmıştır.

Yağışlar nedeni ile güç farkı kış ve ilkbahar mevsimlerinde beklendiği gibi düşük çıkmıştır. Ancak yaz mevsiminde güç farkı beklenenden daha düşük olmuştur. Bunun nedeni olarak panellerin konulduğu yerin şehir merkezinde olmasından dolayı yeterince kirlenmediği düşünülebilir. Ayrıca yüzey kaplama işlemi püskürtme yöntemiyle yapıldığından bu yöntemle homojen kaplı bir yüzey elde edilmesi çok zordur. Bu durumun da beklenen güç farkının oluşmamasına etkisi olabilir. Son olarak kış mevsiminde yaşanan yoğun kar yağışı ve buzlanmanın fotokatalitik yüzeyin aşınmasına sebep olabileceği düşünülebilir.

Paneller arasındaki güç farkının düşük olması sonucu amortisman süresi de beklenenden uzun çıkmıştır. Ayrıca yüzey kaplama işleminin maksimum 10 yılda bir tekrarlanması gerekmektedir. Bu nedenle amortisman süresi daha uzun yıllara ulaşacaktır.

Yapılan ölçümler sonucunda iki panel arasındaki ortalama güç farkının %2 civarında olduğu görülmektedir. Bu nedenle yüzey kaplama işleminin aşağıda belirtilen koşullar altında ekonomik olmayacağı anlaşılmaktadır.

- Panellerin foto katalitik malzemelerin yeterince temizleyemediği kirler ile kirlenmesi,
- Panellerin yağışlı bölgelerde ve tozlanmanın az olduğu yerlerde bulunması.

Bu çalışma ile elde edilen veriler, fotokatalitik malzeme ile panel yüzeylerinin kaplanması durumunda panel verimindeki değişim hakkında bir kanaate varmamıza yardımcı olmaktadır. Ancak iklim şartları yıllara göre farklılıklar gösterebilmektedir. Bu nedenle bir yıllık veriler ile genel bir değerlendirme yapmak pek sağlıklı olmayacaktır.

Bu çalışmada dış ortamda bulunan paneller Bingöl ili iklim ve çevre şartlarında tamamen doğal olarak kirlenmişlerdir. Bundan sonraki çalışmalarda yüzeyi fotokatalitik malzeme ile kaplanmış panellerin, farklı kir türleri ile kirletilerek verimleri incelenebilir.



KAYNAKLAR

- [1] Şen Z. Temiz enerji ve kaynakları, Su vakfı yayınları, 2002.
- [2] Ültanır MÖ. “21. yüzyılın eşiğinde güneş enerjisi,” Bilim ve Teknoloji Dergisi, 1996; vol. 340, no. 3, s. 50–55.
- [3] Varınca KB and Varank G (2005 Mart). “güneş kaynaklı farklı enerji üretim sistemlerinde çevresel etkilerin kıyaslanması ve çözüm önerileri.” Güneş Enerjisi Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi, İçel, s. 148-160.
- [4] <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari> (erişim tarihi : 15.07.2022).
- [5] Dikmen ÇB and Gültekin AB. “Usage Of Renewable Energy Resources In Buildings in The Context Of Sustainability Sürdürülebilirlik Kapsamında Yapılarda Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı,” Mühendislik Bilim. ve Tasarım Dergisi, 2011; no. 3, s. 96–100.
- [6] Şam ED, Ürgen M and Tepehan FZ. “TiO₂ Fotokatalistleri,” İTÜ Dergisi, 2007; vol. 6, no. 5–6, s. 81–92.
- [7] <https://an-bonano.com.tr/solarpanelkoruma.html> (erişim tarihi : 15.10.2021).
- [8] Kayri İ, Bayar MT (2021, Kasım). Toz Faktörünün Fotovoltaik Panellerin Verimi Üzerindeki Etkisinin Araştırılması: Batman Örneği, International Symposium On Engineering, Natural And Social Sciences ISENS-21 The Main Theme İs "Energy And Society" s. 88-96, Batman.
- [9] Nazlıgül H and Esenbo B. “Experimental investigation on solar PV panel dust cleaning with solution method,” 2022; vol. 237, p. 1–10.
- [10] Dahlioui D, Traore L, Laarabi B, Barhdadi A. Ecological cleaning of PV panels by exploitation of dew water in Morocco. Materials Today: Proceedings. 2022.
- [11] Yao W, Han X, Huang Y, Zheng Z, Wang Y, Wang X. “Analysis of the influencing factors of the dust on the surface of photovoltaic panels and its weakening law to solar radiation d A case study of Tianjin” Energy, 2022; vol. 256, p. 124669.

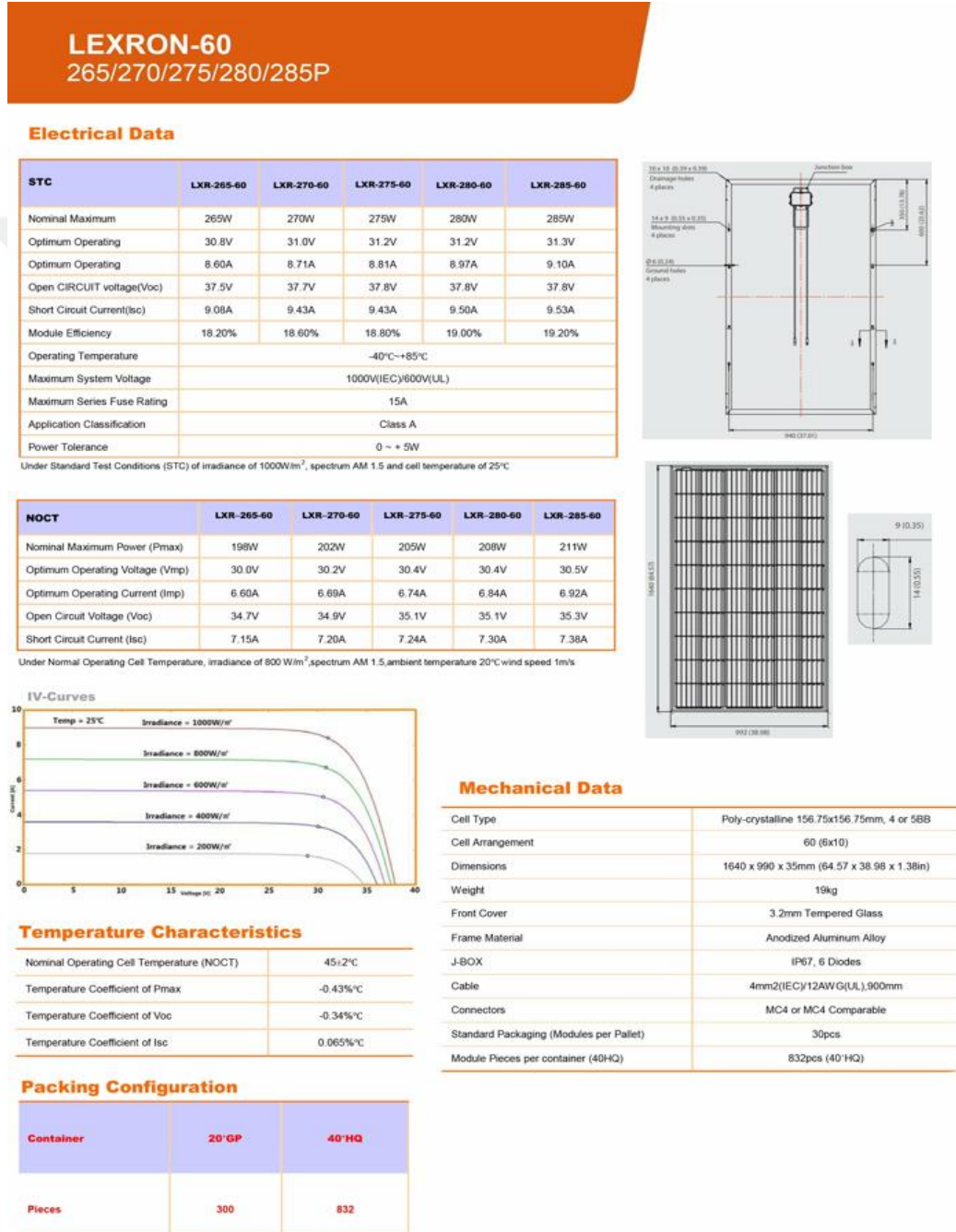
- [12] Zhao W, Lv Y, Zhou Q, Yan W. "Collision-adhesion mechanism of particles and dust deposition simulation on solar PV modules," *Renew. Energy*, 2021; vol. 176, p. 169–182.
- [13] Fan S, Liang W, Wang G, Zhang Y, Cao S. "A novel water-free cleaning robot for dust removal from distributed photovoltaic (PV) in water-scarce areas," *Solar Energy*, 2021; vol. 241, p. 553–563.
- [14] Kazem HA and Chaichan MT. "The effect of dust accumulation and cleaning methods on PV panels ' outcomes based on an experimental study of six locations in Northern Oman," *Solar Energy*, 2019; vol. 187, p. 30–38.
- [15] Hammoud M, Shokr B, Assi A, Hallal J, Khoury P. "Effect of dust cleaning on the enhancement of the power generation of a coastal PV-power plant at Zahrani Lebanon," *Solar Energy*, 2019; vol. 184, p. 195–201.
- [16] Darwish ZA, Kazem HA, Sopian K, Al-Goul MA, Alawadhi H. "Effect of dust pollutant type on photovoltaic performance," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2015; vol. 41, p. 735–744.
- [17] Chanchangi YN, Ghosh A, Sundaram S, Mallick TK. "Dust and PV Performance in Nigeria: A review," *Renew. Sustain. Energy*, 2019; vol. 121, p. 109704.
- [18] Said SAM, Hassan G, Walwil HM, Al-Aqeeli N. "The effect of environmental factors and dust accumulation on photovoltaic modules and dust-accumulation mitigation strategies," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2017; vol. 82, p. 743–760.
- [19] Ghazi S, Sayigh A, Ip K. "Dust effect on flat surfaces A review paper," *Renew. Sustain. Energy*, 2014; vol. 33, p. 742–751.
- [20] Mekhilef S, Saidur R, Kamalisarvestani M. "Effect of dust, humidity and air velocity on efficiency of photovoltaic cells," *Renew. Sustain. Energy*, vol. 16, no. 5, 2012, p. 2920–2925.
- [21] Mani M and Pillai R. "Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2010; vol. 14, no. 9, p. 3124–3131.
- [22] Zaihidee FM, Mekhilef S, Seyedmahmoudian M, Horan B. "Dust as an unalterable deteriorative factor affecting PV panel's efficiency: Why and how," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 65, 2016, p. 1267–1278.

- [23] Adak D, Bhattacharyya R, Barshilia HC. “A state-of-the-art review on the multifunctional self-cleaning nanostructured coatings for PV panels, CSP mirrors and related solar devices,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2021; vol. 159, p. 112145.
- [24] Kazem AA, Chaichan MT, Kazem HA. “Dust effect on photovoltaic utilization in Iraq: Review article,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2014; vol. 37, p. 734–749.
- [25] Sulaiman SA, Hussain HH, Siti N, Leh, HN, Razali MSI. 3 studies-on-solar-PV, vol. 5, no. 10, 2011.
- [26] https://tr.wikipedia.org/wiki/Güneş_enerjisi. (erişim tarihi: 25.12.2021).
- [27] Özil E, Şişbot S, Özpinar A, Olgun B. “Elektrik Enerjisi Teknolojileri ve Enerji Verimliliği-Konvansiyonel Elektrik Santrallerinde Elektrik Üretimi,” *Türkiye Elektrik Sanayi Birliği*, İstanbul, 2013, cilt 3, s. 378,
- [28] https://tr.wikipedia.org/wiki/Türkiyede_güneş_enerjisi. (erişim tarihi:10.02.2022).
- [29] Kaynar NK.“Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisinin Amasya İlindeki Potansiyeli Potential of Solar Energy from Renewable Energy Sources in Amasya,” 2020, p. 48–54.
- [30] Kulaksız AA (2007). Maksimum güç noktası izleyicili ve UVM inverterli fotovoltaiik sistemin yapay sinir ağları tabanlı kontrolü, Doktora tezi, Pamukkale Üniversitesi; Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [31] Öztürk HH. “Güneş enerjisinden fotovoltaiik yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler,” *Elektr. Tesisat Ulus. Kongre ve Sergisi Bildir.*, 2017; vol. 1, s. 1–14.
- [32] <https://www.emo.org.tr/etkinlikler/yeksem> (erişim tarihi: 10.03.2022).
- [33] Altaş İH. “Fotovoltaj güneş pilleri: yapısal özellikleri ve karakteristikleri,” *Elektrik. Elektromekanik dergisi*, 2017; vol. 47, 2017, p. 66–71.
- [34] https://www.emo.org.tr/ekler/6498f1f48b54a20_ek.pdf (erişim tarihi: 12.01.2022).
- [35] Çelen O (2020). Fotovoltaiik (pv) paneller için fotokatalitik, antibakteriyel ve yansıma önleyici yüzey kaplamaların geliştirilmesi ve karakterizasyonu, Yüksek lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

- [36] Sayılkan F (2007). Nano-TiO₂ fotokatalizör sentezi ve fotokatalitik aktivitesinin belirlenmesi, Doktora tezi, İnönü Üniversitesi; Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [37] Lee TG. “Converting Volatile Organic Compounds to CO & H₂ and Water” Am. J. Chem. Eng., 2016; vol. 4, no. 2, p. 62.
- [38] Elvin G. Nanobilim ve Nanoteknoloji, ODTÜ Yayıncılık, 2. Baskı, Ankara, 2013, s. 124.
- [39] Rajasekar V (2015). Indoor soiling method and outdoor statistical risk analysis of photovoltaic power plants, Master's Thesis , Arizona State University.
- [40] Ashby MF and Johnson K (2013). Materials and design: the art and science of material selection in product design, Master's Thesis , Butterworth-Heinemann.
- [41] Türhan İ (2000). TiO₂ ve katkılı TiO₂ ince filmlerinin hazırlanması ve karakterizasyonu , Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [42] Özler FB (2007). Titanyum ve alaşımlarının sol-jel daldırma yöntemiyle yüzey modifikasyonu, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- [43] Ghodsı FE (1999). CeO₂-TiO₂ (CeO₂-ZrO₂) İnce Filmlerinin Oluşturulması, Optik, Yapısal ve Bazı Elektrokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [44] Brinker CJ, Frye GC, Hurd AJ, Ashley CS. Fundamentals of sol-gel dip coating. Thin solid films, 1991; vol. 201 no. 1, p. 97-108.
- [45] Okuyucu H (2002). “Yterbiyum-baryum-bakır oksit süperiletken şeritlerin sol-gel metodu ile üretimi ve karakterizasyonu”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [46] Dağ M (2002). “PVD Yöntemi ile TiN Kaplanmış AISI 304 Çeliğinin Aşınma Deneyleri ve Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi.”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [47] Şam ED, Ürgen M, Tepehan FZ. “TiO₂ fotokatalistleri,” İTÜ DERGİSİ, 2011; vol. 6, no. 5, s. 6 .
- [48] <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1327/elektrik-faturalarina-esas-tarife-tablolari> (erişim tarihi: 01.02.2022).

EKLER

Ek A; deneyde kullanılan panel etiketi ve elektriksel özellikleri aşağıdaki gibidir.



Şekil A.1. Deneyde kullanılan panelin elektriksel özellikleri

EK B; Foto Katalitik Kaplamanın Panel Verimine Etkisinde Kullanılan Panellerin Günlük Ölçüm Verileri

Tablo B.1. Eylül Ayında Ölçülen Panellerin Güç Değerleri

EYLÜL AYI PANEL GÜÇ ÖLÇÜM DEĞERLERİ											
SIRA NO	TARİH	SAAT	FOTO KATALİTİK PANEL			NORMAL PANEL			FARK		AÇIKLAMA
			AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	WATT	YÜZDE %	
1	19.9.2021	12:41	9,04	33,2	300,128	8,84	33,2	293,488	6,64	2,26%	Güneşli / 27°
2	20.9.2021	11:42	8,82	34,3	302,526	8,65	34,4	297,56	4,97	1,67%	Güneşli / 27°
3	21.9.2021	12:40	9,19	33,9	311,541	8,92	33,9	302,388	9,15	3,03%	Güneşli / 29°
4	22.9.2021	12:40	1,82	34	61,88	1,52	34	51,68	10,20	19,74%	Güneşli / 28°
5	23.9.2021	12:25	1,35	34	45,9	1,21	34	41,14	4,76	11,57%	Güneşli / 24°
6	24.9.2021	12:55	1,47	35,6	52,332	1,35	35,6	48,06	4,27	8,89%	Yağmurlu / 13°
7	25.9.2021	11:45	9,08	34,4	312,352	8,87	34,4	305,128	7,22	2,37%	Güneşli / 12° Yağmur sonrası normal panel temizlendiği için aradaki fark azalmış görünüyor
8	26.9.2021	16:50	0,26	32,5	8,45	0,25	32,5	8,125	0,33	4,00%	Güneşli / 12°Derece ancak panellerin üzerinde gölge varken ölçüm yapıldı.
9	27.9.2021	12:55	9,04	33,6	303,744	8,82	33,6	296,352	7,39	2,49%	Güneşli / 26°
10	28.9.2021	12:30	8,92	34	303,28	8,69	34	295,46	7,82	2,65%	Güneşli / 26°
11	29.9.2021	12:55	8,71	34,8	303,108	8,47	35	296,45	6,66	2,25%	Güneşli / 25°
12	30.9.2021	12:15	4,11	34,9	143,439	3,96	34,9	138,204	5,24	3,79%	Bulutlu / 22°
Eylül Ayı Ortalama Fark									6,22	5,39%	

Tablo B.2. Ekim Ayında Ölçülen Panellerin Güç Değerleri

EKİM AYI PANEL GÜÇ ÖLÇÜM DEĞERLERİ											
SIRA NO	TARİH	SAAT	FOTO KATALİTİK PANEL			NORMAL PANEL			FARK		AÇIKLAMA
			AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	WATT	YÜZDE %	
1	1.10.2021	12:10	8,70	34,60	301,02	8,48	34,80	295,10	5,92	2,00%	Güneşli / 12°
2	2.10.2021	12:55	9,20	34,70	319,24	8,81	34,90	307,47	11,77	3,83%	Güneşli / 22°
3	3.10.2021	14:02	4,12	32,50	133,90	3,97	32,50	129,03	4,88	3,78%	Bulutlu / 23°
4	4.10.2021	12:00	8,68	34,60	300,33	8,44	34,60	292,02	8,30	2,84%	Güneşli / 19°
5	5.10.2021	12:40	8,82	34,50	304,29	8,49	34,50	292,91	11,39	3,89%	Güneşli / 18°
6	6.10.2021	12:30	8,83	35,00	309,05	8,56	35,10	300,46	8,59	2,86%	Güneşli / 16°
7	7.10.2021	12:55	8,50	34,30	291,55	8,22	34,40	282,77	8,78	3,11%	Güneşli / 16°
8	8.10.2021	10:00	7,26	34,50	250,47	7,13	34,60	246,70	3,77	1,53%	Güneşli / 16°
9	9.10.2021	13:25	8,15	34,10	277,92	7,88	34,20	269,50	8,42	3,12%	Güneşli / 21°
10	10.10.2021	12:40	8,56	34,10	291,90	8,29	34,20	283,52	8,38	2,96%	Güneşli / 21°
11	11.10.2021	12:30	8,55	33,40	285,57	8,29	33,40	276,89	8,68	3,14%	Güneşli / 21°
12	12.10.2021	12:50	8,16	33,60	274,18	7,90	33,70	266,23	7,95	2,98%	Güneşli / 21°
13	13.10.2021	12:00	1,32	33,90	44,75	1,25	34,00	42,50	2,25	5,29%	Bulutlu / 23°
14	14.10.2021	12:00	8,12	33,60	272,83	7,85	33,70	264,55	8,29	3,13%	Güneşli / 24°
15	15.10.2021	11:45	7,27	34,30	249,36	7,05	34,40	242,52	6,84	2,82%	Güneşli / 24°
16	16.10.2021	12:00	7,72	34,00	262,48	7,46	34,10	254,39	8,09	3,18%	Bulutlu / 23°
17	17.10.2021	11:00	7,36	34,60	254,66	7,16	34,70	248,45	6,20	2,50%	Güneşli / 21°
18	18.10.2021	11:45	1,06	34,50	36,57	0,96	34,60	33,22	3,35	10,10%	Güneşli / 16°
19	19.10.2021	12:30	8,77	35,20	308,70	8,36	35,30	295,11	13,60	4,61%	Güneşli / 18°
20	20.10.2021	12:50	8,03	34,20	274,63	7,75	34,20	265,05	9,58	3,61%	Güneşli / 18°
21	21.10.2021	13:10	7,87	34,40	270,73	7,57	34,40	260,41	10,32	3,96%	Güneşli / 20°
22	22.10.2021	11:50	8,30	34,20	283,86	8,05	34,30	276,12	7,75	2,80%	Güneşli / 20°
23	23.10.2021	13:00	7,73	34,80	269,00	7,44	34,90	259,66	9,35	3,60%	Güneşli / 21°
24	24.10.2021	11:00	7,78	34,80	270,74	7,58	34,90	264,54	6,20	2,34%	Güneşli / 19°
25	25.10.2021	12:35	2,02	35,70	72,11	1,82	35,80	65,16	6,96	10,68%	Bulutlu / 14°
26	26.10.2021	13:00	7,72	36,00	277,92	7,44	36,10	268,58	9,34	3,48%	Güneşli / 17°
27	27.10.2021	12:40	7,43	34,80	258,56	7,18	34,90	250,58	7,98	3,19%	Güneşli / 17°
28	28.10.2021	12:30	7,40	35,00	259,00	7,15	35,10	250,97	8,03	3,20%	Güneşli / 15°
29	29.10.2021	11:50	0,79	35,30	27,89	0,74	35,30	26,12	1,77	6,76%	Yağmurlu / 10°
30	30.10.2021	12:40	0,41	34,60	14,19	0,38	34,70	13,19	1,00	7,58%	Yağmurlu / 8°
31	31.10.2021	13:40	0,53	34,60	18,34	0,49	34,70	17,00	1,34	7,85%	Yağmurlu / 11°
Ekim Ayı Ortalama Fark									7,26	4,09%	

Tablo B.3. Kasım Ayında Ölçülen Panellerin Güç Değerleri

KASIM AYI PANEL GÜÇ ÖLÇÜM DEĞERLERİ											
SIRA NO	TARİH	SAAT	FOTO KATALİTİK PANEL			NORMAL PANEL			FARK		AÇIKLAMA
			AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	WATT	YÜZDE %	
1	1.11.2021	16:15	1,28	34,80	44,54	1,23	34,80	42,80	1,74	4,07 %	Bulutlu / 12°
2	2.11.2021	12:40	0,67	35,00	23,45	0,62	35,10	21,76	1,69	7,76 %	Yağmurlu/11 °
3	3.11.2021	11:20	2,14	35,40	75,76	2,00	35,50	71,00	4,76	6,70 %	Kapalı / 13°
4	4.11.2021	12:20	7,52	34,70	260,94	7,33	34,70	254,35	6,59	2,59 %	Güneşli / 21°
5	5.11.2021	11:10	7,32	35,00	256,20	7,02	35,10	246,40	9,80	3,98 %	Güneşli / 16°
6	6.11.2021	13:25	7,18	35,00	251,30	6,95	35,00	243,25	8,05	3,31 %	Güneşli / 18°
7	7.11.2021	13:00	7,03	35,00	246,05	6,80	35,00	238,00	8,05	3,38 %	Güneşli / 19°
8	8.11.2021	13:40	6,02	34,80	209,50	5,88	34,80	204,62	4,87	2,38 %	Güneşli / 19°
9	9.11.2021	12:30	7,41	34,70	257,13	7,17	34,70	248,80	8,33	3,35 %	Güneşli / 15°
10	10.11.2021	12:10	1,63	35,60	58,03	1,56	35,70	55,69	2,34	4,19 %	Bulutlu / 14°
11	11.11.2021	12:30	7,07	36,00	254,52	6,85	36,10	247,29	7,24	2,93 %	Güneşli / 13°
12	12.11.2021	11:15	7,01	35,50	248,86	6,79	35,60	241,72	7,13	2,95 %	Güneşli / 12°
13	13.11.2021	12:00	7,03	35,30	248,16	6,82	35,40	241,43	6,73	2,79 %	Güneşli / 11°
14	14.11.2021	12:00	7,29	35,20	256,61	7,07	35,30	249,57	7,04	2,82 %	Güneşli / 12°
15	15.11.2021	11:50	6,72	36,30	243,94	6,51	36,40	236,96	6,97	2,94 %	Güneşli / 11°
16	16.11.2021	11:30	6,95	35,20	244,64	6,73	35,30	237,57	7,07	2,98 %	Güneşli / 12°
17	17.11.2021	11:40	6,97	35,30	246,04	6,74	35,40	238,60	7,44	3,12 %	Güneşli / 13°
18	18.11.2021	12:15	7,05	35,40	249,57	6,83	35,40	241,78	7,79	3,22 %	Güneşli / 13°
19	19.11.2021	11:35	7,02	35,20	247,10	6,81	35,30	240,39	6,71	2,79 %	Güneşli / 12°
20	20.11.2021	12:35	1,64	36,70	60,19	1,61	36,80	59,25	0,94	1,59 %	Güneşli / 6°
21	21.11.2021	11:40	6,79	35,80	243,08	6,54	35,90	234,79	8,30	3,53 %	Güneşli / 12°
22	22.11.2021	13:30	6,26	35,70	223,48	6,07	35,70	216,70	6,78	3,13 %	Güneşli / 13°
23	23.11.2021	12:30	7,30	35,60	259,88	7,08	35,70	252,76	7,12	2,82 %	Güneşli / 14°
24	24.11.2021	11:20	0,32	34,80	11,14	0,31	34,90	10,82	0,32	2,93 %	Güneşli / 6°
25	25.11.2021	12:10	0,26	34,40	8,88	0,25	34,50	8,63	0,25	2,90 %	Güneşli / 7°
26	26.11.2021	11:30	0,39	35,10	13,62	0,38	35,20	13,38	0,24	1,82 %	Güneşli / 6°
27	27.11.2021	12:30	2,01	36,39	73,14	1,95	36,43	71,04	2,11	2,96 %	Güneşli / 8°
28	28.11.2021	12:35	0,62	35,50	22,01	0,61	35,60	21,72	0,29	1,35 %	Güneşli / 8°
29	29.11.2021	12:40	6,20	36,10	223,82	6,06	36,20	219,37	4,45	2,03 %	Güneşli / 13°
30	30.11.2021	12:40	1,32	36,10	47,65	1,29	36,20	46,70	0,95	2,04 %	Güneşli / 11°
Kasım Ayı Ortalama Fark									5,07	3,18 %	

Tablo B.4. Aralık Ayında Ölçülen Panellerin Güç Değerleri

ARALIK AYI PANEL GÜÇ ÖLÇÜM DEĞERLERİ											
SIRA NO	TARİH	SAAT	FOTO KATALİTİK PANEL			NORMAL PANEL			FARK		AÇIKLAMA
			AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	WATT	YÜZDE %	
1	1.12.2021	13:00	2,12	36,1	76,532	2,04	36,2	73,848	2,68	3,63 %	Kapalı / 8°
2	2.12.2021	11:10	6,63	37,3	247,299	6,49	37,4	242,726	4,57	1,88 %	Güneşli / 7°
3	3.12.2021	11:30	6,82	36,5	248,93	6,65	36,6	243,39	5,54	2,28 %	Güneşli / 7°
4	4.12.2021	12:20	6,42	36,5	234,33	6,08	36,6	222,528	11,80	5,30 %	Güneşli / 7°
5	5.12.2021	11:10	1,4	36,4	50,96	1,32	36,6	48,312	2,65	5,48 %	Kapalı / 6°
6	6.12.2021	13:00	6,26	36,10	225,99	6,06	36,30	219,98	6,01	2,73 %	Güneşli / 9°
7	7.12.2021	12:25	6,33	35,90	227,25	6,15	36,00	221,40	5,85	2,64 %	Güneşli / 8°
8	8.12.2021	12:10	0,96	32,20	30,91	0,95	32,30	30,69	0,23	0,74 %	Yağmurlu / 8°
9	9.12.2021	12:35	1,09	36,50	39,79	1,08	36,60	39,53	0,26	0,65 %	Yağmurlu / 8°
10	10.12.2021	11:20	6,83	37,06	253,12	6,70	37,08	248,44	4,68	1,89 %	Güneşli / 8°
11	11.12.2021	12:50	6,44	35,60	229,26	6,26	35,60	222,86	6,41	2,88 %	Güneşli / 9°
12	12.12.2021	12:40	7,01	36,10	253,06	6,79	36,10	245,12	7,94	3,24 %	Güneşli / 4°
13	13.12.2021	12:25	2,60	35,30	91,78	2,50	35,30	88,25	3,53	4,00 %	Bulutlu / 3°
14	14.12.2021	12:30	1,66	36,40	60,42	1,64	36,50	59,86	0,56	0,94 %	Kapalı / 8°
15	15.12.2021	12:00	4,13	37,10	153,22	4,03	37,20	149,92	3,31	2,21 %	Bulutlu / 4°
16	16.12.2021	12:35	0,45	34,60	15,57	0,44	34,80	15,31	0,26	1,68 %	Kapalı / 9°
17	17.12.2021	12:10	0,69	35,60	24,56	0,68	35,60	24,21	0,36	1,47 %	Kapalı / 5°
18	18.12.2021	12:00	0,36	35,10	12,64	0,36	35,20	12,67	-0,04	-0,28 %	Yağmurlu / 1°
19	19.12.2021	12:05	0,39	35,20	13,73	0,39	35,30	13,77	-0,04	-0,28 %	Yağmurlu / 2°
20	20.12.2021	13:20	0,90	37,20	33,48	0,89	37,30	33,20	0,28	0,85 %	Yağmurlu / 2°
21	21.12.2021	12:35	0,82	36,60	30,01	0,82	36,70	30,09	-0,08	-0,27 %	Yağmurlu / -1°
22	22.12.2021	13:00	6,83	37,30	254,76	6,60	37,40	246,84	7,92	3,21 %	Güneşli / -4°
23	23.12.2021	12:40	0,49	36,50	17,89	0,49	36,60	17,93	-0,05	-0,27 %	Kar yağışlı / -4°
24	24.12.2021	11:20	6,68	37,70	251,84	6,50	37,70	245,05	6,79	2,77 %	Güneşli / -4°
25	25.12.2021	11:50	6,76	37,02	250,26	6,56	37,03	242,92	7,34	3,02 %	Güneşli / -7°
26	26.12.2021	12:30	6,64	37,06	246,08	6,46	37,23	240,51	5,57	2,32 %	Güneşli / -5°
27	27.12.2021	12:40	6,10	37,26	227,29	5,92	37,36	221,17	6,11	2,76 %	Güneşli / -5°
28	28.12.2021	12:40	6,52	36,69	239,22	6,35	36,75	233,36	5,86	2,51 %	Güneşli / -2°
29	29.12.2021	13:20	3,80	37,47	142,39	3,73	37,61	140,29	2,10	1,50 %	Kapalı / -4°
30	30.12.2021	12:35	5,85	36,97	216,27	5,72	37,22	212,90	3,38	1,59 %	Güneşli / -4°
31	31.12.2021	11:10	5,66	37,24	210,78	5,55	37,38	207,46	3,32	1,60 %	Güneşli / -1°
Aralık Ayı Ortalama Fark									3,71	2,09 %	

Tablo B.5. Ocak Ayında Ölçülen Panellerin Güç Değerleri

OCAK AYI PANNELERİN GÜÇ ÖLÇÜM DEĞERLERİ											
SIRA NO	TARİH	SAAT	FOTO KATALİTİK PANEL			NORMAL PANEL			FARK		AÇIKLAMA
			AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	WAT T	YÜZDE %	
1	1.1.2022	12:20	1,55	36,56	56,67	1,57	36,65	57,54	-0,87	-1,52 %	Kapalı / -2°
2	2.1.2022	11:20	1,45	37,63	54,56	1,47	37,79	55,55	-0,99	-1,78 %	Kar yağışlı / -1°
3	3.1.2022	12:45	6,99	36,83	257,44	6,77	36,9	249,81	7,63	3,05 %	Güneşli / 4°
4	4.1.2022	12:40	1,7	37,33	63,46	1,69	37,47	63,32	0,14	0,22 %	Kapalı / -1°
5	5.1.2022	12:05	6,73	36,37	244,77	6,52	36,45	237,65	7,12	2,99 %	Güneşli / 1°
6	6.1.2022	12:20	2,18	36,78	80,18	2,17	36,86	79,99	0,19	0,24 %	Kapalı / 3°
7	7.1.2022	11:05	5,39	36,58	197,17	5,32	36,65	194,98	2,19	1,12 %	Bulutlu / 2°
8	8.1.2022	11:50	6,04	36,54	220,70	5,90	36,67	216,35	4,35	2,01 %	Güneşli / 2°
9	9.1.2022	11:45	6,22	36,16	224,92	6,08	36,22	220,22	4,70	2,13 %	Güneşli / 3°
10	10.1.2022	11:10	0,41	36,02	14,77	0,42	36,21	15,21	-0,44	-2,89 %	Kar yağışlı / -1°
11	11.1.2022	12:40	0,77	36,56	28,15	0,79	36,64	28,95	-0,79	-2,74 %	Yağmurlu / 2°
12	12.1.2022	11:30	0,22	34,70	7,63	0,22	34,96	7,69	-0,06	-0,74 %	Yağmurlu / 3°
13	13.1.2022	13:10	3,19	36,18	115,41	3,09	36,25	112,01	3,40	3,04 %	Bulutlu / 5°
14	14.1.2022	11:50	7,37	38,28	282,12	7,16	38,33	274,44	7,68	2,80 %	Güneşli / 2°
15	15.1.2022	12:30	1,79	37,75	67,57	1,77	37,84	66,98	0,60	0,89 %	Kapalı / 0°
16	16.1.2022	13:10	7,20	37,70	271,44	6,99	37,79	264,15	7,29	2,76 %	Güneşli / 1°
17	17.1.2022	12:45	7,36	38,14	280,71	7,14	38,24	273,03	7,68	2,81 %	Güneşli / 1°
18	18.1.2022	12:55	1,86	37,65	70,03	1,86	37,92	70,53	-0,50	-0,71 %	Kapalı / -3°
19	19.1.2022	Aşırı kar yağışı nedeni ile ölçüm yapılamadı									
20	20.1.2022	12:20	7,80	38,94	303,73	7,67	38,98	298,98	4,76	1,59 %	Güneşli / -2°
21	21.1.2022	15:00	4,83	37,64	181,80	4,63	37,73	174,69	7,11	4,07 %	Kapalı / -5°
22	22.1.2022	12:20	1,74	37,75	65,69	1,75	37,84	66,22	-0,53	-0,81 %	Kapalı / -3°
23	23.1.2022	12:25	1,04	37,60	39,10	1,06	37,78	40,05	-0,94	-2,35 %	Kar yağışlı / -4°
24	24.1.2022	12:40	0,63	36,80	23,18	0,64	37,00	23,68	-0,50	-2,09 %	Kar yağışlı / -3°
25	25.1.2022	11:55	9,93	36,80	365,42	9,64	36,65	353,31	12,12	3,43 %	Güneşli / 1°
26	26.1.2022	11:20	0,84	37,28	31,32	0,84	37,46	31,47	-0,15	-0,48 %	Kar yağışlı / 0°
27	27.1.2022	11:30	3,10	38,98	120,84	3,16	39,12	123,62	-2,78	-2,25 %	Kapalı / -3°
28	28.1.2022	12:00	2,58	38,27	98,74	2,56	38,32	98,10	0,64	0,65 %	Kapalı / -4°
29	29.1.2022	11:25	2,45	38,63	94,64	2,50	38,77	96,93	-2,28	-2,35 %	Kar yağışlı / -4°
30	30.1.2022	13:30	2,55	38,25	97,54	2,54	38,35	97,41	0,13	0,13 %	Kapalı / -2°
31	31.1.2022	13:20	1,65	38,25	63,11	1,68	38,40	64,51	-1,40	-2,17 %	Kar yağışlı / -4°
Ocak Ayı Ortalama Fark									2,18	0,37 %	

Tablo B.6. Şubat Ayında Ölçülen Panellerin Güç Değerleri

ŞUBAT AYI PANEL GÜÇ ÖLÇÜM DEĞERLERİ											
SIRA NO	TARİH	SAAT	FOTO KATALİTİK PANEL			NORMAL PANEL			FARK		AÇIKLAMA
			AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	WATT	YÜZDE %	
1	1.2.2022	11:10	1,85	37,6	69,56	1,82	37,72	68,65	0,91	1,32 %	Kapalı 1°
2	2.2.2022	12:50	2,5	36,93	92,33	2,53	37,04	93,71	-1,39	-1,48 %	Kapalı 3°
3	3.2.2022	13:30	6,94	36	249,84	6,77	36,05	244,06	5,78	2,37 %	Güneşli 4°
4	4.2.2022	12:00	3,85	37,32	143,68	3,87	37,37	144,62	-0,94	-0,65 %	Kapalı 4°
5	5.2.2022	11:30	7,24	38,72	280,33	7,21	38,74	279,32	1,02	0,36 %	Güneşli 1°
6	6.2.2022	12:30	7,41	37,47	277,65	7,38	37,56	277,19	0,46	0,17 %	Güneşli 1°
7	7.2.2022	12:30	8,00	36,56	292,48	7,83	36,76	287,83	4,65	1,62 %	Güneşli -1°
8	8.2.2022	12:25	0,83	37,08	30,78	0,85	37,17	31,59	-0,82	-2,59 %	Kar yağışlı -4°
9	9.2.2022	13:00	2,32	37,33	86,61	2,31	37,43	86,46	0,14	0,16 %	Kapalı 3°
10	10.2.2022	12:10	1,09	36,51	39,80	1,08	36,65	39,58	0,21	0,54 %	Yağmurlu 4°
11	11.2.2022	12:10	7,94	37,44	297,27	7,81	37,48	292,72	4,55	1,56 %	Güneşli 4°
12	12.2.2022	12:10	8,54	35,96	307,10	8,34	36,08	300,91	6,19	2,06 %	Güneşli 6°
13	13.2.2022	12:15	8,54	35,60	304,02	8,34	35,62	297,07	6,95	2,34 %	Güneşli 7°
14	14.2.2022	12:30	8,60	36,41	313,13	8,42	36,50	307,33	5,80	1,89 %	Güneşli 5°
15	15.2.2022	13:00	7,58	36,00	272,88	7,36	36,27	266,95	5,93	2,22 %	Güneşli 6°
16	16.2.2022	12:55	7,62	36,96	281,64	7,41	37,02	274,32	7,32	2,67 %	Güneşli 7°
17	17.2.2022	11:00	7,27	37,63	273,57	7,14	37,52	267,89	5,68	2,12 %	Güneşli 7°
18	18.2.2022	12:10	1,20	36,95	44,34	1,19	37,11	44,16	0,18	0,41 %	Kapalı 3°
19	19.2.2022	12:00	3,78	36,17	136,72	3,72	36,21	134,70	2,02	1,50 %	Kapalı 6°
20	20.2.2022	12:20	8,14	36,29	295,40	8,04	36,29	291,77	3,63	1,24 %	Güneşli 10°
21	21.2.2022	12:15	4,85	36,80	178,48	4,80	36,90	177,12	1,36	0,77 %	Kapalı 6°
22	22.2.2022	13:00	8,17	36,25	296,16	8,12	36,32	294,92	1,24	0,42 %	Güneşli 7°
23	23.2.2022	13:40	3,90	36,32	141,65	3,83	36,37	139,30	2,35	1,69 %	Kapalı 6°
24	24.2.2022	12:45	7,90	36,57	288,90	7,72	36,73	283,56	5,35	1,89 %	Güneşli 8°
25	25.2.2022	11:50	1,35	37,02	49,98	1,36	37,12	50,48	-0,51	-1,00 %	Yağmurlu 3°
26	26.2.2022	12:15	1,30	36,56	47,53	1,27	36,37	46,19	1,34	2,90 %	Kapalı 5°
27	27.2.2022	11:45	8,26	35,90	296,53	8,12	36,06	292,81	3,73	1,27 %	Güneşli 8°
28	28.2.2022	12:45	4,02	36,90	148,34	3,92	37,01	145,08	3,26	2,25 %	Kapalı 7°
Şubat Ayı Ortalama Fark									2,73	1,07 %	

Tablo B.7. Mart Ayında Ölçülen Panellerin Güç Değerleri

MART AYI PANEL GÜÇ ÖLÇÜM DEĞERLERİ											
SIRA NO	TARİH	SAAT	FOTO KATALİTİK PANEL			NORMAL PANEL			FARK		AÇIKLAMA
			AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	WATT	YÜZDE %	
1	1.3.2022	12:35	0,95	36,32	34,50	0,95	36,45	34,63	-0,12	-0,36%	Yağmurlu 5°
2	2.3.2022	12:40	0,64	35,92	22,99	0,64	35,98	23,03	-0,04	-0,17%	Yağmurlu 6°
3	3.3.2022	11:15	0,41	34,81	14,27	0,41	34,88	14,30	-0,03	-0,20%	Kapalı 6°
4	4.3.2022	13:10	9,66	37,45	361,77	9,48	37,58	356,26	5,51	1,55%	Güneşli 6°
5	5.3.2022	13:10	9,09	36,31	330,06	8,92	36,38	324,51	5,55	1,71%	Güneşli 8°
6	6.3.2022	12:15	2,16	36,98	79,88	2,15	37,10	79,77	0,11	0,14%	Kapalı 4°
7	7.3.2022	14:45	6,34	36,45	231,09	6,14	36,44	223,74	7,35	3,29%	Güneşli 10°
8	8.3.2022	11:30	2,18	36,60	79,79	2,16	36,76	79,40	0,39	0,49%	Kapalı 6°
9	9.3.2022	12:00	0,97	37,21	36,09	0,97	37,32	36,20	-0,11	-0,29%	Yağmurlu 1°
10	10.3.2022	12:05	2,35	37,82	88,88	2,31	37,93	87,62	1,26	1,44%	Yağmurlu 4°
11	11.3.2022	12:00	2,37	37,87	89,75	2,31	37,99	87,76	1,99	2,27%	Yağmurlu 4°
12	12.3.2022	12:15	0,98	35,24	34,54	0,97	35,36	34,30	0,24	0,69%	Kar yağışlı -1°
13	13.3.2022	12:35	9,34	36,22	338,29	9,16	36,35	332,97	5,33	1,60%	Güneşli 3°
14	14.3.2022	12:30	4,21	38,45	161,87	4,18	38,64	161,52	0,36	0,22%	Kar yağışlı 0°
15	15.3.2022	12:45	4,85	38,15	185,03	4,81	38,22	183,84	1,19	0,65%	Kapalı 3°
16	16.3.2022	12:50	1,58	35,35	55,85	1,53	35,45	54,24	1,61	2,98%	Bulutlu 4°
17	17.3.2022	13:30	2,26	37,55	84,86	37,67	2,21	83,25	1,61	1,94%	Kapalı 1°
18	18.3.2022	13:40	4,76	38,12	181,45	4,66	38,21	178,06	3,39	1,91%	Kapalı 1°
19	19.3.2022	12:43	2,62	38,55	101,00	2,61	38,68	100,95	0,05	0,05%	Kar yağışlı -1°
20	20.3.2022	13:45	8,59	36,41	312,76	8,36	36,43	304,55	8,21	2,69%	Güneşli 1°
21	21.3.2022	12:10	5,19	35,58	184,66	5,15	35,68	183,75	0,91	0,49%	Bulutlu 4°
22	22.3.2022	12:00	5,86	37,26	218,34	5,75	37,38	214,94	3,41	1,59%	Bulutlu 5°
23	23.3.2022	13:40	2,48	37,23	92,33	2,49	37,34	92,98	-0,65	-0,70%	Kapalı 1°
24	24.3.2022	12:35	4,71	38,07	179,31	4,67	38,18	178,30	1,01	0,57%	Kapalı 1°
25	25.3.2022	12:15	2,61	38,55	100,62	2,61	38,68	100,95	-0,34	-0,34%	Kar yağışlı -1°
26	26.3.2022	11:00	8,36	36,24	302,97	8,27	36,34	300,53	2,43	0,81%	Güneşli 1°
27	27.3.2022	13:10	10,27	35,36	363,15	10,13	35,48	359,41	3,73	1,04%	Güneşli 5°
28	28.3.2022	12:10	10,33	35,95	371,36	10,15	36,06	366,01	5,35	1,46%	Güneşli 8°
29	29.3.2022	12:25	9,61	36,16	347,50	9,41	36,31	341,68	5,82	1,70%	Güneşli 11°
30	30.3.2022	12:10	0,94	35,54	33,41	0,93	35,35	32,88	0,53	1,62%	Kapalı 10°
31	31.3.2022	11:00	8,52	35,52	302,63	8,33	35,65	296,96	5,67	1,91%	Bulutlu 12°
Mart Ayı Ortalama Fark									2,31	1,06%	

Tablo B.8. Nisan Ayında Ölçülen Panellerin Güç Değerleri

NİSAN AYI PANEL GÜÇ ÖLÇÜM DEĞERLERİ											
SIRA NO	TARİH	SAAT	FOTO KATALİTİK PANEL			NORMAL PANEL			FARK		AÇIKLAMA
			AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	WATT	YÜZDE %	
1	1.4.2022	11:30	5,82	35,7	207,77	5,6	35,8	200,48	7,29	3,64 %	Bulutlu 12°
2	2.4.2022	12:25	8,92	34,95	311,75	8,76	35,03	306,86	4,89	1,59 %	Güneşli 17°
3	3.4.2022	11:35	9,13	34,65	316,35	8,92	34,92	311,49	4,87	1,56 %	Güneşli 19°
4	4.4.2022	12:20	9,07	35,53	322,26	8,8	35,58	313,10	9,15	2,92 %	Güneşli 20°
5	5.4.2022	12:25	6,81	34,78	236,85	6,68	34,81	232,53	4,32	1,86 %	Bulutlu 19°
6	6.4.2022	12:20	2,58	35,85	92,49	2,54	35,99	91,41	1,08	1,18 %	Bulutlu 18°
7	7.4.2022	14:00	7,67	35,40	271,52	7,40	35,54	263,00	8,52	3,24 %	Güneşli 17°
8	8.4.2022	11:40	0,88	35,89	31,58	0,88	36,03	31,71	-0,12	-0,39 %	Yağmurlu 11°
9	9.4.2022	12:30	9,22	36,23	334,04	9,21	36,24	333,77	0,27	0,08 %	Güneşli 18°
10	10.4.2022	13:05	3,54	35,60	126,02	3,54	35,70	126,38	-0,35	-0,28 %	Kapalı 18°
11	11.4.2022	12:20	8,35	35,88	299,60	8,34	35,98	300,07	-0,48	-0,16 %	Kapalı 18°
12	12.4.2022	12:15	3,71	36,85	136,71	3,65	36,98	134,98	1,74	1,29 %	Kapalı 10°
13	13.4.2022	12:25	11,41	36,72	418,98	11,23	36,68	411,92	7,06	1,71 %	Güneşli 9°
14	14.4.2022	12:00	9,75	35,51	346,22	9,58	35,61	341,14	5,08	1,49 %	Güneşli 9°
15	15.4.2022	12:10	9,57	35,51	339,83	9,41	35,67	335,65	4,18	1,24 %	Güneşli 18°
16	16.4.2022	13:30	9,45	35,63	336,70	9,31	35,71	332,46	4,24	1,28 %	Güneşli 20°
17	17.4.2022	14:30	3,77	34,69	130,78	3,70	34,71	128,43	2,35	1,83 %	Bulutlu 21°
18	18.4.2022	13:40	4,39	34,82	152,86	4,29	34,95	149,94	2,92	1,95 %	Bulutlu 21°
19	19.4.2022	12:30	8,72	35,27	307,55	8,60	35,37	304,18	3,37	1,11 %	Bulutlu 25°
20	20.4.2022	12:35	8,71	35,21	306,68	8,68	35,31	306,49	0,19	0,06 %	Güneşli 21° çamurlu yağmur sonrası aşırı kirlenme
21	21.4.2022	12:15	8,66	34,85	301,80	8,67	34,96	303,10	-1,30	-0,43 %	Güneşli 22°
22	22.4.2022	12:00	5,51	34,34	189,21	5,52	34,37	189,72	-0,51	-0,27 %	Bulutlu 25°
23	23.4.2022	12:20	8,62	34,10	293,94	8,51	34,17	290,79	3,16	1,09 %	Güneşli 23°
24	24.4.2022	13:15	8,27	34,15	282,42	8,14	34,30	279,20	3,22	1,15 %	Güneşli 26°
25	25.4.2022	13:15	8,01	33,93	271,78	7,88	33,94	267,45	4,33	1,62 %	Güneşli 26°
26	26.4.2022	12:55	8,14	34,08	277,41	8,04	34,18	274,81	2,60	0,95 %	Güneşli 26°
27	27.4.2022	12:20	8,54	34,07	290,96	8,45	34,18	288,82	2,14	0,74 %	Güneşli 25°
28	28.4.2022	11:30	2,29	35,72	81,80	2,27	35,77	81,20	0,60	0,74 %	Bulutlu 20°
29	29.4.2022	11:10	2,96	35,13	103,98	2,94	35,21	103,52	0,47	0,45 %	Bulutlu 18°
30	30.4.2022	11:40	9,18	35,11	322,31	9,14	34,95	319,44	2,87	0,90 %	Güneşli 26°
Nisan Ayı ortalama Fark									2,94	1,14 %	

Tablo B.9. Mayıs Ayında Ölçülen Panellerin Güç Değerleri

MAYIS AYI PANELLERİN GÜÇ ÖLÇÜM DEĞERLERİ											
SIRA NO	TARİH	SAAT	FOTO KATALİTİK PANEL			NORMAL PANEL			FARK		AÇIKLAMA
			AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	WATT	YÜZDE %	
1	1.5.2022	11:30	0,91	35,24	32,07	0,9	35,22	31,70	0,37	1,17%	Kapalı-17°
2	2.5.2022	14:00	0,78	35,26	27,50	0,77	35,35	27,22	0,28	1,04%	Kapalı-18°
3	3.5.2022	13:20	0,73	35,11	25,63	0,72	35,26	25,39	0,24	0,96%	Yağmurlu-15°
4	4.5.2022	12:15	4,4	35,99	158,36	4,37	36,06	157,58	0,77	0,49%	Bulutlu-18°
5	5.5.2022	11:30	0,95	34,97	33,22	0,94	34,96	32,86	0,36	1,09%	Kapalı-15°
6	6.5.2022	13:35	3,64	35,88	130,60	3,58	35,86	128,38	2,22	1,73%	Kapalı-16°
7	7.5.2022	14:00	3,58	35,52	127,16	3,55	35,58	126,31	0,85	0,68%	Kapalı-13°
8	8.5.2022	12:35	4,70	37,26	175,12	4,64	37,37	173,40	1,73	0,99%	Kapalı-12°
9	9.5.2022	12:30	1,86	35,08	65,25	1,83	35,03	64,10	1,14	1,78%	Kapalı-16°
10	10.5.2022	12:15	1,67	35,58	59,42	1,66	35,63	59,15	0,27	0,46%	Yağmurlu-9°
11	11.5.2022	12:15	10,30	34,66	357,00	10,16	34,72	352,76	4,24	1,20%	Güneşli-18°
12	12.5.2022	11:30	9,09	35,63	323,88	9,04	35,66	322,37	1,51	0,47%	Güneşli-20°
13	13.5.2022	11:50	9,71	34,47	334,70	9,58	34,67	332,14	2,57	0,77%	Güneşli-20°
14	14.5.2022	12:55	9,99	35,11	350,75	9,82	35,23	345,96	4,79	1,38%	Güneşli-20°
15	15.5.2022	15:00	2,88	35,66	102,70	2,83	35,76	101,20	1,50	1,48%	Yağmurlu-9°
16	16.5.2022	13:00	9,16	35,42	324,45	9,04	35,52	321,10	3,35	1,04%	Güneşli-20°
17	17.5.2022	15:30	1,63	34,41	56,09	1,59	34,52	54,89	1,20	2,19%	Bulutlu-21°
18	18.5.2022	12:25	10,25	34,41	352,70	10,14	34,47	349,53	3,18	0,91%	Güneşli-22°
19	19.5.2022	13:50	9,31	35,02	326,04	9,13	35,14	320,83	5,21	1,62%	Güneşli-22°
20	20.5.2022	09:30	6,83	35,78	244,38	6,76	35,90	242,68	1,69	0,70%	Güneşli-15°
21	21.5.2022	12:15	9,81	35,10	344,33	9,71	35,01	339,95	4,38	1,29%	Güneşli-21°
22	22.5.2022	12:30	9,63	34,85	335,61	9,56	34,90	333,64	1,96	0,59%	Bulutlu-23°
23	23.5.2022	13:10	0,23	33,90	7,80	0,23	33,98	7,82	-0,02	-0,24%	Yağmurlu-9°
24	24.5.2022	12:30	11,56	34,95	404,02	11,46	35,05	401,67	2,35	0,58%	Güneşli-17°
25	25.5.2022	13:20	9,36	35,38	331,16	9,24	35,35	326,63	4,52	1,38%	Güneşli-19°
26	26.5.2022	12:20	9,54	35,38	337,53	9,45	35,15	332,17	5,36	1,61%	Güneşli-21°
27	27.5.2022	11:00	8,51	34,93	297,25	8,41	34,79	292,58	4,67	1,60%	Güneşli-23°
28	28.5.2022	11:40	9,27	34,08	315,92	9,16	33,96	311,07	4,85	1,56%	Güneşli-26°
29	29.5.2022	13:00	0,87	34,82	30,29	0,83	34,95	29,01	1,28	4,43%	Bulutlu-23°
30	30.5.2022	12:30	9,48	33,96	321,94	9,35	33,83	316,31	5,63	1,78%	Güneşli-28°
31	31.5.2022	12:50	1,52	33,30	50,62	1,49	33,10	49,32	1,30	2,63%	Bulutlu-28°
Mayıs Ayı Ortalama Fark									2,38	1,27%	

Havaların yağmurlu olduğu günler.

Tablo B.10. Haziran Ayında Ölçülen Panellerin Güç Değerleri

HAZİRAN AYI PANELLERİN GÜÇ ÖLÇÜM DEĞERLERİ											
SIRA NO	TARİH	SAAT	FOTO KATALİTİK PANEL			NORMAL PANEL			FARK		AÇIKLAMA
			AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	WATT	YÜZDE %	
1	1.6.2022	12:10	8,17	34,32	280,39	8,03	34,27	275,19	5,21	1,89 %	Güneşli-29°
2	2.6.2022	12:50	7,76	34,12	264,77	7,7	33,96	261,49	3,28	1,25 %	Güneşli-27°
3	3.6.2022	12:30	8,56	34,1	291,90	8,47	33,95	287,56	4,34	1,51 %	Güneşli-30°
4	4.6.2022	12:20	8,77	34	298,18	8,68	33,8	293,38	4,80	1,63 %	Güneşli-32°
5	5.6.2022	12:30	8,85	34,12	301,96	8,67	34,22	296,69	5,27	1,78 %	Güneşli-29°
6	6.6.2022	12:55	10,57	34,13	360,75	10,36	34,23	354,62	6,13	1,73 %	Güneşli-30°
7	7.6.2022	12:50	9,27	34,78	322,41	9,15	34,88	319,15	3,26	1,02 %	Güneşli-27°
8	8.6.2022	12:30	9,39	34,46	323,58	9,27	34,58	320,56	3,02	0,94 %	Güneşli-29°
9	9.6.2022	12:40	10,05	34,36	345,32	9,92	34,48	342,04	3,28	0,96 %	Güneşli-28°
10	10.6.2022	13:10	9,63	33,98	327,23	9,47	34,13	323,21	4,02	1,24 %	Güneşli-28°
11	11.6.2022	13:15	9,98	35,32	352,49	9,84	35,38	348,14	4,35	1,25 %	Güneşli-32°
12	12.6.2022	10:00	8,08	35,98	290,72	8,02	36,03	288,96	1,76	0,61 %	Güneşli-26°
13	13.6.2022	12:20	1,29	31,65	40,83	1,27	31,75	40,32	0,51	1,25 %	Kapalı -26°
14	14.6.2022	12:50	2,60	33,62	87,41	2,54	33,78	85,80	1,61	1,88 %	Bulutlu -26°
15	15.6.2022	12:40	9,81	33,88	332,36	9,66	34,05	328,92	3,44	1,05 %	Güneşli-27°
16	16.6.2022	13:00	10,24	34,76	355,94	10,11	34,72	351,02	4,92	1,40 %	Güneşli-27°
17	17.6.2022	11:30	9,26	33,99	314,75	9,15	33,85	309,73	5,02	1,62 %	Güneşli-28°
18	18.6.2022	13:30	9,12	34,13	311,27	8,98	33,96	304,96	6,30	2,07 %	Güneşli-33°
19	19.6.2022	13:50	8,62	33,98	292,91	8,48	33,92	287,64	5,27	1,83 %	Güneşli-32°
20	20.6.2022	12:20	9,42	33,83	318,68	9,27	33,63	311,75	6,93	2,22 %	Güneşli-34°
21	21.6.2022	12:15	9,25	33,96	314,13	9,16	34,04	311,81	2,32	0,75 %	Güneşli-31°
22	22.6.2022	12:34	2,98	35,63	106,18	2,91	35,77	104,09	2,09	2,00 %	Kapalı -22°
23	23.6.2022	12:10	9,51	34,04	323,72	9,38	33,88	317,79	5,93	1,86 %	Güneşli-27°
24	24.6.2022	12:00	5,55	34,85	193,42	5,40	35,05	189,27	4,15	2,19 %	Kapalı -24°
25	25.6.2022	13:10	0,23	33,35	7,67	0,23	33,44	7,69	-0,02	-0,27 %	Yağmurlu-14°
26	26.6.2022	12:40	11,40	34,90	397,86	11,25	35,00	393,75	4,11	1,04 %	Güneşli-24°
27	27.6.2022	13:00	9,70	34,16	331,35	9,59	34,25	328,46	2,89	0,88 %	Güneşli-28°
28	28.6.2022	12:40	9,54	33,85	322,93	9,42	33,96	319,90	3,03	0,95 %	Güneşli-30°
29	29.6.2022	12:30	9,80	33,90	332,22	9,68	34,05	329,60	2,62	0,79 %	Güneşli-32°
30	30.6.2022	15:30	5,62	33,37	187,54	5,49	33,86	185,89	1,65	0,89 %	Güneşli-28°
Haziran Ayı Ortalama Fark									3,72	1,34 %	

Tablo B.11. Temmuz Ayında Ölçülen Panellerin Güç Değerleri

TEMMUZ AYI PANELLERİN GÜÇ ÖLÇÜM DEĞERLERİ											
SIRA NO	TARİH	SAAT	FOTO KATALİTİK PANEL			NORMAL PANEL			FARK		AÇIKLAMA
			AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	WATT	YÜZDE %	
1	1.6.2022	11:00	8,88	33,81	300,23	8,77	33,6	294,67	5,56	1,89 %	Güneş li-30°
2	2.6.2022	12:25	9,98	35,45	353,79	9,88	35,41	349,85	3,94	1,13 %	Güneş li-28°
3	3.6.2022	12:20	9,68	34,9	337,83	9,57	34,64	331,50	6,33	1,91 %	Güneş li-29°
4	4.6.2022	15:00	7,38	34,53	254,83	7,25	34,32	248,82	6,01	2,42 %	Güneş li-31°
5	5.6.2022	11:30	9,06	34,71	314,47	8,97	34,54	309,82	4,65	1,50 %	Güneş li-28°
6	6.6.2022	12:00	9,27	34,58	320,56	9,17	34,32	314,71	5,84	1,86 %	Güneş li-32°
7	7.6.2022	12:30	9,22	34,01	313,57	9,10	33,81	307,67	5,90	1,92 %	Güneş li-33°
8	8.6.2022	12:15	9,15	33,87	309,91	9,03	33,72	304,49	5,42	1,78 %	Güneş li-35°
9	9.6.2022	14:00	8,94	33,74	301,64	8,83	33,52	295,98	5,65	1,91 %	Güneş li-34°
10	10.6.2022	12:40	9,56	33,98	324,85	9,44	33,76	318,69	6,15	1,93 %	Güneş li-36°
11	11.6.2022	13:15	9,45	33,64	317,90	9,34	33,42	312,14	5,76	1,84 %	Güneş li-34°
12	12.6.2022	12:00	9,23	33,57	309,85	9,13	33,35	304,49	5,37	1,76 %	Güneş li-33°
13	13.6.2022	12:55	9,27	33,11	306,93	9,14	33,16	303,08	3,85	1,27 %	Güneş li-33°
14	14.6.2022	12:10	9,11	33,52	305,37	8,99	33,65	302,51	2,85	0,94 %	Güneş li-34°
15	15.6.2022	12:00	8,66	33,54	290,46	8,52	33,62	286,44	4,01	1,40 %	Güneş li-30°
16	16.6.2022	12:15	8,47	33,42	283,07	8,39	33,52	281,23	1,83	0,65 %	Güneş li-35°
17	17.6.2022	12:20	9,20	33,60	309,12	9,07	33,41	303,03	6,09	2,01 %	Güneş li-34°
18	18.6.2022	12:00	9,12	33,33	303,97	8,99	33,16	298,11	5,86	1,97 %	Güneş li-32°
19	19.6.2022	12:40	9,02	33,49	302,08	8,87	33,20	294,48	7,60	2,58 %	Güneş li-36°
20	20.6.2022	11:45	9,03	33,45	302,05	8,88	33,25	295,26	6,79	2,30 %	Güneş li-33°
21	21.6.2022	11:35	9,16	33,83	309,88	9,02	33,66	303,61	6,27	2,06 %	Güneş li-34°
22	22.6.2022	13:10	9,31	33,37	310,67	9,15	33,28	304,51	6,16	2,02 %	Güneş li-33°
23	23.6.2022	12:50	9,44	33,45	315,77	9,28	33,35	309,49	6,28	2,03 %	Güneş li-32°
24	24.6.2022	10:30	7,91	34,22	270,68	7,85	34,11	267,76	2,92	1,09 %	Güneş li-25°
25	25.6.2022	11:30	8,87	33,99	301,49	8,79	33,87	297,72	3,77	1,27 %	Güneş li-28°
26	26.6.2022	12:30	9,04	33,91	306,55	8,94	33,67	301,01	5,54	1,84 %	Güneş li-32°
27	27.6.2022	11:30	9,05	33,44	302,63	8,91	33,36	297,24	5,39	1,81 %	Güneş li-31°
28	28.6.2022	12:40	9,38	33,54	314,61	9,27	33,25	308,23	6,38	2,07 %	Güneş li-34°
29	29.6.2022	11:30	8,96	33,13	296,84	8,85	32,95	291,61	5,24	1,80 %	Güneş li-32°
30	30.6.2022	11:45	8,72	33,69	293,78	8,61	33,52	288,61	5,17	1,79 %	Güneş li-33°
31	30.6.2022	13:45	8,54	33,03	282,08	8,41	32,89	276,60	5,47	1,98 %	Güneş li-33°
Temmuz Ayı Ortalama Fark									5,29	1,77 %	

Tablo B.12. Ağustos Ayında Ölçülen Panellerin Güç Değerleri

AĞUSTOS AYI PANELLERİN GÜÇ ÖLÇÜM DEĞERLERİ											
SIRA NO	TARİH	SAAT	FOTO KATALİTİK PANEL			NORMAL PANEL			FARK		AÇIKLAMA
			AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	AKIM (A)	GERİLİM (V)	GÜÇ (W)	WATT	YÜZDE %	
1	01.08.2022	11:30	8.88	33.71	299.34	8.79	33.56	294.99	4.35	1.48%	Güneşli-28°
2	02.08.2022	12:20	9.14	33.81	309.02	9.04	33.66	304.29	4.74	1.56%	Güneşli-33°
3	03.08.2022	12:20	9.07	33.01	299.40	8.94	32.82	293.41	5.99	2.04%	Güneşli-34°
4	04.08.2022	12:00	8.78	33.48	293.95	8.68	33.25	288.61	5.34	1.85%	Güneşli-35°
5	05.08.2022	14:00	8.06	33.45	269.61	7.92	33.37	264.29	5.32	2.01%	Güneşli-36°
6	06.08.2022	11:00	8.25	33.32	274.89	8.14	33.18	270.09	4.80	1.78%	Güneşli-36°
7	07.08.2022	12:00	8.73	33.24	290.19	8.63	33.12	285.83	4.36	1.53%	Güneşli-32°
8	08.08.2022	12:30	8.78	33.34	292.73	8.66	33.22	287.69	5.04	1.75%	Güneşli-34°
9	09.08.2022	11:30	8.62	33.43	288.17	8.52	33.33	283.97	4.19	1.48%	Güneşli-32°
10	10.08.2022	12:00	9.22	33.30	307.03	9.10	33.20	302.12	4.91	1.62%	Güneşli-34°
11	11.08.2022	12:30	9.23	33.24	306.81	9.12	33.10	301.87	4.93	1.63%	Güneşli-35°
12	12.08.2022	12:15	9.16	32.77	300.17	9.04	32.68	295.43	4.75	1.61%	Güneşli-36°
13	13.08.2022	12:30	9.20	32.86	302.31	9.08	32.72	297.10	5.21	1.76%	Güneşli-36°
14	14.08.2022	12:45	9.24	32.55	300.76	9.12	32.44	295.85	4.91	1.66%	Güneşli-35°
15	15.08.2022	12:15	8.83	33.88	299.16	8.71	33.75	293.96	5.20	1.77%	Güneşli-34°
16	16.08.2022	12:00	9.28	33.32	309.21	9.20	33.24	305.81	3.40	1.11%	Güneşli-33°
17	17.08.2022	12:25	9.40	33.13	311.42	9.32	32.98	307.37	4.05	1.32%	Güneşli-35°
18	18.08.2022	11:30	8.72	33.44	291.60	8.62	33.37	287.65	3.95	1.37%	Güneşli-32°
19	19.08.2022	11:40	8.93	33.31	297.46	8.82	33.18	292.65	4.81	1.64%	Güneşli-34°
20	20.08.2022	13:50	8.12	33.56	272.51	7.93	33.52	265.81	6.69	2.52%	Güneşli-36°
21	21.08.2022	12:40	8.44	33.65	284.01	8.30	33.52	278.22	5.79	2.08%	Güneşli-34°
22	22.08.2022	12:15	8.25	33.52	276.54	8.12	33.43	271.45	5.09	1.87%	Güneşli-33°
23	23.08.2022	11:30	8.15	33.65	274.25	8.04	33.52	269.50	4.75	1.76%	Güneşli-32°
Ağustos Ayı Ortalama Fark									4.89	1.70%	