



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**OTOMATİK GÜNEŞ PANELİ TEMİZLEME
YÖNTEMLERİNİN PANEL PERFORMANSINA
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

DAMLA ERİŞGİN

Danışman
Prof.Dr. Hakan ÖZCAN

SAMSUN
2022

T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



**OTOMATİK GÜNEŞ PANELİ TEMİZLEME
YÖNTEMLERİNİN PANEL PERFORMANSINA
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

Damla ERİŞGİN

Danışman
Prof.Dr. Hakan ÖZCAN

SAMSUN
2022

TEZ KABUL VE ONAYI

Damla ERIŞGİN tarafından, Prof.Dr. Hakan ÖZCAN danışmanlığında hazırlanan **OTOMATİK GÜNEŞ PANELİ TEMİZLEME YÖNTEMLERİNİN PANEL PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ** başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 8.9.2022 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
Başkan	Prof. Dr. Hakan ÖZCAN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret
Üye	Doç.Dr. Mustafa ÖZBEY Ondokuz Mayıs Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret
Üye	Dr.Öğr.Üyesi Bilal SUNGUR Samsun Üniversitesi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/>
			Kabul
			<input type="checkbox"/>
			Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY

... / ... / ...

Prof. Dr. Ali BOLAT
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI

Hazırladığım Yüksek Lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklar'da gösterilenlerden oluştuğunu, her unsurun enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığını taahhüt ve beyan ederim.

Etik Kurul Gerekli mi ?

Evet (Gerekli ise ekler kısmına ekleyiniz)

Hayır

İmza

04 /10 / 2022

Damla ERİŞGİN

TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI

Tez Başlığı : OTOMATİK GÜNEŞ PANELİ TEMİZLEME YÖNTEMLERİNİN PANEL PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 04/10/2022 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 8

Tek kaynak oranı : % 4 çıkmıştır.

İmza

04/10/2022

Prof.Dr. Hakan ÖZCAN

ÖZET

OTOMATİK GÜNEŞ PANELİ TEMİZLEME YÖNTEMLERİNİN PANEL PERFORMANSINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Damla ERİŞGİN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans, Eylül/2022
Danışman: Prof. Dr. Hakan ÖZCAN

Günümüzde nüfusun hızla artması ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte enerjiye duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Enerjiye duyulan ihtiyacın güneş gibi doğal ve yenilebilir, sınırsız bir enerji kaynağından elde edilmesi çevresel, sosyal ve ekonomik etkileri bakımından istenen bir durumdur. Fotovoltaik (FV) sistemler, ısı enerjisini elektrik enerjisine doğrudan dönüştüren sistemlerdir ve son yıllarda kullanımları hızla artmaktadır. FV sistemlerin performansları panelin üzerine gelen ve emilen güneş ışığı miktarıyla doğru orantılıdır. Bundan dolayı panel üzerine gelen ışınların panelden daha az emilmesine neden olacak toz, kir gibi faktörlerin yüzeyden uzaklaştırılması gerekmektedir.

Bu tezde mekanik ve temassız kendi kendini temizleme yöntemlerinin FV panel performanslarına etkileri üç yöntem kullanılarak deneysel olarak incelenmiştir. Birinci yöntemde (Yöntem I) levha üzerine yerleştirilen ultrasonik dönüştürücü tarafından üretilen titreşim, ultrasonik dönüştürücünün yerleştirildiği levha ile FV panel dört köşesine yerleştirilen yaylar ile FV panele aktararak, oluşan titreşimin FV panel temizliğine dolayısıyla performansına etkileri incelenmiştir. İkinci yöntemde (Yöntem II) FV panel üst kısımlarına yerleştirilen piezoelektrik dört adet aktuatör tarafından üretilen yüzey akustik ses dalgalarının panel temizliğine ve dolayısıyla panel performansına etkileri incelenmiştir. Üçüncü yöntemde (Hibrit Yöntem; Yöntem I ve Yöntem II birlikte) ise, kullanılan bu iki yöntemin bir arada yani hibrit kullanımının FV panel temizliğine dolayısıyla performansına etkileri araştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, tamamen tozlanmış ve güç üretimi olamayan bir FV panelin, Yöntem I ile göreceli maksimum güç çıkışının %53.80, Yöntem II ile %55.48'e ve Hibrit yöntem ile %68.6'ya çıkarılabileceğini göstermektedir. Ayrıca, sonuçlar panel eğim açısı arttıkça uygulanan yöntemlerin etkinliğinin arttığını göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: FV Panel, Yüzey Akustik Dalga, Panel Verimi, Panel Temizliği

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF AUTOMATIC SOLAR PANEL CLEANING METHODS ON PANEL PERFORMANCE

Damla ERIŞGİN
Ondokuz Mayıs University
Institute of Graduate Studies
Department of Mechanical Engineering
Master, September/2022
Supervisor: Prof. Dr. Hakan ÖZCAN

Today, with the rapid increase in population and the development of technology, the need for energy is increasing day by day. Obtaining the need for energy from a natural and renewable, unlimited energy source such as the sun is a desirable situation in terms of environmental, social and economic effects. Photovoltaic (PV) systems are systems that directly convert light energy into electrical energy and their use has been increasing rapidly in recent years. The performance of PV systems is directly proportional to the amount of sunlight coming on and absorbed by the panel. For this reason, factors such as dust and dirt that will cause the rays coming on the panel to be absorbed less from the panel should be removed from the surface.

In this thesis, the effects of mechanical and non-contact self-cleaning methods on PV panel performances were experimentally investigated using three methods. In the first method (Method I), the vibration produced by the ultrasonic transducer placed on the plate is transferred to the PV panel with the springs placed on the four corners of the FV panel with the plate on which the ultrasonic transducer is placed, and the effects of the vibration on the cleaning and performance of the PV panel are investigated. In the second method (Method II), the effects of surface acoustic sound waves produced by four piezoelectric actuators placed on the upper parts of the PV panel on panel cleanliness and thus panel performance were investigated. In the third method (Hybrid Method; Method I and Method II together), the effects of these two methods used together, namely hybrid use, on FV panel cleaning and thus performance were investigated.

The results show that a completely dusty and no power generation PV panel can increase the relative maximum power output to 53.80% by Method I, to 55.48% by Method II, and to 68.6% by the Hybrid method. In addition, the results show that the effectiveness of the applied methods increases as the panel tilt angle increases.

Keywords: Photovoltaic Panel, Surface Acoustic Wave, Panel Efficiency, Panel Cleaning

ÖN SÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu tez projesinde üç farklı temassız, otomatik FV panel temizlik yöntemi önerilmiştir. Ayrıca önerilen bu yöntemlerin kullanımının panel performansına etkileri detaylı bir şekilde deneysel olarak incelenmiştir.

Tez çalışmamın araştırılmasında ve yürütülmesinde bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren ve ışık tutup çalışmamı tamamlamamı sağlayan Prof. Dr. Hakan ÖZCAN hocama sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve her zaman bana destek olan aileme sonsuz teşekkürlerimi ve minnetlerimi sunarım.

Damla ERİŞGİN

İÇİNDEKİLER

TEZ KABUL VE ONAYI	i
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI	ii
TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
TABLolar DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ÖZETİ.....	5
2.1. FV Hücre	5
2.2. FV Hücre Çalışma Prensibi	6
2.3. FV Paneli Oluşturan Bölümler ve Görevleri	7
2.4. FV Hücre Performans Parametreleri	8
2.5. FV Panel Sistem Elemanları.....	11
2.5.1. Solar Şarj Regülatörü.....	11
2.5.2. İnverter (Dönüştürücü)	13
2.5.3. Batarya.....	Error! Bookmark not defined.
2.6. Dalgalar	14
2.6.1. Yüzey Akustik Dalga ve Özellikleri.....	14
2.6.2. Yüzey Akustik Dalga Oluşma Prensibi	15
2.6.3. Yüzey Akustik Dalga İle Toz Parçacığının Yüzeyden Ayrılma Analizi	156
2.6.4. Toz Parçacıklarının Giderilmesi İçin Teorik Analiz	15
2.6.5. Eğimli Panel Yüzeylerinden Toz Parçacıklarının Giderilmesi.....	158
2.7. Piezoelektrik	18
2.8. Ultrasonik Ses Dalgası ve Özellikleri	20
2.9. Ultrasonik Dönüştürücü.....	21
2.10. Ultrasonik Sürücü Devre Kartı (Ultrasonik Üreteçler)	23
2.11. Yüzey Akustik Dalga İle Toz Parçacığının Yüzeyden Ayrılma Analizi.....	28
2.12. FV Panel Temizliği ile İlgili Literatürdeki Çalışmaların İrdelenmesi.....	30
3. MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1. Deney Düzenegi	29
3.2. FV Panel Yüzeyi İçin Kullanılan Tozların Elde Edilmesi	33
3.3. Deneylerin Yapılması, Deneylerde Ölçülen ve Hesaplanan Parametreler	34
3.3.1. Akım–Gerilim–Güç Özellikleri	35
3.3.2. Toz Giderme (Uzaklaştırma) İndeksi	37

4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	38
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	51
KAYNAKÇA	54
ÖZGEÇMİŞ.....	548

SİMGELER VE KISALTMALAR

SİMGELER

A_C	: Panel Alanı
F_{ad}	: Toz parçacıklarının yüzeye yapışmasını sağlayan adezyon kuvveti
F_d	: Sürüklenme Kuvveti
F_n	: Ayırma Kuvveti
I	: Toz giderme indeksi
I_a	: Yöntem Uygulandıktan Sonraki Son Toz İndeksi
I_{ad}	: Açık Devre Akımı
I_b	: Parametrenin/yöntemin Uygulamadan Önceki Toz İndeksi
I_{MP}	: Maksimum Güç Noktasındaki Akım
I_s	: Panel Üzerine Düşen Toplam Güneş Radyasyonu
I_{SC}	: Kısa Devre Akımı
P_{max}	: Maksimum Güç
V_{MP}	: Maksimum Güç Noktasındaki Gerilim
V_{OC}	: Açık Devre Gerilimi
η	: Panel Verimi

KISALTMALAR

FF	: Doluluk Oranı
FV	: Fotovoltaik
FVDF	: Poli-Vinilidin Klorür
MPPT	: Maksimum Güç Noktası İzleme
PV	: Photovoltaics
PWM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
PZT	: Kurşun-Zirkonyum-Titanyum

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. FV Hücreden Dizi Oluşumu (Turhan ve Çetiner, 2012).....	5
Şekil 2.2. FV Hücre Çalışma Prensibi (Öztürk, 2017).....	6
Şekil 2.3. FV Paneli Oluşturan Yapılar (Çiçek ve Karatay, 2018)	7
Şekil 2.4. FV Sistemlerde Oluşan Kayıpların Toplam Üretime göre Yüzdesel Oranları (Gürbüz, 2018).....	8
Şekil 2.5. Tozlanmış ve Islanmış Paneller	9
Şekil 2.6. Elektrostatik Temizleme	10
Şekil 2.7. Büyük Kapasiteli FV Güç Üretim Sistemler (Güneş Tarlaları/Çiftlikleri)	10
Şekil 2.8. Yaygın Kullanılan Çeşitli Panel Temizleme Sistemleri	11
Şekil 2.9. Yüzey Akustik Dalganın İlerleme ve Yayılması	15
Şekil 2.10. Yüzey Akustik Dalga (Jacesko v.d, 2005).....	16
Şekil 2.11. Toz Parçacığında Akustik Dalga Etkisiyle Meydana Gelen İvmeler (Alagoz ve Apak, 2020).....	23
Şekil 2.12. Toz Parçacığına Etki Eden Kuvvetler (Alagoz ve Apak, 2020)	23
Şekil 2.13. a) Doğrudan Piezoelektrik Etki b) Ters Piezo Etki (Kocaer, 2015)	24
Şekil 2.14. Ses Dalgalarının Frekans Değerlerine Göre Sınıflandırılması (Franco ve Bartoli, 2019)	20
Şekil 2.15. Ultrasonik Ses Sınıflandırması (Franco ve Bartoli, 2019)	21
Şekil 2.16. Ultrasonik Dönüştürücü Bölümleri (Lais vd, 2018)	21
Şekil 2.1. Elektrik Enerjisinin Mekanik Enerjiye Dönüştürülmesi.....	23
Şekil 3.1. Deney Düzenineğin Farklı Açılardan Görünüşleri	29
Şekil 3.2. LEXRON LXR-025M model FV panel.....	30
Şekil 3.3. Solarmetre.....	31
Şekil 3.4. Dijital Multimetre	32
Şekil 3.5. FV panel temizliğinde Ultrasonik Dönüştürücü aracılığıyla üretilen titreşimin kullanımının şematik gösterimi (Yöntem I)	33
Şekil 3.6. Şekil 3.2. FV panel temizliğinde Yüzey akustik dalgalarının kullanımının şematik gösterimi (Yöntem II).....	33
Şekil 3.3. a) Kalın yapılı sıva kumu toz ve kalın taneli hali b) İnce yapılı sıva kumu toz ve kalın taneli hali c) Zemin şap kumu toz ve kalın taneli hali	34
Şekil 3.4. Tipik bir FV panelin akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) özellikleri.....	345
Şekil 3.9. Doluluk Faktörü.....	36
Şekil 4.5. Deneylerde Kullanılan FV Panellerin standart koşullardaki (25 °C ve 1000 W/m ²) ve deney koşullarındaki (25 °C ve 600 W/m ²) I-V ve P-V Karakteristik Eğrileri	38
Şekil 4.6. %31.3 Güç Kaybına Uğratılacak Şekilde Tozlandırılmış ve Temiz FV Panellerin I-V ve P-V karakteristik eğrileri (Panel Eğim Açısı, β=15 °; Deney Koşulları; 25 °C ve 600 W/m ²)	39
Şekil 4.7. %31.3 Güç Kaybına Uğratılacak Şekilde Tozlandırılmış Panele Uygulanan Temizleme Yöntemlerinin FV Panelin I-V karakteristik eğrilerine Etkileri (Panel Eğim Açısı, β=15 °; Deney Koşulları; 25 °C ve 600 W/m ²)	40
Şekil 4.8. %31.3 Güç Kaybına Uğratılacak Şekilde Tozlandırılmış Panele Uygulanan Temizleme Yöntemlerinin FV Panelin P-V karakteristik eğrilerine Etkileri (Panel Eğim Açısı, β=15 °; Deney Koşulları; 25 °C ve 600 W/m ²)	41
Şekil 4.9. Temiz FV Panelin I-V ve P-V karakteristik eğrileri, Doluluk Faktörü ve Panel Verimi (Panel Eğim Açısı, β=15 °)	42
Şekil 4.10. Tozlu FV Panelin I-V ve P-V karakteristik eğrileri, Doluluk Faktörü ve Panel Verimi (Panel Eğim Açısı, β=15 °)	43
Şekil 4.11. Tozlu FV Panelin, Yöntem I ile Temizlenmesinin I-V ve P-V karakteristik eğrileri, Doluluk Faktörü ve Panel Verimine Etkileri (Panel Eğim Açısı, β=15 °)	44
Şekil 4.12. Tozlu FV Panelin, Yöntem II ile Temizlenmesinin I-V ve P-V karakteristik eğrileri, Doluluk Faktörü ve Panel Verimine Etkileri (Panel Eğim Açısı, β=15 °)	45

Şekil 4.13. Tozlu FV Panelin, Hibrit (Yöntem I+Yöntem II) ile Temizlenmesinin I-V ve P-V karakteristik eğrileri, Doluluk Faktörü ve Panel Verimine Etkileri (Panel Eğim Açısı, $\beta=15^\circ$)	46
Şekil 4.10. FV Panelin Göreceli (Rölatif) Güç Çıkışının Toz Miktarıyla Değişimi	47
Şekil 4.11. Güç Kaybının FV Panel Toz Giderme (Uzaklaştırma) İndeksi ile Değişimi.....	48
Şekil 4.12. 26 mg/cm^2 Tozlandırma Düzeyinde FV Panelin Göreceli (Rölatif) Güç Çıkışının Farklı Temizleme Yöntemleri ile Değişimi (Panel Eğim Açısı, $\beta=15^\circ$)	49
Şekil 4.13. 26 mg/cm^2 Tozlandırma Düzeyinde, Farklı Temizleme Yöntemleri için FV Panel Toz Giderme (Uzaklaştırma) İndeksinin (I) Panel Eğim Açısı ile Değişimi	50

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Piezoelektrik Malzeme Çeşitleri (Akgün, 2018)	19
Tablo 3.1. LEXRON model FV panel özellik bilgileri	30
Tablo 3.2. TM-206 solar ölçüm cihazı özellik bilgileri	31
Tablo 3.3. Marxlow Dt-830d model multimetre özellik bilgileri	32

1. GİRİŞ

Günümüzde insan nüfusunun hızla artmasıyla beraber ihtiyaçların karşılanması için çok miktarda enerji kullanılmakta ve bunun sonucunda da daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte gelişen teknoloji de enerji ihtiyacına neden olmaktadır. Geleneksel kaynakların kullanıldığı enerji üretim sistemleri hem çevrenin kirlenmesine neden olmakta hem de yüksek maliyete neden olmaktadır. Bu nedenle doğa ve çevreyi kirletmeyen düşük maliyetli, sürdürülebilir sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu arayışın sonucunda doğal ve yenilebilir kaynakları kullanan sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle doğal ve yenilebilir kaynak olarak enerji üretiminde güneş enerjili sistemler, sahip olduğu sonsuz kapasite nedeniyle en fazla tercih edilen sistemler olmuştur. Fotovoltaik (FV) sistemler, yapısında bulunan FV hücreler yardımıyla güneşten gelen ışık enerjisini direk elektrik enerjisine dönüştürürler. FV panel sistemler elektriğe ihtiyaç duyulan her alanda rahatlıkla kullanılabilir. Bu nedenle doğal bir kaynak olan güneş ışığını kullanarak ihtiyaç duyulan elektrik enerjisinin üretildiği bu sistemler, her geçen gün elektrik enerjisi üretimi konusunda önemini hızla artırmaktadır. Güneş potansiyeli olan her yerde rahatlıkla kurulabilen bu sistemler ulaşım problemi yaratmayan sistemlerdir. Bu nedenle merkezi ve kırsal olmak üzere her kesimde kullanılabilir. Güneş dünyadaki her yerde ortak bir enerji üretim potansiyeli olduğundan dolayı dünya üzerindeki her ülke güneş destekli FV sistemleri kullanarak kendi elektrik enerjisini üretecek potansiyele sahiptir. Güneş enerjisini kullanarak her ülke elektrik üretimini sağlarsa bu durum ülkeler arası enerji alışverişinin önüne geçip ithalatın azalmasını sağlayacaktır. İthalatın azalması sonucunda da ülkelerin ekonomik durumları daha da güçlenecektir. FV sistemlerin avantajları yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Bu sistemler, güneş ışığını enerji kaynağı olarak kullandıklarından dolayı güneş ışığının azaldığı dönem ve mevsimlerde bu sistemlerden istenilen performans elde edilemez. Ayrıca FV panellerden elde edilen enerji üretim miktarı ile kurulacak panel alanı doğru orantılıdır. Bu nedenle, FV panellerden yüksek enerji elde edilmek isteniyorsa kullanılacak panelin sayısının dolayısıyla ihtiyaç duyulan santral alanının fazla olması gerekmektedir. Diğer yandan günümüzde halen bu sistemlerin işletme maliyetleri konvansiyonel enerji üretim sistemlerine göre düşük olsa da ilk yatırım maliyetleri oldukça yüksektir. FV enerji santrallerinde, verimlilik çeşitli faktörlere bağlı olarak değişir. Özellikle FV panellerin verimliliği sistem verimliliği üzerinde belirleyici bir

rol oynar. Panellerin üretilmesinde kullanılan malzemenin cinsi, panel kurulumundaki işçiliğin kalitesi, çevresel etmenler, panel üzerinde ki kirler ve tasarım panel verimliliğini etkileyen önemli unsurlardandır. Söz konusu unsurlara dikkat ederek mümkün olan en fazla düzeyde verimliliğin elde edilebilmesi mümkündür. Bundan dolayı yani panellerden istenilen yüksek seviyede elektrik enerjisi elde edilmesi için özellikle bakımı ve temizliği düzgün bir şekilde yapılmasına özen gösterilir. Çünkü, çevresel koşullara göre oluşan toz ve kir panellerin üzerine yapışarak güneş ışınlarının yüzeye nüfuz etmesine engel olur. Güneş panellerinde bu kirlenmelere bağlı olarak, pratik uygulamalara bakıldığında verimde %70 oranında azalmalar meydana gelmektedir (Ronnaronglit ve Maneerat, 2019; Vaghani vd, 2019).. Dolayısıyla, kirlenme nedeniyle tam olarak güneş ışını alamayan FV hücreler elektrik enerjisi üretemeyeceğinden panellerin temizlenmesi gerekir. Günümüzde panel temizliğinde ticari olarakta göreceli düşük maliyeti nedeniyle en yaygın kullanılan yöntem, panellerin deiyonize suyla mekanik olarak temizlenmesidir (Deb ve Brahmhatt, 2018). Toz ve kirlerin neden olduğu bu gölgelenme FV panellerin güç çıkışını değiştirmekte ve dolayısıyla panel ömrü üzerinde de olumsuz etkileri olabilmektedir. Bundan dolayı, FV enerji santrallerindeki paneller santrallerin kuruldukları bölgelerin özelliklerine de bağlı olarak yılda en az iki kez temizlenmesi gerekmektedir (Vasiljev vd, 2013). Son yıllardaki yoğun araştırmalara ve teknolojiye ki gelişmelere bağlı olarak FV panel temizliğinde otomatik sistemlerin veya robotların kullanımı hızla artmaktadır (Ronnaronglit ve Maneerat, 2019; Vaghani vd, 2019; Patil vd., 2018; Jawale vd., 2016, Saadsaoud vd, 2016). Bu temizleme sistemleri temaslı ve temazsız olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Geleneksel temizleme sistemleri suyun ve fırça gibi aparatların kullanıldığı temaslı sistemlere en iyi örnektir. Tün bu sistemlerin ayrıca otomotikleştirilmesi öncelenmektedir. Bu kapsamda robotların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Temaslı sistemler genellikle fazla su kullanımı içermesi ve temizleme aparatının panel ile teması söz konusu olduğundan panellerin zarar görmesine neden olabilmesi gibi dezavantajlara sahiptir. Temazsız sistemler ise bu dezavantajlara sahip olmamakla birlikte düşük panel temizleme verimlerine sahip olup, daha yüksek maliyetli yöntemlerdir. Bu sistemlerler genel olarak mekanik titreşim oluşturulmasına dayanmaktadır. Günümüzde halen, temaslı ve temazsız panel temizleme yöntemlerinin iyileştirilmesi ve yeni yöntemlerin geliştirilmesine yönelik bilimsel araştırma geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Geliştirme ve iyileştirme çalışmalarının, mevcut kullanılan yöntemlerinin sahip olduğu dezavantajları ortadan

kaldırmaya yönelik olduğu görülmektedir. Örneğin, panel üzerindeki toz parçacıklarını suya ve fırçaya ihtiyaç duymadan panel yüzeyinden uzaklaştırılması için elektrostatik itme kullanılan yeni sistemler önerilmektedir. Vakum, hava ve su jetlerinin kullanımına yönelik sistemlerde bulunmaktadır. Ayrıca, FV panelleri çevresel etkilerden daha az etkilenmesi ve performans kayıplarının önüne geçmek için kendi kendini temizleyen, foto katalitik, yansıma önleyici ve anti bakteriyel kaplamaların uygulanması üzerine araştırmalar yapılmaktadır.

Sonuç olarak, elektrik enerjisi üretiminde FV sistemler diğer elektrik enerjisi üretim sistemleri ile kıyaslandığında havayı kirletmemesi yani çevre dostu olması, yenilenebilir enerji kaynağı olması, küresel ısınmayı başka bir ifadeyle iklim değişikliğini pozitif anlamda desteklemesi ayrıca fazla su kullanımı içermeyen bir teknoloji olması nedeniyle sularda kirlenme oluşturmaması gibi birçok avantaja sahiptir. Ancak ilk kurulum maliyetinin yüksek ve enerji verimliliğinin düşük olması gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır. Ayrıca, panel üzerindeki güneş ışınlarının yoğunluğu çeşitli faktörlerden dolayı farklılık gösterir. Bu faktörlerin en önemli olanları; güneş ışınlarının geliş açısının hem günlük, hem de yıllık bazda değişiklik göstermesi, panel yüzeyinin toz/kar/kirlenme gibi çeşitli nedenlerle kaplanması, bölgenin bulutluluk oranı ve ağaç/bina gibi etkenlerden panelin gölgelenmesi neden olarak sıralanabilir. FV panellerin kısmi ve/veya tam gölgelenmeye maruz kalması, panelin güç çıkışını olumsuz etkiler ve farklı maksimum güç noktasında çalışmasına neden olarak önemli verim kayıplarına neden olur. Bu nedenle panel temizliği çok önemlidir. Bir güneş panelinin vakumla temizleme veya elle silme/temizleme gibi geleneksel yöntemlerle temizlenmesi, tipik montaj ve mekanizmalar nedeniyle kolay değildir ve bazı durumlarda mümkün değildir. Diğer yandan özellikle suyun kısıtlı olduğu çöl ve kırsal bölgelerde, geleneksel yöntemlerin kullanımında önemli zorluklar bulunmaktadır. Panel temizliğinin zamanında yapılmaması tozun panel üzerinde bir tabaka oluşturmaya ve ciddi verim kayıplarına neden olabilir, bu durum ayrıca panelin temizliğini zorlaştırabilir. Otomatik ve temazsız panel temizleme sistemleri ağırlık sensörü vb. bir çok sensör tarafından tetiklenerek ihtiyaç duyulan zaman devreye girerek yüksek verim kayıplarına neden olmadan panelin temizliğini sağlayabilir. Ayrıca, bu sistemler suya ihtiyaç duymaması nedeniyle suyun az bulunduğu çöl ve kırsal alanlardaki FV enerjisi santrallerinde ki panel temizliğinde etkin olarak kullanılabilir. Bu tez çalışmasında bu amaçlar doğrultusunda üç temassız panel temizleme yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemlerin

birinde yay ve ultrasonik dönüştürücüden oluşan bir sistem, mekanik titreşim oluşturulmasında kullanılmış, bu mekanik titreşimin panel yüzeyindeki tozun uzaklaştırılmasında ki başarısı ve panel performansına etkileri incelenmiştir. İkinci sistemde ise, piezoelektrik etki kullanılarak elde edilen yüzey akustik dalgalarının panel yüzeyindeki tozların uzaklaştırılmasındaki başarısı ve panel performansına etkileri incelenmiştir. Üçüncü yöntemde ise bu iki yöntemin birlikte kullanımının, panel yüzeyindeki tozların uzaklaştırılmasındaki başarısı ve panel performansına etkileri incelenmiştir.

Bu çerçevede hazırlanan tez beş ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm olan “Giriş” kısmında tezin konusu ve gerekçesi açıklanmıştır. İkinci bölüm olan “Genel Bilgiler ve Literatür Araştırması” kısmında FV sistemler ile ilgili bilgiler sunulmuş, FV sistemlerin performanslarına etki eden faktörler, panel temizleme yöntemleri ve panel temizliğinin panel performansına etkileri ile ilgili literatür çalışmaları irdelenmiş ve literatürde ki sunulan tezde inceleme altındaki konu ile ilişkili eksiklikler belirtilmiştir. Üçüncü bölüm olan “Materyal ve Metot” kısmında panel performans parametreleri ile bunların belirlenmesi, oluşturulan deney düzeneği, kullanılan ölçüm yöntemleri tanımlanmış, yapılan deneysel çalışmalar ile ilgili detaylı bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde elde edilen bulgular grafiklere aktarılarak detaylı bir şekilde yorumlanmıştır. Beşinci ve son bölüm olan “Sonuç ve Öneriler” kısmında ise çalışmadan elde edilen önemli sonuçlar ve bundan sonraki çalışmalara ışık tutması bakımından önerilen hususlar belirtilmiştir.

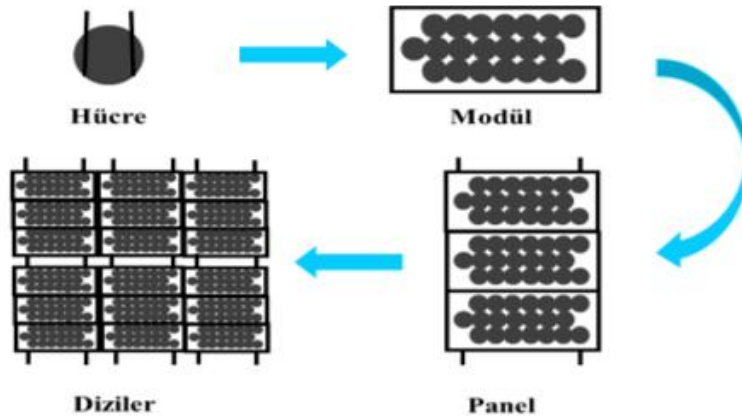
2. GENEL BİLGİLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Güneş enerjisinden, doğrudan elektrik enerjisi üretiminde kullanılan FV güneş enerji sistemi, güneş paneli başta olmak üzere, sistem türüne bağlı olarak akü, şarj kontrol cihazı ve inverter gibi diğer sistem elemanlarından oluşmaktadır.

2.1. FV Hücre

FV sistemler üzerinde bulunan ışığı emen ve bakır, arsenit, galyum gibi yarı iletken maddeler yardımıyla güneşten aldığı ışık enerjisini elektrik enerjisine çeviren yapıya FV hücre adı verilmektedir. Diğer adı güneş pili olan bu yapı kare, daire, dikdörtgen şeklinde biçimlere sahip olup alanı 100 cm² civarındadır. FV hücrelerin kalınlıkları ise en çok kullanılan silisyum FV hücre yapılarında 0.2-0.4 mm arasındadır (Ardağ, 2012).

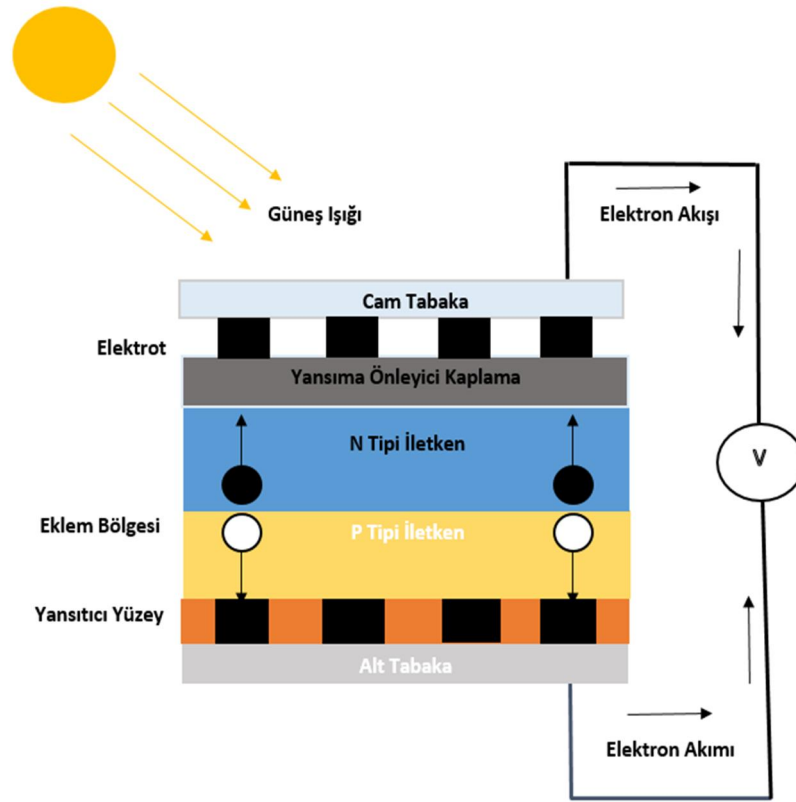
Güneş hücrelerinin tek başlarına ürettikleri enerji miktarı oldukça düşüktür. (Isler ve Salih, 2018). Bu nedenle FV sistemlerde performansı artırmak amacıyla güneş hücresi yapıları birbirine seri ya da paralel şekilde bağlanırlar. Bu bağlanma sonucunda ortaya çıkan yapıya güneş hücre modülü ya da FV modül adı verilmektedir (Ardağ, 2012). FV modül yapıları da bir araya getirildiğinde panel yapısı oluşturmaktadır. Ayrıca modül yapıları seri ya da paralel bir şekilde bağlanarak birleştirilirse MW güç değerinde üretim yapan sistemler meydana gelmektedir (Boz, 2011). FV panel yapılarının da bir araya gelerek oluşturduğu yapıya dizi adı verilmektedir. Şekil 2.1'de hücrelerin seri ve paralel bağlanma şekli ve bunun sonucunda oluşan FV hücre, modül, panel ve dizi yapısı gösterilmektedir.



Şekil 2.1. FV Hücreden Dizi Oluşumu (Turhan ve Çetiner, 2012)

2.2. FV Hücre Çalışma Prensibi

Şekil 2.2’de bir FV hücrenin çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir. Güneş hücrelerini meydana getiren yarı iletken malzemeler yasak enerji bandı ile birbirinden ayrılan iletkenlik ve valans bandı olmak üzere iki enerji bandından meydana gelmektedir. Güneş hücrenin eklemi üzerine yarı iletkenin bant aralığından büyük enerjiye sahip fotonlar düşürüldüğü zaman valans bandındaki bir elektronunun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. İletkenlik bandına çıkan elektron yerine bir tane boşluk bırakır. Bunun sonucunda elektron-boşluk çifti meydana gelmektedir.

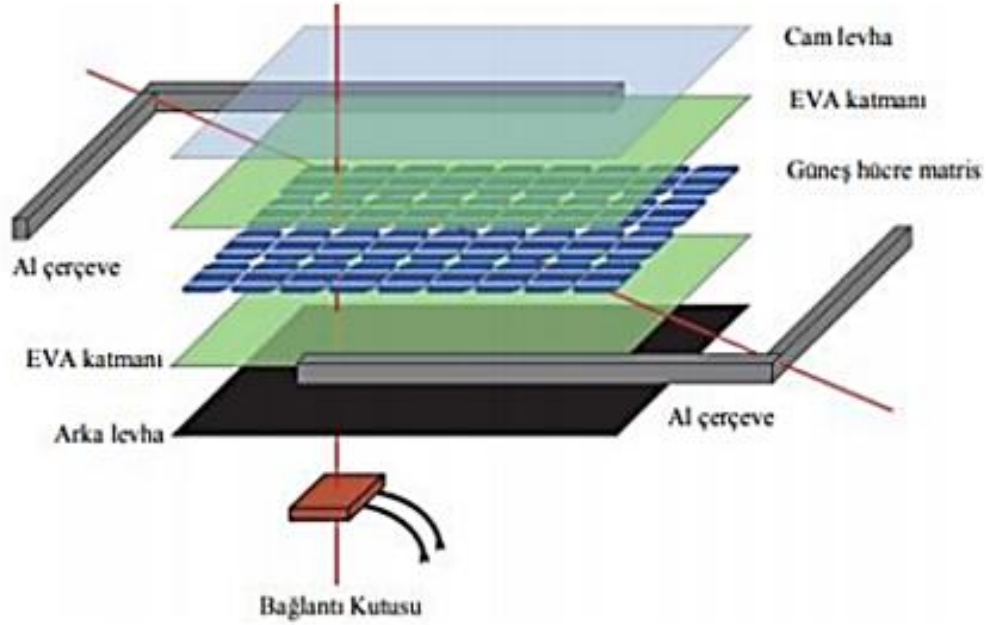


Şekil 2.2. FV Hücre Çalışma Prensibi (Öztürk, 2017)

Güneş hücrenin eklem bölgesinde meydana gelen bu olay sonucunda elektronlar ve boşluklar bu bölgedeki elektrik alan etkisiyle birbirlerinden ayrılırlar. Ayrılan elektron-boşluk çiftinden elektronlar N tipine boşluklar ise P tipine doğru hareket ederler. Bu döngü hücreye güneş ışığı geldiği sürece devam eder. Böylece güneş hücresinde bir akım meydana getirilerek güneşten gelen ışık enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülmüş olur (Öztürk, 2017).

2.3. FV Paneli Oluşturan Bölümler ve Görevleri

FV panelin bölümleri Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. FV Paneli Oluşturan Yapılar (Çiçek ve Karatay, 2018)

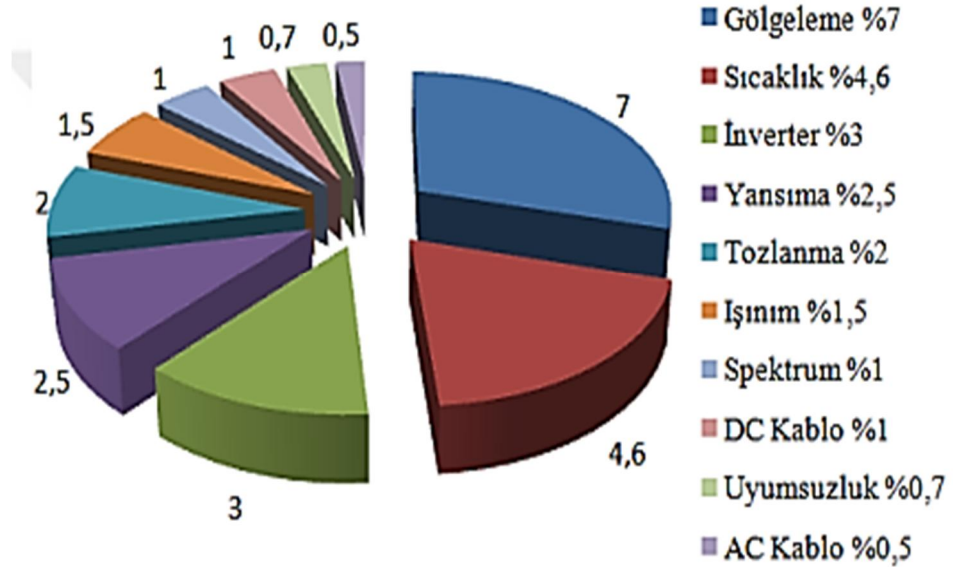
Alüminyum çerçeve, güneş panelinin birleştirme uygulamalarında rahatlık sağlaması ve paneli dışarıdan gelebilecek darbe gibi olumsuz durumlardan koruması amacıyla kullanılan yapılardır. Cam levha, kolektörün panel kısmının dış etkilere karşı korunmasını ve güneşten gelen ışınların büyük bir çoğunluğunun emilmesini sağlamak amacıyla normal camlara nazaran daha dayanıklı olarak üretilirler. Eva (Etilen Vinil Asetat) katmanı, panellerde solar hücrelerde meydana gelecek enerji kayıplarını önlemek amacıyla kullanılırlar. Güneş hücre matrisi, FV hücreler yarı iletken maddelerden oluşturulan yapılardır. Elektronlardan oluşan N tipi ile çoğunluğu boşluktan oluşan P tipi yarı iletkenler bir araya getirilerek oluşturulur. Işığın atom altı parçacığı olan fotonların yarı iletkenlerin birleştirildiği noktaya gelmesi sağlanırsa devreden akım geçişi olmaktadır. Oluşan bu akım sayesinde solar hücreler güç üretiminde kullanılırlar. Arka levha, solar hücrelerin üzerinden akım geçmesinden dolayı çevreden yalıtarak dış ortamdan etkilenmelerine engel olurlar. Bağlantı kutusu, solar hücrelerin birbirine seri olarak bağlanmasını sağlayan kablo bağlantıları ile dış bölüme bağlanan kabloların birleşim bölümüdür (Kutluca, 2020).

2.4. FV Hücre Performans Parametreleri

FV hücre verimine etki eden birçok faktör etmen bulunmaktadır. Bunlardan en önemli olanlarından bazıları aşağıda önem sırasına bakılmaksızın rastgele sıralanmıştır.

1. Güneş ışınımının spektral özellikleri
2. FV hücre yüzey malzemesinin ışınım özellikleri
3. FV hücrenin kalınlığı
4. FV hücrenin iç seri direncinden kaynaklanan kayıplar
5. Ortamdaki havanın sıcaklığı
6. Güneş ışınlarının FV hücre üzerine geliş açısı
7. FV hücrenin eğim açısı
8. FV hücrenin temizliği

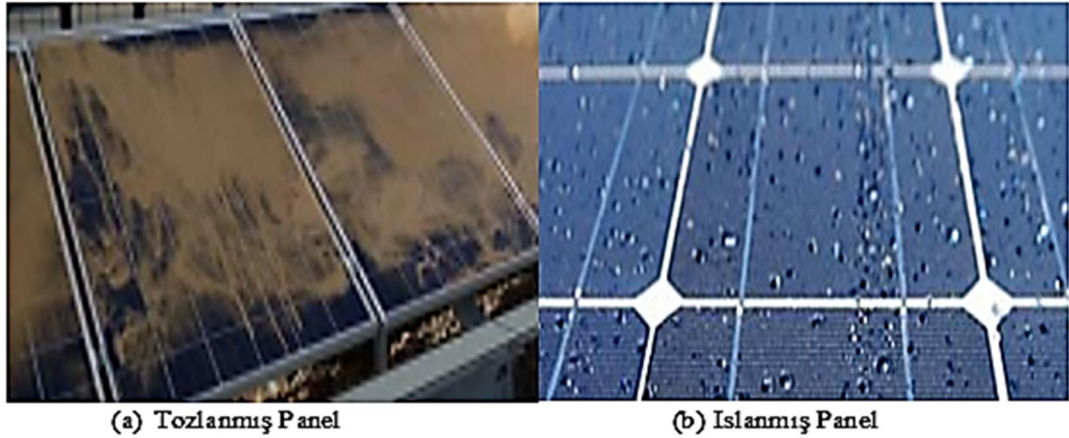
Ayrıca, örneğin günümüzde en yaygın kullanılan silikon FV hücrelerin verimi; ışık yoğunluğu veya ışınım şiddeti, izleme açısı ve hücre sıcaklığı gibi çevresel etmenlere de bağlıdır (Khan vd., 2010; Chegaar vd., 2013). Tipik bir FV sistemdeki kayıplar Şekil 2.4.'de verilmiştir.



Şekil 2.4. FV Sistemlerde Oluşan Kayıpların Toplam Üretime göre Yüzdesele Oranları (Gürbüz, 2018)

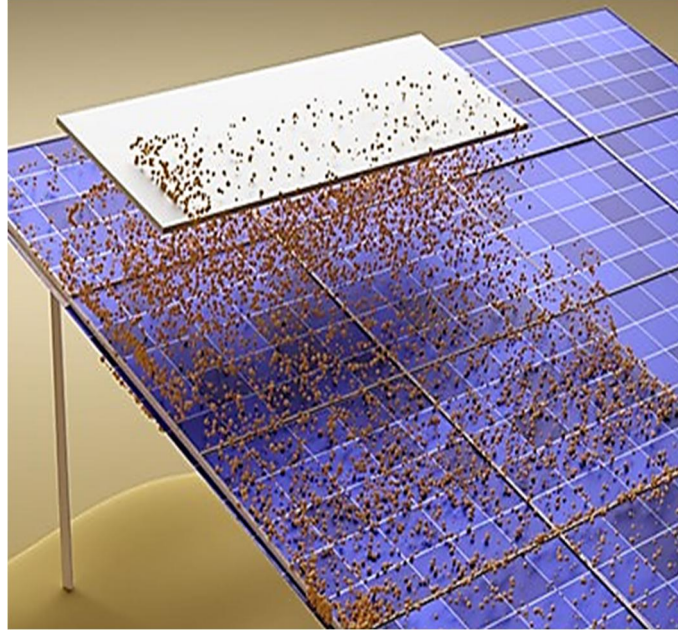
Şekil 2.4'de görüldüğü gibi tipik bir FV sisteminde tozlanma kayıpları %2 civarındadır. Bu kayıplar, herhangi bir nedenle Şekil 2.5a'da görüldüğü gibi FV modül

yüzeyinin tozlanması (veya modül yüzeyinde kar birikimi, yapraklar ve hatta kuş pislikleri) nedeniyle gelen güneş radyasyonunun azalmasından kaynaklanmaktadır (Maghami vd, 2016). Kirli panellerin artış göstermesi, üretilen elektriğin miktarını düşürmektedir. Yapılan araştırmalar, tozlanmadan kaynaklanan kayıpların özellikle yağış oranının çok az olduğu alanlarda % 15'e kadar ulaşabildiğini göstermektedir (Maghami vd, 2016; Piliouline vd, 2008). Diğer yandan, FV sistemlerde oluşan kayıplara neden olan etmenler değerlendirildiğinde verim düşüşüne neden olan kirli güneş panelleri düzeltilmesi en kolay olanıdır. Güneş panellerinin temizlenmesi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bu yöntemleri temaslı ve temassız olmak üzere iki grupta incelemek mümkündür. Temaslı sistemler güneş hücreleri ile temas ederek temizleme yaparken, temassız sistemler panele temas etmeden temizleme işlemini gerçekleştirmeyi amaçlayan sistemlerdir. Temaslı sistemlerin en büyük dezavantajları, temizleme işlemi sırasında panel ile temas söz konusu olduğundan panellerin zarar görebilmesi, belirli bir takvim içerisinde yapılabilmesi ve yüksek su kullanımı iken, temassız sistemlerin en büyük dezavantajları ise bu sistemlerin göreceli olarak temassız sistemlere göre daha pahalı olmasıdır.



Şekil 2.5. Tozlanmış ve Islanmış Paneller

Şekil 2.6'da gösterildiği gibi elektrostatik temizleme yönteminde ise güneş paneli camı altına gömülü paralel elektrotlardan oluşan bir kum itici levha bulunmaktadır. Elektrostatiklerin duran ve ilerleyen dalgası aracılığıyla elektrik perdesinin dışındaki tozu yer çekimi sayesinde panelden aşağıya doğru hareket ettirerek panel yüzeyinden uzaklaştırılır (Syafiq vd., 2018).



Şekil 2.6. Elektrostatik Temizleme

FV panellerin kendi kendine temizleme yöntemlerinden biride kaplama yöntemidir. Bu yöntem ile FV panellerin alt tabakalarının çevreden korunması yanında FV panele yeni bazı özellikler kazandırılması da mümkündür. FV panel yüzeylerinin çevresel etkilerden kaynaklı (toz, kir ve CO₂ vb.) kirlenme nedeniyle çıkış güçlerinde verim kaybını azaltmak için kendi kendini temizleyen, foto katalitik, yansıma önleyici ve anti bakteriyel kaplamalar geliştirilmektedir.

Günümüzde yüzlerce MW kurulu güce sahip büyük kapasiteli FV güneş enerjisi santralleri bulunmaktadır. Bu sistemler Şekil 2.7'de görüldüğü gibi binlerce panelden oluşmaktadır.



Şekil 2.7. Büyük Kapasiteli FV Güç Üretim Sistemler (Güneş Tarlaları/Çiftlikleri)

Büyük kurulu güce sahip FV enerji santralleri gibi çok sayıda panel içeren sistemlerde panel temizliği oldukça zor, çok su gerektiren ve pahalı bir işlemdir. Bu santrallerde ticari olarak kullanılan en yaygın yöntemler halen temaslı sistemlerdir. Şekil 2.8’de yaygın kullanılan panel temizleme yöntemleri gösterilmiştir. Özellikle çok sayıda paneli bünyesinde barındıran büyük kapasiteli sistemlerde hem zaman hem de su tüketimi açısından, mevcut temaslı sistemlerin daha otomatik hale getirilmesi, hem de temassız sistemler gibi alternatif sistemlerin geliştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.8. Yaygın Kullanılan Çeşitli Panel Temizleme Sistemleri

2.5. FV Sistem Elemanları

FV güneş enerji sistemi, güneş paneli ve sistem türüne bağlı olarak akü, şarj kontrol cihazı ve inverter gibi diğer sistem elemanlarından oluşmaktadır.

2.5.1. Şarj Kontrol Cihazı

Solar şarj cihazı, güneş panelinden gelen akım ve voltajı düzenleyerek akünün şarj edilmesini sağlayan ve şarj işlemi tamamlandıktan sonra panelden gelen akımı keserek akünün zarar görmesini engelleyen cihazlardır. Şarj kontrol cihazları aküleri hem aşırı şarj hem de deşarjdan koruyarak kullanım ömürlerini uzatırlar. Panel sistemlerinde kullanılan akü cihazlarının belirli bir maksimum gerilim değeri vardır. Akünün bu maksimum gerilim değeri solar şarj regülatörü cihazına belirtilir. Solar şarj regülatörü belirtilen bu maksimum gerilim değerine göre FV panelin çıkış gerilimine göre akünün şarj olmasını sağlar ve maksimum gerilim değerine ulaştıklarında aküye gelen akımın kesilmesini sağlayarak aküyü aşırı yüklenmekten koruyarak akünün daha uzun ömürlü olmasını sağlarlar. FV panel sistemlerinde darbe genişlik modülasyonu (PWM) ve maksimum güç noktası izleme (MPPT-Maximum Power Point Tracking) olmak üzere iki tip solar şarj düzenleyici kullanılmaktadır. Sistemlerde kullanılacak solar şarj regülatörü çeşidi sistemin ihtiyacı ve uygulama türüne göre belirlenmektedir. Düşük güce sahip FV sistemler için aküye ulaşan geriliminin değişimine göre ayarlama yapan PMW regülatörler en fazla tercih edilen cihazlardır. Bu tip regülatörler aküye gönderilen gerilimin sıklığını ve süresini ayarlanmasını sağlarlar. MPPT tip şarj regülatörleri ise yüksek gerilim değerine sahip akülerde kullanılmaktadır. Bu tip şarj regülatörleri sistemde maksimum güç noktasını takip ederek çalışırlar. Sistemdeki güç noktası değiştiğinde güç noktasının sabit değerde tutarak gerilim değeri düştüğünde akımı yükselterek akünün düzgün bir şekilde şarj olmasını sağlarlar. Maliyetleri PMW şarj regülatörlerine göre daha yüksektir. Verim değerleri %90 değerinde olup oldukça yüksektir. Ayrıca PMW şarj regülatörlerine göre aküye %10-%30 daha fazla miktarda güç ulaşmasını sağlarlar. Solar şarj regülatörü panel ve akü arasındaki dengeyi sağlayan bir cihaz olduğundan dolayı sistemde kullanılacak regülatörün seçimi panel ve akünün sağladığı güç değerine göre yapılmaktadır. Panele göre şarj regülatörü seçimi yapılırken panelin performansı ve kullanılacak panel sayısı dikkate alınmaktadır. Panele göre seçim yapıldığında sistemde PMW tip şarj regülatörü kullanılması için panel gücünün 450 watt ve 40 amper saat değerini aşmaması gereklidir. Bundan daha fazla güce sahip panellerde MTTP tip şarj regülatörü kullanılması gerekmektedir. Aküye göre şarj regülatörü seçimi akünün gücü ve türüne yapılmalıdır (Çelik, 2019).

2.5.2. İverter (Dönüştürücü)

Dönüştürücü anlamına gelen bu cihaz elde edilen doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesini sağlayan aletlerdir. İverter cihazlar sistemde bulunan aküden gelen doğru akımı istenilen gerilim, güç ve frekansta alternatif akıma dönüştürürler. Bu akım türü aydınlatma, ısıtma, şarj etme gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Bu nedenle panel sistemlerinde inverter yardımıyla doğru akım alternatif akıma dönüştürülür. Panel sistemlerinde inverter kullanılmasındaki amaç sistemsel hata ve kayıpların önüne geçerek tasarruf sağlanması ve bu sayede cihazların uzun ömürlü olmalarının sağlanmasıdır. Bu nedenle FV sistemler için seçilecek dönüştürücüler bağlı olduğu sisteme göre enerji kaybına neden olmadan en yüksek verimle dönüşüm yapabilmeli ve istenilen süre kadar performans gösterecek özellikte olmalıdır(Bakıcı). İverter cihazların kare ve tam sinüs dalga üretimi olmak üzere iki çeşidi bulunmaktadır. İverter şebekeden gelen gerilim hatalarını filtre devresinden geçirerek temizleyen bu cihaz gerilim kaynağı olan motor ve mekanik parçaların hatalarını önleyerek bakım ve tamir ihtiyacını, maliyet ücretlerini en aza indirir. Bu sayede sistemde çalışan parçaların daha fazla uzun ömürlü olmalarını sağlar. Sinüs dalga üreten inverterlar hassas sistemler için kullanılır. Ancak değiştirilmiş yapıdaki inverterlar gerçek bir sinüs dalgası gibi elektrik çıkışı vermediğinden dolayı hassas yapıdaki cihazlarda arızaya neden olurlar. Bu nedenle hassas cihazlarda arızaya neden olmamak için saf sinüs dalga üreten cihazlar tercih edilmelidir. Kare dalga üreten inverterler hassasiyet gerektirmeyen aydınlatma ve ısıtma gibi sistemlerde kullanılırlar. FV panel sistemlerde seçilecek inverter için kurulacak yüzeyin özellikleri, sistemin kurulduğu yer, FV sistemin ürettiği güç miktarı gibi faktörler göz önüne alınarak seçim ve kurulum yapmak gerekmektedir. Bu durum sistemde dönüştürücüden kaynaklanan performans kayıplarının önlenmesi açısından oldukça önemlidir. FV panel sistemlerde kullanılan bu cihazlardan kaynaklanan elektronik hatalar da performans kayıplarına neden olmaktadır. Bu hataların en aza indirilmesi için inverterlerin elektronik kontrollerinin kontrol ve bakımının düzenli aralıklarla yapılması oldukça önem taşımaktadır.

2.5.3. Batarya

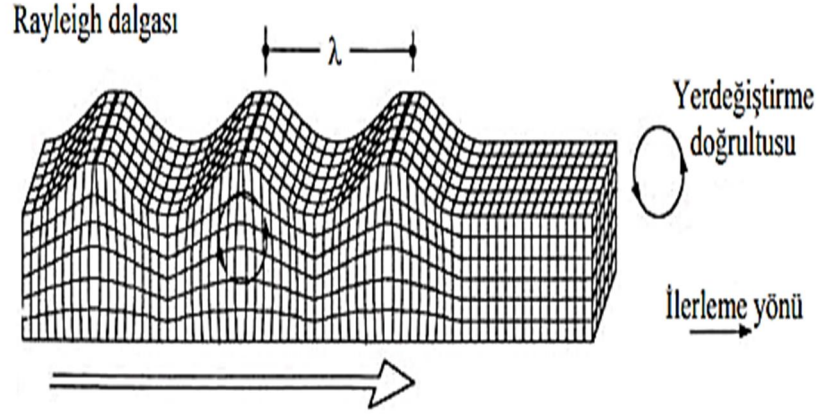
Depolamalı yani şebekeden ayrı (Off-Grid) FV sistemler genellikle elektrik şebekesinin olmadığı yerler için değerlendirilirler. Sistemde güneş paneli ve inverterin yanı sıra akü ve şarj kontrol cihazı gibi temel sistem bileşenleri bulunmaktadır. Durağan yerlerde kullanılan aküler sabit tesis/stasyonier tip olarak tanımlanmaktadır. Rüzgar ve Güneş Enerjisi uygulamalarında da bu tip ürünler tercih edilmektedir. Bilindiği üzere solar sistemlerde kullanılan aküleri durağan/sabit konumda kullanılır ve marş özelliğine ihtiyaç duyulmaz. Akü kalitesi bu sistemler için oldukça önemlidir. Bundan dolayı güneş enerji sistemlerinde kullanılan akü çeşitleri; jel aküler, özel opzs tip sulu aküler ve derin çevrimli bazı kurşun asit aküler olarak sıralanabilmektedir.

2.6. Dalgalar

Dalga her ortamda yayılma gösterebilen enerjinin taşınmasına yol açan titreşime denir. Dalgalar titreşim doğrultusuna ve taşıdıkları enerjiye göre ikiye ayrılmaktadır.

2.6.1. Yüzey Akustik Dalga ve Özellikleri

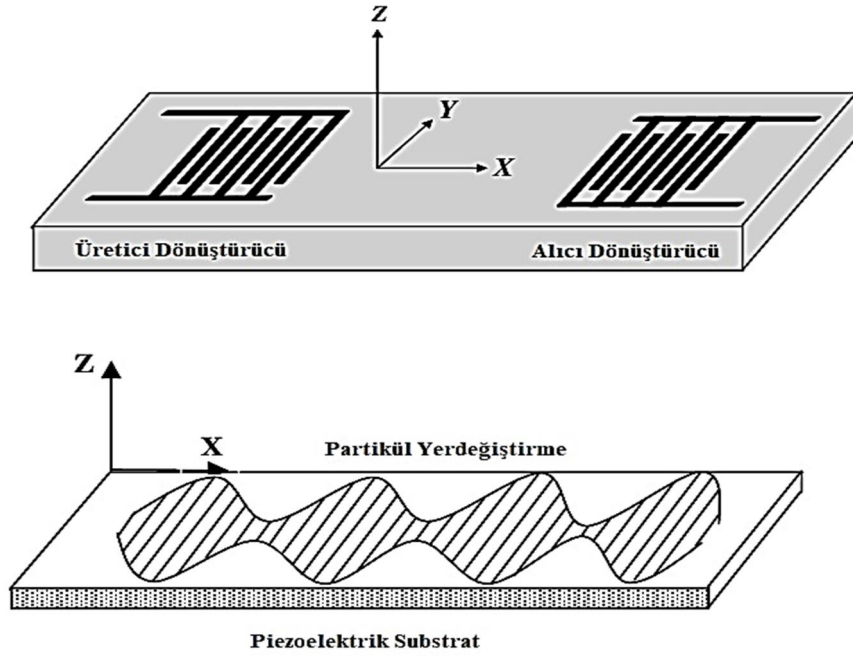
Yüzey akustik dalga katı veya sıvı gibi malzemelerin yüzeyinde ilerleyen ve malzemenin derinlik miktarına bağlı olarak hareket miktarında azalma yaşanan bir akustik dalga türüdür. Yüzey dalgası olarak adlandırılan rayleigh dalgalar ilk olarak 1885'te Lord Rayleigh tarafından keşfedilmiştir. Şekil 2.9'da yüzey akustik dalganın ilerleme ve yayılması gösterilmiştir. Rayleigh dalgalar yayılma doğrultusunda S dalga olarak adlandırılan deprem dalgalarına göre daha yavaş hareket ederler. Ayrıca bu dalgalar diğer dalga türlerinden farklı olarak ilerlediği yüzeyin derinlik miktarı arttıkça titreşim genliklerinde büyük bir azalma meydana gelir. Zemin üzerinde yayılan akustik dalgalar birim hacimde meydana gelen değişim ve kayma gerilmelerinin etkisi sonucunda yüzeyde değişiklik meydana getirirler. Yüzey akustik dalganın ilerlediği yüzey derinliğinde dairesel bir yayılma hareketi gösterirler. Yani taneciklerin hareketi ilerleme yönü boyunca düşey bir düzlem içerisinde saat yönünün tersine ilerleyen bir elips şeklindedir. Bu elips hareketi yüzey akustik dalganın ilerlediği yüzeyin derinlik miktarının artmasıyla azalış gösterir. Yüzey akustik dalganın meydana gelebilmesi için homojen serbest bir yüzey ile yarı sonsuz bir ortamın bulunması zorunludur. Bu şart ortamlarında meydana gelen yüzey akustik dalgalar yarı sonsuz ortamda yüzeye paralel olarak yayılım gösterirler (Apak, 2019).



Şekil 2.10. Yüzey Akustik Dalganın İlerleme ve Yayılması

2.6.2. Yüzey Akustik Dalga Oluşma Prensibi

Şekil 2.10'da gösterildiği gibi bir yüzey akustik dalga cihazının çalışması piezoelektrik substrat maddenin yüzeyine yakın bir şekilde akustik dalganın yayılması prensibine dayanmaktadır. Bu dalganın yüzeyde hapsolmesi gerektiği aksi takdirde şekil değiştirmesi anlamına gelmektedir. Yüzey akustik dalganın enerjisi yüzeye yakın bir bölge ile sınırlıdır ve birkaç dalga boyu kalınlığına sahiptir. Yüzey akustik dalga cihazları piezoelektrik malzeme üzerinde giriş ve çıkış olmak üzere iki tane dönüştürücü şeklinde temsil edilmektedir. Cihaz üzerindeki giriş dönüştürücüsü dalga oluşturur çıkış dönüştürücü ise bu oluşan dalgaları alır. Aşağıdaki resimde bir yüzey akustik cihazının elemanları ve çalışma prensibi gösterilmiştir. Yüzey akustik dalga yer değiştirirken yüzeyden geometrik azalma göstererek ayrılırlar bu nedenle yüzey akustik dalganın enerjisi üzerinde ilerlediği substrat malzemenin derinliği ile sınırlı olmaktadır.

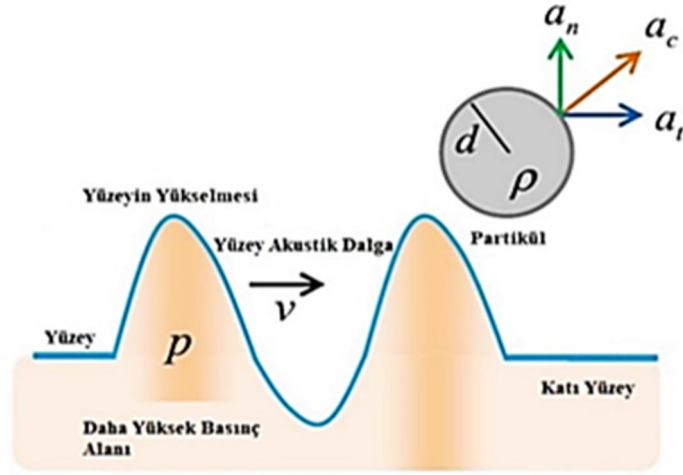


Şekil 2.11. Yüzey Akustik Dalga (Jacesko vd, 2005)

Yüzey akustik dalga üreten cihazların temel prensibi piezoelektrik mantığına dayanmaktadır. Bu nedenle yüzey akustik dalga üreten cihazların çalışma mantığının anlaşılabilmesi için piezoelektrik malzemeler ve bu malzemelerin yarattığı etkilerin bilinmesi gerekmektedir.

2.6.3. Yüzey Akustik Dalga İle Toz Parçacığının YüzeYden Ayrılma Analizi

Toz parçacıkları FV panelin ön cam yüzeyi üzerine tutunur. Havayla temas halindeki kati bir cisim yüzeyle bir arayüz meydana getirir. Yüzey akustik dalgalar yüzeyin yakınında birim hacimdeki basınç değişikliği sonucu oluşan dalgalardır. Bunun sonucunda akustik dalgalar yüzey elemanlarında titreşim meydana gelmesini sağlarlar ve bu sayede toz parçacıklarına atalet kuvveti uygularlar (Alagoz ve Apak, 2020). Şekil 2.12’de toz parçacığında yüzey akustik dalga etkisiyle hız kazanması nedeniyle meydana gelen ivmeler gösterilmiştir.

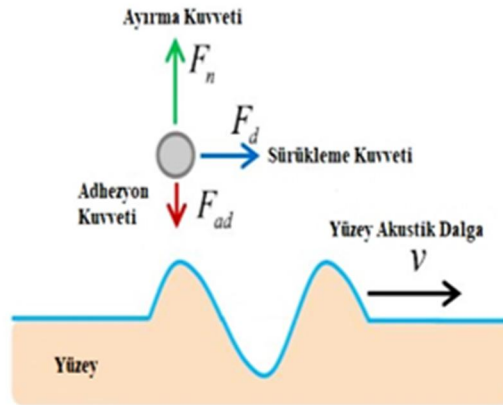


Şekil 2.11. Toz Parçacığında Akustik Dalga Etkisiyle Meydana Gelen İvmeler (Alagoz ve Apak, 2020)

Yüzey akustik dalganın etkisiyle akustik temizlemenin başlatılabilmesi için toz parçacığının anlık ivmesinin maksimum değeri minimum temizlik ivme değerinden daha büyük bir değerde olmak zorundadır (Alagoz ve Apak, 2020).

2.6.4. Toz Parçacıklarının Giderilmesi İçin Teorik Analiz

Toz parçacıklarının yüzeye yapışmasını sağlayan adezyon kuvveti (F_{ad}) ve yüzeyden ayrılmasını sağlayan kuvvetler de ayırma (F_a) ve sürüklenme (F_d) kuvvetleridir. Şekil 2.12’de toz parçacığının yüzey üzerinde maruz kaldığı kuvvetler ve yüzey akustik dalga yayılımı (V) gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Toz Parçacığına Etki Eden Kuvvetler (Alagoz ve Apak, 2020)

Cisimlerin yüzeye yapışmasına neden olan kuvvete adezyon kuvveti, toz parçacıklarının buldukları yüzeye yapışması da adezyon kuvvetinin bir sonucu olarak meydana gelir. Toz parçacıklarının atomları ve temas yüzeyi elemanları arasında meydana gelen adezyon kuvveti Van der Waals kuvvetlerinin etkisi sonucu oluşan bir kuvvet türüdür (Alagoz & Apak, 2020). Yüzey akustik dalga yöntemiyle adezyon kuvvetinin etkisindeki toz parçacıklarının hız kazanması iki kuvvetin ortaya çıkmasına neden olur. Bu kuvvetler yüzeyden ayırma kuvveti ve sürüklenme kuvvetidir.

Toz parçacıklarının yüzey akustik dalga tarafından toz parçacığının yüzeyden ayrılmasını sağlayan ayırma kuvveti, meydana gelen ivme ve partikülün kütleli büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Yüzey akustik dalga ile toz parçacıklarının yüzeyden temizlenebilmesi için ayırma kuvvetinin yapışma kuvvetinden daha büyük olması gerekir. Toz parçacıklarının akustik dalga etkisiyle yüzeyde hareket ederek sürüklenmesi, sürüklenme kuvveti tarafından gerçekleşir. Sürüklenme kuvveti parçacık ivmesinin teğet bileşeninin etkisiyle meydana gelir. Bu nedenle sürüklenme kuvveti kütle ve teğet ivme bileşeni ile doğru orantılıdır. Yüzey üzerinde bir toz parçacığının sürüklenerek hareket edebilmesi için sürüklenme kuvvetinin yapışma kuvveti olan adezyon kuvvetinden daha büyük bir değerde olması gerekir (Alagoz ve Apak, 2020).

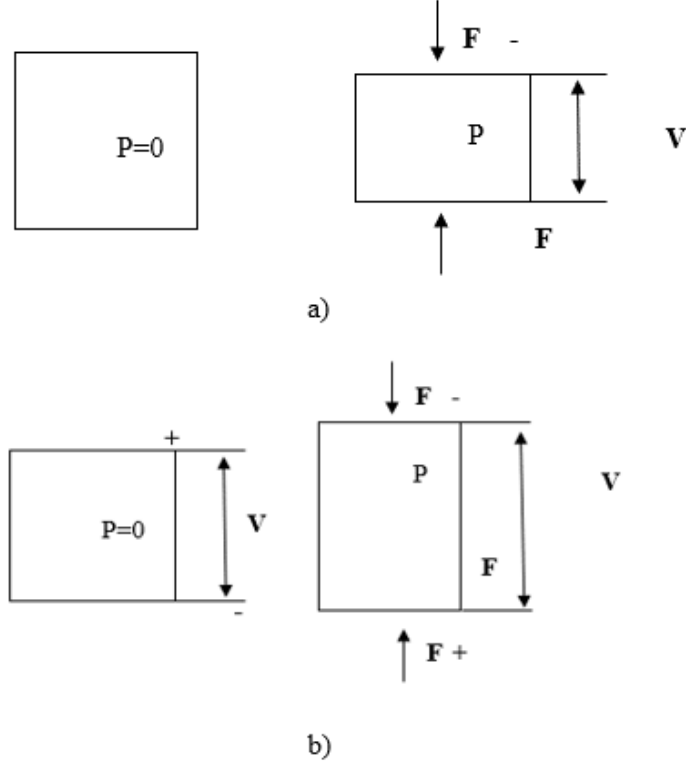
2.6.5. Eğimli Panel Yüzeylerinden Toz Parçacıklarının Giderilmesi

Toz parçacıkları boyut olarak büyüdükçe kütle miktarı artacağından dolayı yer çekim kuvvetinin etkisiyle parçacıkları yüzeyden ayırmak için daha fazla ayırma kuvveti uygulamak gerekir. Bu nedenle yüzeyden kaldırılan toz parçacıklarının kütle ve ağırlığı parçacıklara uygulanacak ayırma kuvvetini belirlemede büyük öneme sahiptir (Alagoz ve Apak, 2020).

2.7. Piezoelektrik

Piezo kavramı Yunanca basınç anlamına gelmekte olup ilk kez 1880 yılında Pierre ve Jacques Curie kardeşler tarafından keşfedilmiştir. Curie kardeşler turmalin ve kuvars gibi kristal yapıları malzemelerin yük etkisiyle sıkıştırılarak malzeme üzerinde meydana gelen basınçla orantılı bir şekilde pozitif ve negatif yüklerin oluştuğunu ve bu yüklerin zıt kutuplarda toplandıklarını gördüler. Bunun sonucunda Curie kardeşler tarafından doğrudan piezoelektrik etki keşfedilmiş oldu. Bu keşif sonucunda 1881

yılında Gabriel Lippman tarafından malzemelere elektriksel etki uygulandığında şekil ve boyutlarında değişim meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu duruma dolaylı yani ters piezoelektrik etki adı verilmiştir. Şekil 2.13’de doğrudan ve ters piezo etki gösterilmektedir (Akgün, 2018).



Şekil 2.13. a) Doğrudan Piezoelektrik Etki b) Ters Piezo Etki (Kocaer, 2015)

Tablo 2.1’de verildiği üzere piezoelektrik malzemeler farklı yapıdaki kristal malzemelerin kullanılmasıyla elde edilmektedir. Bir malzemede piezoelektrik özelliğin olması için kutuplaşma özelliğine sahip olması gerekmektedir. Bunun içinde piezoelektrik malzemede simetri ekseni olmayan kristallerin kullanılması gerekmektedir (Gök vd, 2019). Aşağıdaki tabloda en çok kullanılan piezoelektrik malzeme çeşitleri gösterilmiştir.

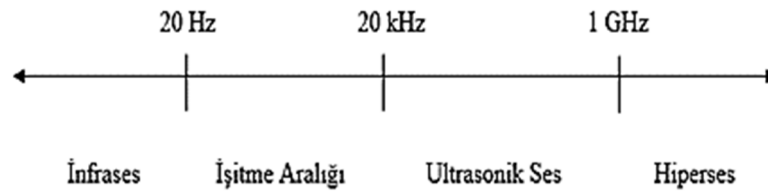
Tablo 2.1. Piezoelektrik Malzeme Çeşitleri (Akgün, 2018)

PİEZO ELEMANI	MALZEME TÜRÜ
Kuvars (SiO_2)	Kristal
Baryum Titanat (BaTiO_3)	Seramik
Kurşun-Zirkonyum-Titanyum(PZT-4 ve PZT-8)	Seramik
Poli-vinilidin-klorür (FVDF)	Polimer

En çok kullanılan doğal yapıdaki piezoelektrik kristaller kuvars, rochelle tuzu ve turmalindir. Bu doğal yapıdaki piezoelektrik özellikteki kristaller kararlı yapıda olduklarından dolayı genellikle algılayıcı, mikrofon, osilatör, ölçüm cihazları, dalga frekans kontrolünde kullanılırlar. Kurşun, zirkonat ve titanat elementlerinden meydana gelen (PZT) piezo seramik içerisine farklı katkı malzemeleri eklenerek üstün özellikler elde edilebilen ve günümüzde kullanımı en çok tercih edilen piezoelektrik malzemedir. Piezo seramik malzemeler tahribatsız muayene, ultrasonik temizleme, sonar algılama cihazlarında kullanılmaktadır. PZT malzeme metal malzemelerden meydana gelmesinden dolayı fiziksel olarak güçlü bir yapıya sahip ancak kimyasal olarak aktif olmayan ve üretimi diğer piezoelektrik malzemelere göre ucuz olan malzemelerdir. PZT ve çeşitleri ile $BaTiO_3$ ticari ve teknolojik alanda en çok kullanılan piezoelektrik seramik malzemelerdir. Bu malzemeler genellikle dönüştürücü ve aktüator hareket motorlarının üretiminde tercih edilmektedir. Poli-Vinilidin Klorür (PVDF) polimerleşme tepkimesi sonucu oluşan polimer yapıdaki piezoelektrik malzemelerdir (Akgün, 2018).

2.8. Ultrasonik Ses Dalgası ve Özellikleri

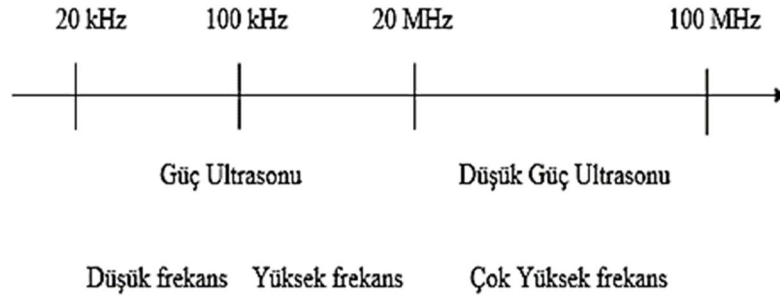
İnsan kulağı 20 Hz ve 20 kHz frekans aralığındaki sesleri duyma kabiliyetine sahiptir. İşitme aralığında ki 20 kHz frekans değerinden daha büyük frekansa sahip ses dalgalarına ultrasonik ses dalgası adı verilmektedir. Bu ses dalgalarını Şekil 2.14’de gösterilmiştir..



Şekil 2.14. Ses Dalgalarının Frekans Değerlerine Göre Sınıflandırılması (Franco ve Bartoli, 2019)

Şekil 2.15’te gösterildiği gibi ultrasonik sesler frekans aralığına göre üç grupta sınıflandırılmaktadır. Bunlar düşük frekanslı (20-100 kHz) ses, yüksek frekanslı (100 kHz-1 MHz) ses ve çok yüksek frekanslı (1-500 MHz) ses olmak üzere sınıflara ayrılmaktadır. Ses dalgalarının frekans değeri ile şiddeti ters orantılı olarak değişmektedir. Bu nedenle düşük ve yüksek frekanslı sesler yüksek güçte ultrasonik

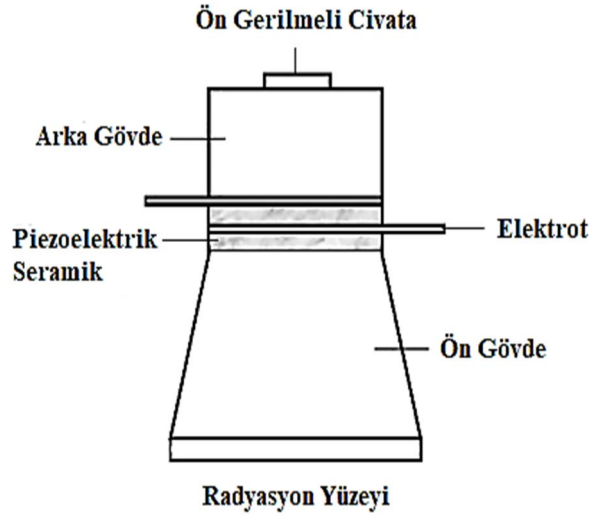
ses, çok yüksek frekanslı sesler ise düşük güçte ultrasonik sesler grubuna girmektedir (Franco ve Bartoli, 2019).



Şekil 2.15. Ultrasonik Ses Sınıflandırması (Franco ve Bartoli, 2019)

2.9. Ultrasonik Dönüştürücü

Ultrasonik ses dalgalarını üretmek amacıyla kullanılan cihazlara ultrasonik dönüştürücü adı verilmektedir. Şekil 2.16'da bir ultrasonik dönüştürücü bölümleri gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Ultrasonik Dönüştürücü Bölümleri (Lais vd, 2018)

Ultrasonik dönüştürücüler piezoelektrik malzeme yardımıyla elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesini sağlayan elemanlardır. Mekanik enerjinin üretilmesinde ultrasonik dönüştürücü olarak genellikle langevin cıvatalı tip dönüştürücüler kullanılmaktadır (Adachi vd, 1999). Bu tip dönüştürücüler piezoelektrik malzemelerin bir tane cıvata ve iki tane metal gövde tarafından iletken bakır elektrotlar arasına sıkıştırıldığı bir sistemden meydana gelmektedir.

Piezoelektrik malzemelerin cıvata ve kütleler tarafından sıkıştırılması malzemeye basınç kuvveti uygulayarak yüksek genlikli bir şekilde salınım yapmasını sağlar.

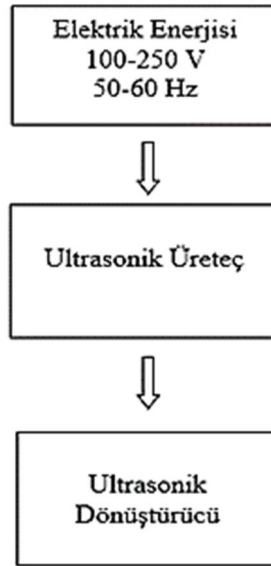
Ayrıca metal gövdeler piezoelektrik malzemenin rezonans frekans değerinin büyük ölçüde azalmasını sağlayarak daha fazla titreşim elde edilmesini sağlar. Aşağıdaki şekilde bir piezoelektrik ultrasonik dönüştürücü gösterilmektedir (Yasui, 2018).

Ultrasonik dönüştürücülerin malzeme ve tasarım özellikleri üretilen genlik miktarı üzerinde önemli etkilere sahiptir. Ultrasonik dönüştürücülerini oluşturan yapılarda kullanılan malzemeler birbirlerinden farklı özelliklere sahiptirler. Tipik bir korna tipi ultrasonik dönüştürücü merkezde bir cıvata, piezoelektrik malzeme, konik şeklinde ön gövde ve silindirik yapıda bir arka gövdeden meydana gelmekte ve bunlar farklı malzemelerden oluşmaktadır. Merkezde bulunan cıvata ön gerilmeyi sağlamak ve sesin iletimi amacıyla metal bir malzemedan yapılmaktadır. Piezoelektrik malzeme olarak dönüştürücülerde genellikle PZT-4 veya PZT-8 tip piezo seramik malzemeler kullanılmaktadır (Aslan vd, 2016). Dönüştürücülerde ön gövde için hafif ve iletken yapıya içi dolu alüminyum malzeme arka gövde de ağır ve iletkenliği daha düşük yapıya içi boş metal malzemeler kullanılmaktadır. Bunun nedeni piezoelektrik malzemenin ürettiği akustik enerjinin kayba uğramadan ön gövdeye iletilmesini sağlamaktır. Ayrıca metal gövdelerin görevi içerisine akan akustik dalga enerjisinin emilmesine neden olarak dalga yankılanmasının sönümlenmesini sağlamaktır. Bu sayede yankılanan akustik dalga ardışık ses etkisi meydana getirerek akustik titreşimin oluşma süresinin uzamasına neden olur. Bir malzemedeki en fazla titreşim meydana geldiği frekans değerine rezonans frekansı adı verilmektedir. Aynı durum piezoelektrik malzemeler içinde geçerlidir. Bu nedenle ultrasonik dönüştürücülerin frekans değerleri piezoelektrik malzemelerin rezonans frekans değerlerine göre belirlenmektedir. Bu değer kütle ve malzemenin sertliğine bağlı olarak değişen bir frekans değeridir. Eğer bir malzemenin yoğunluğu sabitse frekans değeri malzemenin hacim ve şekli ile belirlenir. Bir sesin hacmi arttıkça rezonans frekansı azalır. Frekans değeri arttıkça titreşimin temizleme gücü azalır. Rezonans halinde yani zorlama frekansının doğal rezonans frekansına eşit olduğu durumda titreşim değeri maksimum değerdedir. Bu nedenle ultrasonik dönüştürücüler genellikle rezonans frekans değerinde çalışırlar. Ultrasonik temizlemede kullanılan ultrasonik dönüştürücüler için en uygun frekans değeri 40 kHz'dir. Endüstriyel temizlik için genellikle 20-40 kHz aralığındaki frekans değerlerine sahip ultrasonik dönüştürücüler tercih edilir. Bu

aralıktan daha büyük frekans (1mHz) değerine sahip dönüştürücüler daha hafif temizlik işleri için kullanılır (Franco ve Bartoli, 2019).

2.10. Ultrasonik Sürücü Devre Kartı (Ultrasonik Üreteçler)

Şekil 2.17’de elektrik enerjisinin mekanik enerjiye dönüştürülmesi gösterilmiştir. Ultrasonik üreteçler ultrasonik dönüştürücüleri sürmek ve kontrol etmek amacıyla kullanılırlar. Üreteçler şehir şebekesinden gelen enerjiyi ultrasonik dönüştürücünün gerilim ve frekansına uygun bir sinyal haline getirerek ultrasonik dönüştürücüye iletir. Ultrasonik dönüştürücü de üreteçten aldığı bu sinyalin farklı şekillere dönüştürülmesini sağlar. Ultrasonik üreteçler yapılan uygulama çeşidine göre 20 kHz ile 120 kHz arasında frekansa sahip olabilmektedir. Endüstri alanında temizlik için kullanılan üreteçlerin frekansı 20-50 kHz arasındadır. 50 kHz değerinden daha büyük frekans değerine sahip üreteçler kuyumculuk, diş hekimliği, iletken malzeme temizliği gibi masaüstü ultrasonik temizleyici kullanılan temizlik işlerinde kullanılmaktadır. Özel uygulamalar için 400 kHz'e kadar yüksek sinyal sağlayan üreteçlerde mevcuttur (Hatano ve Kanai, 1996).



Şekil 2.13. Elektrik Enerjisinin Mekanik Enerjiye Dönüştürülmesi

2.11. FV Panel Temizliği ile İlgili Mevcut Çalışmaların İncelenmesi

Literatürde bulunan FV panel temizliğinin panel performansına etkileri ile temaslı ve temassız FV panel temizleme sistemleri incelenerek aşağıda özetlenmiştir.

Sulaiman vd (2011), fotovoltaik panellerin yüzeyindeki toz varlığının etkisini, laboratuvar ortamında sabit bir ışınım altında yapay toz kullanarak incelemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmanın sonuçları, güneş panelinin gücündeki azalmanın en fazla % 18'e kadar çıkabildiğini göstermiştir. Ayrıca, daha fazla ışınım altında, tozun etkisinin azalmasına rağmen önemli derecede kayıp yaşandığı sonucuna varmışlardır. Güneş panellerinden yüksek performans sağlanması için panelinin yüzeyindeki kirlerin mutlaka giderilmesi gerektiğini vurgulamışlardır. Başka bir çalışmada ise güneş panelinin yüzeyinde biriken tozun bir ay içinde sistem verimini % 35'e kadar azaltabileceği belirtilmiştir (Rahman vd, 2012). Başka bir çalışmada ise, çöl ortamında toz birikimi nedeniyle FV panel veriminin %32 oranında azaldığı gözlemlenmiştir. 9 ay boyunca yapılan bu deneysel çalışmada, aylık olarak ölçtükleri panellerde ise ortalama %26'lık bir verim düşüşünün yaşandığını belirlenmiştir (Alnaser vd, 2015). Libya'nın güney alanında gerçekleştirilen bir başka çalışmada yılın belli dönemlerinde (Mayıs-Şubat) bölgenin toz ve kum taşıyan mevsimsel rüzgarlara maruz kaldığını ve bu toz, kum, kuş pisliği ve küçük parçacıkların fotovoltaik panellerin yüzeyinde biriktiğinden bahsedilmiştir. Bu tozlanmanın fotovoltaik panellerin çıkış gücünde (%2-2,5) civarında bir performans kaybına neden olduğunu belirtilmiştir. Bu güç kaybını önlemek için ve sistem verimini arttırmak için periyodik olarak haftalık temizlik yapılmış, güç kayıplarını azaltmak için güneş panellerinin yüzeyinin sık sık su ile temizlenmesinin önemli olduğu sonucuna varmışlardır (Kaldellis vd, 2011). Kazem vd (2013) FV panellerdeki kırmızı toprak, kül, kum, kalsiyum karbonat ve silis gibi farklı kirletici türlerinin birikimine bağlı olarak panel performansı üzerindeki toz etkisini araştırmışlardır. Çalışmada, FV panel çıkış gerilimi ve gücündeki azalmanın, kirletici türüne ve çökme seviyesine bağlı olduğunu, kül kirleticisinin, kullanılan diğer toz kirleticilerle karşılaştırıldığında fotovoltaik modül geriliminde en etkili toz parçacığı olduğunu ve FV panel çıkış geriliminde % 25 düşüşe neden olduğu sonucuna varmışlardır. Casanova vd (2011) bir FV modülün yüzeyinde biriken tozun, güneş hücresine ulaşan radyasyonu azalttığını, aynı zamanda gelen radyasyonun gelme açısını da değiştirdiğini ve üretilen enerjide kayıp oluşturduğunu, bu toz nedeniyle bir yıldaki günlük enerji kaybı ortalamasının % 4.4 civarında olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca, yağmursuz gün sayısının artmasının, günlük enerji kayıplarının % 20'den daha fazla olabileceğini vurgulamışlardır. Sudhakar ve Rajput (2013) tozun FV panelin performansı üzerinde olumsuz etkileri olduğunu, FV modülün gücünü ve verimini azalttığını belirtmişlerdir. Tozun, FV modülün gücünü % 92,11 ve verimini

% 89 oranında azalttığını göstermişlerdir. Diğeyandan, FV panelinden yüksek verim sağlamak için otomatik bir temizleme mekanizması önermişlerdir. Ahmed vd (2012) ise yaptıkları çalışmada tozun FV panel performansı üzerindeki etkilerini gözden geçirmişlerdir. Ayrıca, toz özelliklerinin, fotovoltaik sistem parametrelerinin ve çevre parametrelerinin etkilerini vurgulamışlardır. Tozdan kaynaklanan verim kayıplarını etkileyen daha birçok parametre olduğunu ve bu parametrelerin bir bütün olarak dikkate alınması gerektiğini belirterek, bu kayıpları etkileyen hususlar hakkında daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir.

FV panellerinden en verimli şekilde fayda sağlanırsa bu durumun sistem kurulum maliyetini düşüreceği ve ışık enerjisinden en fazla oranda elektrik enerjisi üretilebileceği bilinmektedir. Ancak yukarıda belirtildiği üzere literatürdeki çalışmalar tozun FV panel performansını önemli ölçüde olumsuz etkilediğini göstermektedir. Bu nedenle panellerin yüzeyinin temiz tutulması gerekliliği ortadır. Bundan dolayı, panellerin sürekli temiz tutulması için etkin temizleme yöntemlerinin geliştirilmesi önemlidir.

Literatür incelendiğinde bir çok temizleme yöntemi geliştirildiği, halen yeni yöntemlerin geliştirilmesi için çalışmalar yapıldığı görülmektedir. Bu yöntemler takip eden bölümde özetlenmiştir. Kazem vd (2020) yaptıkları çalışmada FV paneller için toz faktörünün verimi en çok etkileyen faktör olduğu ortaya konulmuştur. Bu çalışmayla toz sorununa ve panellerden temizlenme yöntemlerine, bu yöntemlerin zorluklarına ve bu konudaki beklentilere değinilmek amaçlanmıştır. Bununla birlikte bölgelere göre tozun boyut ve şekil açısından özellikleri belirtilmiştir. Panellere en fazla etkisi olan ana toz unsurlarının altı toz kirletici olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca panellerin temizlenmesi için en uygun yöntemin seçimi için ekonomik ve teknik açıdan birçok faktöre bakılması gerektiği vurgulanmıştır. Bu makaleyle FV panellere tozun etkisi ve temizlenmesi ile ilgili teknik ve tasarım alanlarında çalışan mühendisler, tasarımcılar ve araştırmacılar için detaylı bir literatür özeti sunulmuştur. Akyazı vd (2019) FV panellerin sürekli temiz tutulması için bir güneş paneli temizleme robotu tasarlamış ve denemeye tabi tutmuşlardır. Tasarlanan robot yatay yüzeyde temizleme fırçası ise dikey olarak hareket ettiği belirtilmiştir. Ek olarak da robotu çalışma alanının içerisinde tutabilmek için konum anahtarlarından faydalanabileceği vurgulanmıştır. Sonuç olarak, düşük maliyetli ve etkili mikrogenetleyici tabanlı bir güneş paneli temizleme robotu ortaya konulduğu ve

önerilen bu sistemin, FV panellerin çıkış gücü üzerindeki tozumanın etkisini azalttığı belirtilmiştir. Khadka vd (2020) yaptıkları bir çalışmada FV panel yüzeyinde biriken toz ve kirlilik nedeniyle performansın büyük ölçüde düştüğü ve bu nedenle panel yüzeylerini temizleyen otomatik, ucuz ve performansı yüksek bir cihaz üretilmesi gerektiğinden bahsedilmektedir. Belirtilen gereklilik sonucu yapılan çalışmada geliştirilen cihaz prototipin tasarlanması ve üretim süreci ele alınmaktadır. Tasarlanan cihaz tasarım olarak temizleme robotu ve bir bulut arayüzünden oluştuğu temizleme robotunun ileri geri hareketlerle paneli temizlediği bulut arayüzünün ise robotun uzaktan izlenmesi ve kontrol edilmesi görevini yaptığı belirtilmektedir. Ek olarak da tasarlanan cihaza sistem performansını bildirmek amacıyla algılayıcı bir sistem eklendiği belirtilmiştir. Ayrıca otomatik temizleme özelliğinin devreye girmesini sağlamak amacıyla aylık panelin temiz ve tozluluk verileri regresyon analizi ile işlenerek bir regresyon modeli oluşturulduğu ve regresyon modelinin sensör sistemine programlandığından bahsedilmiştir. Bir FV sistem üzerinde yapılan deney sonucunda temizleme robotunun panel üzerindeki toz ve kiri temizleme konusunda başarılı olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca tasarlanan bu cihazın büyük panelli bir güneş enerjisi çiftliğinde uygulanabileceği beklentisi bulunmaktadır. Alghamdi vd (2019) yaptıkları çalışmada FV panellerde toz ve kirliliğin güneş piline gelen ışık miktarını azalttığını bu durumda FV panellerde performans düşmesine neden olduğunu ifade etmişlerdir. Orta Doğu gibi tozun yoğun olduğu ve kuraklığın fazla olduğu bölgelerde FV sistem performansının düşmesine engel olmak için iyileştirici yöntemlere ihtiyaç olduğu vurgulanmaktadır. Yapılan çalışmada mekanik, aktif ve pasif elektriksel sistemler olmak üzere birçok temizleme tekniğinin bulunduğu bu çalışmada da modül titreşimi ve akışkan jetleri ayrıca bunların birleşimini içeren mekanik yaklaşımlar anlatılmaktadır. Ele alınan bu çalışma için Suudi Arabistan'da bulunan Kral Abdülaziz Üniversitesinde Cidde kampüsü içerisinde bir araba garajı içerisindeki gölgeleme sistemine 8 kW gücünde yeniden yapılandırılabilir pilot ölçekli bir test yatağı kurulmuştur. Kurulan bu test yatağı suyun tekrar dönüştürülüp kullanılabilmesini sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Kurulan sistem üzerinde yapılan deneyler sonucunda kumlu kirlenmenin kısa sürede sistem performansı üzerinde büyük etkileri olduğu, yüksek hacim ve düşük basınçta optimize edilen su jetleri performansı %27'nin üzerinde artışını sağladığı, hava jetleri ve modül titreşimli sistemlerin performansı artırmada daha az etki sağladığı sonuçlarına varılmıştır. Antonelli vd (2017) çöl bölgelerinde doğa olaylarından dolayı paneller üzerinde hem toz hem de kum gibi

yapıların yoğun olarak biriktiğini belirtmiş, bundan dolayı panellerin üzerini temizleyecek otomatik bir cihaz geliştirmişlerdir. Geliştirilen bu cihaz, çöl ortamlarının su açısından fakir ve rüzgârlı yerler olmalarından dolayı temizlik işlemini su ve diğer malzemeleri kullanmadan yapacak şekilde tasarlanmışlardır. Ayrıca, tasarlanan bu cihazın insan gücünü ortadan kaldırarak, panellerin temizlenmesi için çalışan işçilerin sıcak ve rüzgâr gibi ağır koşullarda çalışmasının önüne geçebileceği vurgulanmıştır. Geliştirilen temizleme robotu zıt açıda olan sarmal fırçaları sayesinde panel üzerindeki toz ve kumu temizlemektedir. Konum, hız ve yörüngesinin ayarlanması için yüksek frekanslı ses dalgası anlamına gelen Ultrasonik algılayıcılar kullanılmıştır. Geliştirilen panel temizleme cihazı başarıyla test edilmiştir. Gaofa vd (2011) panellerde kendi kendini temizleyen bir teknolojinin kullanılması verimi artırabileceğini ve güneş pil yapısını koruyabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca, bu çalışmada panellerin temizlenmesi için kullanılan doğal, mekanik, kendi kendini temizleyen ve elektrostatik yöntemlerden bahsedilmiştir. Yapılan bu çalışma ile güneş panelleri ve diğer cihazlar için otomatik temizleme yöntemi hakkında daha geniş bir bakış açısı kazandırılması amaçlandığı vurgulanmıştır. Grupta vd (2019) yaptıkları çalışmada tozun panel üzerinde yerleşme nedenleri ve FV paneller üzerindeki elektriksel, termal ve optik açısından etkisi konusundaki çalışmalarını gözden geçirmektedir. Ayrıca bu makale çalışması panellerin üzerindeki toz yapısının paneller üzerinden giderilmesi için en uyumlu teknik ve yöntemin belirlenmesi adına yapılacak diğer çalışmalara kaynaklık etmektedir. Alagoz ve Apak (2020) yaptıkları çalışmada FV panellerin verimini etkileyen en önemli faktörün panel yüzeyi olduğunu, bu nedenle panel yüzeylerinin temiz tutulması gerektiği ve yüzey yapısının bozulmaması için temizliğin profesyonel yöntemlerle yapılması gerektiği vurgulamışlardır. Bahsedilen profesyonel yöntem olarak da yüzey akustik dalga teknolojisi yöntemi önerilmiş, bu yöntem ile panel yüzeyinden toz partiküllerinin ayrılması ile ilgili teorik bir çalışma sunulmuştur. Ayrıca yüzey yapısının bozulmuş panellerin performansı ile ilgili deneyler yapılmış ve yüzey akustik dalgalarının yüzey temizliğine olan etkisi ortaya konulmuştur. Kawamoto ve Shibata (2015) yaptıkları çalışmada FV panellerin yüzeyine yapışmış toz parçacıklarını temizlemek amacıyla elektrodinamik kuvvet kullanan bir temizleme cihazı önermişlerdir. Ayrıca yüzeyden kolayca giderilemeyen toz parçacıkları için operasyonel şema ayarlama, elektrot konfigürasyonunun iyileştirilmesi ve hava akışının kullanılması gibi önlemler alınmıştır. Geliştirilen bu

sistemin çöl ortamlarında kurulan büyük ölçekli panel sistemleri için verimli bir uygulama olması hedeflenmektedir.

Sonuç olarak, literatürde temaslı ve temazsız FV panel temizliği ile ilgili bir çok yöntemin önerildiği görülmektedir. Özellikle yüksek kurulu güneş sahip FV güneş enerji santralleri düşünüldüğünde, binlerce paneli bulunduran bu tesislerde panel temizliğinin zaman ve maliyet açısından otomatikleştirilmesi gerekliliği ortadır. Aynı zamanda çok sayıda panelin bulunduğu bu tesislerde panele zarar verebilecek temaslı yöntemlerin de işletme maliyetlerine olumsuz etkisi olacağı değerlendirilmektedir. Diğer yandan büyük FV enerji santralleri genellikle kırsal ve çorak alanlarda kurulduğu düşünüldüğünde su kullanımının minimize eden veya ortadan kaldıran yöntemler geliştirilmesinin gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu durumda otomatik, temazsız ve su kullanımı gerektirmeyen yöntemlerin önemi ön plana çıkmaktadır. Literatür incelendiğinde mekanik titreşime dayalı yöntemlerin ve yüzey akustik dalga kullanımını içeren yeni yöntemlerin özellikle son yıllarda önerildiği görülmüştür. Ancak bu yöntemlerin birarada kullanıldığı çalışmaya rastlanılmamıştır. Ayrıca, yüzey akustik dalga kullanımının panel performansına etkilerinin incelendiği sınırlı sayıda çalışma olduğu görülmüştür. Mekanik titreşim kullanılan sistemlerde serbest yay ve ultrasonik dönüştürücünün birlikte kullanıldığı bir sistemin, FV panel temizliğine ve panel performansına etkilerinin incelendiği çalışmaların yine sınırlı olduğu görülmüştür. Bu tez çalışması bu sıralanan eksikliklerin giderilmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deney Düzeneği

Bu tez çalışmasının amacı, güneş paneli yüzeyindeki kirleticileri (toz vb.) temizleyen otomatik, su tasarrufu sağlayan ve emek harcamadan aktif kendi kendini temizleyen bir sistem geliştirmektir. Bu kapsamda tezde deneysel bir çalışma yürütülmüştür. Çalışmada kullanılan deney düzeneği Şekil 3.1' de verilmiştir.



Şekil 3.1. Deney Düzeneđinin Farklı Açılardan Görünüşleri

Düzenekte iki adet Şekil 3.2’de gösterilen ve Tablo 3.1’de özellikleri verilen LEXRON LXR-025M model FV panel bulunmaktadır.



Şekil 3.2. LEXRON LXR-025M model FV panel

Tablo 3.1. LEXRON model FV panel özellik bilgileri

Özellik	Değer
Model	LEXRON LXR-025M
Panel tipi	Mono kristal
Ağırlık	1,68 kg
Devre açılış voltajı	22,10 V
Maksimum güç voltajı	18 V
Kısa devre akımı	1,49 A
Maksimum güç akımı	1,39 A
Maksimum güç	25 Wmax
Güç tolerans aralığı	%5
Maksimum sistem voltajı	1000 V
Maksimum seri sigorta derecesi	10 A
Modül uygulaması	A Sınıf

Solar radyasyon ölçümünde Şekil 3.3’de gösterilen ve Tablo 3.2’de teknik özellikleri verilen TM-206 solar ölçüm cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Solarmetre

Tablo 3.2. TM-206 solar ölçüm cihazı özellik bilgileri

Özellik	Değer
Model	TM-206
Çalışma sıcaklığı ve nem	0°C~50°C (%80 Bağıl Nem Altında)
Örnekleme zamanı	0,25 saniye
Ölçüm aralığı	2000 W/m ² veya 634 BTU (ft ² *h)
Ölçüm birimleri	1 W/m ² -1 BTU (ft ² *h)
Ölçüm kesinlik	± 10 W / m ² [± 3 BTU / (ft ² *h)] veya %5 En yüksek ışınım miktarı için sıcaklığın neden olduğu hata miktarı 25°C için ±0.38 W/m ² /°C[± 0.12 BTU / (ft ² *h)]
Açısal kesinlik	< 60° açılar için kosinüs düzeltme <%5
Ekran özelliği	3 1/2 Dijital LCD Ekran 2000 Okuma
Güç kaynağı	9V Batarya

FV panelin akım ve voltaj değerleri ise Şekil 3.4'de gösterilen ve Tablo 3.3'de teknik özellikleri verilen dijital multimetre aracılığıyla kaydedilmiştir.



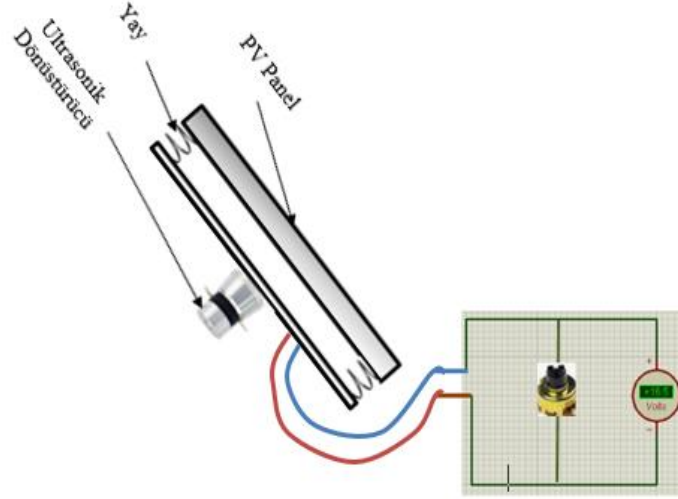
Şekil 3.4. Dijital Multimetre

Tablo 3.3. Marxlow Dt-830d model multimetre özellik bilgileri

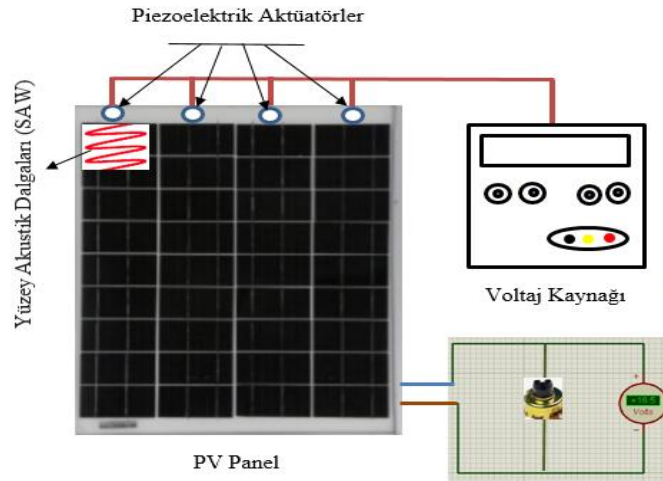
Özellik	Değer
Model	Marxlow DT-830B Dijital Multimetre
Maksimum akım	500 Ma
Maksimum volt	250 V
DC gerilim	200m-2000m-20-200-1000V $\pm\%$ 0,5
AC gerilim	200-750 V
DC akım	200 μ -2000 μ -20m-200m-10A
Direnç	200-2000-20K-200K-2000K Ω
Batarya tipi	9V pil
Batarya modeli	NEDA 1604 6F22

Mekanik ve temassız kendi kendini temizleme yöntemlerinin FV panel performanslarına etkileri üç aşamalı deneysel bir çalışma yürütülerek incelenmiştir. Birinci, aşamada, Yötem I olarak adlandırılan, Şekil 3.5’de gösterildiği gibi bir levha üzerine yerleştirilen ultrasonik dönüştürücü tarafından üretilen titreşim, ultrasonik dönüştürücünün yerleştirildiği levha ile FV panel 4 köşesine yerleştirilen yaylar ile FV panele aktarılarak, oluşan titreşimin FV panel temizliğine dolayısıyla performansına

etkileri incelenmiştir. İkinci aşamada ise, Yöntem II olarak adlandırılan, Şekil 3.6’da gösterildiği gibi FV panel üst kısımlarına yerleştirilen piezoelektrik 4 adet aktüatör tarafından üretilen yüzey akustik ses dalgalarının panel temizliğine ve dolayısıyla panel performansına etkileri incelenmiştir. Üçüncü aşamada ise Hibrit Yöntem olarak adlandırılan, kullanılan bu iki uygulamanın bir arada yani hibrit kullanımının FV panel temizliğine dolayısıyla performansına etkileri araştırılmıştır.



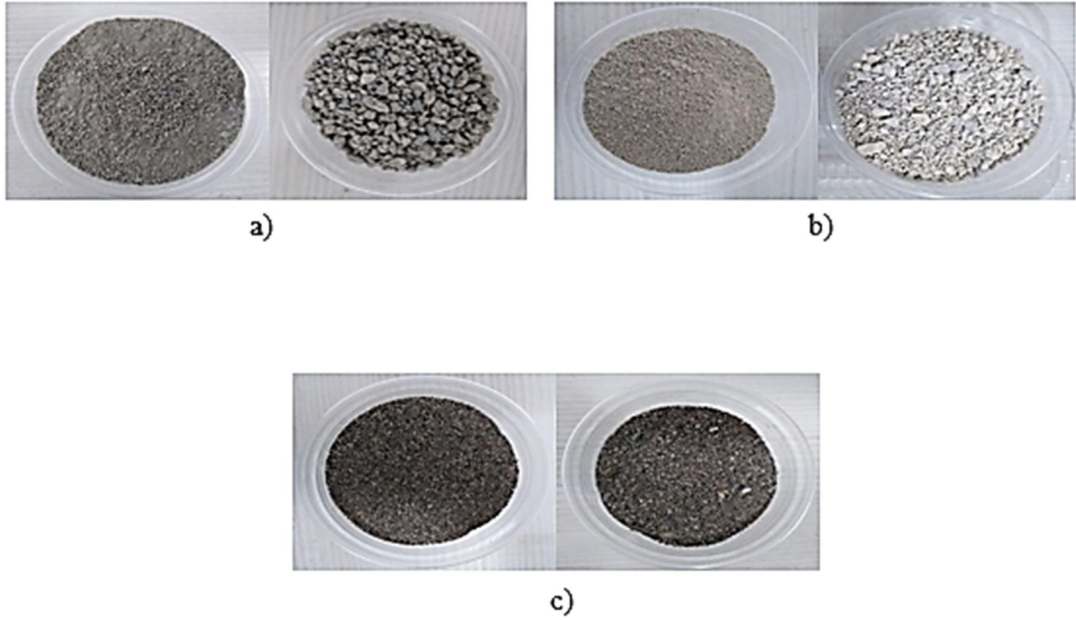
Şekil 3.5. FV panel temizliğinde Ultrasonik Dönüştürücü aracılığıyla üretilen titreşimin kullanımının şematik gösterimi (Yöntem I)



Şekil 3.6. FV panel temizliğinde Yüzey akustik dalgalarının kullanımının şematik gösterimi (Yöntem II)

3.2. FV Panel Yüzeyi İçin Kullanılan Tozların Elde Edilmesi

Tozlanma üzerine yapılan araştırmalarda, tozlanmanın etkisiyle daha önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere FV panellerinin verimlerinde özellikle az yağış alan bölgelerde %15 oranlarına ulaşan azalar rapor edilmiştir. Çöller, yoğun güneş alan, dolayısıyla güneş santralleri için ideal yerler olmakla birlikte çok tozludurlar, dolayısıyla özellikle toz fırtınalarından sonra FV panel verimlerinde % 60'lara varan verim kayıpları yaşanabildiği bilinmektedir. Sonuç olarak bakıldığında FV panellerin yerleştirildiği bölgeye göre panel yüzeylerinde oluşan tozlanma hem nicelik (tozlanma miktarı/kirlilik düzeyi) hem de nitelik (tozun cinsi/yapısı) bakımından farklılık göstermektedir. Bu tez çalışmasında panellerin tozlandırılmasında Şekil 3.7' de gösterilen kum çeşitleri eşit oranlarda karıştırılarak kullanılmıştır.



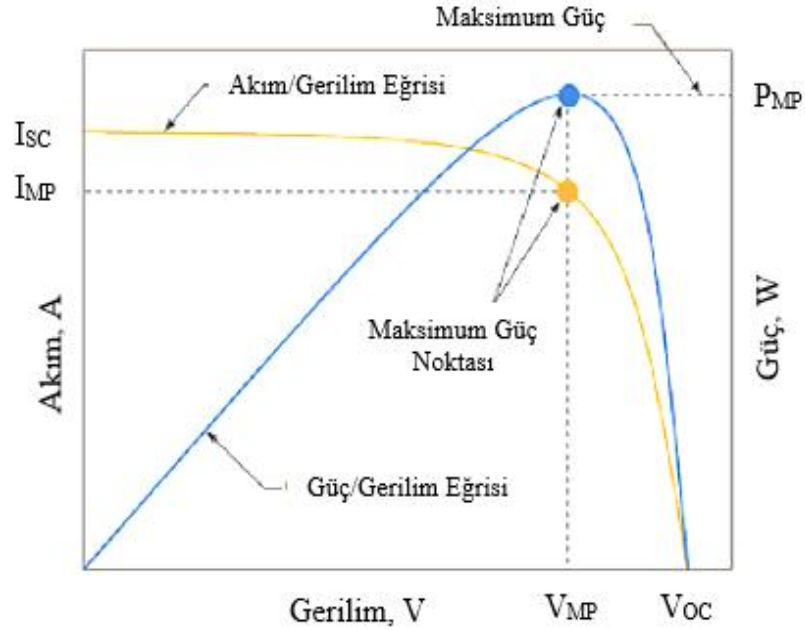
Şekil 3.7. a) Kalın yapılı sıva kumu toz ve kalın taneli hali b) İnce yapılı sıva kumu toz ve kalın taneli hali c) Zemin şap kumu toz ve kalın taneli hali

3.3. Deneylerin Yapılması, Deneylerde Ölçülen ve Hesaplanan Parametreler

Bir FV güç sisteminin performansı pek çok parametreye bağlıdır. Bu parametrelerin karakteristik özelliklerini bilmeden sisteme etkilerini minimize etmek veya ortadan kaldırmak mümkün değildir. Bu deneysel çalışmada FV güç sisteminin performansının belirlenmesinde aşağıda sıralanan parametreler kullanılmıştır.

3.3.1. Akım–Gerilim–Güç Özellikleri

Yapılan deneylerde panellerin üzerine farklı boyut ve özelliklerde kum ve tozlar hassas ayarlarda püskürtülerek panellerin %31,3 güç kaybına uğrayacak düzeyde tozlanması sağlanmış, sonrasında tozlanan paneller üzerinden performans parametrelerinin ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümlerde; Akım-Gerilim-Güç özellikleri, doluluk faktörü ve panel verimi, toz uzaklaştırma indeksi gibi parametreler ölçülmüş ve hesaplanmıştır. Deneysel çalışmada FV hücreye ait akım-gerilim (I-V) özellikleri ve güç-gerilim (P-V) özellikleri belirlenmiştir. Deneyler sabit bir ışık şiddeti altında (600 W/m^2) gerçekleştirilmiş, değişken bir direnç açık devre ve kısa devre durumları arasında değiştirilerek, FV hücrenin uçları arasındaki gerilime karşı dirençten geçen akım ölçülmüş, Akım-Gerilim-Güç özellikleri belirlenmiştir. Bir FV hücrenin açık devre gerilimi (V_{oc}), hücreden geçen akımın sıfır olması durumunda hücre uçlarından ölçülen gerilimdir (Şekil 3.8).

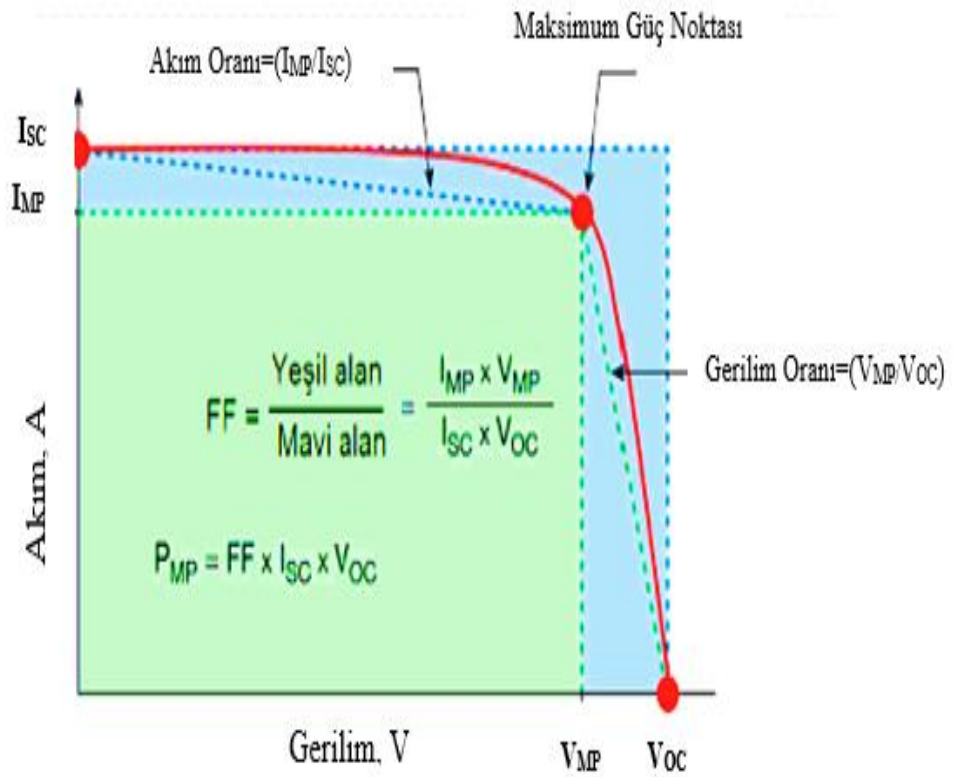


Şekil 3.8. Tipik bir FV hücrenin akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) özellikleri

FV hücrenin kısa devre akımı (I_{sc}) ise, sıfır gerilimde ve aydınlatma altında hücreden geçen akımdır ve paralel direnç etkilerinin ihmal edildiği ideal durumda ışıkla oluşan akıma eşit olup, ışınım şiddetine bağlıdır. Bir FV hücre, geniş bir gerilim (V) ve akım (I) aralığında çalışabilir. Maksimum güç noktası, sürekli olarak ışınım alan bir FV hücredeki direnç yükünü sıfırdan (kısa devre) çok yüksek bir değere (açık devreye) kadar sürekli arttırarak belirlenebilir. Maksimum güç noktasında $V \times I$ değeri

yüksektir. Bu noktada, FV hücre bulunduğu ışınım seviyesinde en yüksek elektrik üretir. Dolgu Faktörü (FF), FV hücrenin ideallığının bir ölçüsüdür (Şekil 3.9), bir FV hücrenin maksimum çıkış gücünü, açık devre gerilimi ve kısa devre akımına bağlı olarak tanımlamak için kullanılan bir değişkendir. FF Denklem 3.1 ile hesaplanır, ideal bir FV hücrede, FF= 1'dir. Bu nedenle, herhangi bir FV hücrede dolgu faktörünün 1'e yakın olması istenir.

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{OC} \times I_{SC}} = \frac{V_{MP} \times I_{MP}}{V_{OC} \times I_{SC}} = \frac{\eta \times I_s \times A_C}{V_{OC} \times I_{SC}} \quad (3.1)$$



Şekil 3.9. Doluluk Faktörü

FV hücre verimi, güneş enerjisinin FV etkiyle elektrığe dönüştürülebilen bölümünü belirtir ve Denklem 3.2 ile hesaplanır. Deneylerde kullanılan LEXRON LXR-025M panelin ölçüleri 360x430x25 mm olup panel alanı (A_c) 0.1548 m²'dir.

$$\eta = \frac{V_{OC} \times I_{SC}}{I_s \times A_C} \quad (3.2)$$

Tozlanma nedeniyle FV panelde oluşan verim kaybı ise Denklem 3.3 ile hesaplanmıştır.

$$\eta_{\text{kayıp}} = \frac{\eta_{\text{temiz}} - \eta_{\text{kirli}}}{\eta_{\text{temiz}}} \quad (3.3)$$

Bu formülde $\eta_{\text{kayıp}}$ panelde oluşan verim kaybını, η_{temiz} temizlenmiş panelin verimini ve η_{kirli} kirlenmiş panelin verimini ifade etmektedir.

3.3.2. Toz Giderme (Uzaklaştırma) İndeksi

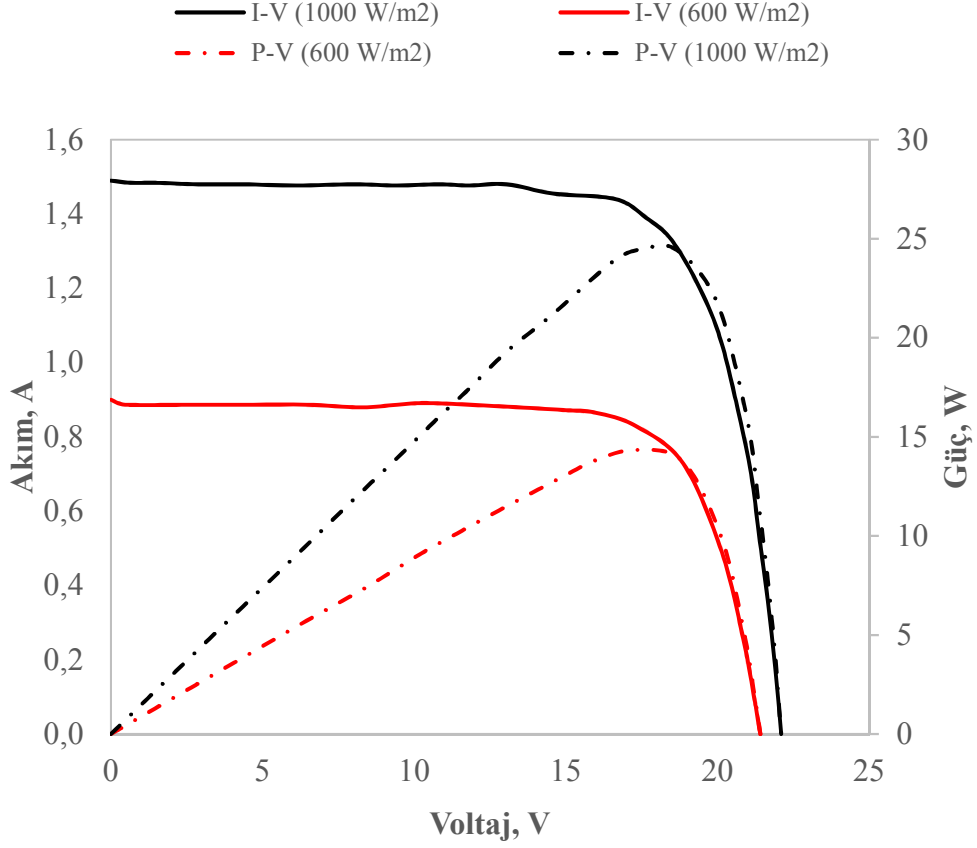
Tozlanmaya neden olan malzemenin boyutu ve birikim yoğunluğu FV sistemin güç çıkış kaybını etkileyen önemli iki parametredir. Tozlanma sadece FV panel üzerine gelen radyasyonu azaltmakla kalmaz, aynı zamanda bu radyasyonun geliş açısına olan bağımlılığı da değiştirir. Toz giderme indeksi (I), herhangi bir parametrenin/yöntemin etkisini uyguladıktan sonraki son toz indeksi (I_a) ile aynı parametrenin/yöntemin uygulamadan önceki toz indeksi (I_b) arasındaki farkın, parametrenin/yöntemin uygulamadan önceki toz indeksine (I_b) oranıdır. Başka bir ifadeyle, toz giderme indeksi, sadece panel yüzeyinden çıkarılan toz miktarını oransal olarak temsil eden bir sayıdır ve basitçe Denklem 3.4 ile hesaplanabilir.

$$I = \frac{I_b - I_a}{I_b} \quad (3.4)$$

Toz giderme indeksinin değeri, sıfır ile bir arasında değişir. Panelden uzaklaştırılan toz miktarı arttıkça, toz kaldırma indeksi değeri bire yaklaşır. Deneylerden önce panel üzerine eklenen toz miktarı hassas terazi ile ölçülerek panel yüzeyine eşit olarak dağıtılmıştır. Toz uzaklaştırma yöntemleri uygulanırken panelden uzaklaştırılan toz bir perde aracılığıyla toplanmış sonra hassas terazide tartılarak uzaklaştırılan toz miktarları belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deneylerde kullanılan FV panellerin standart koşullardaki (25 °C ve 1000 W/m²) I-V, P-V eğrileri ile deney koşullarındaki (25 °C ve 600 W/m²) I-V, P-V eğrileri şekil 4. 1’de verilmiştir.

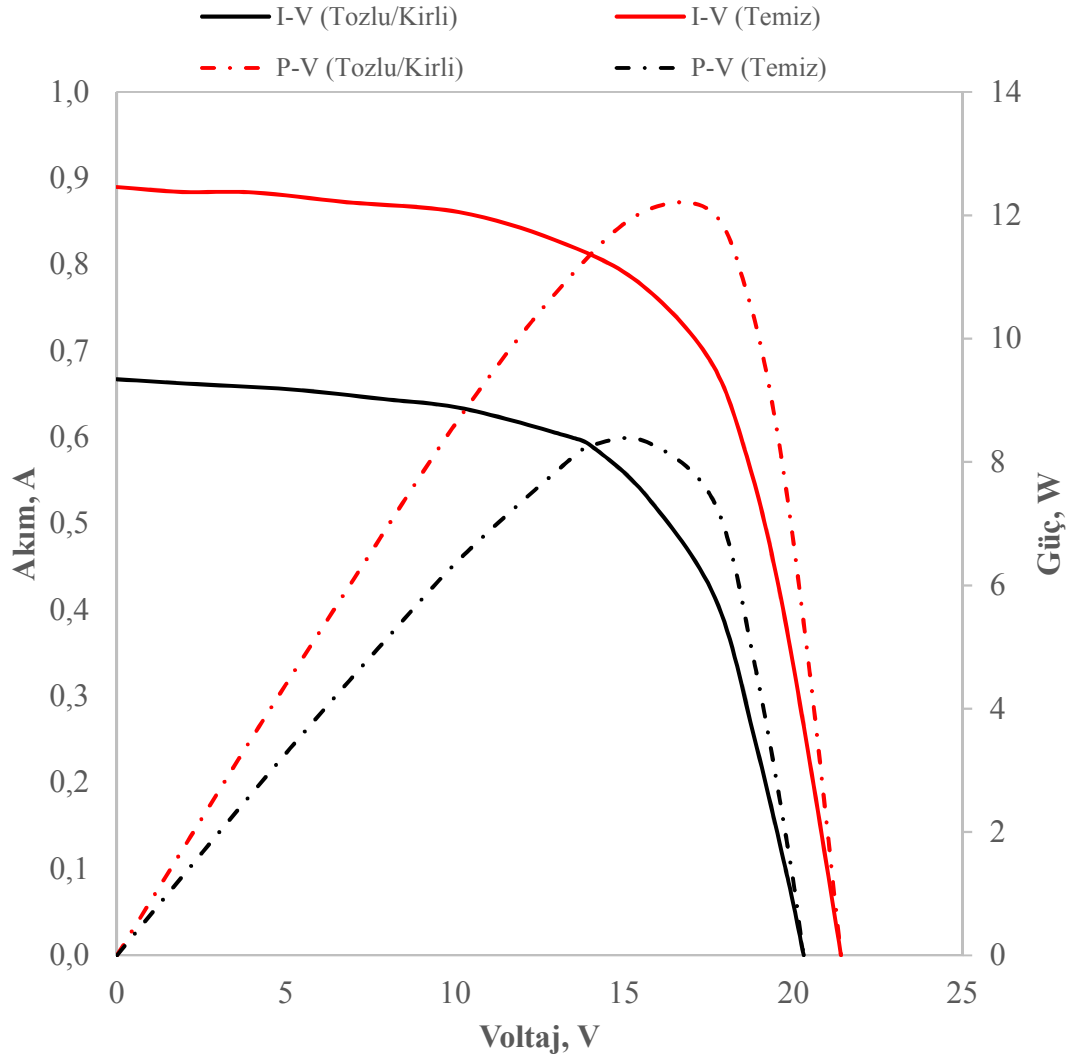


Şekil 4.1. Deneylerde Kullanılan FV Panellerin standart koşullardaki (25 °C ve 1000 W/m²) ve deney koşullarındaki (25 °C ve 600 W/m²) I-V ve P-V Karakteristik Eğrileri

Şekil 4.1’de deneylerde kullanılan FV panellerin standart koşullardaki (25 °C ve 1000 W/m²) ve deney koşullarındaki (25 °C ve 600 w/m²) I-V ve P-V karakteristik eğrileri verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi FV panelin güneş ışınım şiddetine bağlı olarak akım ve gerilim büyüklükleri değişirken, bu büyüklüklerinin eğrileri arasında doğrusal olmayan bir yapı oluşmaktadır. Buna göre güneş ışınım değeri azaldıkça FV panelin üreteceği maksimum güç değeri de azalmaktadır. Ayrıca kısa devre akım değerinde yüksek oranda azalmaya, açık gerilim değerinde ise çok büyük bir fark olmamaktadır. İki farklı ışınım değerleri için, akım değerleri ve gerilim değerleri

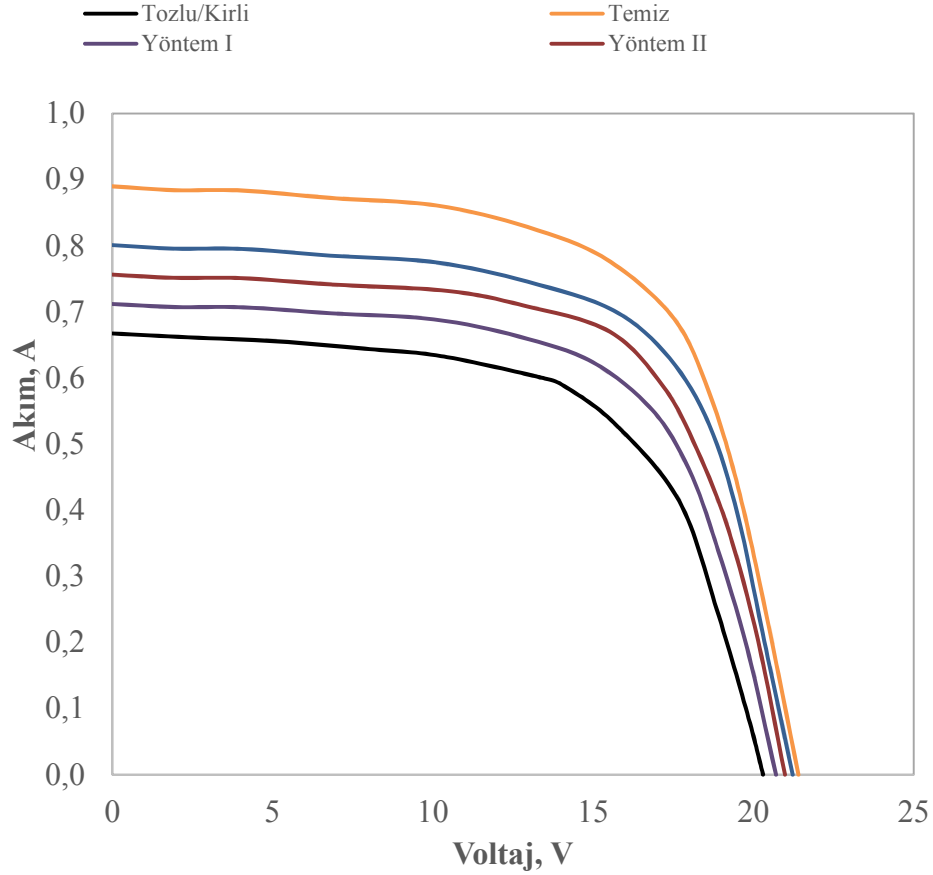
birbirinden farklı değerler alırken, sistemin maksimum güç noktalarındaki değerleri değişmektedir.

Şekil 4.2’de tozlandırılmış ve temiz FV panellerin I-V ve P-V karakteristik eğrileri gösterilmiştir. Panel üzerine, $2,8 \text{ mg/cm}^2$ oranında toz eşit bir şekilde dağıtılmıştır. Bu durumda panelde %31,3 güç kaybı gerçekleşmiştir.



Şekil 4.2. %31.3 Güç Kaybına Uğratılacak Şekilde Tozlandırılmış ve Temiz FV Panellerin I-V ve P-V karakteristik eğrileri (Panel Eğim Açısı, $\beta=15^\circ$; Deney Koşulları; 25°C ve 600 W/m^2)

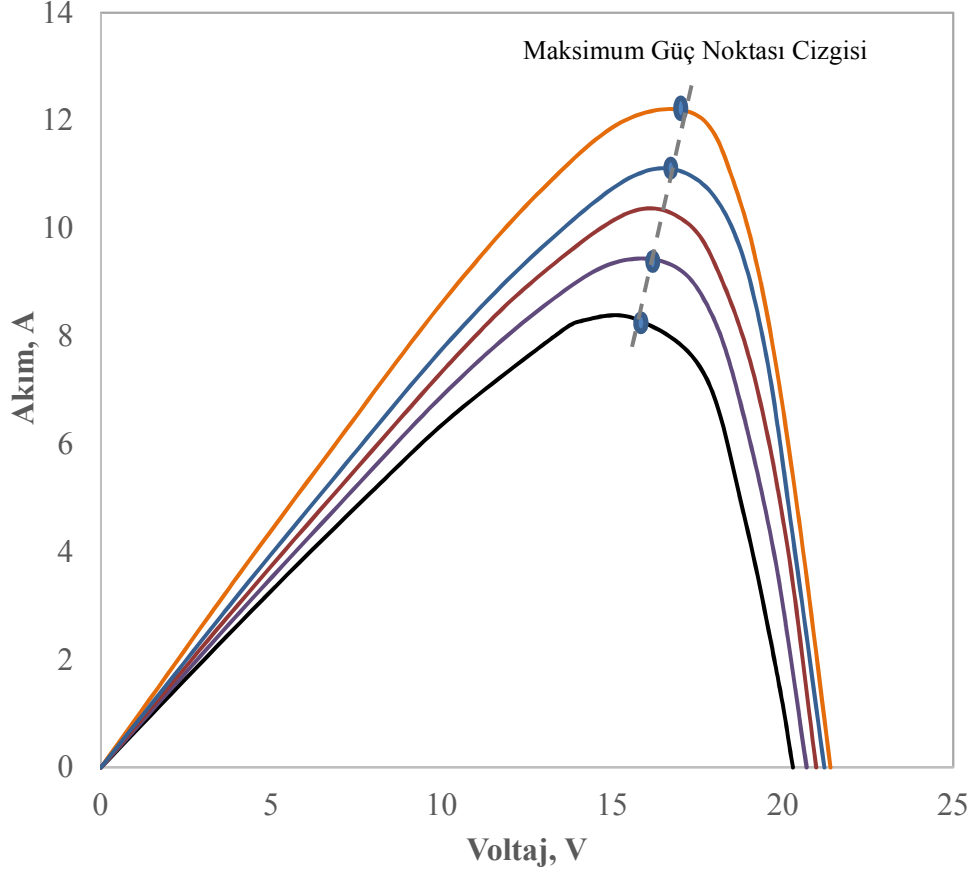
Şekil 4.3’de tozlandırılmış panele uygulanan temizleme yöntemlerinin FV panelin I-V karakteristik eğrilerine etkileri, Şekil 4.4’de ise tozlandırılmış panele uygulanan temizleme yöntemlerinin FV panelin P-V karakteristik eğrilerine etkileri gösterilmiştir.



Şekil 4.3. %31.3 Güç Kaybına Uğratılacak Şekilde Tozlandırılmış Panele Uygulanan Temizleme Yöntemlerinin FV Panelin I-V karakteristik eğrilerine Etkileri (Panel Eğim Açısı, $\beta=15^\circ$; Deney Koşulları; 25°C ve 600 W/m^2)

Panel daha önceki bölümde detayları verilen ‘‘Yöntem I, Yöntem II ve Hibrit yani Yöntem I ve Yöntem II’’ birlikte tozların uzaklaştırılması için uygulanmıştır. Tozlar, uygulanan yöntemlerin sağladığı titreşim ile yerçekiminin de etkisiyle panelden uzaklaştırılmıştır. Titreşim uygulandıktan kısa süre sonra tozların Yöntem I’de panelin merkezinden başlayarak, yöntem II’de ise panelin üst kısmında piezo sensörlerin yakın olan bölgeden hareket ederek panelin en alt kısmından panelden uzaklaşmışlardır. Gözle yapılan gözlemlerde piezo sensörler çalıştırdıktan kısa süre sonra tozların panelden uzaklaşmaya başladığı ve yaklaşık 60 s sonra bunun yavaşlamaya hatta neredeyse durma noktasına geldiği gözlemlenmiştir.

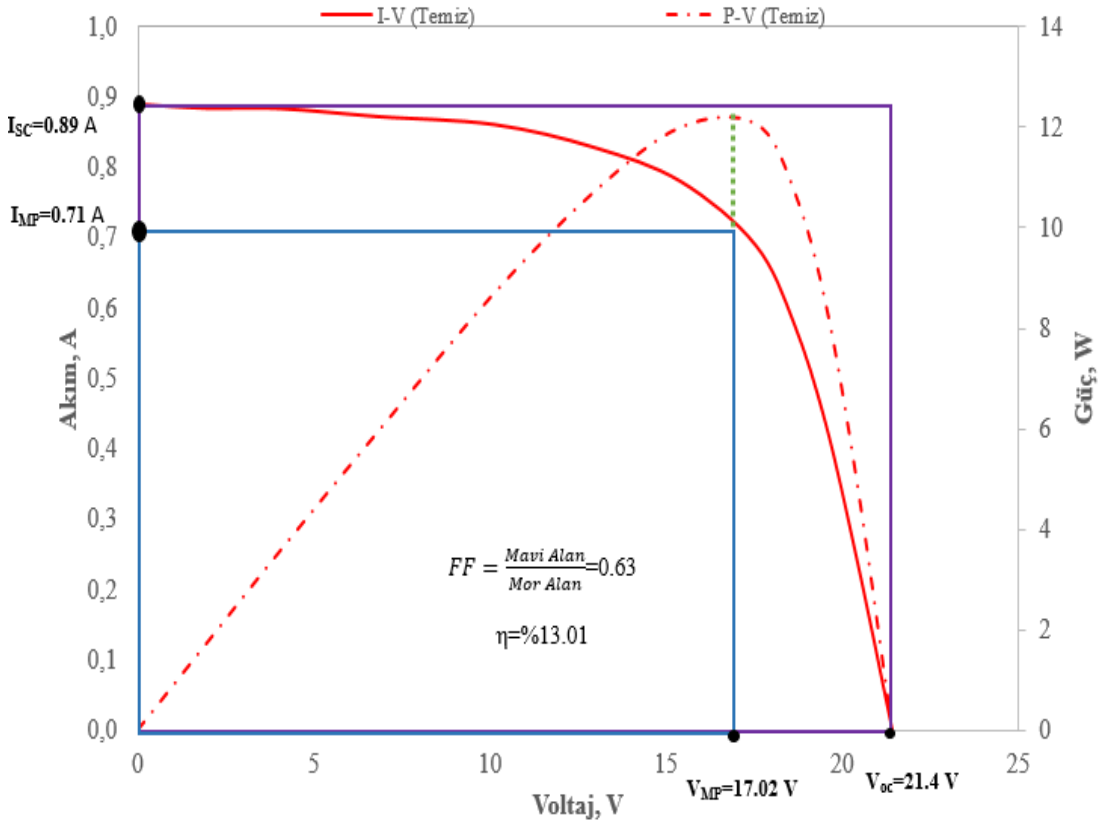
— Tozlu/Kirli — Temiz — Yöntem I — Yöntem II — Hibrit (Yöntem I+Yöntem II)



Şekil 4.4. %31.3 Güç Kaybına Uğratılacak Şekilde Tozlandırılmış Panele Uygulanan Temizleme Yöntemlerinin FV Panelin P-V karakteristik eğrilerine Etkileri (Panel Eğim Açısı, $\beta=15^\circ$; Deneş Koşulları; 25°C ve 600 W/m^2)

Şekil 4.4’de %31.3 güç kaybına uğratılacak şekilde tozlandırılmış panele uygulanan temizleme yöntemlerinin FV panelin, P-V karakteristik eğrilerine etkileri gösterilmiştir. Bu deneyler $\beta=15^\circ$ panel eğim açısında, 25°C sıcaklık ve 600 W/m^2 radyasyon şiddeti altında yapılan yapılmıştır. Beklendiği şekilde tozlandırılmış FV panel güç üretimi düşerken, uygulanan temizleme yöntemlerinin panel üzerindeki tozları uzaklaştırma başarısı ile doğru orantılı şekilde panelin ürettiği güç değerleri artmaktadır. Benzer şekilde panellerin maksimum güç üretme noktasında, grafikte sağa doğru kaydığı görülmektedir.

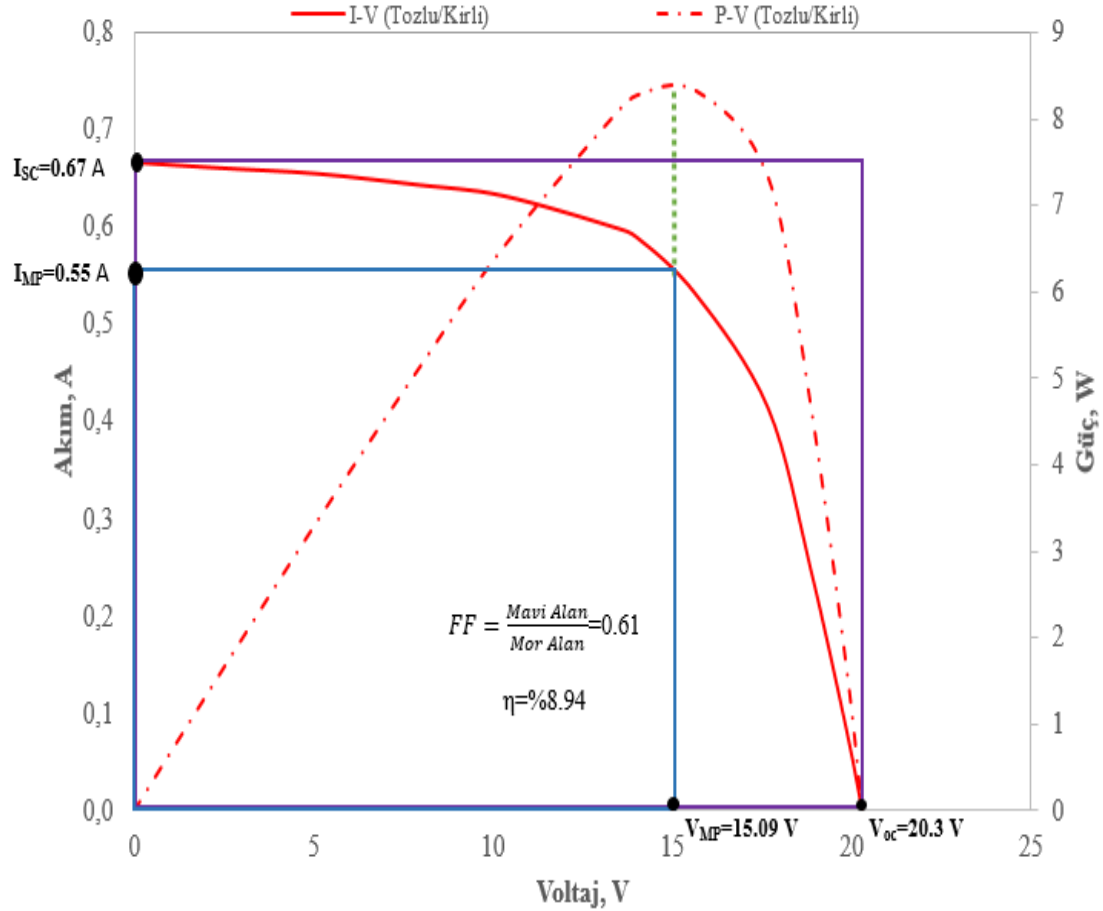
Temizlenmiş FV panelin eğim açısı, $\beta=15^\circ$ ye ayarlanmış, 25°C sıcaklık ve 600 W/m^2 radyasyon şiddeti altında deneylere tabi tutulmuştur. Deneyler sonucunda elde edilen I-V ve P-V karakteristik eğrileri, doluluk Faktörü ve panel verimi FV panel temel performans parametreleri Şekil 4.5’ de gösterilmiştir. Bu şekilde görüleceği gibi deney şartlarında panelin kısa devre akımı 0.89 A , açık devre voltajı 21.4 V ölçülürken, maksimum güç noktasında akım ve voltaj değerleri sırasıyla 0.71 A ve 17.02 V olarak ölçülmüştür. Ayrıca FV panelin doluluk faktörü 0.63 ve verimi $\%13.01$ olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.5. Temiz FV Panelin I-V ve P-V karakteristik eğrileri, Doluluk Faktörü ve Panel Verimi (Panel Eğim Açısı, $\beta=15^\circ$)

Benzer deney şartlarında tozlandırılmış panelde deneylere tabi tutulmuştur. Tozlu panel için elde edilen I-V ve P-V karakteristik eğrileri, doluluk Faktörü ve panel verimi FV panel temel performans parametreleri Şekil 4.6’da gösterilmiştir. Bu şekilde görüleceği gibi deney şartlarında panelin kısa devre akımı dramatik şekilde azalarak 0.67 A , açık devre voltajı ise daha sınırlı oranda düşerek 20.3 V olarak ölçülürken,

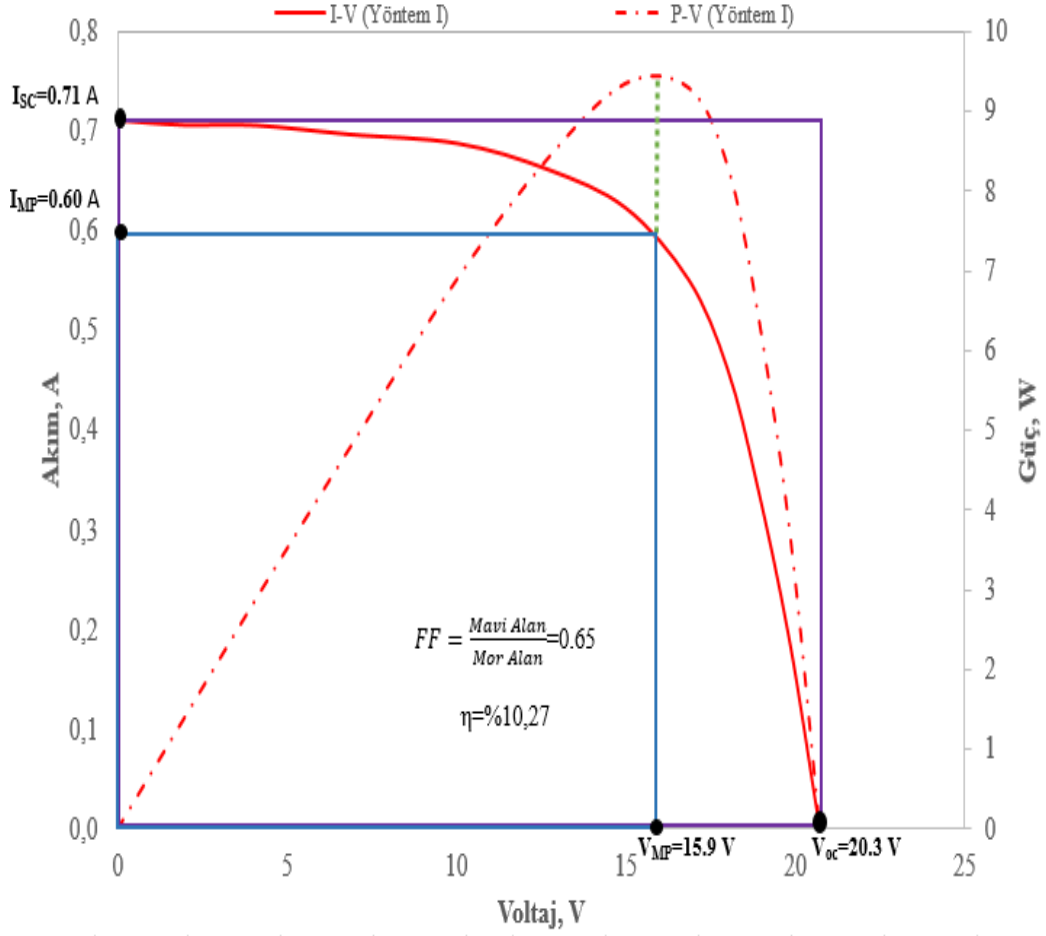
maksimum güç noktasında akım ve voltaj değerleri de benzer bir düşüş eğilimi göstererek sırasıyla 0.55 A ve 15.09 V olarak ölçülmüştür. Ayrıca FV panelin doluluk faktörü az bir düşüşle 0.61 olurken, verimi dramatik bir düşüş göstererek %8.94 olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 4.6. Tozlu FV Panelin I-V ve P-V karakteristik eğrileri, Doluluk Faktörü ve Panel Verimi (Panel Eğim Açısı, $\beta = 15^\circ$)

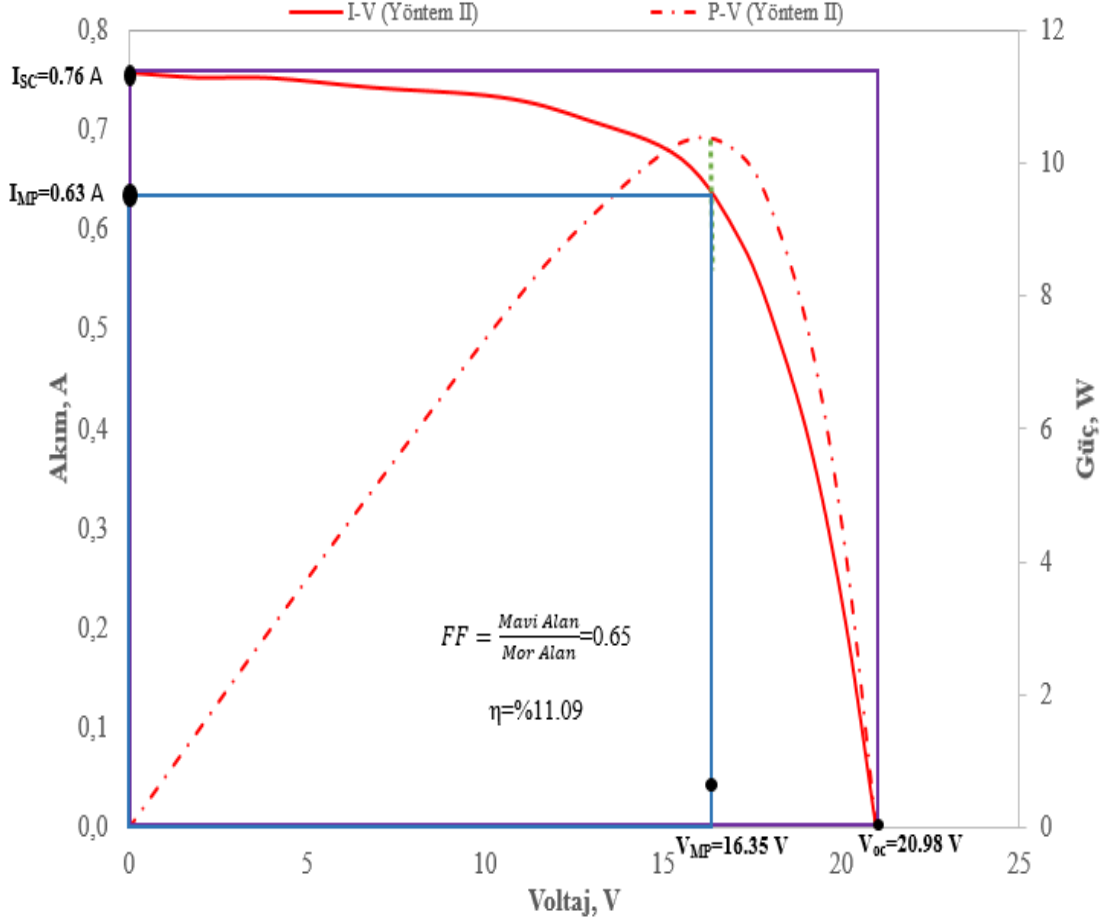
Tozlu panelin temizlenmesi için uygulanan Yöntem I, Yöntem II ve Hibrit Yöntem (Yöntem I ve Yöntem II birlikte) için, eğim açısı, $\beta = 15^\circ$ de, 25°C sıcaklık ve 600 W/m^2 radyasyon şiddeti altında elde edilen I-V ve P-V karakteristik eğrileri, doluluk Faktörü ve panel verimi FV panel temel performans parametreleri Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da verilmiştir. Şekil 4.7'de görüleceği gibi Yöntem I uygulanmış panelde, tozlu panele göre kısa devre akımı artarak 0.71 A, açık devre voltajı ise sınırlı bir artış ile 20.7 V olarak ölçülürken, maksimum güç noktasında akım ve voltaj değerleride benzer bir artış eğilimi göstererek sırasıyla 0.60 A ve 15.9 V olarak ölçülmüştür. Ayrıca FV panelin doluluk faktörü artarak 0.65 olurken, verimde artarak

%10,27 olarak gerçekleşmiştir.



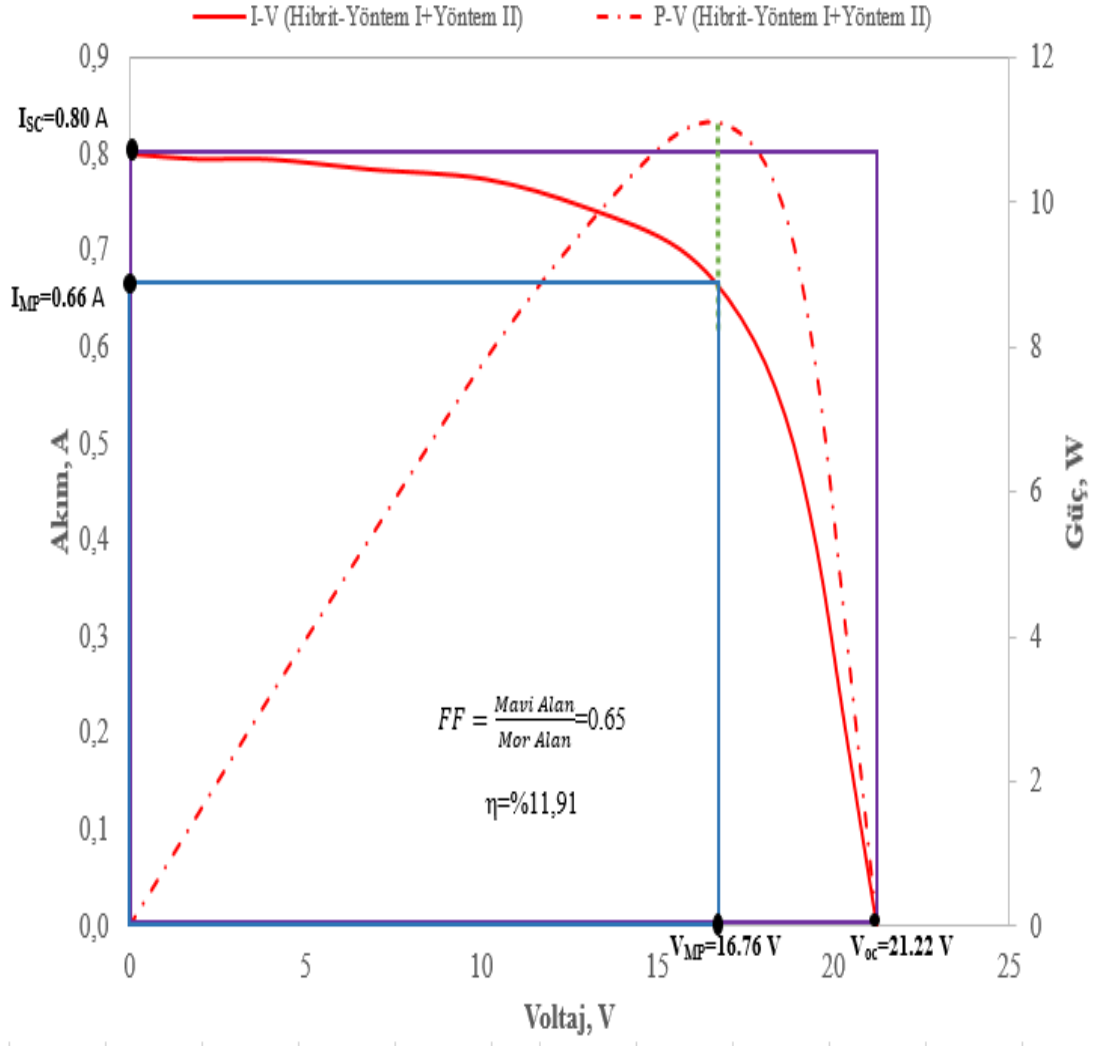
Şekil 4.7. Tozlu FV Panelin, Yöntem I ile Temizlenmesinin I-V ve P-V karakteristik eğrileri, Doluluk Faktörü ve Panel Verimine Etkileri (Panel Eğim Açısı, $\beta=15^\circ$)

Şekil 4.8’de görüleceği gibi Yöntem II uygulanmış panelde, tozlu panele göre kısa devre akımı artarak 0.76 A, açık devre voltajı ise sınırlı bir artış ile 20.98 V olarak ölçülürken, maksimum güç noktasında akım ve voltaj değerleri de benzer bir artış eğilimi göstererek sırasıyla 0.63 A ve 16.35 V olarak ölçülmüştür. Ayrıca FV panelin doluluk faktörü artarak 0.65 olurken, verimde artarak %11.09 olarak gerçekleşmiştir.



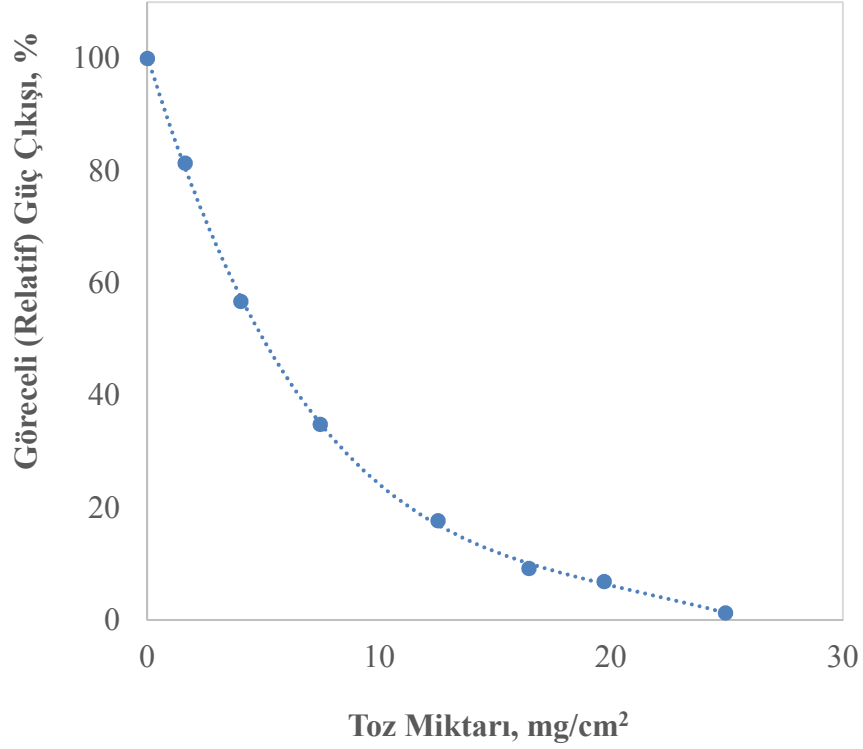
Şekil 4.8. Tozlu FV Panelin, Yöntem II ile Temizlenmesinin I-V ve P-V karakteristik eğrileri, Doluluk Faktörü ve Panel Verimine Etkileri (Panel Eğim Açısı, $\beta=15^\circ$)

Şekil 4.9’da görüleceği gibi Hibrit (Yöntem I+Yöntem II) yöntem uygulanmış panelde, tozlu panele göre kısa devre akımı artarak 0.80 A, açık devre voltajı ise sınırlı bir artış ile 21.22 V olarak ölçülürken, maksimum güç noktasında akım ve voltaj değerleri de benzer bir artış eğilimi göstererek sırasıyla 0.66 A ve 16.76 V olarak ölçülmüştür. Ayrıca FV panelin doluluk faktörü artarak 0.65 olurken, verimde artarak %11.91 olarak gerçekleşmiştir.



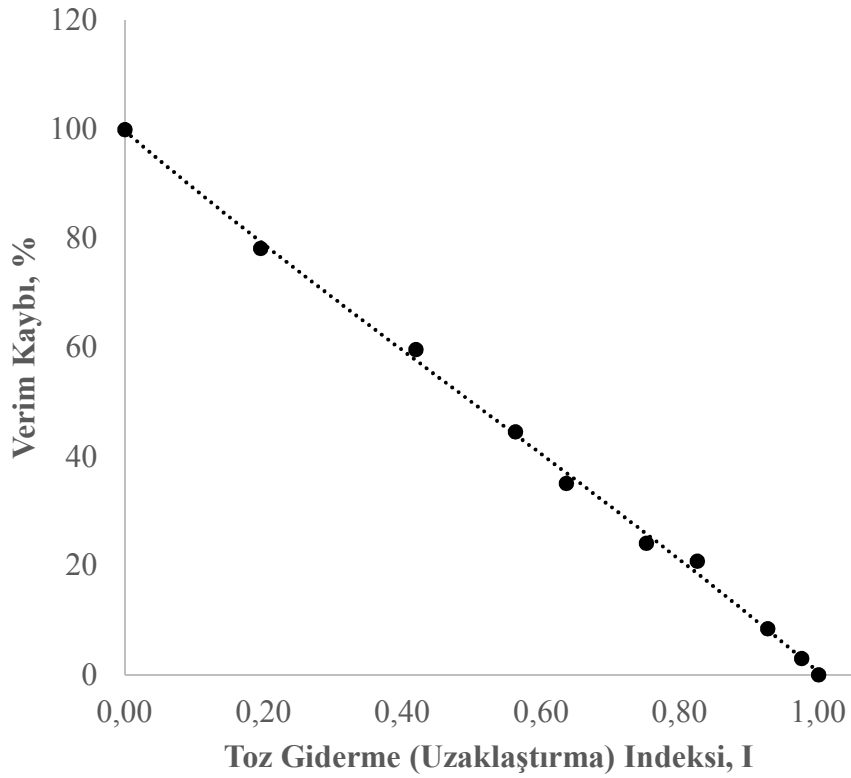
Şekil 4.9. Tozlu FV Panelin, Hibrit (Yöntem I+Yöntem II) ile Temizlenmesinin I-V ve P-V karakteristik eğrileri, Doluluk Faktörü ve Panel Verimine Etkileri (Panel Eğim Açısı, $\beta = 15^\circ$)

Şekil 4.10'da, FV panelin göreceli (rölatif) güç çıkışının toz miktarıyla değişimi verilmiştir. FV panelin üzerinde toz miktarı arttıkça beklendiği üzere göreceli (rölatif) güç çıkışı azalmıştır. Güç çıkışı artan tozlanma miktarı ile birlikte logaritmik olarak azalarak, toz miktarı 25 mg/cm^2 üzerine çıktığında tamamen durmaktadır.



Şekil 4.10. FV Panelin Göreceli (Rölatif) Güç Çıkışının Toz Miktarıyla Değişimi

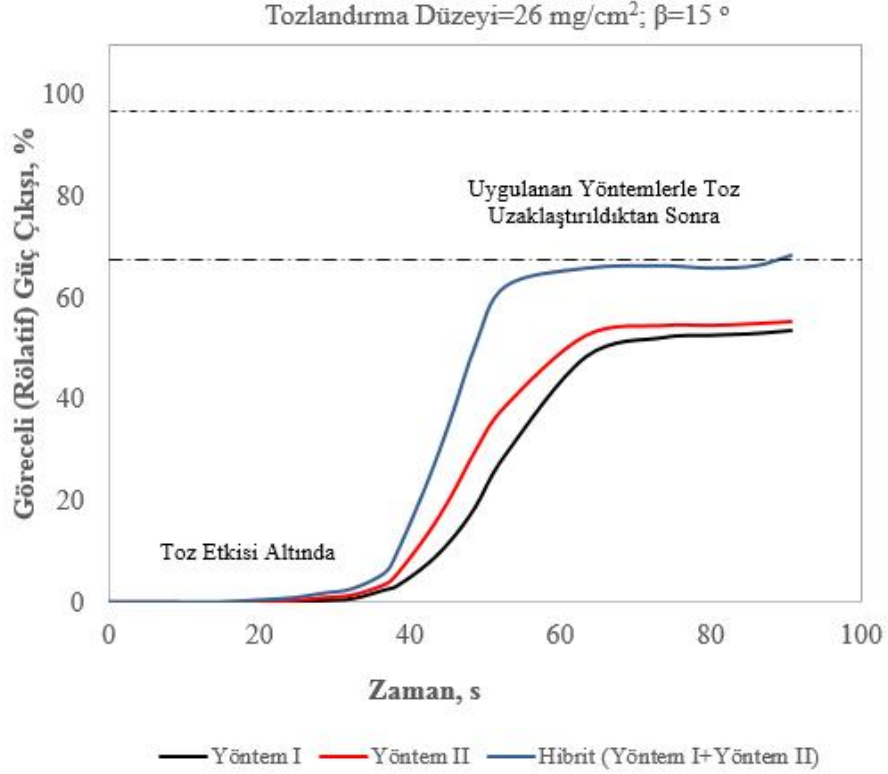
Şekil 4.11’de, güç kaybının FV panel toz giderme (Uzaklaştırma) indeksi ile değişimi gösterilmiştir. Bu grafik verileri panel eğim açısı, $\beta=15^\circ$ için, 25°C sıcaklık ve 600 W/m^2 radyasyon şiddeti altında elde edilmiştir. Verim kaybı, toz giderme indeksi 1 (bir) oluncaya kadar lineer olarak azalarak 0 (sıfır) değerine ulaşmaktadır. Toz giderme indeksi 0 (sıfır) olması panel yüzeyinin tamamen tozla kaplı olduğu ve panel veriminin 0 (sıfır) olduğunu göstermektedir. Toz giderme indeksi 1 (bir) olduğunda ise panel yüzeyinin tamamen tozdan arındırılmış olduğunu ve panel veriminin deney şartlarındaki normal değerindedir. Dolayısıyla bu nokta referans değer olduğu için verim kaybı sıfırdır. Toz giderme indeksi sıfır değerine yaklaştıkça yani fiziksel olarak FV panel yüzeyindeki toz miktarı arttıkça verim kaybıda artmakta ve panel yüzeyinin tamamen ve yoğun bir şekilde tozla kaplandığı durumda güç üretimi sıfır olacağından verim değeri de sıfır olmaktadır. Başka bir ifadeyle verim kaybı %100 değerine ulaşmaktadır.



Şekil 4.11. Güç Kaybının FV Panel Toz Giderme (Uzaklaştırma) İndeksi ile Değişimi

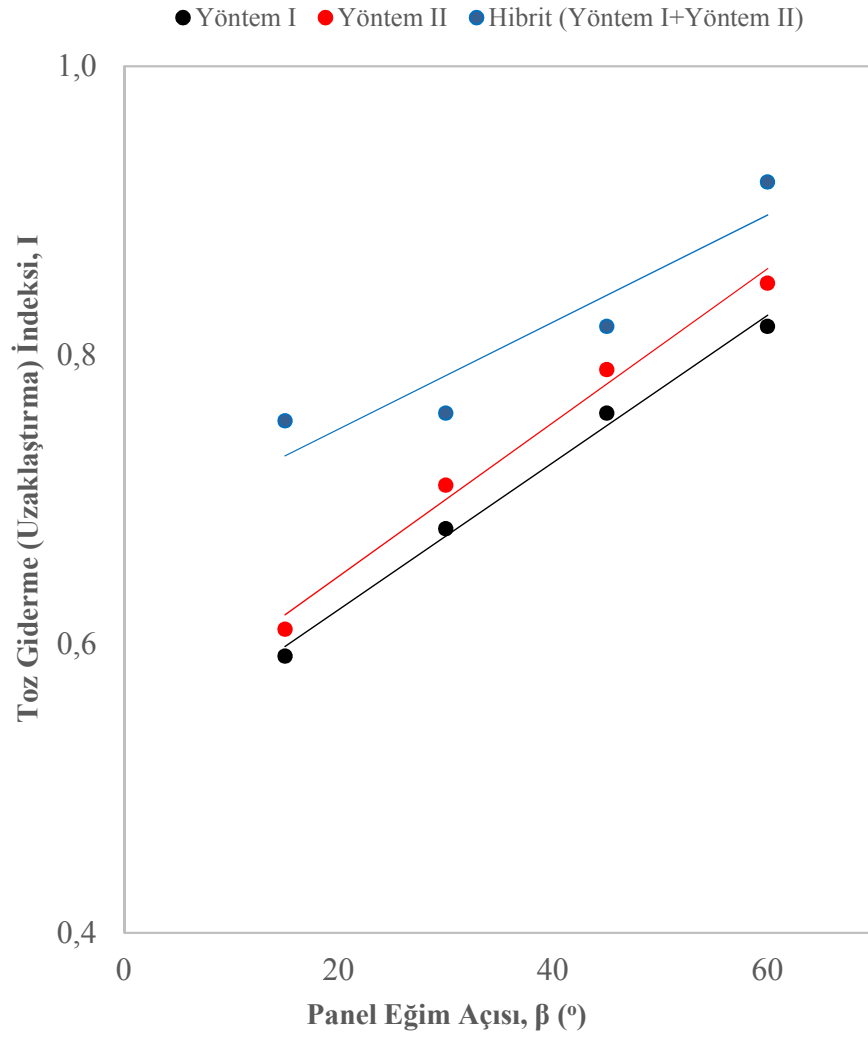
Şekil 4.12’de, 26 mg/cm² Tozlandırma Düzeyinde, Panel Eğim Açısı, $\beta=15^\circ$ için, 25 °C sıcaklık ve 600 W/m² radyasyon değeri yapılan deneyler sonucu elde edilen bir FV Panelin Göreceli (Rölatif) Güç Çıkışının Farklı Temizleme Yöntemleri ile Değişimi gösterilmiştir. Bu şekilden, Yöntem I, Yöntem II ve Hibrit Yöntem FV panele uygulanmaya başladıktan sonra yaklaşık 20 s gibi belirli bir süre boyunca panelin toz etkisi altında güç çıkışı üretmediği, 20 s sonunda ilk önce hibrit yöntemin, daha sonra Yöntem II’nin ve en sonunda Yöntem I’in panel üzerinden yeterli miktarda toz uzaklaştırmasının etkisiyle FV panelin güç üretmeye başladığı anlaşılmaktadır. Yine şekilden, uygulanan yöntemlerle toz uzaklaştırma işleminin hibrit yöntem ile yaklaşık 50 s, Yöntem II için yaklaşık 60 s, Yöntem I için ise yaklaşık 65 s sonra göreceli maksimumu güç çıkışına ulaşıldığı bu sürelerde sonra yöntemlerin etkisinin sabit kaldığı yani panelde kalan tozun uzaklaştırılmadığı görülmüştür. Yöntem I için göreceli maksimum güç çıkışı, %53.80, Yöntem II için %55.48 ve Hibrit yöntem için

ise %68.6 olarak gerçekleşmiştir. Bu sonuçlar, uygulanacak yöntemlerin pratiğe aktarılması için her koşul için sistemlerin çalışma sıklıklarının ve sürelerinin optimize edilebileceğini göstermektedir.



Şekil 4.12. 26 mg/cm² Tozlandırma Düzeyinde FV Panelin Göreceli (Rölatif) Güç Çıkışının Farklı Temizleme Yöntemleri ile Değişimi (Panel Eğim Açısı, $\beta=15^\circ$)

Şekil 4.13'te 26 mg/cm² Tozlandırma Düzeyinde, Farklı Temizleme Yöntemleri için FV Panel Toz Giderme (Uzaklaştırma) İndeksinin (I) Panel Eğim Açısı ile Değişimi verilmiştir. Bu şekilde görüldüğü gibi eğim açısı arttıkça toz uzaklaştırma indeksi de artmaktadır. Başka bir ifadeyle panel üzerinden uzaklaştırılan toz miktarı her üç yöntem içinde eğim açısına bağlı olarak lineer bir şekilde artmıştır. Bunun sebebi eğim açısının artışı ile yer çekim etkisinin daha baskın hale gelmesidir.



Şekil 4.13. 26 mg/cm² Tozlandırma Düzeyinde, Farklı Temizleme Yöntemleri için FV Panel Toz Giderme (Uzaklaştırma) İndeksinin (I) Panel Eğim Açısı ile Değişimi

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde, mekanik ve temassız kendi kendini temizleme yöntemlerinin FV panel performanslarına etkileri üç yöntem kullanılarak deneysel bir çalışma yürütülerek incelenmiştir. Elde edilen ana sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

- Panel tozlanmasının, panel karakteristik eğrileri ve verimi üzerinde olumsuz etkiler olduğu görülmüştür. Panel kirliliğinin artmasıyla, kirliliğinin panel karakteristik eğrileri ve verimi üzerinde olumsuz etkileri de artmaktadır.
- FV panelin güneş ışınım şiddetine bağlı olarak akım ve gerilim büyüklükleri değişirken, bu büyüklüklerinin eğrileri arasında doğrusal olmayan bir yapı oluşmaktadır. Buna göre güneş ışınım değeri azaldıkça FV panelin üreteceği maksimum güç değeri de azalmaktadır. Ayrıca kısa devre akım değerinde yüksek oranda azalmaya, açık gerilim değerinde ise çok büyük bir fark olmamaktadır. İki farklı ışınım değerleri için, akım değerleri ve gerilim değerleri birbirinden farklı değerler alırken, sistemin maksimum güç noktalarındaki değerleri değişmektedir.
- Tozlu panelin temizlenmesi için uygulanan Yöntem I, Yöntem II ve Hibrit Yöntemin hepsinin FV panel karakteristik eğrileri, doluluk faktörü ve verimini olumlu yönde etkiledikleri, bu olumlu etki en fazla sırasıyla Hibrit yöntemde, daha sonra Yöntem II'de ve en sonda Yöntem I'de görülmüştür.
- %31.3 güç kaybı oluşuncaya kadar tozlandırılmış (2.8 mg/cm^2) FV panel verimi %13.01'den %8.94'e düşmüştür. Yöntem I uygulandığında verim %10.27'ye, Yöntem II ile %11.09 ve hibrit yöntem ile %11.91'e çıkmıştır. Bu durum uygulanan yöntemlerin göreceli başarı sağladığını göstermektedir.
- FV panelin üzerinde toz miktarı artıkça göreceli (rölatif) güç çıkışı logaritmik olarak azalarak, toz miktarı 25 mg/cm^2 üzerine çıktığında ise tamamen durmaktadır.
- Verim kaybı, toz giderme endeksi 1 (bir) oluncaya kadar neredeyse lineer olarak azalarak 0 (sıfır) değerine ulaşmaktadır. Toz giderme endeksi sıfır değerine yaklaştıkça yani fiziksel olarak FV panel yüzeyindeki toz miktarı arttıkça verim kaybı da artmakta ve panel yüzeyinin tamamen ve yoğun bir şekilde tozla kaplandığı durumda güç üretimi sıfır olacağından verim değeri de

sıfır olmaktadır. Başka bir ifadeyle verim kaybı %100 değerine ulaşmaktadır.

- Uygulanan yöntemlerle toz uzaklaştırma işleminin hibrit yöntem ile yaklaşık 50 s, Yöntem II için yaklaşık 60 s, Yöntem I için ise yaklaşık 65 s sonra göreceli maksimumu güç çıkışına ulaşıldığı bu sürelerde sonra yöntemlerin etkisinin sabit kaldığı yani panelde kalan tozun uzaklaştırılmadığı görülmüştür. Yöntem I için göreceli maksimum güç çıkışı, %53.80, Yöntem II için %55.48 ve Hibrit yöntem için ise %68.6 olarak gerçekleşmiştir.
- Yöntem I, Yöntem II ve Hibrit Yöntem FV panele uygulanmaya başladıktan sonra yaklaşık 20 s gibi belirli bir süre boyunca panelin toz etkisi altında güç çıkışı üretmediği, 20 s sonunda ilk önce hibrit yöntemin, daha sonra Yöntem II'nin ve en sonunda Yöntem I'in panel üzerinden yeterli miktarda toz uzaklaştırmasının etkisiyle panelin güç üretmeye başladığı görülmüştür.
- Uygulanan yöntemlerle toz uzaklaştırma işleminin hibrit yöntem ile yaklaşık 50 s, Yöntem II için yaklaşık 60 s, Yöntem I için ise yaklaşık 65 s sonra göreceli maksimumu güç çıkışına ulaşıldığı bu sürelerde sonra yöntemlerin etkisinin sabit kaldığı yani panelde kalan tozun uzaklaştırılmadığı görülmüştür. Bu sonuç uygulanacak yöntemlerin pratiğe aktarılması için her koşul için sistemlerin çalışma sıklıklarının ve sürelerinin optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir.
- Panel eğim açısı arttıkça toz uzaklaştırma indeksi de artmaktadır. Başka bir ifadeyle panel üzerinden uzaklaştırılan toz miktarı her üç yöntem içinde eğim açısındaki artışla yer çekimi etkisi nedeniyle yaklaşık lineer bir şekilde artmaktadır.

Tez kapsamının sınırlı olması nedeni ile araştırılma fırsatı bulunamamış ve ayrıca bu çalışma sonunda elde edilen bilgi ve sonuçların değerlendirilmesi sonucunda, ileriye dönük yürütülecek çalışmalarda araştırılması önerilen bazı önemli hususlar aşağıda sıralanmıştır.

- Deneyler kapalı ortamda laboratuvar şartlarında gerçekleştirilmiştir. Saha ölçümlerinde paneller üzerine biriken toz miktarı dikkate alınarak uygulamaya dönük çalışmalar yapılabilir.
- Temizleme işlemi için farklı temassız temizleme yöntemleri kullanılabilir.

Dolayısıyla karşılaştırmalı olarak bu yöntemlerin etkisi araştırılabilir.

- Bu çalışmada, önerilen temassız temizlik yöntemlerinin performansının geliştirilmesi için panellerde farklı cam malzeme veya kaplama kullanımının etkileri araştırılabilir.
- Toz parçacıklarının yapısının (tipi, boyutu vb.) dikkate alınarak daha kapsamlı çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKÇA

- Adachi, K., Tsuji, M., & Kato, H. (1999). Elastic Contact Problem Of The Piezoelectric Material İn The Structure Of A Bolt-Clamped Langevin-Type Transducer. The Journal Of The Acoustical Society Of America, 105(3), 1651-1656.
- Ahmed, Z., Kazem, H. A. and Sopian, K., (2012). Effect of Dust on Photovoltaic Performance: Review and Research Status, Latest Trends in Renewable Energy and Environmental Informatics, 14, 175-3.
- Akgün, M. (2018). Piezoelektrik Özellikli, Polimer Nano Kompozit Malzeme Geliştirilmesi Ve Titreşim Sensörü Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi. Bursa Uludag University (Turkey),
- Akyazı, Ö. , Şahin, E. , Özsoy, T. , Algül, M. "A Solar Panel Cleaning Robot Design and Application". Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi (2019): 343-348 <https://dergipark.org.tr/en/pub/ejosat/article/638291>.
- Alagoz, S., & Apak, Y. (2020). Removal Of Spoiling Materials From Solar Panel Surfaces By Applying Surface Acoustic Waves. Journal Of Cleaner Production, 253, 119992.
- Alghamdi, A. S., Bahaj, A. S., Blunden, L. S., & Wu, Y. (2019). Dust Removal From Solar FV Modules By Automated Cleaning Systems. Energies, 12(15), 2923.
- Alnaser, N. W., Dakhel, A. A., Othman, M. J. A., Batarseh, I., Lee, J. K., Najmaii, S. and Alnaser, W. E., (2015). Dust Accumulation Study on the Bapco 0,5 MWp FV Project at University of Bahrain, International journal of Power and Renewable Energy Systems, 2, 35-54.
- Antonelli, M. G., Zobel, P. B., De Marcellis, A., & Palange, E. (2017). Battery-Powered Autonomous Robot For Cleaning Of Dusty Photovoltaic Panels İn Desert Zones. Paper Presented At The International Conference Mechatronics.
- Apak, Y. (2019). Akustik dalgaların fotovoltaik güneş panellerine etkilerinin incelenmesi (Master's thesis, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ardağ, Y. (2012). Güneş Pili Karakteristiklerinin İncelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Aslan, E., Bilgin, M. Z., & Erfidan, T. (2016). Piezoseramik Malzemelerle Elektrik Enerjisi Üretilmesi Ve Depolanması. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 5(2).
- Boz, O. H. (2011). Günümüzün Alternatif Enerji Kaynağı: FV Güneş Pilleri. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Casanova, J. Z., Piliouguine, M., Carretero, J., Bernaola, P., Carpena, P., Mora-Lopez, L. and Sidrach-Cardona, M., (2011). Analysis of dust losses in photovoltaic modules, World Renewable Energy Congress, Malaga.
- Chegaar, M., Hamzaoui, A., Namoda, A., Petit, P., Aillerie, M., Herguth, A. (2013). Effect Of Illumination Intensity On Solar Cells Parameters. Energyprocedia, 36, Pp. 722–729.
- Çelik, M. (2019). Yükselten çevirici topolojisine sahip lityum iyon piller için MPPT solar şarj kontrol cihazı (Master's thesis, Bursa Teknik Üniversitesi).

- Çiçek, O., & Karatay, S. (2018). Küçük & Orta Ölçekli FV (FV) Modül Üretimi İçin Dijital Pıd Sıcaklık Denetimli Laminatör Deney Kiti Tasarımı Ve Üretimi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji, 6(4), 814-823.
- Deb, D. and Brahmabhatt, N. L., (2018). Review of yield increase of solar panels through soiling prevention, and a proposed water-free automated cleaning solution. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 82, 3306–3313.
- Franco, A., ve Bartoli, C. (2019). The Ultrasounds As A Mean For The Enhancement Of Heat Exchanger Performances: An Analysis Of The Available Data. Paper Presented At The Journal Of Physics: Conference Series.
- Gök, M. O., Karadöl, İ., & Şekkeli, M. (2019). Piezo Uygulamalı Akıllı Tekstil Uygulaması. Mühendislik Bilimleri Ve Tasarım Dergisi, 7(2), 369-380.
- Gupta, V., Sharma, M., Pachauri, R. K., & Babu, K. D. (2019). Comprehensive Review On Effect Of Dust On Solar Photovoltaic System And Mitigation Techniques. Solar Energy, 191, 596-622.
- Gürbüz, D. (2018). Kir ve tozlanmanın fotovoltaiik sistem verimi üzerindeki etkisi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Hatano, H., & Kanai, S. (1996). High-Frequency Ultrasonic Cleaning Tank Utilizing Oblique Incidence. Ieee Transactions On Ultrasonics, Ferroelectrics, And Frequency Control, 43(4), 531-535.
- He, Gaofa, Chuande Zhou, And Zelun Li. (2011). "Review Of Self-Cleaning Method For Solar Cell Array." Procedia Engineering 16: Pp. 640-645.
- Isler, Y. S., ve Salih Muhsin, M. (2018). Güneş Enerjisi Santrallerinde Sehpa Seçiminin Performansa Etkisinin Analiz Edilmesi Ve Sıcaklık Etkisi. El-Cezeri Journal Of Science And Engineering, 6(1), 97-107.
- Jacesko, S., Abraham, J. K., Ji, T., Varadan, V. K., Cole, M., & Gardner, J. W. (2005). Investigations On An Electronic Tongue With Polymer Microfluidic Cell For Liquid Sensing And Identification. Smart Materials And Structures, 14(5), 1010.
- Jawale, J.B., Karra, V.K. , Patil, B.P., Singh, P., Singh, S. and Atre, S., (2016). Solar panel cleaning bot for enhancement of efficiency - An innovative approach. Proceedings of the 3rd International Conference on Devices, Circuits and Systems, ICDCS 2016, 103–108.
- Kaldellis, J. K., Fragos, P. and Kapsali, M., (2011). Systematic experimental study of the pollution deposition impact on the energy yield of photovoltaic installations, Renewable Energy, 36, 2717-2724.
- Kazem, H. A., Khatib, T., Sopian, K., Buttinger, F., Elmenreich, W. and Albusaidi, A. S., (2013). Effect of Dust Deposition on the Performance of MultiCrystalline Photovoltaic Modules Based on Experimental Measurements , International journal of renewable energy research, 3, 1-4.
- Kazem, H. A., Chaichan, M. T., Al-Waeli, A. H., & Sopian, K. (2020). A Review Of Dust Accumulation And Cleaning Methods For Solar Photovoltaic Systems. Journal Of Cleaner Production, 123187.

- Kawamoto, H., & Shibata, T. (2015). Electrostatic Cleaning System For Removal Of Sand From Solar Panels. *Journal Of Electrostatics*, 73, 65-70.
- Khan F., Singh, S.N., Husain, M., (2010). Effect Of Illuminationintensity On Cell Parameters Of Silicon Solar Cell Sol. *Energy Mater. Sol. Cells*, 94, Pp. 1473–1476.
- Kocaer, S. (2015). Piezoelektrik Tahrikli Doğrusal Hareket Mekanizma Tasarımı, incelenmesi (Master's thesis, Hacattepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kutluca, M. (2020). Şebekeden Bağımsız Mikro Güneş Enerji Santralinin Tasarımı ve Analizi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Lais, H., Lowe, P. S., Gan, T.-H., & Wrobel, L. C. (2018). Numerical Modelling Of Acoustic Pressure Fields To Optimize The Ultrasonic Cleaning Technique For Cylinders. *Ultrasonics Sonochemistry*, 45, 7-16.
- Maghami, M.R., Hizam, H., Gomes, C., Radzi, M.A., Rezadad, M.I. And Hajjighorbani, S., (2016). Power Loss Due To Soiling On Solar Panel: A Review, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 59, 1307–1316.
- Öztürk, H. H. (2017). Güneş enerjisinden FV yöntemle elektrik üretiminde güç dönüşüm verimi ve etkili etmenler. *Elektrik Tesisat Ulusal Kongre ve Sergisi Bildirileri*, 1, 1-14.
- Patil, P. A., Bagi, J. S. and Wagh, M. M., (2018). A review on cleaning mechanism of solar photovoltaic panel. 2017 International Conference on Energy, Communication, Data Analytics and Soft Computing, ICECDS 2017, 250–256.
- Piliougine, M., Carretero, J., Sidrachde-Cardona, M., Montiel, D. And Sánchez-Friera, P., (2008). Comparative Analysis Of The Dust Losses In Photovoltaic Modules With Different Cover Glasses , *Proceedings Of 23rd European Solar Energy Conference*, Valencia, Spain, Pp. 2698-2700, September.
- Rahman, M. M., Islam, M. A., Karim, A. H. M. Z. and Ronee, A. H., (2012). Effect of Natural Dust on the Performance of FV Panels in Bangladesh I.J., *Modern Education and Computer Science*, 10, 26-32.
- Ronnaronglit, N. and Maneerat, N., (2019). A cleaning robot for solar panels. 2019 5th International Conference on Engineering, Applied Sciences and Technology, ICEAST 2019, 2019–2022.
- Saadsaoud, M., Abbassi, H.A., Kermiche, S. and Ouada, M., (2016). Study of partial shading effects on photovoltaic arrays with comprehensive simulator for global MPPT control', *International Journal of Renewable Energy Research*, 6(2), 413–420.
- Syafiq, A., Pandey, A. K., Adzman, N. N., & Rahim, N. A. (2018). Advances In Approaches And Methods For Self-Cleaning Of Solar Photovoltaic Panels. *Solar Energy*, 162, Pp. 597-619.
- Sudhakar, K. and Rajput, D. S., (2013). Effect of Dust on The Performance of Solar FV Panel, *International journal of ChemTech Research*, 5, 1083-1086-58.
- Sulaiman, S. A., Hussain, H. H., Leh, N. S. H. N. and Razali, M. S. I., (2011). Effect of Dust on the Performance of FV Panels , *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 5, 2028-2033.

- Turhan, S., ve Çetiner, İ. (2012). “Fotovoltaik Sistemlerde Performans Değerlendirmesi”.6. Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu 12-13/04/ 2012 Uludağ Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi. Bursa
- Vaghani, M., Magtarpara, J., Vahani, K., Maniya, J. and Gurjwar, R.K., (2019). Automated solar panel cleaning system using IoT’, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 06(04), 1392–1395.
- Vasiljev, P., Borodinas, S., Bareikis, R. and Struckas, A., (2013). Ultrasonic system for solar panel cleaning. Sensors and Actuators, A: Physical, 200, 74–78.
- Yasui, K. (2018). Acoustic Cavitation And Bubble Dynamics: Springer.

ÖZ GEÇMİŞ

Damla ERİŞGİN, Samsun Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra On dokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği bölümünden 2017 yılında mezun oldu. 2019 yılında OMÜ LEE Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans programına girdi. (23/06/2022).

İletişim Bilgileri

ORCID ID : 0000-0002-7747-9860

Yayımlar:

1. Erişgin, D., Kara, G., Özcan, H. (2022). Fotovoltaik Panel Temizliğinde Yüzey Akustik Dalgaları Kullanımının Fotovoltaik Panel Performansına Etkilerinin İncelenmesi, OMÜ Mühendislik Bilimleri ve Teknolojisi Dergisi, 2022, 2(2).