

T. C.

TRAKYA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜNEŞ PANELLERİNİ ELEKTROMEKANİK YÖNTEMLE TEMİZLEYEN
SİSTEMİN TASARIMI VE İMALATI**

FATMA ERDEN TARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UYGULAMALI BİLİMLER VE TEKNOLOJİ ANABİLİM DALI

Tez Danışmanı : Dr. Öğr. Üyesi Mukadder İĞDİ ŞEN

EDİRNE-2023

FATMA ERDEN TARI'nın hazırladığı “**GÜNEŞ PANELLERİNİ ELEKTROMEKANİK YÖNTEMLE TEMİZLEYEN SİSTEMİN TASARIMI VE İMALATI**” başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Anabilim Dalında bir **Yüksek lisans tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvan, Ad, Soyad):

İmza

Doç. Dr. Murat TUNA

.....

Dr. Öğr. Üyesi Kenan KARAÇAVUŞ

.....

Dr. Öğr. Üyesi Mukadder İĞDİ ŞEN

.....

Tez Savunma Tarihi: 08 / 09 / 2023

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Dr. Öğr. Üyesi Mukadder İĞDİ ŞEN
Tez Danışmanı

.....

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Özlem ÇETİN ERDOĞAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

T. Ü. FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UYGULAMALI BİLİMLER VE TEKNOLOJİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS PROGRAMI
DOĞRULUK BEYANI

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

.... / /

Fatma Erden Tari

İmza

Yüksek Lisans Tezi

Güneş Panellerini Elektromekanik Yöntemle Temizleyen Sistemin Tasarımı ve İmalatı

T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

Uygulamalı Bilimler ve Teknoloji Anabilim Dalı

ÖZET

İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazları küresel sıcaklıkları hızla arttırmaktadır. Gereken önlemler alınmazsa ve fosil enerji kaynaklarının kullanımı bugünkü tüketim hızıyla devam ederse, önümüzdeki yirmi yıla kadar doğadaki canlılar için sera gazlarının olumsuz etkileri çok daha tehlikeli boyutlara ulaşacaktır. Kullanılan fosil yakıt kaynaklı enerjinin bağımlılığından kurtulmak amacıyla, tükenmeyen doğal enerji kaynaklarının kullanımı tüm dünyada hızlanmıştır. Günümüzde en çok tercih edilen yenilenebilir enerji kaynaklarından biri Güneş'tir. Bu enerji için kullanılan güneş panellerinin çıkış değerlerinin çevresel faktörlerden etkilendiği de bir gerçektir. Bu tezde, güneş panellerinde biriken kir ve tozun güç çıkışına etkisi incelenmiş ve panel temizleme mekanizmaları araştırılmıştır. Bu amaçla; enerjisini panelden sağlayan verimli, kompakt bir elektromekanik mekanizma tasarlanıp imal edilmiştir. Bu mekanizma, ikisi de tamamen aynı olan güneş panellerinden birinin üzerine monte edilmiştir. 20 gün boyunca yapılan ölçümlerde, biri bu mekanizmayla her gün temizlenirken diğer panel doğa şartlarına bırakılmıştır. İki panelin çıkış akım ve gerilim değerleri her gün iki defa ölçülerek kaydedilmiş ve bu değerler birbiri ile karşılaştırılmıştır. Temizleme mekanizmamızla temizlenen güneş panelinin çıkış gücünün, temizlenmeyen panelin çıkış gücünden daha fazla olduğu ölçülmüştür. Güneş panellerine eklenecek temizleme mekanizmalarının, panel kapasitesinin verimini arttırdığı sonucu elde edilmiştir.

Yıl : 2023

Sayfa Sayısı : 68

Anahtar Kelimeler : Güneş Enerjisi, Güneş Paneli, Panel Temizleme Yöntemleri

Master Thesis

Design and Manufacturing of a System that Cleans Solar Panels by Electromechanical Method

Trakya University Institute of Natural and Applied Sciences

Applied Sciences and Technology of Department

ABSTRACT

Greenhouse gases from human activities are rapidly increasing global temperatures. If the necessary precautions are not taken and the use of fossil energy sources continues at the current rate of consumption, the negative effects of greenhouse gases for living things in nature will reach much more dangerous levels until the next twenty years. The use of inexhaustible natural energy resources has accelerated all over the world in order to get rid of the dependency on fossil fuel-based energy used. One of the most preferred renewable energy sources in these days is the Sun. It is a fact that the output values of the solar panels used for this energy are affected by environmental factors. In this thesis, the effect of dirt and dust accumulated in solar panels on power output was investigated and panel cleaning mechanisms were investigated. For this purpose; an efficient, compact electromechanical mechanism that provides its energy from the panel has been designed and manufactured. This mechanism is mounted on one of the solar panels, both of which are exactly the same. During the measurements made for 20 days, one of them was cleaned every day with this mechanism, while the other panel was left to the natural conditions. The output current and voltage values of the two panels were measured and recorded twice a day and these values were compared with each other. It has been measured that the output power of the solar panel cleaned with our cleaning mechanism is higher than the output power of the uncleaned panel. It has been concluded that the cleaning mechanisms to be added to the solar panels increase the efficiency of the panel capacity.

Year : 2023

Number of Pages : 68

Keywords : Solar Energy, Solar Panel, Panel Cleaning Methods

ÖNSÖZ

Yapmış olduğumuz çalışmada, güneş panellerini otomatik temizleyen çalışmalar incelenerek; enerjisini panelden sağlayan, verimli, kompakt, elektromekanik bir güneş paneli temizleme mekanizması imal edilmiştir.

Öncelikle yüksek lisans eğitimim boyunca bilgisi ve tecrübeleriyle bana her zaman yol gösteren, tez yazım süreci boyunca bana büyük yardımları dokunan değerli danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mukadder İĞDİ ŞEN'e, tez sürecinde fikir ve yaratıcılığıyla bana katkı sağlayan çok değerli arkadaşım Elektronik Öğretmeni Şebnem AVŞAR'a, mekanizmanın imalat aşamasında malzeme tedarik sürecinde bana yardımcı olan Mobilya Öğretmeni Bülent CİVELEK'e, 'Harun Oto Elektrik' sahibi Elektrik Ustası Harun CANKIRAN'a, güneş panelleri temini ile ilgili her konuda bana yardımda bulunan 'Emel Elektrik' sahibi Doruk EMEL'e, zaman ayırıp atölyesinde metal kesme ve kaynak işini yapmamda büyük yardımları dokunan Metal Öğretmeni Mehmet TETİK'e ve Elektrik Teknisyeni Fikret TEKİNER'e, araba silecek aksamıyla ilgili her konuda beni bilgilendiren Otomotiv Öğretmeni Zelal ERDEN'e teşekkür ederim.

Kısıtlı imkanlarla çalışıp, zoru başaran, azmi ile bana ilham veren, bu zamana kadar okutup büyüten ve desteğini hiç esirgemeyen hem Babam hem Öğretmenim Şeyhmus ERDEN'e, bilim yolunda ilerlememe vesile olan, bana bu imkanı sağlayan değerli Annem Leyla ERDEN'e ve bu meşakatli süreçte ilerlememe destek olan Eşim Vedat TARI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Fatma ERDEN TARI

Edirne - 2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	4
GENEL BİLGİLER	4
2.1. Yenilenebilir Elektrik Enerji Kaynakları.....	4
2.2. Güneş Panelleri.....	6
2.2.1. Güneş Pili.....	6
2.2.2. Güneş Pilinin (Fotovoltaik Pil) Yapısı.....	6
2.2.3. Güneş Pilinin Çalışma Yöntemi.....	7
2.3. Güneş Santralleriyle İlgili Çevresel Koşulların Etkisi ve Yapılan Temizleme Çalışmaları.....	11
BÖLÜM 3	18
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	18

3.1. Laboratuvarda Güneş Pilinin Çıkış Değerlerinin İncelenmesi	18
3.2. Temizleme Mekanizmasının Tasarımı ve İmalatı	23
3.2.1. Prototip Çalışması	23
3.2.2. Malzemeler.....	24
3.2.3. İmalat Süreci ve Montaj Aşaması	26
3.2.4. Uygulama ve Deney Aşaması	32
3.2.5. Temizleme Mekanizmasının Aküden Çektiği Güç	33
3.2.6. Panel Çıkış Değerleri Ölçümlerine Göre Kapasite Artış Hesabı	37
3.3. Maliyet Analizi	43
BÖLÜM 4.....	45
SONUÇ VE ÖNERİLER	45
4.1. Güneş Panelinin Kapasite Artışı İle İlgili Sonuçlar.....	45
4.2. Sistemin Çalışması ile İlgili Sonuçlar.....	47
4.3. Akü ile İlgili Sonuçlar.....	48
KAYNAKLAR	49
EK.....	53
EK-A. DEVRELERDE KULLANILAN SEMBOLLER.....	53
ÖZGEÇMİŞ.....	54

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	: Amper
AC	: Alternatif akım
Ah	: Amper x Saat
BCS	: Fırçalı temizleme sistemi
CAPP	: Kanada petrol üreticileri derneği
CCS	: Kimyasalla kaplama sistemi
CO₂	: Karbondioksit
DC	: Doğru akım
ECS	: Elektrostatik temizleme sistemi
EİE	: Elektrik işleri etüt idaresi genel müdürlüğü
FV	: Fotovoltaik
HCS	: Helioteks temizleme sistemi
I	: Akım
IEA	: Uluslararası enerji ajansı
IICEC	: İstanbul uluslararası enerji ve iklim merkezi
Imp	: Maksimum güç akımı
IPCC	: Uluslararası iklim değişikliği paneli
kWh	: Kilowatt x Saat
mA	: Miliamper
mW	: Miliwatt
MW	: Megawatt
NO_x	: Azotoksit
P	: Elektriksel güç
Pmax	: Maksimum güç
PVC	: Polivinilchlorür, plastik
RCS	: Robotik temizleme sistemi

SI	: Uluslararası birim sistemi
SO₂	: Sülfürdioksit
TTR	: Çok telli iletkenlerin bir araya gelerek bir yalıtkan kılıf ile kaplanması
U	: Gerilim
V	: Volt
V_{mp}	: Maksimum güç gerilimi
W	: Watt
WEO	: Dünya enerji görünümü
Wh	: Watt x Saat
Wp	: Watt peak
YEK	: Yenilenebilir enerji kaynakları
YEKDEM	: Yenilenebilir enerji kaynaklarının destekleme mekanizması

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Son 5 yılda yenilenebilir enerji santrallerinin gelişimi. Burada artış çarpanı, 2022 kurulu gücünün 2017 kurulu gücüne oranı (Mimarlar Mühendisler Odası, 2023)..	5
Çizelge 2.2. Güneş panellerinin avantajları/dezavantajları (https://dachzeltnomaden.com/).....	10
Çizelge 2.3 Seçilmiş beş otomatik temizleme sistemi ve özellikleri (Javad, 2021).	14
Çizelge 3.1. Elektriksel güç hesaplanmasında kullanılan birimler (SI, uluslararası birim sistemi).....	20
Çizelge 3.2. Değişken direnç değerleri için ölçülen akım, gerilim değerleri ve hesaplanan güç miktarları.	20
Çizelge 3.3. FV hücre için çeşitli akım (I) – gerilim (U) ölçümü ve elde edilen güç (P) gözlem sonuçları.	21
Çizelge 3.4. Tasarımda kullanılan malzemeler ve kullanım amaçları.	24
Çizelge 3.5. Kullanılan güneş panellerinin özellikleri.	27
Çizelge 3.6. Sistemin çalışma durumuna göre yapılan ölçümler ve hesaplamalar.	37
Çizelge 3.7. Temizlenen ve tozlanan panellerin çıkış gerilim, akım ve güç değerleri (U: gerilim (volt), I: akım (amper) ve P: güç (watt) değerleri'dir). Ölçümler 6.05.2023 - 26.05.2023 tarihleri arasında yapılmıştır.	41
Çizelge 3.8. Panel kapasite artışı.....	43
Çizelge 3.9. Güneş paneli ve sistem için kullanılan malzemelerin fiyat listesi.	43
Çizelge 3.10. Temizleme mekanizması fiyat listesi.....	44
Çizelge 3.11. Toplam maliyet.	44
Çizelge 4.1. Temizleme mekanizmasının özellikleri.	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Kuvarz kumundan güneş pili elde edilmesi aşamaları (https://museumfrankfurt.senckenberg.de/de/).	7
Şekil 2.2. Güneş pili katmanlarının yapısı (http://dachzeltnomaden.com).	8
Şekil 2.3. Katmanlar arası sınır tabakasının oluşumu (https://dachzeltnomaden.com/). ..	8
Şekil 2.4. Fotovoltaik hücrenin elektrik akımı üretmesi (https://dachzeltnomaden.com/).	9
Şekil 2.5. Bir fotovoltaik hücrenin dizine dönüşümü.....	10
Şekil 2.6. Çeşitli temizleme sistemleri örnekleri (Javad, 2021).....	13
Şekil 2.7. Modül tasarımının görünümü (Paudyal vd., 2015).....	15
Şekil 2.8. Piezoelektrik aktuatör görünümü (Lu vd., 2013).....	16
Şekil 2.9. Güneş paneli temizleme robotu sistemin genel görünümü (Akyazi vd., 2019).	17
Şekil 3.1. Bir FV hücresi için akım (I, amper (A)) – gerilim (U, volt (V)) ölçüm devresi. Kullanılan sembollerin bilgisi EK-A’da verilmiştir.	18
Şekil 3.2. FV hücrenin akım-gerilim-güç hesaplama deneyi gösterimi.....	19
Şekil 3.3. FV hücrenin akım (I) – gerilim (U) grafiği.....	22
Şekil 3.4. FV hücrenin akım (I), gerilim (U) ve güç (P) grafiği.	22
Şekil 3.5. Mekanizmanın prototipi.....	23
Şekil 3.6. Deney yapılan monokristal güneş panellerin gösterimi.....	27
Şekil 3.7. Güneş panelinin zemine 30 ⁰ derecelik açıyla yerleştirilmesi.	28

Şekil 3.8. Kremayer dişlisinin panel üzerine yerleştirilmesi.....	28
Şekil 3.9. 12V DC motorun kremayer dişli üzerine yerleştirilmesi	28
Şekil 3.10. Silecek kollarının kesilip motor gövdesine kaynak edilmesi.....	29
Şekil 3.11. İleri-geri anahtar ve düğmenin (butonun) metal gövdeye yerleşimi ve su tankı.	30
Şekil 3.12. Sınırlayıcının metal ayaklara yerleştirilmesi.	30
Şekil 3.13. Mekanizmanın panel üzerine monte edilmesi.....	31
Şekil 3.14. Temizleme mekanizması çalışma prensibi.	32
Şekil 3.15. Deney yapılan güneş panelleri. Temizleme mekanizmalı panel sağda yer almaktadır.....	33
Şekil 3.16. Akünün güneş paneline bağlantısı.	34
Şekil 3.17. Ölçü aletlerinin güneş paneli ve aküye bağlantı devresi.....	34
Şekil 3.18. Akü gerilim değerinin ölçülmesi.	35
Şekil 3.19. Akü çıkışından elde edilen gerilim ve akım değerlerinin okunması.	35
Şekil 3.20. Mekanizmayı çalıştıran motorların aküye bağlantı devresi.	36
Şekil 3.21. Kuru temizlenen panel kenarında toz birikmesi.	38
Şekil 3.22. Sulu temizleme yapılan panelin temizlenmiş hali.	38
Şekil 3.23. Tozlanan panel ve düzenli temizlenen panelin görünümü.....	39
Şekil 3.24. Tozlu ve temiz panel çıkış gerilimleri ölçümü.	39
Şekil 3.25. Güneş panelinin a) temizlenmeden önce ve b) temizlendikten sonraki ölçülen çıkış değerleri.	40
Şekil 3.26. Temizlenen ve tozlanan panellerin çıkış gerilimleri ölçüm grafiği, a) saat 9.00'da; ve b) saat 16.00'da ölçülen değerler.	42

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ekonomik, sosyal ve çevresel gelişmelerde enerjinin önemli bir yeri bulunmaktadır. Dünya genelinde artan nüfus ve şehirleşme ile birlikte enerji ihtiyacı artmaktadır. Diğer yandan savaşlar, salgınlar, ekonomik krizler ve enerjiyi temin etmede yaşanan zorluklar, uzun yıllardır kullanılan fosil kaynaklı yakıtların oluşturduğu önemli çevresel sorunları da beraberinde getirmiş ve böylece ülkeleri kendilerinin ve dünya genelindeki enerji politikalarını gözden geçirmeye zorunlu kılmıştır.

Kanada parlamentosunun 2017 bahar raporuna göre kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtların yanması, iklim değişikliği üzerinde önemli etkisi olan karbondioksit miktarını artırmaktadır (Topçu, 2018). Türkeş (2008)'in çalışmasında, buz sondaj verilerinin 1950 öncesine göre, 1980'li yıllardan itibaren insan kaynaklı faaliyetlerin atmosferde CO₂ (karbondioksit) miktarını ve ortalama yüzey sıcaklığını hızla ve büyük miktarlarda arttırdığı belirtilmektedir. Arslan (2021), IPCC (Uluslararası İklim değişikliği Paneli) üçüncü değerlendirme raporunda, yüzyılı aşkın bir süredir kullanılan kömür ve petrol gibi fosil yakıtların, sera gazı emisyonu yaratarak çevre üzerinde olumsuz etki yarattığını ve atmosferdeki CO₂ konsantrasyonunu artırdığını ifade etmektedir. Matheson ve Giroux (2010)'a göre, fosil yakıtlı enerji teknolojilerinin üretimi ve son kullanımı sırasında sera gazı yayılmaktadır, ancak rüzgar başta olmak üzere güneş ve jeotermal kaynaklar için kullanılan yenilenebilir enerji teknolojilerinin iklim değişikliğine etkileri çok azdır. Çoban ve Kılınç (2016)'a göre, doğalgaz ve petrol gibi boru hatlarının inşası, ekosistemi olumsuz etkilemekte; ve yaşam alanı ile birlikte hayati öneme sahip olan toprağa ve su kaynaklarına zarar vermektedir.

2016 yılında termik santrallerde yakılan kömürün atmosfere 9,5 milyar ton CO₂ saldığı, ayrıca kömür yakıtlı santrallerde sadece sera gazı değil sülfür dioksit (SO₂)'in; ve havada asılı kalıp insan sağlığı için tehlike yaratan parçacıklar olan partikül maddeler ve azot oksitler (NO_x) gibi bileşiklerin atmosferde biriktiği ifade edilmektedir (International Energy Agency, 2017). Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve sözleşmesinin devamı olan Paris Antlaşması'nın da, insan faaliyetlerinden kaynaklanan atmosferdeki sera gazı artışının neden olduğu küresel sıcaklık artışının 2050 yılına kadar sanayi öncesi döneme göre 2 C⁰'nin altında hatta 1,5 C⁰ ile sınırlandırılması gerektiğinin önemine dikkat çekilmiştir. 2021 Birleşmiş Milletler İklim değişikliği panelinde, atmosferdeki sera gazı miktarının, hızla artan fosil yakıtların kullanımıyla birlikte rekor seviyeye ulaştığı bildirilmiştir (Özdemir, 2021). Fosil yakıtlar, tehlikeli çevresel etkiler oluşturduğu için son dönemlerde kamuoyu baskıları artmış, böylece ülkeler için tükenmeyen enerji kaynaklarının bulunması çok önemli bir noktaya gelmiştir. Demir (2021)'in çalışmasında Avrupa Birliği 6. Çevre Eylem programında ele alınan konular arasında yenilenebilir enerji kaynakları ve bunların desteklenmesi yönünde eylem planları olduğu görülmektedir. Avrupa Birliği Komisyonu'nun 1997 yılında açıkladığı Yenilenebilir Enerji Kaynakları Eylem Planı'nda, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji tüketimindeki payının %12'ye çıkartılmasını hedeflendiği belirtilmiştir. Türkeş ve Kılıç (2004)'a göre 2001'de ''Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimi direktifi'' kabul edilmiştir. Doğan Haber Ajansı (2021), ABD'nin Paris İklim Anlaşması'na tekrar geri döndüğünü duyurmuştur. Ticaret Bakanlığı Sektör Haberleri (2020)'ne göre Birleşik Krallık, emisyonları %60-80 seviyelerine düşürmeyi taahhüt etmiştir.

Avrupa Birliği 1991'de uluslararası karbon vergisinin uygulamaya koyulmasıyla, karbon yayan fosil yakıtların kullanımının büyük ölçüde azalacağını ayrıca kısa sürede uygulamaya koyulmasa bile uzun vadede ekonomik fayda sağlayacağını ifade etmiştir (Herber ve Raga, 1995).

Akova (2003)'nin çalışmasında, dünyadaki mevcut fosil kaynakların aynı hızla tüketimi devam ettiği takdirde, 41 yıl sonra petrol, 62 yıl sonra doğalgaz ve yaklaşık 230 yıl sonra da kömürün tükeneceği iddia edilmekte ve bunun için doğal ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin zorunluluğu vurgulanmaktadır. Akbaş ve Apar (2010)'a göre, Avrupa Birliği ülkelerince akıllı, sürdürülebilir ve kapsayıcı büyüme için izlenmesi gereken beş ana stratejiden biri, sera gazı salınımının 1990 yılına oranla en az %20, şartlar

elverişli ise %30 oranında azaltılması ve enerji tüketiminde yenilenebilir enerjinin payının %20'ye yükseltilmesidir.

Almanya yenilenebilir enerjiye sabit fiyat garantisi için yenilenebilir enerji kanunu çıkarmıştır, böylece çevreye fayda sağlayan ilk Avrupa Birliği ülkesi olmuş, Almanya'nın yenilenebilir enerji üretimindeki payı 2016 yılı sonunda %29'a yükselmiştir (Dünya Enerji Konseyi, 2018a). Horne ve Kennedy (2017)'nin çalışmasında, ABD'de yenilenebilir enerjinin benimsenmeye başladığını belirtilmektedir. Palm (2017)'in İsveç'te yaptığı analizler neticesinde, güneş panellerinin kullanımının yaygınlaşmasında mahalle akran etkisinin önemli olduğunu ifade edilmektedir. Noppers vd. (2019), Hollanda'da elektrikli araçların benimsenmesine ilişkin analizlerinde, “insanların bir yeniliği benimserken bu yeniliğin niteliklerini olumlu bir bakış açısıyla değerlendirdiklerinde ancak sürdürülebilir” olur tespitlerinde bulunmuşlardır.

Dünya Enerji Konseyi (2018b)'nin Küresel Elektrikli Araç Görünümü Raporu'na göre dünyada 2017 yılında elektrikli otomobil satışında 2016'ya göre %54'lük bir artış yaşandığı vurgulanmıştır. Norveç, İzlanda ve İsveç'de araç satışlarının önemli bir payını elektrikli araçların oluşturduğu ifade edilmiştir.

2020 yılında Dünya genelinde ortaya çıkan koronavirüs salgınıyla beraber, petrol ve doğal gaz fiyatlarındaki yüksek oranlı dalgalanmalar karbon salınımına neden olan fosil yakıtların yerine, yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımların hızlandığı bir fırsat olarak görülmektedir (İnat vd., 2020). Salgın nedeniyle enerji piyasalarında dengesizlikler meydana gelmişse de 2020 yılının sonlarına doğru yenilenebilir enerji kaynakları 2019'a göre kapasitesini artırmıştır (Irena, 2021). Dikkaya ve Rzali (2020), yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretiminin, koronavirüs pandemisinden en az etkilenen enerji elde etme alanı olduğunu ifade etmişlerdir.

BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

2.1. Yenilenebilir Elektrik Enerji Kaynakları

Enerji kullanımının çevreye verdiği zararları azaltmak için, yenilenebilir enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir ve bağımsız enerjinin geleceğine büyük katkı sağlayacak bir potansiyeldedir. Özellikle çevresel kirliliği ve ithal edilen yakıta bağımlılığı azaltmada katkı sağlayacağı öngörülmektedir. Yenilenebilir elektrik enerji kaynakları:

1. Güneş enerjisi
2. Rüzgar enerjisi
3. Biokütle veya atık enerjisi
4. Küçük hidroelektrik enerji
5. Deniz gel-git enerjisi
6. Jeo-termal enerji'dir.

Konumu nedeniyle yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin olan ülkemizde hidroelektrik, jeotermal, biyokütle, rüzgar ve güneş'in yıllık üretim kapasiteleri her geçen yıl artmaktadır. Çizelge 2.1'de Türkiye'nin yıllar içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişimi verilmiştir. Burada, artış genel toplam ile MW biriminde hidrolik, rüzgar, güneş, jeotermal ve biyo+atık ısı enerjilerinin 2018 ve 2022 yılları arasındaki toplamı ifade edilmektedir.

Çizelge 2.1. Son 5 yılda yenilenebilir enerji santrallerinin gelişimi. Burada artış çarpanı, 2022 kurulu gücünün 2017 kurulu gücüne oranı (Mimarlar Mühendisler Odası, 2023).

KURULU GÜÇ

	Hidrolik (MW)	Rüzgar (MW)	Güneş (MW)	Jeotermal (MW)	Biyo+Atık Isı (MW)
2017	27273,1	6516,2	3420,7	1063,7	634,2
2018	28291,4	7005,4	5062,9	1282,5	738,8
2019	28503,0	7591,2	5995,2	1514,7	1163,3
2020	30983,9	8832,4	6667,4	1613,2	1484,6
2021	31492,6	10608,0	7815,6	1676,2	2035,4
2022	31571,5	11396,2	9425,4	1691,3	2308,8
ARTIŞ ÇARPANI	1,16	1,75	2,76	1,59	3,64

YILLIK ARTIŞ

	Hidrolik (MW)	Rüzgar (MW)	Güneş (MW)	Jeotermal (MW)	Biyo+Atık Isı (MW)
2018	1018,3	489,2	1642,2	218,8	104,6
2019	211,6	585,8	932,3	232,2	424,5
2020	2480,9	1241,2	672,2	98,5	321,3
2021	508,7	1775,6	1148,2	63,0	550,8
2022	78,9	788,2	1609,8	15,1	273,4
TOPLAM ARTIŞ	4298,4	4880,0	6004,7	627,6	1674,6
ARTIŞ GENEL TOPLAM = 17485,3 MW					

EİE (Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü) tarafından yapılan çalışmaya göre Türkiye'nin günlük 7,2 saat'den ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi toplam 2640 saat'dir. Bu sürenin ülkemiz açısından büyük avantaj sağlayacağı belirtilmektedir (Özgöçmen, 2007).

2.2. Güneş Panelleri

Güneş pili, pilin yapısı ve çalışma yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

2.2.1. Güneş Pili

İlk fotovoltaik (FV) pil,1839'da Edmond Becquerel tarafından üretildi, bunu da iletken bir sıvıda elektrodun ışık yaymasıyla keşfetti. 1877 yılında da W. G. Adams ve R. E. Day tarafından katılaştırılmış selenyumdaki fotovoltaik etki dikkat çekti. Daha sonra 1883 yılında C. Fritts tarafından, %1'in altında bir verimlilikle ince bir altın tabakası üzerinde yer alan selenyum güneş hücresi oluşturuldu. Sonrasında W. Hallwachs bakır ve bakıroksit kullanarak yarıiletken eklemli bir güneş hücresi elde etmiştir. 1904'de A. Einstein tarafından ele alınarak 'Fotoelektrik olay' makalesi ile olay daha iyi anlaşılmıştır. 1954 yılında Bell laboratuvarları tarafından üretilen ilk silisyum p-n eklemli güneş hücresi ile elde edilen elektrik enerjisi günümüze kadar ulaşarak yaşanan birçok gelişime öncülük etmiştir. (https://en.Wikipedia.Org/wiki/Edmond_Becquerel; Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, 2022).

2.2.2. Güneş Pilinin (Fotovoltaik Pil) Yapısı

Fotovoltaik piller, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirirler. Bu pilin içinde yarıiletken adı verilen bir malzeme vardır. Yarı iletken, iletken ve yalıtkan arasında yer alan normal şartlarda yalıtkan; ısı, ışık veya manyetik alan gibi bir etkinin altında kaldığında ise iletken hale gelen özel bir malzemedir. Güneş pilleri ya da diğer adıyla bilinen fotovoltaik pillerin yaklaşık %95'i Silisyum yarı iletkeninden üretilir. Doğada galyum, silisyum, selenyum gibi yarı iletken elementler bulunmasına rağmen, oksijenden sonra en fazla bulunan element silisyumdur. Silisyum veya Silisyumdioksit (SiO₂) bileşiği kum ve kuvarz şeklindedir ve düşük maliyetlidir (<https://tr.Wikipedia.Org/wiki/Silisyum>;<https://en.Wikipedia.Org/wiki/Semiconductor>).

Kuvarz kumundan güneş pili hücresi elde edilme aşamaları Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Bu kum çok yüksek sıcaklıklarda eritilerek Silisyum kristallerine daha sonra da şekil verilerek güneş piline dönüştürülür.



a) Kuvarz Kumu

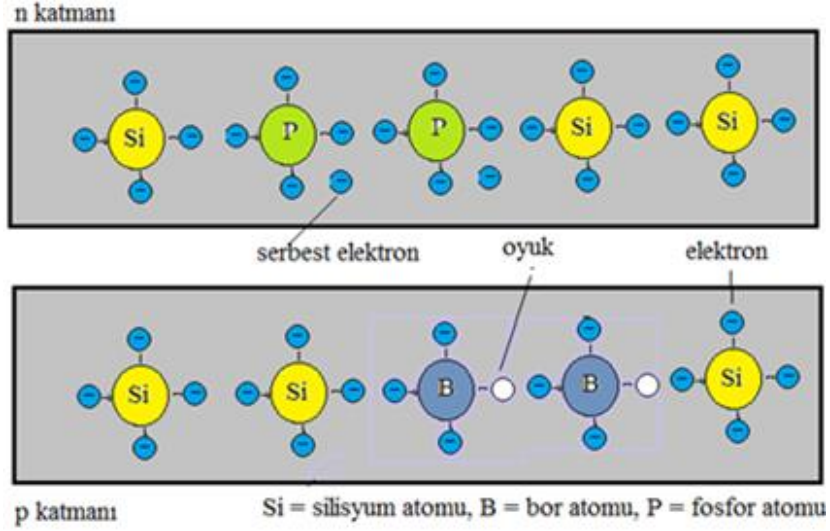
b) Silisyum Kristali

c) Güneş Pili

Şekil 2.1. Kuvarz kumundan güneş pili elde edilmesi aşamaları (<https://museumfrankfurt.senckenberg.de/de/>).

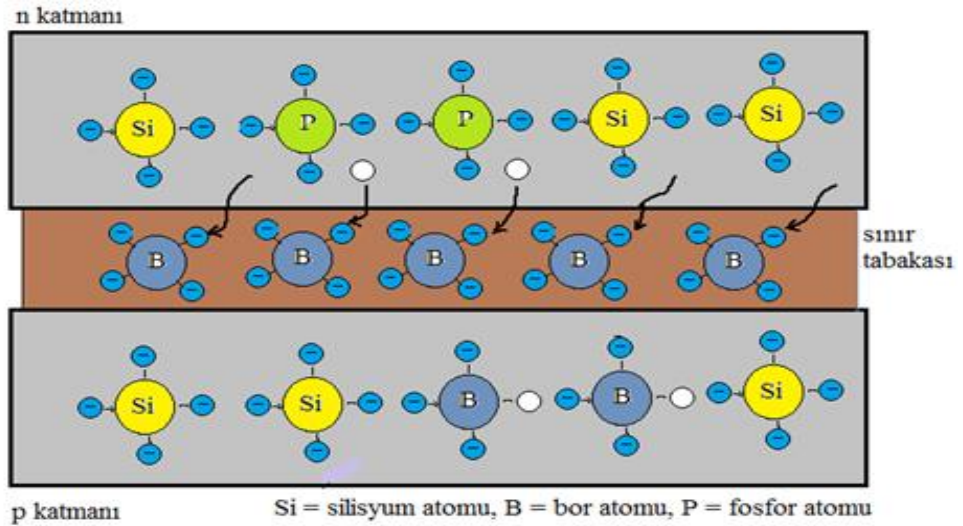
2.2.3. Güneş Pili Çalışma Yöntemi

Silisyum yarı iletkeninin son yörüngesinde 4 elektron vardır ve bu elektronlar tek başına bir işe yaramamaktadır. Bu nedenle, silisyumu daha kullanışlı yapabilmek için daha başka elementler eklenir. Şekil 2.2'deki Silisyum elementine, son yörüngesinde beş elektronu bulunan Fosfor maddesi eklenirse, Silisyumda dokuz elektron olur ve bir elektronu fazla kalır. Bu bir elektron serbest hale gelir ve "N tipi yarıiletken" olur. Son yörüngesinde üç elektronu bulunan Bor maddesi eklenirse Silisyum elementi yedi elektronlu olur ve bir elektrona ihtiyaç duyar yani bir oyuk boşta kalır. Bu da "P tipi yarı iletkeni" oluşturur. N tipi yarı iletkende elektron fazlalığı, P tipi yarıiletkende de elektron azlığı (oyuk) oluşur. Güneş pilleri de bu P ve N tipi yarıiletken maddelerin birleşmesinden meydana gelir (<https://dachzeltnomaden.com/>).



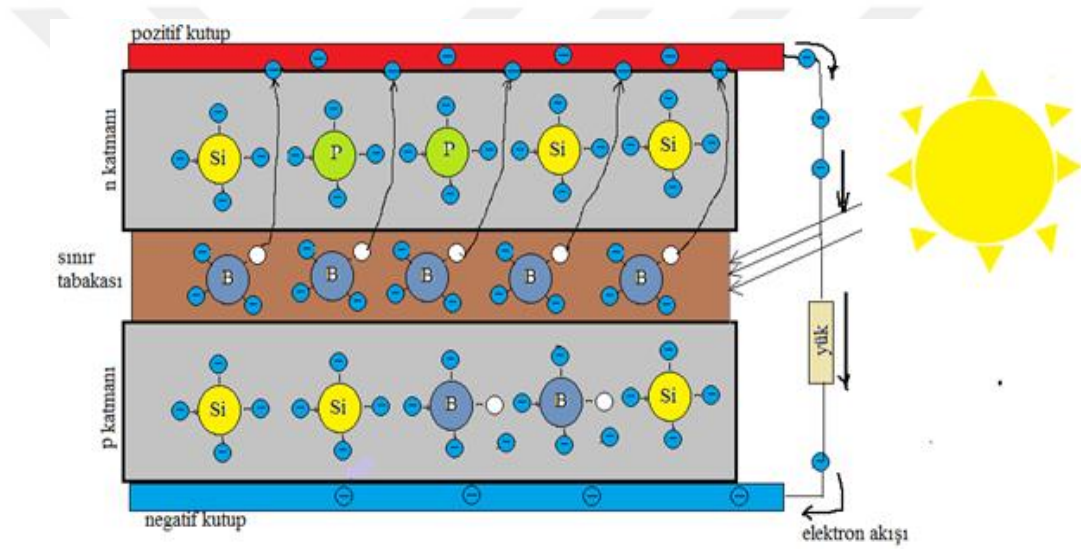
Şekil 2.2. Güneş pili katmanlarının yapısı (<http://dachzeltnomaden.com>).

Bu P ve N tipi yarı iletkenler bir araya getirildiklerinde aralarında Şekil2.3'deki gibi bir sınır tabakası oluşur ki bu sınır tabakada elektriksel bir alan ortaya çıkar. Bunun sebebi bu tabakada N katmanının serbest elektronlarının P katmanındaki Bor atomunun oluklarına yerleşmesidir. Bu durum sınır tabakadaki bütün olukları doldurana kadar devam eder.



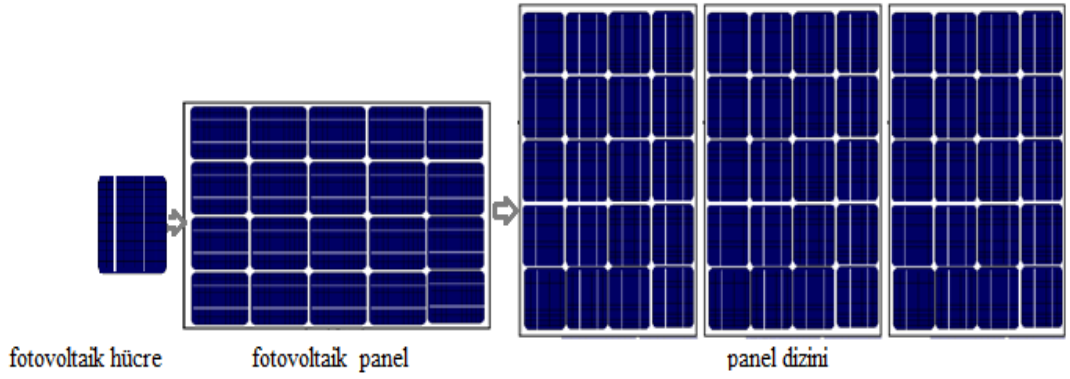
Şekil 2.3. Katmanlar arası sınır tabakasının oluşumu (<https://dachzeltnomaden.com/>).

Güneş ışığı Şekil 2.4’de bir örneği görülen sınır tabakasına düştüğünde, ışığın içindeki fotonlar Bor iyonunun serbest elektronlarını harekete geçirir ve bu elektronlar pozitif kutbu oluşturan N katmanı tarafından çekilir ve bu nedenle pozitif yüklenir. Güneş ışığı sınır tabakasına çarptığı müddetçe elektronlar Bor iyonundan ayrılır ve pozitif kutba itilir. Burada pozitif ve negatif kutupları bir yük üzerinden birbirine bağlarsak artık elektronlar bu hat boyunca yükten ve oradan negatif kutba, sonra tekrar P katmanından sınır tabakasına kadar akar. Böylece oluşan bu elektron akışı elektrik akımını meydana getirir. Bu döngü, güneş ışığı olduğu müddetçe devam eder. Akşam hava karardığında ise elektron akışı durur ve elektrik üretimi kesilir (<https://dachzeltnomaden.com/>).



Şekil 2.4. Fotovoltaik hücrenin elektrik akımı üretmesi (<https://dachzeltnomaden.com/>).

Her bir FV hücre tek başına gerilim üretir. FV hücreler birbirleri arasında seri bağlanarak güneş panellerini oluştururlar. Güç talebine bağlı olarak istenen sayıda güneş paneli Şekil 2.5’deki gibi bir araya getirilerek istenen güçte panel dizinleri meydana getirmek mümkündür.



Şekil 2.5. Bir fotovoltaik hücrenin dizine dönüşümü.

Güneş panelleri nasıl yapıldıkları, görünüşleri, verimleri, maliyetleri ve kurulumlarına göre farklı türde olabilmektedir. Güneş panellerinin avantajları ve dezavantajları Çizelge 2.2’de açıklanmıştır. Çatı ve tarla sistemlerinde en çok tercih edilen güneş panelleri:

- 1-Mono kristal paneller
- 2-Polikrostral paneller
- 3-İnce Film Paneller’dir.

Çizelge 2.1. Güneş panellerinin avantajları/dezavantajları (<https://dachzeltnomaden.com/>).

Avantajları	Dezavantajları
Yakıt tüketimi yok.	Güç çıkışları sınırlıdır.
Hiç tükenmez, güneş var oldukça elektrik üretir.	Hava durumuna bağlıdır (bulutlu, güneşli, tozlu, akşam elektrik üretmez).
CO ₂ emisyonu yok, temiz ve çevreye dost.	Panel üretimi için doğaya biraz zarar verebilir.
Her yerde kurulabilir.	Yüksek güç elde etmek için çok geniş alanlar gereklidir.

2.3. Güneş Santralleriyle İlgili Çevresel Koşulların Etkisi ve Yapılan Temizleme Çalışmaları

Santraller arasında çevresel koşullara en çok maruz kalan santral tipi güneş enerji santralleridir. Güneş ışığı fotovoltaiik pilin yüzeyine çarptığında elektrik üretir. Panel üzerinde biriken toz parçacıkları, ışık enerjisinin güneş piline ulaşmasını engeller. Burada biriken tozlar, panelin güç çıkışının azalmasına ve dolayısıyla panel veriminin de düşmesine sebep olur. Verim düşüşü, bir temizleme sistemi ile önlenebilir.

Literatürde farklı tasarımlar ve mekanizmalar kullanarak toz birikmesi problemlerinin üstesinden gelebilecek ve böylece güneş panellerinin verimlerini artıracak çeşitli çalışmalar mevcuttur. Yapılan bilimsel çalışmalar, güneş paneli verimliliğinin ve güç çıkışının, toz birikmesi nedeniyle önemli ölçüde düşebileceğini kanıtlamıştır (Javad, 2021).

Mohamed ve Hasan (2012)'ın 2011 yılında Libya'da yaptıkları bir deneyde, tozun etkisinin güneş paneli çıkış gücünde %50'ye yakın bir azalmaya sebep olduğu bulunmuştur. Tejjwani ve Solanki (2010) tarafından Hindistan'da yapılan araştırmada, güneş modülü 30 gün boyunca temizlenmemiş ve güç çıkışında %50'ye varan bir azalma olmuştur.

Mondal ve Bansal (2015), panellerin güç çıkışındaki kaybın %56'sının toz birikiminden kaynaklandığını göstermiştir. Memon (2016), kir ve toz birikmesi nedeniyle güç çıkışının ayda %20'ye kadar düşebileceğini; Maghami, Hizam, Gomes, Radzi, Rezadad ve Hajighorbani (2016)'ı da toz birikimi sebebiyle gücün yılda %40'ına kadarının kaybolacağını göstermişlerdir.

Ghazi, Sayigh ve Ip (2014), kurak, yarı kurak ve çöl iklimi gibi dünyanın farklı bölgelerindeki değişik iklim koşullarında toz dağılım modellerini inceleyerek, her bölgenin kendine özgü toz parçacıklarına sahip olduğunu ve böylece kirlenmenin de farklı etkilerden kaynaklandığını bulmuşlardır. Bu etkilerin panel verimini ve güç çıkışını %70-80'e kadar azalttığını belirtmişlerdir.

Paudyal vd. (2015), toz birikmesinden kaynaklanan güç çıkışı düşüşünün bir günde %3,1'e, 10 günde %10,41'e ve bir ayda ise %15,74'e kadar azaldığını belirtmişlerdir. Shehri, Parrott ve Carrasco (2017); Nagarajan, Awad ve Gopi (2011)'ye

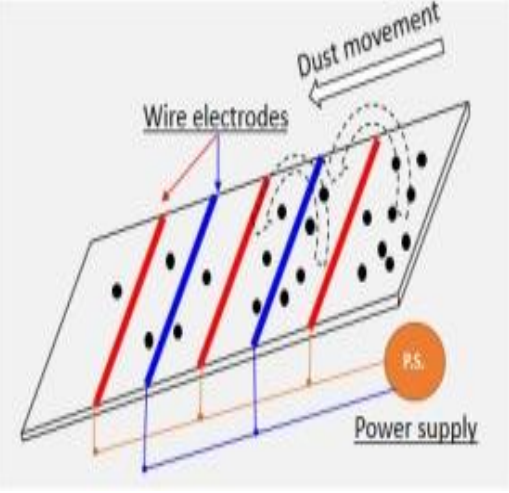
göre temizlenmeyen güneş panellerinin üzerinde biriken toz, verimliliği önemli ölçüde azaltmaktadır.

Eğer gelecekte güneş enerji sistemleri kullanılacaksa ve bunun sürdürülebilir olması isteniyorsa, panellerin temizlik ve bakımının da yapılması gerekmektedir. Güneş panellerini çok çeşitli şekillerde temizlemek mümkündür. Bunlardan en çok bilineni elle (manuel) temizlemedir. Bu yöntem çok zahmetlidir ve bazen yüksek yerlere çıkmak gerektiği için de tehlikeli olabilmektedir.

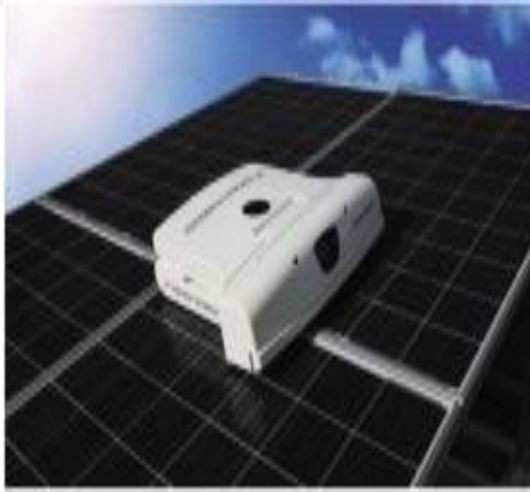
Bunun dışında otomatik temizleme yöntemlerinden bazıları Şekil 2.6'da verilen Otomatik Fırça (a), Elektrostatik (b), Robotik (c), Yüzey kaplama (d) ve Helioteks fiskiye (su püskürtme) (e)'dir. Çizelge 2.3'de çeşitli panel temizleme yöntemlerinin artıları ve eksileri karşılaştırılarak maliyet, verimlilik, su kullanımı, insan müdahalesi, temizlik süresi gibi özellikleri sunulmuştur. Önerilen yöntemler, bölgeye ve iklime bağlı olmakla beraber tozun miktarı ve kirin özelliklerine göre verilmiştir.



(a) Fırça Temizleme Sistemi (BCS)
(Kawamoto ve Shibata, 2015).



(b) Elektrostatik Temizleme Sistemi
(ECS) (Divya vd., 2018).



(c) Robotik Temizleme Sistemi (RCS)
(Owano, 2013).



(d) Kaplama Temizleme Sistemi (CCS)
(Al-Housani, Bicer ve Koç, 2019).



(e) Helioteks Temizleme Sistemi (HCS) (Abdolzadeh ve Ameri, 2009).

Şekil 2.6. Çeşitli temizleme sistemleri örnekleri (Javad, 2021).

Çizelge 2.2 Seçilmiş beş otomatik temizleme sistemi ve özellikleri (Javad, 2021).

Yöntem	Mekanizma	Artıları	Eksileri	Verim/İyileştirme
Elektrostatik Temizleme	Elektrostatik kuvvet uygulayarak toz parçacıklarının panelden taşınması	Su veya hava gibi doğal kaynaklara ihtiyaç yoktur. -Manuel temizlik yok. -Kurak bölgelerde kullanılır.	-Maliyeti yüksek. -Yüksek voltaj gerekir -Yağmur yağdığında çalışmaz. -Birçok bölgede EDS için kullanılabilirlik yok. -Üç fazlı bir gerilime ihtiyaç duyar.	%90'a kadar
Otomatik Fırça Temizleme	Susuz bir cihaz olup elektronik bileşenler tarafından kontrol edilir.	-Düşük üretim maliyeti. -Manuel yardım yok. -Taşınabilir. -İnsan müdahalesi yok. -Üretimi kolay. -Ağır makine satın almak gerekli değildir.	-Güç için ek maliyet gerektirir. -Yapışkan kirler için etkisizdir. -Köşelerdeki toz temizlenemez. -Yapışkan tozun sert bir fırça kullanılarak çıkarılması gerekir. -Döner fırçanın değiştirilmesi gerekiyor.	%30'a kadar
Robotik Temizlik	Robotik bir cihaz, Arduino UNO veya Raspberry pie tarafından kontrol edilir. DC motorlar ve tekerleklerden oluşur.	-Hafif -Su kullanılmaz -Verimli -Taşınabilir -Kontrolü kolay	-Kullanılan fırça yüzeye zarar verebilir -Enerji tüketir -İnsan müdahalesine ihtiyaç duyar -Bakım gerekiyor	%30'a kadar
Helioleks Temizleme	Panele nozullar takılır ve panele su püskürtülür.	- FV Hücre sıcaklığını düşürür. -İnsan müdahalesi yok. -Hareketli parçası yok. -Güç çıkışını artırır.	-Su filtrelenmeli -Su israfı -Filtre bakım gerektirir.	%3'e kadar
Kaplama Temizliği	Kendinden itici hidrofobik kaplama	-Su tüketimini azaltır. -Enerji tasarrufu sağlar.	-Panel yüzeyinde toz kümelerine neden olur. -Uygulanan malzeme pahalıdır.	%98'e kadar

Paudyal vd. (2015)'nin sokak lambası aydınlatmasında kullanılan paneller için tasarladıkları Şekil 2.7'de bir örneği görülen modüler bir mekanizma; silindir, kaydırıcı, makara, fırça, DC motor'dan oluşmaktadır. Yapılan çalışma 30 gün boyunca denenmiş ve güç kaybının günde %3,16'ya, bir ayda ise %15,74'e ulaştığı tespit edilmiştir. Bu mekanizmanın gün içinde 6-7 kez çalıştırılmasının gün içindeki güç kaybını optimize ettiği ifade edilmiştir.



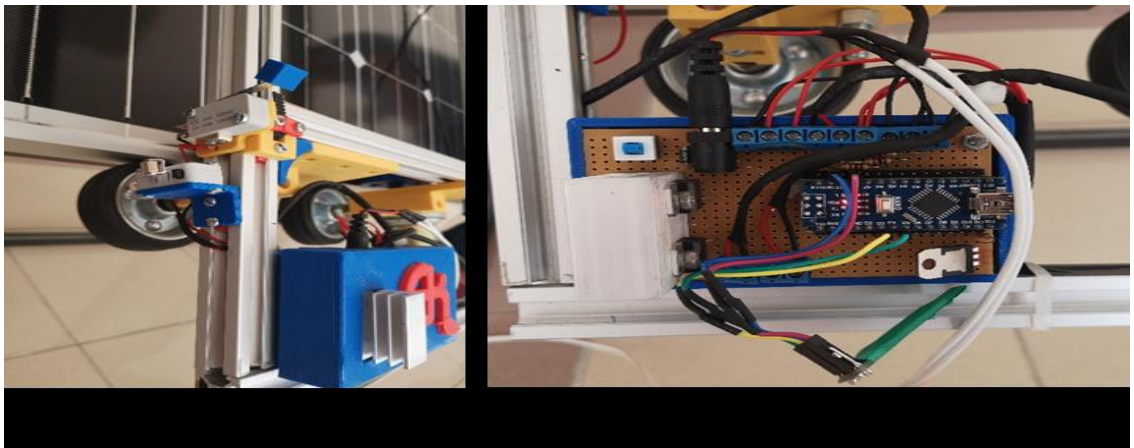
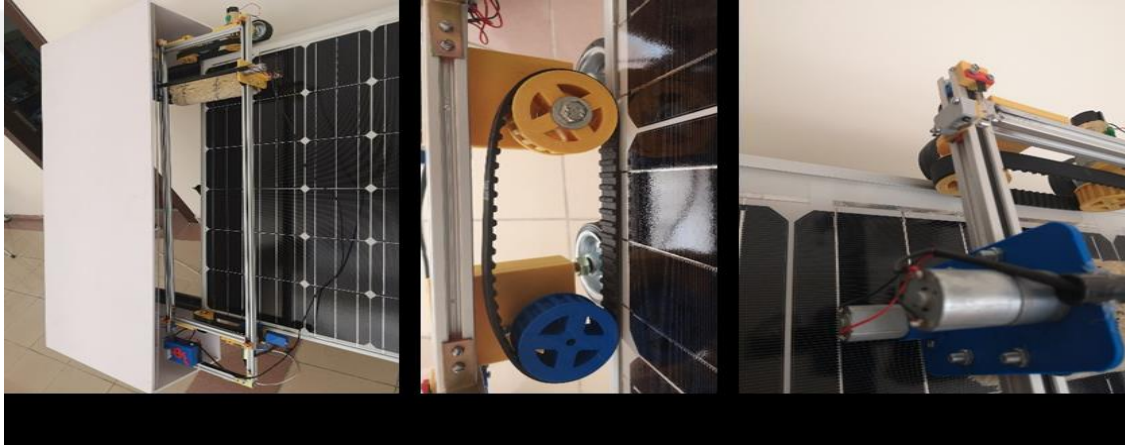
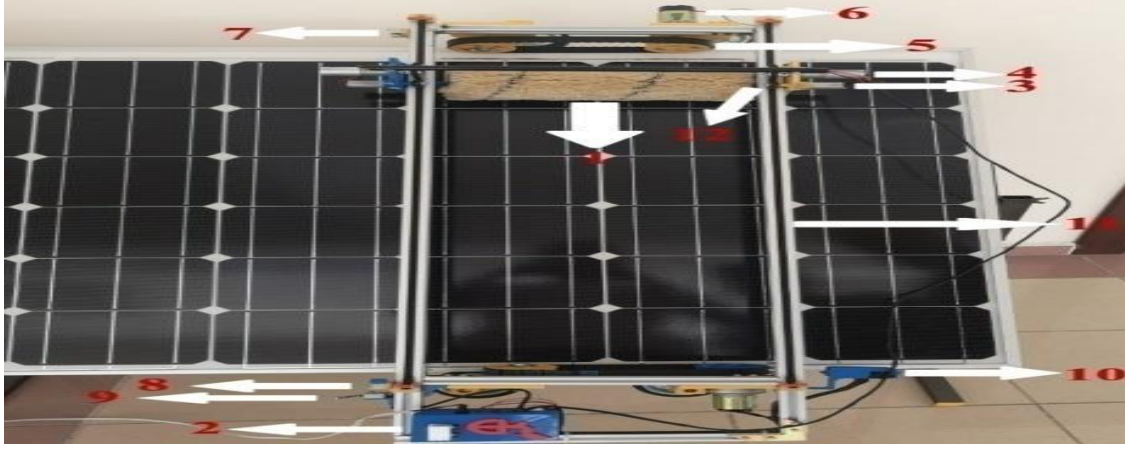
Şekil 2.7. Modül tasarımının görünümü (Paudyal vd., 2015).

Lu vd. (2013), ana parçası piezoelektrik malzeme olan lineer piezoelektrik aktuatör (eyleyici) tabanlı güneş paneli temizleme prototipini güneş paneline monte etmişlerdir. Piezoelektrik malzemeler, elektrik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren mekanik hareketlilik sağlayan malzemelerdir. Düşük ağırlıklı, küçük boyutlu, kısa tepki süreli, yüksek kuvvet açığa çıkaran, ancak 60-600 V gibi yüksek besleme gerilimlerine sahip malzemelerdir. Prototip Şekil.2.8'deki gibi bir kılavuz üzerine iki tahrik ayağı bulunan ve ardışık adımlama yöntemleri ile doğrusal hareket eden piezoelektrik malzeme ile bu doğrusal hareket sayesinde panel yüzeyinde ileri-geri hareket eden bir fırçaya sahiptir. Böylece panel yüzeyinde biriken toz tabakası fırça sayesinde temizlenmektedir (Lu, Zhang ve Hu, 2013).



Şekil 2.8. Piezoelektrik aktuatör görünümü (Lu vd., 2013).

Akyazi vd. (2019)'nin geliştirdiği temizleme robotu Şekil 2.9'da görüldüğü gibi bir mikrodenetleyici kullanılarak tasarlanmıştır. Robotta limit sensörleri, ultrasonik sensörler, bluetooth modülü, motor sürücü devresi, voltaj regülatörü, transistörler ve DC motorlar gibi elemanlar kullanılmıştır. Birçok parça 3D yazıcıdan üretilmiştir. Alüminyuma monte edilen çift motorlu ve paletli robot, yatay ekseninde panel üzerinde hareket etmekte ve dikey ekseninde de dönerek temizleme yapmaktadır. Robot şarj istasyonunda aküsünü kendisi şarj edebilmektedir. Düşük maliyetli ve hafif olan sistem, tozlanmanın güneş paneli çıkış gücü üzerindeki etkisini azaltmaktadır.



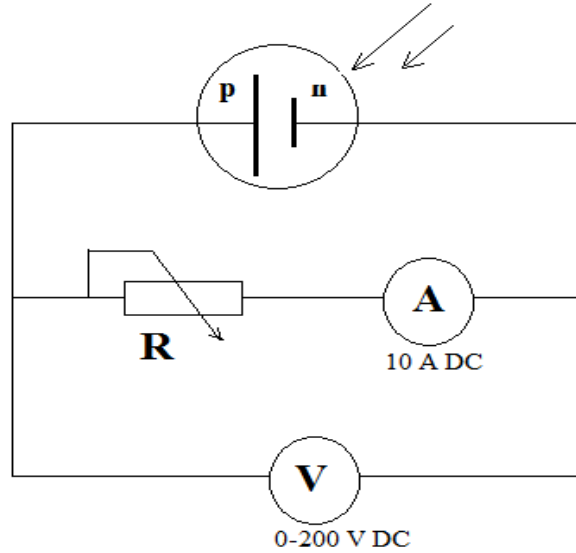
Şekil 2.9. Güneş paneli temizleme robotu sistemin genel görünümü (Akyazi vd., 2019).

BÖLÜM 3

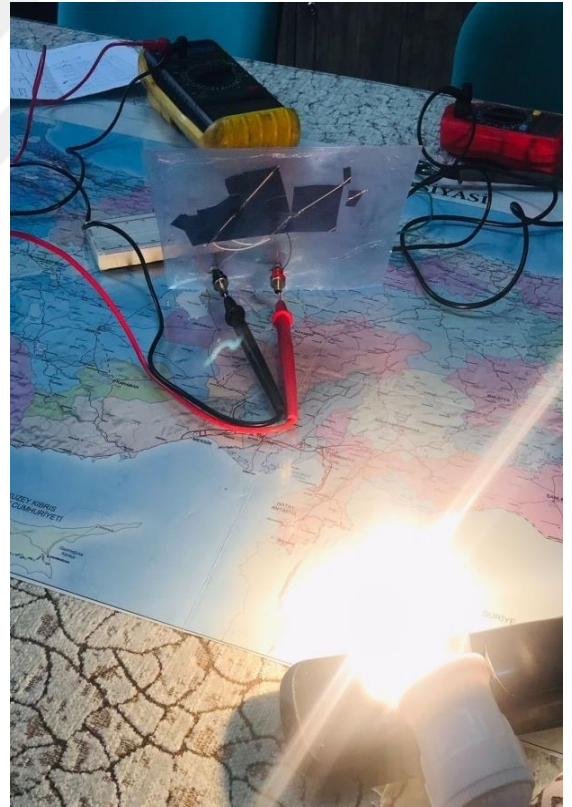
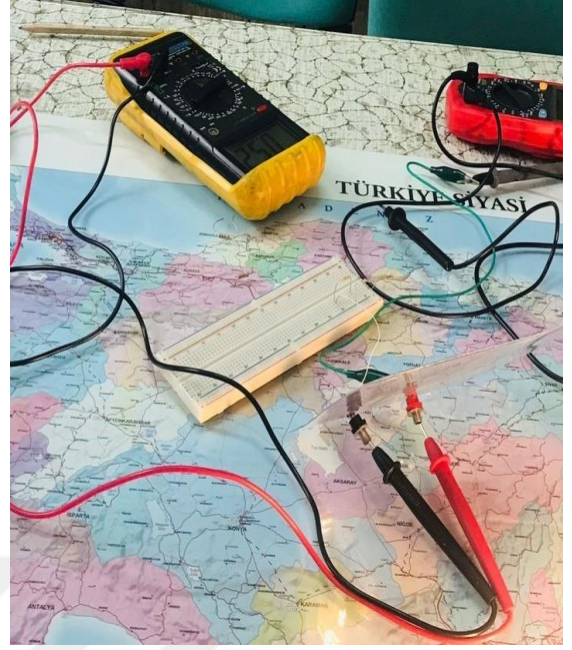
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Laboratuvarda Güneş Pilinin Çıkış Değerlerinin İncelenmesi

Şekil 3.1’de gösterildiği şekilde akımı ölçmek için kullanılan ampermetre devreye seri, gerilim ölçmek için kullanılan voltmetre de devreye paralel bağlandı. Laboratuvarda, yaklaşık 70 x 60 mm’lik güneş pili numunesi üzerinde yapılan deneyde bir güneş paneli hücresinin elektriksel gücü (P)’nün hücreye bağlanan direnç (yük) ile nasıl değiştiği gözlemlendi. Bu maksatla, sabit bir mesafedeki bir ışık kaynağı, güneş piline Şekil 3.2’deki gibi karşıdan tutuldu.



Şekil 3.1. Bir FV hücresi için akım (I, amper (A)) – gerilim (U, volt (V)) ölçüm devresi. Kullanılan sembollerin bilgisi EK-A’da verilmiştir.



Şekil 3.2. FV hücrenin akım-gerilim-güç hesaplama deneyi gösterimi.

Daha sonra değişken direnç değerlerine göre, Çizelge 3.1’de verilen akım (I), gerilim (U) değerlerinde dijital ölçüm aletleri (multimetre) yardımıyla ölçülerek Denklem 3.1’e göre güç (P) değeri hesaplandı. Doğru akım direnç devrelerinde, voltaj ve akım değerlerinin çarpılmasıyla “elektriksel güç” hesaplanmıştır.

$$P[W] = U[V] \times I[A]$$

Denklem 3.1.

Çizelge 3.1. Elektriksel güç hesaplanmasında kullanılan birimler (SI, uluslararası birim sistemi).

Sembol	Anlam
P	Elektriksel Güç (Watt,W)
U	Gerilim (Volt,V)
I	Elektrik Akımı (Amper,A)
R	Direnç (Ohm, Ω)

Mevcut dirençlerimiz (yük) için, minimum 6,6 Ω ve maksimum 200 Ω ’daki güneş pili hücrelerinden ölçtüğümüz akım ve gerilim değerleri için hesapladığımız güç Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Değişken direnç değerleri için ölçülen akım, gerilim değerleri ve hesaplanan güç miktarları.

Direnç değeri (Ω)	Akım (mA)	Gerilim (V)	Güç (mW)
6,6	25,9	0,25	6,47
200	2,47	0,52	1,28

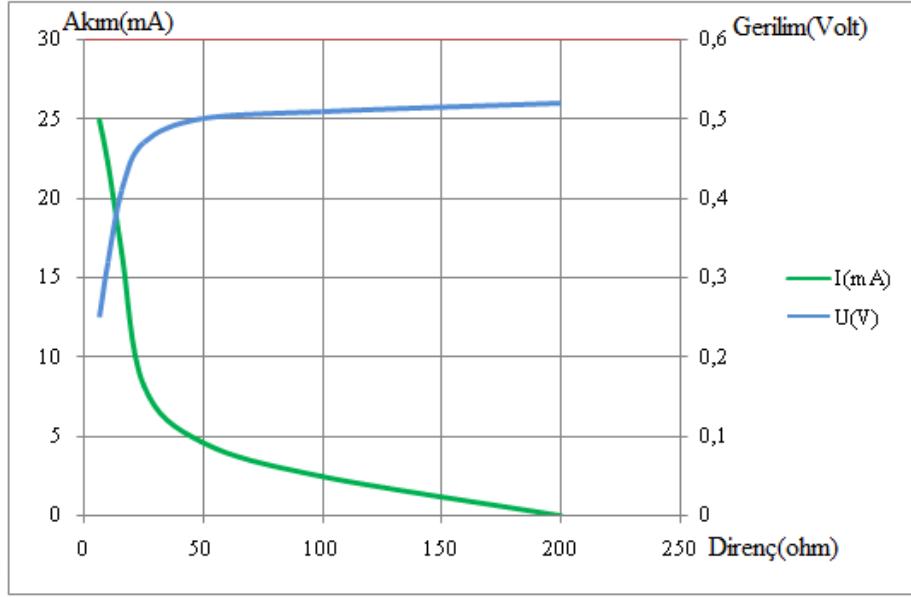
Elimizdeki mevcut minimum 6,6 Ω ve maksimum 200 Ω aralığındaki dirençler (yük) ve FV güneş pili hücresi kademeli olarak birbirine bağlandı. FV hücre boşa iken okunan gerilim 0,52 V’dur. Direnç devreye bağlandığı anda gerilimin 0,25 V’a düştüğü

görüldü. Bunun nedeni FV pil, P ve N türü yarı iletken maddelerden üretilir ve elektronlardan meydana gelir. Bu nedenle bir FV pil bir kablo ile dirence (yük) bağlanırsa bu elektronlar yüke aktarıldığı için burada bir gerilim düşmesine sebep olmaktadır (Altaş, 1998). Direnç değerindeki arttırma, gerilimin de artmasına neden oldu. Direnç ve akım ters orantılı olduğundan, direnç arttığı için akımda bir azalma görüldü. Çizelge 3.3.'de bu ölçüm bilgileri verilmiştir.

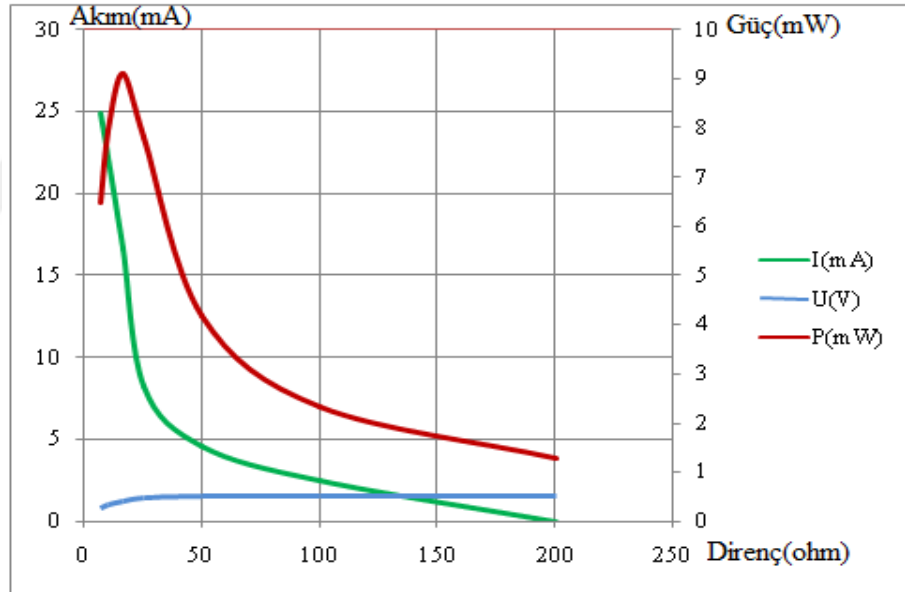
Çizelge 3.3. FV hücre için çeşitli akım (I) – gerilim (U) ölçümü ve elde edilen güç (P) gözlem sonuçları.

R (Ω)	I (mA)	U (V)	P (mW)
200	2,47	0,52	1,28
100	4,59	0,51	2,34
50	8,19	0,50	4,17
25	16,6	0,47	7,8
16	22,2	0,41	9,1
10	24,9	0,32	7,96
6,6	25,9	0,25	6,47

Gerilim, belli bir direnç değerinden sonra sabit bir değerde kalırken akımda ise Şekil 3.3'de görüldüğü üzere sıfıra (0) doğru bir azalma gözlemlendi. Şekil 3.3.'deki akım ve gerilimin kesiştiği noktada güç için Şekil 3.4'deki gibi bir yükseliş gözlemlendi. Bu nokta gücün alabileceği en yüksek değerdir. Bu değer FV hücresinde maksimum değer olarak adlandırılır. Direnç (yük) arttıkça FV hücresinin gücü, artık bu değer altına düşme eğilimi göstermektedir.



Şekil 3.3. FV hücrenin akım (I) – gerilim (U) grafiği.



Şekil 3.4. FV hücrenin akım (I), gerilim (U) ve güç (P) grafiği.

3.2. Temizleme Mekanizmasının Tasarımı ve İmalatı

Bu çalışmada tasarlanıp üretilen panel temizleme mekanizması için asgari seviyede malzeme kullanılmıştır, böylece oluşabilecek arıza ve bakım maliyetleri de azaltılmış olacaktır. Tasarımda bakımının kolay olması, enerjisini panelden sağlamasına özellikle dikkat edilmiştir. Mekanizma, tamamen elektromekanik özelliğe sahiptir. Herhangi bir elektronik aksam eklenmemiştir. Burada panel yüzeyi ve silecek arasındaki sürtünme kuvveti etkisi ve doğrusal hareket sayesinde güneş panelinin yüzeyindeki tozun silinmesi prensibiyle temizleme işlemi gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Prototip Çalışması

Mekanizmanın tasarım aşamasında, özgün bir ürün ortaya çıkarabilmek için çok sayıda deneme yapılmıştır. Bir cam ve tahta düzenek üzerine kurulan prototip Şekil 3.5’de görülmektedir. Bu prototipten hareketle gerekli malzeme ve ekipmanlar tespit edilerek ürün imalatına geçilmiştir.









Şekil 3.5. Mekanizmanın prototipi.





3.2.2. Malzemeler

Panel ölçüleri alındıktan sonra gereken malzemeler temin edilmiştir. Tasarım için kullanılan malzemelere ait bilgiler Çizelge 3.4’de yer almaktadır.

Çizelge 3.4. Tasarımda kullanılan malzemeler ve kullanım amaçları.

No	Malzeme Adı	Malzeme Örneği	Kullanım Amacı
1	60W’lık monokristal güneş paneli		Güneşten gelen enerji sayesinde aküye enerji sağlayıp temizleme mekanizmasını çalıştırmayı sağlar.
2	Akü (12 V ve 60 Ah, tam bakımsız sulu tip)		Panelden alınan elektriğin depo edilmesini sağlar.
3	DC elektrik motoru (12 V)		Sileceği panel üzerinde ileri-geri hareket ettirir.
4	DC su püskürtme pompa motoru (12 V)		Suyu tazyikli bir şekilde hortuma aktarır.

No	Malzeme Adı	Malzeme Örneği	Kullanım Amacı
5	İleri-geri anahtar		Silecek motorunu ileri-geri hareket ettirir.
6	Düğme (anahtar)		Suyun hortuma ulaşmasını sağlayan motoru çalıştırır.
7	Cam sileceği		Panel yüzeyini temizler.
8	Kablo (TTR 2 x 1,5 mm ²)		Panelden elde edilen elektriği aküye aktarır. Aküde depo edilen elektriği motorlara aktarır.
9	Hortum		Depodaki suyu panel yüzeyine püskürtmeyi sağlar.

No	Malzeme Adı	Malzeme Örneği	Kullanım Amacı
10	Kremayer dişli		Silecekleri taşıyan motorun hareket yolunu sağlar.
11	Alüminyum konstrüksiyon		Panelleri taşımaya yarayan metal çerçeve ayakların yapımında kullanılır.
12	Sınırlayıcılar		Mekanizmanın kremayer dişli üzerinde ileri-geri hareketi esnasında düşmemesini sağlayan metal parçadır.
13	Şarj kontrol cihazı		Güneş panelinin çıkış gerilimine göre sabit gerilim çıkışı vererek aküyü şarj etmeyi sağlar.

3.2.3. İmalat Süreci ve Montaj Aşaması

Şekil 3.6'da görülen iki adet monokristal güneş paneli kullanılarak deneyler yapılmıştır. Bu panellerin özellikleri Çizelge 3.5'de görülmektedir. Deneyimizde kullanılan panel tipleri monokristal yapıda olup en verimli paneller olarak anılmaktadırlar.



Şekil 3.6. Deney yapılan monokristal güneş panellerin gösterimi.

Çizelge 3.5. Kullanılan güneş panellerinin özellikleri.

Panel	Monokristal (tek kristalli)
Maksimum güç (Pmax)	60 Wp
Maksimum güç gerilimi (Vmp)	20,95 V
Maksimum güç akımı (I mp)	2,87 A
FV Hücre sayısı	36 (6 yatay x 6 dikey)
Panel boyutu (mm)	601 x 562 x 20
Ağırlık	5,26 kg
Gerilim	12 V

Temizleme mekanizmasının yapımına Şekil 3.7'deki görülen panellere uygun ölçülerde metal çerçeve ayaklar yapılması ile başlanmıştır. 60W'lık iki adet monokristal panel, düz beton zemin üzerine kurulmuştur. Panelleri taşıyan metal ayaklar, panellerin güneş ışınlarını en verimli şekilde alabilmesi ve yansımayı önlemesi için, zemine $\alpha = 30^\circ$ lik açıyla yerleştirilmiştir (Dal, 2021).



Şekil 3.7. Güneş panelinin zemine 30⁰ derecelik açıyla yerleştirilmesi.

Daha sonra Şekil 3.8’de kremayer dişlisinin panel üst yüzeyine montajı yapılmıştır. Kremayer dişlisinin diş aralıkları 5 mm olarak ölçülmüştür. Kremayer dişlisi, panelin üst kısmına bağlanmıştır. Temizleme mekanizması, bu dişliler üzerinde motoru ileri-geri hareket ettirecektir. Şekil 3.9’da görülen DC motor, kremayer dişli üzerine gereken aralıkta ölçü alınarak monte edilmiştir. DC motor enerjisini 12V ve 60 Ah’lik aküden sağlayacaktır.

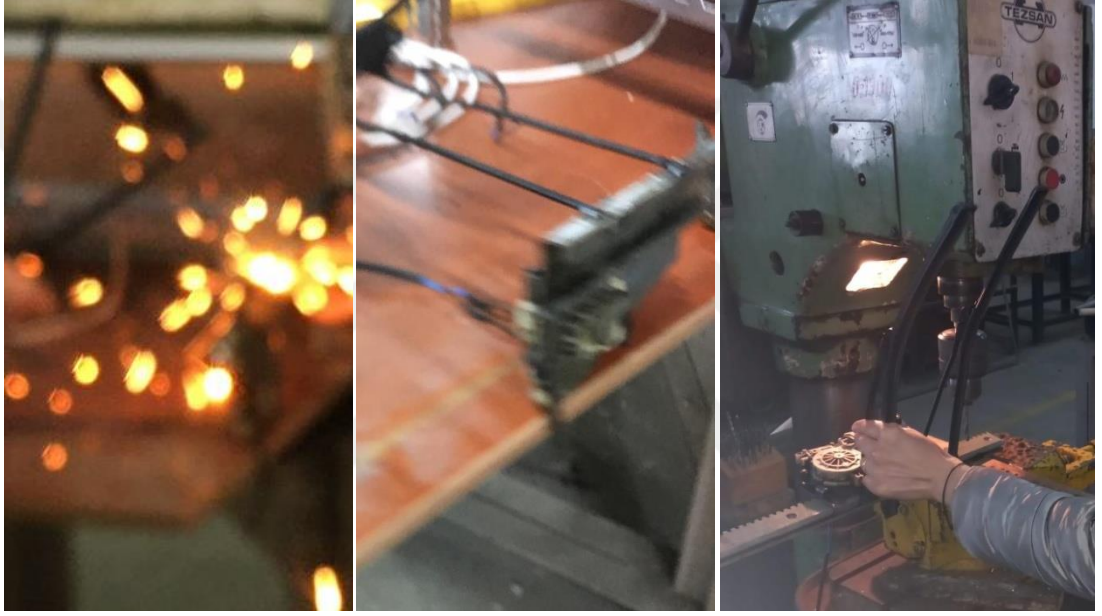


Şekil 3.8. Kremayer dişlisinin panel üzerine yerleştirilmesi.



Şekil 3.9. 12V DC motorun kremayer dişli üzerine yerleştirilmesi.

Güneş panelimizin ölçüleri 601 x 562 x 20 mm'dir. Silecekler güneş paneli boyutlarıyla aynı olacak şekilde 500 mm boyunda seçildi. Silecek kollarını motora sabitlemek için, panelin tam orta noktasına denk gelecek şekilde kolları 290 mm'ye konumlandırıldı ve Şekil 3.10'da görüldüğü şekilde tam baskıyı oluşturacak biçimde kesme işlemine tabi tutuldu, daha sonra motorun gövdesine kaynak edildi. Daha sonra silecekler metal aksamının üzerine takılarak mekanizmanın güneş paneline monte edilmesi işlemine geçildi.



Şekil 3.10. Silecek kollarının kesilip motor gövdesine kaynak edilmesi.

Mekanizmayı çalıştırmak için, Şekil 3.11'de yer alan çift yönlü anahtar kullanıldı. Böylece mekanizma panele kuru temizleme yapabilmektedir. Ayrıca mekanizmanın panele sulu temizleme işlemi yapabilmesi için, üzerine ileri-geri anahtara paralel bağlı bir düğme (buton) eklenerek su kutusundan suyu çekip panele püskürtme işlemi yapılması sağlanmaktadır.



Şekil 3.11. İleri-geri anahtar ve düğmenin (butonun) metal gövdeye yerleşimi ve su tankı.

Şekil 3.12’de hem DC motorun hem de temizliği yapan sileceklerin kremayer dişlisi üzerinden düşmesini engellemek için panelin sağ ve sol metal ayaklarına iki adet sınırlayıcı metal parçalar yerleştirilmiştir.



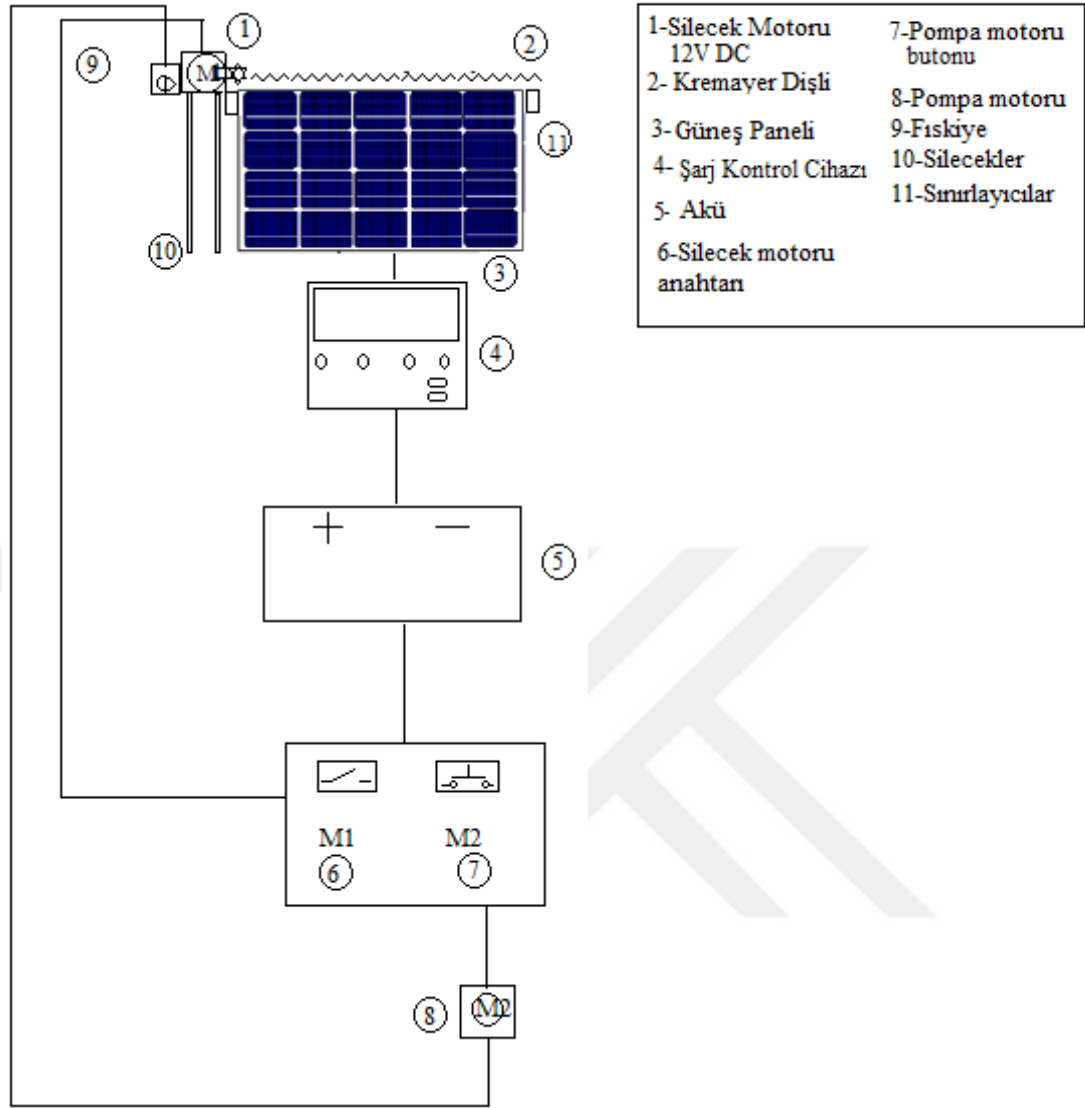
Şekil 3.12. Sınırlayıcının metal ayaklara yerleştirilmesi.

Montajı tamamlanan ve Şekil 3.13’de görülen mekanizma, panel üzerinde ileri-geri doğrusal hareket ettirilerek denemeler yapıldı, çalışma esnasında görülen eksiklikler tamamlanarak mekanizma iyileştirildi ve çalışır vaziyete getirildi.



Şekil 3.13. Mekanizmanın panel üzerine monte edilmesi.

Şekil 3.14’den görüldüğü gibi, güneş panelinden elde edilen elektrik enerjisi, şarj kontrol ünitesi üzerinden aküyü şarj etmektedir. Şarj olan 12V DC akü, anahtar yardımıyla silecekleri taşıyan 12 V DC motora enerji sağlamaktadır. Anahtarı ileri konuma getirdiğimizde enerjilenen motor, kremayer dişli üzerinde hareket ederek üzerine monte edilen silecekleri de panel üzerinde ileri hareket ettirecektir. Silecekler panel üzerinde biriken tozları silerek kenara itmektir. Silecekler panel sonuna geldiği zaman, anahtar geri konuma getirildiğinde, motor kremayer dişli üzerinde geri yönde hareket edecek, böylece silecekler panel üzerinde geri yönde gidecektir. Ayrıca ayrı bir buton yardımıyla da depoda bulunan suyu panel üzerine püskürterek sulu temizleme işlemi de gerçekleştirilebilmektedir. Böylece enerjisini kendinden sağlayan güneş paneli, kendi kendini de temizlemektedir.



Şekil 3.14. Temizleme mekanizması çalışma prensibi.

3.2.4. Uygulama ve Deney Aşaması

Şekil 3.15’de yer alan aynı yapıdaki iki adet güneş paneli, deneylerimizi gerçekleştirmek için aynı şartlara maruz bırakıldı. 20 gün boyunca panellerden biri hazırladığımız temizleme mekanizması ile her gün temizlenirken, diğeri doğa şartlarına bırakıldı. Böylece panellerin çıkış değerleri gün içinde saat 09.00’da ve 16.00’da devamlı ölçüldü.



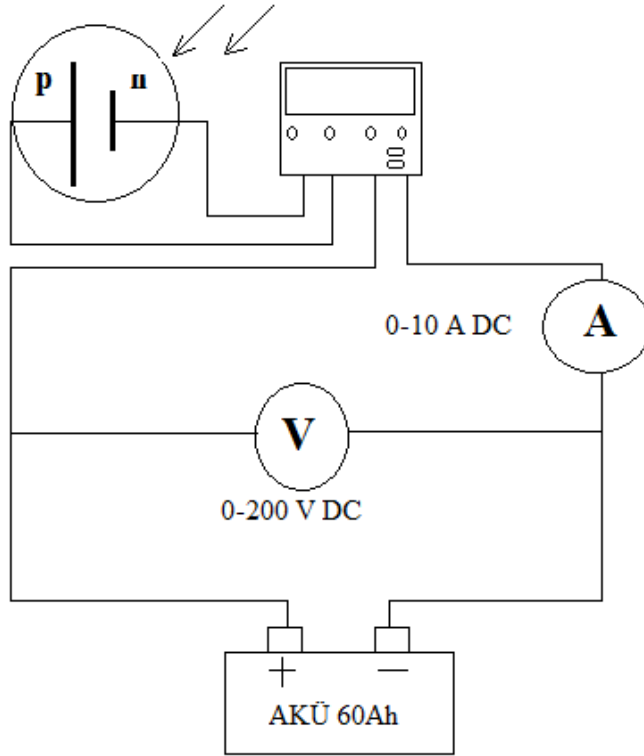
Şekil 3.15. Deney yapılan güneş panelleri. Temizleme mekanizmalı panel sağda yer almaktadır.

3.2.5. Temizleme Mekanizmasının Aküden Çektiği Güç

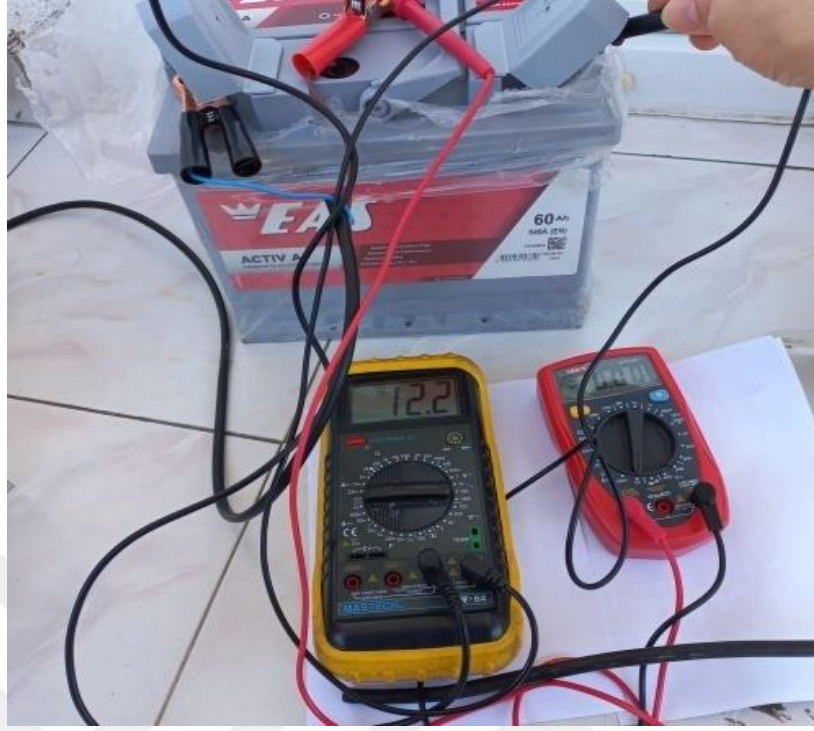
Mekanizmayı çalıştıracak olan akü, güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjisinin şarj kontrol ünitesi üzerinden şarj edilmektedir. Akünün güneş paneline bağlantısı ve ölçü aletlerinin aküye bağlantısı Şekil 3.16'dayer almaktadır. Şekil 3.17'de görülen akümüz sulu tipte olup 12 V ve 60 Ah gücündedir.



Şekil 3.16. Akünün güneş paneline bağlantısı.



Şekil 3.17. Ölçü aletlerinin güneş paneli ve aküye bağlantı devresi.



Şekil 3.18. Akü gerilim değerinin ölçülmesi.

Akü gerilim değerleri Şekil 3.18'deki gibi bir düzenekle ölçülmüştür. Temizlenen ve diğer panel için aküden elde edilen akım ve gerilim değerlerine örnekler Şekil 3.19'da gösterilmiştir.

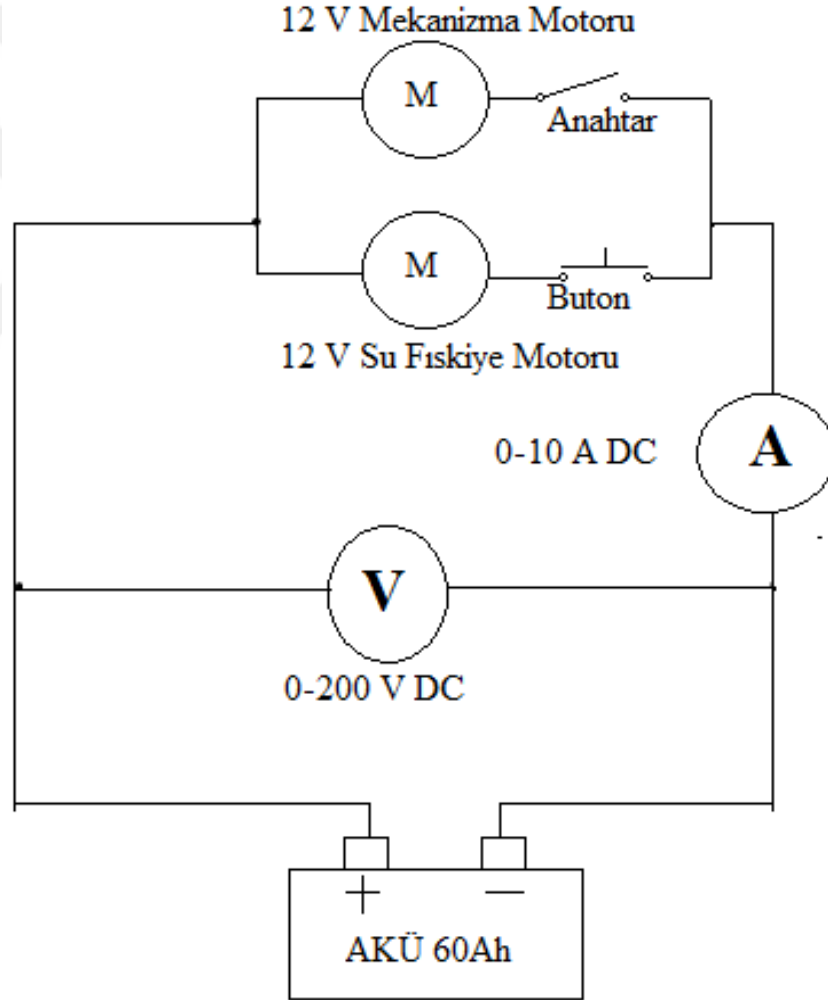


Şekil 3.19. Akü çıkışından elde edilen gerilim ve akım değerlerinin okunması.

Temizleme işlemi esnasında, Şekil 3.20'deki bağlantı devresinde mekanizmayı çalıştıran motorların aküden çektiği akımlar ve gerilimler ölçülerek, ne kadar güç harcadıkları hesaplanmıştır. Ayrıca, akü gücü 60 Ah (amper x saat)'dir. Tam dolu bir akünün sürekli akım verebileceği çalışma süresi (kaç saat çalışacağı) Denklem 3.2'den hesaplanmıştır. Bu ölçümler ve hesaplamalar Çizelge 3.6'da verilmiştir.

$$\text{Akü çalışma süresi} = \text{Akü kapasitesi (gücü)} / \text{Yük akımı}$$

Denklem 3.2.



Şekil 3.20. Mekanizmayı çalıştıran motorların aküye bağlantı devresi.

Çizelge 3.6. Sistemin çalışma durumuna göre yapılan ölçümler ve hesaplamalar.

Sistem Durumu	Aküden Çekilen Akım (I, Amper)	Akü Gerilimi (U, Volt)	Harcanan Güç (P: U x I) (P, Watt)	Tam Dolu Akünün Sürekli Akım Verme Süresi (Saat)
Kuru temizleme yapılırken (sadece silecekler çalışırken)	2,63	11,3	29,7	22,8
Su püskürtme motoru çalışırken	3,03	11,1	33,63	19,8
Sulu temizleme yapılırken (hem silecekler hem de fiskiye beraber çalışırken)	5,32	10,3	54,8	11,3

3.2.6. Panel Çıkış Değerleri Ölçümlerine Göre Kapasite Artış Hesabı

Çalışmamızda, iki adet monokristal güneş panelinden biri düzenli olarak günün belli saatlerinde temizleme mekanizmasıyla temizlerken diğeri doğal haline bırakıldı. Devamlı temizlenen güneş panelinin kuru temizlemesi yapılırken kenarlarda toz birikmesi Şekil 3.21'deki gibi görüldü. Daha sonra Şekil 3.22'deki şekilde sulu temizleme yapıldı.



Şekil 3.21. Kuru temizlenen panel kenarında toz birikmesi.



Şekil 3.22. Sulu temizleme yapılan panelin temizlenmiş hali.

Su ile temizlenen panelin kenarlarında biriken tozlar tamamen temizlendi. Düzenli temizlenen panel ile hiç temizlenmeyen panelin zamanla tozlanma miktarları arasında Şekil 3.23'deki farklar gözlemlendi. Düzenli temizlenen panel ile hiç temizlenmeyen panel çıkış gerilimleri Şekil 3.24'de görüldüğü gibi farklıdır (tozlu panel 22.0 V, temizlenen panel 22.3 V).



Şekil 3.23. Tozlanan panel ve düzenli temizlenen panelin görünümü.



Şekil 3.24. Tozlu ve temiz panel çıkış gerilimleri ölçümü.

Ayrıca her gün temizlenen güneş panelinin gün içerisinde de mekanizma çalıştırılmadan önce ve çalıştırdıktan sonraki çıkış akım ve gerilim değerleri ölçülmüştür (bakınız Şekil 3.25). Burada Denklem 3.1.'e göre ilk andaki gücü; $P_1 = U \times I = 12,4 \times 1,35 = 16,74 \text{ W}$ iken temizlendikten sonraki gücü; $P_2 = U \times I = 12,4 \times 1,44 = 17,85 \text{ W}$ olmaktadır. Bu değerler karşılaştırıldığında $P_{\text{kayıp}} = P_2 - P_1 = 17,85 - 16,74 = 1,11 \text{ W}$ 'lık güç kaybı olduğu görülmektedir.



a)



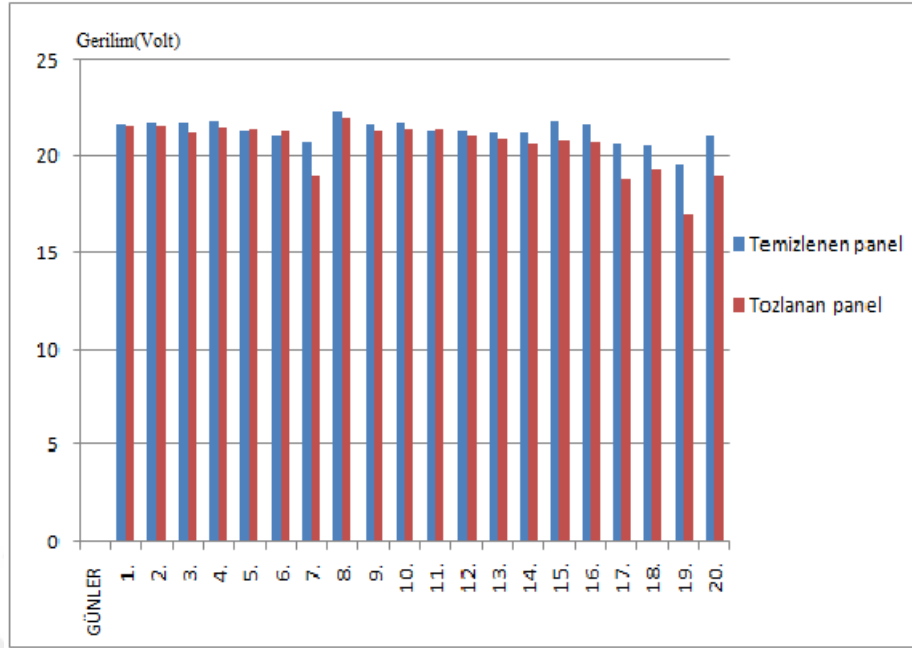
b)

Şekil 3.25. Güneş panelinin a) temizlenmeden önce ve b) temizlendikten sonraki ölçülen çıkış değerleri.

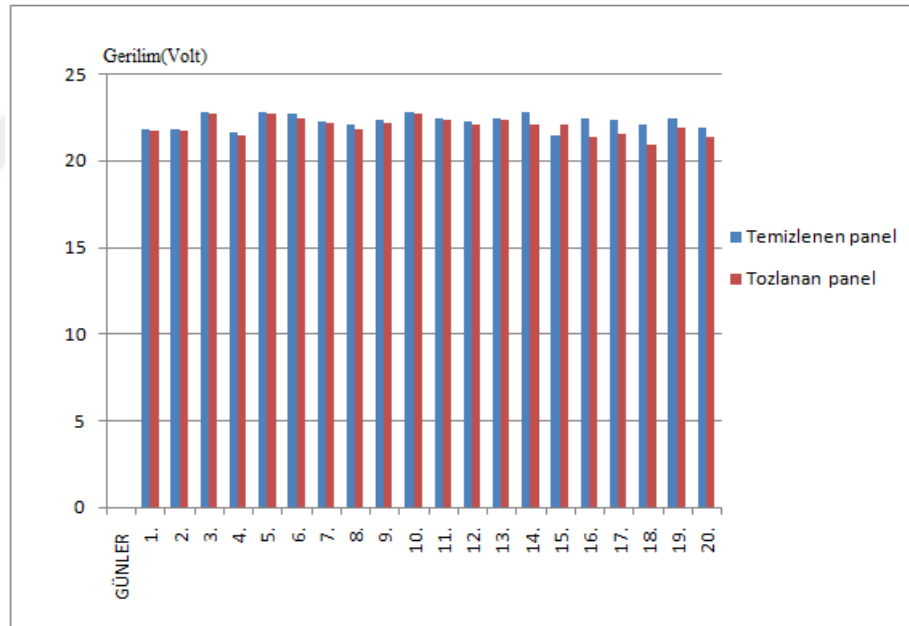
Temizlenen ve kendi halinde tozlanmaya bırakılan paneller aynı ortamda, aynı şartlar altında bulunduruldu. Bir panel her gün temizleme mekanizmasıyla temizlenirken diğer panel deneyin başından itibaren hiç temizlenmedi ve kendi halinde tozlanmaya (kirlenmeye) bırakıldı. Bu panellerin devamlı ölçülen çıkış akım ve gerilim değerleri Çizelge 3.7'ye kaydedildi. Hep aynı saatlerde ölçülen panel gerilimleri Şekil 3.26'daki grafikte görülmektedir. Hava şartlarındaki değişkenlik (bulutlu, kapalı, yağmurlu, güneşli vb.), her iki panelin de çıkış geriliminin değişken olmasına neden olmaktadır. Bu grafikten de anlaşılacağı gibi, her gün temizlenen panelin çıkış gerilimi kirlenen ve tozlanan panelin çıkış gerilimden daha fazladır. Dolayısıyla gün geçtikçe tozlanmanın etkisiyle, güneş ışığının panele ulaşması engellediğinden çıkış geriliminde de azalma meydana gelir.

Çizelge 3.7. Temizlenen ve tozlanan panellerin çıkış gerilim, akım ve güç değerleri (U: gerilim (volt), I: akım (amper) ve P: güç (watt) değerleri'dir). Ölçümler 6.05.2023 - 26.05.2023 tarihleri arasında yapılmıştır.

Gün	SAAT (09:00)						SAAT (16:00)					
	Panel 1 (Temizlenen)			Panel 2 (Tozlanan)			Panel 1 (Temizlenen)			Panel 2 (Tozlanan)		
	U ₁	I ₁	P ₁	U ₂	I ₂	P ₂	U ₁	I ₁	P ₁	U ₂	I ₂	P ₂
1.	12,6	0,1	1,26	12,7	0,12	1,524	12,3	0,33	4,059	12,3	0,47	5,781
2.	12,3	0,04	0,492	12,3	0,05	0,615	12	0,5	6	12	0,61	7,32
3.	12,3	0,03	0,369	12,3	0,04	0,492	12,4	1,6	19,84	12,4	2,21	27,404
4.	12,3	0,12	1,476	12,3	0,15	1,845	12,3	0,12	1,476	12,3	0,16	1,968
5.	12,2	0,17	2,074	12,3	0,14	1,722	12,3	0,25	3,075	12,3	0,3	3,69
6.	12,3	0,12	1,476	12,3	0,13	1,599	12,3	0,4	4,92	12,2	0,49	5,978
7.	12,3	0,04	0,492	12,1	0,05	0,605	12,4	0,29	3,596	12,3	0,4	4,92
8.	12,3	0,16	1,968	12,2	0,21	2,562	12,3	0,16	1,968	12,1	0,2	2,42
9.	12,2	0,11	1,342	12	0,12	1,44	12,4	1,3	16,12	12,2	1,94	23,668
10.	12,2	0,11	1,342	12,1	0,12	1,452	12,3	1,03	12,669	12,2	1,13	13,786
11.	12,1	0,12	1,452	12	0,13	1,56	12,2	0,41	5,002	12,1	0,58	7,018
12.	12,2	0,11	1,342	12	0,14	1,68	12,3	0,38	4,674	12,3	0,41	5,043
13.	12,1	0,2	2,42	12	0,18	2,16	12,3	0,41	5,043	12,2	0,4	4,88
14.	12,2	0,2	2,44	11,8	0,14	1,652	12,3	1	12,3	12,2	0,24	2,928
15.	12,3	0,16	1,968	11,9	0,08	0,952	12,2	1,1	13,42	12	0,8	9,6
16.	12,2	0,13	1,586	11,3	0,07	0,791	12,3	1,53	18,819	12,2	0,9	10,98
17.	12,2	0,06	0,732	12,2	0,03	0,366	12,4	1,55	19,22	12,3	0,95	11,685
18.	12,2	0,06	0,732	12,2	0,03	0,366	12,4	0,15	1,86	12,2	0,13	1,586
19.	12,2	0,03	0,366	12,2	0,02	0,244	12,2	0,95	11,59	12,4	0,8	9,92
20.	12,2	0,1	1,22	12,1	0,03	0,363	12,3	0,36	4,428	12,3	0,09	1,107



a)



b)

Şekil 3.26. Temizlenen ve tozlanan panellerin çıkış gerilimleri ölçüm grafiği, a) saat 9.00'da; ve b) saat 16.00'da ölçülen değerler.

20 günlük deney sonunda her gün temizlenen panelin çıkış gücü 1415,7216 Wh, kendi halinde doğa şartlarına bırakılan panelin çıkış gücü 1336,838 Wh olarak hesaplanmıştır. Günlük 7,2 saat güneşlenme süresi de (Özgöçmen, 2007) hesaba katılarak panellerin güçleri karşılaştırıldığında temizlenen panelin güç çıkışının, temizlenmeyen panelin güç çıkışına oranla kapasite artışının yaklaşık %6 daha verimli olduğu Çizelge 3.8'den görülmektedir.

Çizelge 3.8. Panel kapasite artışı.

Panel Tipi	Panel çıkış güçleri (Wh)	Kapasite Artışı
Temizlenen Panel	1415,7216	%6
Tozlanan Panel	1336,838	

3.3. Maliyet Analizi

Güneş Paneli ve Sistem yapımında kullanılan malzemelerin fiyat bilgisi Çizelge 3.9'da, Temizleme Mekanizması Fiyat Listesi Çizelge 3.10'da ve Haziran 2023 itibariyle toplam maliyet ise Çizelge 3.11'de görülmektedir.

Çizelge 3.9. Güneş paneli ve sistem için kullanılan malzemelerin fiyat listesi.

Malzeme Adı	Adet	Fiyat (TL)
Monokristal güneş paneli	2	2550
Akü (12 V, 150 mAh)	1	1250
Alüminyum konstrüksiyon	5m	500
Şarj kontrol ünitesi	1	130
Elektrik kablosu	2	60
	Toplam	4490

Çizelge 3.10. Temizleme mekanizması fiyat listesi.

Malzeme Adı	Adet	Fiyat (TL)
Silecek lastiği	2	100
Silecek kolu	2	400
12V DC motor	1	300
12 V DC su püskürten pompa motoru	1	130
Kremayer dişli	1 m	100
Anahtar.	1	35
Düğme (buton)	1	25
	Toplam	1090

Çizelge 3.11. Toplam maliyet.

Malzeme Adı	Fiyat (TL)
Güneş paneli ve sistem	4490
Temizleme mekanizması	1090
Genel Toplam	5580

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1. Güneş Panelinin Kapasite Artışı İle İlgili Sonuçlar

Bu tez çalışmasında aynı yapıya sahip iki güneş paneli aynı şartlara maruz bırakıldı. Panellerden biri bu çalışmada imal edilen temizleme mekanizmasıyla her gün temizlenirken, diğeri doğal haline bırakıldı. Güneş paneli temizleme mekanizması 6 Mayıs-26 Mayıs 2023 tarihleri arasında 20 gün boyunca panel üzerinde test edildi ve panellerin çıkış değerleri devamlı ölçüldü.

Doğa şartlarına bırakılan güneş paneli çıkış gerilimi ilk zamanlarda azalırken, çıkış akımı yükün gücünü karşılamak için temizlenen panele göre yüksek olmaktadır. Ancak çalışmamızın ilerleyen günlerinde tozlanma ve kirlenmenin etkisiyle güneş ışığının panele ulaşması engellediğinden bu panelin çıkış gücünde temiz panelin çıkış gücüne oranla bir azalma olduğu görülmüştür (Bakınız Çizelge 3.7). Bu durum, temiz paneldeki gün ışığı şiddetinin, panelin çıkış değerleri üzerindeki olumlu etkisi nedeniyledir. Panele gelen ışığın şiddeti arttıkça panelin çıkış değerleri de artmaktadır; ancak gölgelenme, bulutluluk gibi doğal etkilerden dolayı ışık şiddetinde meydana gelen azalma iki panelin de çıkış gerilimleri ve çıkış akımlarında azalmaya neden olmuştur.

Çizelge 3.3'den elde edilen veriler ışığında, bir güneş paneli enerji sisteminden en verimli şekilde faydalanabilmek için, o panelin çıkış gücünü mümkün olan maksimum değerde tutmak gerekmektedir (Altaş, 1998).

Deneylerimizden de görüldüğü üzere panel yüzeyi temizlendikçe akım, gerilim ve güç değerleri de değişmektedir. Güneş panellerinin en iyi verimle çalıştırılması için

panelin doğru tasarlanmış bir temizleme mekanizmasıyla temizlenmesi gerekir, böylece panelin çıkış gücü ve kapasite verimi artacaktır. 20 günlük deney sonunda her gün temizlenen panelin çıkış gücü 1415,7216 Wh ve kendi halinde doğa şartlarına bırakılan panelin çıkış gücü 1336,838 Wh olarak hesaplanmıştır. Günlük 7,2 saat güneşlenme süresi hesaba katılarak panellerin güçleri karşılaştırıldığında temizlenen panelin güç çıkışının, temizlenmeyen panelin güç çıkışına oranla kapasite artışının yaklaşık %6 daha verimli olduğu hesaplanmıştır.

Gece saatinde ortam karardığında panel gerilimi 0,05 V olarak ölçülmüştür. Bu nedenle panelden gece saatlerinde elektrik enerjisi üretilememekte ve akü şarj edilememektedir. Eğer panelin akşam saatlerinde temizlenmesi gerekiyorsa, mutlaka bir enerji depolama sistemiyle gündüz üretilen elektriğin depo edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Gözle görülmeyecek kadar az tozlanma, güneş ışığının panele ulaşmasında büyük bir engel oluşturmamakta, böylece çıkış değerleri önemli derecede etkilenmemektedir. Ancak zamanla artacak kirlenmenin bu değerleri olumsuz yönde etkileyeceği ve panelin kapasitesinin verimini düşüreceği öngörülmektedir. Çizelge 2.3’de yer alan beş otomatik temizleme sistemine göre; tasarım ve imalatını yaptığımız elektromekanik temizleme yönteminden elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’de verilmiştir:

Çizelge 4.1. Temizleme mekanizmasının özellikleri.

Yöntem	Mekanizma	Artıları	Eksileri	Kapasite Artışı
Elektromekanik Temizleme Yöntemi.	Silecekler kullanılarak ileri-geri doğrusal hareketle tozun panelden silinmesi ile temizleme işlemi yapılmıştır.	-Sulu veya susuz çalıştırılabilir. -Maliyeti düşük, üretimi kolay. -Güç çıkışını artırır, verim sağlar. -Enerjisini panelden sağlar, ek enerji kaynağına ihtiyaç yoktur.	-Kuru temizlemede kenarlarda toz birikebilir. -Sulu temizleme için su deposuna ihtiyaç vardır.	%6

4.2. Sistemin Çalışması ile İlgili Sonuçlar

Sileceklerin panele tam yapışması, kiri ve tozu silmesiyle mekanizmanın tasarım amacına uygun çalıştığı görülmüştür. Yukarıda belirttiğimiz diğer bazı prototiplerde kullanılan malzemelere kıyasla, çalışmamızdaki elektromekanik temizleme mekanizmasında kullanılan malzemelerin az oluşu ve kayış, palet, makara vb. gibi ara elemanların olmayışı hem bakım maliyetini azaltmakta hem de arızaların tespitini kolaylaştırdığı için daha ekonomik olmaktadır.

Lu vd. (2013) tarafından piezoelektrik malzeme kullanılarak yapılan aktuatörlü temizleme cihazında, 60-600 V gibi yüksek besleme gerilimlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak bu çalışmada imal edilen elektromekanik temizleme mekanizması, 12 V DC gerilimle çalışmakta ve enerjisini güneş panelinin şarj ettiği aküden sağlamakta ve ek bir enerji kaynağına ihtiyaç duymamaktadır.

Paudyal vd. (2015)'nin yaptığı temizleme düzeneğinde, düzeneğin maliyeti panel maliyetinin %10'una denk gelmektedir. Bu çalışmada imal edilen temizleme mekanizmasının toplam üretim maliyeti 5580 TL'dir ve mekanizma maliyeti 1090 TL olup, sistem içerisinde toplam maliyetin yaklaşık %20'sini oluşturmaktadır (Bakınız Çizelge 3.10 ve Çizelge 3.11). Dolayısıyla bu mekanizmanın da düşük maliyetli olduğunu söylemek mümkündür.

Sistem kuru temizleme yaparken yani sadece silecekler çalışırken, panel kenarında az miktarda toz birikmesine neden olmuştur, ancak kenarlarda biriken tozların kısa vadede panelin çıkış gerilim ve akım değerleri üzerinde önemli bir değişiklik yaratmadığı yapılan ölçümlerde görülmüştür. Mekanizma sulu temizleme yaparken, panel kenarlarında biriken tozlar tamamen temizlenmiştir. Farklı şekillerde ve adette su fiskiyesi kullanılarak suyun panelin her tarafına eşit şekilde ulaştırılması sağlanabilecektir.

Kremayer dişlisi uzatılarak istenilen sayıda yan yana dizilen panellerin de verimli bir şekilde temizleneceği bir sistemin tasarım ve imalatı, daha sonra çalışılabilecek konularımızdandır. Sistemi ileri-geri otomatik hale getirmek için yeni çalışmalarda "sınırlayıcılar" yerine "sınır anahtarı" eklenebilir.

4.3. Akü ile İlgili Sonuçlar

Mekanizmayı çalıştıracak olan akü, güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjisiyle şarj edilmektedir. Güneşli günlerde akü şarj olurken akşam hava karardığında panelden üretilen elektrik 0,05 V olduğu için akü şarj edilememektedir.

Temizleme mekanizmasının güneş panelini temizleme süresi su püskürterek 11 saniye, olarak ölçülmüştür. Çizelge 3.6'dan tam dolu akünün sürekli akım verme süresinin (kuru temizleme yapılırken) 22,8 saat; sulu temizleme yapılırken (hem silecekler hem de fiskiye beraber çalışırken) ise 11,3 saat olduğu görülmektedir. Bu bilgiler ışığında Tam dolu akü ile $(22,8 \times 60 \times 60) / 11 = 7462$ defa kuru temizleme; $(11,3 \times 60 \times 60) / 11 = 3698$ defa da su püskürterek sulu temizleme yapılabilir.

Genel anlamda fosil yakıtların oluşturduğu tehlikelerin boyutları düşünüldüğünde, yenilenebilir ve temiz enerjinin üretimi ve kullanımı hakkındaki farkındalığın zamanla arttığı; ve fiziksel ve sosyal anlamda yenilenebilir enerjiye yönelimler olduğu görülmektedir. Bu enerji kaynaklarının en önemlilerinden biri olan güneş enerjisinin daha verimli kullanımı için güneş paneli temizleme sistemlerinin günümüzde artık bir ihtiyaç olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

- Abdolzadeh, M., & Ameri, M. (2009). Improving The Effectiveness Of A Photovoltaic Water Pumping System By Spraying Water Over The Front Of Photovoltaic Cells. *Renewable Energy*, 34(1), 91–6.
- Akbaş, G. ve Apar, A. (2010), Avrupa 2020 Stratejisi: Akıllı, Sürdürülebilir ve Kapsayıcı Büyüme için Avrupa Stratejisi, Özet Bilgi Notu, T. C. Başbakanlık Avrupa Birliği Genel Sekreterliği, Sosyal, Bölgesel ve Yenilikçi Politikalar Başkanlığı, https://www.Ab.Gov.Tr/files/SBYPB/Sosyal%20Politika%20ve%20C4%B0stihdam/avrupa_2020_stratejisi.Pdf
- Akova, İ. (2003). Dünya Enerji Sorunu ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımı. *İstanbul Üniversitesi Coğrafya Dergisi*, 11, 47-73.
- Akyazi, O., Sahin, E. & Ozsoy, T., Algul, M. (2019). A Solar Panel Cleaning Robot Design and Application. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, Özel Sayı, 343-348.
- Al-Housani, M., Bicer, Y. & Koç, M. (2019). Experimental Investigations On PV Cleaning Of Large-Scale Solar Power Plants In Desert Climates: Comparison Of Cleaning Techniques For Drone Retrofitting. *Energy Convers Manage*, 185, 800–15.
- Altaş, İ. H. (1998). Fotovoltaik Güneş Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, 47, 66 - 71, Bilesim yayıncılık A. Ş., İstanbul. http://www.ihaltas.com/downloads/publications/3e_98_04_PV_03.Pdf
- Arslan, E. R. (2021). IPCC'nin Üçüncü Değerlendirme Raporu. Erişim <https://www.Ipcc.Ch/site/assets/uploads/2021/03/c1-introduction-tr.Pdf>
- Çoban, O. & Kılınç, N. Ş. (2016). Enerji Kullanımının Çevresel Etkilerinin İncelenmesi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 0 (33), 589-606 . DOI: 10.14781/mcd.06387.
- Dal, A. R. (2021). Güneş Enerji Panellerindeki Optimum Eğim Açısının Verime Etkisinin İncelenmesi . *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* , 8 (1), 241-250 . DOI: 10.35193/bseufbd.878795
- Demir, M. (2021). *Avrupa Birliği'nin Çevre ve İklim Değişikliği Programları*. Erişim tarihi 15 Mart 2022, https://stratejikortak.com/2021/05/avrupa-birliginin-cevre-ve-iklim-degisikligi-programlari.Html#_ftn14
- Dikkaya, M. & Rzali, S. (2020). Koronavirüs (Covid-19) Pandemisinin Küresel Enerji Piyasalarına Etkileri: Ekonomi Politik Bir Analiz Mehmet Dikkaya -Shamsi Rzali Giriş

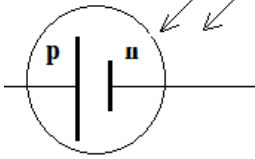
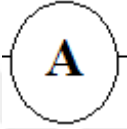
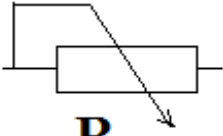
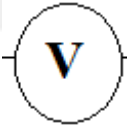
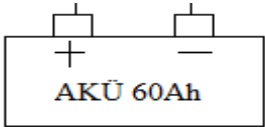

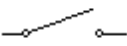
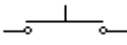
- Divya, R., Sheeba, K., Gayadhiri, Dheevi, J., Sandhiya, S., Vennila, S. (2018). Automatic Cleaning Of Solar Panel With Maximum Power Tracking By Using Arduino, *International Journal of Advance Research, Ideas and Innovations in Technology*, 4(2), 324-328, ISSN: 2454-132X
- Doğan Haber Ajansı (2021, 19 Şubat). *ABD, Paris İklim Anlaşması'na Resmen Geri Döndü*. Hürriyet. Erişim tarihi 15 Mart 2022, <https://www.hurriyet.com.tr/dunya/abd-paris-iklim-anlasmasina-resmen-geri-dondu-41744850>
- Dünya Enerji Konseyi (2018a), Kara Rüzgar Özelinde Almanya Yenilenebilir Enerji Kanunu (EEG)-2017, Türk Milli Komitesi Yenilenebilir Enerji Çalışma Grubu Y2. <https://www.dunyaenerji.org.tr/wp-content/uploads/2017/11/Y2.Pdf>
- Dünya Enerji Konseyi (2018b), *Küresel Elektrikli Araç Görünümü 2018 Raporu*. Erişim tarihi 15 Mart 2022, <https://www.dunyaenerji.org.tr/kuresel-elektrikli-arac-gorunumu-2018/>
- Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (2022, 26 Ağustos). *Güneş*. Erişim tarihi 15 Mart 2022, <https://enerji.gov.tr/eigm-yenilenebilir-enerji-kaynaklar-gunes>
- Ghazi, S., Sayigh, A. & Ip, K. (2014). Dust Effect On Flat Surfaces—A Review Paper. *Renew Sustain Energy Rev*, 33, 742–51.
- Herber, B. P. & Jose T. Raga. (1995). An International Carbon Tax to Combat Global Warming: An Economic and Political Analysis of the European Union Proposal. *American Journal of Economics and Sociology*, 54 (3), 257-267.
- Horne, C. & Kennedy, E. H. (2017). The Power Of Social Norms For Reducing and Shifting Electricity Use. *Energy Policy*. 107, 43–52, doi:10.1016/j.enpol.2017.04.029
- <https://dachzeltnomaden.com/2020/05/23/solarstrom-fuer-dein-dachzelt/>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Edmond_Becquerel
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Semiconductor>
- <https://museumfrankfurt.senckenberg.de/de/>
- <https://tr.wikipedia.org/wiki/Silisyum>
- International Energy Agency (2017), *World Energy Outlook 2017*. Paris: OECD/IEA, France: DESK, ISBN: 9789264282308, https://iea.blob.core.windows.net/assets/4a50d774-5e8c-457e-bcc9-513357f9b2fb/World_Energy_Outlook_2017.Pdf
- Irena (2021), *Renewable capacity statistics 2021* International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, ISBN 978-92-9260-342-7. <https://www.irena.org/publications/2021/March/Renewable-Capacity-Statistics-2021>
- İnat, K., Özdemir, B. Z., Kavaz, İ., Özdemir, G. S., Furuncu, Y., Çakmak, Ö. F., (2020). Koronavirüs Krizi Döneminde Enerji Politikaları. (Ed: Kemal İnat), SETA Yayınları 164, I. Baskı, ISBN: 978-625-7040-53-2, <https://setav.org/assets/uploads/2020/06/R164.Pdf>

- Javad, F. D. (2021). A Comprehensive Review Of Automatic Cleaning Systems Of Solar Panels. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47(1), DOI:10.1016/j. Seta.2021.101518.
- Kawamoto, H., & Shibata, T. (2015). Electrostatic Cleaning System For Removal Of Sand From Solar Panels. *Journal of Electrostatics*, 73, 65-70. <https://doi.Org/10.1016/j. Elstat.2014.10.011>
- Lu, X., Zhang, Q. & Hu, J. (2013). A Linear Piezoelectric Actuator Based Solar Panel Cleaning System. *State Key Laboratory of Mechanics and Control of Mechanical Structures*, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing 210016, China
- Maghami, M. R., Hizam, H. & Gomes, C., Radzi, M. A., Rezadad, M. I., Hajighorbani, S. (2016). Power Loss Due To Soiling On Solar Panel: A Review. *Renew Sustain Energy Rev*, 59, 1307–16.
- Matheson, G. & Giroux, L. (2010). Capacity Development For Environmental Management and Governance In The Energy Sector In Developing Countries, *OECD Environment Working Papers*, No: 25, OECD Publishing.
- Memon, N. K. (2016). *Autonomous Vehicles For Cleaning Solar Panels*. International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC). IEEE; 2016. P. 633-637
- Mimarlar Mühendisler Odası (2023, 11 Mayıs). *Türkiye'nin Enerji Görünümü 2023 Raporu*. Erişim tarihi 3 Haziran 2023, <https://enerji.mmo.org.tr/2023/05/11/turkiyenin-enerji-gorunumu-2023-sunumu-yayimlandi/>
- Mohamed, A. O. & Hasan, A. (2012). Effect Of Dust Accumulation On Performance Of Photovoltaic Solar Modules In Sahara Environment. *Journal of Basic and applied scientific Research*. 2 (11), 11030–11036.
- Mondal, A. K. & Bansal, K. (2015). Structural Analysis Of Solar Panel Cleaning Robotic Arm, *Current Science*, 108(6), 1047–1052.
- Nagarajan, R., Awad, S. & Gopi, K. R. (2011). Megasonic Cleaning. Kohli, R. & K. L. Mittal (Ed.), *Developments In Surface Contamination and Cleaning* (s: 31-62). William Andrew Publishing, ISBN 9781437778854, <https://doi.Org/10.1016/B978-1-4377-7885-4.10002-8>.
- Noppers, E., Keizer, K., Milovanovic, M. & Steg, L. (2019). The Role of Adoption Norms and Perceived Product Attributes In The Adoption Of Dutch Electric Vehicles and Smart Energy Systems. *Energy Research & Social Science*, 57, 101237, ISSN 2214-6296, doi:10.1016/j. Erss.2019.101237.
- Owano, N. (2013), *Robot With Brush, Water, Wiper Tackles Solar Panel Cleaning*, Erişim tarihi 15 Şubat 2022, <https://phys.Org/news/2013-12-robot-wiper-tackles-solar-panel.Html>
- Özdemir, B. Z. (2021, 9 Ekim). *Paris İklim Anlaşması ve Türkiye'nin İklim Politikası*, Sabah. Erişim tarihi 15 Mart 2022, <https://www.Sabah.com.Tr/yazarlar/perspektif/busra-zeynep-ozdemir/2021/10/09/paris-iklim-anlasmasi-ve-turkiyenin-iklim-politikasi>

- Özgöçmen, A., (2007), *Günes Pilleri Kullanarak Elektrik Üretimi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, s: 19-26.
- Palm, A. (2017). Peer Effects in Residential Solar Photovoltaics Adoption – A Mixed Methods Study Of Swedish Users. *Energy Res. Soc. Sci.*, 26, 1–10, doi:10.1016/j.Erss.2017.01.008.
- Paudyal, B. R., Neupane, A., Yadav, S., Adhikari, T., & Shakya, S. R. (2015). *Effect Of Dust Accumulation On Solar Panels And Mechanism For Alleviation: Design For Street Lighting Purpose*. In Proceedings of IOE Graduate Conference (pp. 311-317).
- Shehri, A. A., Parrott, B., & Carrasco, P. (2017). Accelerated Testbed For Studying The Wear, Optical and Electrical Characteristics Of Dry Cleaned PV Solar Panels. *Sol Energy*, 146, 8–19.
- Tejwani, R. and Solanki, C. S. (2010). *360° Sun Tracking with Automated Cleaning System for Solar PV Modules*. Proceedings of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Honolulu, 20-25 June 2010, 2895-2898.
- Ticaret Bakanlığı Sektör Haberleri (2020, 10 Aralık). *Birleşik Krallık 2030'a Kadar Emisyonları Yüzde 68 Azaltmayı Taahhüt Etti*, T. C. Ticaret Bakanlığı, Ticaret Araştırmaları Genel Müdürlüğü. Erişim tarihi 15 Nisan 2022, <https://ticaret.gov.tr/blog/sector-haberleri/birlesik-krallik-2030a-kadar-emisyonlari-yuzde-68-azaltmayi-taahhut-etti>
- Topçu, F. H. (2018). Düşük Karbon Ekonomisine Geçme(me): İklim Değişikliği ve Enerji Politikaları Bağlamında Bir Bakış . *Akdeniz İİBF Dergisi* , Özel Sayı , 115-154 . DOI: 10.25294/auibfd.463396
- Türkeş M., (2008). Küresel İklim Değişikliği Nedir? Temel Kavramlar, Nedenleri, Gözlenen Ve Öngörülen Değişiklikler. *İklim Değişikliği ve Çevre*, 1, 26-37.
- Türkeş, M., & Kılıç, G. (2004). Avrupa Birliği'nin İklim Değişikliği Politikaları ve Önlemleri (European Union Policies and Measures on Climate Change). *Çevre, Bilim ve Teknoloji, Teknik Dergi*, 2, 35-52.

EK

EK-A. DEVRELERDE KULLANILAN SEMBOLLER

	Güneş pili, fotovoltaik pil
	Ampermetre
 R	Ayarlı direnç, reosta
	Voltmetre
 AKÜ 60Ah	Akü
	DC motor
	Anahtar
	Buton

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Soyadı, Adı : ERDEN TARI, Fatma

Uyruğu : TC

EĞİTİM

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Dicle Üniversitesi Batman Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Öğretmenliği	2003
Lise	Kızıltepe Endüstri Meslek Lisesi	1999

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Yer	Görev
2009 - 2010	Şırnak Mesleki ve Teknik Anadolu. Lisesi	Elektrik Öğretmeni
2010 - 2011	Nusaybin Mesleki ve Teknik Anadolu. Lisesi	Elektrik Öğretmeni
2011 - 2019	İstanbul Nahit Menteşe Mesleki ve Teknik Anadolu. Lisesi	Elektrik Öğretmeni
2019 - Devam	Edirne Mesleki ve Teknik Anadolu. Lisesi	Elektrik Öğretmeni

SERTİFİKALAR

İş güvenliği Uzmanlığı Belgesi (C sınıfı) (Kültür Üniversitesi)

Robotik ve Kodlama Öğretmen Eğitimi (SAÜSEM)

TÜBİTAK 4006 Bilim Fuarı Katılım Belgesi

ERASMUS+ ‘İstihdam ile Evlerde Güneş Açacak’ Katılım Belgesi

YABANCI DİL

İngilizce

HOBİLER

Tiyatro, Sinema, Doğa yürüyüşü, Kitap okumak