



**SENSÖR TABANLI OTOMATİK GÜNEŞ PANELİ TEMİZLEME SİSTEMİ
PROTOTİPİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tevfik KARGACIOĞLU

DANIŞMAN

Doç.Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI YENİLENEBİLİR ENERJİ BİLİM

DALI

Kasım 2017

Bu tez çalışması 15.FEN.BİL.31 numaralı proje ile BAP tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SENSÖR TABANLI OTOMATİK GÜNEŞ PANELİ TEMİZLEME
SİSTEMİ PROTOTİPİ

Tevfik KARGACIOĞLU

DANIŞMAN

Doç.Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI YENİLENEBİLİR
ENERJİ BİLİM DALI

Kasım 2017

TEZ ONAY SAYFASI

Tevfik KARGACIOĞLU tarafından hazırlanan “Sensör Tabanlı Otomatik Güneş Paneli Temizleme Sistemi Prototipi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 10/11/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yenilenebilir Enerji Sistemleri **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

Başkan : Prof. Dr. Ahmet ALTUNCU
Dumlupınar Ü. Mühendislik Fakültesi,

Üye : Prof. Dr. Abdurrahman KARABULUT
Afyon Kocatepe Ü. Teknoloji Fakültesi,

Üye : Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU
Afyon Kocatepe Ü. Mühendislik Fakültesi

İmza
İmza
İmza

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

beyan ederim.

10/11/2017



Tevfik KARGACIOĞLU

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SENSÖR TABANLI OTOMATİK GÜNEŞ PANELİ TEMİZLEME SİSTEMİ PROTOTİPİ

Tevfik KARGACIOĞLU

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU

Bu tez çalışmasında, güneş panellerinin verimini artırmak için panel yüzeyinde oluşabilecek tozlanma gibi çevre etkilerini algılayan ve otomatik devreye girip bu etkileri ortadan kaldıran bir güneş paneli temizleme sistemi gerçekleştirilmiştir. Sistem, temizleme mekanizması ve bu mekanizmayı kontrol eden bir elektronik devreden oluşmaktadır. Temizleme mekanizmasında, panel boyunca hareket edebilen bir fırça ve bu fırçanın üzerine su besleyen bir selenoid valf bulunmaktadır. Panellerde oluşan tozlanmayı algılayabilmek için elektronik devrede direnç değeri ışık şiddeti ile değişen LDR'ler (light dependent resistance) kullanılmıştır. Söz konusu LDR'lerden alınan analog sinyaller bir mikrodenetleyici aracından işlenerek temizleme sisteminin devreye girmesi sağlanmaktadır. Prototipi üretilen temizleme sistemi üzerinde gerçekleştirilen deneyler sonucunda panel çıkış veriminin temizlenmeyen panel çıkış verimine göre daha yüksek olduğu gösterilmiştir.

Çalışma tasarım, üretim ve test olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada temizleme sisteminin mekanik aksamı ve elektronik devre kısımları tasarlanmıştır. İkinci aşamada ise tasarlanan sistem gerçekleştirilmiştir. Son aşamada ise sistemin performansı test edilmiş ve sonuçlar tartışılmıştır.

2017, ix + 54 sayfa

Anahtar Kelimeler: Panel temizleme yöntemi, Panel verimliliği, Tozun verime etkisi

ABSTRACT

M.Sc Thesis

SENSOR BASED AUTOMATIC SOLAR PANEL CLEANING SYSTEM PROTOTYPE

Tevfik KARGACIOĞLU

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Renewable Energy Systems Main Science

Supervisor: Assoc. Prof. Fatih Onur HOCAOĞLU

In this thesis, a solar panel cleaning system has been realized that recognize the environmental effects such as dustiness that may occur on the surface of the panel in order to increase the efficiency of the solar panels. Once such effects are sensed, an automatic cleaning system begins to work and the negative factors that decrease the efficiency of the panel have been removed from the surface. The system consists of a cleaning mechanism and an electronic circuit that controls this mechanism. The cleaning mechanism include a brush that is able to move among the surface of the panel and a solenoid valve that is connected to the water tank. Light dependent resistors (LDRs) are employed to sense the dust occurred on the surface of the panels. The analog output signals of LDRs are set as to be the input of a microcontroller and the cleaning system is get run by this way. It is observed from the experiments performed on the produced prototype that, the efficiency of cleaned module is significantly higher than the module that is not cleaned.

This study is composed of three main parts: design, production and test. In the first part the mechanical and electrical design of the system is realized. In the second part, the manufactured system is introduced. In the final part, the test and the performance results are presented.

2017, ix + 54 pages

Keywords: Panel cleaning method, Panel efficiency, Dust effect

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Fatih Onur HOCAOĞLU'na, bu deneysel araştırma projesinin yürütülmesinde 15.FEN.BİL.31 nolu proje ile maddi destek sağlayan Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon (BAP) Birimi'ne, her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm tüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Ayrıca, bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim.

Tevfik KARGACIOĞLU
AFYONKARAHİSAR, 2017

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ	1
1.1 Güneş Enerjisi.....	1
1.2 Güneş Pilleri	3
1.3 Güneş Paneli Temizleme Sistemleri	4
1.3.1 Doğal Yollarla Temizleme	4
1.3.2 Mekanik Yöntem ile Temizleme.....	5
1.3.3 Elektrostatik Temizleme.....	7
1.3.4 İnsan Gücü ile Temizleme.....	8
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	10
3. MATERYAL ve METOD.....	16
3.1 Mekanik Aksamın Oluşturulması ve Çizim Aşaması.....	17
3.2. Mekanik Sistemde Kullanılan Ana Parçalar	23
3.2.1 Kaplin	23
3.2.2 Sonsuz Vida ve Karşılık Dişlisi.....	23
3.2.3 Kremiyer Dişli	24
3.2.4 Elektrik Motoru	24

3.3 İmalat Aşaması	24
3.4 Montaj Aşaması	27
3.5 Elektronik Devre Tasarımı.....	27
3.5.1 Elektronik devre Tasarımı ve PCB Çizim Aşaması	31
3.5.2 Yazılım Aşaması	34
3.5.3 Elektronik Devre Montaj Aşaması	35
3.5.4 Uygulama ve Deney Aşaması.....	39
3.5.5 Verimlilik ve Maliyet Analizi.....	43
4. BULGULAR	44
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	47
6. KAYNAKLAR.....	49
ÖZGEÇMİŞ.....	54

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

PV	Fotovoltaik Modül
GÜRAM	Güneş ve Rüzgar Araştırma Merkezi
TEP	Ton Eşdeğer Potansiyel
V_{oc}	Açık Devre Gerilimi
V_{mpp}	Maksimum Güç Noktası Gerilimi
I_{mpp}	Maksimum Güç Noktası Akımı
I_{sc}	Kısa Devre Akımı
P_{npp}	Maksimum Güç Değeri

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Fotovoltaik Modül.....	4
Şekil 1.2 İdeal Bir Güneş Panelinin Tipik I-V Karakteristikleri	4
Şekil 1.3 Mekanik Temizleme Sistemi.....	6
Şekil 1.4 Mekanik Temizleme Sistemi Modellenmesi	6
Şekil 1.5 Elektrostatik Temizleme	8
Şekil 1.6 Elektrostatik Temizleme Sisteminin Güç Tüketimi	9
Şekil 1.7 İnsan Gücü İle Temizleme Yöntemi	10
Şekil 3.1 Temizleme Sistemi Kurulumu	17
Şekil 3.2 Temizleme Sistemi Genel Görünüşü	19
Şekil 3.3 Temizleme Sistemi Mekanizması Tasarımı	20
Şekil 3.4 Karşılık Dışlisi	25
Şekil 3.5 Tekerlek Dışli.....	25
Şekil 3.6 Sonsuz Vida	26
Şekil 3.7 Kremiyer Dışli ve Karşılık Dışlisi Montajı.....	27
Şekil 3.8 Tekerlek Dışli Montajı	28
Şekil 3.9 Sonsuz Vida Montajı.....	29
Şekil 3.10 Elektrik Motoru Montajı	30
Şekil 3.11 Temizleme Sistemi Mekanik Görünümü	30
Şekil 3.12 Motor Kontrol Devresi Tasarımı.....	31
Şekil 3.13 Motor Kontrol Devresi	32
Şekil 3.14 Arduino Uno Kartı	32
Şekil 3.15 AC/DC Konvertör	33
Şekil 3.16 Kontrol Algoritması	34
Şekil 3.17 Temizleme Sistemi Blog Diyagramı	35
Şekil 3.18 Baskı Devre Çıkarma Aşaması	36
Şekil 3.19 Baskı Devre Montaj Aşaması.....	36
Şekil 3.20 Motor Kontrol ve Güç Devresi	38
Şekil 3.21 Panel Su Isıtma Sistemi.....	38
Şekil 3.22 Deney Yapılan Güneş Panelleri	41
Şekil 3.23 Labview Arayüz Programı	42

Şekil 4.1 Aylık Güç Üretim Değerleri.....	45
Şekil 4.2 Güneş Panelleri Günlük Elektrik Enerjisi Üretim Grafiği	45
Şekil 4.3 Temizlenen ve Temizlenmeyen Güneş Panelleri İçin Günlük Ortalama Güç Değerleri	46



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1 Veri Ölçüm Tablosu.....	7
Çizelge 3.1 Temizleme Sistemi Kurulum Tablosu.....	18
Çizelge 3.2 Mekanik Sistem Parça Tablosu.....	20
Çizelge 3.3 Panel Çıkış Verimi Karşılaştırma Tablosu.....	43



1. GİRİŞ

1.1 Güneş Enerjisi

Türkiye’de ve dünyada enerji ihtiyacı sürekli olarak artmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için kullanılan fosil yakıt kaynakları ise hızla tükenmektedir. Fosil yakıt kullanımının olumsuz etkileri sebebiyle, dünyada sıcaklıklar yükselmekte, buzullar erimekte ve doğal felaketler meydana gelmektedir. Ayrıca, toprak, su ve hava kirliliğinin yol açtığı olumsuz etkilerden dolayı insan, hayvan ve bitkiler büyük zarar görmektedir. Tüm bu olumsuz durumlara karşı, çevre sorunlarına neden olmayan, canlıların yaşamlarını tehdit etmeyen, temiz, güvenilir ve sürdürülebilir nitelikteki yenilenebilir enerji, dünyamız için ve insan sağlığı için büyük önem taşımaktadır. Bu enerji üretimleri, birincil enerjilerin temini için diğer ülkelere olan bağımlılığın da ortadan kaldırılmasında önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir.

Dünyadaki fosil yakıt rezervlerinin sınırlı miktarda olması ve tükenebilir olması, yenilenebilir enerji enerji kaynaklarına olan ilgiyi, günümüz teknolojisinin gelişmesiyle birlikte artırmıştır. Avrupa Birliği’nin hedefi, 2020 yılında yenilenebilir enerji kullanımının % 20 artırılması yönündedir (Avrupa Birliği 2020 Strateji Belgesi 2010).

Uluslararası Enerji Ajansı’na (IEA) göre, yeryüzüne 90 dakikada düşen güneş enerjisi, tüm dünyanın bir yıllık enerji ihtiyacını karşılayacak miktardadır. IEA, 2050 yılında küresel elektrik enerjisi üretiminin %11 gibi büyük bir oranının güneş enerjisinden sağlanacağını öngörmektedir ve 2030 yılına kadar, yenilenebilir enerji kaynaklarının yıllık %7.6 büyüme ile en hızlı büyüme oranına sahip enerji kaynakları olacağını bildirmektedir.

Kömür, doğalgaz ve petrol santrallerinin kuruldukları bölgelerde yerel tahribatları yanı sıra küresel olarak da dünyamızı tehdit eden etkileri de bulunmaktadır. Fosil yakıtlar yakıldığında ortaya karbon dioksit, toz ve kurum çıkmaktadır. Bunlar çevreyi kirletip iklim olumsuz etki etmektedir (Gençoğlu 2002).

Türkiye birincil enerji kaynakları tüketiminde en büyük pay % 32,2'lik oran ile doğal gaza aittir. Bu tüketimi % 31,3 oran ile kömür, %26,6 ile petrol, %3,9 oran ile hidrolik, %3 ile biyokütle, %1,5 oran ile diğer yenilenebilir enerji kaynakları ve %1,3 ile jeotermal ısı kaynakları izlemektedir. Bahsedilen veriler içerisinde fosil yakıtların payı %90,2 ve yenilenebilir enerji kaynaklarının payı %9,8 civarındadır (I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi 2012).

Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları yönünden fosil yakıtlara göre daha avantajlı bir konumdadır. Güneş, rüzgar ve jeotermal enerji potansiyeli oldukça yüksektir. Türkiye bulunduğu matematik konum itibarıyla güneş enerjisi potansiyeli açısından oldukça iyi bir durumdadır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi tarafından 2015 yılında hazırlatılan, Türkiye'nin Yenilenebilir Enerji Stratejisi'nde, Türkiye'nin güneş radyasyonuna göre yıllık ortalama elektrik üretim potansiyeli 1520 kWh/m² olarak belirtilmiştir.

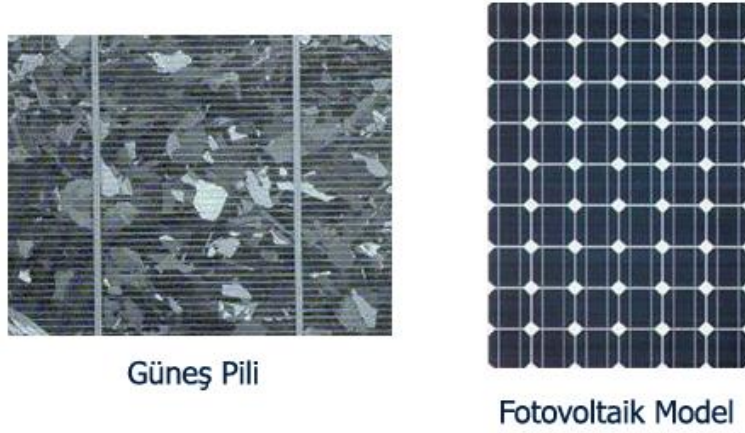
2015 yılı sonu verileri incelendiğinde, Türkiye'de toplam kurulu güneş kolektör alanının ortalama 18 640 000 m² olduğu görülmektedir. Yıllık değerinde düzlemsel güneş kolektörü üretimi ise 1 164 000 m²'dir. Buna ilaveten, vakum tüplü kolektör değeri 57600 m² olarak hesaplanmıştır. Üretilen düzlemsel kolektörlerin yarısı, vakum tüplü kolektörlerin tamamının Türkiye içinde kullanıldığı bilinmektedir. Yine aynı yıl verilerine göre, güneş kolektörleri ile yaklaşık olarak 811 000 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ısı enerjisi üretilmiştir. Üretilen ısı enerjisinin, 2015 yılı için konutlardaki kullanım değeri 528 000 TEP, endüstriyel amaçlı kullanım değeri ise 283 000 TEP olarak hesaplanmıştır (Enerji ve Tabi Kaynaklar Bakanlığı Raporu 2015).

Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2737 saat (günlük ortalaması 7,5 saattir), yıllık toplam gelen güneş enerjisi ise 1527 kWh/m².yıl, yani günlük toplam olarak 4.2 kWh/m² değerinde belirlenmiştir (ETKB 2015).

1.2 Güneş Pilleri

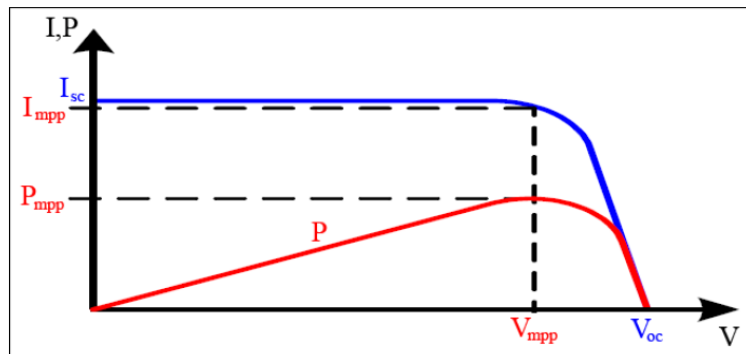
Güneş pilleri (fotovoltaik diyotlar) üzerine güneş ışığı düştüğünde, güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren düzeneklerdir. Bu enerji çevriminde herhangi devingen (hareketli) parça bulunmaz. Güneş pillerinin çalışma ilkesi, Fotovoltaik (Photovoltaic) olayına dayanır. İlk kez 1839 yılında Becquerel, elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilim, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğu gözlemleyerek Fotovoltaik olayını bulmuştur. Katılarda benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında G.W. Adams ve R.E. Day tarafından gösterilmiştir. Bunu izleyen yıllarda çalışmalar bakır oksit ve selenyuma dayalı foto diyotların, yaygın olarak fotoğrafçılık alanında ışık kullanılmasını beraberinde getirmiştir. 1914 yılında fotovoltaik diyotların verimliliği %1 değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren fotovoltaik diyotlar ilk kez 1954 yılında Chapin tarafından silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir. Fotovoltaik güç sistemleri için dönüm noktası olarak kabul edilen bu tarihi izleyen yıllarda araştırmalar ve ilk tasarımlar, uzay araçlarında kullanılacak güç sistemleri için yapılmıştır. Fotovoltaik güç sistemleri 1960'ların başından beri uzay çalışmalarının güvenilir kaynağı olmayı sürdürmektedir. 1970'li yılların başlarına kadar, güneş pillerinin uygulamaları ile sınırlı kalmıştır. Güneş pillerinin yeryüzünde de elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları 1954'lerde başlamış olmasına karşın, gerçek anlamda ilgi 1973 yılındaki "1. petrol bunalımı"nı izleyen yıllarda olmuştur. Amerika'da, Avrupa'da, Japonya'da büyük bütçeli ve geniş kapsamlı araştırma ve geliştirme projeleri başlatılmıştır. Bir yandan uzay çalışmalarında kendini ispatlamış silikon kristaline dayalı güneş pillerinin verimliliğini artırma çabaları ve diğer yandan alternatif olmak üzere çok daha az yarı iletken malzemeye gerek duyulan ve bu nedenle daha ucuza üretilebilecek ince film güneş pilleri üzerindeki çalışmalara hız verilmiştir. "Fotovoltaik" sözcüğü, ışık anlamına gelen foto ve elektrik anlamına gelen voltaik sözcüklerinin birleşmesi ile oluşturulmuştur. Fotovoltaik teknolojisi, yani güneş enerjisini kullanılabilir güce çeviren donanımları açıklamak için kullanılan terim, ışıktan elektrik üretir anlamına gelir. Fotovoltaik pil ise fotovoltaik özellik sonucu elektrik enerjisi üreten yapıdır. Yaygın olarak Fotovoltaik pil tanımlaması kullanılmasına rağmen, bariyer tabakalı foto

pil, kendi kendine üreten pil, güneş pili, fototronik foto pil gibi isimlerle de adlandırılmaktadır. (Graf, 1999)



Şekil 1.1 Fotovoltaik Modül.

Fotovoltaik modüller, güneş pillerinin paralel veya seri olarak bağlanması ile elde edilirler. İki güneş pili paralel bağlandığında, gerilim sabit kalırken akım iki katına çıkar, seri bağlandığında ise, akım sabit kalırken, gerilim iki katına çıkar. Bu şekilde, gerilimi 14-16 volta çıkarmak mümkündür. Fotovoltaik modüller, sert dış ortam şartları için tasarlanmaktadır. Güneş pillerinin ve elektriksel bağlantıların dış ortamdan korunması için modüller kapsüllenirler. Fotovoltaik paneller, fotovoltaik modüllerin, paralel veya seri olarak bağlanması ile elde edilirler. Bu şekilde 12-600 V arasında gerilim elde etmek mümkün olabilmektedir (Bedeloglu 2010).



Şekil 1.2 İdeal bir güneş panelinin tipik I-V karakteristikleri.

Birbirine seri veya paralel bağlanmış birden fazla güneş panelinden oluşan sistemlerin karakteristikleri de sırasıyla V_{oc} ve V_{mpp} ya da I_{mpp} ve I_{sc} değerlerinin katlanmış olması dışında benzerdir.

V_{oc} : Açık devre gerilimi, V_{mpp} : Maksimum güç noktası gerilimi, I_{mpp} : Maksimum güç noktası akımı, I_{sc} : Kısa devre akımı, P_{mpp} : Maksimum güç değeri

Şekil1.3'ten de görülebildiği gibi ideal bir güneş panelinin çıkış gerilimi, çıkış akımı belli bir değere ulaşana kadar sabitken, bu değeri aştığında hızla azalmaya başlamaktadır. Gerçek bir güneş panelinde ise çıkış gerilimi panelden çekilen akım sıfırdan farklı olduğu anda düşmeye başlar. Ancak gerilimin düşme hızı akım belli bir değere ulaşana kadar yavaşken, bu değeri aştıktan sonra hızlanır (Elektirik Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi IV proje Yarışması 2008).

1.3 Güneş Paneli Temizleme Sistemleri

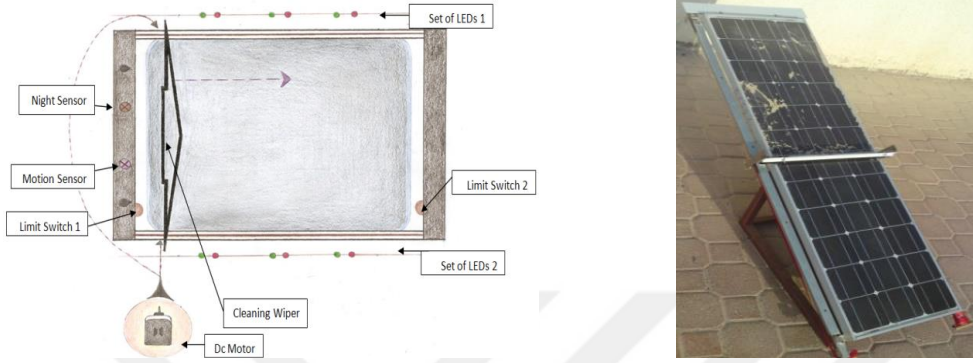
1.3.1 Doğal Yollarla Temizleme

Güneş panellerinin üst yüzeyinde biriken tozlar panel verimini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu olumsuz çevresel koşulları panel yüzeyinden temizlemek için rüzgar veya yağmur suyu gibi doğal yollar kullanılabilir. Fakat bu yöntemler panel yüzeyinde biriken tozların tamamen temizlenmesinde etkili değildir (Gaier 1991). Doğal yollarla panel yüzeyini temizleme işlemi, güneş panelinin dik ya da eğik pozisyonunda olması durumunda özellikle yağmurlu ve rüzgarlı günlerde etkili olmaktadır.

1.3.2 Mekanik Yöntem ile Temizleme

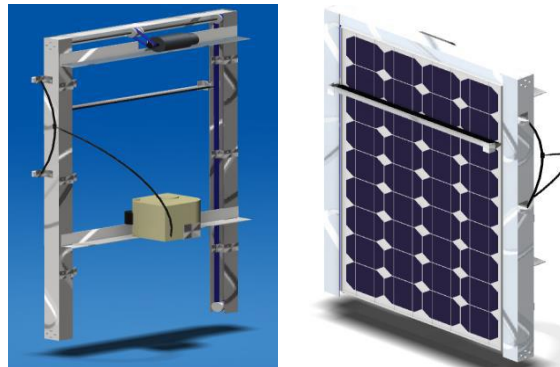
Güneş paneli temizleme yöntemleri arasında en çok kullanılan yöntemlerden biri mekanik temizleme sistemleridir. Bu sistemlerde genellikle panel yüzeyini temizlemek için fırça yada basınçlı hava kullanılmaktadır. Fırçalama düzeneği ile yapılan temizlemelerde fırçanın panel yüzeyinde bulunan camı çizerek zarar vermesi ihtimali bulunmaktadır. Al-Qubaisi ve arkadaşlarının yaptıkları fotovoltaiik sistemler için

mikrodenetleyici tabanlı toz temizleme çalışması sonucunda güç kayıpları hesaplanmış ve bu nedenle tasarlanan mikro teknoloji uygulanmasının, panel çıkış enerji verimi açısından yetersiz olacağı sonucuna ulaşmışlardır (Al-Qubaisi 2009).



Şekil 1.3 Mekanik temizleme sistemi.

Basıncılı hava kullanılarak yapılan temizleme sistemlerinde fan kullanıldığı için yüksek enerji tüketimi olmaktadır. Bu nedenle güneş paneli temizleme sistemlerinde enerji verimliliği açısından kullanımının daha sağlıklı olabilmesi için bahsi geçen çalışmanın test aşaması devam etmektedir. Bir başka çalışmada; uzaktan kontrollü alıcı ve verici devreler sayesinde mekanik bir güneş paneli temizleme düzeneği yapmışlardır (Mustafa 2015).



Şekil 1.4 Mekanik temizleme sistemi modellenmesi.

Bu çalışma neticesinde aşağıdaki sayısal veriler elde edilmiştir.

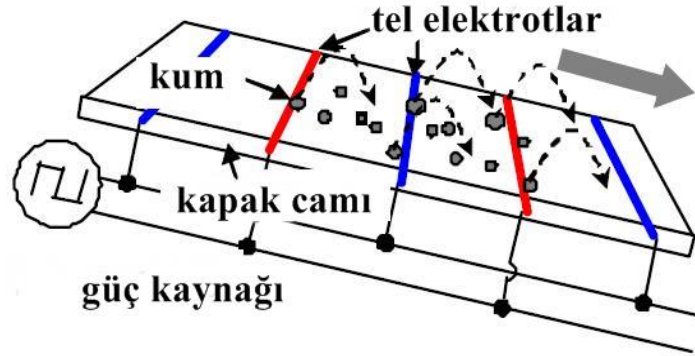
Çizelge.1.1 Veri Ölçüm Tablosu.

Temizlenmeden Önce	Kuru Temizleme	Suyla Temizleme	Solisyon ile Temizleme
PANEL 1			
74,21*	74,146	77,775	81,9245
0**	1,936	3,565	7,7145
0%***	2,608 %	4,803 %	10,395 %
PANEL 2			
71,07*	77,366	78,02	78,3128
0	6,2957	6,9479	7,2425
0 %	8,858 %	9,776 %	10,19 %
PANEL 3			
54,70	81,631	84,072	83,083
0	26,9236	29,3646	28,3756
0 %	49,213 %	53,675 %	51,867 %

*P(VA) ** ΔP(VA) ***Verim

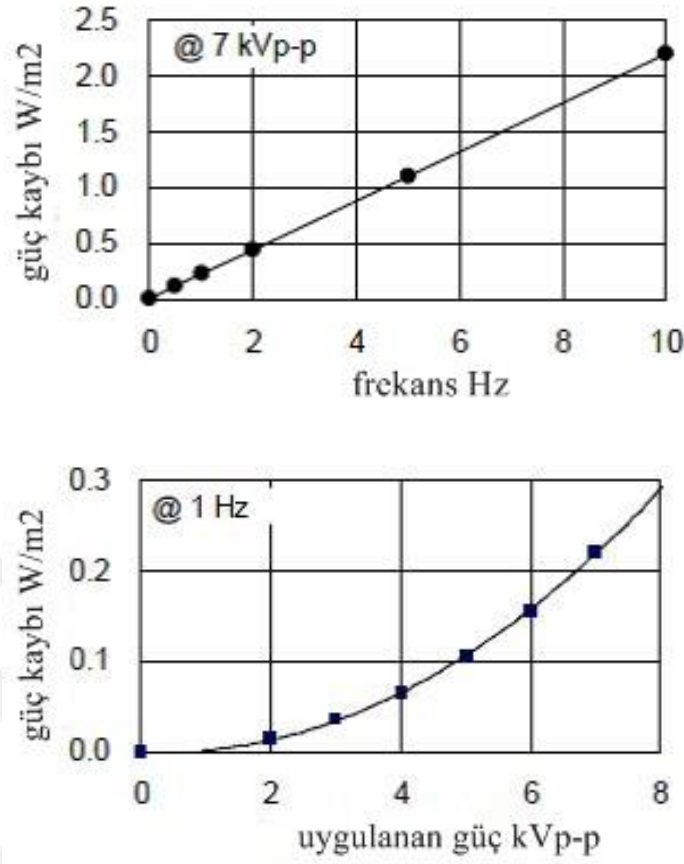
Yapılan çalışmada, üç güneş paneli için farklı temizleme yöntemleri uygulanmıştır. Panellerin hiç temizlenmeme, kuru temizleme, su ve solisyon ile temizleme işlemleri neticesinde yukarıdaki tabloda verilen panel çıkış güçleri elde edilmiştir. Veriler ışığında temizlenmeyen güneş panelinin çıkış gücü zamanla azalırken mekanik temizleme işlemine tabi tutulan panelin çıkış gücünün arttığı görülmektedir.

1.3.3 Elektrostatik Temizleme



Şekil 1.5 Elektrostatik temizleme.

Günümüzde inşa edilen büyük güçlü güneş enerji santralleri genellikle verimsiz arazilere inşa edilmekte birlikte bu arazilerde bulunan toz, kum gibi çevresel etmenler panel çıkış gücünü olumsuz yönde etkilemektedir. Yağmur ve rüzgar gibi doğal etkenler her ne kadar panel yüzeyinde oluşan bu olumsuz etmenleri kısa süreli olarak temizlese de tam anlamıyla panel yüzeyinden uzaklaştıramamaktadır. Güneş paneli temizleme yöntemlerinden bir diğeri de elektrostatik temizleme yöntemidir. Bu sistemler güneş paneli camı altına gömülü paralel elektrotlardan oluşan bir kum itici levhadan oluşmaktadır. Kum taneciklerinin yer çekimi sayesinde panelden aşağıya doğru hareketi sonucu cihazda bir flip-flop hareketi oluşturur ve bu sayede toz parçacıkları panel yüzeyinden uzaklaştırılmaktadır (Kawamoto 2015).



Şekil 1.6 Elektrostatik temizleme sisteminin güç tüketimi.

1.3.4 İnsan Gücü ile Temizleme

Güneş panelleri temizleme işlemlerinde, genellikle yaygın olarak kullanılan ve bir sektör haline gelen ve bina cephe temizleme işlemleri içinde kullanılan bir yöntemdir. Bu temizleme yönteminde panel yüzeyinin kirlendiğine kullanıcılar karar vermektedir. Güneş paneli temizleme işlemi ayda en az bir defa olmak kaydıyla saf su kullanılarak yapılmaktadır.



Şekil 1.7 İnsan gücü ile temizleme yöntemi.



2. LİTERATÜR ÖZETİ

Güneş panellerinde verimlilik artırma çalışmaları günümüz teknolojisiyle birlikte giderek artmaktadır. Güneş panellerinde dönüşüm verimliliği panel yapısına göre değişse de maksimum %20 civarındadır. Fakat panellerin zamanla kirlenmesi sonucu bu verimlilik düşmektedir. Güneş panellerinin temizlenmesi konusu günümüzde yeni sayılabilecek bir konudur. Bu konuda gerçekleştirilen çalışmalar vardır ancak bu çalışmalar genellikle ticari amaçlı çalışmalardır. Literatürde yapılan çalışmalar arasında;

Al-Qubaisi ve arkadaşları (2009): Microcontroller Based Dust Cleaning System for a Standalone Photovoltaic System (Bağımsız güneş Panelleri için mikrodenetleyici tabanlı toz temizleme sistemi) çalışmasında; Panel yüzeyinde oluşabilecek gölgelenme ve lekelenme etkisini azaltmak için bir temizleme sistemi tasarlamıştır. Yaptıkları sistemle, sistemin konumu nedeniyle yapılan araştırmalar damıtılmış su olması bakımından ve kullanılabilirliği dikkate alınarak birkaç kısıtlama getirmişlerdir. Mikrokontrolör kullanılmasının sebebi, düşük güç tüketmesi, elektrik devrelerinde temel eleman olarak kullanılması gibi avantajlarından dolayı tercih edilmiştir.

Qi ZHANG ve arkadaşları (2013): A Solar Panel Cleaning System Based on a Linear Piezoelectric Aktuator (doğrusal piezoelektrik erişim düzeneğini dayalı bir güneş paneli temizle sistemi) ile ilgili yaptıkları çalışmada; Doğrusal bir piezoelektrik aktüatör dayalı güneş paneli temizleme sistemi tasarlamıştır. Tasarlanan çalışmada, piezoelektrik malzemelerin yapısal özelliklerinden de faydalanılarak, sisteme uygulanan gerilime bağlı bir titreşim oluşturulmaktadır. Böylece panelin yüzeyindeki tozun temizlenmesi amaçlanmıştır.

Ravi Tejwani ve arkadaşları (2010): Güneş Panel Modülleri için 360 Derece Güneş Takipli Otomatik Temizleme Sistemi Çalışmasında: Güneşi takip eden bir güneş takip sistemi tasarımı yapılmıştır. Bu sistem güneşi doğuşundan batışına kadar izlemekte ve temizleme işlemi fırça yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Bu fırça bir çubuğa monte edilmiştir ve çubuğun her iki tarafı tekerleklerle donatılmıştır. Panel 06:00 ve 18:00 de dikey pozisyona geldiğinde çubuğa takılan fırça yukarı yönden yer çekimi sayesinde

aşağı doğru panelde döner ve bir günde paneli iki kez temizlenmiş ve bu şekilde güneş paneli temizleme sistemi tasarlanmıştır.

Falah Mustafa ve arkadaşları (2015): Self Cleaning Control System for PV Solar Panel Street Light (Kendi kendini temizleyen güneş panelli sokak aydınlatması) çalışmasında; Taşınabilir, hafif, bakımı kolay, maliyeti az bir temizleme sistemi tasarlanmıştır. Temizleme sistemini bir DC motor taşınmaktadır. Bu çalışmada, panel çıkış gücüne bakılarak uzaktan kumanda ile motor kontrolü sağlanmıştır. Bu kontrol için mikrodenetleyici, L298N H-bridge devresi kullanıldığı görülmektedir. Deneysel işlemler kuru temizleme, suyla temizleme ve solisyon ile yapılmıştır. Bu işlemler sonucunda;

Kuru Temizleme : 49.213%

Suyla Temizleme : 53.675%

Solisyon ile Temizle : 51.867% Verimleri elde edilmiştir.

Mark Anderson ve arkadaşları (2009): Robotic device for cleaning photovoltaic panel arrays (Güneş paneli yüzeyi için robot tasarımı) çalışmasında; Güneş panelleri için, panel cam yüzeyi üzerinde yatay-dikey, aşağı-yukarı hareket edebilen ve manevra kabiliyetine sahip bir robot tasarlanmıştır. Bu robot için iki DC motor ve çeşitli makara ve kayışlı düzenekler kullanılmıştır.

Hiroyuki ve Arkadaşları (2015): Electrostatic Cleaning System for Removal of Sand from Solar Panels (Panel yüzeyine gelen toz için Elektrostatik temizleme sistemi) çalışmasında; Güneş paneli yüzeyindeki tozların giderilmesi için, panel cam levhası altına gömülü, bir fazlı paralel bağlanmış elektrotlar kullanılmıştır. Panel hafifçe eğik iken, panel yüzeyindeki kumun %80 oranında azaltılmış ve panel çıkışından da %80 oranında geri dönüşüm verimi elde edilmiştir. Bu çalışmadan, düşük enlemlerde bulunan çöllerde inşa edilen güneş enerjisi santrallerinin verimini artırması beklenmiştir.

M. Catelani ve arkadaşları (2012): Characterization of photovoltaic panels: the effects of dust (Güneş panellerinin karakterizasyonuna tozun etkisi) çalışmasında; Bir tozlu panel ve bir referans panelin çıkış güçlerini güç analizi açısından analiz edilmiştir.

Junichiro Saito ve arkadaşları (2011): Degradation of photovoltaic module output power by microparticles (Nikropartiküller nedeniyle PV panel çıkışındaki gücün değişimi) çalışmasında; Atmosferde bulunan egzost ve çeşitli parçacıkların panel verimine etkisi yaklaşık %3 olduğundan, bu nedenle çok küçük parçacıkların etkisi üzerine çalışılmıştır. Özellikle çıkış gücüne partikül ve boyut etkisi incelenmiştir. Çöllerde %90 oranında bulunan SiO₂ ve Si partikülleri üzerinde durulmuş ve panel çıkış değerlerine etkilerini incelenmişlerdir.

M. Yamaguchi ve arkadaşları (2015): High Efficiency and High Concentration in Photovoltaics (Yüksek verimli ve yüksek yoğunluklu fotovoltaiik) çalışmasında, State-of-the-art çok eklemli güneş hücreleri ve bu teknolojinin geleceği hakkında çalışmalar yapılmıştır. Yapılan multijet yapılarla yüksek konsantrasyonlarda, düşük maliyette %23'lük bir artış elde edilmiştir.

Yong-Bum Park ve arkadaşları (2011): Self-cleaning effect of highly water-repellent microshell structures for solar cell applications (Su geçirmez microshell yapıların kendi kendine temizleme etkisiyle pil uygulaması) çalışmasında, Bir süper hidrofobik ve su tutmayan, kendi kendi temizleyen bir uygulama yapmıştır. İtina ile sıralanmış microshell dizini şeffaf ve esnek bir (PDMS) polidimetilsiloksan imal edilmiştir. PDMS solar hücre verimliliğinin toz parçacıkları tarafından düşmesini engellemiş ve üstün bir toz temizleme performansı sunduğu görülmüştür. Sonuç olarak süperhidrofobik yapısal esnekliğinden esinlenerek, silindirik nanoshell dizisini bir microshell dizini haline getirilmiş, şeffaf ve esnek bir PDMS katman üzerinde kurulmuş ve yüzey kaplama yapılmış, performansı incelenmiştir.

Jose Carlos ve arkadaşları (2010): Position and Speed Control of Brushless DC Motors Using Sensorless Techniques and Application Trends (Pozisyon ve hız kontrolü için Sensörsüz Fırçasız DC motor teknolojisi ve uygulaması eğilimi) çalışmasında; Fırçasız

Dc motor sürücülerini kontrol etmek için pozisyon ve hız algılayıcısız yöntemlerin incelemesi sunulmuştur. Geleneksel kontrol ve algılama teknikleri alfilayıcısız teknoloji ile geliştirilmiş. Bu sayede BLDC motor sürücü performansları ve güvenilirlikleri artırılmış. Daha sonra kendi içsel avantaj ve dezavantajları sunulmuş. Çalışma Prensibi terminal gerilimi algılama, harmonik voltaj entegrasyonu, terminal akım algılama, PWM stratejisini içeren state-of-the-art algılama yöntemleri derin bir şekilde incelenmiştir. Sonuç olarak, geleneksel yöntemler referans alınarak, shaft encoder, hall-effect sensörler kullanmadan bir kontrol tahmincisi kullanılarak, maliyet azaltımı yapılmış ve güvenilirliği artırılmıştır. Performansının, geleneksel sistemlere nazaran arttığı görülmüştür.

Gerakis George ve arkadaşları (2012): Intelligent integrated selfenhanced photovoltaic panel with rainwater harvesting for irrigation, unit cooling and cleaning (Akıllı entegre edilmiş sulama ve yağmur suyu toplama, panel soğutma ve temizleme sistemi) çalışmasında; Buluş teknik saha özellikleri bakımından; güneş panelleri, yağmur suyu toplama, sulama, elektrik üretimi için uygun olduğu görülmüştür. Buluşun ana fikri bir panelin alt kenarındaki düzeneğe sayesinde yağmur suyunun toplanması ve depolanması yapılmıştır. Depolanan su arazi sulaması, panel sıcaklığının azaltılması ve panel yüzey temizliğinin yapılması işlemlerinde kullanılmıştır. Sonuçlar bitkisel ya da hayvansal üretim, sera etkisi iyileştirme, daha verimli panel çıkış gücü için panel yüzeyi temizliğinde kullanılmıştır. Panel %30 verimlilik elde edilerek panel sıcaklığı azaltılmış. İstenilen kullanıma göre çeşitli konfigürasyonlar vardır. Rezervuar depolama, hayvan çiftlik sulama, geri soğutma, ön cam soğutma, çift soğutma, ön cam temizleme. Temizlik su püskürtmeli olarak yapılmıştır.

M.M. Rahman ve arkadaşları (2005): Effects of various parameters on PV-module power and efficiency (PV panellerin güç ve verimliliği üzerinde çeşitli parametrelerin etkisi) çalışmasında, Güneş enerjisinin sadece bir kısmı elektrik enerjisine dönüştürülmüş ve ısınımın geri kalanı ısıya dönüşerek panel performansını düşürmüştür. Yapılan çalışmada nem, toz, soğutma gibi çeşitli çalışma parametrelerinin PV panel performansına etkisi incelenmiştir. Bir ısı değiştiricisi, hücre sıcaklığı değişimi için panel arka yüzeyine uygulanmıştır. Panel yüzeyi soğutulmadan

1000W/m² radyasyon seviyesinde, hücre sıcaklığı 56 derecede iken çıkış gücü 20.47 W düşmüş ve buna bağlı olarak % 3,13 azalmıştır. Solar paneldeki 1 deredelik artış başına 0.37 W güç, %0.06 düşüş olmuştur. Işınlanma şiddeti her 100W/m² artış için; 2.94W artış olmuş. Soğutma suyu uygulanarak 22.4 dereceye indirilen sıcaklık sayesinde 8.04 W çıkış gücü artmış ve %1.23 elektrik verimliliği artmıştır. Bu değer soğutma işlemi yapılmadan üretilen çıkış gücüne oranla %27.33'lük bir artış olmuştur. Bağıl nem %20 artış olduğunda 3.13 W azalma olmuş ve güneş modülünün yüzeyine düşen toz nedeniyle 7.70 W'lık bir azalma görülmüş. Sonuç olarak, güneş hücre sıcaklığı, bağıl nem, toz, soğutma, ışık yoğunluğu, soğutma sıvı kütle akış hızı gibi parametreler PV modülünün verimini ve performansını etkilemektedir. Sonuçlar kısmında güneş ışıınımı artışının, soğutma, sıcaklık, toz, sıcaklığa neden olan sebeplerin sayısal verileri ve sıralanan etmenlerin ne denli PV panel çıkış gücünü etkilediğine vurgu yapılmıştır.

Gaofa ve Arkadaşları (2011): Review of Self-Cleaning Method for Solar Cell Array (Güneş pili yüzeylerinin kendi kendini temizleme yöntemlerinin incelenmesi) çalışmasında; doğal yollarla, mekanik yollarla, kendi kendini temizleyen toz giderme yöntemlerinden bahsedilmiştir. Okuyucuya yardımcı olabilmek için yapılan bir çalışma olarak ön plana çıkmaktadır.

K.A. Moharram ve Arkadaşları (2013): Influence of cleaning using water and surfactants on the performance of photovoltaic panels (Fotovoltaik paneller için su ve yüzey aktif maddeler ile temizlik etkisi performansı) çalışmasında; Su ve enerjiyi minimum miktarda kullanarak PV paneller üzerinde biriken tozu kaldırmak için basınçlı su kullanmıştır. PV paneller Kahire Alman Üniv. 14 kW santral kullanılmıştır. Yüzey aktif maddelerin karışımı anyonik ve katyoniktir. 45 günlük deney süresince basınçsız su kullanıldığında performans %50 azalma olduğu görülmüştür. Geliştirilmiş püskürtme sistemi ile temizlenme için gereken su miktarının yanı sıra, su püskürtmek için gereken enerji miktarıda düşmüştür. Yapılan deneyler, temizlenmeyen panel, su ile temizlenen panel ve kuru bir yüzey ile temizlenen panellerde yapılmıştır: Basınçsız su kullanmanın etkisiz bir yöntem olduğu, yüzey aktif maddelerin karışımıyla yapılan temizlikte hücre verimliliğinin arttığı, tozun yüzeyden uzaklaştırıldığı ve püskürtmeli su temizliğinin %50 performans artışı olduğu görülmüştür.

Y.M.Irwan ve arkadaşları (2015): Indoor test performance of PV Panel through Water Cooling Method (Su soğutma yöntemi ile PV Panel performans testi) çalışmasında; Pv panel performansı güneş radyasyonu ve çalışma sıcaklığını etkileyen çevresel faktörlere bağlıdır. Güneş simülatörü çelik bir çerçeve üzerine kurulmuş halojen ampüller ile oluşturulmuştur. Simülatörün test yüzeyine ortalama 413, 620, 821 ve 1016 W/m olarak ayarlanmıştır. PV panelin düşük verimlilik sorununu ortada kaldırmak için panel yüzeyine su püskürten bir dc su pompası kullanmıştır. Bu soğutma mekanizması, panel yüzey sıcaklığını koruyarak verimliliği artırmanın tek yoludur. Deneysel sonuçlar farklı güneş ışıınım değerlerinde su püskürtme sisteminin panel sıcaklığını artırıp azaltmasıyla birlikte PV Panel güç çıkışını artırdığı gözlemlenmiştir. Su püskürtme PV Panel ön yüzeyinin ısısını azalttığı görülmüştür. Panel ömürlerinin ve çalışma performanslarının arttığı gözlemlenmiştir.

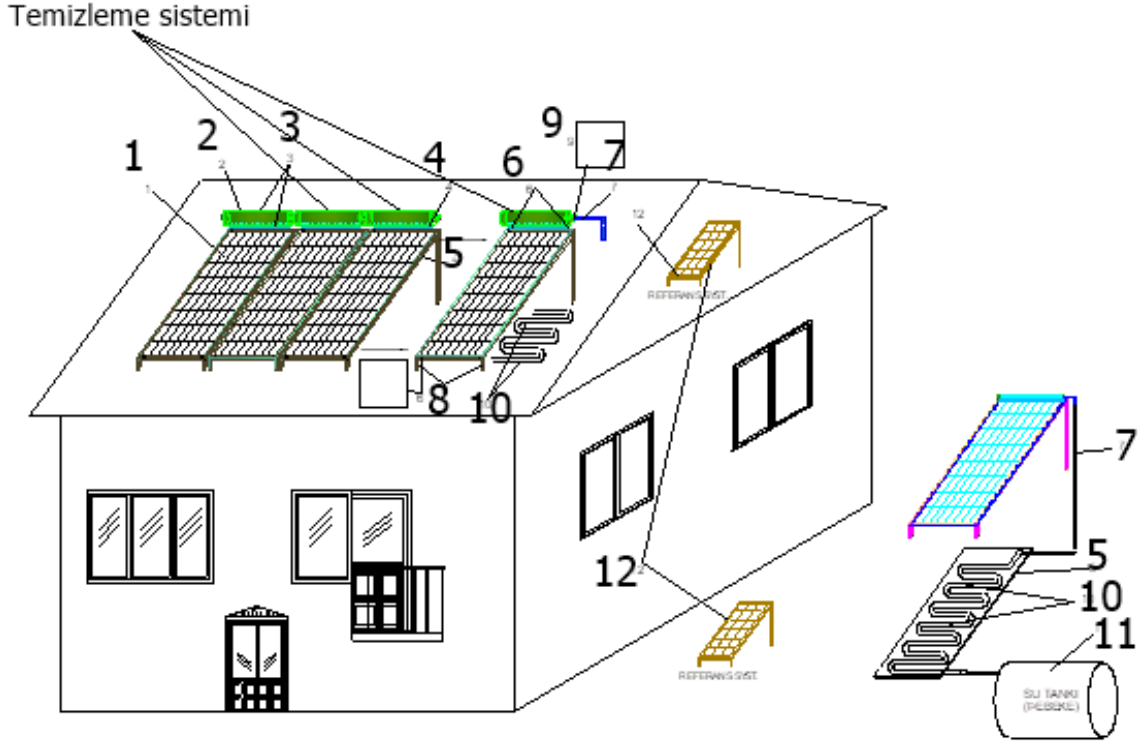
Soualmi Hamou ve arkadaşları (2014): Efficiency of PV module under real working conditions (Doğal çalışma koşullarında Pv modülünün verimliliği) çalışmasında, gerçek çalışma koşullarında Isofoton PV panelin davranışı incelenmiştir. Test Cezayir Adrar bölgesinde yapılmıştır. Farklı ışıın, farklı hava kütlesi, farklı güneş radyasyonu, hücre sıcaklığı, hava kütlesi çevresel faktörlerin etkisi incelenmiştir. Modül ışıınım aralığında kabul edilebilir bir değişim gösterirken sıcaklığa daha duyarlı olduğu görülmüştür. W. Durish tarafından geliştirilen, yarı ampirik verimlilik uygulaması, her iklimsel parametrenin etkisini (Eğik düzlem, hücre sıcaklığı, hava kütlesi, küresel ışıınım) PV modülünün verimliliğini saptamak için kullanılmıştır. Çalışma incelendiğinde sayısal verilerle desteklenmiş olduğu görülmüştür. Sonuç olarak verimliliğin hava kütlesi ve sıcaklıkla doğru orantılı olarak azaldığı görülmüştür (2014).

3. MATERİYAL ve METOT

3.1 Mekanik Aksamın Oluşturulması ve Çizim Aşaması

Türkiye ulusal yenilenebilir enerji eylem planı çerçevesinde güneş enerjisinden elde edilmesi planlanan enerji 5.000 MW olarak hedeflenmiştir. Panel yüzeyleri zaman ile çevresel faktörler nedeniyle tozlanacağından normalde üretmesi gereken enerjiden daha az bir enerji üretmektedirler. Bundan dolayı kullanılacak panellerin, yüzeylerinin temizlenerek, güneş panellerinin güneş ışınımından maksimum düzeyde fayadanılarak enerji üretimini maksimum düzeyde tutmak gerekmektedir. Bu doğrultuda, güneş paneli temizleme sisteminin yapılması fikri ortaya çıkmıştır. Farklı özelliklerde güneş paneli temizleme düzenecekleri hem piyasa da hem de literatürde mevcuttur. Yapılan bu güneş paneli temizleme sistemleri genellikle robotik uygulamalar olup, temizleme düzeneği panel yüzeyinin tozlandığını otomatik olarak algılamamaktadır. Panel yüzeyinin tozlandığına kullanıcı karar vermektedir. Fakat yapılan otomatik algılayıcı güneş paneli temizleme sistemi, panel yüzeyi tozlandığı zaman, panel yüzeyinde bulunan ışığa duyarlı sensörler sayesinde, panelin tozlandığını algılamaktadır. Bu sayede hem insan gücünden hem de zamandan tasarruf sağlanmış olmaktadır. Sistem tasarımı yapılırken ilk olarak, mevcut teknolojik durum incelenmiş, fizibilite çalışması yapılmış ve temizleme sisteminin ön tasarımı ortaya çıkarılmıştır. Bu tasarım tüm güneş panellerine adapte olabilen ve otomatik olarak panel yüzeyini temizleyebilen bir makine olmasından dolayı özgün bir yapıya sahiptir.

Güneş paneli temizleme sistemi, panel ölçüleri alındıktan sonra temizleme mekanizmasında kullanılacak malzemeler, panel ölçülerine göre belirlendikten sonra temizleme sistemi AutoCad programında çizilmiştir.



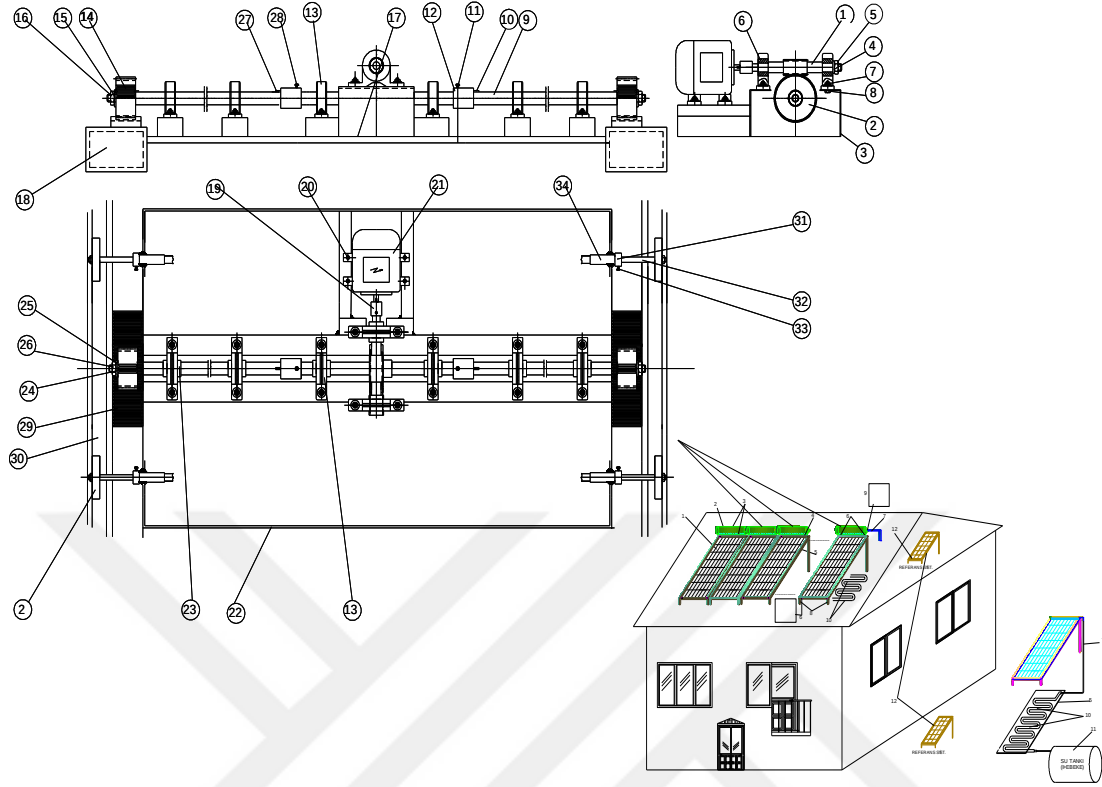
Şekil 3.1 Temizleme sistemi kurulumu.

Güneş ışığından elektrik enerjisi üreten, güneş panelleri günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kurulan bu sistemlerde kullanılan güneş panellerinin yüzeyleri zamanla tozlanmaktadır. Özellikle çatıya kurulu güneş paneli sistemlerinin, kurulum aşamasında temizleme işlemi için yeteri kadar alan ayrılmamakta ya da ayrılrsa dahi bu çatıya daha az güneş paneli kurulmasına ve bu panellerin temizlenme işlemlerinin insan gücüyle olacağı anlamına gelmektedir. Bu da temizleme işleminin zahmetli, zaman alıcı ve insan hayatını tehlikeye düşürebilecek boyutta olduğu için istenmeyen bir yöntemdir. Yapılan otomatik algılayıcı otomatik güneş paneli temizleme sistemi prototipi sayesinde özellikle çatıya kurulu güneş panellerinin temizlemesinde, hiçbir şekilde insan gücü kullanılmadan ve otomatik olarak panel yüzeylerinin temizlenmesi sağlanacaktır.

Şekil 3.1’de belirtilen temizleme sistemi Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi on iki adet ana parçadan oluşmaktadır.

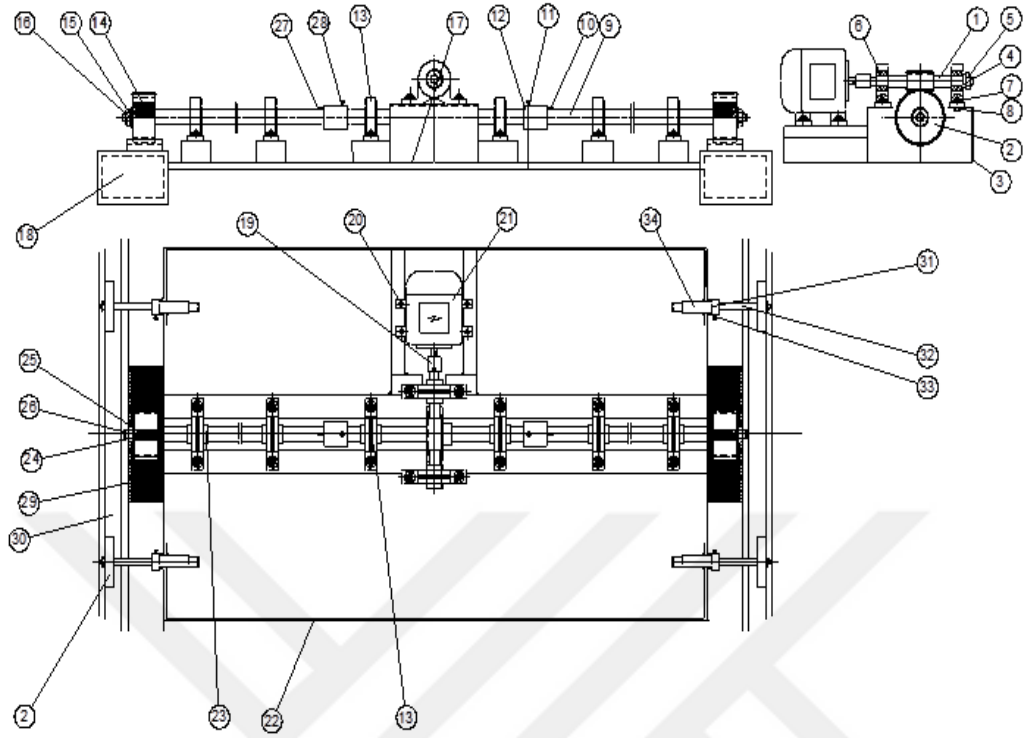
Çizelge 3.1 Temizleme Sistemi Kurulum Tablosu.

Parça No	Parça Adı
1	Güneş Panelinin Üst Kısmı
2	Temizleme Borusu
3	Su Kanalları
4	Temizleme Fırçası
5	Güneş Panelinin Alt Kısmı
6	LDR
7	Solenoid Valf Bağlantı Borusu
8	Panel Sistemi Montaj Ayakları
9	Solenoid Valf
10	Panel Soğutma Borusu
11	Su Tankı-Şebeke
12	Referans Sistem



Şekil 3.2 Temizleme sistemi genel görünüşü.

Sensör tabanlı güneş paneli temizleme mekanizması, üzerinde deneylerin yapılacağı güneş paneli ölçülerine göre çizilmiştir. İlk etapda tasarımı yapılan sistem AutoCad 2010 programında, sistemde kullanılan her bir malzeme tek tek gösterilmiştir. Tasarım ve çizim aşaması tamamlandıktan sonra temizleme sistemi mekanik aksamının oluşturulması için gerekli olan malzemelerin tedariki ve üretimi aşamasına geçilmiştir.



Şekil 3.3 Temizleme sistemi mekanizması tasarımı.

Çizelge 3.2 Mekanik sistem parça tablosu.

Parça No	Parça Adı	Adet
1	Sonsuz Dişli	1
2	Karşılık Dişlisi	1
3	Saç Gövde	1
4	Rondela	1
5	Altı Köşe Başlı Somun	16
6	Kaymalı Yatak	6
7	Altı Köşe Başlı Somun	16
8	Altı Köşe Başlı Cıvata	16
9	Mil	1
10	Uygu Kaması	2

Çizelge 3.2 (Devamı) Mekanik sistem parça tablosu.

11	Altı Köşe Başlı Cıvata	16
12	Bağlama Kovanı	3
13	Kaymalı Yatak	1
14	Pinyon Dişli	4
15	Rondela	1
16	Altı Köşe Başlı Somun	16
17	Kaymalı Yatak	1
18	Köşebent	3
19	Kaplin	6
20	Somun	6
21	Elektrik Motoru	1
22	Saç Gövde	1
23	Burç	1
24	Düz Dişli	1
25	Rondela	1
26	Altı Köşe Başlı Somun	1
27	Kama	1
28	Kovan	1
29	Kremayer Dişli	2
30	Kanal	2
31	Bilezik	2
32	Mil	1
33	Altı Köşe Başlı Cıvata	16
34	Kovan (Boru)	1

Montaj resmi bütün parçaların bir arada çalışır vaziyetteyken birbirleriyle bağlı hareketlerini, konumlarını ve ölçülerini görebileceğimiz şekilde numaralandırılmış komple bir resimdir. Güneş paneli temizleme sisteminin mekanik kısmı DC motoruna bağlıdır. Elektrik motorunun hızı isteğe göre programsal olarak ayarlanabilmektedir.

Güneş paneli temizleme sistemi montaj tablosunda görüldüğü üzere 34 parçadan oluşmaktadır. Temizleme sisteminin en önemli özelliği panel yüzeyi tozlandığında, bu tozu otomatik olarak algılayıp devreye girerek temizleme işlemini yapmasıdır.

Temizleme mekanizması yapımına öncelikle kremiyer dişlilerin panel kenarlarına montajı ile başlanmıştır. Kremiyer dişlilerin diş aralıkları 1mm olarak hesaplanmıştır.. Kremiyer dişliler panel boyunca bağlandığı için temizleme mekanizması bu dişlilerin üzerinde hareket edecektir. Mekanik dişli sistemi DC elektrik motoru ve bu elektrik motorunun miline bağlanmış bir sonsuz dişli ve karşılık dişlisinden oluşup, karşılık dişlisi bir mile bağlanmış ve bu mil de kaplinler yardımıyla saç gövdeye sabitlenmiştir. Sonsuz dişlisinin DC motor miline bağlanacak olan kısmının derinlik çapı 2 cm olduğu için motor mili ile sonsuz dişlisi arasına çapı 2 cm olan bir ara bağlantı mili bağlanmıştır.

Ana hareket aktarma milinin karşılık dişlisine bağlama işleminden sonra bu milin hareketini daha rahat sağlayabilmesi ve bir bütün olarak sistemin bir arada sabit kalması için kaplinler kullanılmıştır. Kaplin bir hareketi diğer bir ekipmana iletmek için kullanılan makine parçasıdır. Aynı zamanda kaplin, monte edildiği makinenin sıkı durmasını sağlamaktadır. Saç gövde, tüm mekanik donanımın, dişli sistemlerinin ve elektrik motorunun üzerinde bulunduğu bir toplanma yeri görevini görmektedir. Saç gövde 2 mm kalınlığında 60 cm uzunluğunda ve 25 cm genişliğinde seçilmiştir. Saç gövde üzerine kaplinlerin vidalanmasıyla birlikte ana sistem bir bütün olarak oluşturulmuştur.

DC elektrik motoru, kaplinler, sonsuz dişli, karşılık dişlisi, hareket aktarım mili, dişli tekerleklerin saç gövdeye montajlarının yapılmasından sonra sistem bir bütün haline getirilmiştir. Mekanik dişli sistemi altına panel genişliğinde hassas bir temizleme fırçası vidalar yardımıyla saç gövdeye tutturulmuştur. Fırça, sistemin harekete başlamasıyla birlikte panel yüzeyini, temizleme sisteminin aşağı ve yukarı hareketi sayesinde temizlemektedir. Güneş panelinin alt kısmına kıvrımlı metal bir boru yerleştirilmiştir. Bu sayede sıcak günlerde panelde oluşabilecek sıcaklığın borudan geçecek suya iletilmesiyle az da olsa panelde oluşabilecek, panelin verimini azaltan sıcaklığın

giderilmesi için yapılmıştır. Aynı zamandan bu kıvrımlı boruların içinde bulunan suyunda ısınarak panel yüzeyine püskürtülerek sıcak ya da ılık suyla temizleme yapılması düşünülmüştür.

3.2. Mekanik Sistemde Kullanılan Ana Parçalar

Otomatik algılayıcı otomatik güneş paneli temizleme sisteminde kullanılan ana parçalar sırası ile aşağıda belirtilmiştir.

3.2.1 Kaplin

Kaplinler; aynı eksen üzerinde çalışan miller arasında, dönme hareketini aktarmaya yarayan ara elemanlardır. Makinelerde hareketin kontrollü olarak iletilmesini sağlayan önemli bir elemandır. Kaplinler mekanizmada oluşacak sarsıntıları azaltarak, mekanizmayı korur. Herhangi bir sıkışma olması durumunda kırılarak, diğer önemli veya pahalı aksamaların zarar görmemesini sağlar. Güneş paneli temizleme mekanizmasında kullanılan kaplinlerin mili, tekerlek dişlilerin iç çapına uygun şekilde 17 mm çapında seçilmiştir. Temizleme mekanizmasında kullanılan kaplinler tekerlek dişli millerini ve Dc motor rotor ucuna bağlı sonsuz vidayı aynı pozisyonda ve rahat hareket edebilmeleri için kullanılmıştır.

3.2.2 Sonsuz Vida ve Karşılık Dişlisi

Sonsuz vida ve karşılık dişli sistemi, genel olarak dönme hızının yüksek oranlarda düşürülmesi gereken yerlerde ve eksenleri 90° açı yapan birbirini kesmeyen millerde kullanılır. Yalnız sistemde sonsuz vidanın ‘çeviren’ (döndüren), karşılık dişlisinin ise ‘çevrilen’ (döndürülen) olarak kullanılacağı bilinmelidir. Ancak aksi mümkün değildir. Yani hareket tek yönlüdür. Hareketin çarktan, sonsuz vidaya geçmesi söz konusu değildir. Aksi takdirde bu dişli metodunda, diş kilitlenmesi söz konusudur. Güneş paneli temizleme mekanizmasında kullanılan sonsuz vida ve karşılık dişlisi elektrik motorundan alınan dönel hareketi tekerlek dişliye aktarma noktasında kullanılmıştır.

Redüktörlü Dc motor miline saplama yardımıyla bağlanan sonsuz vida, motor dönme hareketini karşılık dişlisi üzerinde diğer aktarma elemanlarına iletmek kullanılmıştır. Karşılık dişlisi 1/40 dönüştürme oranı hesaplanarak üretilmiştir. 10 cm çapında, 2 cm kalınlığında ve diş derinliği 3 mm olarak hesaplanmıştır. Sonsuz vida ise karşılık dişlisi ölçülerine uygun olarak temin edilmiştir.

3.2.3 Kremiyer Dişli

Dairesel hareketin doğrusal harekete çevrilmesi için kullanılan dişlidir. Düz bir yüzeye açılan dişler sayesinde dönen bir dişlinin hareketi tek yönde ilerlemeye hareketine dönüştürülür. Kremiyer dişli, güneş paneli temizleme sisteminin, panel yüzeyinde ileri ve geri yönde hareket etmesi için bir yol görevi görmektedir. Üretim aşamasında uzunluğu güneş paneli kenar uzunluğu dikkate alınarak 175 cm ve diş derinliği tekerlek dişli diş derinliğine uygun şekilde 1 mm olarak üretilmiştir.

3.2.4 DC Motor

DC motorlar, redüktörsüz ya da redüktörlü motor olarak kullanılabilir. Redüktör, motor gövdesi içine yerleştirilmiş miller, dişli çarklar, yataklar gibi ana hız ve güç iletimi elemanlarından oluşmaktadır. Redüktörler, hareket ve güç iletmek, az bir güç ile yüksek moment gerektiren yerlerde tercih edilmektedir. Aynı zamanda redüktör iki eleman arasında bağımsız hareket sağlayarak, hız ve moment dönüştürücü bir ara hareket elemanı olarak kullanılmaktadır.

3.3 İmalat Aşaması

Temizleme sistemi mekanik kısmı deney aşamasında kullanılan güneş paneli ölçülerine göre ölçeklendirilmiştir. Bu doğrultuda, Autocad 2010 çizim programında, güneş paneli temizleme sisteminin her bir mekanik elemanı ölçülü olarak çizilmiş ve yapım aşamasına hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3.4 Karşılık dişlisi.

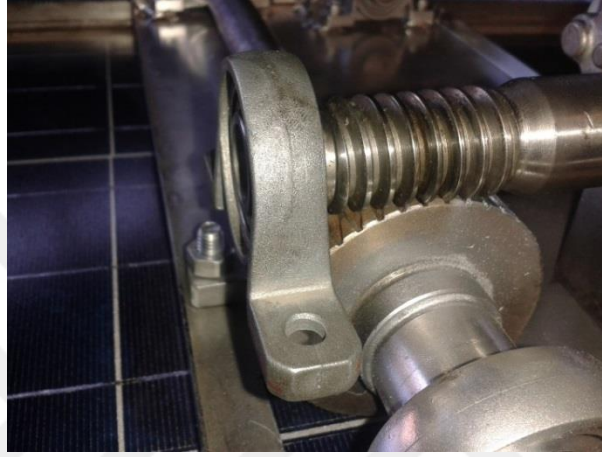
Temizleme sistemi mekanik kısmında karşılık dişlisi, motor miline saplama yardımıyla monte edilen sonsuz vidadan gelen dönel hareketi kremiyer dişlilere aktarma aşamasında kullanılmıştır. Bu dişli 1/40 dönüştürme oranı hesaplanarak üretilmiştir. Karşılık dişlisi ölçüleri 10 cm çapında, 2 cm kalınlığında ve diş derinliği 3 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.5 Tekerlek dişli.

Temizleme sistemi mekanik kısmında kullanılan tekerlek dişliler Şekil 3.5'te gösterilen karşılık dişlisine bir mil yardımıyla bağlanmıştır. Bu sayede elektrik motorundan gelen

hareketi alarak, temizleme sisteminin, güneş paneli kenarlarına monte edilen kremiyer dişli üzerinde ileri ve geri yönde hareket etmesini sağlamaktadır. Tekerlek dişli 6 cm çapında ve diş aralığı 1 mm olarak üretilmiştir. Tekerlek dişli diş derinliği kremiyer dişli diş derinliğine uygun olarak üretilmiştir. Bu dişli iki adet kaplin yarımıyla saç gövdeye sabitlenmiştir. Bunun sebebi, hareket esnasında tekerlek dişlinin bir bütün olarak saç gövde ile beraber ileri ve geri yönde hareketinin sağlanmasıdır.



Şekil 3.6 Sonsuz vida.

Temizleme sistemi mekanik kısmı montaj aşamasında kullanılan sonsuz vida, redüktörlü DC elektrik motoru miline saplamalar yardımıyla monte edilmiştir. Şekil 3.6'da görüldüğü gibi sonsuz vidanın uç kısmında bir kaplin görülmektedir. Temizleme mekanizması hareket halindeyken sonsuz dişli ve karşılık dişlisi arasında küçük bir ayrılma mesafesinin oluşması, hareketin belirli yerden sonra temizleme sistemi mekanik kısmında sıkışmalara yol açmaktadır. Resim 3.11'de görüldüğü gibi sonsuz vidanın uç kısmında bir kaplin görülmektedir. Burada kullanılan kaplin bahsedilen sıkışmaları engellemek için, sonsuz vida ve saç gövde arasına sabitlenmiştir.

Kremiyer dişli elektrik motoru miline bağlı, sonsuz dişli üzerinden gelen hareketi alan karşılık dişlisi miline demir boru üzerinden bağlanan tekerlek dişliden gelen hareketi alarak, güneş paneli temizleme sisteminin, panel yüzeyinde ileri ve geri yönde hareket etmesini sağlayan bir yol görevi üstlenmektedir. Üretim aşamasında uzunluğu güneş paneli kenar uzunluğu dikkate alınarak 175 cm ve diş derinliği ise tekerlek dişlinin diş

derinliğine uygun şekilde 1 mm olarak üretilmiştir. Kremiyer dişlinin panel kenarlarına montajı aşamasında, güneş paneli çerçevesi alüminyum olduğu için ve zarar görmesini engellemek için, güneş paneli çerçevesine iki adet köşebent monte edilmiş ve kremiyer dişlide bu köşebent üzerine sabitlenmiştir.

Saç gövde, elektrik motoru, karşılık dişli, sonsuz dişli, kaplin, selenoid valf, su iletim boruları, temizleme fırçası gibi ana temizleme sistemi elemanlarının bir arada ve bir bütün olarak monte edildiği birleştirici mekanik devre elemanıdır. Ölçüleri güneş paneli ve dc elektrik motoru ebatları dikkate alınarak hesaplanmış ve üretilmiştir. 25 cm genişliğinde, 60 cm uzunluğunda, 20 cm yüksekliğinde ve 2 mm kalınlığında hesaplanarak kullanıma hazır hale getirilmiştir. Temizleme mekanikması mekanik elemanları saç gövde kısmına sabitlenmiştir. Güneş panellirinin üzerlerinde herhangi bir nedenle gölgelenme oluşması durumunda hem verimlerinde hem de kullanım sürelerinde bir azalma oluşmaktadır. Saç gövde konumu itibariyle güneş paneli yüzeyinde herhangi bir gölgelenmeye sebep oluşturmaması için kremiyer dişli boyları bu husus çerçevesinde ayarlanmıştır. Kremiyer dişliler panel boyundan 30 cm daha uzun üretilmiştir ve saç gövde bu ayrılan alanda durmaktadır.

3.4 Montaj Aşaması

Güneş paneli temizleme sistemi mekanik aksamı için gerekli olan ana ve ara devre elemanları üretimi ve temini işlemleri yapıldıktan sonra bu parçaların birleştirilerek bir bütün haline getirilmesi aşamasına geçilmiştir. Bu kısımda öncelikle, temizleme sisteminin güneş paneli üzerinde hareket edebilmesi için bir yol görevi gören kremiyer dişliler panel kenarlarına Şekil 3.7’de gösterildiği gibi akıllı vidalar yardımıyla montaj işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.7 Kremiyer dişli ve karşılık dişlisi montajı.

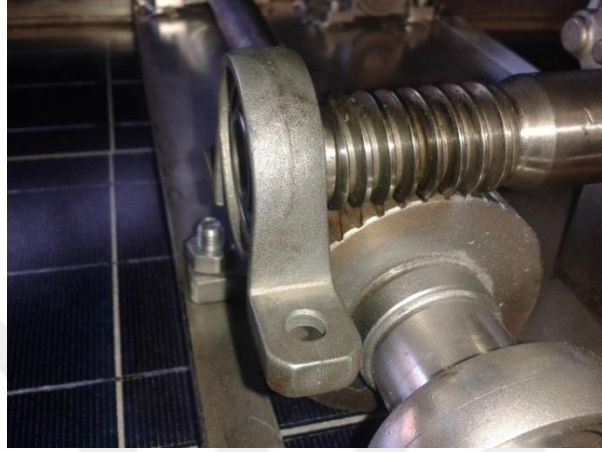
Hareket aktarma elemanı olarak tanımlanan karşılık dişlisi, miline bir demir boru bağlanmış ve bu mil uçlarına tekerlek dişliler monte edilerek, güneş paneli üzerinde hareket edebilir seviye getirilmiştir. Karşılık dişlisi gövdesinden Şekil 3.7’de belirtildiği gibi tekerlek dişliler arasına demir boru saplamalar yardımıyla bağlanmış ve bu demir boruların etrafından dört adet kaplin bağlantısı yapılmıştır. İlerleyen aşamalarda kaplinler saç gövdeye montajlanarak karşılık dişlisi saç gövdeye sabitlenmiştir.



Şekil 3.8 Tekerlek dişli montajı.

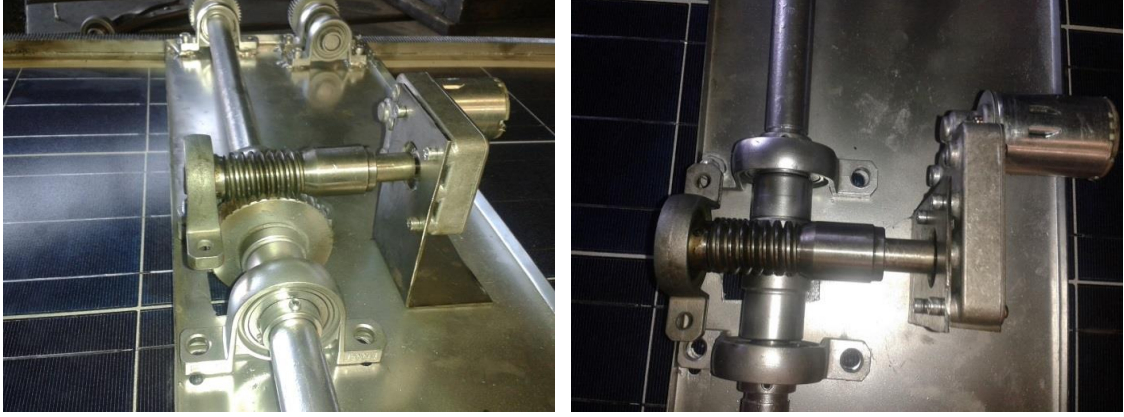
Güneş paneli temizleme sisteminin, panel yüzeyinde ileri ve geri yönde hareket etmesini sağlayan tekerlek dişliler, kaplin ve alyan vidalar yardımıyla saç gövdeye

monte edilmiştir. Tekerlek dişliler kremiyer dişlilerin diş kalınlığı ve diş derinlikleri dikkate alınarak ebatları hesaplanmış ve üretilmiştir. Tekerlek dişliler Şekil 3.8’de gösterildiği gibi kaplinler yardımıyla saç gövdeye sabitlenerek, temizleme sistemiyle bütünsel hareket etmesi sağlanmıştır.



Şekil 3.9 Sonsuz vida montajı.

Eletrik motorunun rotor miline bağlanan redüktörün hareket çıkış ucuna saplama ile sabitlenen, rotordan gelen hareketi karşılık dişlisine aktaran sonsuz vida saplama yardımıyla monte edilmiştir. Sonsuz vida dişli derinliği karşılık dişlisi diş derinliğine uygun olarak seçilmiştir. Temizleme mekanizması hareket halindeyken sonsuz dişli ve karşılık dişlisi arasında küçük bir ayrılma mesafesinin oluşması, hareketin belirli yerden sonra temizleme sistemi mekanik kısmında sıkışmalara yol açmaktadır. Bu durumu engellemek için Şekil 3.10’a gösterilen kaplin, sonsuz vida ve saç gövde arasına sabitlenmiştir. Bu sayede hareket sürekli olarak aynı ölçüde diğer hareket elemanlarına aktarılmıştır.



Şekil 3.10 Elektrik motoru montajı.

Güneş paneli temizleme sisteminin, panel yüzeyinde ileri ve geri yönde ilerlemesi için dairesel hareket üreten elektrik motoru, 1 mm kalınlığında ve 10 cm yüksekliğindeki bir saç yardımıyla saç gövdeye sabitlenmiştir. Şekil 3.10 da görüldüğü gibi elektrik motoruna bağlı redüktörün mili, saplamalar yardımıyla sonsuz vidaya bağlanmıştır. Bu sayede redüktör çıkışından alınan düşürülmüş ve momenti yükseltilmiş dönme hareketi karşılık dişlisine iletilerek temizleme sisteminin ileri ve geri yöndeki hareketi sağlanmıştır. Şekil16’da gösterildiği üzere tüm mekanik parçaların montajı sonrasında, temizleme sistemi mekanik aksamı bir bütün olarak somut olarak meydana getirilmiştir. Bu aşamaya paralel olarak, mekanik tasarımın yanında elektronik devre tasarımı, montajı ve yazılımı konusunda çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 3.11 Temizleme sistemi mekanik görünümü.

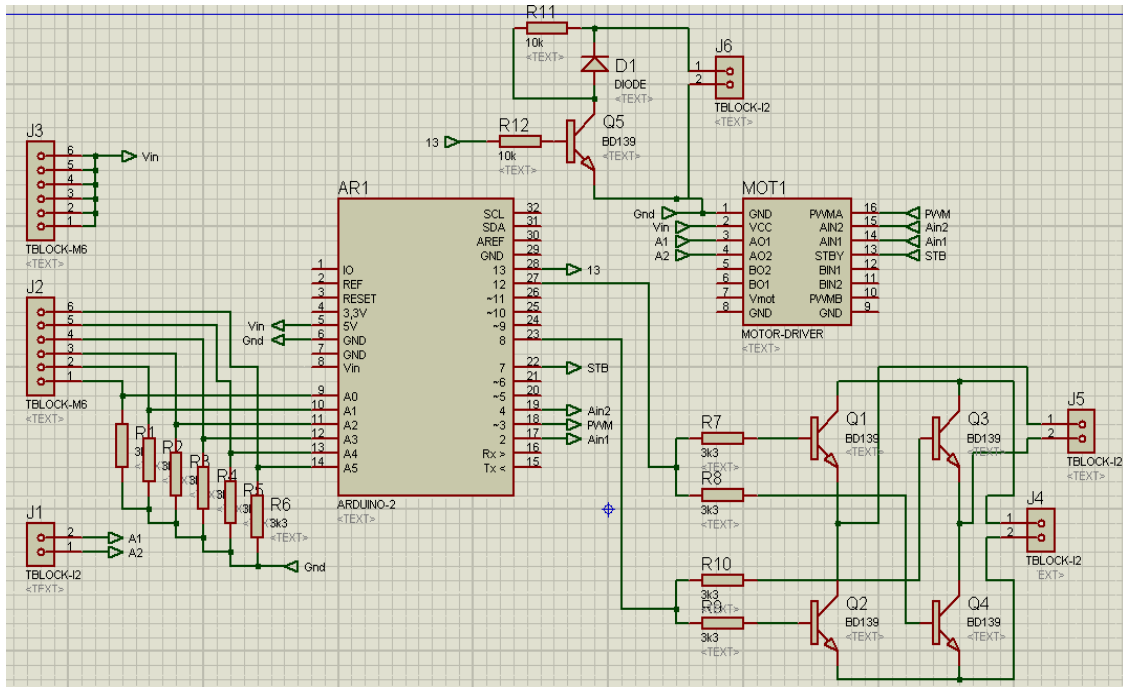
Otomatik algılayıcılı güneş paneli paneli temizleme sistemi mekanik aksamı, saç gövde ve bu saç gövdeye montajı yapılan tekerlek dişli, kaplin, karşılık dişlisi, sonsuz vida, DC elektrik motoru ve kremiyer dişli gibi hareket aktarma elemanlarından oluşmaktadır.

3.5 Elektronik Devre Tasarımı

Temizleme sisteminin mekanik donanımın üretim ve montaj aşamasının tam anlamıyla bitmesiyle birlikte tam anlamıyla elektronik devre tasarımı ve üretimi aşamasına geçilmiştir. Bu aşamada ilk olarak devrede kullanılacak olan elektronik devre elemanları, elektrik motoru gücü göz önünde bulundurularak seçilmiştir.

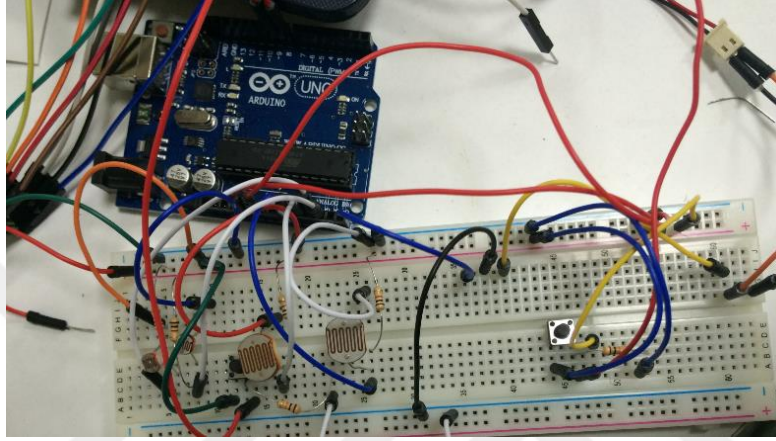
3.5.1 Elektronik Devre Tasarım ve PCB Çizim Aşaması

Motor kontrol ünitesi, Şekil 3.12’de belirtildiği gibi güç devresi, kumanda devresi ve motor devir yönü değiştirme devresinden oluşmaktadır. Şekilde 3.12’de verilen devre Proteus 7 Professional programında tasarlanmıştır.

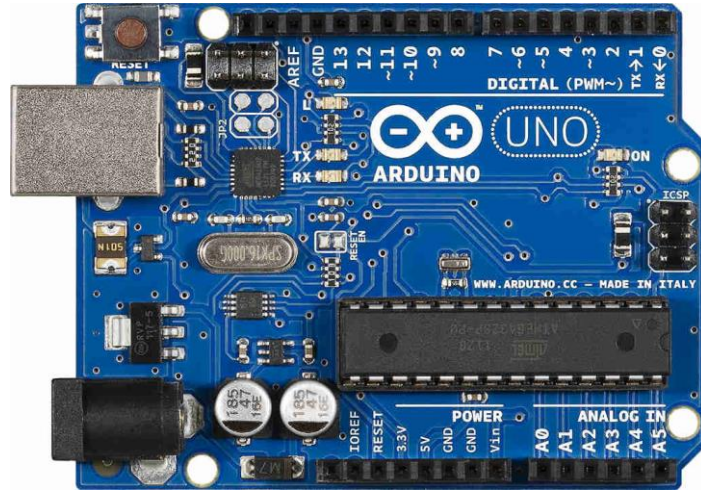


Şekil 3.12 Motor kontrol devresi tasarımı.

Otomatik algılayıcı otomatik güneş paneli temizleme sistemi prototipi çalışmasında, elektronik devre elemanları delikli plaket üzerine deneme amaçlı montajı yapılmıştır. Şekil 3.12'deki gibi küçük bir elektronik motor sürücü devresi tasarlanmıştır. Bu doğrultuda deneme amaçlı yapılan motor kontrol devresi, üzerinde bulunan değeri ışık şiddeti ile değişen LDR'ler, farklı açılarda ve farklı değerlerde ışık şiddetine maruz bırakılarak ve üzerine çeşitli küçük materyaller konularak deneysel işlemler yapılmıştır.



Şekil 3.13 DC Motor kontrol devresi.



Şekil 3.14 Arduino Uno kartı.

Arduino Uno Atmega328 mikrodnetleyici içeren bir kontrol ünitesidir. Arduino Uno üzerinde 14 diğital giriş/çıkış pini bulunmaktadır. Bunlardan 6 tanesi PWM ıkışı olarak kullanılmaktadır. Ayrıca 6 adet analog giriş, bir adet 16 MHZ kristal osilatörü, USB bağlantısı, power girişi ve reset butonu bulunmaktadır. Arduino Uno bir mikrodnetleyiciyi desteklemek için gerekli yapıların hepsini de içermektedir. Arduino Uno bilgisayara bağlanarak, adaptör yardımıyla ya da 5V'luk bir pil yardımıyla da çalıştırılabilir. Güneş paneli temizleme sisteminde, panel yüzeyinde bulunan LDR'lerin bir uçları Arduino Uno mikrodnetleyicisinin A0, A1, A2, A3, A4, A5 analog giriş uçlarına bağlanmıştır. Güneş paneli st yüzeyinde oluşan herhangi bir tozlanma bu sayede okunmaktadır. Elektrik motoru güç devresinde kullanılan röleler, Arduino Uno kartı üzerinde bulunan 5V ıkış ucundan uyarılmıştır. Arduino kartı üzerinde diğeri diğital çıkış uçları redüktörlü DC elektrik motorunun, selenoid valf güç devresinin ve su püskürtme pompa motoru güç devresinin kontrolünde kullanılmıştır.



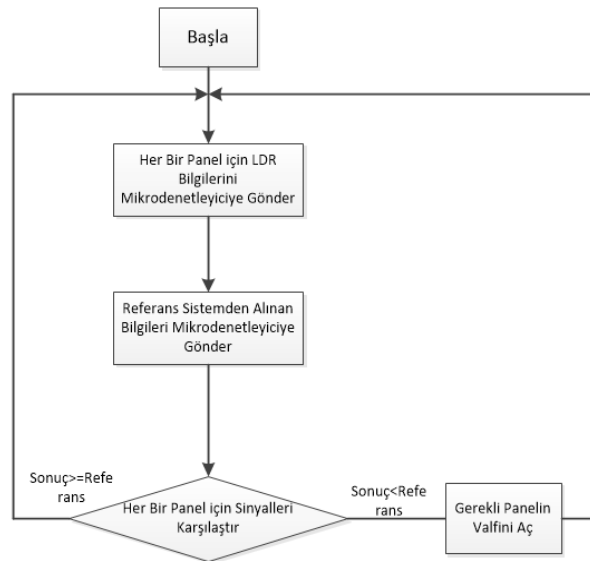
şekil 3.15 AC/DC Konvertör.

AC/DC konvertör, temizleme sisteminde kullanılan DC elektrik motorunun ihtiyaç duyduğu 24V gerilimi elde etmek için kullanılmıştır. AC/DC konvertör günlük hayatta kullandığımız 220V AC gerilimi uygun dorultucular kullanılarak istenilen gerilim formlarına dönüştüren elektronik bir devre kartından oluşmaktadır. Temizleme

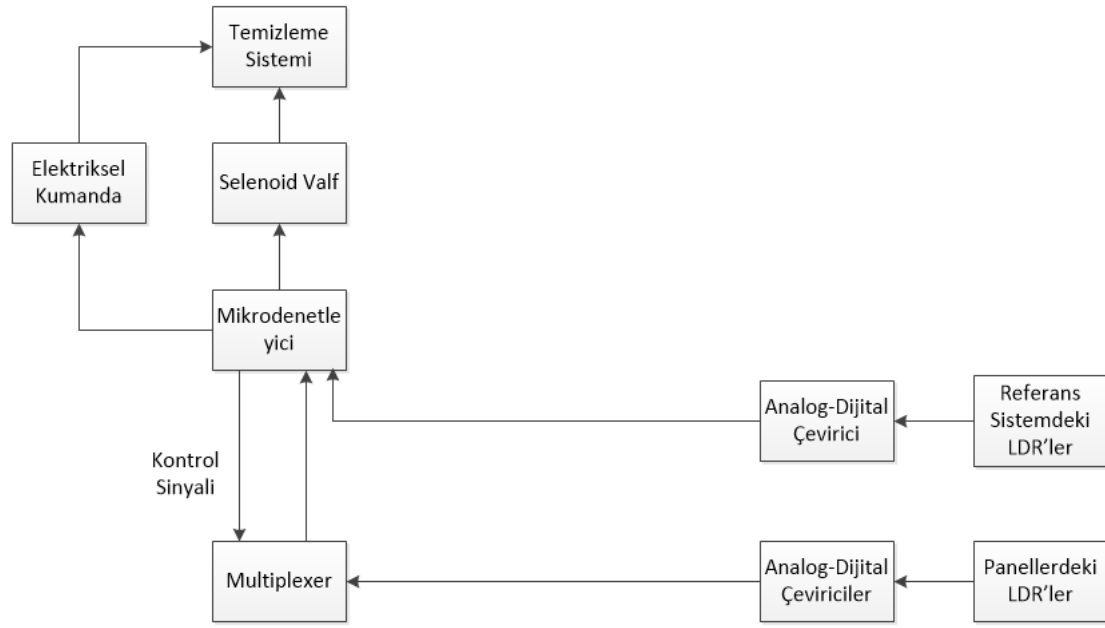
sisteminde kullanılan elektrik motoru 24V ile çalıştığı için, 24V çıkış gerilimine sahip bir AC/DC konvertör proje kapsamında temin edilerek, motor güç devresine uygun bağlantısı yapılmıştır.

3.5.2 Yazılım Aşaması

Otomatik algılayıcılı otomatik güneş paneli temizleme sistemi yazılım kısmında Şekil 3.16'da gösterilen kontrol algoritması dikkate alınarak yazılım işlemine geçilmiştir. Bu işlem basamağında öncelikle temizleme sisteminin, güneş paneli yüzeyindeki olumsuz çevre koşullarını algılaması ve hangi şartlarda bu temizleme işlemini gerçekleştireceği ile ilgili ön çalışmalar yapılmıştır. İlk olarak ana kontrol elemanı olarak seçilen Arduino Uno mikrodenetleyicisi, temizleme mekanizmasının üzerinde bulunduğu güneş paneli yüzeyi kenarlarına yerleştirilen altı adet LDR'den ve referans başka bir güneş paneli yüzeyine yerleştirilen LDR'lerden sürekli olarak veri almaktadır. Arduino Uno, iki farklı güneş panelinden aldığı bu verileri birbiri ile karşılaştırıp temizleme sisteminin ne zaman çalışması gerektiğine karar vermektedir. Şekil 3.17'deki blok diyagramında her bir LDR den alınan verilerin, Arduino Uno mikrodenetleyicisinin ADC ucuna bağlandığını ve bu sayede veri okuma işleminin gerçekleştirilip elektrik motorunun ve selenoid valfin çalışmasına karar verildiğini göstermektedir.



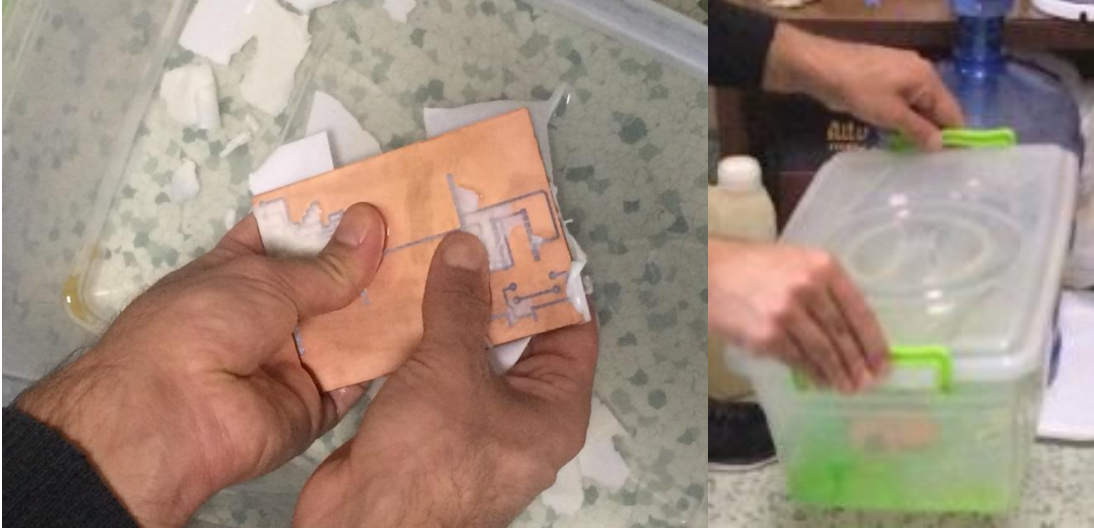
Şekil 3.16 Kontrol algoritması.



Şekil 3.17 Temizleme sistemi blok diyagramı.

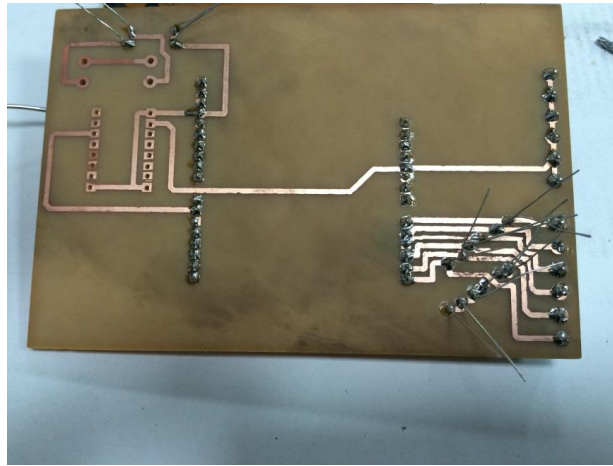
3.5.3 Elektronik Devre Montaj Aşaması

Güneş paneli temizleme sisteminde motor sürücü devresi tasarımı Şekil 3.18’de Proteus 7 Professional programında yapıldıktan sonra yine aynı program içerisinde bulunan ARES baskı devre oluşturma özelliği kullanılarak bakır plaket üzerine elektronik devre elemanlarının yerleştirilmesi ve bu devre elemanları arasında haberleşme yolları programsal olarak oluşturulmuştur. Kuşe kağıdı üzerine çıkartılan devre tasarımı plaketin bakır yüzeyine gelecek şekilde sabitlendi ve kuru ütü yardımıyla bakır plaket üzerine yaklaşık olarak on dakika süre ile sıcaklık baskısı yapılmıştır. Bu işlem sonrasında bakır plaket belirli bir süre su içerisinde bekletildi ve kuşe kağıdı plaket üzerinden yavaşça kaldırılarak Şekil 3.18’de gösterildiği gibi bakır üzerine devre elemanlarının yerleri ve arasında yollar oluşturulmuştur. Bu aşamadan sonra tuz ruhu, perhidrol 1/3 oranında, yani 3 kapak tuz ruhu bir kapak perhidrolü karıştırarak çözelti hazırlanmıştır. Bu çözelti içerine bakır plaket atılarak yavaş yavaş karıştırılmıştır. Bu işlem sonrasında plaketin üzerindeki elektronik devre elemanlarının yerleri dışındaki tüm bakır alanlar Şekil 3.17’te gösterildiği gibi erimiştir.



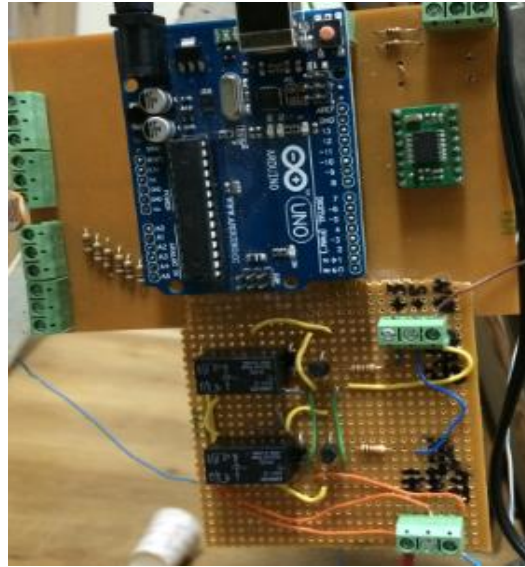
Şekil 3.18 Baskı devre çıkarma aşaması.

DC motor sürücü devresi yapımının ilk basamağı olan baskı devre aşaması bittikten sonra baskı devre üzerine elektronik devre elemanlarının montajı kısmına geçilmiştir. Bu aşamada matkap yardımıyla bakır plaket üzerinde gösterilen bu devre elemanları yerlerinin delinmesi işlemi yapılmıştır. Şekil 23'te Arduino Uno kontrolörü, LDR'ler, direçler ve diğer motor sürücü devresi elemanları baskı devresi çıkartılan bakır plaket üzerine sıcak lehimleme yöntemi ile montajı yapılmıştır.



Şekil 3.19 Baskı devre montaj aşaması.

Motor kontrol devresi tasarımı baskı devresi basımı ve elektronik devre elemanları montajının bitmesiyle birlikte Şekil 3.19’da gösterilen gömülü bir elektrik motoru sürücü devresi meydana getirilmiştir. DC motor sürücü devresi güneş paneli yüzeyine yerleştirilen her bir değeri ışık şiddeti ile değişen LDR’lerden aldığı sayısal verileri, bu güneş paneli ile aynı açıya sahip referans güneş paneli yüzeyinde bulunan LDR’lerden aldığı veriler ile karşılaştırarak güneş paneli temizleme sisteminin ne zaman ve ne süre ile tekrar çalışacağına karar vermektedir. Güneş paneli temizleme sistemi, karşılaştırma sonrasında temizleme sisteminin üzerinde bulunan LDR’lerden alınan sayısal ve dijitalize edilen verilerin referans güneş paneli üzerinde bulunan LDR’lerden alınan sayısal verilerden istenilen fark durumunda çalışmaya başlamaktadır. Güneş paneli temizleme sisteminin çalışma yönü, panel üzerinde yukarıdan aşağı yöndedir. Elektrik motoru çalışmaya başladığı anda, temizleme mekanizması üzerinde bulunan selenoid valf, Arduino Uno kontrol kartı üzerindeki 5V’luk çıkış ucundan sinyal alınarak açılmakta ve mekanizma hareket ederken panel yüzeyine sıvı iletim boruları sayesinde saf su püskürtülmektedir. Temizleme mekanizması panelin alt kısmına yerleştirilen sınır anahtarına değdiğinde durmakta ve sistem yukarı yönde hareketine devam etmektedir. Bu temizleme işlemi panelin üst kısmında bulunan sınır anahtarına temas ettiğinde temizleme sistemi durmaktadır. Güneş paneli temizleme işlemi saf su püskürtülerek ve fırça yardımıyla yapılmaktadır.



Şekil 3.20 DC Motor kontrol ve güç devresi.



Şekil 3.21 Panel su ısıtma sistemi.

Otomatik algılayıcılı otomatik güneş paneli temizleme sistemi, motor sürücü kartının güneş paneli yüzeyinde bulunan LDR'lerden aldığı dijital sinyaller ile referans güneş paneli yüzeyinde bulunan LDR'lerden alınan verilerin karşılaştırılması sonucunda çalışmaya başlamaktadır. Çalışma esnasında panel yüzeyinin temizlenmesi, temizleme sistemi üzerinde bulunan temizleme fırçası ve su yardımıyla olmaktadır. Temizleme esnasında kullanılan su, Şekil 3.21'de gösterilen, güneş panelinin altına yerleştirilen kıvrımları bakır borulardan geçirilmektedir. Bakır borular güneş panelinde gün içerisinde oluşan ısıyı emerek içerisinde bulunan suya iletmektedir. Bu sayede güneş panelinin temizlenmesi işlemi esnasında panel yüzeyine bu boruların içerisinde bulunan ısınmış su püskürtülmektedir.

3.5.4 Uygulama ve Deney Aşaması

Otomatik algılayıcılı otomatik güneş paneli temizleme sistemi çalışmasında Afyon Kocatepe Üniversitesi Ana Kampüsünde, üzerinde aynı türden (Monokristal ve Polikristal) panellerin yer aldığı iki grup güneş paneli sistemi tesis edilmiştir. Birinci grup sistemin doğal ortamda bırakılması ve dolayısıyla toz, kir, polen, kar gibi yüzey etmenlerine maruz bırakılması, diğer güneş paneli ise sistematik olarak temizlenmiştir. Her iki panel türünde bulunan panellerden; yüzey sıcaklıkları, akım ve gerilim verilerinin ölçülmesi, kaydedilmesi ve sonrasında sistemlerden elde edilen verilerin karşılaştırılması ve bu verilerin birbirleriyle korelasyonlarının araştırılması yapılmıştır. Bununla birlikte panelleri sistematik olarak temizleme özelliğine sahip olan özgün bir güneş paneli temizleme sisteminin prototip olarak üretilmesi ve test edilmesi gerçekleştirilmiştir.

Geliştirilen temizleme sisteminin mevcut güneş paneli temizleme sistemlerine göre; panel yüzeyindeki tozlanmayı kendiliğinden algılaması, ve temizleme işlemine dışarıdan müdahale edilmeden başlaması gibi birçok üstünlüğü bulunmaktadır. Günümüzde en yaygın güneş paneli temizleme tekniği manuel olarak insan gücünden faydalanılmasını içermektedir. Bunun yanı sıra ticari amaçlı üretilen panele monte edilemeyen robotlar kullanılarak panel yüzeyi temizleme işlemi belirli periyodlar içerisinde gerçekleştirilmektedir. Bu tekniklerde güneş panellerinin kirlendiğine, tozlandığına kullanıcı karar verdiği için ekonomik açıdan, pratiklik ve zamandan tasarruf açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Fakat tasarımı üretimi yenilikçi güneş paneli temizleme sistemi güneş paneli yüzeyinin tozlandığına, panel yüzeyine yerleştirilen LDR'ler sayesinde bu olumsuz durumu algılayıp, yine güneş paneli ile aynı açığa sahip başka bir güneş paneli üzerinde bulunan LDR'den alınan bilgi bir mikro denetleyici devresine gönderilmiştir. Böylece güneş paneli yüzeyi, gerektiğinde ve tam zamanında temizleme işlemine tabi tutulabilecek ve enerji üretimi, iş gücü kaybı olmaksızın arttırılabileceği öngörülmektedir.

Otomatik güneş paneli temizleme sistemi kurulumdan sonra insan gücüne ihtiyaç duymadan kendi kendini devreye alabilmesi ve panel yüzeyini temizleyebilmesi

açısından diğer güneş paneli temizleme sistemlerinden tamamen farklıdır. Literatürde güneş paneli temizleme yöntemleri ile ilgili çalışmalar mevcuttur. Fakat bu çalışmalar genellikle, temizleme sistemine dışarıdan müdahale edilmesiyle birlikte çalışmaya başlamaktadır. Aynı zamanda karşılaşılan diğer çalışmalar genellikle çevresel faktörlerin güneş paneli verimine etkisinin incelenmesiyle ilgilidir. Fakat prototipi yapılan yenilikçi güneş paneli temizleme sistemi, diğer tekniklerden farklı olarak hem panel yüzeyinin tozlandığını ve kirlendiğini panel yüzey kenarlarında bulunan sensörler sayesinde algılamakta hem de bu temizleme işlemini su ve hassas fırça yardımıyla yapmaktadır. Prototipi yapılan güneş paneli temizleme sistemi için Afyon Kocatepe Üniversitesi Rüzgar ve Güneş Enerjisi Araştırma ve Uygulama merkezi (GÜRAM) bünyesinde yer alan, tek kristalden oluşan ve tüm silikon hücreler arasında en yüksek verimlilik özelliğine sahip tek kristalli ve çok sayıda kristalden oluşan ve verimi diğer tür güneş paneli çeşitlerine göre düşük olan çok kristalli güneş panelleri üzerinde bir aylık deney yapılmıştır. Bu sayede çevresel faktörlerin güneş panellerine ne derecede etki ettiği görülmüştür. Panellerden biri hergün belirli zamanlarda temizlenirken diğeri doğal ortamına bırakılmış ve her bir panel için basit bir ölçme düzeneği ile güç ölçümü yapılarak alınan veriler değerlendirilmiştir.

Otomatik algılayıcı güneş paneli temizleme sistemi, panellerin verimlerini olumsuz yönde etkileyen toz ve kirlenme gibi olumsuz koşullarda panellere su püskürterek temizlik yapmaktadır. Temizleme sisteminde panellerin toz, kir, kar gibi olumsuz durumları anlamak için direnç değeri ışıkla değişen LDR (light dependent resistance) kullanılmıştır. Her bir panele 6 adet LDR yerleştirilmiş ve bu LDR'lerden alınan sinyaller mikro denetleyici tarafından işlenerek temizleme sistemini devreye alarak olumsuz durumları ortadan kaldırması sağlanmıştır. Bu sayede paneller güneş enerjisinden maksimum faydalanılmış ve güneş paneli güç üretiminin arttığı görülmüştür.

Afyon Kocatepe Üniversitesi GÜRAM bünyesinde bulunan güneş enerjisinden elektrik enerjisi üreten ve deneysel işlemlere tabi tutulan güneş panelleri Şekil 22'de gösterilmiştir.



Şekil 3.22 Deney yapılan güneş panelleri.

Bu çalışma kapsamında güneş panellerinin yüzeyinde oluşan tozun panel çıkış gücüne etkisini araştırmak için panel yüzeyi temizleme işlemi uygulanmıştır. Yapılan uygulama, Afyon Kocatepe Üniversitesi Güneş ve Rüzgar Araştırma Merkezi'nde bulunan güneş panelleri kullanılarak yapılmıştır. Burada bulunan iki adet güneş paneli için deney düzeneği oluşturulmuştur. Bu düzenek için 2 adet monokristal güneş paneli seçilmiştir. Seçilen güneş panelleri 60W, 17,7V 3,3A özelliklerine sahiptir. İki adet monokristal güneş paneli mekanik düzenek üzerine yerleştirilmiştir. Basit bir ölçme tekniği ile panel akım ve gerilim verileri ölçülmüş ve bir datalogger yardımıyla kaydedilmiştir. Ayrıca aynı açıya sahip iki adet monokristal güneş panelinden birine bir ay süresince her gün temizleme işlemi yapılmıştır. Bu temizleme deneyi yapıldıktan sonra elde edilen akım ve gerilim değerleri kullanılarak her bir panel için üretilen güç değerleri hesaplanmıştır (Hocaoglu 2009). Değerlendirme işlemi sonucunda temizleme işlemi uygulanan güneş panellerinin çıkış güçleri, doğal ortamına bırakılan ve hiçbir müdahale edilemeyen güneş panellerinin çıkış güçlerinden yüksek olduğu görülmüştür. Deney düzeneğinden elde edilen verilerin kaydedildiği Labview 8.0 ara yüz programı Şekil 3.23'te gösterilmiştir.



Şekil 3.23 Labview ara yüz programı.

Labview arayüz programında, mevcut kurulu deney düzeneğinde 6 adet güneş paneli için veri ölçüm değerleri bulunmaktadır. Bu düzenekte bulunan iki adet monokristal güneş paneli deneysel işleme tabi tutulmuş, P1 ve P2 ile ifade edilen güneş panellerinin güçleri ve akım- gerilim değerleri dakikalık ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Kaydedilen bu veriler kullanılarak Matlab programında günlük ortalama enerji değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan günlük güç üretim değerleri grafiksel olarak çizilmiştir. Deney sonucunda elde edilen veriler doğrultusunda günlük temizlenen güneş panelinin çıkış gücü, doğal ortamına bırakılan güneş panelinin ortalama çıkış gücüne oranla daha yüksek olduğu görülmüştür(Akarslan 2009).

3.5.5 Verimlilik ve Maliyet Analizi

Otomatik algılayıcı otomatik güneş paneli temizleme sistemi, kirliliği otomatik olarak algılayabilmekte ve gerekirse güneş paneli yüzeyini temizlemeye başlayabilmektedir. Güneş panelleri üzerinde yapılan deneylerden sonra PV modüllerinin akım ve gerilim çıkış değerleri çarpılarak ve her modülün çıkış gücü saatlik olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, PV modüllerin günlük üretimleri deney kapsamı boyunca hesaplanmıştır.

Çizelge 3.3 Panel çıkış verimi karşılaştırma tablosu.

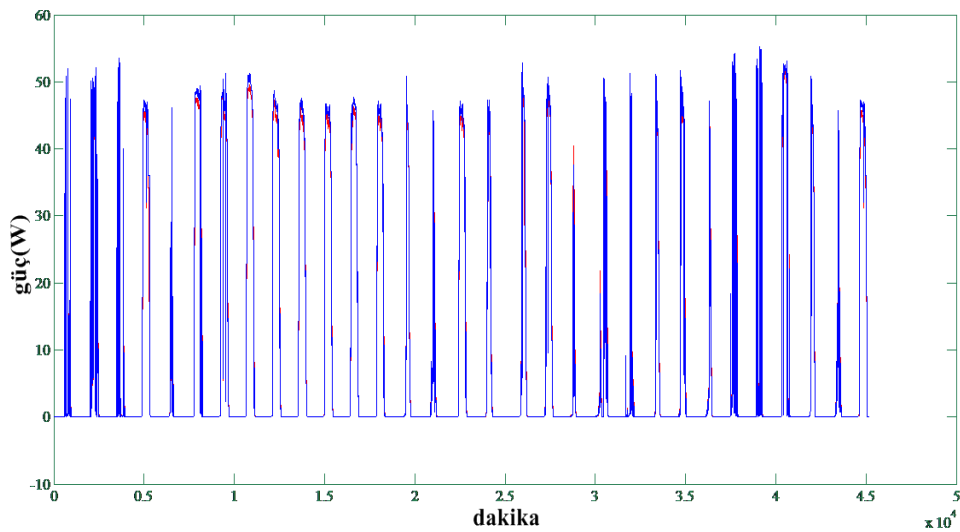
Panel Çıkış Verimi Karşılaştırması		
Panel Tipi	Ortalama çıkış gücü (W)	Bağıl Verim
Tek Kristal (Temizlenen)	3.4417×10^3	% 34,37
Tek Kristal (Doğal)	2.5636×10^3	

Tablo4'te gösterilen aynı özelliklere sahip iki güneş paneli çıkış verilerine bakıldığında, temizleme işleminin yapıldığı güneş paneli ortalama çıkış gücünün, temizlenmeyen güneş paneli çıkış gücüne oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Bir aylık deney süresi sonucunda, temizlenen güneş paneli veriminin diğerine oranla % 34,37 daha fazla olduğu görülmüştür. Türkiye koşullarında üretilen elektriğin birim fiyatı 42 cent olarak hesaba alınmıştır. Buradan yola çıkılarak temizlenen ve temizlenmeyen güneş panelinden üretilen elektriğin farkı kullanılarak maliyet analizi yapılmıştır. Temizleme sisteminin kullanıldığı durumda tasarruf edilmesi gereken maliyet, adım adım aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

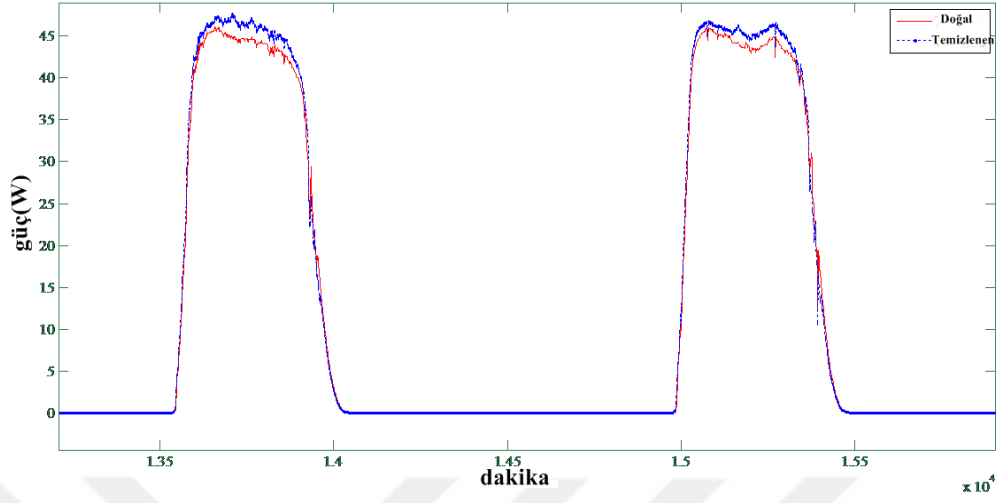
Temizlik işlemi yapılırsa, temizlenen güneş panelinden, $344,17W \times 0,42 = 144,551$ TL elde edilmektedir. Temizleme işlemi yapılmadığı takdirde, üretilen enerjinin fiyatı Tablo1'den $256,36W \times 0,42 = 107,671$ TL olarak hesaplanmıştır. Temizlenen güneş panelinden temizlenmeyen güneş paneline göre aylık ortalama; $144,551TL - 107,671TL = 36,88$ TL daha fazla kazanç elde edilmiştir. Bu sadece bir adet 60W'lık güneş paneli için hesaplanmıştır. Yıllık aynı miktarda değişikliğin gerçekleşeceğini varsayarsak, $36,88TL \times 12/Ay = 442,56$ TL/Ay kazanç elde edilmiş olur. Birden fazla PV modülünün hesaba katılması durumunda toplam tasarrufun oldukça yüksek olacağı görülebilmektedir. Bu veriler ışığında güneş panellerinin doğru zamanda temizlenmesinin, üretilen elektrik enerjinin miktarına önemli bir artış getirdiği görülmektedir (Kargacioğlu 2016).

4. BULGULAR

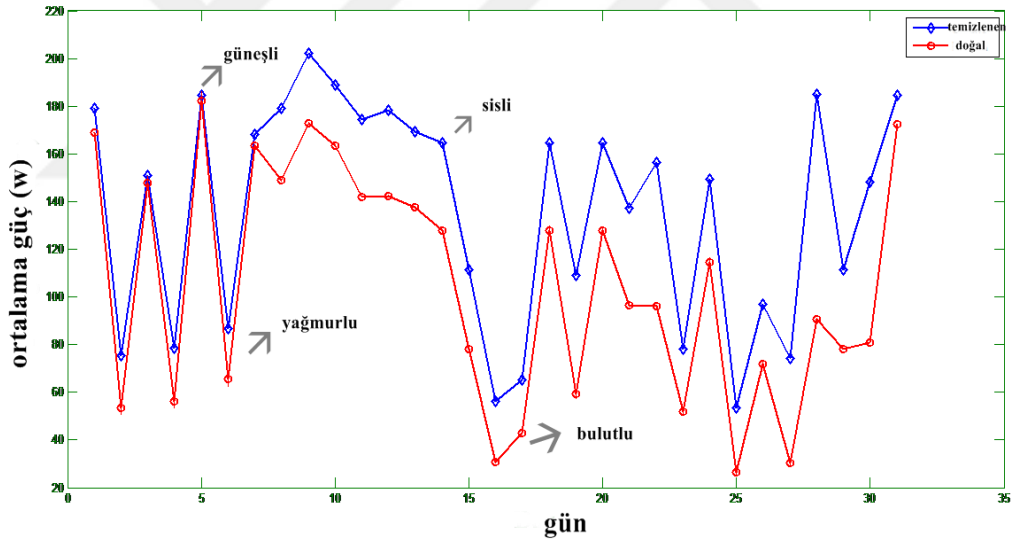
Bu araştırmada, güneş panelleri yüzeylerinde oluşan olumsuz çevresel faktörlerin, panel çıkış verimine etkisi incelenmiş ve bu veriler ışığında otomatik algılayıcılı otomatik güneş paneli temizleme sistemi prototipi üretilmiştir. Çalışma kapsamında, olumsuz çevresel faktörlerin panel verimine etkisinin incelenmesi için Afyon Kocatepe Üniversitesi Güneş ve Rüzgar Araştırma Merkezi'nde bulunan güneş panelleri kullanılarak yapılmıştır. Yapılan deneysel işlemler sonrasında elde edilen veriler doğrultusunda, otomatik algılayıcılı güneş paneli temizleme sistemi prototipinin üretim aşamasına geçilmiştir. Üretim için gerekli elektronik ve mekanik malzemelerin tedarik edilmesinin ardından kısa bir süre içerisinde temizleme sisteminin prortipi kullanıma hazır hale getirilmiştir. zerinde temizleme sistemi bulunan güneş paneli ile doğal ortamına bırakılan referans güneş paneli deneysel işlemlere tabi tutulmuştur. Temizleme sistemi panel yüzeyinde bulunan ışığa duyarlı sensörler yardımıyla, panel yüzeyinin tozlandığına karar vermektedir. Eğer temizleme mekanizmasının üzerinde bulunduğu güneş paneline gelen ışınım şiddeti, referans güneş paneline gelen ışınım şiddetinden az ise temizleme düzeneği otomatik olarak devreye girerek panel yüzeyindeki olumsuz çevresel koşulları su ve fırça yardımıyla ortadan kaldırmaktadır. Bir aylık deneysel işlemler sonucunda elde edilen veriler ışığında, her bir panelden saatlik ortalama elektrik üretim değerleri hesaplanmıştır.



şekil 4.1 Aylık g üretim değerleri.



Şekil 4.2 Güneş panelleri günlük elektrik enerjisi üretim grafiği .



Şekil 4.3 Temizlenen ve temizlenmeyen güneş panelleri için günlük ortalama enerji üretim değerleri.

Deneyler esnasında akım ve gerilim değerleri basit bir ölçüm sistemi ile ölçülmüş ve datalogger kaydedilmiştir. Şekil 4.1’de her bir panel için üretilen elektrik enerjisi aylık değerleri görülmektedir. Şekil 4.3’de temizlenen ve temizlenmeyen güneş panellerinin dakikalık elektrik enerjisi üretim değerleri görülmektedir. Şekil 4.3’de her bir tek kristal

güneş paneli için günlük ortalama güç değerleri görülmektedir. Ortalama günlük enerji üretim değerlerinin, yağmurlu, bulutlu ve sisli günlerde birbirine yakın olduğu görülmüştür. Hava yağmurlu olduğunda temizlenen ve temizlenmeyen güneş panelleri yüzeyinde bulunan olumsuz çevresel faktörler aynı anda panel yüzeyinden uzaklaşacağı için güneş panelleri çıkış değerleri birbirlerine çok yakındır. Havanın parçalı bulutlu ya da kar yağışlı olması durumunda, üzerinde temizleme sistemi olması farketmeksizin panel çıkış verileri yinde birbirine çok yakın çıkmıştır. Sonuç itibariyle temizlenmeyen güneş paneli veriminin temizlenen güneş paneli verimine göre daha düşük olduğu görülmüştür.



5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu tez çalışmasında, güneş panellerinin temizlenmesine yönelik yenilikçi mekanik bir temizleme sistemi prototipi üretilmiştir. Temizleme sistemi, panel yüzeyinin tozlandığını ya da üzerinde olumsuz bir çevresel faktör bulunduğunu otomatik olarak algılayıp güneş paneli yüzeyini temizlemektedir. Yapılan çalışmalar kapsamında ilk olarak yenilenebilir enerji, güneş enerjisi ve güneş pilleri hakkında bilgiler verilmiştir. Üretim ve uygulama çalışmalarına geçmeden önce prototipi üretilecek olan mekanik temizleme sisteminde kullanılan elektronik ve mekanik devre elemanları ve özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenen 15.FEN.BİL.31 nolu proje kapsamında otomatik algılayıcılı otomatik güneş paneli temizleme sistemi için iki aşamalı deneysel bir çalışma izlenmiştir. Her iki uygulamada güneş panelleri yüzeyinde oluşan olumsuz çevresel faktörlerin panel çıkış verilerine olan etkisi incelenmiş ve temizlenen güneş panelleri çıkış verileri ile karşılaştırılmıştır.

Birinci aşamada Afyon Kocatepe Üniversitesi Ana Kampüsünde, üzerinde aynı türden (Monokristal ve Polikristal) panellerin yer aldığı iki grup güneş paneli sistemi tesis edilmiştir. Güneş panellerinden bir tanesi doğal ortamda diğer güneş paneli ise sistematik olarak her gün temizlenmiştir. Her iki güneş paneli için, yüzey sıcaklıkları, akım ve gerilim verilerinin ölçülmesi, kaydedilmesi ve sonrasında güneş panellerinden elde edilen verilerin karşılaştırılması ve bu verilerin birbirleriyle korelasyonlarının araştırılması yapılmıştır.

İkinci çalışmada, birinci çalışmadan elde edilen veriler doğrultusunda, kendi kendini en doğru zamanda temizleme özelliğine sahip otomatik güneş paneli temizleme sistemi yapım aşamasına geçilmiştir. Temizleme mekanizmasının yapımı için gerekli mekanik ve elektronik malzemelerin tedariği yapılmıştır. İlk olarak mekanik kısım Autocad programında birebir ölçülerinde oluşturulmuş ve sonrasında yapımı gerçekleştirilmiştir. Deneysel işlemler sonrasında, üzerinde temizleme sistemi bulunan güneş panelinden elde edilen toplam güç 3.4417×10^3 W iken, doğal ortamına bırakılan güneş panelinden elde edilen gücün 2.5636×10^3 W olduğu ölçülmüştür. Temizlenen güneş panelinden

elde edilen enerji, temizlenmeyen güneş panelinden elde edilen enerjiye göre %34,37 daha fazla olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmada otomatik algılayıcı otomatik güneş paneli temizleme sistemi prototipi üretilmiş ve deneysel işlemleri yapılmıştır. Yapılan literatür çalışmasında güneş paneli temizleme yöntemleri incelenmiştir. Yapılan çalışma ile otomatik algılayıcı otomatik güneş paneli temizleme sisteminin benzerlerine göre daha etkin, zamanında ve verimli bir temizleme işlemi gerçekleştirdiği görülmüştür.

Otomatik algılayıcı otomatik güneş paneli temizleme sisteminin 2015/04227 nolu patent başvurusu yapılmış, gerekli düzeltmeler neticesinde tescilli patent başvurusu yapılmıştır. Gelişen günümüz teknolojisi sayesinde, güneş paneli üretim aşamasında, panel yüzeyine yerleştirilen LDR sayıları artırılarak daha etkin bir olumsuz çevresel faktör algılama sistemi oluşturularak, temizleme sisteminin panel yüzeyini, temizlenmesi gereken zamanda algılaması sağlanabilir. Bu sayede daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

6. KAYNAKLAR

- Akarslan E., Hocaoglu F.O. (2009). A novel adaptive approach for hourly solar radiation forecasting. *Renewable Energy*, **82**: 714-726.
- Al-Qubaisi, E. M., Al-Ameri, M. A., Al-Obaidi, A. A., Rabia, M. F., El-Chaar, L., & Lamont, L. A. (2009). Microcontroller based dust cleaning system for a standalone photovoltaic system. *Electric Power and Energy Conv. Systems*, 1-6
- Anderson M., Grandy, A., Hastie, J., Sweezey, Anrew, Ranky, Richard., Mavroidis, C. Onstantinos, & Markopoulos, Y. P. (2009). Robotic Device For cleaning photovoltaic panel arrays. Reference: Available from: <http://www.coe.neu.edu/Research/robots/papers/CLAWAR09.pdf>.
- Avrupa Birliği Enerji Strateji Belgesi (2020).
- Basant, Shree Raj Shakya, (2016), Dust accumulation effects on efficiency of solar PV modules for off grid purpose: A case study of Kathmandu. *Solar Energy*, **135**: 103-110.
- Bedeloğlu A., Demir, A., Bozkurt, (2010). Y. Teknolojik Arastirmalar **2**: 43-58
- Catelani M., Ciani, L., Cristaldi, L., Faifer, M., Lazzaroni, M., & Rossi, M. (2012). Characterization of photovoltaic panels: the effects of dust. In Energy Conference and Exhibition (ENERGYCON). (pp. 45-50).
- Fallah M., Sahb, A. A., Al-Ammri, A. S., & Ghazi, A. (2015). Self cleaning control system for PV solar panel street light. *In Renewable Energy Congress (IREC)*, 2015 6th International Conference: 1-6.
- Fardila, Mekhilef S., Seyedmahmoudian M., Horan B., (2016). Dust as an unalterable deteriorative factor affecting PV panel's efficiency: Why and how, Renewable and Sustainable Energy Reviews. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **65**: 1267-1278.
- Forrest, S.R. (2005). The limits to organic photovoltaic cell efficiency. *MRS bulletin*, **30**: 28-32.
- Hocaoglu F.O., Gerek O.N., Kurban M.,(2009) The effect of model generated solar radiation data usage in hybrid (wind-PV) sizing studies, *Energy Conversion and*

Management, **50**: 2956-2963.

Gaier, J. R., & Perez-Davis, M. E. (1991). Effect of particle size of Martian dust on the degradation of photovoltaic cell performance.

Gaofa He, Zhou C., Li Z., (2011) Review of Self-Cleaning Method for Solar Cell Array, *Procedia Engineering*, **16**: 640-645.

Gençoğlu C., Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye açısından önemi. *Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 57-64.

Graf, (1999). Modern dictionary of electronics, Butterworth-Heinemann, A.B.D.

Green, M. A., Emery, K., Hishikawa, Y., Warta, W., & Dunlop, E. D. (2015). Solar cell efficiency tables. Progress in photovoltaics: research and applications. **23**: 1-9.

Hanna, M. C., & Nozik, A. J. (2006). Solar conversion efficiency of photovoltaic and photoelectrolysis cells with carrier multiplication absorbers. *Journal of Applied Physics*, 100: 074510.

Huang, B. J., Lin, T. H., Hung, W. C., & Sun, F. S. (2001). Performance evaluation of solar photovoltaic/thermal systems. *Solar energy*, **70**: 443-448.

Irwan Y.M., W.Z. Leow, M. Irwanto, Fareq.M, A.R. Amelia, N. Gomesh, I. Safwati (2015), Indoor Test Performance of PV Panel through Water Cooling Method, *Energy Procedia*, 79: 604-611.

Kargacioğlu T., HOCAOĞLU F.O, (2016). An Investigation of the effect of the dust on PV efficiency: A Case Study for Afyonkarahisar region, *ICERE 2016*, 10: 25-27

Kargacioğlu T., HOCAOĞLU F.O., (2016). Solar Panel Cleaning System Miscellaneous of PV Impact on Efficiency, *IEES8 (8th international Ege Energy Symposium)*, 169: 169.

Kawamoto H., Shibata T., (2015). Electrostatic cleaning system for removal of sand from solar panels. *Journal of Electrostatics* **73**: 65-70.

Kılıç F.Ç., (2015).Güneş Enerjisi, Türkiye'deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri. *Mühendis ve Makine*. 671: 28-40

Kim, J. Y., Kim, S. H., Lee, H. H., Lee, K., Ma, W., Gong, X., & Heeger, A. J. (2006). New Architecture for high-efficiency polymer photovoltaic cells using

- solution-based titanium oxide as an optical spacer. *Advanced materials*, **18**: 572-576.
- Mandal, S. Sharma, (2016), Progress in plasmonic solar cell efficiency improvement: A status review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 65: 537-552.
- Moharram K.A., M.S. Abd-Elhady, H.A. Kandil, H. El-Sherif, (2013) influence of cleaning using water and surfactants on the performance of photovoltaic panels, *Energy Conversion and Management*, 68: 266-272.
- Motasem, Albaali A.G, Alasis E., Kaldellis J.K. (2016). Experimental study on the effect of dust deposition on solar photovoltaic panels in desert environment, *Renewable Energy*, **92**: 499-505.
- Mustafa, F., Sahb, A. A., Al-Ammri, A. S., & Ghazi, A. (2015, March). Self cleaning control system for PV solar panel street light. In *Renewable Energy Congress*, **1-6**
- Rahman M.M, Hasanuzzaman M., N.A (2005). Effects of various parameters on PV-module power and efficiency. *Energy Conversion and Management*, **103**: 348-358.
- O'regan, B., & Grfitzeli, M. (1991). A low-cost, high- efficiency solar cell based on dye-sensitized. *Nature*. 353:737-740.
- Peet, J., Kim, J. Y., Coates, N. E., Ma, W. L., Moses, D., Heeger, A. J., & Bazan, G. C. (2007). Efficiency enhancement in low-bandgap polymer solar cells by processing with alkane dithiols. *Nature materials*, 6: 497-500.
- Peumans, P., & Forrest, S. R. (2001) Very-high-efficiency double-heterostructure copper phthalocyanine/C60 photovoltaic cells. *Applied Physics Letters*, **79**: 126-
- Radu, Popovici C.G., Sebastian Valeriu Hudişteanu, Theodor Dorin Mateescu, Nelu-Cristian Cherecheş, (2016). Bucharest Efficiency Improvement of Photovoltaic Panels by Using Air Cooled Heat Sinks. *Energy Procedia*, 85: 425-432.128.
- Rok, Uroš Stritih (2016 Increasing the efficiency of PV panel with the use of PCM, *Renewable Energy*, **97**: 671-679.
- Rob W. Andrews, Andrew Pollard, Joshua M. Pearce (2013). The effects of snowfall on solar photovoltaic performance. *Solar Energy*, **92**: 84-97.

- Saito, J., Sasaki, H., & Yachi, T. (2011, June). Degradation of photovoltaic module output power by microparticles. In Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2011 37th IEEE:2929-2932.
- Skoplaki, E., & Palyvos, J. A. (2009). On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. *Solar energy*, (pp. 395-429).
- Soualmi Hamou, Saadi Zine, Rahmani Abdellah (2014). Efficiency of PV Module under Real Working Conditions, *Energy Procedia*. **50**: 1876-6102.
- Tejwani, R., & Solanki, C. S. (2010, June). 360 sun tracking with automated cleaning system for solar PV modules. In Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2010: 002895-002898.
- Tulkens, H., & Eeckhout, P. V. (2006). Nonparametric efficiency, progress and regress measures for panel data: methodological aspects. In Public goods, environmental externalities and fiscal competition, pp. 395-429
- Varınca, M. T. Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma I. Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi, 270-275.
- Zhang, Q., Lu, X. L., & Hu, J. H. (2013, October). A solar panel cleaning system based on a linear piezoelectric actuator. In Piezoelectricity, Acoustic Waves and Device Applications (SPAOWDA): 1-4

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Tefvik KARGACIOĞLU
Doğum Yeri ve Tarihi : Konukça 18.10.1990
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon/e-posta) : 0538 041 28 61 / kargaci.tevfik@gmail.com
Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)
Lise : Kastamonu Anadolu Teknik Ve Endüstri Meslek Liseli
(2005-2009)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi
Elektrik Öğretmenliği (2009-2013)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Yenilenebilir Enerji
Sistemleri Bilim Dalı (2014-2018)
Yayınları (SCI ve diğer): Tefvik Kargacioğlu, Fatih Onur HOCAOĞLU, An
Investigation of the effect of the dust on PV efficiency: A
Case Study for Afyonkarahisar region, ICERE 2016, Isbn-
10: 153093964X, 25-27 May 2016, Munich.

Tefvik Kargacioğlu, Fatih Onur HOCAOĞLU, Solar
Panel Cleaning System Miscellaneous of PV Impact on
Efficiency, IEES8 (8th international Ege Energy
Symposium). page 1693, 11-13 May 2016,
Afyonkarahisar, Turkey.

Tefvik Kargacioğlu, Fatih Onur HOCAOĞLU, Cost and
Efficiency Analysis of a Automatic PV Cleaning system,
IMSEC2016 (1th International Mediterranean Science and
Engineering Congress) Oct 2016, Adana, Turkey.