

T.C.
KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



**GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİNİN PERFORMANSINI
İYİLEŞTİRMEK İÇİN BULANIK MANTIĞA DAYALI
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP ALGORİTMASI**

RIDHA YOUNUS ALI SALIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DR. ÖĞR. ÜYESİ YASEMİN GÜLTEPE

ARALIK - 2021
KASTAMONU

TEZ ONAYI

Ridha Younus Ali SALIM tarafından hazırlanan “**GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİNİN PERFORMANSINI İYİLEŞTİRMEK İÇİN BULANIK MANTIĞA DAYALI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP ALGORİTMASI**” adlı tez çalışmasının savunma sınavı **29.12.2021** tarihinde yapılmış olup aşağıda verilen jüri tarafından oy birliği ile Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	Dr. Öğr. Üyesi Yasemin GÜLTEPE Kocaeli Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Erdal ŞEHİRLİ Kastamonu Üniversitesi	
Jüri Üyesi	Dr. Öğr. Üyesi Nesrin AYDIN ATASOY Karabük Üniversitesi	

Jüri üyeleri tarafından kabul edilmiş olan bu tez Kastamonu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca onanmıştır.

Enstitüsü Müdürü	Prof. Dr. İzzet ŞENER	
------------------	-----------------------	-------

TAAHHÜTNAME

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu; ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını, bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini bildirir ve taahhüt ederim.

Ridha Younus Ali SALIM

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMİNİN PERFORMANSINI İYİLEŞTİRMEK İÇİN BULANIK MANTIĞA DAYALI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP ALGORİTMASI

RIDHA YOUNUS ALI SALIM

KASTAMONU ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI
DANIŞMAN: DR. ÖĞR. ÜYESİ YASEMİN GÜLTEPE

Güneş enerjisi, son yıllarda giderek daha fazla benimsenen mevcut temiz ve emisyonuz yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Bir saatten daha kısa sürede alınan güneş enerjisinin dünya enerji bütçesinin bir yıllık bütçesini karşılamaya yeteceği tahmin ediliyor. Bir fotovoltaiik (FV) güneş sisteminde, güç üreten cihazlar, genellikle FV panelleri olarak adlandırılan FV modülleridir. FV modüllerinden elde edilen elektriğin maliyeti, diğer yenilenemeyen kaynaklardan elde edilen elektriğe göre daha pahalıdır. Bu nedenle FV sistem her türlü hava koşulunda maksimum güç noktası takip edilerek maksimum verimde çalıştırılmalıdır. Maksimum güç noktası izleme (MPPT) teknikleri, bir fotovoltaiik dizinin çıkış gücünü en üst düzeye çıkarmak için fotovoltaiik sistem tasarımında çok önemli bir parça olarak kabul edilir. FV modülünü, üretilen maksimum gücün yükseltici dönüştürücünün çıkış terminali boyunca bağlanan yüke aktarılabilceği maksimum çalışma noktasında çalıştırmak için MPPT kontrol teknikleri uygulanmıştır. Bu çalışmada, MATLAB/Simulink ortamında bağımsız FV sistemler için farklı koşullar altında farklı MPPT teknikleri önerilmiştir. MPPT teknikleri, Değiştir ve Gözle (P&O) ile karşılaştırılan Bulanık Mantık Denetleyicisini (FLC) içermektedir. Tez kapsamında yapılan simülasyon çalışmalarının sonuçları; Bulanık Mantık Denetleyicisinin (FLC) çıkış gücü verimliliğinin Değiştir ve Gözle algoritmasından daha iyi ve FLC tabanlı MPPT denetleyicisi maksimum güç noktasını (MPP) çeşitli hava koşullarında önerilen diğer denetleyicilerden farklı ışınlm ve sıcaklık seviyesi gibi durumlarda daha hızlı izleyebilir olduğunu doğrulanmıştır. Ayrıca, bulanık mantık tabanlı MPPT algoritmalarının, geleneksel P&O algoritması ile karşılaştırıldığında, hem güç hem de akım değerinde önemli ölçüde daha düşük dalgalanma büyüklüğü sunmuştur.

ANAHTAR KELİMELELER:Maksimum güç noktası takibi, bulanık mantık, değiştir ve gözle, güneş enerjisi

Aralık 2021, 84 Sayfa

ABSTRACT

MSC THESIS

MAXIMUM POWER POINT TRACKING ALGORITHM BASED ON FUZZY LOGIC FOR IMPROVING THE PERFORMANCE OF THE SOLAR ENERGY SYSTEM

RIDHA YOUNUS ALI SALIM

KASTAMONU UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING

SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. YASEMİN GÜLTEPE

Solar energy is an existing clean and emission-free renewable energy source that has been increasingly adopted in recent years. It is estimated that the solar energy received in less than an hour will be sufficient to meet the one-year budget of the world energy budget. In a photovoltaic (PV) solar system, the power generating devices are PV modules, often referred to as PV panels. The cost of electricity from PV modules is more expensive than electricity from other non-renewable sources. For this reason, the PV system should be operated at maximum efficiency by following the maximum power point in all weather conditions. Maximum power point tracking (MPPT) techniques are considered a crucial part in photovoltaic system design to maximize the output power of a photovoltaic array. MPPT control techniques have been applied to operate the PV module at the maximum operating point where the maximum generated power can be transferred to the load connected through the output terminal of the booster converter. In this study, different MPPT techniques are proposed for stand-alone PV systems in MATLAB/Simulink environment under different conditions. MPPT techniques include the Fuzzy Logic Controller (FLC) compared to Perturb and Observe (P&O). The results of the simulation studies carried out within the scope of the thesis; It has been verified that the output power efficiency of the Fuzzy Logic Controller (FLC) is better than the P&O algorithm, and the FLC-based MPPT controller can monitor the maximum power point (MPP) faster than other recommended controllers in various weather conditions, such as different irradiance and temperature level. Also, fuzzy logic based MPPT algorithms offered significantly lower ripple magnitude in both power and current compared to traditional P&O algorithm.

KEYWORDS:Maximum power point tracking, fuzzy logic, perturb and observe, solar energy

December 2021, 84 Page

TEŞEKKÜR

Bana tezimi tamamlama gücü ve sabrı veren Yüce Allah’a sonsuz şükranlarımı sunuyorum. Kastamonu Üniversitesindeki yüksek lisans eğitimim sırasında bilgi ve deneyimleriyle bana destek olan değerli danışmanım sayın Dr. Öğr. Üyesi Yasemin GÜLTEPE’ye teşekkürlerimi sunarım.

Tez izleme toplantılarında jüri üyesi olarak görev alan Dr. Öğr. Üyesi Erdal ŞEHİRLİ’ye ve Dr. Öğr. Üyesi Nesrin AYDIN ATASOY’a değerli önerileri ve çalışmaya olan katkıları için teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması için ilham kaynağım olan sevgili babama bu tez ithaf edilmiştir. Ve bana “hayatındaki her başarının benim için en güzel hediye olacağını” söylerdir. Beni şefkatli ve saf sevgiyle destekleyen anneme ve tez çalışmasının her aşamasında bana destek veren, çalışmamla ilgili beni yüreklendiren ve manevi hiçbir yardımlarını esirgmeden yanımda olan sevgili eşime ve çocuklarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Kastamonu Üniversitesinde aldığım eğitim için yaptıkları destekten dolayı Libya Hükümetine ve Türkiye’deki Libya Büyükelçiliğine teşekkür ederim.

Ridha Younus Ali SALIM

Kastamonu, 2021

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
TEZ ONAYI	ii
TAAHHÜTNAME	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMİ	4
2.1 Güneş Kaynağı.....	4
2.1.1 Güneş Spektrumu.....	5
2.1.2 Standart Koşullar	7
2.2 Fotovoltaik Dönüşüm.....	8
2.2.1 Fotovoltaik Hücre İşlemi	8
2.2.2 Fotovoltaik Avantajlar	9
2.2.3 Kristal Silikon	10
2.2.4 İnce Tabaka	11
2.2.5 Farklı Teknolojiler	13
2.3 Fotovoltaik Kapsülleme	14
2.4 Fotovoltaik Bozunma Mekanizmaları.....	15
2.4.1 Fotovoltaik Arızalar	15
2.4.2 Cam Kırılması.....	16
2.4.3 Taşıma.....	16
2.4.4 Hava Koşulları	17
2.4.5 Elektrik Konnektörleri	17
2.4.6 Bağlantı Kutusu	18
2.4.7 Bozunma Mekanizmaları	18
2.4.8 Delaminasyon	19
2.4.9 Kapsülleyici Renk Değişimi	19
2.4.10 Salyangoz İzi Ve Mikro Çatlaklar	20
2.4.11 Sıcaklık Döngüsü Testi	20
2.5 Nem-Donma.....	20
2.6 Potansiyel Kaynaklı Bozulma.....	21
3. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME KONTROLÜNÜN PRENSİPLERİ	22
3.1 Fotovoltaik Modülü	22
3.2 Maksimum Güç noktası İzleme Kontrolü.....	24
4. BULANIK MANTIK TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ.....	29
4.1 Bulanık Denetleyici Kullanan Fotovoltaik Sistemlerin Maksimum Güç Noktası Takibi	29
4.2 Maksimum Güç Noktası Takibi İçin Bulanık Mantık Denetleyicisi ..	30

4.3 Üyelik İşlevleri.....	31
4.4 Kontrol Kuralları.....	31
4.5 Maksimum Güç Noktası Takibi Algoritmaları	32
5. SİMÜLASYON SONUÇLARI.....	34
5.1 Güneş Pili Devre Modeli	34
5.1.1 Güneş Pili Özellikleri.....	35
5.1.2 FV Hücresinin Ürettiği Akım	37
5.1.3 Kısa Devre Akımı	38
5.1.4 Sıcaklık	39
5.1.5 Açık Devre Gerilimi	39
5.1.6 Diyot Doygunluk Akımı	40
5.1.7 Maksimum Güç.....	40
5.1.8 Doldurma Faktörü.....	41
5.1.9 Verimlilik.....	42
5.1.10 İdealite Faktörü	42
5.1.11 Direnç.....	43
5.2 DC-DC Yükseltici Dönüştürücü	45
5.3 Simülasyon Sonuçları	47
5.3.1 Renogy RNG-160DB-H 160 Watt 12 Volt Esnek Monokristal Güneş Paneli	48
5.3.2 Işınlamanın Etkileri.....	52
5.3.3 Sıcaklığın Etkileri	53
5.3.4 Değiştir Ve Gözle Algoritması	56
5.4 Bulanık Mantık Yöntemi	59
5.4.1 Bulanık Uygulama	60
5.4.2 Bulanıklaştırma	61
5.4.3 Kural Çıkarımı	63
5.4.4 Durulaştırma	64
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	75
KAYNAKLAR	78
ÖZGEÇMİŞ.....	84

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Dünya dışı güneş spektrumu	6
Şekil 2.2 Fotovoltaik hücrenin çalışması	9
Şekil 2.3 Monokristal silikon güneş pili	10
Şekil 2.4 Çok kristalli silikon güneş pili	11
Şekil 2.5 Amorf silikon güneş pili	12
Şekil 2.6 İnce film güneş pili	13
Şekil 2.7 Güneş pili kapsülleme	15
Şekil 2.8 Güneş pili arızaları ve bozulması	16
Şekil 3.1 FV panelinin akım-voltaj karakteristik eğrileri	22
Şekil 3.2 FV panelinin güç-voltaj karakteristik eğrileri	23
Şekil 3.3 FV sisteminde MPPT'nin genel diyagramı	24
Şekil 3.4 Sabit sıcaklık için güneş radyasyonunun etkisi	25
Şekil 3.5 Sabit güneşlenme için bağlantı sıcaklığının etkisi	25
Şekil 3.6 Kısmi gölgeleme koşullarında akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristik eğrileri	27
Şekil 4.1 Bulanık mantık kontrolünde ana bileşenler	31
Şekil 5.1 FV modeli	35
Şekil 5.2 Güncellenmiş FV modeli	36
Şekil 5.3 Güneş modelinin doldurma faktörü	41
Şekil 5.4 DC-DC yükseltici dönüştürücü	45
Şekil 5.4 Elektrik simulink modeli	45
Şekil 5.5 Değiştir ve gözle algoritmasına dayalı MPPT için simulink modeli ..	48
Şekil 5.6 Bulanık mantığa dayalı MPPT için simulink modeli	48
Şekil 5.7 a) FV (PV) için matematiksel simulink modeli b) Model parametreleri	50
Şekil 5.8 Güneş pili modelinin I-V eğrisi	51
Şekil 5.9 Güneş pili modelinin P-V eğrisi	52
Şekil 5.10 Değişen güneş ışıınımı için I-V eğrisi	53
Şekil 5.11 Değişen sıcaklık için I-V eğrisi	54
Şekil 5.12 Değişen sıcaklık için P-V eğrisi	54
Şekil 5.13 Değiştir ve gözle algoritmasının akış şeması	57
Şekil 5.14 Kullanılan bulanık mantık algoritmasının akış şeması	60
Şekil 5.15 Hatanın üyelik fonksiyonu	61
Şekil 5.16 Hata değişikliğinin üyelik işlevleri	61
Şekil 5.17 Bulanık giriş ve çıkışın 3 boyutlu görünümü	62
Şekil 5.18 Bulanık mantık rolleri	63
Şekil 5.19 Bulanık mantık için üyelik fonksiyonları	65
Şekil 5.20 Farklı sıcaklık değerleri altında FV modülün a) akım-gerilim ve b) güç-gerilim karakteristik eğrileri	66
Şekil 5.21 Farklı ışıınım değerleri altında FV modülün a) akım-gerilim ve b) güç-gerilim karakteristik eğrileri	68
Şekil 5.22 Simülasyon sonuçları	68
Şekil 5.23 Sistem girişi için simülasyon sonuçları	68
Şekil 5.24 Radyasyon ve sıcaklık için giriş sinyali	69

Şekil 5.25 Değiştir ve gözle algoritması için simülasyon sonuçları a) gerilim b) akım c) çıkış gücü	70
Şekil 5.26 Bulanık mantık denetleyicisi için simülasyon sonucu a) gerilim b) akım c) çıkış gücü	72
Şekil 5.27 Akım sinyali karşılaştırması	72
Şekil 5.28 Gerilim sinyali karşılaştırması	72
Şekil 5.29 Çıkış güç sinyali karşılaştırması	73



TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1 Türkiye'nin coğrafi bölgelerinin ışınlm değeri ve güneşleme süreleri.....	5
Tablo 3.1 Farklı ışınlm seviyeleri için FV panel özellikleri	23
Tablo 4.1 FV sistemleri için MPPT yöntemlerinin özelliklerinin karşılaştırılması.....	33
Tablo 5.1 Simülasyon parametreleri	47
Tablo 5.2 FLC'nin kuralları	64
Tablo 5.3 FLC MPPT'ye dayalı PV sistem simülasyonun sonuçları	73
Tablo 5.4 P&O MPPT'ye dayalı PV sistem simülasyonun sonuçları.....	73

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	: Yüzde
&	: Ve
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat Derece
A	: Amper
eV	: Elektron Volt
G	: Güneş Işınımı
G_n	: 1000 W/m ² 'de Nominal Güneş Işınımı
I_{mp}	: Maksimum Güç Noktası Akımı
I_{ph}	: FV Hücresinin Ürettiği Akım
I_{FV}	: Panel Çıkış Akımı
I_{rc}	: Sızıntı Akım Değeri
I_{sc}	: Kısa Devre Akım Değeri
J	: Joule
k	: Boltzman Sabiti
k_i	: Sıcaklık Akım Katsayısı
kW	: Kilowatt
K	: Kelvin
m ²	: Metrekare
N_s	: Bağlantılı Hücrelerin Sayısı
P_m	: Ana Parametreler Tepe Gücü
q	: Elektron Yüğü
R	: Yüğü Direnç
R_s	: Seri Direnç
R_{sh}	: Şönt Direnci
S	: Yüzey Alanı
T_{amb}	: Ortam Sıcaklığı
T_c	: Hücre Sıcaklığı
T_n	: Nominal Sıcaklığı
V	: Volt
V_{FV}	: Çıkış Gerilimi
V_{mp}	: Voltaj Maksimum Noktası
V_{oc}	: Açık Devre Gerilimi
W	: Watt
μm	: Mikrometre

Kısaltmalar

AM	: Hava Kütlesi
BIFV	: Bina Entegre Fotovoltaik
CFV	: Konsantre Fotovoltaik
CIGS	: Bakır İndiyum Galyum ve Selenyum
CIS	: Bakır İndiyum Selenyum

C-Si	: Kristal Silikon
DA	: Doğru Akım
DF	: Dolum Faktörü
DSSC	: Boyaya Duyarlı Güneş Pili
EVA	: Etilen Vinil Asetat
FF	: Doldurma Faktörü
FLC	: Bulanık Mantık Denetleyicisi
FV	: Fotovoltaik
FVB	: Fotovoltaik Butira
I-V	: Akım-Gerilim
MPP	: Maksimum Güç Noktası
MPPT	: Maksimum Güç Noktası İzleme
NOCT	: Nominal Çalışma Hücre Sıcaklığı
OSC	: Organik Güneş Pili
P-V	: Güç-Gerilim
SMPS	: Anahtarlama Mod Güç Kaynağı
STC	: Standart Test Koşulları
TPSE	: Termoplastik Poliolefin Elastomer
UV	: Ultraviyole
YSA	: Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Güneş hücreleri, kaynağın güneş ışığı veya yapay ışık olmasına bakılmaksızın Fotovoltaik (FV) (foto=ışık; voltaik= gerilim üretimi) olarak tanımlanır. Bazı malzemeler, ışık fotonlarını emmelerine ve elektron salmalarına neden olan fotoelektrik etki olarak bilinen bir özellik sergiler. Bu serbest elektronlar yakalandığında, elektrik olarak kullanılabilir bir elektrik akımı ortaya çıkar. Güneş pillerinin verimini etkileyen diğer etkenler teknoloji tabanlı etkenlerdir. Bunlardan birincisi güneş pilinin iç seri direncinden dolayı akım-voltaj karakteristik eğrisinde bir sapma meydana gelir. Seri dirençten meydana gelen kayıplar pil teknolojisinin gelişmesiyle giderilebilir. İç seri direncini etkileyen ohmik seri direnç kaybı gibi dejeneratif mekanizmalar direnç ve şönt direnci, tipik olarak cihazın kendi içindeki dirençten kaynaklanır (Fong vd., 2013). Bu nedenle, bu iç kayıpların etkilerini modellemek ve ölçmek için güneş pilleri için eşdeğer devrelerin türevleri kullanılmıştır (Benghanem ve Alamri, 2009; Fong vd., 2013; Pysch vd., 2007). Genellikle güneş pili ile çalışan cihazlar, güneş pili bir panelde kapsüllenmeden önce ampirik veriler kullanılarak üretici tarafından karakterize edilir (Gupta vd., 2010; Ogunkunle ve Ahmed, 2019).

Yenilenebilir enerji, güneş ışığı, rüzgar, yağmur, gelgitler, dalgalar ve jeotermal ısı gibi karbon nötr kaynakları da dahil olmak üzere, insan zaman ölçeğinde doğal olarak yenilenen yenilenebilir kaynaklardan toplanan faydalı enerjidir. Yıllar içinde yenilenebilir enerji ve uygulamaları konusundaki farkındalık, fotovoltaik endüstrisinde önemli artışlara yol açmıştır. Ayrıca, bu ilerlemeler doğrudan ileri araştırmalara ve gelişmiş endüstriyel süreçlere yol açmıştır. Bununla birlikte güç üretimini artırmak için bakır indiyum galyum ve selenyum (CIGS) gibi ince film güneş pillerini rüzgar türbini kanatlarıyla birleştirmek gibi gelecek konseptler de uygulanabilir (Gross vd., 2003).

FV sistemler, güneş enerjisinden biridir ve FV sisteminin temiz, kirlilikten uzak, çevre dostu, tükenmez, güvenli ve önemli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak dünya çapında önemli bir rol oynamıştır. FV sistemleri ayrıca güneş enerjisini elektrik

enerjisine dönüştürmek için doğrudan bir yöntem sağlar. Bu FV sistemi genişletilebilir güçtür, çünkü küçük ve büyük enerji üretim tesislerinde kullanılabilir. FV sistemi, bağımsız kurulumda kullanılabilir ve ayrıca konut, ticari ve endüstriyel uygulamalar için uygundur. Güneş enerjisini elektrik akımına dönüştüren FV teknolojisinde elektrik üretiminin başlangıç maliyeti, verimliliği ve güvenilirliği açısından bazı sorunlar ile karşılaşılabilir. Bu nedenle, modelleme ve simülasyon, FV sistemlerinin tasarımında olduğu kadar FV'nin performanslarının geliştirilmesinde ve araştırılmasında önemli bir rol oynar (Crocker, 2017). Simülasyon, sistemin genel işleyişinden üretim sürecinin geliştirilmesine, performans tahminlerinden değişikliklerin sistem üzerindeki etkisinin belirlenmesine kadar birçok aşamada üretim sistemlerinin tasarımı ve analizinde yaygın olarak kullanılan bir araçtır.

Güneş piller diğer adıyla fotovoltaik piller, düşük güce sahiptir. Bu nedenle birçok hücre paralel veya seri olarak bağlanır, bir fotovoltaik modül oluşturur ve FV modülleri bir FV dizisinin (array) oluşturmak için istenen akım-voltaj değerleriyle paralel veya seri olarak bağlanır (Neupane ve Kumar, 2017). Fotovoltaik hücresi, radyasyonun sıcaklığı ve seviyesi ile değişken doğrusal olmayan özelliklere sahiptir. Ancak kısmi gölgelenme durumunda, FV hücrenin akım-gerilim (I-V) karakteristik eğrisi önemli ölçüde değişebilir. Daha karmaşık hale gelir ve birden fazla tepe noktası oluşmaktadır. Dolayısıyla fotovoltaik verime bağlı güç önemli oranda düşer (Vishwakarma, 2017).

Büyük ölçekli bir FV sistemi için bir dizi oluşturmak için bir dizi FV paneli seri olarak bağlanır. Bir FV güneş pili, eşdeğer bir tek diyot devresi veya iki diyot devresi ile temsil edilebilir. FV dizisinin gölgelenmesine yol açan birçok neden vardır. Örneğin komşu bina, ağaçlar, bacalar ve panellerin yüzeyindeki toz, vs. sıralanabilir (Saon ve Chee, 2013). Bu tip problemlerin çözümü için çeşitli yük çalışma noktalarında bir fotovoltaik üretim sisteminin verimliliğini artırmak için verimli bir maksimum güç noktası izleme (MPPT) yöntemi önemli bir rol oynar (Podder vd., 2019). FV güneş panelinin önemli bir özelliği, mevcut maksimum gücün sadece maksimum güç noktası olarak adlandırılan, her koşulda enerji çıkarımını en üs düzeye çıkarmak için değişken güce sahip kaynaklarla sağlanmış olmasıdır. Ama bu noktanın konumu sabit olmayıp

ışıma, sıcaklık ve yükten ve ortamdan alınan birim alandaki güce göre hareket etmesidir. Bu noktayı izlemek ve stabilize etmek çok önemlidir.

Bu tezde, güneş enerjisi sisteminin performansını iyileştirmek için bulanık mantık tabanlı maksimum güç noktası takip algoritmalarından değiştir ve gözle yöntemi kullanılarak bir model sunulmuştur. Model, MATLAB/Simulink ortamında oluşturulmuştur. Simülasyon sonuçları, bu sistemin hızlı yanıt verdiğini ve FV kapasitesinde yüksek performanslı kullanabileceğini göstermiştir. Bu sistem, yüksek güç faktörüne sahip bir işletmeye enerji sağlayabilir.

Bu tez çalışması, FV hücresinin modellenmesi ve MPPT teknikleri önerilmiştir. MPPT teknikleri, P&O ile karşılaştırılan Bulanık Mantık Denetleyicisi içermektedir. Hem güç hem de akım bakımından büyüklükleri karşılaştırılmıştır.

2. FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMİ

Fotovoltaik enerji, bir fotovoltaik hücre aracılığıyla güneş radyasyonunun elektrik enerjisine doğrudan dönüştürülmesi ile elde edilir. Güneş enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi, fotonların bir malzemede yük taşıyıcıları (elektronlar ve delikler) oluşturma yeteneği olan fotoelektrik etki ilkesine göre çalışır. Yarı iletken teknolojisindeki diğer gelişmelerle birlikte, fotovoltaik endüstrisinde, güneş pilleri/panelleri için daha iyi hammaddeler ve daha önceki silikon temelli %6'lık enerji dönüşüm verimliliğinden bir artış görülen gelişmiş üretim süreçleri açısından önemli bir artış olmuştur. Daha önceki silikon bazlı hücrelerin %6'lık enerji dönüşüm verimliliğinden, günümüzün fotovoltaik sisteminde kullanılan %17-%20 verimliliğine sahip şu anda üretilen FV hücrelerine bir artış vardır (Chapin vd., 1954; Marszal vd., 2021).

Güneş pili olarak da adlandırılan fotovoltaik hücre, bir bilgisayarda transistör veya mikroçip üretimine benzer yarı iletken malzemeler kullanılarak üretilir. İlk hücrelerin yaratılmasından bu yana en çok kullanılan fotovoltaik teknoloji, kristal tip silikon olmuştur. Çoğu fotovoltaik hücre genellikle “kristal silikondan” yapılır, çünkü silikon, toksik olmayan silika formu altında dünyada en bol bulunan elementlerden biridir ve işlenmesi daha ucuz olması nedeniyle uygun maliyetli bir kaynaktır. Şu anda, dünya güneş pili üretimine katılan tek teknoloji silikon bazlı hücre teknolojisi değildir bununla birlikte FV teknolojisi, kullanılan temel malzemeye bağlı olarak İnce Film, Konsantre Fotovoltaik (CFV) ve Organik Malzeme olarak da sınıflandırılır (Marszal vd., 2012).

2.1 Güneş Kaynağı

Güneş enerjisi, adını kaynağından alan dünyada en bol bulunan yenilenebilir kaynaktır. Fotovoltaik sistemlerde, güneş bilgisi işletimi ve optimizasyonunda kritik öneme sahiptir. Zaman, yılın mevsimi, manzara, hava durumu ve coğrafi konum gibi çeşitli faktörler, dünya yüzeyinin aldığı güneş ışığı miktarını etkiler. Dünya yuvarlak olduğu için, dünyanın belirli bir yüzeyindeki gelme açısı dünyanın yönüne bağlı

olacaktır ve ışının yoğunluğu ışığın yüzeye ulaşmak için kat etmesi gereken mesafeye bağlı olacaktır. Bu aynı zamanda hava kütlesi kavramı olarak da bilinir (Castaner ve Silvestre, 2002). Tablo 2.1’de Türkiye’de bölgesel olarak ışıınım değerleri verilmiştir (URL-1, 2021).

Tablo 2.1 Türkiye’nin coğrafi bölgelerinin ışıınım değerleri ve güneşlenme süreleri

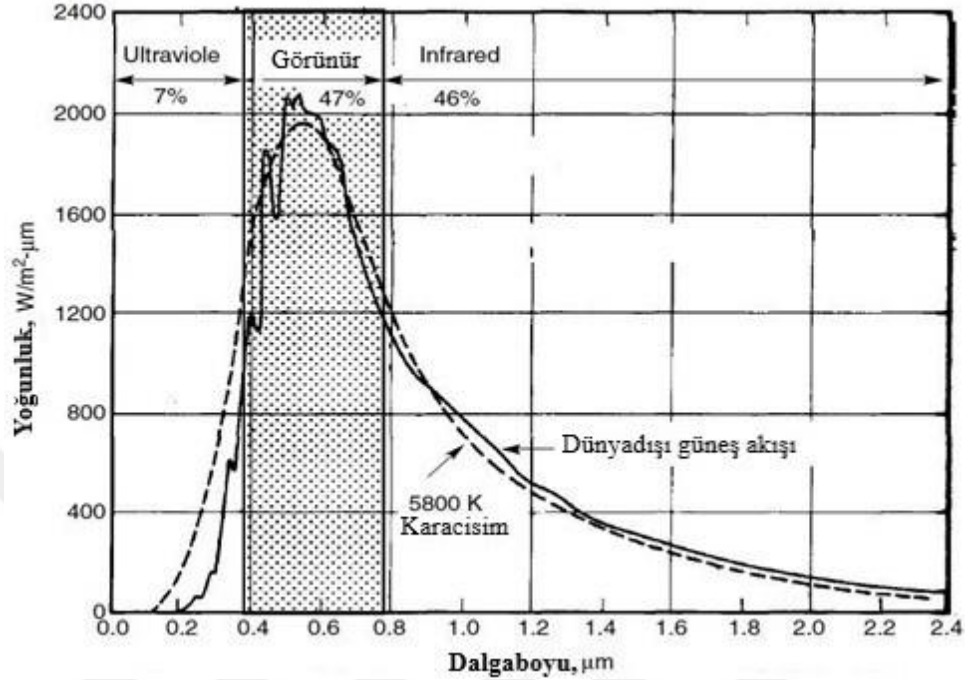
Coğrafi Bölgeler	Toplam Güneş Enerjisi (kWh/m²-yıl)	Güneşlenme Süresi (saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu	1.460	2.993
Akdeniz	1.390	2.956
Doğu Anadolu	1.365	2.664
İç Anadolu	1.314	2.628
Ege	1.304	2.738
Marmara	1.168	2.409
Karadeniz	1.120	1.971

Enlem, zaman ve mevsim, dünyanın dönüşüne ve eğimine bağlı olarak değişir. Ayrıca bulutlar, parçacıklar, sis ve diğer çeşitli meteorolojik olaylar gibi atmosferik cisimler, güneş ışıınımını bazen arttıran bazen de azaltan ve yayılmasını sağlayan saatlik ve günlük değişimlere neden olur. Bu genellikle mevsimsel değişiklikler sırasında tam olarak yaşanır. Bu enerjiyi veya güneş radyasyonunu kullanmak için dünyanın yörüngesi gibi çeşitli faktörler göz önünde bulundurulur; Cihazın açısı ve güneş saati bunlardan birkaçıdır. Güneş sistemleri, bazı faktörleri ve güneşin yoğunluğunu yakalamak ve tahmin etmek için basit fakat karmaşık denklem setleri aracılığıyla tasarlanır ve analiz edilir (Masters, 2013).

2.1.1 Güneş Spektrumu

Güneş spektrumu, hava kütlesi kavramı kullanılarak yayılan enerji açısından karakterize edilir. Güneş, ultraviyole bandındaki 0,22μm ile kızılötesi bandındaki 3μm

arasında değişen dalga boyu bandına sahip elektromanyetik radyasyon yayar. şekil 2.1’de enerji spektral dağılımındaki değişimi gösterilmektedir (Masters, 2013).



şekil 2.1 Dünya dışı güneş spektrumu

şekil 2.1’de gösterildiği gibi siyah cisim radyasyonuna çok benzeyen atmosfer dışındaki spektrumdan farklıdır. Bu güneş radyasyonu ile ilişkili enerji yaklaşık olarak üç banda ayrılabilir:

- ✓ Ultraviyole bandında %7 (< 0,4μm)
- ✓ Görünür bantta %47 (0,4 ila 0,8μm)
- ✓ Kızılötesi bantta %46 (> 0,8μm)

Dünya atmosferi bu radyasyonu, dünyanın kendi etrafındaki dönüşü sırasında güneşe yaklaşıp yaklaşmadığına bağlı olarak, dünya atmosferinin dışındaki boşlukta yaklaşık olarak metrekaire başına ortalama 1,37 kW/m² güçte alır. Güneş radyasyonu, dünya atmosferine yaklaştıkça bir kısmı çeşitli bileşenler tarafından emilir. Bu, spektruma düzensiz şeklini verir. Böylece dünya yüzeyine ulaşan enerji miktarı nadiren 1,2 kW/m²’i (1200W/m²) geçer. Yeryüzünde belirli bir noktada mevcut olan enerji,

radasyonun yüzeye ulaşmak için atmosferin ne kadarından geçtiğine göre değişir. Bu, Denklem 2.1’de gösterilen hava kütlesi oranı (M) ile ifade edilebilir (Masters, 2013).

$$M = \frac{h_1}{h_2} = \frac{1}{\sin \beta} \quad (2.1)$$

burada,

- ✓ h_1 , güneş doğrudan yukarıdayken atmosferdeki yol uzunluğudur.
- ✓ h_2 , yüzeyde bir noktaya ulaşmak için atmosferden geçen yol uzunluğudur.
- ✓ B, dünyanın eğim açısıdır.

2.1.2 Standart Koşullar

Güneş için iki farklı spektral dağılım tanımlanmıştır: 1) Hava Kütlesi0 (Air Mass-AM0) spektrumu, atmosferin dışındaki standart spekturumdur. 2) Hava Kütlesi 1,5 (AM1,5) G spektrumu (G, global radyasyonu ifade etmekte olup difüz ve direkt radyasyonu içerir), yeryüzeyindeki standart spekturumdur. Performansın farklı FV üniteleri arasında karşılaştırılabilmesi için genellikle tek tip koşullar belirtilir. Testten elde edilen parametreler genellikle üretici veri sayfasında sağlanırken, standart test koşulları altında yapılan ölçümler ve elde edilen elektriksel özellikler fotovoltaik modülleri doğru bir şekilde karakterize eder (Hsiao, 2019).

Fotovoltaik modüllerin kalifikasyonu için standart test koşulları (STC) aşağıda sıralanmıştır:

- ✓ Hava kütlesi ile belirli bir ışık spektral dağılım değeri, AM1,5 olması gerekir. AM1,5, yaklaşık bir buçuk dünya atmosferinden geçen güneş ışığını temsil eder.
- ✓ 1000W/m^2 dikey ışıma;
- ✓ $\pm 20^\circ\text{C}$ toleransla 25°C göze veya modül sıcaklığı

Hava kütlesi rakamları, güneşin atmosferde kat etmesi gereken yolun göreceli bir ölçüsünü sağlar. Güneş paneli üreticileri, donanım performanslarını yukarıda belirtilen standart altında belirtir. Ayrıca Nominal Çalışma Hücre Sıcaklığı (NOCT) altında performans verileri sağlarlar (Castaner ve Silvestre, 2002; Fong vd., 2013; Osigwe, 2019). Bir güneş hücrenin, 800 W/m^2 ışınlam, 1 m/s rüzgar ve 20°C ortam sıcaklığı koşullarındaki sıcaklığına NOCT adı verilir. Bu sıcaklık değeri FV modüllerin kataloglarında verilir (Deniz, 2013).

2.2 Fotovoltaik Dönüşüm

Güneş enerjisinin fotovoltaik dönüşümü, güneş radyasyonunun bir kısmının bir fotovoltaik hücre ile dönüştürülmesiyle üretilen elektriği ifade eder.

2.2.1 Fotovoltaik Hücre İşlemi

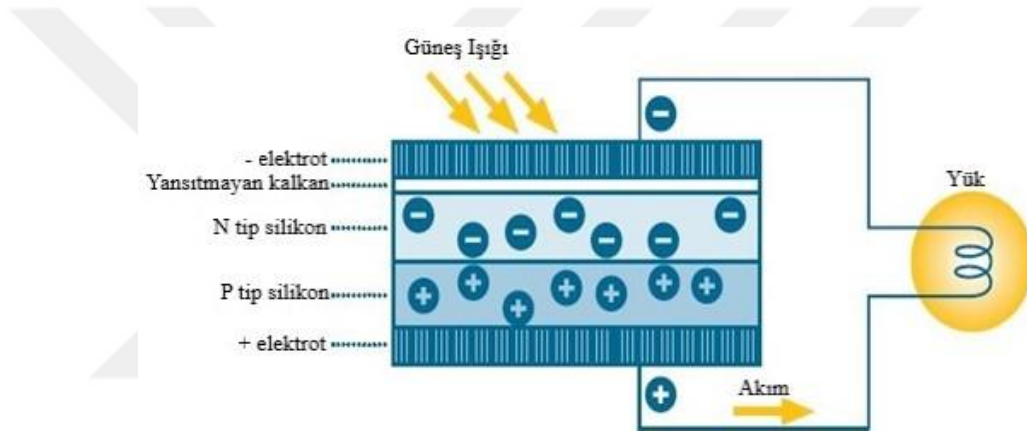
Fotovoltaik hücreler, ışık enerjisini doğrudan elektriğe dönüştürür. Çoğu durumda, bir güneş paneli (veya fotovoltaik modül) oluşturmak için birkaç hücre seri ve/veya paralel olarak birbirine bağlanır. Bir güneş paneli hücresi temel olarak bir p-n yarı iletken bağlantısıdır. Işığa maruz kaldığında, bir DA akımı üretilir. Üretilen akım, güneş ışınlamı ile doğrusal olarak değişir. Bir fotovoltaik hücrenin çalışması, 3 temel özellik gerektirir:

- ✓ Elektron deliği çiftleri veya kesintiler oluşturan ışığın absorpsiyonu,
- ✓ Zıt tipteki yük taşıyıcıların ayrılması,
- ✓ Bu taşıyıcıların harici bir devreye ayrı olarak çıkarılması.

Fotovoltaiklerin temel prensibine göre güneş ışığı elektriğe dönüştürülür. Fotovoltaik etki, 1839 yılında Edmond Becquerel tarafından elektrolitlere batırılmış iki elektrot arasında meydana gelen elektriksel etkilerin incelenmesi sırasında keşfedilmiştir (Lincot, 2017). Şekil 2.2’de bir FV hücresinin çalışma prensibi gösterilmiştir. Güneş ışığından gelen fotonlar, hücreye belirli bir miktarda enerji ile çarparak bir elektron

serbest bırakır. Elektrik üretmek için elektronun iki yarı iletken arasındaki bant aralığı adı verilen boşluğu geçmesi gerekir.

Günümüzün en yaygın fotovoltaik cihazları, fotovoltaik hücre gibi bir yarı iletken içinde bir elektrik alanı oluşturmak için tek bir bağlantı veya arayüz kullanır. Tek birleşimli bir fotovoltaik hücrede, yalnızca enerjisi hücre malzemesinin bant boşluğuna eşit veya daha büyük olan fotonlar, bir elektrik devresi için elektronu serbest bırakabilir. Serbest bırakılan elektron devre boyunca akar ve elektrik akımı adı verilen bir elektron akımı oluşturur. Elektron daha sonra hücreye geri döner ve tekrar sistemin bir parçası olur (Sarkar ve Rahman, 2018).



Şekil 2.2 Fotovoltaik hücrenin çalışması

2.2.2 Fotovoltaik Avantajlar

Fotovoltaik sistemlerin avantajı, şebeke elektriğinin olmadığı ve içten yanmalı motorların çalıştırılmasının pahalı olduğu yerlerde kullanılmasıdır. FV sistemlerinin önemli özellikleri şunlardır (Hasan ve Sumathy, 2010):

- ✓ *Çok amaçlı:* Aynı sistemden hem elektrik hem de ısı enerjisi elde edilebilir;
- ✓ *Esnek ve verimli:* Ayrı ayrı kullanıldığında verimlilik iki sisteminkinden daha yüksektir. Ayrıca çatı alanı elverişsiz veya sınırlı olduğunda, binanın bütünleşik sistemleri oldukça çekicidir;

- ✓ *Geniş uygulama alanına sahiptir:* Elde edilen ısı enerjisi mevsime bağlı olarak ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılabilir ve evsel uygulamalara uygundur;
- ✓ *Ucuz ve kullanışlı:* Büyük değişiklikler yapmaya gerek kalmadan binalar eklenebilir veya bütünleştirilebilir.

2.2.3 Kristal Silikon

Bir elektronun farklı bantlardan atlamak için kazanması gereken enerjiye bant aralığı enerjisi denir. Silikon, FV uygulamaları için uygun, 1,1 eV'lik bant aralığına sahip yarı iletken bir malzemedir. Kristal Silikon (C-Si), Fotovoltaik panellerde yaygın olarak kullanılan malzemedir.

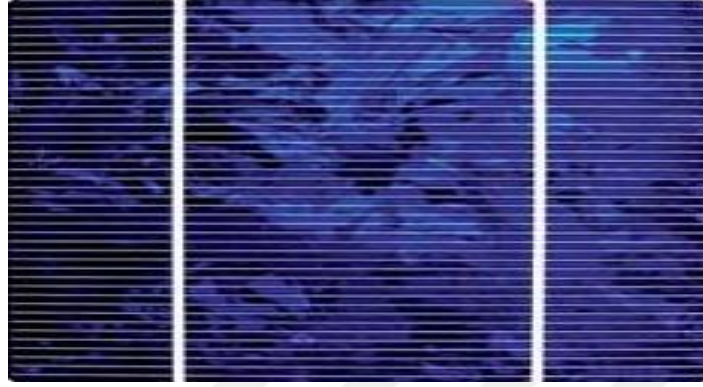
a) *Monokristal Silikon:* Monokristal Silikon hücreler, yüksek verimli güneş pili üretiminde kullanılmaktadır. Güneş panellerinde kullanılan monokristalin silikon, mikro elektronikte kullanılanlara göre daha az kusursuzdur. Şekil 2.3'de monokristal silikon waferden yapılmış bir güneş pili gösterilmiştir (Almirall, 2020). Bunları yapmak için silikon eritilir. Yavaş ve kontrollü bir soğutma sırasında, Silikon (metalurjik MG-SI), büyük boyutta (bir çubuk şeklinde) yalnızca bir kristal (yani SI Solar Silicon) oluşturarak katılaşır. Kristal daha sonra tek tek hücreler için kullanılan ince dilimler halinde kesilir. Bu hücreler genellikle tek tip siyahımsı bir renk tonu ile karakterize edilir (Chikate vd., 2015; Masters, 2013).



Şekil 2.3 Monokristal silikon güneş pili

b) *Polikristal Silikon:* Silikon moleküler yapısı, silikonun bir kalıpta soğuma aşamasından kaynaklanır ve birkaç kristal grubunun oluşumuna yol açar. Silikon bloklar halinde dökülür. Sertleştiğinde, sınır kusurlarının meydana geldiği farklı

boyutlarda bir yapı ile sonuçlanır (Eldin vd., 2015). Bu silikon hücre, görünüşte genellikle mavimsi bir renk tonuna sahiptir, ancak tek tip değildir. Farklı kristallerin oluşturduğu motiflerin ayırt edilebilir özelliği, Şekil 2.4’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Çok kristalli silikon güneş pili

Hem monokristal hem de polikristal güneş panelleri, genel solar FV sisteminde aynı işlevi görür; güneşten enerjiyi yakalar ve elektriğe dönüştürürler. Birçok güneş paneli üreticisi, hem monokristal hem de polikristal paneller üretmektedir. Hem monokristal hem de polikristal güneş panelleri farklı uygulamalar için iyi olabilir, ancak iki tip teknoloji arasında kullandıkları silikon güneş pili türü gibi bazı farklılıklar vardır. Yani, monokristal güneş panellerinde tek bir silikon kristalinden yapılmış güneş pilleri bulunurken, polikristal güneş panellerinde birlikte eritilmiş birçok silikon parçasından yapılmış güneş pilleri bulunur.

c) *Şerit Silikon*: Şerit silikon, yüksek silikon geri beslemeli stok kullanımı nedeniyle düşük maliyetlidir. Başlangıçta 300 μm kalınlıkta geliştirilen, daha fazla araştırma ve geliştirme, üretim maliyetini ve verimliliğini artıran 100 μm kalınlık önerilmiştir (Wallace vd., 1997).

2.2.4 İnce Tabaka

Üretilen silikonun bir veya daha fazla yarı iletken veya ışığa duyarlı katman üzerine cam, plastik, polimer vb. ince taneli ışıltılı görünümüdür. Bu teknoloji üretim maliyetini düşürür, ancak verimi kristal silikon hücrelerinkinden daha düşüktür. Ayrıca ince filmler, kalınlıkları nedeniyle, bina bütünleşik fotovoltaik (BIFV) gibi

bina bileşenlerinde kullanılabilen esnek hafif yapılarda kullanılabilir. Ticari olarak üretilmiş ince film güneş pillerinin farklı çeşitleri vardır;

a) *Amorf Silikon*: Silikon hücreler, sert bir kristal yapı oluşturmak yerine, bir substrat (esnek veya katı) üzerine silikonun ince homojen bir tabaka halinde bırakılmasıyla yapılır. Alt tabaka esnek veya sert olabilir, bu da ona kavisli yüzeyler veya doğrudan çatı yüzeylerine yapıştırma gibi çok çeşitli uygulamalar sağlar. Bununla birlikte, kristal teknoloji ondan daha yüksek bir verime sahiptir. Şekil 2.5’de örnekleme verilmiştir.

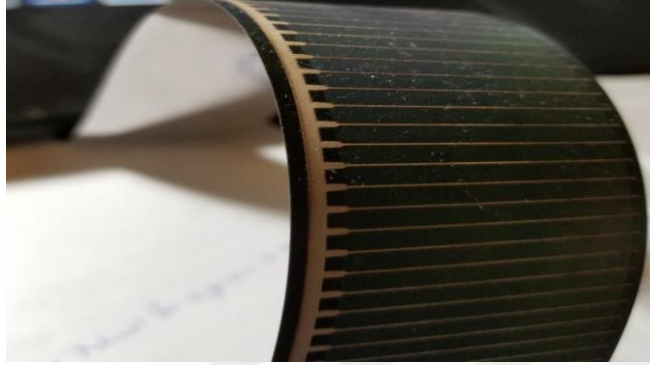


Şekil 2.5 Amorf silikon güneş pili

b) *Kadmiyum Telluride*: Bu malzeme kadmiyum ve tellürden yapılmış poli-kristal yarı iletken bir bileşiktir. Üretim işlemi sırasında, bir Kadmiyum sülfür filmi, kimyasal banyo, kimyasal buhar biriktirme veya buhar taşıma biriktirme yoluyla büyütülür. Verimlilikleri kristal silikondan daha düşük olsa da, ince filmler için daha az malzemeye ihtiyaç duyulduğundan, seri üretimleri daha kolay olma eğilimindedir.

c) *Bakır İndiyum Selenyum (CIS) ve Bakır İndiyum Galyum Selenyum (CIGS)*: Birkaç elementten oluşan farklı bileşikler keşfetmenin amacı, verimsizlikleri en aza indirirken en uygun 1,4eV değerine yaklaşan olası bant aralığı kombinasyonlarını bulmaktır. CIGS, Bakır, İndiyum ve Selenyumdan oluşan polikristal yarı iletken bir bileşiktir. CIGS katmanları esnek olacak kadar incedir ve esnek alt tabakalar üzerinde biriktirilmelerine olanak tanır.

CIS FV hücreleri, bu ince film teknolojisi kategorisinde en yüksek verimliliği sunar (Levi vd., 2017). Yüksek enerji dönüşüm verimliliği gösteren ve dış mekan bozulma problemlerinden yoksun bir malzemedir.



Şekil 2.6 İnce film güneş pili

2.2.5 Farklı Teknolojiler

Bu bölüm, teorikleştirilmiş ancak henüz toptan ticari kullanımda uygulanmayan farklı fotovoltaik sistem teknolojileri tartışmaktadır. Ancak boyaya duyarlı güneş pili ve organik güneş pili gibi kullanılan FV teknolojileri ticarileştirilmiştir.

a) *Boyaya Duyarlı Güneş Pili (DSSC)*: Üretim kolaylığı, düşük maliyeti, dağınık ışıkta çalışma yeteneği, esnekliği ve hafifliği gibi bir dizi çekici özelliği nedeniyle gelecek vaat eden üçüncü nesil fotovoltaik teknolojidir. DSSC'lerde güneş pilleri, ışığa duyarlı bir anot ve elektrolit arasında oluşturulan yarı iletken yapılara dayanan foto-elektrokimyasal güneş pillerini kullanır. Karşı elektrotlar, redoks elektrolitinin elektronları harici devreden toplayıp aktardığı elektrokatalitik indirgemedir kritik bir rol oynar. Tipik olarak nano kristaller, boya molekülü yükü ayırırken güneş ışığını toplayan anten görevi görür (Veerappan vd., 2019). DSSC'nin en yaygın türü olan modern bir n-tipi DSSC'dir.

b) *Organik Güneş pili (OSC)*: Bu hücreler, yalnızca bol elementlere dayalı olarak günde 1 GW pik enerji üretim kapasitesine karşılık gelen bir ölçekte üretimin zorluklarını tam olarak ele alan tek güneş pili teknolojisinden üretilir. Bu yetenek, baskı tekniklerinin ve karbon bazlı konjuge polimer malzemelerden oluşan foto aktif katmanların kullanılmasıyla ortaya çıkar (Hou vd., 2018). FV teknolojisindeki

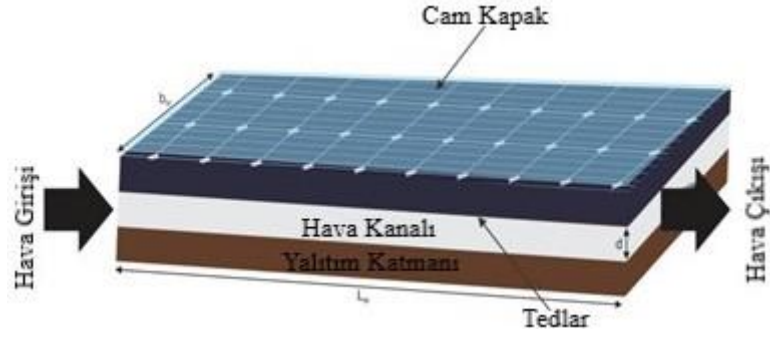
gelecekteki eğilimler gelişme gösterdiği için, FV teknolojilerini bu kategoriler aracılığıyla ayırt etmek ayrıntılı değildir. Örnekler, CFV ve siyah silikon hücreleri içerir.

2.3 Fotovoltaik Kapsülleme

Güneş pilleri genellikle tek bir kristal veya çok kristalli külçeden oluşan ince yarı iletken malzeme tabakalarıdır, ince filmler ise kimyasal buhar biriktirme teknikleri ile bir alt tabaka veya bir üst tabaka üzerinde temelde sürekli yarı iletken malzeme katmanlarıdır (Hurter vd., 2013). Bu nedenle, bu hücrelerin kalınlığı azdır. Ayrıca güneş pillerinin kırılma doğası nedeniyle, hücrelerin korunması ve desteklenmesi esastır. Genellikle bir güneş pili modülü, destek mekanizması, üst tabaka ve alt tabakadan oluşur. Ayrıca hücreler, Şekil 2.7’de gösterildiği gibi bir kapsülleyici ile kaplanır (Diwania vd., 2020). En yaygın kullanılan laminasyon kapsülleme, reçine transferi, silikon kapsülleme ve vakum torbalama gibi kullanılan malzemeye bağlı olarak farklı kapsülleme yöntemleri vardır (Hurter vd., 2013).

Genel olarak, Etilen Vinil Asetat (EVA), silikon ve üretan gibi en yaygın olarak kullanılan kapsülleyici malzemeler, yüksek sıcaklık seviyeleri veya Morötesi ya da ultraviyole (UV) ışınması ile indüklenabilen bir kimyasal çapraz bağlama işlemine tabi tutulmalıdır. Fotovoltaik Butira (FVB), Termoplastik Poliolefin Elastomer (TPSE) ve iyonomerlerin yanı sıra modifiye poliolefinler (PO) gibi termoplastik malzemeler, polimer zincirleri arasında kimyasal bağlar (çapraz bağlar) oluşturmada modül üretim sürecinde erir (Agroui vd., 2016). Kapsülleyici malzeme, bileşenleri mekanik olarak bir laminata bağlayan tüm yüzeylere güçlü bir şekilde yapışır. Enkapsülantlar, potansiyel kaynaklı bozulmayı önlemek için yüksek düzeyde bir dirençle sahip olarak yağmur veya çiğ nedeniyle ıslanma nedeniyle ortaya çıkabilecek kaçak akımları önleyebilmelidir (Wohlgemuth vd., 2006).

Elektriksel ve optik geçişlilik sağlarken güneş pillerini nemden ve diğer dış unsurlardan korumak için kapsülleme gereklidir. Ayrıca dayanıklılığı artırır ve hücrelerin güvenilirliğini sağlar.



Şekil 2.7 Güneş pili kapsülleme

2.4 Fotovoltaik Bozunma Mekanizmaları

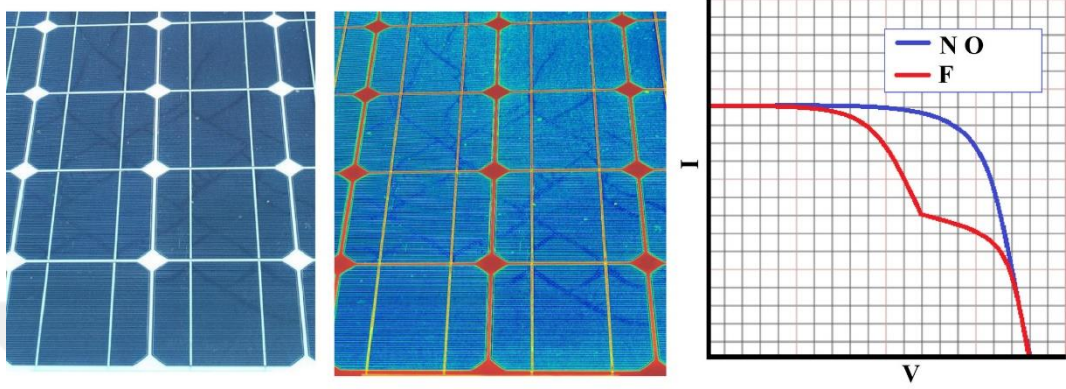
Diğer elektrik üretim sistemlerindeki en önemli güvenilirlik sorunlarından biri, sahip oldukları motorlar veya dişliler gibi hareketli parçalardır. Fotovoltaik sistemlerin diğer sistemlere göre iyi bir avantajı, bu tür hareketli parçaların olmamasıdır. Bu, fotovoltaik modülün uzun çalışma ömrüne katkıda bulunur. Çalışma ömrü, büyük ölçüde, yapıldığı malzemelerin stabilitesi ve korozyona karşı direnci ile belirlenir. 20 yıla kadar üretici garantileri, şu anda üretilmekte olan toplu silikon FV modüllerinin kalitesini göstermektedir. Bununla birlikte, güç çıkışını azaltabilecek veya modülün arızalanmasına neden olabilecek çeşitli arıza modları ve bozulma mekanizmaları vardır (Gnetchejo vd., 2021).

Güç şebekesi için bir güç kaynağı olarak fotovoltaik elektrik üretiminin yaygınlaşmasıyla birlikte, zaman içinde güç dağıtımını doğru bir şekilde tahmin etme yeteneği, fotovoltaik endüstrisinin büyümesi için hayati önem taşımaktadır. Fotovoltaik sistemlerdeki bozulma, ya bir fotovoltaik modülün çıkış gücünde zamanla kademeli bir azalmayı ya da modüldeki tek bir güneş pilinin arızalanması nedeniyle güç azalmasını içerir. Arızalar genellikle aniden meydana gelirken, bir fotovoltaik modülün arıza ve güvenilirlik eğrisi, Şekil 2.8’de gösterilmiştir. Şekil 2.8’de görüldüğü gibi bozulma daha yavaş olabilir.

2.4.1 Fotovoltaik Arızalar

Fotovoltaik ekipman arızaları, malzemelerden, temel ürün tasarım kusurlarından veya üretim sırasında kalite kontroldeki başarısızlıklardan kaynaklanabilir. Şekil 2.8’de

bebek ölümleri, orta yaş arızaları ve yıpranma olarak ortaya çıkan önde gelen Fotovoltaik modül bozulmasını ve arıza mekanizmalarını gösterilmiştir (Haque vd., 2019). Başlangıç döneminde meydana gelen arızaların çoğu cam kırılması, elleçleme, hava koşulları, elektrik konnektörleri ve modülün bağlantı kutusu ile ilgilidir.



Şekil 2.8 Güneş pili arızaları ve bozulması

2.4.2 Cam Kırılması

Cam fotovoltaik modüller cam kırılmasına karşı daha hassastır. Arıza genellikle planlama ve kurulum aşamasında ya modül için zayıf kelepçe geometrisinden ya da modül üzerindeki kelepçelerin konumlarının üreticinin kılavuzuna göre seçilmediğinden ya da aşırı sıkılmış vidalar gibi aşırı güç kullanımından kaynaklanan montaj aşamasında kırılmadan kaynaklanır. Cam kırılması, oksijen ve su buharının FV modülüne girmesinden kaynaklanan hücre ve elektrik devresi korozyonu nedeniyle zamanla performans kaybına neden olur. Cam kırılmasının neden olduğu başlıca sorunlar elektriksel güvenlik sorunlarıdır. İlk olarak, özellikle ıslak koşullarda modüllerin yalıtımı artık garanti edilmez. İkinci olarak, cam kırılması modülün aşırı ısınmasına neden olan sıcak noktalara neden olur (Köntges vd., 2014).

2.4.3 Taşıma

Bu, fotovoltaik modüllerin nakliyesini ve kurulumunu içerir. Bir FV modülünün ömründeki ilk kritik aşamalardır. Bazı Fotovoltaik modüllerin cam kapağı, nakliye veya kurulum sırasında meydana gelen titreşimler ve darbeler nedeniyle kırılabilir veya laminattaki hücreler kırılabilir. Cam kırılması durumunda, kontrol edilemeyen,

indüklenmiş bir insan hatası olarak kabul edebiliriz. Bununla birlikte, hücre kırılmasının nedenini ortaya çıkarmak çok daha zordur. Görsel olarak görülemez ve çoğu durumda hücre kırılmasının meydana gelmesinden hemen sonra FV modülünün güç derecesi ile tespit edilemez.

Hücre çatlaklarına yol açabilecek bazı tipik durumlar;

- ✓ Bir FV modülünün düşmesi,
- ✓ Taşıma kaplarında gevşek destek,
- ✓ Taşıma sırasında yığındaki en alt FV modülüne temas eden yeterince sağlam olmayan bir palet.

2.4.4 Hava Koşulları

Çevresel faktörler, kar yağışı, bulutlu günler veya yoğun yağış ve büyüyen bir ağacın gölgelenmesi gibi bir Fotovoltaik modülün daha az çıktı üretmesine veya arıza yapmasına neden olabilir. Bir modül arızalanabilir veya modüller arasındaki ara bağlantılar dizinin çalışma noktasını değiştirmiş olabilir. Ancak, güçteki bu azalmaların tümü, asıl nedeninin düzeltilmesi koşuluyla tersine çevrilebilir. Bir yıldırım düşmesinden daha ciddi bir durum ortaya çıkabilir. Bir yıldırım düşmesinin neden olduğu arızalı bir baypas diyotu, modülün tasarlanmamış olduğu harici bir kaynaktan kaynaklanır. Yıldırım çarpmasının neden olduğu tipik indüklenen kusurlar, açık devre baypas diyotları veya doğrudan yıldırım çarpmasıyla vurulan bir Fotovoltaik modülün mekanik kırılmasıdır. Her iki kusur türü de daha sonraki arızalara yol açan sıcak noktalara neden olabilir.

2.4.5 Elektrik Konnektörleri

Fotovoltaik bir arıza olup olmadığı tartışmalı olsa da hızlı bağlantılardan bahsetmek değerlidir. Hızlı bağlantı, güneş modüllerini birbirine, sigorta kutularına, uzatma kablolarına, birleştirici kutulara ve invertöre elektriksel olarak bağlar. Bu unsur, sistemin emniyetli ve güvenilir güç üretimi için çok önemlidir. DC konnektörler, özel

bir kontak çifti türü olarak, fotovoltaik uygulamaların yanı sıra elektrikli otomotiv araçlarıyla ilgili olarak da sıklıkla tartışılmaktadır. Hataların bazıları, farklı tiplerdeki hızlı bağlantıların uyumsuz olmasından veya kurulum yerindeki uzatma kablolarını, sigorta kutularını veya invertörü bağlamak için hızlı bağlantıların yanlış takılmasından kaynaklanır. Kötü takılmış konektörler güç kaybına veya elektrik arklarına neden olabilir (Köntges vd., 2014).

2.4.6 Bağlantı Kutusu

Bağlantı kutusu, modüllerin hücre dizilerinin harici terminallere bağlantısını koruyan, modülün arka tarafına sabitlenmiş olan konteynerdir. Gölge veya koruma durumunda panel performansının düşmesini önlemek için panel bağlantı kutuları diyot içerir (Köntges vd., 2014).

Ortaya çıkan arızalardan bazıları şunlardır:

- 1) Bağlantı kutusunun arka tabakaya kötü sabitlenmesi,
- 2) Kötü üretim süreci nedeniyle açılmış veya kötü kapatılmış bağlantı kutusu,
- 3) Bağlantıların ve dizi ara bağlantılarının korozyonuna neden olan nem girişi,
- 4) Bağlantı kutusunda dahili ark oluşmasına neden olan kötü kablolama.

2.4.7 Bozunma Mekanizmaları

Güneş enerjisi endüstrisi olgunlaştıkça, FV modüllerinin ve invertörler gibi diğer sistem bileşenlerinin uzun vadeli performansı ve güvenilirliği endüstriden artan bir ilgi görmüştür. Fotovoltaik modülleri ile ilgili olarak dikkat edilmesi gereken hususlar arasında, güneş ışığının güne dönüştürülme verimliliği ve verimli dönüşümün ne kadar sürdürüleceği yer alır. Bozulma oranı olarak da bilinen zaman içindeki güç düşüşünün doğru bir ölçümü, özellikle zaman içinde azalan güç çıkışının doğru tahminini gerektiren yatırım getirisini tahmin ederken önemlidir (Jordan ve Kurtz, 2013; Köntges vd., 2014). Ayrıca, belirlenen bozulma oranlarındaki yanlışlıklar, doğrudan

artan finansal riske yol açmaktadır. Tipik olarak, %20'lik bir düşüş bir başarısızlık olarak kabul edilir, ancak arızanın tanımı üzerinde bir fikir birliği yoktur, çünkü %50 oranında düşürülen yüksek verimli bir modül, daha az verimli bir teknolojiden kaynaklanan bozulmamış bir modülden hala daha yüksek bir verimliliğe sahip olabilir (Jordan ve Kurtz, 2013).

2.4.8 Delaminasyon

Yetersiz yapıştırma veya uygun olmayan cam temizliği veya çevresel faktörler gibi kirlilik nedeniyle yapışma tehlikeye girdiğinde, modül içinde katmanlar halinde kırılmalar meydana gelecektir. Bu etki genellikle nem girişi ve korozyonu içerir. Delaminasyon, bir yüzeye veya kaplama katmanları arasında kaplama yapışmasının kaybıdır. Delaminasyon, bir kaplamanın mukavemetini ve dayanıklılığını ve ayrıca malzemenin estetik görünümünü bozma eğilimindedir. FV sistemleri için delaminasyon, güç kaybına, modüllerden akım kaybına ve cam, kapsülleyici, aktif katmanlar ve arka katmanlar arasındaki yapışmanın tehlikeye girmesi nedeniyle seri direncin artmasına yol açan optik yansıma ile sonuçlanacaktır (de Oliveira vd., 2018; Radue ve van Dyk, 2010).

2.4.9 Kapsülleyici Renk Değişikliği

Fotovoltaik modüllerdeki önemli bir bozulma mekanizması, performansını ve güvenilirliğini önemli ölçüde etkileyen kapsülleyicinin fiziksel değişimidir. Ultraviyole emiciler ve diğer kapsülleyici stabilizatörler, modül kapsülleme malzemeleri için uzun ömür sağlar. Bununla birlikte, süzme ve difüzyon yoluyla yavaş tükenme meydana gelir ve konsantrasyonlar kritik bir seviyenin altına düştüğünde, kapsülleyici materyallerde hızlı bozunma meydana gelir (de Oliveira vd., 2018). Özellikle, belirli iklim koşullarında çalışan Silikon modüllerde etilen vinil asetatın (EVA) sararması veya kahverengileşmesi gibi vurgulanan renk bozulması meydana gelebilir. Renk bozulmasının etkisi, hücre modülünün ürettiği akım (I_{ph}) azaltarak, kapsülleyici etilen vinil asetatın (EVA) geçirgenliğinin kaybına neden olur ve böylece fotovoltaik hücre modülü tarafından güneş ışığının soğurulmasının azalmasına ve güç kaybına neden olur (de Oliveira vd., 2018; Radue ve van Dyk, 2010).

2.4.10 Salyangoz İzi Ve Mikro Çatlaklar

Salyangoz izi, güneş pili üretim sürecinde kusurlu ön metalizasyon gümüş macununun kullanılmasına atfedilen panelin renginin bozulmasıdır. Renk değişikliği genellikle görülmeden önce birkaç yıl sürer. Arızalı gümüş pasta, panelde neme yol açarak gümüş pasta ile Etilen Vinil Asetat (EVA) adı verilen kapsülleme malzemesi arasında oksidasyona neden olabilir. Salyangoz izleri, paneldeki mikroskobik çatlakların bir sonucu olarak da ortaya çıkabilir. Bu mikro çatlaklar, Fotovoltaik modüllerin üretimi, nakliyesi veya kurulum sırasında yanlış kullanılması sırasında meydana gelebilir. Güneş pillerindeki küçük mikroskobik yırtıklardır. Genellikle gofret bazlı kristal panellerde meydana gelirler. Mikro çatlaklar herhangi bir hasara neden olmazlar ancak mevsimsel hava koşullarının etkisiyle zamanla daha büyük çatlaklara dönüşerek güç kaybına neden olabilir.

2.4.11 Sıcaklık Döngüsü Testi

Sıcaklık döngüsü, parçaların aşırı düşük ve aşırı yüksek sıcaklıklara dayanma kabiliyetini ve ayrıca bu aşırı sıcaklıklara döngüsel olarak maruz kalmaya dayanma yeteneklerini belirler. Döngüsel termomekanik yüklemekten kaynaklanan mekanik bir arıza, yorulma arızası olarak bilinir, bu nedenle sıcaklık döngüsü, öncelikle yorulma arızalarını hızlandırır.

FV sıcaklık döngü testi, aşırı sıcaklıkları dalgalandırarak güneş panelindeki termal stresleri simüle eden çevresel bir testtir. Sıcaklık döngü testi, test edilecek güneş panelinin -40 ila +90 derece sıcaklık aralığında 200 kata kadar ısıtılan ve soğutulan bir ısı odasına yerleştirilmesiyle gerçekleştirilir. Güneş panelinin bir aşırı sıcaklıktan diğerine sık ve büyük değişikliklere dayanması gerekir (Padi vd., 2021).

2.5 Nem-Donma

Çevre koşullarındaki hızlı değişiklikler, özellikle aşırı hava koşullarında bozulmaya bağlanabilir. FV modüllerde kullanılan bağlantı kutusu ve çerçeve yapıştırıcıları, arka levhalar ve kapsüller gibi çeşitli malzemeler nemi emebilir. Sıcaklıkların genellikle donma koşullarının altına düştüğü bölgelerde, bu nem modül paketinin içinde

donabilir. Bu dondurma işlemi sırasında nemin genleşmesi modül bütünlüğü için çok zararlı olabilir. Buz kristalleri, yapışık arayüzlerin bozulmasına neden olarak delaminasyona veya diğer mekanik arızalara neden olabilir. Hücre metalizasyonunun korozyonu ve alaşımların birbirine bağlanması da bu çevresel değişikliklerden kaynaklanabilir (Poulek vd., 2012).

2.6 Potansiyel Kaynaklı Bozulma

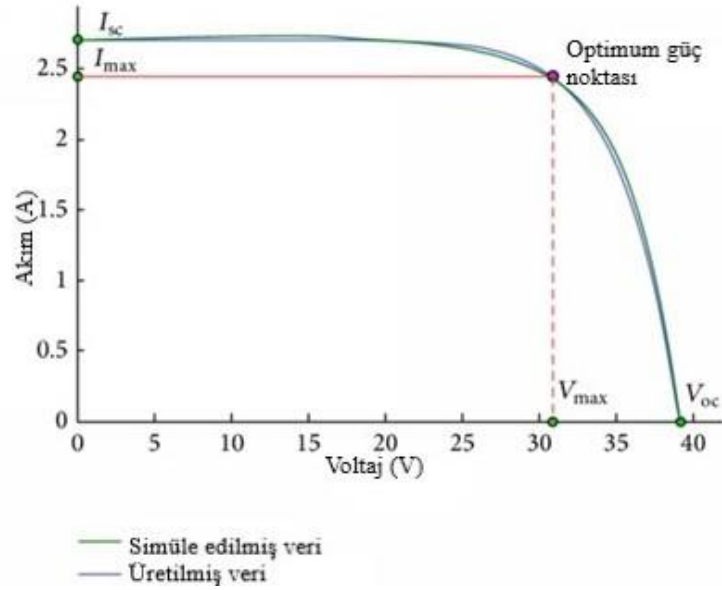
Panel ile topraklama arasında bir voltaj farkı oluştuğunda potansiyel kaynaklı bozulma meydana gelebilir. Çalışma sırasında, modüller seri olarak bağlı olduğundan ve çerçeveler birbirine bağlı olduğundan, hücreler modül çerçevesine göre bir voltaj sapması yaşar. Bazı durumlarda bu, birincil güç devresinde kısmen deşarj olan bir voltaj üretir. Güneş pili ile modül çerçevesi arasındaki elektrik alanı, camda bulunan sodyum iyonlarının voltaj düşüşünün polaritesine bağlı olarak ya hücreye doğru ya da hücreden uzaktaki çerçeveye doğru yayılmasına neden olur. Bu etki, hücre özelliklerine zarar verebilir ve güç çıkışında büyük bir azalmaya neden olabilir. Birkaç sistem tasarımı kararı, sistem topraklama konfigürasyonu gibi hücreler ve çerçeve arasındaki voltajı etkiler (Bae vd., 2017). Güvenlik için güneş paneli topraklanmıştır.

FV modüllerinin dış mekan bozulmasını ve nihai arızasını etkileyen faktörleri anlamak, Fotovoltaik endüstrisinin başarısı için çok önemlidir. Fotovoltaik modül bozulmasından sorumlu olan önemli bir faktör, güneş radyasyonunun Ultraviyole bileşenine maruz kalmaktır.

3. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEME KONTROLÜNÜN PRENSİPLERİ

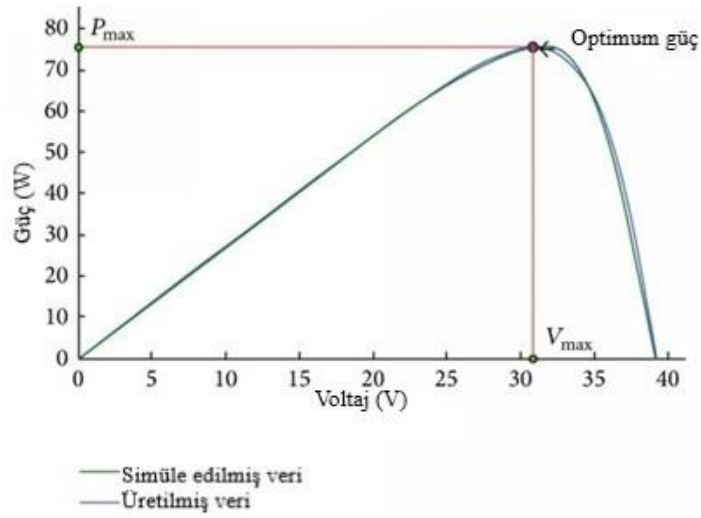
3.1 Fotovoltaik Modülü

FV modülün çalışması, bağlı olduğu yük özelliklerine büyük ölçüde bağlıdır. FV hücre gerilimi ile yüke verdiği akım arasındaki ilişki hücrenin akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristiğini vermektedir. Açık devre gerilimi (V_{oc}), bir güneş pilinden elde edilebilecek maksimum gerilimdir ve sıfır akımda gerçekleşir. Yüke aktarılan gücün maksimum olduğu noktaya maksimum güç noktası denir. FV paneli, Şekil 3.1'deki I_{max} – maksimum (optimum) güç noktası aralığında bir akım kaynağı olarak kısa devre akımına yakın bir akım değerinde çalışacaktır. Şekil 3.1'de ideal bir FV panelinin tipik bir I-V karakteristiği gösterilmektedir (Jakhrani vd., 2014).



Şekil 3.1 FV panelinin akım-voltaj karakteristik eğrileri

Genel olarak elektrik gücü, voltaj ve akımın çarpımının birleşik etkisidir. Şekil 3.2'de ideal bir FV panelinin tipik P-V eğrisi gösterilmektedir (Jakhrani vd., 2014). Bu şekilde güneş hücresinin maksimum güç geriliminin (V_{mp}) olduğunu ve maksimum güç akımının ise (I_{mp}) olduğu görülmektedir. Ayrıca bir güneş hücresinin sabit ışıma altında çıkışında bir adet maksimum nokta oluştuğunu görmekteyiz.



Şekil 3.2 FV panelinin güç-voltaj karakteristik eğrileri

Buna göre güneş ışınlam değeri azaldıkça FV panellerinde oluşan yüksek sıcaklıkların açık devre gerilimini azalttığını ve panelin akım değeri ve geriliminin düşmesine neden olduğu görülebilir. Ayrıca kısa devre akım değeri ve geriliminde yüksek oranda azalmaya, açık gerilim değeri ise çok büyük bir fark olmamaktadır.

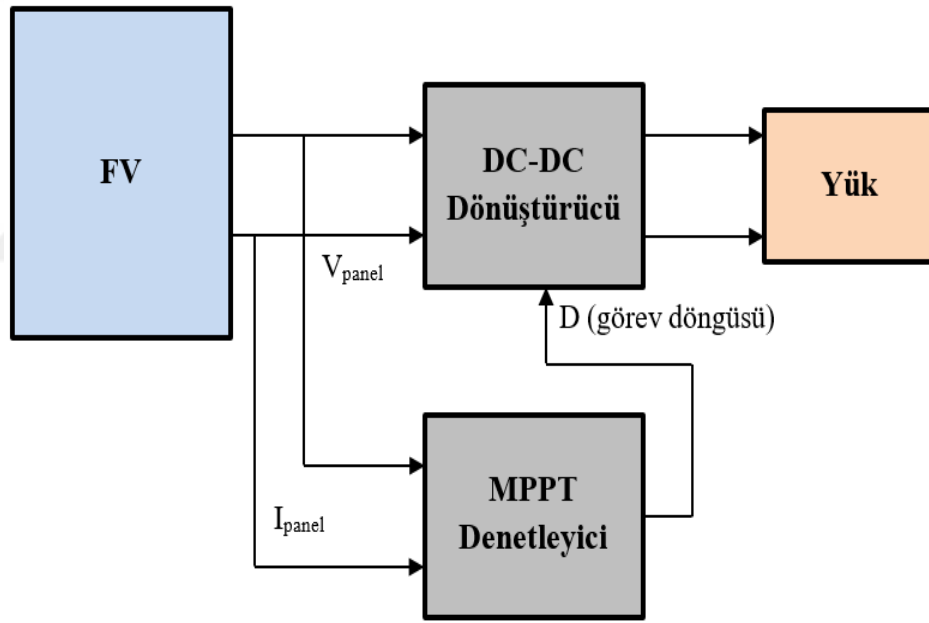
Maksimum güç noktasında, panel akımı ve panel gerilimi maksimumdur. FV hücresinin maksimum güç çıkışı $P_m = I_{mp} \cdot V_{mp}$ şeklindedir. Bu tez çalışmada önerilen sistem için FV panel özellikleri, Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1 Farklı ışınlam seviyeleri için FV panel özellikleri

Parametreler	Değeri
V_{OC} ’nın sıcaklık katsayısı (T_{oc})	$-(70 \pm 10) \text{ mV}/^\circ\text{C}$
Maksimum Güç Noktası (P_{MPP})	60 W
I_{SC} ’nın Sıcaklık Katsayısı (T_{sc})	$(0.075 \pm 0.010)\%/^\circ\text{C}$
P_{MPP} ’deki Voltaj (V_{MPP})	17,2 V
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	22,2 V
I_{MPP} ’deki Voltaj (I_{MPP})	4,95 A
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	5,45 A

3.2 Maksimum Güç Noktası İzleme Kontrolü

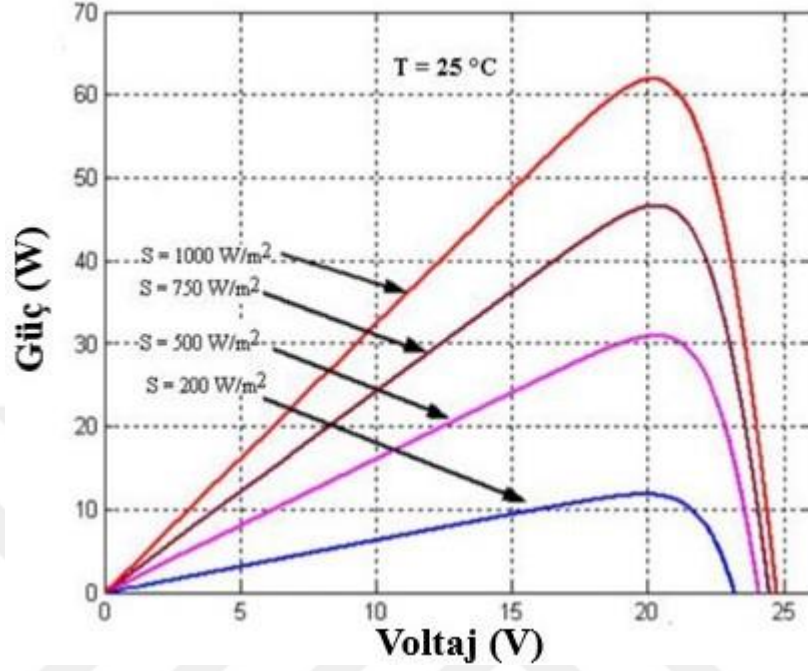
Gelen güneş enerjisinden maksimum gücü çıkarmak için, her çevresel koşulda FV hücreden maksimum gücü takip etmek çok önemlidir. MPPT’de temel sorun, bir DC-DC dönüştürücü ve MPPT algoritmalarla beslenen akıllı bir denetleyici aracılığıyla maksimum gücü izlemektir. Aslında, iç direnci R_i olan bir yük için, optimal adaptasyon sadece MPP olarak adlandırılan ve maksimum güç (P_{max}) olarak belirtilen belirli bir çalışma noktasında gerçekleşir. Şekil 3.3, FV tarafından üretilen voltajı yükseltmek için bir kontrol edilebilir. Doğru Akım (DC)-DC dönüştürücü ve şebekeye güç sağlamak için bir evirici içeren FV güç sisteminin genel yapısını göstermektedir (Boehinger, 1968). MPPT yapısında DC-DC dönüştürücü vardır ve güneş paneli ile yük arasında görev yapmaktadır.



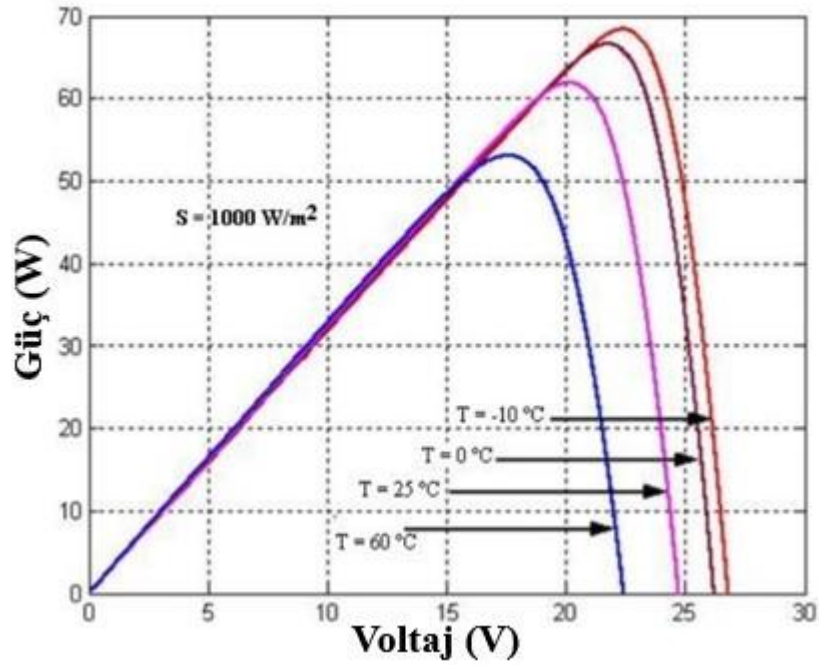
Şekil 3.3 FV sisteminde MPPT’nin genel diyagramı

Ayrıca bir FV sisteminin özellikleri, sıcaklık ve güneşlenme ile değişir. Bu özellikler ile ilgili örnekler sırasıyla Şekil 3.4 ve Şekil 3.5’de gösterilmiştir (Cheikh vd., 2007). Bu nedenle, MPPT denetleyicinin ayrıca sıcaklık ve/veya güneşlenme değişimi meydana geldiğinde ilgili eğrisinde yeni değiştirilmiş maksimum güç noktasını izlemesi gerekir.

Son yıllarda bu amaçla birçok MPTT kontrol tekniği tasarlanmıştır (Knopf, 1999; Salas vd., 2006).



Şekil 3.4 Sabit sıcaklık için güneş radyasyonunun etkisi



Şekil 3.5 Sabit güneşlenme için bağlantı sıcaklığının etkisi

Şu şekilde sınıflandırılabilirler:

- ✓ DC-DC dönüştürücünün darbe genişliği modülasyonu kontrol sinyalini üretmek için FV çalışma voltajını bir referans voltajıyla karşılaştıran voltaj geri besleme tabanlı yöntemler.
- ✓ Maksimum güce karşılık gelen optimum akımı tahmin etmek için FV modül kısa devre akımını geri besleme olarak kullanan akım geri besleme tabanlı yöntemler.
- ✓ FV modülünün akım ve gerilim ölçümü yoluyla MPP'yi sürekli olarak izlemek için yinelemeli algoritmalara dayanan güç tabanlı yöntemler.

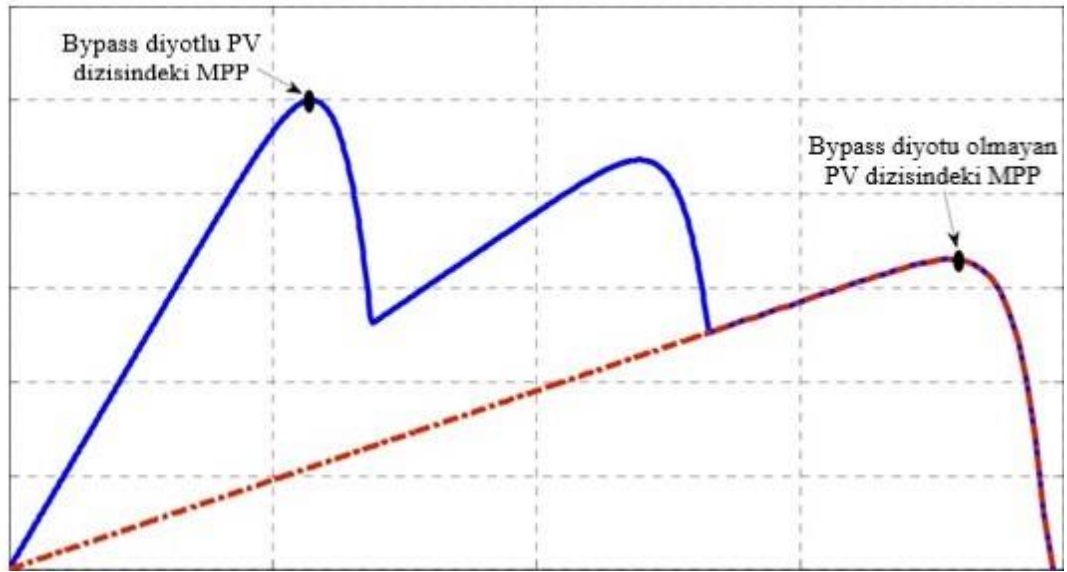
Bir FV hücresinin FV performansı aşağıda sıralandığı gibi bazı parametreleri kapsamaktadır (Chikate vd., 2015):

- ✓ Kısa devre akımı (I_{sc}): FV hücresinden geçen voltaj sıfır olduğunda FV hücresinden geçen akımdır. Kısa devre akımı, ışıkla üretilen taşıyıcıların üretilmesi ve toplanmasından kaynaklanmaktadır. En ılımlı direnç kaybı mekanizmalarına sahip ideal bir güneş pili için, kısa devre akımı ve üretilen ışık akımı aynıdır. Bu nedenle kısa devre akımı güneş pilinden çekilebilecek en büyük akımdır (İbrahim vd., 2011).
- ✓ Açık devre gerilimi (V_{oc}): Bir güneş pilinden elde edilebilecek maksimum voltajdır ve bu, sıfır akımda gerçekleşir. Açık devre gerilimi, güneş pili bağlantısının ışık tarafından üretilen akımla yanlılığından dolayı güneş pili üzerindeki ileri önyargı miktarına karşılık gelir (Arora ve Hauser, 1982).
- ✓ Doldurma Faktörü (FF): Gerçek güneş pilinden ideal güneş pilinden maksimum güce kadar olan maksimum güç olarak tanımlanır. Zaman geçtikçe FV eğrisi bozulur. Periyodik olarak hücre kalitesini kontrol etmek esastır. Hücrenin kalitesi, doldurma faktörü ile belirlenir.
- ✓ Verimlilik (η): Güneş pilinden çıkan enerjinin güneşten gelen enerjiye oranı olarak tanımlanır. Verimlilik, güneş pilinin performansını yansıtan yanı sıra, gelen güneş ışığının spektrumuna ve yoğunluğuna ve güneş pilinin

sıcaklığına da bağlıdır. Bu nedenle, bir cihazın performansını diğeriyle karşılaştırmak için verimliliğin ölçüldüğü koşullar dikkatli bir şekilde kontrol edilmelidir.

- ✓ Performans oranı (PO): Gerçek ve teorik olarak olası enerji çıktılarının oranıdır. Bir FV tesisinin oryantasyonundan ve FV santraline gelen güneş ışınımından büyük ölçüde bağımsızdır. Bu nedenle performans oranı, dünyanın her yerindeki farklı konumlarda şebekeyi besleyen FV santrallerini karşılaştırmak için kullanılabilir (Dierauf vd., 2013).

Fotovoltaik hücresinin maksimum verimlilikte çalıştığı I-V eğrisi üzerinde benzersiz bir maksimum güç noktası (MPP) bulunmaktadır. Ancak kısmi gölgeleme koşulları altında, bu karakteristik eğriler daha karmaşık hale gelir ve Şekil 3.6’de görüldüğü gibi birden fazla tepe görünebilir (Seyedmahmoudian vd., 2013).



Şekil 3.6 Kısmi gölgeleme koşullarında akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristik eğrileri

FV sistemden çıkarılan çıkış gücü, bir güneş ışınımı ve bir sıcaklık ile temsil edilen iklim koşullarından etkilenir. Bu nedenle, literatürde şimdiye kadar FV panel güç çıkış verimliliğini artırmak için birçok yöntem önerilmiştir (Babaa vd., 2014). Ancak bu yöntemlerden bazılarında MPP ile ilgili salınımlar ve yavaş izleme hızı gibi dezavantajlar ile karşılaşılabilir. Ayrıca hızla değişen hava koşulları ile birlikte güneş

panellerinde ortalama ortam ısısı, ortalama panel ısısı, solar ışıınım, rüzgar hızı gibi girdiler olumsuz etkilemektedir (Jain ve Agarwal, 2004). Yapay sinir ağı (YSA) tabanlı MPPT algoritması, YSA'ların gürültü reddetme özelliği gibi avantajlarından yararlanır ve FV sistemi ile ilgili fiziksel parametreler hakkında önceden bilgi sahibi olmayı gerektirmez. YSA, bir dizi giriş ve çıkış parametresi arasındaki korelasyonu tahmin etmek için biyolojik sinir ağı işlevini ilkelerini kullanır (Alsarrar vd., 2021; Gültepe ve Duru, 2018). Veligorskyi vd. çalışmasında, fotovoltaik panellerin düzgün olmayan ışıma koşulları altında maksimum güç noktasını izlemek için YSA tabanlı kontrol şemasına sahip yeni bir MPPT algoritması uygulanmıştır (Veligorskyi vd., 2015). Konvansiyonel arama yöntemleriyle karşılaştırıldığında, YSA tabanlı yöntemlerin, MPP'lerin doğrudan sinir ağı çıktısından elde edilmesinden dolayı, çevresel koşullardaki hızlı değişikliklere yanıt olarak MPP'leri hızlı ve doğru bir şekilde izleyebildiği gösterilmiştir (Kulaksız, 2007, Rai vd., 2010).

FV hücreleri güneş ışığını doğrudan DC elektrik enerjisine dönüştürür. DC-DC dönüştürücüler, doğru enerji dönüşümleri için güneş FV sistemi, rüzgar enerjisi sistemi ve yakıt hücresi gibi yenilenebilir enerji üretim sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. DC-DC dönüştürücüler, fotovoltaik uygulamalarda FV modülü ile yük arasında bir bağlantı olarak kullanılır. Maksimum gücü çıkarmak için yükün bir FV panelinin akımına ve voltajına uyması gerekir. Doğrudan fotovoltaik panele bağlanmalı ve maksimum güç noktasını elde etmek için işlem gerçekleştirmelidir (Kotak ve Tyagi, 2013).

Güneş panellerinin verimliliğini arttırmak için kullanılan birçok MPPT algoritmaları vardır. Kullanılan MPPT algoritmaları geleneksel MPPT algoritmaları ve zeki MPPT algoritmaları olarak iki çeşittir (Motahhir vd., 2019). Bu tez çalışmasında geleneksel MPPT algoritmalarından P&O yöntemi ve zeki MPPT algoritmalarından bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır.

4. BULANIK MANTIK TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ

Bulanık mantık, modern bilgisayarın dayandığı olağan “doğru veya yanlış” (1 veya 0) bulanık mantığından ziyade “doğruluk derecelerine” dayalı bir hesaplama yaklaşımıdır. Bu mantık, kısmi doğruluk kavramını uygulamak için kullanılır, böylece doğruluk derecesi tamamen doğru ile tamamen yanlış arasında herhangi bir değer alabilir (Akram ve Luqman, 2020; Tashtoush vd., 2020). İlk olarak Lotfizadeh (1965) tarafından bulanık küme teorisinin geliştirilmesinin ardından yeni hesaplama sahnesinde ortaya çıktı (Zadeh vd., 1996; Zadeh ve Live, 2019).

Bulanık Mantık, yapay zeka üzerine odaklanmıştır. Bulanık mantık, beynimizin çalışmasına benzer çıktılar üretilmeye çalışılır. Bulanık mantık kontrolü üç seviyede uygulanır: Bulanıklaştırma, bulanık kontrol kuralları ve durulaştırma. Bulanıklaştırma aşamasında, kesin değerler bir üyelik fonksiyonuna bağlı olarak bulanık değerlere dönüştürülür. Bulanık kontrol kuralları, denetleyici tutumunu açıklamak için bir dizi eğer-iyi ifadesiyle tanımlanır. Durulaştırma aşamasında, bulanık değerler, üyelik fonksiyonuna dayalı sayısal bir değışkene kesin değerlere dönüştürülür. Bulanık mantık denetleyicileri, çok uyarlanabilir bir eğer-o halde (if-then) kuralları kümesidir. Çözüm, mevcut üyelik fonksiyonlarına uygulanır (Arpacı vd., 2019).

Bulanık mantık sistemleri, bulanık mantığın esnek hesaplama özellikleri sayesinde yükte veya değışken atmosfer koşullarında maksimum güç noktasına daha hızlı ulaşır. Ancak MPPT tabanlı bulanık, maksimum güç noktasına ulaştıktan sonra salınımsız veya ihmal edilebilir seviyeyi takip eder. Bu sistem farklı çevre koşullarını daha hızlı takip ederek maksimum güç noktasına hızla ulaşır. Bu nedenle, sistemin verimliliğı diğer sistemlerden daha iyidir.

4.1 Bulanık Denetleyici Kullanan Fotovoltaik Sistemlerin Maksimum Güç Noktası Takibi

FV sistemi doğal olarak radyan yoğunluğu, hücre sıcaklığı ve güneş panellerine bağlı yük ile değışen doğrusal olmayan bir I-V ve P-V özellikleri sergiler. Bu nedenle, FV hücrelerinin farklı çalışma koşullarında maksimum güç vermeye devam etmesi için

MPPT yöntemi gereklidir. Maksimum güç noktası izleme sistemi, voltajı çıkış gücünü maksimize eden değerde tutarak güneş panelinin çıkış voltajını telafi etmek için DC'den DC'ye dönüştürücü kullanır. MPPT için kullanılan en yeterli kontrol stratejilerinden biri, son on yılda birçok araştırmacının dikkatini çeken Bulanık Mantık Denetleyicisidir (FLC). MPPT için yükseltici dönüştürücüyü kontrol etmek için dilsel kurallar kontrol stratejisine dayalı FLC uygulanır.

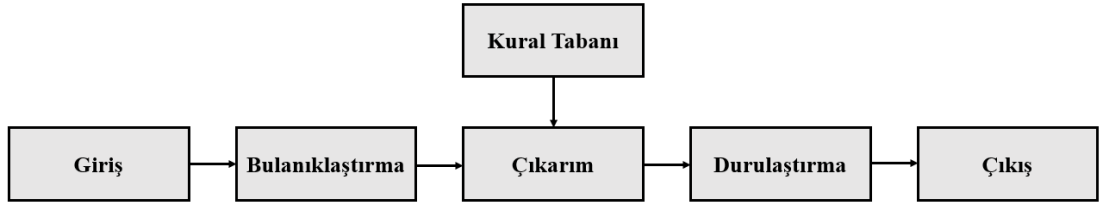
MPPT bulanık mantık denetleyicisi, güneş panelinin çıkışındaki voltaj ve akımın değerlerini ölçer, ardından denetleyicinin girişlerini çıkarmak için ($P=V \cdot I$) bağıntısından gücü hesaplar. Denetleyicinin çıkışı, darbe genişlik modülasyonunun görev döngüsünü temsil eder.

4.2 Maksimum Güç Noktası Takibi İçin Bulanık Mantık Denetleyicisi

Bulanık mantık denetleyicisi (FLC), kesin olmayan girdilerle çalışır, doğru bir matematiksel modele ihtiyaç duymaz ve doğrusal olmamayı iyi bir şekilde işleyebilir. FLC, geleneksel doğrusal olmayan denetleyiciye kıyasla daha sağlamdır. FLC'nin çalışması Şekil 4.1'de gösterildiği gibi bulanıklaştırma, kural tabanı, çıkarım motoru ve bulanıklaştırmadan arındırma olmak üzere 4 sınıflandırmaya sahiptir (Prakash vd., 2014). FLC'nin girişleri, güçte değişim (P_{pv}), akımdaki değişim (I_{pv}) güneş pilinden basit k zamanında kullanılırken, FLC'nin çıkışı V_{pv}^* veya V_{pv} referans voltajı olup Denklem 4.1 ile tanımlanan hata sinyali $E(k)$ ve FLC'den Denklem 4.2'deki hata sinyalindeki değişim üretir.

$$E(K) = \frac{P_{pk(k)} - P_{pv(k-1)}}{I_{pv(k)} - I_{pv(k-1)}} \quad (4.1)$$

$$dE(k) = E(k) - E(k - 1) \quad (4.2)$$



Şekil 4.1. Bulanık mantık kontrolünde ana bileşenler

Soufi vd. (2014) çalışmasında bulanık mantık algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritma ile boost dönüştürücünün görev döngüsünü kontrol ederek FV dizisinin doğrusal olmayan karakteristiğinin MPP'sini izlemek için FV'in MPPT'sinin bulanık kontrolü yoluyla yüksek performans elde edilmiştir. Bulanık mantık için örnek bir kural olarak; “Görev döngüsündeki (DC) son değişiklik gücün yükselmesine neden olduysa, görev döngüsünü (DC) aynı yönde hareket ettirmeye devam edin; aksi halde gücün düşmesine neden olduysa ters yönde hareket ettirin.” verilebilir (Soufi vd., 2014).

4.3 Üyelik İşlevleri

Üyelik işlevleri, bir bulanık mantık sisteminin bulanıklaştırma ve durulaştırma adımlarında, bulanık olmayan girdi değerlerini bulanık dilsel terimlerle eşleştirmek için kullanılır ve bunun tersi de geçerlidir.

Üyelik derecesi $\mu_A(x)$, x ögesinin bulanık bir $\tilde{A}$ kümesine üyeliğini gösterir. Koleksiyondaki bir elemanın üyelik derecesi sıfır ise o üye tamamen koleksiyon dışındadır ve bir üyenin üyelik derecesi bire eşitse o üye tamamen koleksiyondadır. Bir üyenin üyelik değeri, sıfır ile bir arasında ise bu değer kademeli üyeliği gösterir (Zadeh vd., 2018).

4.4 Kontrol Kuralları

Bulanık kontrol kuralları, sistem davranışı analiz edilerek çıkarılır. Dinamik yanıt ve sağlamlık açısından izleme performansını iyileştirmek için farklı çalışma koşulları göz önünde bulundurulur. Bulanık kontrol sistemi, bulanık mantığa dayalı bir kontrol sistemidir - klasik veya dijital mantığın aksine, 0 ile 1 arasında sürekli değerler alan

mantıksal değişkenler açısından analog giriş değerlerini analiz eden matematiksel bir sistemdir. Algoritma şu şekilde açıklanabilir: İzleme işlemi, bir başlangıç görev çevrimi olan $D=0$ ile başlatılır. Daha sonra dönüştürücü her örnekte giriş akımı (I_m) ve voltaj (V_m) ölçülür. Ve bulanık sisteme önceden girilmiş olan tahmini değerlere dayalı olarak, dönüştürücünün o anda maksimum güç çıkışını verebilecek görev döngüsü algılanır. Bu işlem, güç maksimum değere ulaşana ve sistem kararlı hale gelene kadar sürekli olarak kendini tekrar eder (Hamed ve El-Mogany, 2012).

Bulanık kontrol, IF-THEN ifadeleri biçimindeki bir mantık kuralları koleksiyonuna dayanır; burada IF kısmına “önceki” ve THEN kısmına “sonuç” denir. Tipik bulanık kontrol sistemlerinin onlarca kuralı vardır. Bir termostat için aşağıdaki gibi bir kural verilebilir:

IF (sıcaklık “soğuk ise) THEN çevirin (ısıtıcı “yüksek”)

4.5 Maksimum Güç Noktası Takibi Algoritmaları

Maksimum güç noktasını elde etmek için kullanılan birkaç algoritma vardır. Popüler algoritmaların çoğu aşağıda verilmiştir. (Arpacı vd., 2019)

- ✓ Sabit Gerilim / Akım
- ✓ Değiştir ve Gözle yöntemi
- ✓ Artımlı İletkenlik yöntemi,
- ✓ Yapay Sinir Ağı yöntemi,
- ✓ Bulanık Mantık Denetleyicisi
- ✓ Uyarlanabilir Nöro-Bulanık Çıkarım Şeması
- ✓ Sezgisel Algoritmalar

Özel gereksinime dayalı olarak FV sistemleri için belirli bir MPPT tekniği kullanılabilir. Tablo 4.1’de gereksinimlere göre en çok kullanılan dört yöntem arasından en uygun yöntemi seçmek için kullanılabilecek bir karşılaştırma tablosu sunulmuştur.

Tablo 4.1 FV sistemleri için MPPT yöntemlerinin özelliklerinin karşılaştırılması

MPPT Yöntemi	Hız	Karmaşıklık	Kullanılan Sensörler	Gerçek MPPT	Güvenilirliği
Değiştir ve Gözle	Değişir	Düşük	Akım ve Gerilim	Evet	Düşük
Artımlı İletkenlik	Değişir	Orta	Akım ve Gerilim	Evet	Orta
Bulanık Mantık Denetleyicisi	Hızlı	Yüksek	Değişir	Evet	Yüksek
Yapay Sinir Ağı	Hızlı	Yüksek	Değişir	Evet	Yüksek

5. SİMÜLASYON SONUÇLARI

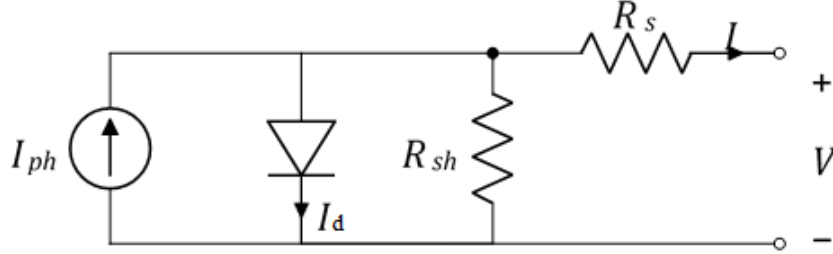
Tez çalışmasının bu bölümünde güneş enerjisi sistemleri üzerinde gerilim ve akım değerleri için en iyi değeri bulmada kullanılan maksimum güç noktası izleme yöntemi ile geliştirilen uygulamadan elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Günümüzde en çok kullanılan, doğrusal ve doğrusal olmayan bileşenlerden oluşan modelleme yaklaşımı olan eşdeğer elektrik devresidir. Eşdeğer elektrik devresi modelinin kullanılmasının başlıca avantajı, MATLAB, Visual Basic, C gibi programlama dillerinde kullanılabilirliğidir (Çelik ve Koç, 2020). Bir güneş pili modeli tanımlamak için hücreyi eşdeğer bir elektrik devresi olarak göstermek gerekir.

Literatürdeki çalışmaların temelinde yarı iletken kristali birden fazla n veya p tipi alana sahip olan ve yarı iletkenlerin kullanışlı elektronik özelliklerinin oluşmasını sağlayan; bu alanlar arasında oluşan p-n bağlantılarından kaynaklanan doğrusal olmayan davranışları temsil etmek için çok sayıda elektrik modüllerin simülasyonları geliştirilmiştir. FV modüllerin simülasyonları sayesinde enerji dönüşümde ortaya çıkacak olan olumlu veya olumsuz etkilerde bulunan parametrelerin testleri yapılmaktadır.

5.1 Güneş Pili Devre Modeli

Fotovoltaik güneş pilinin modellenmesinde tek diyot ve çift diyot devre modelleri kullanılmaktadır. Bir güneş pili geleneksel olarak bir akım kaynağı, bir anti-paralel diyot, bir seri direnç ve bir şönt direncinden oluşan eşdeğer bir devre ile temsil edilir. FV hücreler yüke uygun olacak şekilde akım ve gerilimi artırmak için paralel ve seri bağlanmalıdır. FV dizisindeki bir veya daha fazla FV hücresi, FV dizisinin geri kalanından daha düşük radyasyona maruz kaldığında kısmi gölgeleme meydana gelir. Bir veya daha fazla seri FV hücresinde kısmi gölgeleme meydana gelirse, kısmi gölgeleme FV hücresini üretilen akımdan daha yüksek akımla çalışmaya zorlayacak ve diğer FV hücre için bir yük görevi görecektir. Şekil 5.1’de bu tez çalışmasında simülasyon ortamında FV paneli için kullanılan FV hücresinin devre modeli gösterilmiştir. Bu devre modeli, bir akım kaynağı, akım kaynağına paralel bağlı direnç

ile diyot ve oluşan yapıya seri bağlı bir direç ile ifade edilmiştir. Ayrıca farklı sıcaklık ve ışınlama değerlerinde test edilmiştir.



Şekil 5.1 FV modeli

5.1.1 Güneş Pilinin Özellikleri

FV panelleri için genel olarak; açık devre gerilimi (V_{oc}), kısa devre akımı (I_{sc}), maksimum güç noktası akımı, voltaj ve açık devre gerilimi (T_β) ve kısa devre akımının sıcaklık katsayıları (T_α) gibi parametreler kullanılmaktadır. Üretici tarafından FV panelleri kullanılan gerçekleştirilen çalışmalarda deneysel verilerin karşılaştırılmasında bir dizi ışınlama seviyeleri ve hücre sıcaklıkları boyunca öngörülen I-V eğrileri, P-V eğrileri, maksimum güç noktası, kısa devre akımı ve açık devre gerilimi koşulları parametre olarak kullanılmaktadır.

Şekil 5.1'deki bu devreye Kirchoff'un akım kanunu uygulandığında Denklem 5.1 ve Denklem 5.2 yazılabilir (Naidu ve Mohan, 2013). Denklem 5.1'den anlaşılacağı üzere FV hücre çıkış akımı (I_{pv}) yaklaşık olarak hücre tarafından üretilen akım (I_{ph}) ile diyot akımının (I_d) farkına eşittir.

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (5.1)$$

$$I = I_{ph} - I_d - \left(\frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \right) \quad (5.2)$$

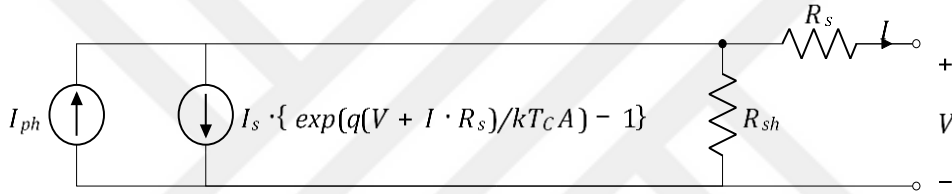
Denklem (5.3)'de verilen diyot akımı Shockley diyot denklemi ile ifade edilmektedir. Burada; I_0 diyot ters doyum akımını, q bir elektron yükünü ($1,6022 \cdot 10^{-19}$ C), k Boltzmann sabitini $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K, T Kelvin cinsinden hücre sıcaklığını ifade

etmektedir. Bu denklemdeki n ise diyotun ideal faktörü olup, 1-2 arasında değerler almaktadır.

$$I_d = I_0 \left(e^{\frac{q \cdot V_d}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) = I_0 \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I_{pv} \cdot R_s)}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (5.3)$$

Denklem 5.3 ile belirtilen bu devrede diyot, akım kontrollü bir akım kaynağı görevi görür. Şekil 5.1'deki FV hücre modeli, Şekil 5.2'deki gibi yeniden yazılabilir. FV devre modeli için çıkış akımı ise Denklem 5.4'deki gibi formüle edilmiştir.

$$I = I_s \left[\exp \left(\frac{q \cdot (V + I \cdot R_s)}{k T_c A} \right) - 1 \right] - \frac{V + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (5.4)$$



Şekil 5.2 Güncellenmiş FV modeli

Burada;

I = Çıkış akımı,

I_{ph} = Akım kaynağı,

I_d = Diyot doygunluk akımı,

V = Gerilim,

R_s = Seri direnç,

R_{sh} = Şönt direnci,

q = Elektron yükü,

k = Boltzman sabiti,

T_c = hücre sıcaklığı

A = İdeallik faktörü

Bu tez çalışmasında aşağıdaki ışınlama değerlerini ve aşağıdaki MATLAB kodlarında gösterilen diğer parametreler kullanılmıştır:

$I_{rr} = [250 \ 450 \ 650 \ 850 \ 1000];$

%% FV Panel Sabitleri

$K = 1,38065e-23;$ *% Boltzmann sabiti*

$q = 1,602e-19;$ *% Elektronun Yüğü*

$I_{scn} = 8,21;$ *% İstenilen Kısa Devre Akımı*

$V_{ocn} = 3,9;$ *% İstenilen Açık Devre Gerilimi*

$K_v = -0,123;$ *% Sıcaklık Voltaj Sabiti*

$K_i = 0,0032;$ *% Sıcaklık Akım Sabiti*

$N_s = 54;$ *% Seri Bağlı Hücre Sayısı*

$T = 45+273;$ *% Kelvin cinsinden Çalışma Sıcaklığı*

$T_n = 30+273;$ *% STC'de Sıcaklık (Standart Test Koşulları)*

$G_n = 1000;$ *% STC'de ışıma ((W/m²))*

$a = 2,0;$ *% Diyot İdeallik Sabiti[1<a<2]*

$E_g = 1,2;$ *% STC koşulunun Sıcaklığında silikonun Bant Boşluğu [25°C]*

$G = 1000;$ *% Actual Irradiance ((W/m²))*

$R_s = 0,221;$ *% Series Resistance of Equivalent FV cell*

$R_p = 415,405;$ *% Parallel Resistance of Equivalent FV cell*

5.1.2 FV Hücresinin Ürettiği Akım

FV hücresinin ürettiği akım (I_{ph}), güneş radyasyonunun yoğunluğundan elde edilen akımdır. Sıcaklık ve yoğunluk seviyesine bağlıdır. Denklem 5.5'de formülü gösterilmiştir.

$$I_{ph} = I_{sc} + k_i(T - T_n) \frac{G}{G_n} \quad (5.5)$$

Burada,

G = Güneş ışınlamı

$G_n = 1000 \text{ W/m}^2$ 'de nominal güneş ışınlamı

T_c = Hücre sıcaklığı

T_n = Nominal Sıcaklık

k_i = Sıcaklık akım katsayısı

I_{sc} = Kısa devre akımı

5.1.3 Kısa Devre Akımı

Kısa devre akımı, hücrenin terminalleri $V=0$ vererek kısa devre olduğunda elde edilir. Hücrenin aydınlatma yoğunluk değeri ile doğrusal olarak büyür. Kısa devre akımının formülü, Denklem 5.6'da gösterilmiştir.

$$I_{sc} = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{I_{sc} \cdot R_s}{n \cdot a} \right) - 1 \right] - \frac{I_{sc} \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (5.6)$$

Direnç kayıpları mekanizmalarının küçük olduğu ideal bir güneş pili için, kısa devre akımı ve fotoakımı yaklaşık olarak aynıdır. Bu nedenle kısa devre akımı güneş pilinden çekilebilecek en büyük akımdır. R_{sh} 'nin R_s 'den çok daha büyük olduğu ve I_s 'in I 'e kıyasla çok küçük olduğu varsayımı alındığında, son iki terim ihmal edilebilir (Denklem 5.7) :

$$I_{sc} \approx I_{ph} \quad (5.7)$$

Kısa devre akımı, hücrenin alanı, foton sayısı, güneş pilinin soğurma ve yansıtma kapasitesi ve güneş pilinin toplama kapasitesi gibi bir dizi faktöre bağlıdır.

5.1.4 Sıcaklık

Hücre sıcaklığındaki değişiklik, ortam sıcaklığındaki değişikliklerin yanı sıra güneş ışınlamının yoğunluğundaki değişikliklerden dolayı meydana gelir, Denklem 5.8’de şu şekilde tanımlanmıştır:

$$T = T_{amb} + \left(\frac{NOCT - 20^{\circ}C}{0,8} \right) \cdot G \quad (5.8)$$

burada,

T_{amb} : Ortam sıcaklığı,

NOCT: Nominal çalışma hücre sıcaklığı,

G = Güneş ışınlamıdır.

Bu tez çalışmasında FV hücre sıcaklığının hesaplanmasında Denklem 5.8’deki verilen formül kullanılmıştır.

5.1.5 Açık Devre Gerilimi

Açık devre gerilimi, dış devreden hiçbir akımın geçmediği gerilimdir. Bir güneş pilinin verebileceği maksimum voltajdır. Açık devre gerilimi, hücreden geçen akım sıfır olduğunda hücre uçlarında görülen gerilimdir. Enerji bariyerine ve şönt direncine bağlıdır. Sıcaklıktaki artışla azalır ve ışık yoğunluğu ile çok az değişir. Tez çalışmasında hücreden geçen akımın sıfır olması ($I = 0$) durumu için Denklem 5.9, kullanılmıştır.

$$0 = I_{ph} - I_s \left[\exp \left(\frac{q \cdot V_{oc}}{k T_c A} \right) - 1 \right] - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \quad (5.9)$$

5.1.6 Diyot Doygunluk Akımı

Diyottan geçen sızıntı (ters koyma) akımı, verilen hücre sıcaklığına göre değişir. Tez çalışmasında diyottan geçen sızıntı akım, Denklem 5.10 ile hesaplanmıştır.

$$I_s = I_{rs} \left[\frac{T}{T_n} \right]^3 \exp \left[\frac{q \cdot E_{go}}{n \cdot k} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_n} \right) \right] \quad (5.10)$$

Benzer şekilde, STC’de sızıntı akımını, I_{rs} olarak alabiliriz.

Burada;

q = electron yükü = $-1,6 \times 10^{-19}$ Coulomb (SI birimi)

N_s = bağlantılı hücrelerin sayısı

k = Boltzmannın sabiti= $1,3805 \times 10^{-23}$ J/K

5.1.7 Maksimum Güç

FV hücresi tarafından sağlanan güç, panelin V ve I değerine bağlıdır. Hem açık hem de kısa devre koşullarında verilen güç sıfırdır. Bir güneş pilinin maksimum gücünün I - V karakteristikleri, karakteristik eğrinin bükülme noktasında meydana gelecektir. Bir FV hücresinin verebileceği maksimum akım miktarı kısa devre akımıdır. Sıfırdan maksimum güç noktası voltajına kadar olan voltaj aralığındaki akımın doğrusallığı göz önüne alındığında, kablo ve sistem boyutlandırması için kısa devre akımının kullanılması mantıklıdır.

Hücre akımı, FV hücresine düşen ışıınım miktarına ve hücrenin sıcaklığına bağlı olduğundan, maksimum güç varyasyonlara bağlı olarak değişecektir. Işıınım azalması sadece güç miktarını etkilemekle kalmaz, aynı zamanda tepe güç noktası sola doğru hareket ederdi. Hücrenin sıcaklığı artarken güç çıkışı düşer ve maksimum güç noktası tekrar sola kayar. Bu bağımlılıklar nedeniyle, son invertörler (güç çevriciler), bu

hareketi izleyen ve muhtemelen maksimum güç sağlayan “maksimum güç noktası takibi” adı verilen mekanizmalara sahiptir.

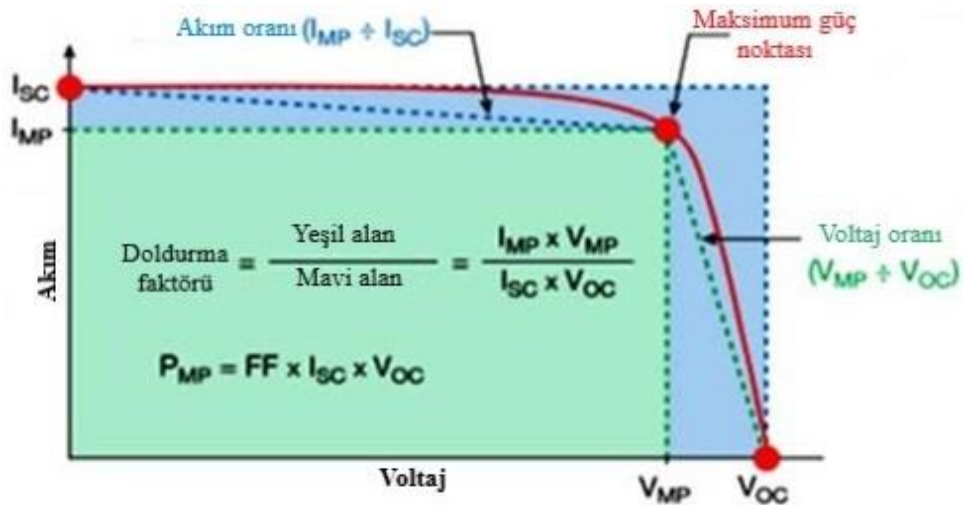
5.1.8 Doldurma Faktörü

Doldurma Faktörü (FF), V_{oc} ve I_{sc} ile birlikte bir güneş pilinden gelen maksimum güç belirlenirken birkaç öncemli I-V eğrisinden değerleri belirlenen parametrelerden birisidir. Grafikselsel olarak, FF güneş pilinin “kareliğinin” bir ölçüsüdür ve aynı zamanda I-V eğrisine uyan en büyük dikdörtgenin alanıdır.

FF, Şekil 5.3’de gösterilmiştir (Al-Jumaili vd., 2019). FF, ışıının yoğunluğuna ve parazit direncinin etkisine bağlı olarak biraz artar veya azalır. FF, güneş pilinden gelen maksimum gücün V_{oc} ve I_{sc} ürününe oranı olarak tanımlanır. Denklem 5.11’de FF formülü verilmiştir.

$$FF = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{I_{sc} \cdot V_{oc}} \quad (5.11)$$

FF, I-V eğrisinin “kareliğinin” bir ölçüsü olduğundan, daha yüksek voltajlı bir güneş pili, I-V eğrisinin “yuvarlak” kısmı daha az alan kapladığından daha büyük bir olası FF’ye sahiptir. Bir güneş pilinden maksimum nokta için FF, bir güneş pilinden gelen gücün gerilime göre farklılaştırılması ve bunun sıfıra eşit olduğu yerin bulunmasıyla belirlenebilir (Islam, 2014).



Şekil 5.3 Güneş modelinin doldurma faktörü

5.1.9 Verimlilik

FV hücre ve modül verimleri birbirinden farklı anlamlar taşır. Bireysel bir FV hücrenin verimi, FV modül veriminden daha yüksektir. Güneş enerjisi, güneş hücresinin yapısına bağlı olarak %5 ile %20 arasında bir verimle elektriğe dönüştürülebilir. Verimi %10'un altında olan güneş hücreleri, uygulamada verimli ve ekonomik değildir. Yarı iletken güneş hücrelerinin verimi; laboratuvar koşullarında %10-30, uygulamada ise %5-20 arasında değişir. Uygulama koşullarında verimi %15 olan güneş hücresi iyi olarak değerlendirilir.

Verimlilik, maksimum elektrik gücü çıkışının hücrenin radyasyon gücü girişine (P_{in}) oranı olarak tanımlanır ve yüzde olarak ifade edilir. Basitçe söylemek gerekirse, elektrik enerjisine dönüştürülen FV hücreye düşen güneş enerjisi miktarını ölçer. Yeryüzünde ölçülen radyasyon gücünün yaklaşık 1000W/m^2 olduğu varsayılmaktadır. Dolayısıyla, hücrenin maruz kalan yüzey alanı 'S' ise, hücre üzerindeki toplam radyasyon gücü (1000 S) watt olacaktır. Bu nedenle, bir güneş pilinin verimliliği (Denklem 5.12) aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\eta = \frac{I_{mp} \cdot V_{mp}}{P_{in} \cdot S} \quad (5.12)$$

Bir modülün verimliliği genellikle üreticinin veri sayfasında bulunabilir. Bu özellik önemlidir, çünkü verimlilik modülleri farklı üretkenlik ve maliyet seviyelerine ayırmak için kullanılabilir. Yani, daha verimli hücreler daha büyük bir elektrik çıktısına ve dolayısıyla daha yüksek maliyete sahip olacaktır. Verimlilik ayrıca çoğu durumda bozunma mekanizmalarından uzun bir süre (>20 yıl) etkilenir. Güneş teknolojilerinde artan araştırma ve geliştirme, artık yarı iletken cihazların sınırlarını kullanmaya başlıyor.

5.1.10 İdealite Faktörü

İdealite faktörü, taşıyıcıları kavşak boyunca hareket ettirmekten sorumlu farklı mekanizmaları açıklar. Taşıma işlemi tamamen difüzyon ise parametre $n \approx 1$ ve öncelikle tükenme bölgesinde rekombinasyon ise parametre $n \approx 2$. İdealite faktörü

n'nin yalnızca güneş pilinin malzemesiyle ilgili olduğu ve; sıcaklıktan ve güneş ışınımından bağımsız olduğu varsayılır.

İdealite faktörü, üretici tarafından sağlanan operasyonel verilerle birlikte I_{ph} , diyot doyma akımı, seri direnç ve şönt direnç gibi diğer parametrelerin değerleri biliniyorsa hesaplanabilir.

Bir parametre olarak idealite faktörü, güneş pilinin ideal bir diyot gibi davranma derecesini tanımlamak için tanımlanır, bu nedenle hücre çalışırken faktörün kendisi değişmez. İdealite faktörü için, parametreler standart test koşulları verilerine göre genel bir formda, Denklem 5.13 ile elde edilebilir:

$$n = \frac{q \cdot v_d}{kT (\ln I - \ln I_s)} \quad (5.13)$$

5.1.11 Direnç

Paralel sızıntı direnci veya şönt direnci olarak R_{sh} ve seri direnç olarak R_s ; son iki parametredir. Bu değerler sırasıyla Denklem 5.14 ve Denklem 5.15 ile gösterilmektedir.

$$R_{sh} \geq \frac{10 \cdot V_{oc}}{I_{sc}} \quad (5.14)$$

$$R_s \leq \frac{0,1 \cdot V_{oc}}{I_{sc}} \quad (5.15)$$

Burada, V_{oc} ve I_{sc} sırasıyla açık devre gerilimi ve kısa devre akımıdır.

Güneş pilinin çoğu parametresi, üreticinin veri sayfası incelenerek belirlenebilir. Güneş pili elektrik performansını, özellikle açık devre gerilimi V_{oc} ve kısa devre akımı I_{sc} 'yi tanımlamak için en çok ihtiyaç duyulan parametreler. V_{oc} , kısa devre akımı (I_{sc}), maksimum güç noktası akımı (I_{mp}), voltaj maksimum noktası (V_{mp}) ve açık devre gerilimin sıcaklık katsayıları ve kısa devre akımı gibi hücre veya FV modülü üzerindeki açık devre gerilimin sıcaklık katsayıları (T_β ve T_a) sırasıyla tipik olarak panelin veri sayfasında gösterilir.

Bununla birlikte, bazı veri sayfaları, sayısal analiz kullanılarak diğer R_s , R_p , I_s , n parametrelerini tahmin etmek için operasyonel veriler kullanıldığı için gösterilen tüm parametrelere sahip değildir.

Analitik yöntemler, bir FV modül veya güneş pilinin akım ve gerilimini açıkça ifade eden güçlü yöntemlerden biridir. Ve tek yineleme nedeniyle daha az hesaplama süresi alır. Bu yöntemler, standart test koşullarında (STC) ve ayrıca değişen çevre koşullarında verimli bir şekilde çalışır. FV modülünün parametrelerini tahmin etmek için Lambert W fonksiyonu ve Newton-Raphson yöntemi kullanılarak önerilebilir. Lambert W fonksiyonu, üstün I-V karakteristiklerini analitik olarak çözmek için literatürde kullanılmaktadır (Jain ve Kapoor, 2005; Ortiz-Conde vd., 2006). Doğrusal olmayan bir devrenin çalışma noktasının belirlenmesinde yaygın olarak Newton-Raphson yöntemi kullanılmaktadır (Ushida ve Tanaka, 2002). Yöntem, doğrusal olmayan denklemlerin doğrusallaştırılmasına ve elde edilen doğrusal denklemlerin tekrar tekrar çözülmesine dayanmaktadır.

Güneş enerjisi şönt direnci için Denklem 5.16 kullanılır:

$$R_{sh} \approx \frac{-dV}{dI} \quad (5.16)$$

Seri direnç, daha kolay hesaplamalar ve FV modülündeki seri dirençlerin etkisine erişim sağlayan kablolar, bağlantılar vb. gibi güneş pillerinin tüm seri dirençlerini içerecek şekilde toplu bir parametre olarak alınır. Ancak bir FV modülünün üretimi için çeşitli I-V karakteristiklerine sahip çeşitli malzemeler ve hücreler kullanılmaktadır. Bu nedenle, modüldeki seri dirençlerin eklenmesi veya bireysel hücre özelliklerinin uyumsuzluğundan kaynaklanan yüksek bir seri direnç olabilir. Açık devre geriliminde seri direnç için Denklem 5.17 kullanılmaktadır:

$$R_s \approx \frac{dV}{dI} \quad (5.17)$$

Doldurma faktörü, hücre serisinin değerlerinden, şönt dirençlerinden ve diyot kayıplarından doğrudan etkilenir. Şönt direncinin (R_{sh}) artırılması ve seri direncin (R_s)

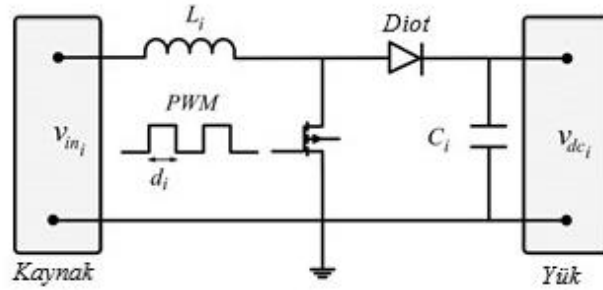
azaltılması, daha yüksek bir doldurma faktörüne yol açar, böylece daha fazla verim elde edilir ve hücrenin çıkış gücü teorik maksimuma yaklaştırır.

5.2 DC-DC Yükseltici Dönüştürücü

Yükseltici dönüştürücü, voltajı girişinden (tedarikinden) çıkışına (yüküne) yükselten (akımı düşürürken) bir DC-DC güç dönüştürücüdür. En az iki yarı iletken (bir diyot ve bir transistör) ve en az bir enerji depolama elemanı içeren bir anahtarlama mod güç kaynağı (SMPS) sınıfıdır. Şekil 5.4'te gösterildiği gibi bir kapasitör, indüktör veya ikisi bir aradadır.

Voltaj dalgalanmasını azaltmak için, kapasitörlerden (bazen indüktörlerle kombinasyon halinde) yapılmış filtreler normalde bu tür bir dönüştürücünün çıkışına (yük tarafı filtresi) ve girişine (besleme tarafı filtresi) eklenir.

Şekil 5.4'te, bu tez çalışmasında kullanılan yükseltici dönüştürücü gösterilmiştir.



Şekil 5.4 DC-DC yükseltici dönüştürücü

Güçlendirici dönüştürücü için güç, piller, güneş panelleri, doğrultucular ve DC jeneratörler gibi herhangi bir uygun DC kaynağı olarak kabul edilebilir. Bir DC voltajını farklı bir DC voltajına dönüştürmeye DC'den DC'ye dönüştürme işlemi denir. Yükseltici dönüştürücü, çıkış voltajı kaynak voltajından daha yüksek olan bir DC'den DC'ye dönüştürücüdür. Güçlendirici dönüştürücü, kaynak voltajını “artırdığı” için bazen yükseltici dönüştürücü olarak adlandırılır. Güç ($P=V \cdot I$) korunması gerektiğinden, çıkış akımı kaynak akımından daha düşüktür.

Sabit durumda, indüktör üzerindeki DC (ortalama) voltaj sıfır olmalıdır, böylece her döngüden sonra indüktör aynı duruma döner, çünkü indüktör üzerindeki voltaj, içinden geçen akımın değişim hızıyla orantılıdır. Şekil 5.4’de L’nin sol tarafının V_i ’de olduğuna ve L’nin sağ tarafının V_s ’nin ortalama değeri $(1-D)V_0$. Burada D, anahtarı çalıştıran dalga biçiminin görev döngüsüdür. İdeal transfer fonksiyonu, Denklem 5.18 veya Denklem 5.19 ile elde edilir.

$$V_i = (1 - D)V_0 \quad (5.18)$$

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{1}{(1-D)} \quad (5.19)$$

Aynı sonucu daha detaylı bir analizden şu şekilde elde ederiz. Sabit koşullarda çalışan ideal bir dönüştürücü (ideal davranışa sahip bileşenlerin kullanılması) durumunda çıkış voltaj, aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

Açık durumda iken S anahtarı kapalıdır, bu da giriş voltajının V_i indüktör üzerinde görünmesini sağlar, bu da Denklem 5.20 ile verilen formüle göre bir zaman periyodu (t) boyunca indüktörden (L indüktör değeri) geçen akımda I_L bir değişikliğe neden olur:

$$\frac{\Delta I_L}{\Delta t} = \frac{V_i}{L} \quad (5.20)$$

Durumun sonunda, I_L ’deki artış, Denklem 5.21 ile gösterilmektedir:

$$\Delta I_{L_{on}} = \frac{1}{L} \int_0^{DT} V_i dt = \frac{DT}{L} V_i \quad (5.21)$$

D, görev döngüsüdür. Anahtarın açık olduğu T geçiş periyodunun kesirini temsil eder. Bu nedenle D, 0 (S hiçbir zaman açık değildir) ile 1 (S her zaman açıktır) arasında değişir.

Kapalı durum sırasında, S anahtarı açıktır, bu nedenle indüktör akımı yük boyunca akar. Diyottaki sıfır voltaj düşüşünü ve voltajının sabit kalması için yeterince büyük bir kapasitör olduğunu düşünürsek, I_L ’nin gelişimi, Denklem 5.22 ile gösterilmektedir:

$$V_i - V_0 = L \frac{dI_L}{dt} \quad (5.22)$$

Bu nedenle off-dönem sırasında I_L 'nin değişimi, Denklem 5.23 ile gösterilmektedir:

$$\Delta I_{L_{off}} = \int_{DT}^T \frac{(V_i - V_0)dt}{L} = \frac{(V_i - V_0)(1-D)T}{L} \quad (5.23)$$

Dönüştürücünün kararlı hal koşullarında çalıştığını göz önünde bulundurduğumuz için, bileşenlerinin her birinde depolanan enerji miktarı, bir komütasyon döngüsünün başında ve sonunda aynı olmalıdır. Özellikle, indüktörde depolanan enerji Denklem 5.24 ile verilir:

$$E = \frac{1}{2} L I_L^2 \quad (5.24)$$

Bu nedenle, indüktör akımı, komütasyon döngüsünün başlangıcında ve sonunda aynı olmalıdır. Bu tezde gerçekleştirilen simülasyon parametreleri, Tablo 5.1'de gösterilmiştir.

Tablo 5.1 Simülasyon parametreleri

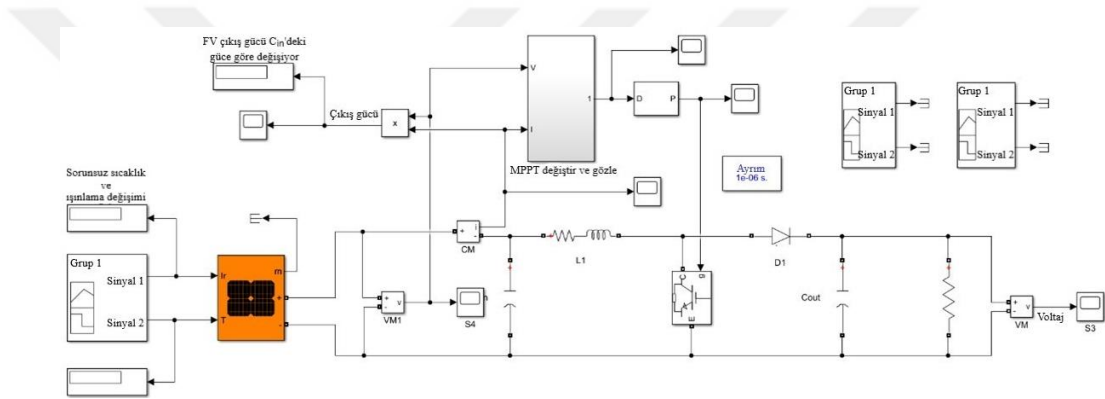
Parametre	Açıklama	Değer	Birim
L	İndüktans	0.02	H
C	Kapasitans	0.0003	F
R	Direnç	0.001	Ohm
Rs	Snubber Direnci	100000	Ohm
F	Frekans Değiştirme	5000	Hz
t	Örnek Zaman	0.000005	Second

5.3 Simülasyon Sonuçları

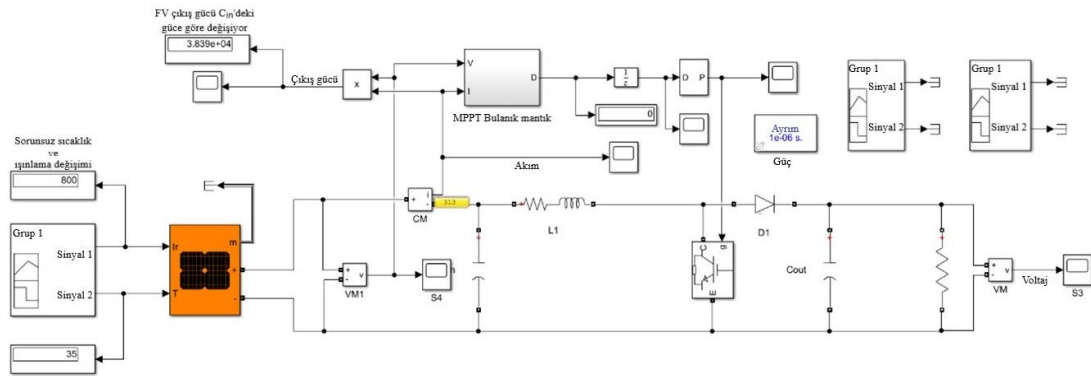
Tez çalışmasında MATLAB/Simulink 2020a versiyonunu kullanılmıştır ve güneş pilinin I-V eğrisi, Şekil 5.4'de gösterildiği gibi MATLAB/Simulink kullanılarak simüle edilebilir. Simulink, çok alanlı simülasyon ve Model Tabanlı Tasarım için bir blok diyagram ortamıdır. Sistem düzeyinde tasarım, simülasyon, otomatik kod

oluşturma ve gömülü sistemlerin sürekli test ve doğrulamasını destekler. Simulink, dinamik sistemleri modellemek ve simüle etmek için bir grafik düzenleyici, özelleştirilebilir blok kitaplıkları ve çözücüler sağlar. MATLAB ile entegre olup, MATLAB algoritmalarını modellere dahil etmenize ve simülasyon sonuçlarını daha fazla analiz için MATLAB'a aktarmanıza olanak tanır.

RNG -160D-SS güneş panelinin veri sayfasından alınan bilgiler kullanılarak bir güneş pilinin elektriksel simulink modelleri aşağıdaki gibi oluşturulabilir. Şekil 5.5'de değiştir ve gözle algoritmasına dayalı MPPT için Simulink modeli ve Şekil 5.6'da bulanık mantığa dayalı MPPT için Simulink modeli gösterilmiştir.



Şekil 5.5 Değiştir ve gözle algoritmasına dayalı MPPT için simulink modeli



Şekil 5.6 Bulanık mantığa dayalı MPPT için simulink modeli

5.3.1 Renogy RNG-160DB-H 160 Watt 12 Volt Esnek Monokristal Güneş Paneli

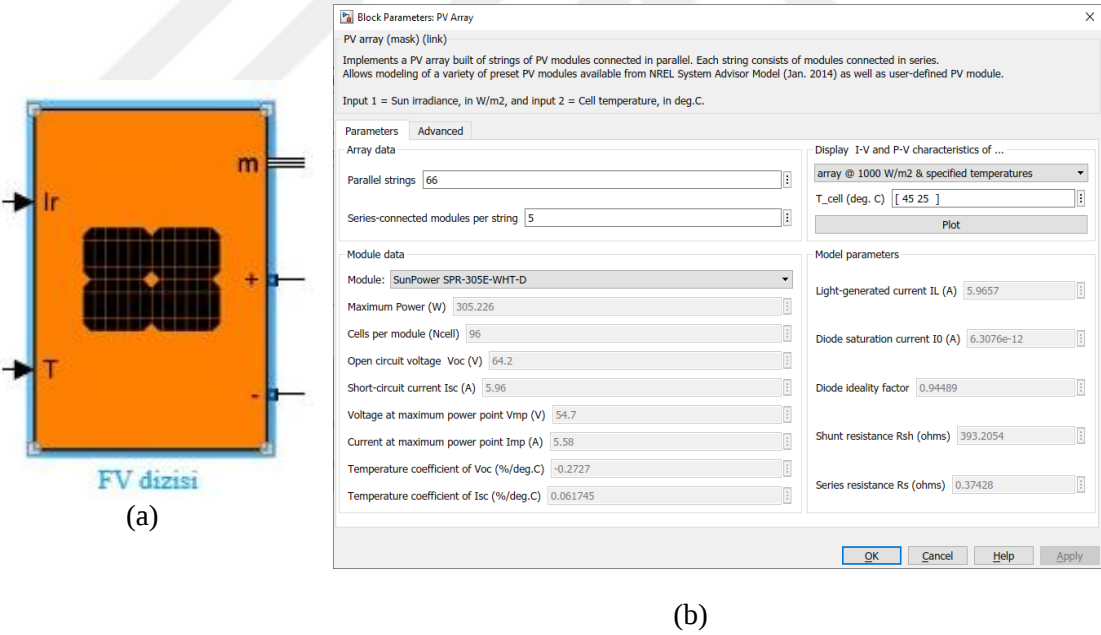
En son teknolojilerden birisi olan Renogy 160W Esnek Güneş Paneli, ultra hafif panel, gelişmiş güneş pili teknolojisi ve laminasyon teknikleri sayesinde 248 derecelik

inanılmaz bir esneklik yayı sunmaktadır. 6,2 pound ağırlığındaki bu panel, standart muadilinden %70 daha hafiftir ve kalınlığı %5'ten azdır. Diğer özellikleri, aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir (URL-2, 2019):

- ✓ Son derece esnek: 248 dereceye kadar esnek aralığı ile bu panel, bir hava akımının kavisli çatısı gibi standart panellerin monte edilmesinin zor olabileceği çok çeşitli uygulamaları karşılayabilir.
- ✓ Ultra hafif: Gelişmiş polimer malzemeler sayesinde, bu ürün geleneksel güneş panellerinden %70 daha hafiftir, bu da nakliye ve montajı bir esinti haline getirir.
- ✓ Süper ince laminasyon: Sağduyulu ve ince olan Renogy 160W Hafif Panel, yalnızca bir inç'in onda biri kalınlığındadır. Sert muadilinden yaklaşık %95 daha ince olan bu panel, gizli bir güneş enerjisi kurulumu için idealdir.
- ✓ Mekanik verileri şu şekilde sıralayabiliriz:
 - Güneş Pilleri: 36 Monokristal hücre
 - Bağlantı Kutusu: IP 68
 - Panel Boyutları: 60,63x25,98x0,08 İnç
 - Ağırlık: 6,2 lb
 - Kablolar: 4 mm², 12 AWG, 2,79 ft uzunluğunda (negatif kablo), 6 inç uzunluğunda (pozitif kablo)
 - Konnektörler: MC4 Konnektörler
- ✓ Özellikler
 - STC'de Maksimum Güç: 160 W

- Modül Verimliliği: %15,75
- Optimum Çalışma Gerilimi (V_{mp}): 19,1 V
- Optimum Çalışma Akımı (I_{mp}): 8,38A
- Açık Devre Gerilimi (V_{oc}): 23 V
- Kısa Devre Akımı (I_{sc}): 8,88A
- Maksimum Sistem Voltajı: 600 VDC
- Maksimum Seri Sigorta Değeri: 20 A

Şekil 5.7’de FV için matematiksel bir model uygulanmıştır.

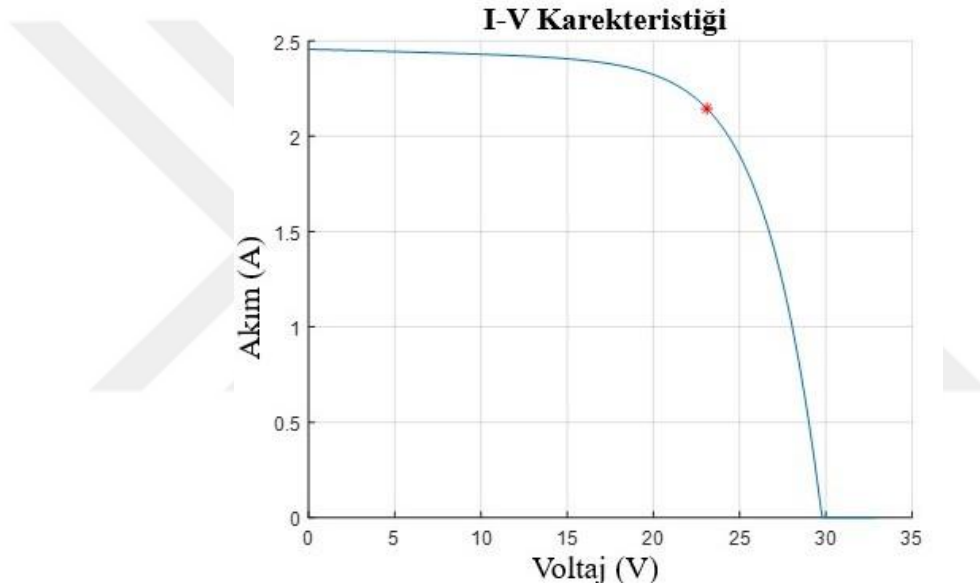


Şekil 5.7 a) FV (PV) için matematiksel simulink modeli b) Model parametreleri

Bu tez çalışmasında 66 paralel ve 5 seri panel olmak üzere toplam 330 panel kullanılmıştır. Her panel, 305.226 watt’a sahiptir. Toplam enerji ise 100,724 KW’dır.

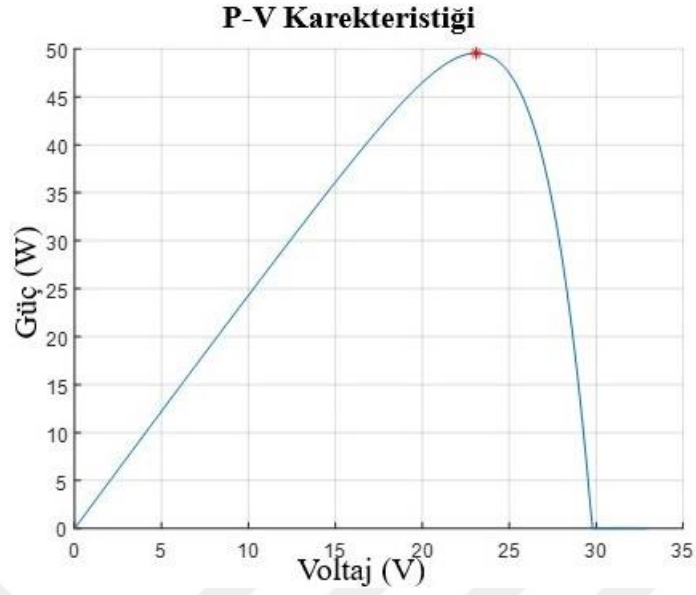
Tez çalışmasında, Simulink ortamındaki bloklar kullanılmıştır. Ayrıca parametrelerin farklı değerlerinde test edilmiştir. Her iki modelden de I-V eğrisinin benzer sonuçları çıkarılabilse de, iki model arasındaki tek büyük fark, modellerin kendilerinin bileşimidir. Diğeri daha devre tanımlı bir yaklaşımı telkin etmeye çalışır. Yukarıda gösterilen modelden elde edilen dalga biçimleri ve eğriler, güneş pilinin akım-gerilim karakteristik eğrisi ve güç-gerilim eğrisidir.

Güneş pili modelinin I-V eğrisi, Şekil 5.8’da gösterilmiştir. Ayrıca güneş pili modelinin P-V eğrisi de Şekil 5.9’de gösterilmiştir.



Şekil 5.8 Güneş pili modelinin I-V eğrisi

Fotovoltaikte, bir FV modülünün maksimum akımı devredeki $R = 0$ direncinde elde edilir. Bu, pozitif ve negatif terminallerin köprülenmesiyle sağlanabilir. Benzer şekilde, devrede bir kesinti olduğunda maksimum voltaj oluşur. Bu koşul altında, devre tamamlanmadığından direnç sonsuz derecede yüksektir ve akım, $I=0$ 'dır. Şekil 5.8 ve Şekil 5.9’de, yük direncindeki iki uç noktayı ve bunlar arasındaki koşulların aralığını görebiliriz. I-V eğrisinin dizinde hücrenin maksimum gücünü elde ederiz. Eğri boyunca herhangi bir noktada bir fotovoltaik hücreden elde edilebilen güç, akım ve gerilimin bir ürünüdür. Ayrıca güç çıkışının, $P = 0$, kısa devre akım noktasında ve açık devre gerilim noktasında meydana geldiği görülmektedir.



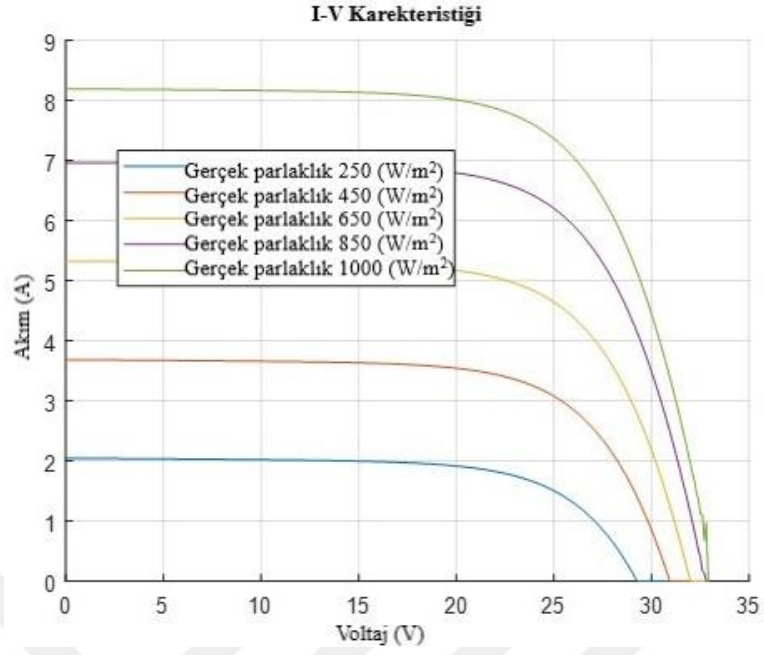
Şekil 5.9 Güneş pili modelinin P-V eğrisi

Şekillerden görüldüğü gibi, kırmızı yıldız noktasında mevcut olan maksimum güç noktasıdır. Bu değer, sırasıyla gerilim ve akım için 23V ve 2,2A'dan elde edilir. Bu noktadaki güç $23 \times 2,2 = 50,6$ Watt'tır.

5.3.2 Işınlamanın Etkileri

Şekil 5.10'de radyasyonun etkileri gösterilmiştir. Beş farklı ışıma şiddeti değerlendirilmiş, test edilmiş ve gösterilmiştir. Işıma şiddetleri sırasıyla 250, 450, 650, 850 ve 1000 (W/m^2)'dir.

Bu tezde, farklı ışınlama değerlerini test edildi. Bu değerler sırasıyla 250, 450, 650, 850 ve 1000 (W/m^2)'dir. Diğer parametreler sabit tutularak güneşten gelen ışınlam 250 W/m^2 artışla 250-1000 W/m^2 arasında değişir. Işımadaki artış, Şekil 5.10'de gösterildiği gibi doğrusal olarak arttıkça akıma da yansır.



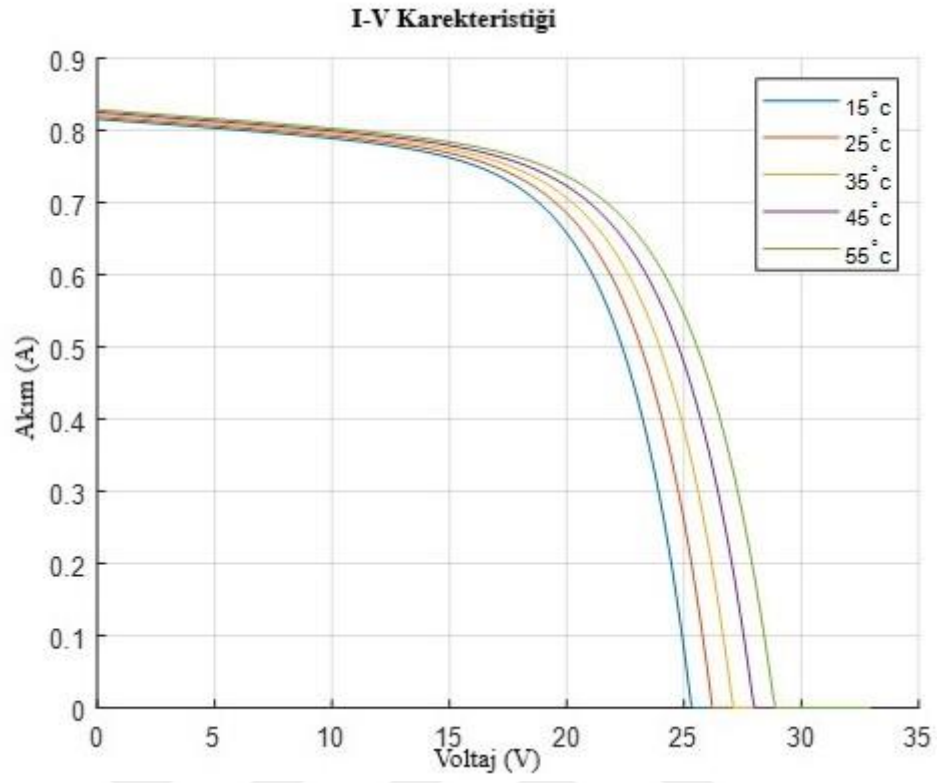
Şekil 5.10 Değişen güneş ışınımı için I-V eğrisi

5.3.3 Sıcaklığın Etkileri

Güneş pili üzerindeki sıcaklık artışları, açık devre geriliminde doğrusal bir azalmaya, dolayısıyla hücre veriminde bir düşüşe neden olur. Değişen sıcaklık için I-V eğrisi, Şekil 5.11’de gösterilmiştir.

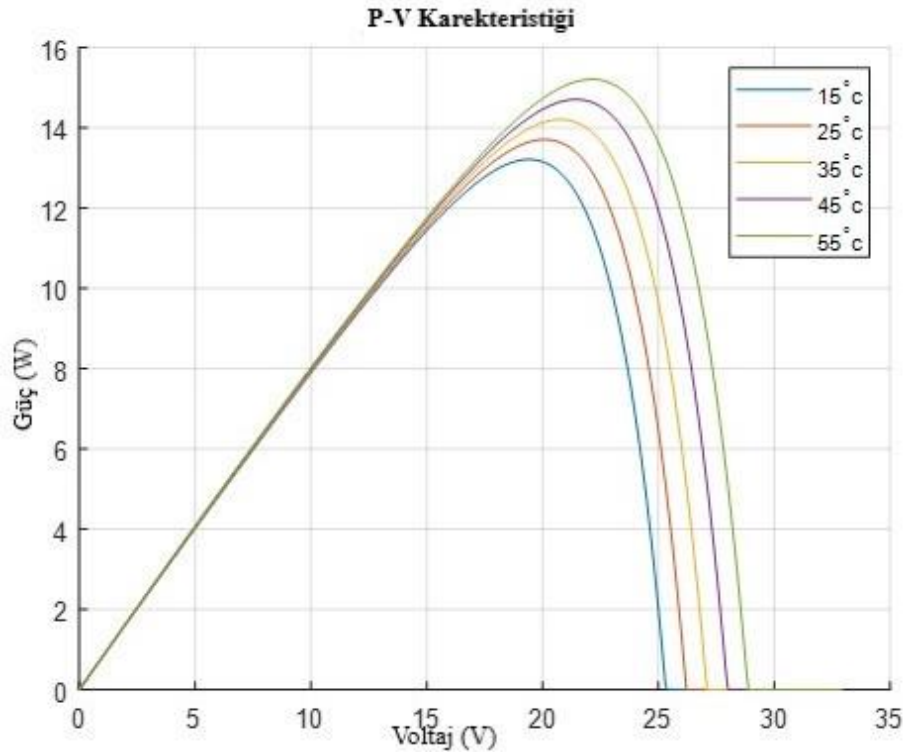
Bu tez çalışmasında farklı sıcaklık değerleri kullanılmıştır. Bu değerler sırasıyla 15, 25, 35, 45 ve 55 derecedir.

Şekil 5.11’de görüldüğü gibi beş farklı sıcaklık vardır ve bu sıcaklıklar 15, 25, 35, 45 ve 55 santigrat derecedir. Görüldüğü gibi sıcaklık yükserse voltaj yüksek olur ve sıcaklık düşükse voltaj düşer.



Şekil 5.11 Değişen sıcaklık için I-V eğrisi

Değişen sıcaklık için F-V eğrisi, Şekil 5.12’da gösterilmektedir.



Şekil 5.12 Değişen sıcaklık için P-V eğrisi

Şekil 5.12’da görüldüğü gibi beş farklı sıcaklık vardır ve bu sıcaklıklar 15, 25, 35, 45 ve 55 santigrat derecedir. Şekilde de görüldüğü gibi sıcaklık yüksekse voltaj da yüksek olur ve sıcaklık düşükse voltaj düşmektedir.

Sonuç olarak 55 santigrat derecede en yüksek maksimum güç noktası elde edilmiştir. Böylelikle FV panellerinin çıkışındaki enerjinin verimi yükselmiştir.

Bu durumda MPPT algoritmasının fonksiyonu, panel çıkış gerilimi (V_{FV}), ışıınım (kW/m^2 cinsinden G) ve modül sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$ cinsinden T) için çıkış akım değeri (I_{FV}) hesaplanabilir. FV hücre için çalışma noktasında yüke aktarılan güç miktarı sadece yük direncine (R) bağlıdır.

$$R_{operating} = \frac{V_{FV}}{I_{FV}} \quad (5.25)$$

MPPT izleme fonksiyonu için G ışıınmayı ve T mutlak sıcaklığı bilinen değişkenlerdir, dolayısıyla I_{FV} ’nin V_{FV} ’nin fonksiyonu olduğunu söylemek mümkündür.

$$I_{FV} = f(V_{FV}) \quad (5.26)$$

Denklem (5.26), Denklem (5.25) ile değiştirilmesi sonucunda Denklem 5.27’de gösterilmiştir:

$$V_{FV} - R_{operating} \times f(V_{FV}) = 0 \quad (5.27)$$

$R_{operating}$ değerinin bilinmesi, çalışma gerilimi (V_{FV}) için bu denklemin çözülmesini sağlar.

FV pilleri belirli güneşleme şartlarında, birim alan başına belirli bir akım ve voltaj üretirler. Gerilim ve akımın her örnekleme, dönüştürücünün periyodik sabit durum koşulunda yapılır. Bu nedenle, kararlı durum analizi, DC-DC yükseltici dönüştürücünün yeterli modellenmesini sağlar. Denklem 5.28’de gerilim ve akımın giriş/çıkış ilişkisi tanımlanır ve MATLAB simülasyonunda kullanılır.

$$V_0 = \frac{D}{1-D} V_i, \quad I_0 = \frac{D}{1-D} I_i \quad (5.28)$$

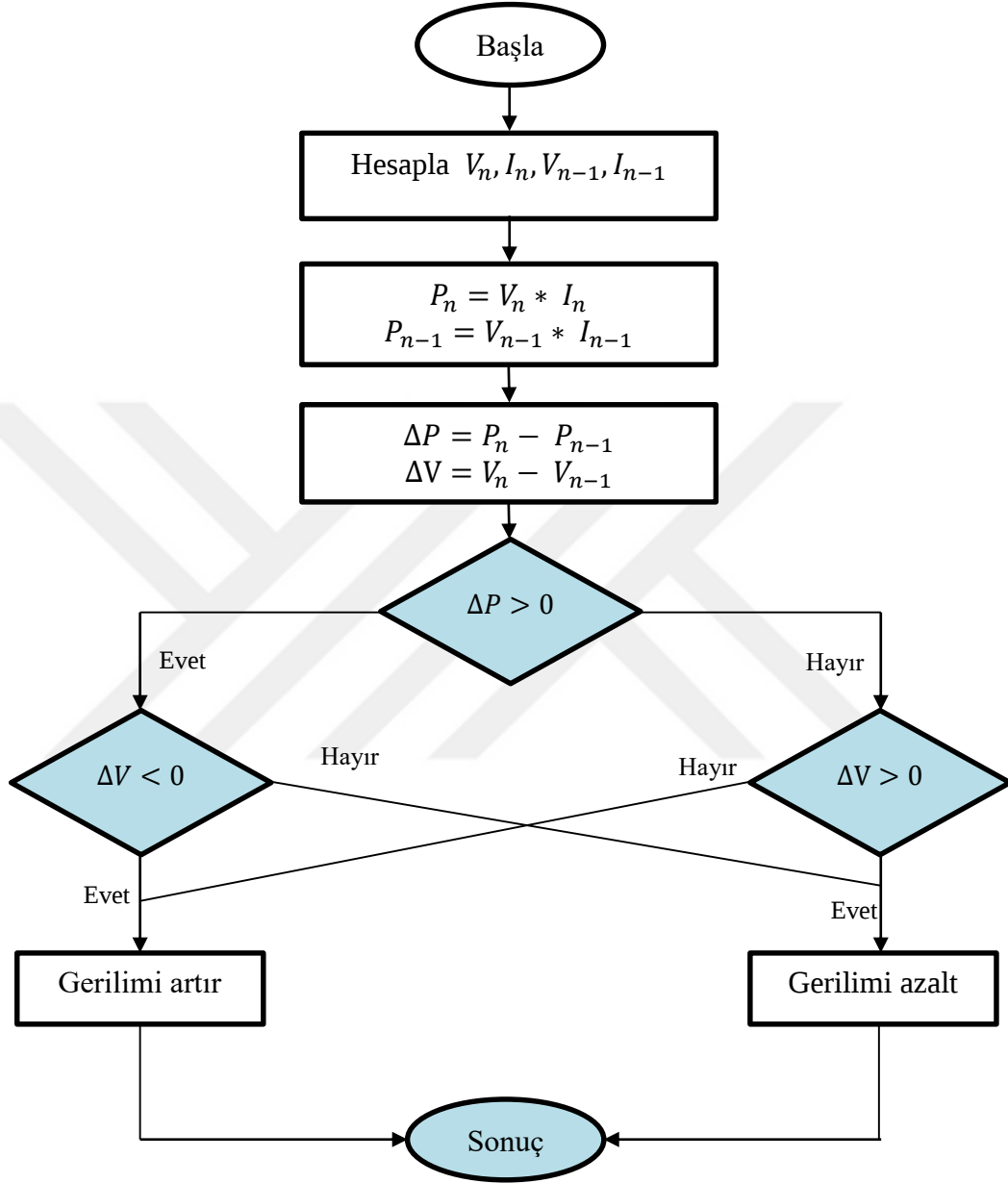
Burada D, DC-DC yükseltici dönüştürücünün görev döngüsüdür.

5.3.4 Değiştir Ve Gözle Algoritması

Bu tez çalışmasında, maksimum güç noktası değerini bulmak için değiştir ve gözle (P&O) algoritması kullanılmıştır. Değiştir ve gözle algoritması literatürde en çok karşılaşılan ve diğer yöntemlere göre daha basit olan bir MPPT yöntemidir. Geleneksel P&O algoritmasının ilkesi, güneş panelindeki değişim miktarı (ΔP), bilinçli olarak yapılan hafif bir artışın ardından ölçülür. ΔP değeri pozitif ise çalışma gerilimi tekrar yükseltilerek PV panel çalışma noktasını maksimum güç noktasına ulaşmasına neden olur. Diğer bir deyişle, çıkış voltaj sürekli olarak izlenir ve kontrol değişkeni ile güç hareketleri arasında korelasyon kurulduktan sonra referansın azaltılıp azaltılmayacağı veya artırılacağı belirlenir (Özçelik ve Yılmaz, 2016). Şekil 5.13’de, P&O akış şeması gösterilmiştir.

Nedumgatt vd. çalışmasındaki simülasyon sonuçları, görev oranının yük boyunca çıkış voltajının sabit olacağı şekilde değiştiğini göstermektedir (Nedumgatt vd., 2011). Voltaja duyarlı yükler olması nedeniyle sabit bir çıkış voltajı bir gerekliliktir. Kamran vd., çalışmasında bağımsız güneş fotovoltaik sistemi için bir güneş izleyici ve değiştirilmiş P&O algoritması önermiştir. Önerilen algoritma, güç eğrisinin arama alanını MPP içeren %10 alanla sınırlandırır ve bu sınırlı arama alanı içinde P&O algoritması uygulanmıştır. Algoritmanın arama alanının sınırlandırılması, değişen hava koşullarına tepki süresini azalttı ve karşılığında MPP’deki kararlı durum salınımlarını da azalttığı görülmüştür. Güneş takip cihazının entegrasyonu ve geliştirilmiş P&O tabanlı MPPT algoritması, yüke daha kaliteli ve şartlandırılmış elektrik sağlamıştır (Kamran vd., 2020). Fawzy vd. çalışmasında MPPT elde etmek için şebekeye üç fazlı voltaj kaynaklı invertör aracılığıyla bağlı bir FV kontrol edilmiştir. DC-DC yükseltici dönüştürücü kullanarak FV sisteminin MPPT’sini elde etmek için değiştirilmiş bir P&O tekniği önerilmiştir. Elde edilen sonuçlar, modifiye edilmiş algoritmanın MPP doğru bir şekilde takip edebildiğini ve geleneksel P&O

algoritmasına kıyasla hava koşullarındaki değişim sırasında ek gücü çıkardığını araştırmıştır (Fawzy vd., 2021).



Şekil 5.13 Değiştir ve gözle algoritmasının akış şeması

Fotovoltaik hücre üreticileri, zamanla, çeşitli modül türlerini oluşturan çeşitli malzemelere dayalı farklı paneller geliştirmiştir. Her teknolojinin ve bununla ilişkili zorlukların anlaşılması, avantajları ve dezavantajları tanımak için uygun bir temel sağlayacaktır. FV hücreleri birinci, ikinci ve üçüncü nesil hücreler olarak sınıflandırılabilir (URL-3, 2021).

Birinci Nesil Güneş Pilleri, yüksek verimlilikleri nedeniyle en eski ve en yaygın kullanılan teknoloji türüdür.

İkinci Nesil Güneş Pilleri ince film güneş pilleridir. Verimlilikleri birinci nesilden daha az olmasına rağmen maliyetleri de birinci nesilden daha azdır.

Üçüncü Nesil Güneş Pilleri umut vadeden ancak ticari olarak henüz kanıtlanmamış yeni teknolojilerdir. En gelişmiş üçüncü nesil güneş pili türleri boya duyarlı ve konsantre güneş pildir.

Tez çalışmasında özellikle kristal silikon panelleri kullanılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri, aşağıdaki avantajlara sahip olan fotovoltaik sistemdir. Doğal olarak sağlanan temiz enerji kaynağı, güneş ışığının olduğu her yerde elektrik üretir. Ancak bu sistemlerin en önemli dezavantajlarından biri verimlerinin düşük olması (%9 ila %17), ayrıca güneş panellerinin voltaj ve akımının sıcaklık ve radyasyon seviyesi gibi değişen çevresel koşullardan etkilenmesidir. Değişen çevre koşulları güneş panellerinin akımını, gerilimini ve maksimum güç noktasını değiştirmektedir.

FV sisteminin verimini artırmak ve maliyetini düşürmek için güneş panellerinin maksimum güç noktasında çalışması gerekmektedir. Şimdiye kadar maksimum güç noktasını izlemek için türbülans ve gözlem ve bulanık mantık gibi algoritmalar kullanılmıştır. Bulanık mantık yöntemi, çevre koşullarındaki değişikliklere hızlı tepki verir ve sistem parametreleri hakkında herhangi bir bilgi gerektirmez. FV sistemleri, FV panelleri ve boost dönüştürücüler, buck dönüştürücüler, buck-boost dönüştürücüler gibi DC-DC dönüştürücüleri içerir. Algoritmalar, FV panellerinin polaritesinden voltaj ve akımı almak ve dönüştürücünün voltajını ve akımını ayarlamak için DC-DC dönüştürücü anahtarına uygulanan Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) iki zamanlı diyotu ayarlamak amacı için kullanılmaktadır. PWM, bir elektrik sinyali tarafından iletilen ortalama gücü, etkin bir şekilde ayrı parçalara bölerek azaltma yöntemidir.

Bir güneş pili tarafından üretilen güç çok düşüktür (yaklaşık 1 ila 1,5 watt), bu nedenle bir güneş paneli oluşturmak için güneş pillerinin seri veya paralel olarak düzenlenmesi

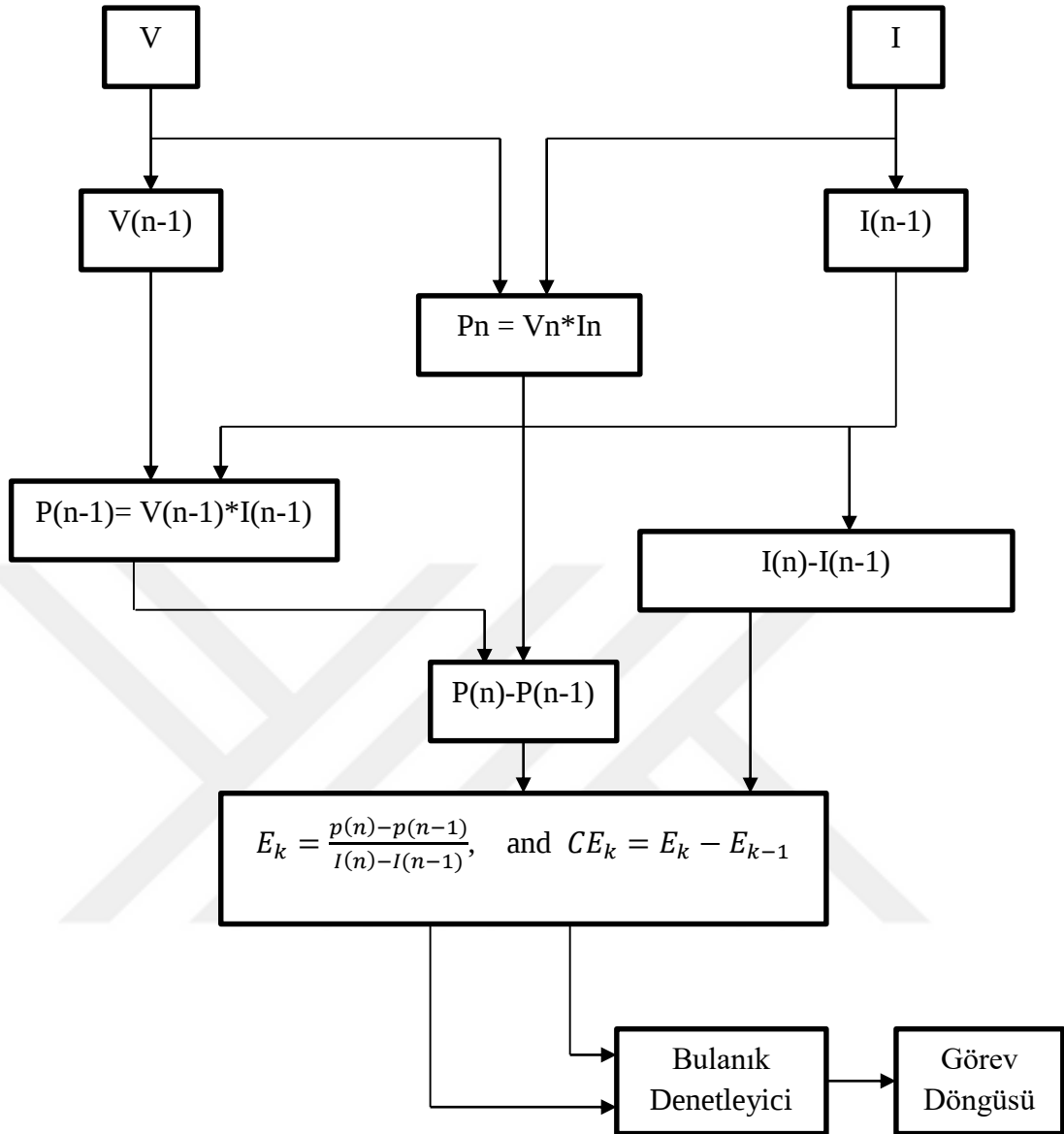
gerekir. Bir güneş panelinin maksimum güç noktasının belirlenmesindeki en önemli adım, güneş panelinin karakteristik güç-gerilim ve akım-gerilim eğrisinin belirlenmesidir. Radyasyondaki artışın güneş panelinin gücünde ve voltajında bir artışa yol açtığını, ancak sıcaklıktaki bir artışın güç ve voltaj üzerinde olumsuz bir etkisi olduğu unutulmamalıdır.

5.4 Bulanık Mantık Yöntemi

Bulanık mantık, birçok avantajı olduğundan (sağlam, kesin olmayan girdilerle çalışır, doğrusal olmamayı kaldırabilir, doğru matematiksel modele ihtiyaç duymaz ve tasarımı nispeten basit) güneş sistemlerinde MPP'nin çıkarılmasında en güçlü teknik yöntemlerden biridir.

Geleneksel kontrolleri kullanırken, belirli terimlerle tanımlanan konfigürasyon ve amaç özelliği hakkında bilgi sahibi olmamız gerekir. Bu nedenle, farklı durumlarda, kullanımı gerçekten zorlaşıyor. Kontrol etmek için bulanık mantık kullanarak kontrolörü inşa etmek için insan uzmanlığı ve bilgisi eklenebilir. Kontrol kuralları olarak bilinen bir kontrolörün tasarımı için IF-THEN yönergeleri kullanılır. Bir buck-boost dönüştürücünün çalışmasını kontrol etmek için bir bulanık mantık denetleyicisi (FLC) kullanılır.

Bulanık mantık denetleyicisi (FLC)'nin etkinliği büyük ölçüde tasarımcının uygun girdileri seçme ve kural tabanlı tabloyu ayarlama konusundaki bilgi ve deneyimine bağlıdır. Bazı uygulamalarda, optimum performansı elde etmek için üyelikleri (MF'ler) ve kural tabanlı tabloyu ayarlamak için uyarlanabilir bir FLC kullanılır. FLC, Mamdani tekniğini kullanarak çalışır. Hesaplamadan sonra, bulanık değerler bir durulaştırma prosedürü kullanılarak kesin değerlere dönüştürülür. Bulanık mantık denetleyicisine dayalı önerilen yöntem, Şekil 5.14'de gösterilmiştir.



Şekil 5.14 Kullanılan bulanık mantık algoritmanın akış şeması

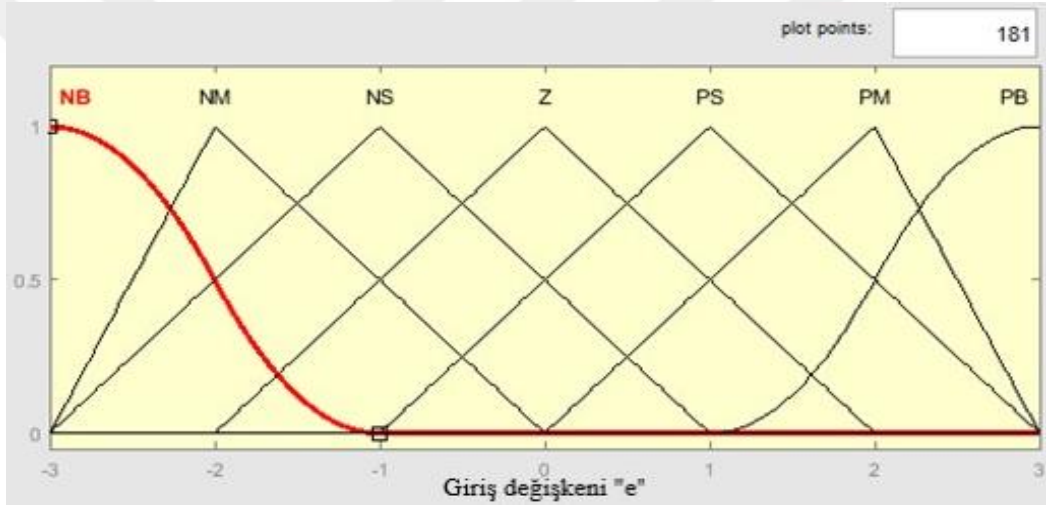
Bu şekilde “e” hatadır ve “ce” hata değişimidir.

5.4.1 Bulanık Uygulama

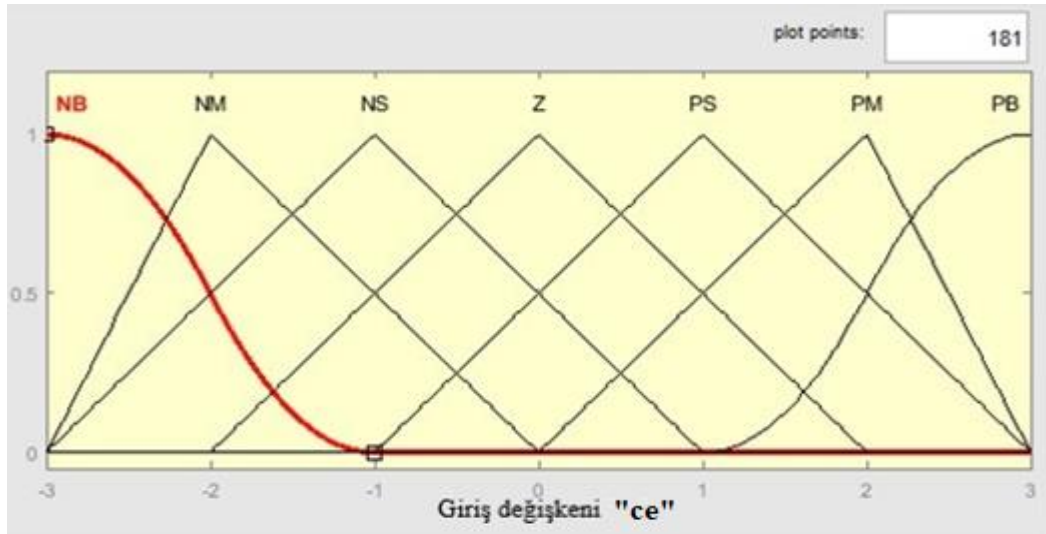
Bu tezde görev döngüsü için en iyi değeri bulmak için bulanık mantık denetleyici kullanılmıştır. Bulanıklığın girdileri, hata ve hatanın farkı olan “e” ve “ce” dir. Bulanıklığın çıktısı, görev döngüsüdür. Güneş takip sistemlerinde bulanık denetimin uyumlu olarak gerçekleştirilmesi daha iyi bir yanıt süresi ve daha yüksek bir çıkış gücü sağlamaktadır.

5.4.2 Bulanıklaştırma

FLC'deki ilk bileşen, kesin girdileri karşılık gelen bulanık kümelerdeki $[0,1]$ aralığında bir dizi üyelik değerlerine dönüştüren bulanıklaştırıcıdır. Bu tezde üçgen üyelik fonksiyonları (üçgen üyelik fonksiyonu yamuk fonksiyonunun özel bir halidir), iki giriş hata ve hızdaki hata değişimi için kullanılmıştır. Girdilerin her biri, NB (Negatif Büyük), NM (Negatif Orta), NS (Negatif Küçük), ZE (Sıfır), PS (Pozitif Küçük), PM (Pozitif Orta), PB (Pozitif Büyük) olmak üzere 7 üyelik fonksiyonu ile temsil edilir. Hatanın üyelik fonksiyonları ve hata değişimin üyelik fonksiyonları sırasıyla Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'te gösterilmiştir.



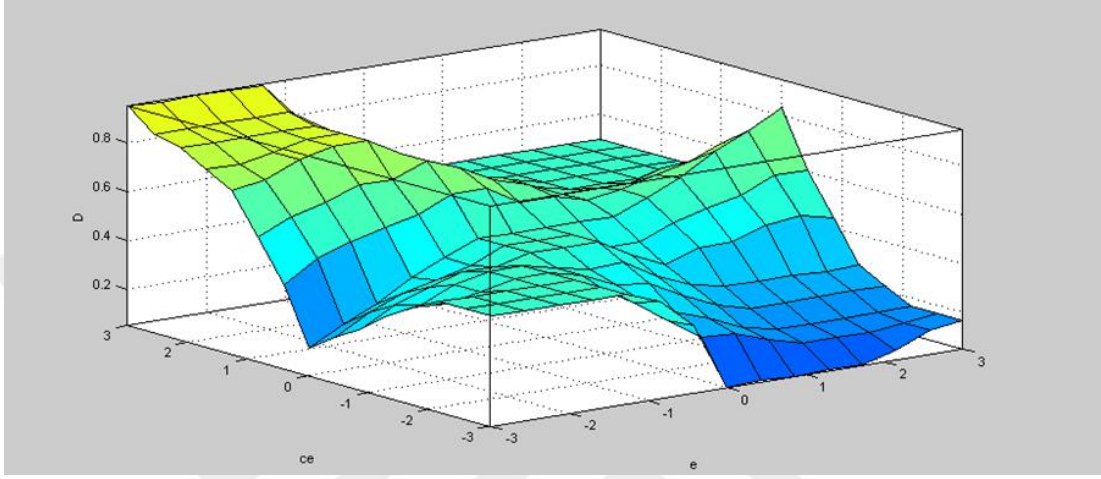
Şekil 5.15 Hatanın üyelik fonksiyonu



Şekil 5.16 Hata değişikliğinin üyelik fonksiyonu

Bulanıklaştırmada üyelik fonksiyonunun derecesi belirlenir. Bu, üyelik fonksiyonundaki girdinin yerinin bulunmasıyla yapılır ve üyelik fonksiyonunun derecesini belirler. Üyelik fonksiyonunun derecesi -3'ten 3'e değişir.

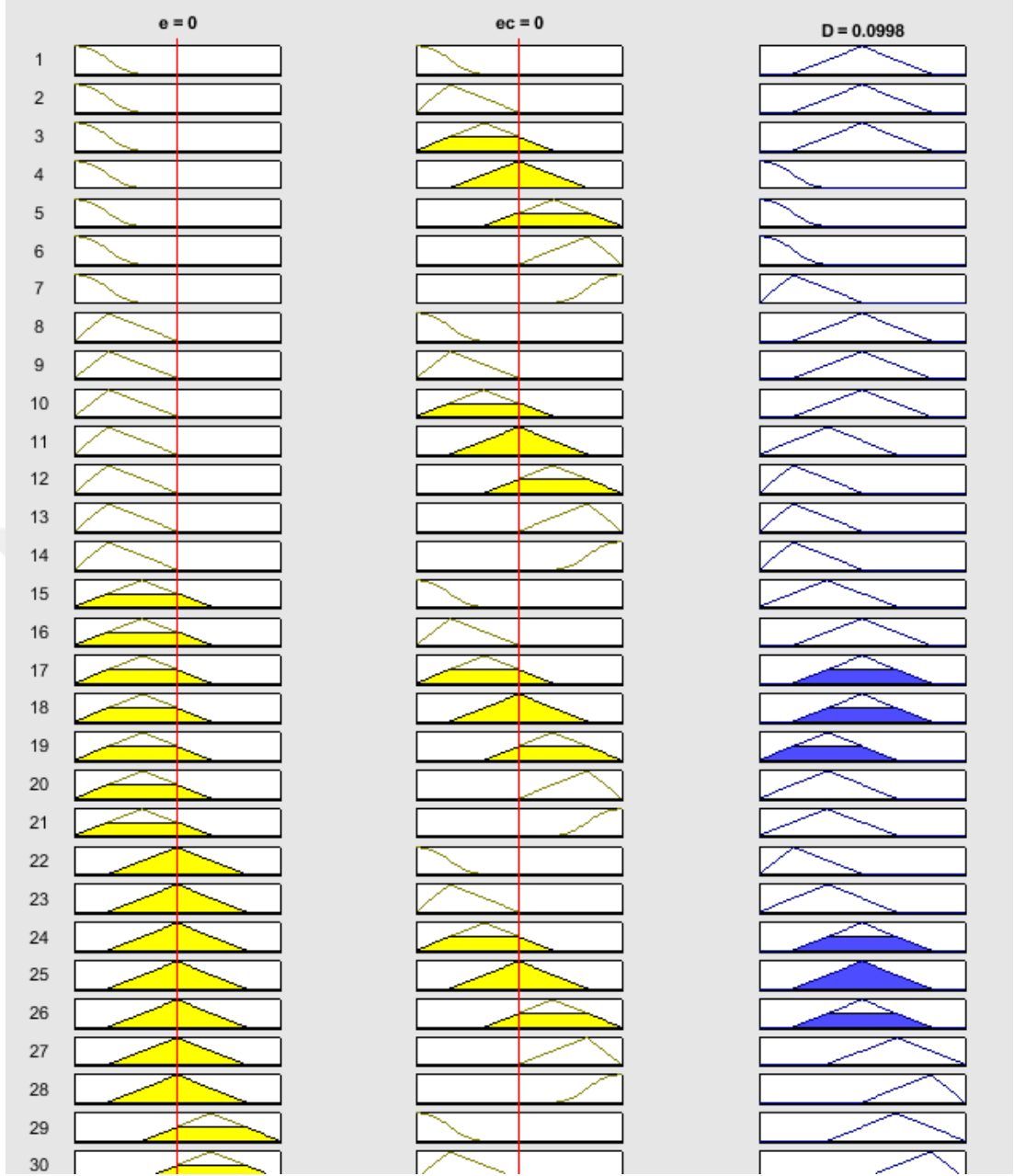
Bulanık giriş ve çıkışın 3 boyutlu görünümü Şekil 5.17'da gösterilmektedir.



Şekil 5.17 Bulanık giriş ve çıkışın 3 boyutlu görünümü

Şekil 5.17'da hata ve fark hatası gösterilmektedir. Çıktı Y eksenini gösterir ve bu eksen bulanık mantıkla tahmin edilen Görev döngüsü değeridir.

Bulanık mantığın rolleri, Şekil 5.18'de gösterilmektedir.



Şekil 5.18 Bulanık mantık rolleri

Şekil 5.18’de gösterildiği gibi iki giriş ve 1 çıkış vardır ve çıkış; girişler tarafından yönetilir.

5.4.3 Kural Çıkarımı

Üyelik derecesi, bulanıklaştırma aşamasında belirlenir. Bir sonraki adım, verilen üyelik fonksiyonu derecesine karşılık olarak hangi eylemin yapılması gerektiğine karar vermek için kurallar oluşturmaktır. “VE” ve “VEYA” bulanık operatörleri en iyi

şekilde birden çok öncülü olan kurallar için kullanılır. Bulanık operatör, “OR”, kural öncüllerinin ayrılmasını değerlendirmek için kullanılır ve “AND”, kural öncüllerinin birleşimini değerlendirmek için kullanılır. “VE” bulanık operatörü, kural öncüllerinin birleşimini değerlendirmek gerektiğinden “VE” birden çok öncül arasındaki minimum işlem olduğundan, minimum fonksiyon kullanılır. “VEYA” bulanık operatörü, aynı çıktıyla ilgili birden fazla kural söz konusu olduğunda da kullanılabilir. Tanımlanan bulanık tabanlı sistemi için bulanık kurallar, Tablo 5.2’de tanımlanmıştır.

Tablo 5.2 FLC’nin kuralları

ce ^e	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	Z	Z	Z	NB	NB	NB	NM
NM	Z	Z	Z	NS	NM	NM	NM
NS	NS	Z	Z	Z	NS	NS	NS
Z	NM	NS	Z	Z	Z	PS	PM
PS	PS	PM	PM	PS	Z	Z	Z
PM	PM	PM	PM	Z	Z	Z	Z
PB	PB	PB	PB	Z	Z	Z	Z

Tablo 5.2’de “e” hatadır ve “ce” hata değişimidir. Tablo 5.2’de bu kural sistematığıne göre bir örnek yapılırsa; Hata Negatif Büyük (NB) ve hatadaki değişim Pozitif Büyük (PB) olduğunda çıktı olarak Negatif Orta (NM) oluşur.

5.4.4 Durulaştırma

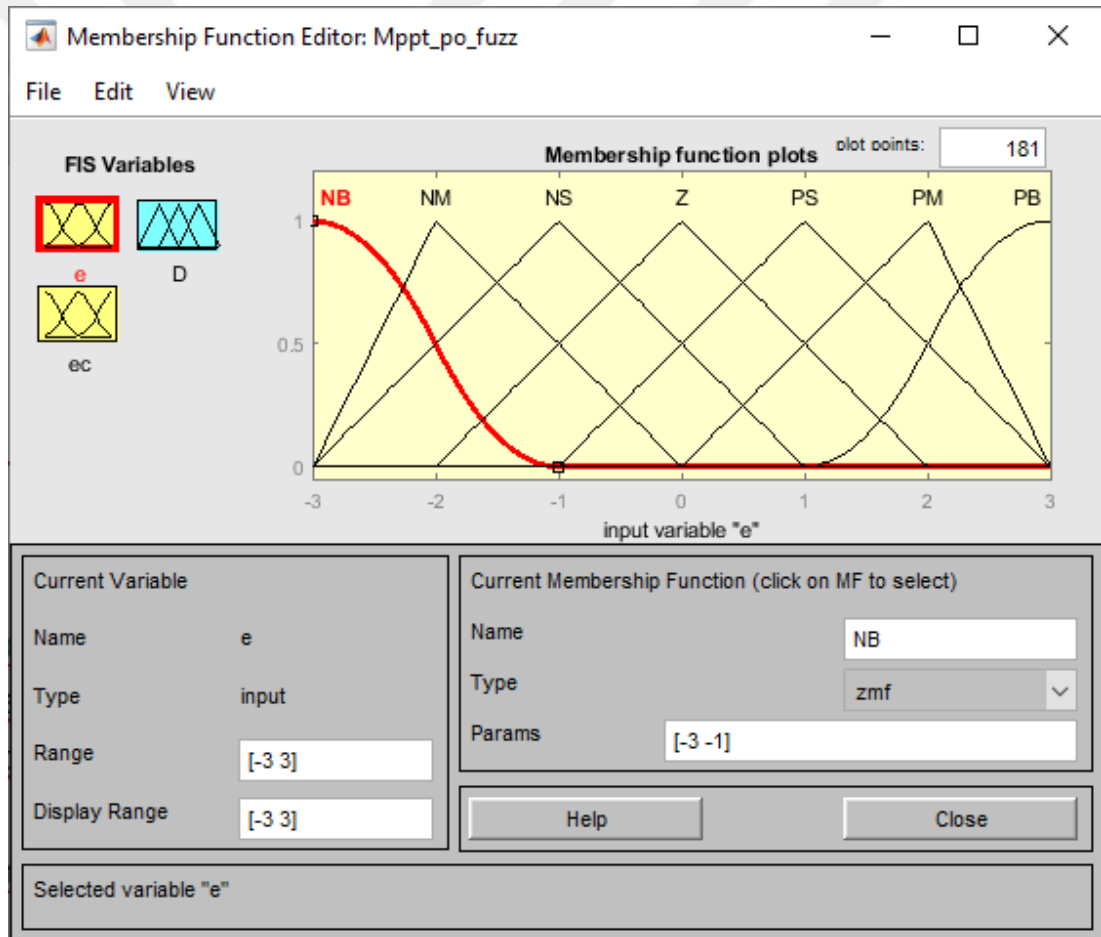
Her bir kuralın çıktısı belirlendikten sonra, bir sonraki adım, tüm çıktıyı görev döngüsünü kontrol etmek için kullanılabilecek tek bir değerde birleştirmektir. Bu işlem durulaştırma yoluyla yapılır.

Mamdani’nin bulanık çıkarım yöntemi, en sık görülen bulanık metodolojidir. Mamdani tipi çıkarım, çıktı üyelik fonksiyonlarının bulanık kümeler olmasını bekler. Toplama işleminden sonra, durulaştırmaya ihtiyaç duyan her bir çıktı değişkeni için bir bulanık küme vardır. Durulaştırma işleminin verimliliğini artırır çünkü iki boyutlu

bir fonksiyonun ağırlık merkezini bulan daha genel Mamdani yönteminin gerektirdiği hesaplamayı büyük ölçüde basitleştirir (Omid, 2011).

Mamdani yönteminde kullanılan durulaştırma tekniği ağırlıklı ortalamadır. Bu, kural değerlendirmesinden elde edilen bulanık çıktının karşılık gelen tekil değerle çarpılmasıyla yapılır, daha sonra bu değerlerin toplamı, kural değerlendirmesinden elde edilen tüm bulanık çıktıların toplamına bölünür. Bu hesaplamaların sonucu, görev döngüsünü kontrol etmek için kullanılabilecek nihai tek çıktıdır.

Bulanık mantıkta kullanılan üyelik fonksiyonu, Şekil 5.19'de gösterilmektedir.

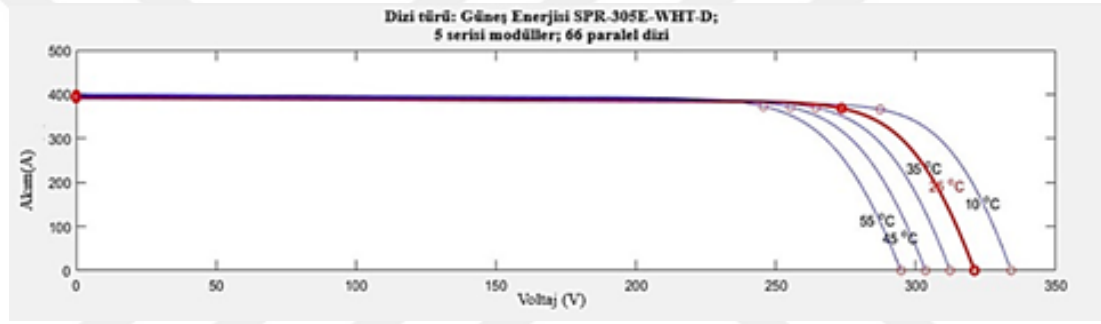


Şekil 5.19 Bulanık mantık için üyelik fonksiyonları

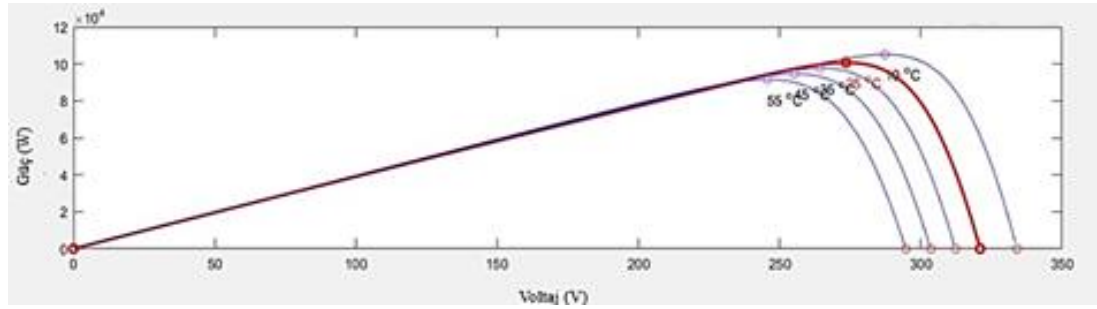
Bu tezde kullanılan bulanık mantık özellikleri aşağıda gösterilmiştir:

mamfis with properties:

Name: "Mppt_po_fuzz"
AndMethod: "min"
OrMethod: "max"
ImplicationMethod: "min"
AggregationMethod: "max"
DefuzzificationMethod: "centroid"
Inputs: [1×2 fisvar]
Outputs: [1×1 fisvar]
Rules: [1×49 fisrule]
DisableStructuralChecks: 0



a)



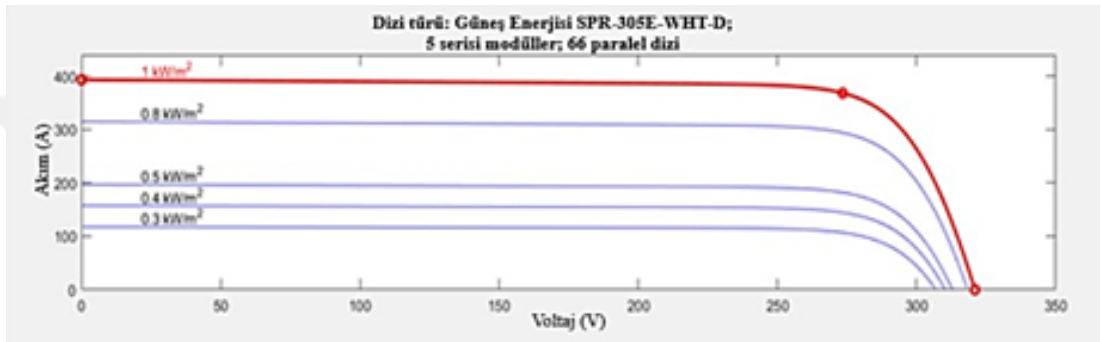
b)

Şekil 5.20 Farklı sıcaklık değerleri altında FV modülün a) akım-gerilim ve b) güç-gerilim karakteristik eğrileri

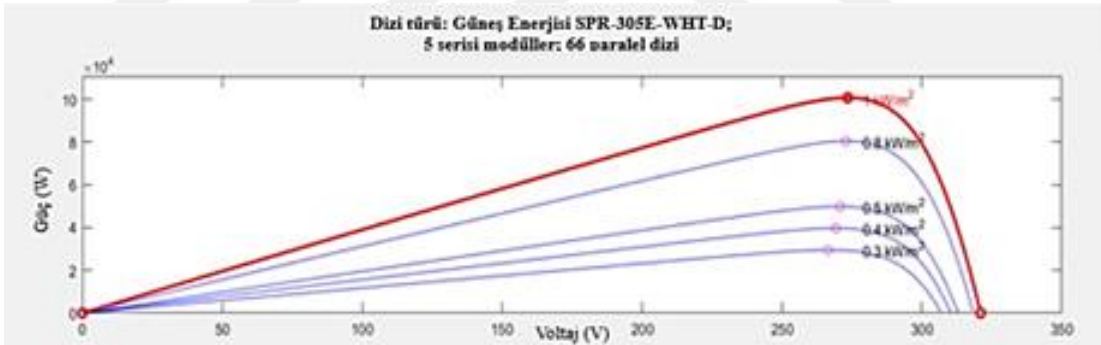
Bir FV sisteminin verimliliği, güneş radyasyonunun yoğunluğundan ve ortam sıcaklığından doğrudan etkilenir. Bu tez çalışmasında FV sistemi, farklı sıcaklık ve ışınlama değerleri için test edilmiştir. Işınlama 1000W/m^2 'de sabit tutulmuştur ve sıcaklık atanmıştır (10°C , 25°C , 35°C , 45°C , 55°C). Bu koşullar altında FV sisteminin I-V ve P-V çıkış karakteristikleri Şekil 5.20'de gösterilmiştir. Sıcaklığın

artmasıyla voltajın büyük ölçüde azaldığını ve net etki sonuçlarının güç çıkışında azalma olduğu gösterir.

Sıcaklık 25°C 'de sabit tutulmuştur ve güneş ışıınımlı beş seviyede (300 W/m^2 , 400 W/m^2 , 500 W/m^2 , 800 W/m^2 and 1000 W/m^2) simüle edilmiştir. Bu koşullar altında Fv sisteminin I-V ve P-V çıkış karakteristikleri Şekil 5.21'de gösterilmiştir. Artan güneş ışıınımlı altında gerçekleştirilen sonuçlar, kısa devre akımının arttığını ve gücün de arttığını göstermektedir.



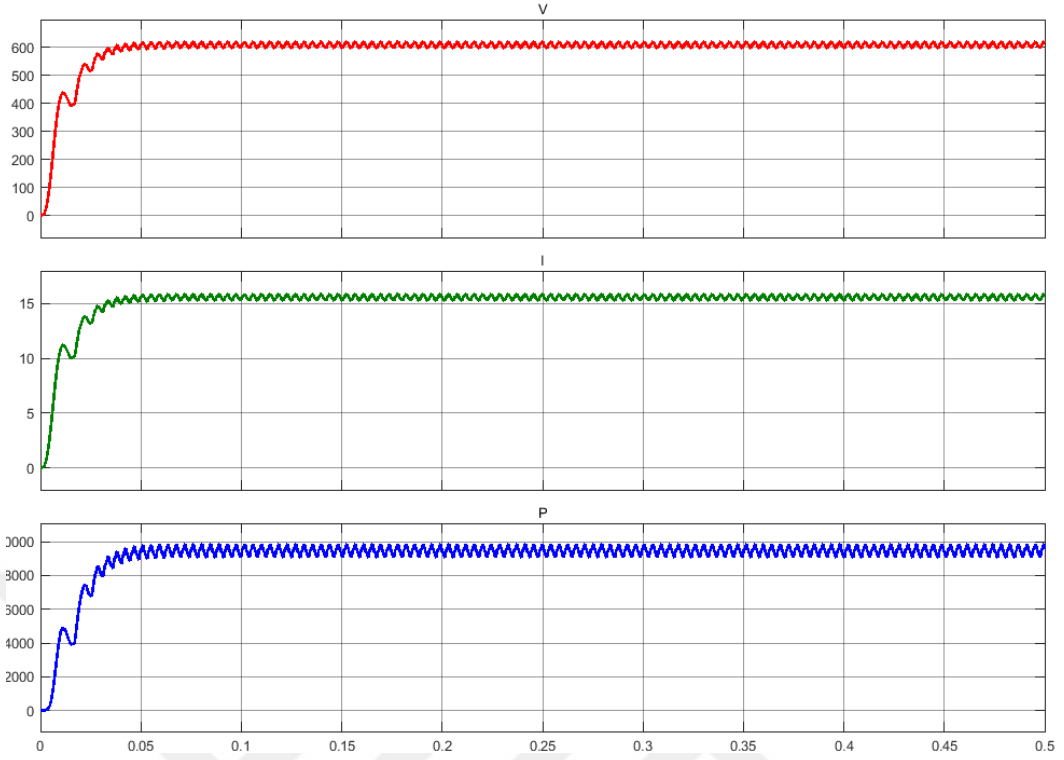
a)



b)

Şekil 5.21 Farklı ışıınımlı değerleri altında FV modülün a) akım-gerilim ve b) güç-gerilim karakteristik eğrileri

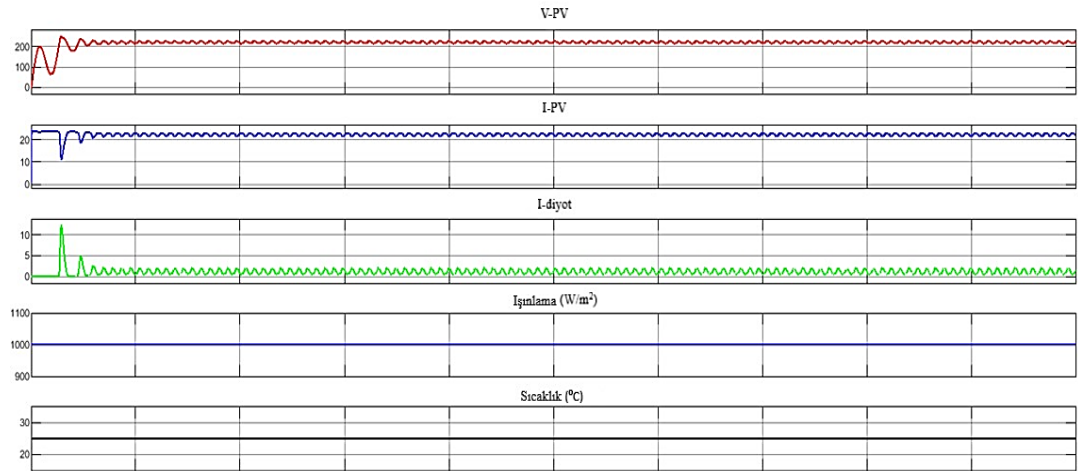
Şekil 5.22'de simülasyon sonuçları ait V, I ve P değerleri gösterilmiştir.



Şekil 5.22 Simülasyon sonuçları

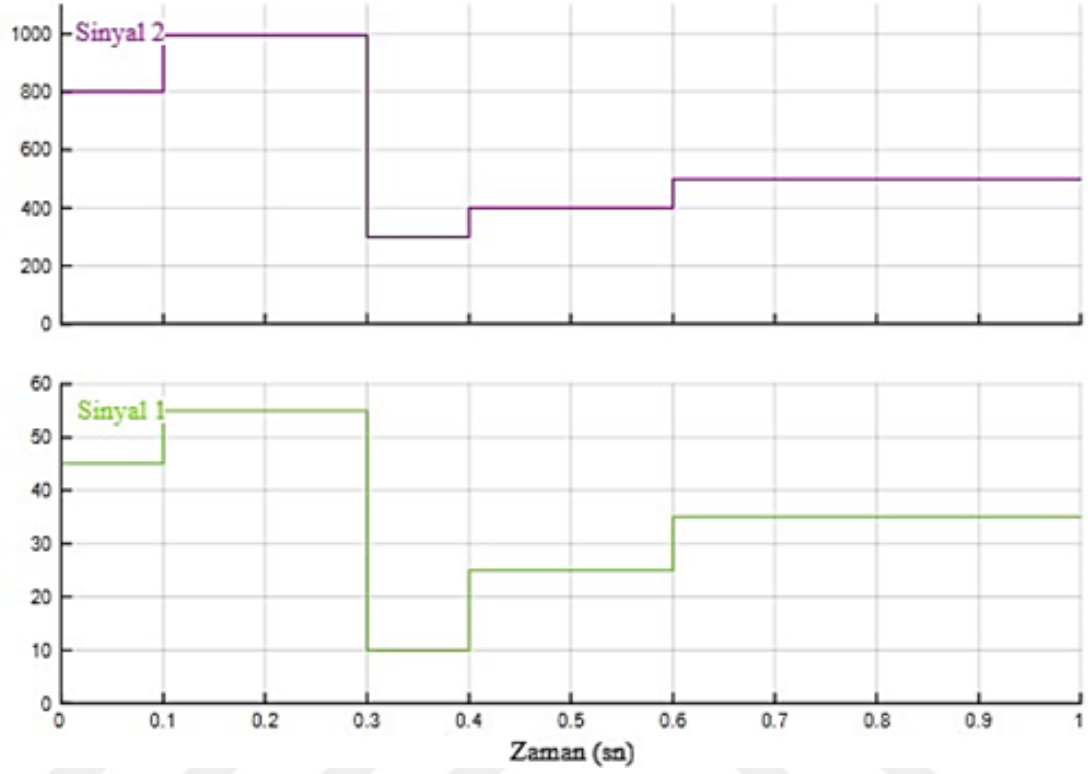
Şekil 5.22’de gösterildiği gibi V, I ve P düzgün bir şekilde gösterilmiştir. V, I ve P değerleri 0,05’ten sonra sabitlenmiştir. Bu süre, sistemin tüm çıkışları için ayarlanma zamanını göstermektedir.

Sisteme giriş için simülasyon sonuçları, Şekil 5.23’de gösterilmektedir.



Şekil 5.23 Sistem girişi için simülasyon sonuçları

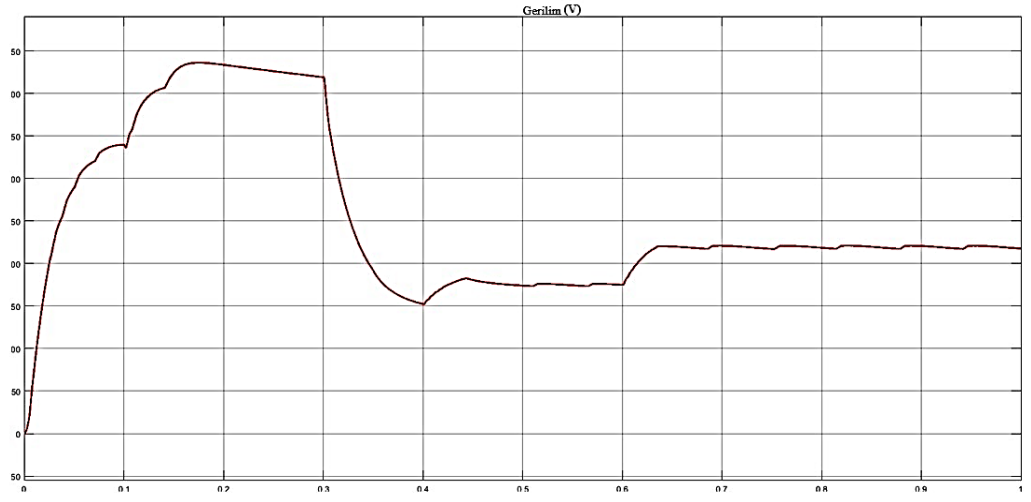
Şekil 5.23’de, V_{PV} , I_{PV} , I_D değerleri 1000 ışıqlama ve 25 diyot, ışıqlama ve sıcaklık değerleri gösterilmiştir.



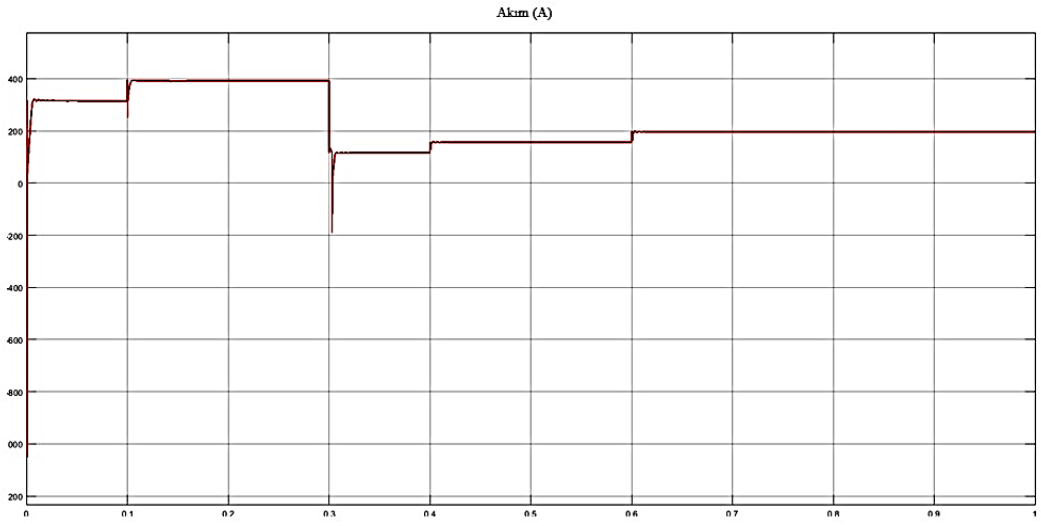
Şekil 5.24 Radyasyon ve sıcaklık için giriş sinyali

Şekil 5.24’de, Sinyal 1, 45, 55, 10, 25 ve 35 dereceyi içeren sıcaklığı gösterir. Sinyal 2 ise, 800, 1000, 300, 400 ve 500’ü içeren güneş radyasyonunu gösterir.

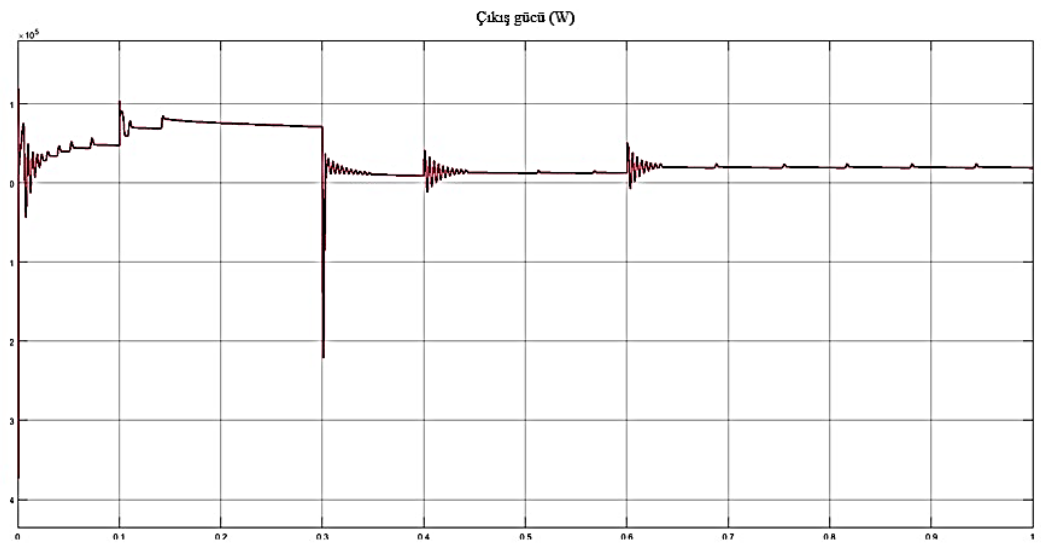
Şekil 5.25’de, değiştir ve gözle algoritması için simülasyon sonuçları a) gerilim, b) akım ve c) çıkış gücü sıralayla gösterilmiştir.



(a)



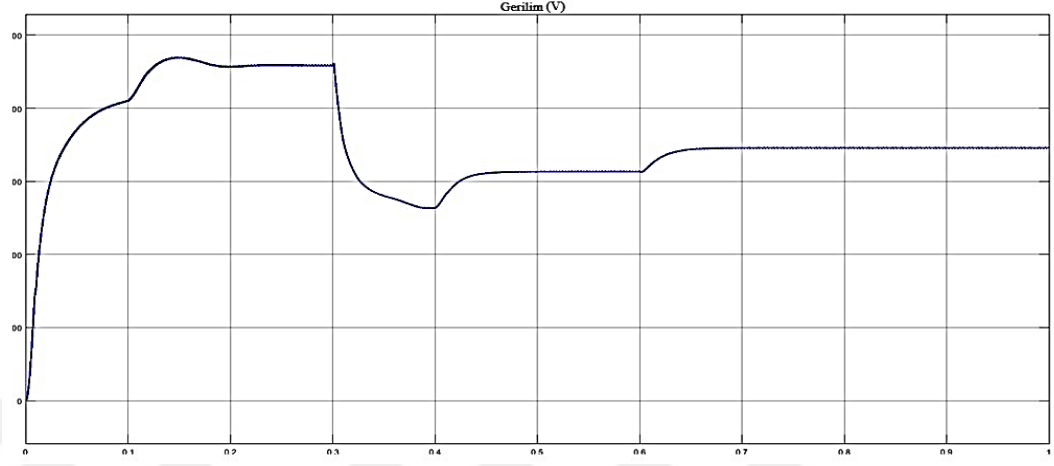
(b)



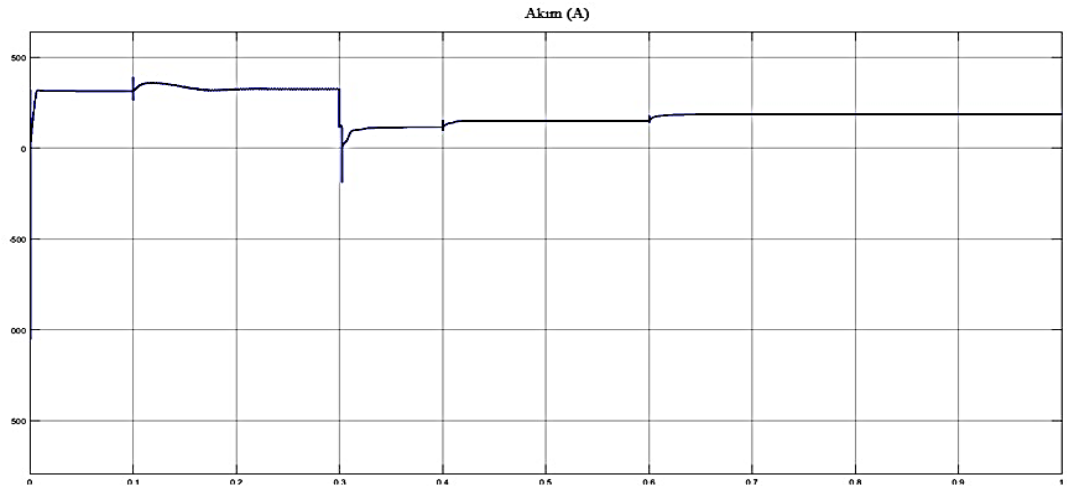
(c)

Şekil 5.25 Değiştir ve gözle algoritması için simülasyon sonuçları a) gerilim b) akım c) çıkış gücü

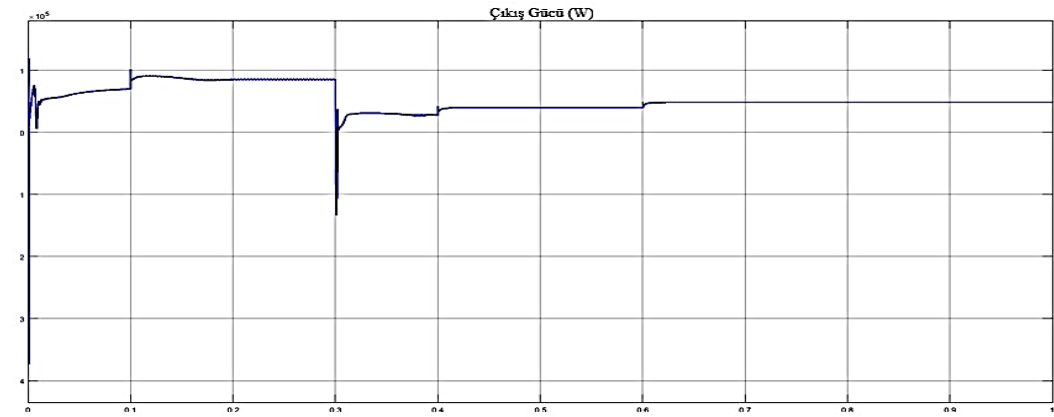
Şekil 5.26’de bulanık mantık denetleyicisi için simülasyon sonuçları a) gerilim ve b) akım, c) çıkış gücü değerleri gösterilmiştir.



(a)



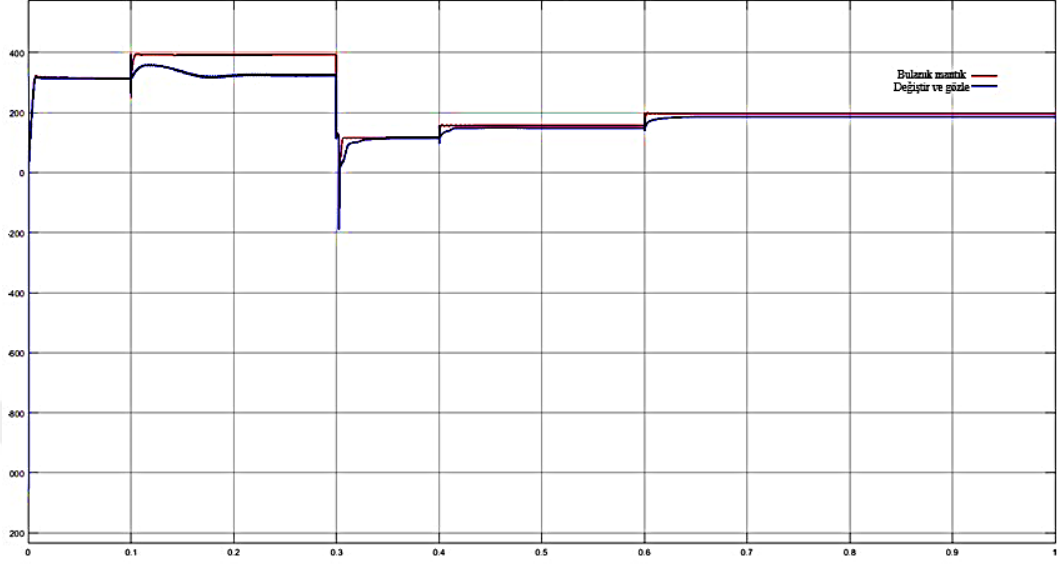
(b)



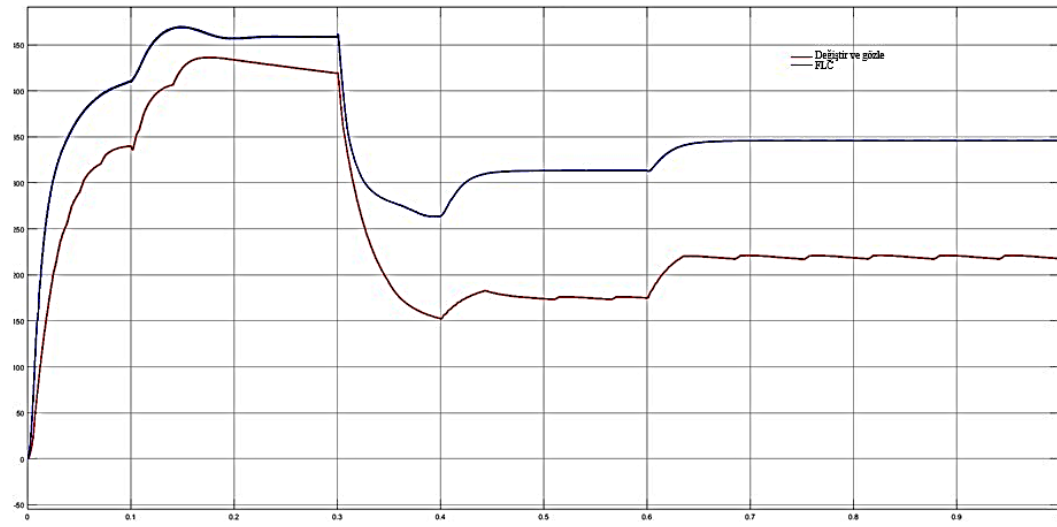
(c)

Şekil 5.26 Bulanık mantık denetleyicisi için simülasyon sonucu, a) gerilim ve b) akım, c) çıkış gücü

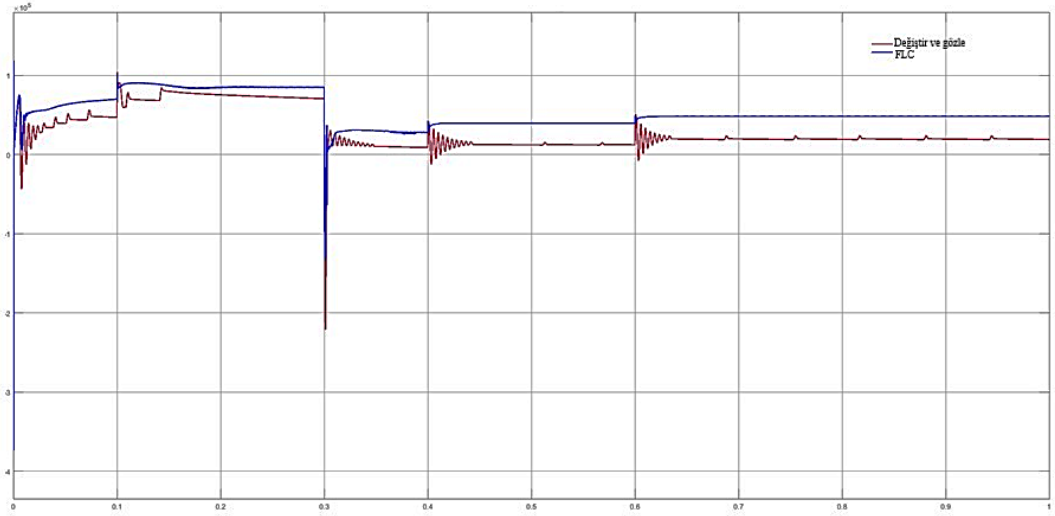
P&O ve bulanık kontrolör arasındaki Gerilim, Akım ve çıkış gücünün kombinasyonu
Şekil 5.27'den Şekil 5.29'ye kadar gösterilmiştir.



Şekil 5.27 Akım sinyali karşılaştırması



Şekil 5.28 Gerilim sinyali karşılaştırması



Şekil 5.29 Çıkış güç sinyali karşılaştırması

FLC MPPT'ye dayalı PV sistemin simülasyon sonuçları, Tablo 5.3'te gösterilmektedir.

Tablo 5.3 FLC MPPT'ye dayalı PV sistem simülasyon sonuçları

Periyot	Güneş		Enerji			Gerilim		Akım	
Time (sec)	IR (W/m2)	Temp (C)	P _{p_v} (KW)	P _{out} (KW)	Eff (%)	V _{p_v} (V)	V _{out} (V)	I _{p_v} (A)	I _{out} (A)
0-0.1	800	45	47,767	45,67	95,7	152	336,8	314	135,6
0.1-0.3	1000	55	75,460	74,88	99,23	192,58	431,1	392	173,7
0.3-0.4	300	15	9,744	9,42	99,8	80,98	147	116	64,06
0.4-0.6	400	25	12,161	12,145	99,7	78,071	174,07	156,35	70,06
0.6-1	500	35	19,633	19,281	98,2	98,43	219,99	196,337	87,34

P&O MPPT'ye dayalı PV sistem simülasyonunun simülasyon sonuçları, Tablo 5.4'te gösterilmektedir.

Tablo 5.4 P&O MPPT'ye dayalı PV sistem simülasyonunun simülasyon sonuçları

Periyot	Güneş		Enerji			Gerilim		Akım	
Time (sec)	IR (W/m2)	Temp (C)	P _{p_v} (KW)	P _{out} (KW)	Eff (%)	V _{p_v} (V)	V _{out} (V)	I _{p_v} (A)	I _{out} (A)
0-0.1	800	45	47,767	42,63	89,25	152	261,69	314	162,9
0.1-0.3	1000	55	75,460	73,88	97,91	192,58	400,4	392	184,5
0.3-0.4	300	15	9,744	9,61	98,62	80,98	159,87	116	60,11

Tablo 5.4. Devamı...

Periyot	Güneş		Enerji			Gerilim		Akım	
Time (sec)	IR (W/m2)	Temp (C)	P_pv (KW)	Pout (KW)	Eff (%)	V_pv (V)	Vout (V)	I_pv (A)	Iout (A)
0.4-0.6	400	25	12,161	11,98	98,51	78,071	174,3	156,35	68,73
0.6-1	500	35	19,633	19,12	97,39	98,43	221,21	196,337	86,43

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji üretimi modern dünyanın ön saflarında yer alırken, geleneksel enerji kaynakları petrol ve gazdan türetilmiştir. Yıllar geçtikçe, enerji talebindeki artış, fosil yakıtların yakılmasında ve ardından küresel olarak iklimimizi etkileyen karbon emisyonlarında bir artış gördü. Son zamanlarda bu eğilim, örneğin fosil yakıt dayalı elektrik üretimi aşamalı olarak kullanımdan kaldırıldığı ve yenilenebilir kaynaklarla değiştirildiği için değişmektedir. Ancak, fosil yakıt kullanımı hala önemli.

Bu etkilerden dolayı güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, okyanus akıntıları gibi yenilenebilir enerjiler ve biyo-yakıtların kullanımı, karbon emisyonlarının etkilerini azaltarak küresel iklimi olumlu yönde etkilemek amacıyla geleneksel enerji üretimine umut vaat eden alternatiflerdir. Elektrik enerjisi üretimi için yenilenebilir enerjinin yaygın uygulamalarından biri, güneş enerjisi çiftlikleri olarak adlandırılan geniş alanlarda güneş panellerinin kullanılmasıdır.

Bu tezde sunulan model, herhangi bir çalışma koşulu için hücre I-V ve P-V eğrilerini tahmin etmek için yarı deneysel denklemlerle maksimum gücü elde etmek için gücün çıkışını kontrol etmek için bulanık mantık kullanır. Model, referans koşullarında parametrelerin bir kerelik hesaplanmasını gerektirir. Değerler daha sonra simülasyonu çalıştırmak için model içinde kullanılır ve MPPT'yi tahmin etmeyi mümkün kılar. MPPT'nin amacı, FV sistemlerinden yüksek seviyeli gücü çıkarmaktır. Bu tezin amacı, MPPT verimliliği temelinde en etkili olan ve çok çeşitli çalışma koşulları yaşayan sistemle için uygunluklarını dikkate alarak önerilen bir MPPT yönetimi sunar. Bu tezde elde edilen modelleme sonuçları, basitleştirici yaklaşımlar üretmek için farklı bir ışınım varsayımından yararlandı.

Bu tez, bir fotovoltaik kaynağın maksimum güç noktasını izlemek için bulanık denetleyicili bir PV modelleme sistemi önerdi ve daha sonra Simulink/Mat laboratuvarında simüle edildi. Bulanık sistemin temel yapı blokları denetleyiciyi (Bulanıklaştırma, Çıkarım ve Durulaştırma) oluşturmak için kullanılmıştır. Bu bloklar bulanık girdileri okur ve tesisin çalışmasını programlar. Program daha sonra bunları

çıktı eylemine dönüştürür. Bu kontrolörde giriş ve çıkışların üyelik fonksiyonları üçgen ve genelleştirilmiş çan şekillerinde önerilmiş ve bu kontrolör için Mamdani bulanık çıkarım yöntemi ve Durulaştırma prosedürü olarak merkez yöntemi de seçilmiştir. PV, boost dönüştürücü, bulanık kontrolör ve yük, ısıtım ve sıcaklık değişikliklerine yanıt olarak modellenmiş ve simüle edilmiştir.

Bu tezde iki MPPT algoritması (P&O ve FL) ele alınmıştır. Bu yöntemlerin modellemeleri ve simülasyonları MATLAB/Simulink'te tanıtılmış ve yapılmıştır. P&O yöntemi, giriş değişkeninin adım boyutu çok küçükse, MPP'yi izlemedeki doğruluk yüksektir ancak izleme hızı çok yavaş olur. Öte yandan, adım boyutu artarsa, doğruluk bozulur (ortalama bir nokta etrafında salınım meydana gelir) ancak izleme hızı artar.

Bu yöntemde hem doğruluk hem de izleme hızı aynı anda elde edilemez. Ancak bulanık yöntemde bu ikisi aynı anda elde edilebilir. Önerilen bulanık mantık tabanlı yöntem, karmaşık kural tabanlarına sahip geleneksel bulanık yöntemlere göre daha da iyidir ve çok dikkatli tasarlanmazsa, gerçek zamanlı olarak ani parametre değişiklikleri meydana geldiğinde beklenmedik sonuçlar üretebilir.

Sonuçlar, MPPT için önerilen bulanık denetleyicinin yaklaşık %98 izleme verimliliği ile iyi çalıştığını göstermektedir. Bulanık denetleyici ve P&O için 300, 400, 500, 800 ve 1000 ışınlama gibi beş farklı senaryo kullandık ve sistemin bulanık için verimliliğini hesapladık. Her radyasyon için 99,80; 99,70; 98,20; 95,70 ve 99,23 elde ettik. Ayrıca P&O için sırasıyla 98,62; 98,51; 97,39; 89,25 ve 97,91 elde ettik. Sonuçlar, MPPT için önerilen bulanık denetleyicinin güç çıkışı verimliliği açısından P&O denetleyicisinden daha iyi çalıştığını göstermektedir.

Gelecekteki bir çalışma olarak, sistem modelini geliştirmeyi ve yaşamdaki uygulamaya daha uygun hale getirmeyi hedefliyoruz, elektrikli araçlar için hızlı şarj istasyonları, gelecekteki çalışma olarak öneriliyor ve yenilenebilir enerji kaynaklarını şebeke ile entegre edilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca bugün küresel enerji dönüşümünde esas rol oynayan yenilenebilir enerji ile birlikte Libya'nın bulunduğu coğrafyada hava sıcaklığının yüksek ve güneşin bol olması nedeniyle bu avantajdan

yararlanarak bir prototip geliştirilerek farklı MPPT algoritmaların sonuçları analiz edilerek bir karşılaştırma yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Agroui, K., Jaunich, M. & Arab, A.H. (2016). Analysis techniques of polymeric encapsulant materials for photovoltaic modules: Situation and perspectives. *Energy Procedia*, 93, 203-210.
- Akram, M. & Luqman, A. (2020). *Fuzzy Hypergraphs and Related Extensions*. Springer Singapore.
- Al-Jumaili, M.H., Abdalkafor, A.S. & Taha, M. Q. (2019). Analysis of the hard and soft shading impact on photovoltaic module performance using solar module tester. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 10(2).
- Almirall, G. G. (2020). Analysis of the potential of solar-based energy technologies to meet the energy demand of a hospital. Master Thesis, *Universitat Politècnica de Catalunya Energy Engineering*. Barcelona.
- Alsarrar, M. R. M., Gültepe, Y. & Matoug, N. A. A. (2021). A system to identity human entering the place by fingerprint based on artificial neural network. *IJESC*, 11(05), 27920-27924.
- Arora, N. D. & Hauser, J.R. (1982). Temperature dependence of silicon solar cell characteristics. *Solar Energy Materials*, 6(2), 151-158.
- Arpacı, G. N., Gözde, H. & Taplamacıoğlu, M. C. (2019). design and comparison of perturb & observe and fuzzy logic controller in maximum power point tracking system for PV system by using MATLAB/Simulink. *International Journal of Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 3(1), 66-71.
- Babaa, S.E., Armstrong, M. & Pickert, V. (2014). Overview of maximum power point tracking control methods for FV systems. *Journal of Power and Energy Engineering*, 2, 59-72.
- Bae, S., Oh, W., Lee, K.D., Kim, S., Kim, H., Park, N., vd. (2017). Potential induced degradation of n-type crystalline silicon solar cells with p+ front junction. *Energy Science & Engineering*, 5(1), 30-37.
- Benghanem, M.S. & Alamri, S.N. (2009). Modeling of photovoltaic module and experimental determination of serial resistance. *Journal of Taibah University for Science*, 2(1), 94-105.
- Boehinger, A. F. (1968). Self adaptive DC converter for solar spacecraft power supply. *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic Systems*, AES-4, 102-111.
- Castaner, L. & Silvestre, S. (2002). *Modelling photovoltaic systems using PSpice*. John Wiley and Sons.
- Chapin, D.M., Fuller, C.S. & Pearson, G.L. (1954). A new silicon p-n junction photocell for converting solar radiation into electrical power. *Journal of Applied Physics*, 25(5), 676-677.

- Cheikh, S. M. A., Kebir, G. F. & Larbes, C. (2007). Maximum power point tracking using a fuzzy logic control scheme. *Revue des Energies Renouvelables*, 10(3), 387-395
- Chikate, B.V, Sadawarte, Y., & Sewagram, B. (2015). The factors affecting the performance of solar cell. *International Journal of Computer Applications*, 1(1).
- Crocker, F.A. (2017). Prediction Of Photovoltaic (FV) Output Via Artificial Neural Network (Ann) Based On Real Climate Condition. Master Thesis, *Universiti Tun Hussein Onn Malaysi Faculty of Electrical and Electronic Engineering*. Malaysia.
- Çelik, A.N. & Koç, F. (2020). Polikristal tür bir fotovoltaiik panelin I-V karakteristiğinin analitik modellenmesi ve deneysel doğrulanması. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 8(2020), 2491-2515.
- Deniz, E. (2013). Güneş enerjisi santrallerinde kayıplar, *ELECO'2013 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu*.
- de Oliveira, M.C.C., Cardoso, A.S.A.D., Viana, M.M. & Lins, V.F.C. (2018). The causes and effects of degradation of encapsulant ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) in crystalline silicon photovoltaic modules: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2299-2317.
- Dierauf, T., Growitz, A., Kurtz, S., Cruz, J. L. B. , Riley, E. & Hansen, C. (2013). Weather-corrected performance ratio. Natioanl Renewable Energy Laboratory, NREL/TP-5200-57991.
- Diwania, S., Agrawal, S., Siddiqui, A.S. & Singh, S. (2020). Photovoltaic-thermal (FV/T) technology: a comprehensive review on applications and its advancement. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 11(1), 33-54.
- Eldin, A.H., Refaey, M. & Farghly, A. (2015). A review on photovoltaic solar energy technology and its efficiency. *17th International Middle-East Power System Conference*.
- Fawzy, I. Y., Mohammed, Y. S., Shehata, E. G., Sattar, M. A. E. (2021). A modified perturb and observe technique for MPPT of intgrated PV system using DC-DC boost converter. *Journal of Advances Engineering Trends*, 40(1), 63-77.
- Fong, K.C., McIntosh, K.R. & Blakers, A.W. (2013). Accurate series resistance measurement of solar cells. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 21(4), 490-499.
- Gnetchejo, P.J., Essiane, S.N., Dadjé, A., Ele, P., Wapet, D.E.M., Ngoffe, S.P. & Chen, Z. (2021). A Self-adaptive algorithm with Newton Raphson method for parameters Identification of photovoltaic modules and array. *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, 1-20.
- Gross, R., Leach, M., & Bauen, A. (2003). Progress in renewable energy. *Environment*

International, 29(1), 105-122.

- Gupta, K.K., Rehman, A. & Sarviya, R.M. (2010). Bio-fuels for the gas turbine: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2946-2955.
- Gültepe, Y. & Duru, A.E. (2018). Daily SO₂ air pollution prediction with the use of artificial neural network models. *International Journal of Computer Applications*, 181(34), 36-40.
- Hamed, B. M. & El-Moghany, M. S. (2012). Fuzzy controller design using FPGA for photovoltaic maximum power point tracking. *IJARAI*, 1(3), 14-21.
- Hasan, M.A. & Sumathy, K. (2010). Photovoltaic thermal module concepts and their performance analysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 1845-1859.
- Haque, A., Bharath, K.V.S., Khan, M.A., Khan, I. & Jaffery, Z.A. (2019). Fault diagnosis of photovoltaic modules. *Energy Science & Engineering*, 7(3), 622-644.
- Hou, J., Inganäs, O., Friend, R.H. & Gao, F. (2018). Organic solar cells based on non-fullerene acceptors. *Nature Materials*, 17(2), 119-128.
- Hsiao, K.-J. (2019). Electroplated CdTe Solar Technology At Reel Solar. *2019 IEEE 46th Photovoltaic Specialists Conference*, 1429-1432.
- Hurter, W.S., du Plessis, H. & van Rensburg, N.J. (2013). Simplified encapsulation of solar cells using glass fibre reinforced polymers. *2013 Africon*, 1-5.
- Ibrahim, A., Ramadan, M.R.I., Aboul-Enein, S., Elsebail, A.-A. & El-Broullesy, S. M. (2011). Short circuit current I_{sc} as a real non-destructive diagnostic tool of a photovoltaic modules performance. *International Journal of Renewable Energy Research*, 1(3), 553-559.
- Islam, N. (2014). Modeling of Photovoltaic Module Under Varying Solar Irradiance. Yüksek Lisans Tezi, *Bangladesh Üniversitesi, Bangladesh*.
- Jain, S. & Agarwal, V. (2004). A new algorithm for rapid tracking of approximate maximum power point in photovoltaic systems. *IEEE Power Electronics Letters*, 2(1), 16-19.
- Jain, A. & Kapoor, A. (2005). a new approach to study organic solar cell using Lambert W-function. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 86(2), 197-205.
- Jordan, D.C. & Kurtz, S.R. (2013). Photovoltaic degradation rates—an analytical review. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 21(1), 12-29.
- Kamran, M., Mudassar, M., Fazal, m. R., Asghar, M. U., Bilal, M. & Asghar, R. (2020). Implementation of improved Perturb&Observe MPPT technique with confined search space for standalone photovoltaic system. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 32(7), 432-441.
- Knopf, H. (1999). Analysis, simulation and evaluation of maximum power point

- tracking (MPPT) methods for a solar powered vehicle. Master Thesis, Portland State University.
- Kotak, V.C. & Tyagi, P. (2013). DC to DC Converter in maximum power point tracker. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2(12), 6115-6125.
- Köntges, M., Kurtz, S., Packard, C., Jahn, U., Berger, K.A., Kato, K., vd. (2014). Performance and reliability of photovoltaic systems. *International Energy Agency Technical Report*.
- Kulaksız, A. A. (2007). Ann-based control of a PV system with maximum power point tracker and SVM inverter. Ph.D. Thesis at Selcuk Uni., Graduate School of Natural and Applied Sciences, Dept. of Electrical and Elect. Eng.
- Levi, D.H., Green, M.A., Hishikawa, Y., Dunlop, E.D., Hohl-Ebinger, J. & Ho-Baillie, A.W.Y. (2017). Solar cell efficiency tables (version 51). *Progress in Photovoltaics*, 26(NREL/JA-5J00-70757).
- Lincot, D. (2017). The new paradigm of photovoltaics: From powering stallites to powering humanity . *Comptes Rendus Physique*, 18 (7-8), 381-390.linc
- Marszal, A.J., Heiselberg, P., Jensen, R.L. & Nørgaard, J. (2012). On-site or off-site renewable energy supply options? Life cycle cost analysis of a Net Zero Energy Building in Denmark. *Renewable Energy*, 44, 154-165.
- Masters, G.M. (2013). *Renewable and Efficient Electric Power Systems*. John Wiley & Sons.
- Motahhir, S., Hammoumi, A. E. & Abdelaziz, E. G. (2019). The most used mppt algorithms: Review and the suitable low-cost embedded board for each algorithm. *Journal of Cleaner Production*.
- Naidu, V. V. & Mohan, T. M. (2013). Modeling and Simulation of Photovoltaic System, *Golden Research thoughts*, 3(6), 1-6.
- Nedumgatt, J. J., Jayakrishnan, K. B., Umashankar, S., Vijayakumar, D. & Kothari, D. P. (2011). Perturb and observe MPPT algorithm for solar PV systems-modeling and simulation. 2011 Annual IEEE India Conference.
- Neupane, S. & Kumar, A. (2017). Modeling and Simulation of FV array in Matlab/Simulink for comparison of perturb and observe & incremental conductance algorithms using buck converter. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 4(7), 2479-2486.
- Ogunkunle, O. & Ahmed, N.A. (2019). A review of global current scenario of biodiesel adoption and combustion in vehicular diesel engines. *Energy Reports*, 5, 1560-1579.
- Omid, M. (2011). Design of an expert system for sorting pistachio nuts through decision tree and fuzzy logic classifier. *Expert Systems with Applications*, 38, 43339-4347.

- Ortiz-conde, A., Sanchez, F. J. G. & Muci, J. (2006). New method to extract the model parameters of solar cells from the explicit analytic solutions of their illuminated I-V characteristics. *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 90(3), 352-361.
- Osigwe, C. (2019). *Thévenin Equivalent of Solar Cell Model*. Master Thesis, Minnesota State University Electrical Engineering. Mankato.
- Özçelik, M. A. & Yılmaz, A. S. (2016). Effect of improving perturb and observe mppt algorithm on AC grid connected PV systems. *IU-JEEE*.
- Padi, S. P., chowdhury, S., Zahid, M. A., Kim, J., Cho, e.-C. & Yi, J. (2021). a Brief Review on Variables and Test Priorities of Photovoltaic Module Life Expectancy. *Current Photovoltaic Research*, 9(2), 36-44.
- Podder, A.K., Roy, N.K. & Pota, H.R. (2019). MPPT methods for solar FV systems: A critical review based on tracking nature. *IET Renewable Power Generation*.
- Poulek, V., Strebkov, D. S., Persic, I.S. & Libra, M. (2012). Towards 50 years lifetime of FV panels laminated with silicone gel technology. *Solar Energy*, 86(10), 3103-3108.
- Prakash, J., Sahoo, S. K., Karthikeyan, S. P. & Raglend, I. J. (2014). Design of PSO-Fuzzy MPPT Controller for Photovoltaic Application. *International Conference on Artificial Intelligence and Evolutionary Algorithms in Engineering Systems*, 1339-1348.
- Pysch, D., Mette, A. & Glunz, S.W. (2007). A review and comparison of different methods to determine the series resistance of solar cells. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 91(18), 1698-1706.
- Radue, C. & Van Dyk, E.E. (2010). A comparison of degradation in three amorphous silicon FV module technologies. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 94(3), 617-622.
- Rai, A. K., Kaushika, N. D., Singh, B. & Agarwal, N. (2010). Simulation model of ANN based maximum power point tracking controller for solar PV system. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 95(2), 773-778.
- Salas, V., Olías, E., Barrado, A. & Lazaro, A. (2006). Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 90 (11), 1555-1578.
- Saon, S. & Chee, W.S. (2013). Development of optimum controller based on MPPT for photovoltaic system during shading condition. *Procedia Engineering*, 53, 337-346.
- Sarkar, S. & Rahman, Md.M. (2018). Power-energy optimization of solar photovoltaic device modeling. *IEEE Electron Device Kolkata Conference*, 541-546.
- Seyedmahmoudian, M., Mekhilef, S., Rahmani, R., Yusof, R. & Renani, E.T. (2013). Analytical modeling of partially shaded photovoltaic systems. *Energies*, 6(1), 128-144.

- Soufi, Y., Bechouat, M., Kahla, S. & Bouallegue, K. (2014). Maximum power point tracking using fuzzy logic control for photovoltaic system. *3rd International Conference on Renewable Energy Research and Application*.
- Tashtoush, T., Alazzam, A. & Rodan, A. (2020). Utilizing fuzzy logic controller in manufacturing facilities design: Machine and operator allocation. *Cogent Engineering*, 7(1), 1771820.
- Ushida, A. & Tanaka, M. (2002). Electronic circuit simulation. Japan: Corona Publishing, Ch. 5.1, 148-158.
- Veerappan, G., Ramasamy, E. & Gowreeswari, B. (2019). Economical and highly efficient non-metal counter electrode materials for stable dye-sensitized solar cells. In *dye-sensitized solar cells* (pp. 397-435). Elsevier.
- Veligorskyi, O., Chakirov, R. & Vagapov, Y. (2015). Artificial neural network-based maximum power point tracker for the photovoltaic application. *2015 1st International Conference on Industrial Networks and Intelligent Systems*, 133-138.
- Vishwakarma, S. (2017). Study of Partial shading effect on Solar Module Using MATLAB. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 6(7), 5303-5308.
- Wallace, R.L., Hanoka, J.I., Rohatgi, A. & Crotty, G. (1997). Thin silicon string ribbon. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 48(1-4), 179-186.
- Wohlgemuth, J.H., Cunningham, D.W., Monus, P., Miller, J. & Nguyen, A. (2006). Long term reliability of photovoltaic modules. *2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conference*, 2, 2050-2053.
- Zadeh, L.A. & Aliev, R.A. (2018). *Fuzzy Logic Theory And Applications: Part I and Part II*. World Scientific Publishing.
- Zadeh, L.A. & Live, R.A. (2019). *Fuzzy Logic Theory and Applications*. World Scientific.
- Zadeh, L.A., Yager, R.R., Shahbazova, S.N., Reformat, M.Z. & Kreinovich, V. (2018). *Recent Developments and the New Direction in Soft-Computing Foundations and Applications. Selected Papers from the 6th World Conference on Soft Computing*. Berkeley, USA (Vol. 361). Springer.
- Zadeh, L.A., Klir, G.J. & Yuan, B. (1996). *Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers* (Vol. 6). World Scientific.
- URL-1. Türkiye Güneş Haritası, <https://www.gnssolar.com/icerik/860/turkiye-gunes-haritasi>. Erişim Tarihi: 10/02/2021.
- URL-2. RNG-160DB-H, https://www.renogy.com/content/files/Specifications/RNG-160DB-H_spec.pdf. Erişim Tarihi: 05/10/2019.
- URL-3. Center for Solar Energy Research and Applications, <http://gunam.metu.edu.tr/solar-tech/pv-cell-types/>. Erişim Tarihi: 10/05/2021.