

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



**FOTOVOLTAİK BİR SİSTEM İÇİN ARALIKLI TİP-2
BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ TABANLI
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ TASARIMI**

Hilal KARAASLAN

Yüksek Lisans Tezi

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Yenilenebilir Enerji Sistemleri Bilim Dalı

HAZİRAN 2022

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK BİR SİSTEM İÇİN ARALIKLI TİP-2
BULANIK MANTIK DENETLEYİCİ TABANLI
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ TASARIMI

Tez Yazarı

Hilal KARAASLAN

Danışman

Prof. Dr. Resul ÇÖTELİ

HAZİRAN 2022

ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Fotovoltaik Bir Sistem için Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık Denetleyici Tabanlı Maksimum Güç Noktası Takibi Tasarımı
Yazarı:	Hilal KARAASLAN
İlk Teslim Tarihi:	25.04.2022
Savunma Tarihi:	30.06.2022

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Resul ÇÖTELİ Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Sami EKİCİ Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÜSTÜNDAĞ Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../2022 tarihli toplantısında tescillenmiştir.

Prof. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Fotovoltaik Bir Sistem için Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık Denetleyici Tabanlı Maksimum Güç Noktası Takibi Tasarımı” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

30/06/2022

Hilal KARAASLAN

ÖNSÖZ

Güneş enerjisinden elektrik üretimi, son yıllarda elektrik enerjisi uygulamalarında önemli bir yer haline gelmiştir. Bununla birlikte, fotovoltaik panelleri tarafından üretilen elektrik enerjisi güneş ışınım miktarı, panel sıcaklığı, panelin kirlilik derecesi, panelin gölgelenmesi gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu nedenle, fotovoltaik sisteminin verimliliğini artırmak için fotovoltaik enerji dönüşüm sistemlerini maksimum güç noktasına yakın bir yerde çalıştırmak önemlidir. Bu amaçla, hava koşullarındaki değişikliklerden bağımsız olarak fotovoltaik modülden sürekli olarak maksimum güç sağlamak, fotovoltaik sistemin verimliliğini artırmak için maksimum güç noktası takibi (MPPT) kontrolüne ihtiyaç duyulur. Fotovoltaik sistemlerden maksimum gücün elde edilmesi için literatürde birçok MPPT yöntemi önerilmiştir. Değiştir&Gözle (P&Q), artan iletkenlik (InC) en yaygın bilinen MPPT yöntemleridir. Bu tez çalışmasında, bir fotovoltaik sistemin MPPT kontrolü için Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık (IT2BM) tabanlı bir MPPT yöntemi önerilmiştir.

Fotovoltaik panel, DC-DC dönüştürücü ve IT2BM tabanlı MPPT yöntemini içeren sistem Matlab/Simulink kullanılarak modellenmiştir. Oluşturulan modelin performansı farklı çalışma şartları altında incelenmiş ve önerilen MPPT yönteminin sonuçları P&Q MPPT yönteminin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yüksek Lisans Tez çalışmalarım boyunca bilgi ve tecrübesiyle beni yönlendiren, ilgi ve hoşgörüsünü esirgemeyen, her türlü olanağı sağlayan Prof. Dr. Resul ÇÖTELİ'ye ve Dr. Öğr. Üyesi Hakan AÇIKGÖZ'e teşekkür ederim.

Hilal KARAASLAN

ELAZIĞ, 2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
TABLOLAR LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. GÜNEŞ PİLLERİ	5
2.1. Güneş Pilinin Matematiksel Modeli	12
3. DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER	17
DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER	17
3.1. Düşüren Tip DC-DC Dönüştürücü	17
3.2. Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü	20
3.3. Düşüren-Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü	23
3.4. Cuk Tip DC-DC Dönüştürücü	26
4. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ	29
4.1. MPPT Yönteminin Performansının Değerlendirilmesinde Kullanılan Kriterler	35
5. BULANIK MANTIK SİSTEMLER	37
5.1. Tip-1 Bulanık Mantık Sistemler	37
5.2. Tip-2 Bulanık Mantık Sistemler	39
5.2.1. Tip-2 Bulanık Küme ve Üyelik Fonksiyonları	40
5.3. Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık Sistemler	41
6. SİMÜLASYON SONUÇLARI	45
ÖNERİLER	45
7. SONUÇLAR	55
KAYNAKLAR	56
ÖZGEÇMİŞ	59

ÖZET

Fotovoltaik Bir Sistem için Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık Denetleyici Tabanlı Maksimum Güç Noktası Takibi Tasarımı

Hilal KARAASLAN

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı
Haziran 2022, Sayfa: xii + 58

Fotovoltaik sistemlerin çevre dostu olmaları, gürültüsüz çalışmaları ve yakıt maliyetlerinin olmaması gibi üstünlüklerinin yanında yatırım maliyetlerinin yüksek olması, enerji dönüşümündeki verimliliklerinin düşük olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Bu nedenle fotovoltaik sistemlerin verimini arttırmaya yönelik çalışmalar önem kazanmıştır. Bir fotovoltaik sistemi maksimum verimde çalıştırabilmek için, bir maksimum güç izleyici (MPPT) yönteminin kullanılması gerekir. MPPT yöntemi ile fotovoltaik panellerin daima maksimum güç noktasında ve daha verimli çalışması sağlanabilir.

Bu tez çalışmasında, fotovoltaik panelden beslenen bir DC-DC dönüştürücünün MPPT kontrolü için dayanıklı yapıya sahip Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık (IT2BM) tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem ile güçte meydana gelen salınımların ve güç hatasının azaltılması, hava şartlarında meydana gelen değişimlerde MPPT yönteminin performansını en az etkilemesi amaçlanmıştır. Önerilen yöntemin performansını değerlendirmek için dört adet 1Soltech 1STH-215-P marka fotovoltaik panel, yükselten tip DC-DC dönüştürücü, yük ve MPPT yöntemini içeren bir Matlab/Simulink benzetim modeli oluşturulmuştur. Dönüştürücü için anahtarlama frekansı 5 kHz seçilmiş ve kapı darbeleri darbe genişlik modülasyon (PWM) yöntemi ile üretilmiştir. Tasarlanan IT2BM iki girişe ve bir çıkışa sahiptir. IT2BM'ye girişler hata (E) ve hatanın değişimi (ΔE), çıkış ise doluluk oranındaki değişim (Δd) olarak belirlenmiştir. Sürekli durum hatasını gidermek için IT2BM'nin çıkışı integre edilmiştir. Benzetim modelinin dinamik performansı panel sıcaklığı sabit tutulup ışıyım zamana göre değiştirilerek incelenmiştir. Bu çalışma şartları altında önerilen MPPT yönteminden elde edilen yük akımını, yük gerilimi, panel akımını, panel gerilimini, panel gücünü, MPPT güç hatasını ve MPPT yönteminin verimini içeren benzetim sonuçları verilmiştir. Ayrıca önerilen MPPT yöntemin etkinliğini göstermek için benzetim sonuçları aynı çalışma şartları için P&Q MPPT yönteminin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar IT2BM tabanlı MPPT yönteminin P&Q MPPT yönteminden cevap hızı, güçte meydana gelen salınım ve güç hatası bakımından daha üstün bir performansa sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Sistemler, Maksimum Güç Noktası Takibi, MPPT Yöntemi, Değiştir & Gözle, Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık Denetleyici.

ABSTRACT

Design of Interval Type-2 Fuzzy Logic Controller Based Maximum Power Point Tracking for a Photovoltaic System

Hilal KARAASLAN

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY

Graduate School of Natural and Applied Sciences

June 2022, Page: xii + 58

Photovoltaic systems have advantages such as environmental friendliness, noiseless operation and no fuel costs, as well as disadvantages such as high investment costs and low efficiency in energy conversion. For this reason, studies to increase the efficiency of photovoltaic systems have gained importance. In order to operate a photovoltaic system at maximum efficiency, a maximum power point tracking (MPPT) method must be used. With the MPPT method, photovoltaic panels can always be operated at the maximum power point and more efficiently.

In this thesis, a robust Intermittent Type-2 Fuzzy Logic (IT2BM) based method is proposed for MPPT control of a DC-DC converter fed from a photovoltaic panel. With the proposed method, it is aimed to reduce the oscillations in power and to have the least effect on the performance of the MPPT method in changes in load and weather conditions. In order to evaluate the performance of the proposed method, a Matlab/Simulink simulation model including 4 1Soltech 1STH-215-P brand 213.15 W photovoltaic panels, amplifier type DC-DC converter, load and MPPT method was created. The switching frequency for the converter was selected as 5 kHz and the gate pulses were generated by the pulse width modulation (PWM) method. The designed IT2BM has two inputs and one output. Inputs to IT2BM are determined as error (E) and change of error (ΔE), and output as duty ratio (d). The dynamic performance of the simulation model was investigated by keeping the panel temperature constant and changing the radiation according to time. The simulation results including the load current, load voltage, panel current, panel voltage, panel power and efficiency of the MPPT method obtained from the proposed MPPT method under these operating conditions are given. In addition, the simulation results were compared with the results of the P&Q MPPT method for the same operating conditions to show the effectiveness of the proposed MPPT method. The results show that the IT2BM-based MPPT method has a superior performance than the P&Q MPPT method in terms of response speed and power oscillation.

Keywords: Photovoltaic Systems, Maximum Power Point Tracking, MPPT Methods, Perturb - Observe, Interval Type-2 Fuzzy Logic Controller..

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Güneş Pillerinin Kullanım Alanları 5
Şekil 2.2	Saf Silisyum Kristal Yapısı 6
Şekil 2.3	N-Tipi Yarı İletken Malzeme 7
Şekil 2.4	P-Tipi Yarı İletken Malzeme 8
Şekil 2.5	P-N Tip Yarı İletken Malzeme 9
Şekil 2.6	Boşaltılmış Bölgesi P-N Tip Yarı İletken Malzeme 9
Şekil 2.7	İleri Yönde Kutuplanmış P-N Tip Yarı İletken Malzeme 10
Şekil 2.8	Güneş Pili'nin Tek Diyotlu Elektriksel Eşdeğer Devresi 12
Şekil 2.9	Fotovoltaik Hücrelerin Seri ve Paralel Bağlanması ile Oluşturulan Güneş Paneli 14
Şekil 2.10	Güneş Pili'nin Tipik I-V Karakteristiği 15
Şekil 3.1	Düşüren Tip DC-DC Dönüştürücü Devresi [38] 18
Şekil 3.2	Denetimli Anahtarın İletimde Olduğu Durum İçin Düşüren Tip DC-DC Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi [38] 18
Şekil 3.3	Denetimli Anahtarın Kesimde Olduğu Durum İçin Düşüren Tip DC-DC Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi [38] 19
Şekil 3.4	Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü Devresi [38] 20
Şekil 3.5	Denetimli Anahtarın İletimde Olduğu Durum İçin Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi [38] 21
Şekil 3.6	Denetimli Anahtarın Kesimde Olduğu Durum için Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi [38] 22
Şekil 3.7	Düşüren-Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü Devresi [38] 23
Şekil 3.8	Denetimli Anahtarın İletimde Olduğu Durum için Düşüren-Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi [38] 24
Şekil 3.9	Denetimli Anahtarın Kesimde Olduğu Durum için Düşüren-Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi [38] 25
Şekil 3.10	Cuk DC-DC Dönüştürücü Devresi [38] 26
Şekil 3.11	Denetimli Anahtar İletimde İken Cuk DC-DC Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi [38] 26
Şekil 3.12	Denetimli Anahtar Kesimde İken Cuk DC-DC Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi [38] 27
Şekil 4.1	Fotovoltaik Sistemlerde MPPT Uygulamasının Şematik Gösterimi 29
Şekil 4.2	P&Q MPPT Yönteminin Temel Akış Şeması 30
Şekil 4.3	InC MPPT Yönteminin Temel Akış Şeması 31
Şekil 4.4	HC MPPT Yönteminin Temel Akış Şeması 32
Şekil 4.5	Bulanık Mantık Tabanlı MPPT Yönteminin Blok diyagramı 33
Şekil 4.6	Bulanık Mantık Tabanlı MPPT Yönteminin Blok Diyagramı 34
Şekil 4.7	ANFIS Tabanlı MPPT Yönteminin Blok Diyagramı 35
Şekil 4.8	MPPT ve Güç Dönüşüm Verimi [44] 36
Şekil 5.1	Yaş için Keskin Küme Örneği 37
Şekil 5.2	T1BMS'lerde Yaygın Olarak Kullanılan Üyelik Fonksiyonları 38
Şekil 5.3	T1BMS'in Genel Yapısı 38

Şekil 5.4	T2BMS'in Genel Yapısı	40
Şekil 5.5	Tip-2 Üyelik Fonksiyonu	41
Şekil 5.6	Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık Sistemin Üyelik Fonksiyonu	41
Şekil 6.1	IT2BM Tabanlı MPPT Yönteminin Matlab/Simulink Benzetim Modeli	46
Şekil 6.2	Fotovoltaik Panel Bloğunun Alt Bloğu	46
Şekil 6.3	Yükselten Tip Dönüştürücü Simulink Bloğunun Alt Bloğu	47
Şekil 6.4	MPPT Simulink Bloğunun Alt Bloğu	47
Şekil 6.5	IT2BM MPPT Simulink Bloğunun Alt Bloğu	48
Şekil 6.6	IT2BM Simulink Bloğunun Alt Bloğu	48
Şekil 6.7	Işınımın Değişimine Ait Matlab/Simulink Bloğu	49
Şekil 6.8	Önerilen MPPT Yönteminden Elde Edilen Panel Gücünün Değişimine Ait Benzetim Sonucu	50
Şekil 6.9	P&Q MPPT Yönteminden Elde Edilen Panel Gücünün Değişimine Ait Benzetim Sonucu	51
Şekil 6.10	Önerilen MPPT Yönteminden Elde Edilen Panel Gerilimi-Akımı ve Yük Gerilimi-Akımının Değişimine Ait Benzetim Sonucu	52
Şekil 6.11	P&Q MPPT Yönteminden Elde Edilen Panel Gerilimi-Akımı ve Yük Gerilimi-Akımının Değişimine Ait Benzetim Sonucu	52
Şekil 6.12	IT2BM ve P&Q MPPT Yönteminden Elde Edilen MPPT Veriminin Değişimine Ait Benzetim Sonucu	53
Şekil 6.13	IT2BM ve P&Q MPPT Yönteminden Elde Edilen Güç Hatasının Değişimine Ait Benzetim Sonucu	54

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 6.1. Benzetim Modeline Ait Parametreler	45
--	----



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

P	: Güç
V	: Gerilim
I	: Akım
E	: Hata
ΔE	: Hata Değişimi
d	: Doluluk Oranı
Δd	: Doluluk Oramındaki Değişim
I_{pv}	: Foton Akımı
R_s	: Seri Direnç
R_{sh}	: Parelel Direnç
I_D	: Diyot Akımı
I_{sh}	: Parelel Direnç Akımı
G	: Anlık Güneş Işınımı
G_{ref}	: Standart Test Koşullarındaki Güneş Işınımı
α_T	: Kısa Devre Akımının Bağlı Sıcaklık Katsayısı
I_{sat}	: Ters Doyum Akımı
a	: İdealite Faktörü
q	: Elektron Yüğü
k	: Boltzmann Sabiti
E_g	: Bant Aralığı Enerjisi
E_{gap}	: Yarı İletken Malzemenin Bant Enerjisi
V_p	: Fotovoltaik Panelin Çıkış Gerilimi
I_p	: Fotovoltaik Panelin Çıkış Akımı
N_s	: Seri Bağlı Panel Sayısı
N_p	: Parelel Bağlı Panel Sayısı
I_{sc}	: Güneş Pilinin Kısa Devre Akımı
V_{oc}	: Güneş Pilinin Açık Devre Gerilimi
V_{MPP}	: Maksimum Güç Noktasındaki Gerilim
I_{MPP}	: Maksimum Güç Noktasındaki Akım
P_{MPP}	: Maksimum Güç Noktasındaki Güç
J_{sc}	: Maksimum Akım Yoğunluğu
A	: Güneş Pilinin Yüzey Alanı
η_{max}	: Maksimum Verim
G_a	: Güneş Işınım Miktarı
T	: Anahtarlama Periyodu
t_{on}	: Denetimli Anahtarın İletim Periyodu
t_{off}	: Denetimli Anahtarın Kesim Periyodu
D	: Diyot
L	: Endüktans
C	: Kondansatör
R	: Direnç

Kısaltmalar

MPP	: Maksimum Güç Noktası
MPPT	: Maksimum Güç Noktası İzleme
P&Q	: Değiştir & Gözle
InC	: Artan İletkenlik
HC	: Tepe Tırmanma
DC	: Doğru Akım
YSA	: Yapay Sinir Ağı
ÇK-YSA	: Çok Katmanlı Yapay Sinir Ağı
DSP	: Dijital Sinyal İşlemcisi
THD	: Toplam Harmonik Bozulma
BMS	: Bulanık Mantık Sistemler
T1BMS	: Tip-1 Bulanık Mantık Sistemler
T2BM	: Tip-2 Bulanık Mantık
T2BMS	: Tip-2 Bulanık Mantık Sistemler
IT2BM	: Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık
IT2BMS	: Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık Sistem
PWM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
AC	: Alternatif Akım
SW	: Denetimli Güç Anahtarı
KGy	: Kirchhoff Gerilim Yasası
KAY	: Kirchhoff Akım Yasası
PI	: Oransal-İntegral
EA	: Evrimsel Algoritma
ANFIS	: Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemleri
MF	: Üyelik Fonksiyonu
COA	: Alan Merkezi
MOM	: Maksimumun Ortalaması
FOU	: Belirsizliğin Ayak İzi
UMF	: Üst Üyelik Fonksiyonu
LMF	: Alt Üyelik Fonksiyonu
KM	: Karnik ve Mendel Algoritması

1. GİRİŞ

Güneş enerjisi bir enerji kaynağı olarak sürekli ve çevre dostu olması, işletme yönünden masraflarının az olması ve her yerde uygulanabilir olması nedeniyle bu alan ile ilgili çalışmalar günümüzde büyük önem arz etmektedir [1]. Son yıllarda fotovoltaik sistemler için en önemli problem güneş panellerinden elde edilen enerjinin nasıl depolanacağı ve nasıl daha verimli şekilde kullanılacağı üzerine yoğunlaşmıştır. Fotovoltaik panellerin karakteristiğine göre panellerden çekilen gücün kullanılacak sisteme uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Fotovoltaik sistemlerin verimliliğini artırmak için fotovoltaik enerji dönüşüm sistemlerini maksimum güç noktasına (MPP) yakın bir yerde çalıştırmak gerekir. Bu nedenle, hava koşullarındaki değişikliklerden bağımsız olarak fotovoltaik modülünün sürekli olarak maksimum güç sağlayacak şekilde çalıştırılıp fotovoltaik sistemin verimliliğini artırmak için Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT) denetimine ihtiyaç duyulur. Bu amaçla literatürde elde edilen enerjinin en verimli şekilde kullanılması ve depolanması için birçok MPPT yöntemi önerilmiştir [2].

Bu yöntemler yapılaş şekline göre geleneksel, matematiksel tabanlı, akıllı sistemler tabanlı yöntemler olmak üzere üçe, panel gücünün elde edilmesine göre de doğrudan ve dolaylı MPPT yöntemleri olmak üzere iki grupta ele alınabilir. Dolaylı MPPT yöntemlerinde panelin çıkış gücü, sürekli olarak hesaplanmaz, denetim işlemi için gerekli olan denetim sinyali fotovoltaik hücrelerin karakteristik özelliklerinden belirlenir. Bu işlem fotovoltaik hücrelerinin açık devre gerilimi, kısa devre akımı, ısıtım şiddeti ve modül sıcaklığının okunması ile yapılır. Doğrudan MPPT yöntemlerinde ise panelin çıkış gücü sürekli ölçülür ve bu ölçümler kullanılarak gerçek MPPT noktasına ulaşmayı sağlayacak denetim sinyali elde edilir. Dolaylı MPPT yöntemleri hızlı olmalarına karşın bu yöntemlerin fotovoltaik panellere bağımlı olmaları ve gerçek MPPT denetimi yapamamaları gibi dezavantajları vardır. Doğrudan MPPT yöntemleri dolaylı MPPT yöntemlerine daha yavaş olmalarına rağmen fotovoltaik panellerden bağımsız olarak MPPT'yi gerçekleştirirler. Bu sebepten dolayı doğrudan MPPT yöntemleri gerçek maksimum güç noktasında çalışmak için en uygun yöntemlerdir [2].

Literatürde en yaygın kullanılan doğrudan MPPT yöntemleri; Değiştir&Gözle (P&Q), Artan İletkenlik (InC), Tepe Tırmanma (HC) ve akıllı sistemler tabanlı yöntemlerdir [3]. P&Q yöntemi kabul edilebilir doğruluk ve kolayca uygulanabilirlik açısından tercih edilebilirliği yüksek bir yöntemdir. Bu yöntemde çıkış akımının ya da geriliminin değiştirilmesinin ardından elde edilen çıkış gücü ile çıkış akımı ya da gerilimi değiştirilmeden önceki çıkış gücünün kıyaslanması ilkesi esas alınmaktadır. Bu duruma göre üretilen yeni çıkış gücünün her zaman en üst değere ulaşmasını amaçlayarak çıkış gerilimi veya akımı yükseltilmekte ya da düşürülmektedir [4]. P&Q yönteminin algoritma yapısının basit ve uygulamasının kolay olmasının yanında arama adımındaki düşüş veya yükselişlerin MPP civarında salınım yapması kullanılabilir enerjinin bir miktar azalmasına yol açması bu yöntemin bir dezavantajıdır [5]. Bu yöntemin diğer bir problemi ise; güneş

ışınımında meydana gelen aşırı düşüşte panelin güç-gerilim (P-V) eğrisi düzleşecek ve bu noktada çok az bir güç değişimi meydana gelecektir. Bu durum P&Q yönteminin MPP'yi algılayabilmesini zorlaştıracaktır [4]. InC yöntemi, istenen çalışma noktasını bulmak için kaynak gerilim ve akım bilgilerini kullanır. Fotovoltaik bir modülünün P-V eğrisinde, maksimum güç noktasında eğim sıfırdır [6]. Bu yöntemin en önemli avantajı, devamlı değişen hava şartları altında iyi sonuçlar üretmesidir. InC ve P&Q yöntemlerinin etkinliği, her iki yöntemin parametreleri en uygun değere ayarlandığında genel olarak aynı olmalarına rağmen, InC yönteminde MPP civarında oluşan salınımlar P&Q yöntemine kıyasla daha az olmaktadır. InC yönteminin dezavantajı ise P&Q yöntemine göre biraz daha karmaşık veya pahalı olmasıdır [7]. Bulanık Mantık Sistem (BMS) tabanlı MPPT yöntemlerinde sistemin matematiksel modeline gereksinim duyulmadan güçlü ve oldukça kolay tasarım yapılabilir. Ayrıca BMS tabanlı MPPT yöntemlerinin güvenilir ve hızlı bir şekilde cevap vermesi bu yöntemlerin en büyük avantajıdır. BMS'ler, uygulanan giriş/girişlere göre kendisine ait olan dil yapısı ile mikro denetleyici içerisine yerleştirilen kural tablosuna göre çıkış veya çıkışlar üretmektedir. Ayrıca belirsizlik özelliği taşıyan sistemlerde belirsizliği çok iyi modelleyebilme avantajından dolayı tercih sebebi olmaktadır [4].

Literatürde fotovoltaik sistemlerin MPPT denetimi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. [8]'de Arduino kullanan MPPT solar şarj denetiminin geliştirilmiş bir tasarımı önerilmiştir. Önerilen yöntemin, sistemdeki güç kaybını önemli ölçüde azalttığı ve sistemin verimliliğini artırdığı belirtilmiştir. Ek olarak önerilen yöntem akıllı cihaz şarjı, kablolu veri kaydı ve yüksek gerilimden koruma gibi bazı yeni özellikler sunmaktadır. [9]'da global ve yerel MPP'leri ayırt edebilen, ayrıca global MPP'yi takip edebilen BMS tabanlı bir MPPT'nin tasarımı önerilmiştir. Sistem, yükselten tip dönüştürücü aracılığıyla Doğru Akım (DC) mikro şebekesi ile birleştirilmiş fotovoltaik diziden oluşmaktadır. [10]'da güneş enerjisi sistemlerinin verimliliğini, kararlılığını ve doğruluğunu iyileştirmeye izin veren gelişmiş P&Q algoritması tabanlı bir MPPT yöntemi önerilmiştir. [11]'de çok katmanlı yapay sinir ağı (ÇK-YSA) tabanlı bir MPPT yöntemi önerilmiştir. ÇK-YSA'nın eğitimi için veriler ise bir benzetim modelinin farklı ışıma ve panel sıcaklığı altında çalıştırılması ile elde edilmiştir. Ayrıca sinir ağının eğitiminde geri yayılım eğitim algoritması kullanılmıştır. Bu çalışmada sinir ağının, fotovoltaik diziye ait MPP'yi doğru bir şekilde tahmin edebileceği gösterilmiştir. [12]'de hızlı değişen hava şartlarında MPP'yi doğru şekilde izlemek için artan ve anlık iletkenliği karşılaştıran yeni bir maksimum güç izleme yöntemi önerilmiştir. [13]'te seri konfigürasyon bir MPPT sisteminin kararlılığı ve dinamiği analiz edilmiştir. Ayrıca maksimum güç izleme modunda çok döngülü denetiminin analizi yapılmıştır. [14]'te düşük maliyetli ve düşük güç tüketimli MPPT yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem standart bir MPPT yöntemi ile karşılaştırıldığı zaman % 25 enerji artışı sağlayabileceği belirtilmiştir. [15]'te dijital sinyal işlemcisi (DSP) tabanlı MPPT yöntemi önerilmiştir. Bu yöntem sistemin MPP'ye daha yakın çalışmasını sağlamayı amaçlamaktadır. [16]'da fotovoltaik sistemin parametreleri, basitleştirilmiş tek

diyot modeli yardımı ile model hatası ve sıcaklık etkisi en aza indirilerek belirlenmiştir. [17]'de P&Q yönteminin olumsuz etkileri sınırlamak için MPPT parametreleri, dönüştürücünün dinamik davranışına göre özelleştirilen bir çalışma sunulmuştur. [18]'de bir fotovoltaik sistemin MPP'sini hızlı değişen atmosferik koşullar altında izleyebilmek için adım aralığını otomatik olarak ayarlayan değiştirilmiş bir InC MPPT yöntemi önerilmiştir. [19]'da doğrudan bağlı fotovoltaik bir sistemin performans karakteristiği ve sabit gerilim MPPT yönteminin karşılaştırmalı incelenmesi verilmiştir. Bu çalışmada sistemin performansı analizi yapılmış ve farklı hava koşulları için enerji kullanım verimliliği hesaplanmıştır. [20]'de doğrudan denetim yöntemlerinden olan InC yöntemi sunulmuştur. Bu çalışmada doluluk oranı algoritma içerisinde ayarlandığından dolayı ayrı bir denetim döngüsü kullanılmamıştır. Önerilen yöntemin sistemin kararlı durumdaki salınımlarını azaltmasının yanında MPPT'nin dinamik performansını da iyileştirdiği gösterilmiştir. [21]'de fotovoltaik bir hücre için yeni bir matematiksel model önerilmiş ve önerilen modelin sonuçları literatürdeki diğer modellerin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. [22]'de melez bir MPPT yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemin MPP'yi hızlı bir şekilde yakaladığı ve sürekli durum salınımlarını azalttığı gösterilmiştir. [23]'te P&Q ve yapay karınca kolonisi tabanlı bir MPPT yöntemi önerilmiştir. Yöntemin Matlab/Simulink'te modeli oluşturulmuş ve bu benzetim modelinden elde edilen sonuçlar verilmiştir. Önerilen yöntemin MPPT veriminin oldukça yüksek olduğu simülasyon sonuçları ile gösterilmiştir. [24]'te fotovoltaik güç üretim sisteminde MPPT için uç değer arama denetim yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem kayma mod denetleyici tabanlıdır. Denetleyicinin kazanç sabiti parçacık sürü optimizasyon yöntemi ile belirlenmiştir. [25]'te iki dizili fotovoltaik sistemde geniş bir MPPT aralığı için değişken DC bağlantılı referans gerilim algoritması önerilmiştir. Önerilen yöntemin MPPT aralığını genişlettiği, toplam harmonik bozulmayı (THD) azalttığı belirtilmiştir. [26]'da ekstra denetim döngüsü ve aralıklı bağlantı kesme kullanmayan, daha basit, hızlı yakınsayan bir MPPT yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemde yük eğrisi ile akım-gerilim (I-V) eğrisi arasındaki ilişki hızlı tepki elde etmek için trigonometrik kural ile elde edilmiştir. Bu çalışmada, yük ve güneş ışınmı değişimi sırasında geleneksel InC MPPT yönteminden dört kat daha hızlı olduğu sunulan sonuçlar ile gösterilmiştir. [5]'te P&Q MPPT yönteminin pertürbasyon periyodunun çevrimiçi optimizasyonu için bir çalışma yapılmıştır. Sistem darbe ve frekans yanıtları, çapraz korelasyon yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. [27]'de kesir dereceli değişken adım boyutu artan iletkenlik tabanlı bir MPPT yönetimi önerilmiştir. Önerilen yöntem, farklı çalışma koşulları altında maksimum güç noktasını doğru bir şekilde tahmin etmeyi başarmıştır.

Bu tez çalışmasında, fotovoltaik panelden beslenen bir DC-DC dönüştürücünün MPPT kontrolü için dayanıklı yapıya sahip Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık (IT2BM) tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem ile hava şartlarında meydana gelen değişimlerin MPPT yönteminin performansını en az etkilemesi amaçlanmıştır. Önerilen yöntemin performansını değerlendirmek için 4 adet 1Soltech 1STH-215-P marka 213.15 W

gücünde fotovoltaik panel, yükselten tip DC-DC dönüştürücü, yük ve MPPT yöntemini içeren bir Matlab/Simulink benzetim modeli oluşturulmuştur. Dönüştürücü için anahtarlama frekansı 5 kHz seçilmiş ve kapı darbeleri darbe genişlik modülasyon (PWM) yöntemi ile üretilmiştir. Tasarlanan IT2BM iki girişe ve bir çıkışa sahiptir. T2BM'ye girişler hata (E) ve hatanın değişimi (ΔE), çıkış ise doluluk oranındaki değişim (Δd) olarak belirlenmiştir. Sürekli durum hatasını gidermek için IT2BM'nin çıkışı integre edilmiştir. Benzetim modelinin dinamik performansı panel sıcaklığı sabit tutulup ışıınım değiştirilerek incelenmiştir. Benzetim çalışmasında ışıınım, 0 – 0.2 s arasında 800 W/m^2 , 0.3 – 0.5 s arasında 600 W/m^2 , 0.7 – 0.9 s arasında 1000 W/m^2 , 1 s'den sonra ise 800 W/m^2 olarak değiştirilmiştir. Bu çalışma şartları altında önerilen MPPT yönteminden elde edilen yük akımını, yük gerilimi, panel akımını, panel gerilimini, panel gücünü, MPPT yönteminin verimini ve MPPT güç hatasını içeren benzetim sonuçları verilmiştir. Ayrıca önerilen MPPT yöntemin etkinliğini göstermek için benzetim sonuçları aynı çalışma şartları için P&Q MPPT yönteminin sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar IT2BM tabanlı MPPT yönteminin cevap hızı, güçte meydana gelen salınım ve MPPT hatası bakımından P&Q MPPT yöntemine göre daha üstün bir performansa sahip olduğunu göstermektedir.

2. GÜNEŞ PİLLERİ

Edmond Becquerel, 1839 yılında güneş ışığından elektrik enerjisinin nasıl üretilebileceğini açıklayan fotovoltaiik etkiyi bulmuştur. Becquerel, "iletken bir çözelti içine batırılmış bir elektroda ışık tutmanın bir elektrik akımı yaratacağına" inanıyordu. Bunu ispatlamak için Becquerel kapsamlı araştırmalar yaptı. Becquerel, 19 yaşındayken, babasının laboratuvarında deneyler yaparken dünyanın ilk fotovoltaiik pilini yaptı. Deneyinde gümüş klorürü asidik bir çözelti içine yerleştirdi ve platin elektrotlara bağlyken bir lambayı yakmayı başardı [28]. Böylece, güneş ışınımından elektrik enerjisi üretmeyi başardı. Ancak fotovoltaiik pillerin verimleri oldukça düşüktü ve bu nedenle fotovoltaiik piller sadece güneş ışınımını ölçmek için kullanıldı. İlk başta, fotovoltaiik etki "*Becquerel etkisi*" olarak da biliniyordu. Fotovoltaiik piller ilk yapıldıkları yıllarda verimlilikleri %1 idi. Sonra bu pillerin verimliliği 1954 yılında ilk kez %6 değerine çıkartılmıştır. Günümüzde ise bu verim %20'ler civarındadır [29].

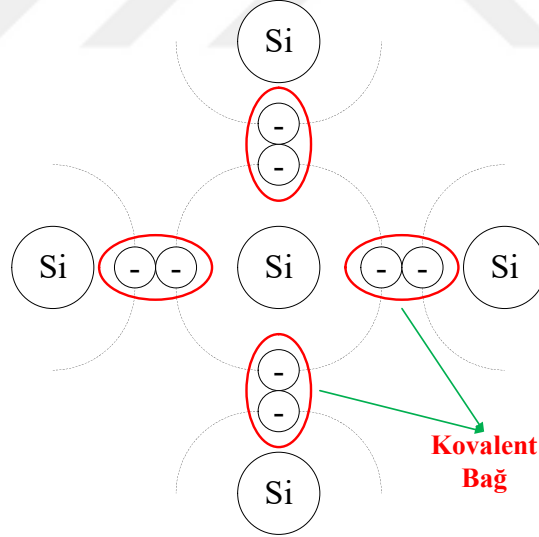
Fotovoltaiik etki, ışığın elektriğe dönüştürülmesi sürecidir. Fotovoltaiik etkinin tam olarak anlaşılması kuantum fiziğinin gelişmesine kadar sürdü. 1904 yılında Albert Einstein, fotovoltaiik etki ile yakından ilişkili olan fotoelektrik etkiyi açıkladı ve daha sonra bunun için Nobel ödülü aldı. Silisyumdan yapılan ilk güneş pili 1941'de Russel Ohl tarafından patentlendi. Günümüzde ise güneş pilleri ulaşım, uzay-uydu araştırmalarında, aydınlatma, sulama, kurutma ve güvenlik sistemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadırlar. Şekil 2.1'de güneş pillerinin kullanım alanlarına bazı örnekler gösterilmiştir [30].



Şekil 2.1 Güneş Pillerinin Kullanım Alanları

Güneş pilini oluşturan en küçük yapıya güneş hücresi veya pili (solar cell) denir. Pillerin birleştirilmesiyle modüller, modüllerin birleştirilmesiyle paneller, panellerin birleştirilmesiyle de diziler oluşturulur. Modüller seri veya paralel bağlanarak istenilen güçte bir sistem elde edilebilir [30]. Fotovoltaik hücre veya PV hücresi olarak da bilinen bir güneş pili ışık enerjisini fotovoltaik etki yoluyla elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken bir elemandır. Bir güneş pili temelde pozitif (P-tipi) - negatif (N-tipi) yarı iletken tabanlı bir diyottur. Güneş pilinde genelde yarı iletken malzeme türü olarak silisyum tercih edilmesine rağmen bazen yarı iletken malzeme olarak orsenit kadmiyum tellür ve galyum da kullanılabilmektedir [31].

Tek bir silisyum atomunun çekirdeği on dört tane pozitif yüklü proton ve on dört tane elektriksel olarak nötr olan nötrondan oluşur. Ayrıca bu çekirdeği çevreleyen on dört tane negatif yüklü elektrona sahiptir. Pozitif ve negatif yük sayısı eşit olduğu için silisyum atomu elektriksel olarak yüksüzdür. On dört elektrondan sadece dört tanesi valans bandındadır ve bu elektronlar kimyasal bağ için kullanılabilir. Kalan on elektron çekirdeğe sıkıca bağlıdır ve diğer atomlarla bağ oluşturmazlar. Bir silisyum kristalinde, her silisyum atomu dört tane diğer silisyum atomuna bağlanır. Her bağ, bağda yer alan silisyum atomlarının her birinden bir elektron olmak üzere iki elektrondan oluşur [31], [32]. Elektronların ilgili atomlar tarafından eşit olarak paylaşıldığı bu tür bağa kovalent bağ denir. Silisyum tüm bağ elektronlarını içeren bir kristal yapı Şekil 2.2’de gösterilmiştir.



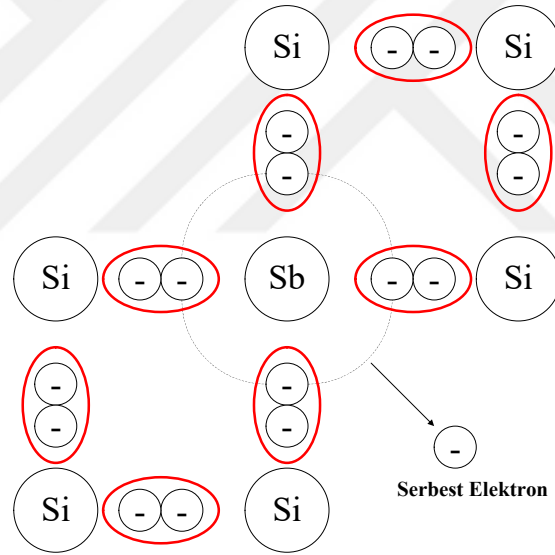
Şekil 2.2 Saf Silisyum Kristal Yapısı

Silisyum elektriksel özelliklerinden dolayı yarı iletken olarak adlandırılır. Silisyum kristali çok saf ise, dıştaki dört elektron kristaldeki tüm kovalent bağları işgal eder. Mutlak sıfıra yakın sıcaklıklarda elektronlar bağlanma konumlarında kalırlar. Bu durumda, silisyum kristali elektriksel olarak iyi bir yalıtkandır. Bununla birlikte, kristale ısı veya ışıkla enerji verilirse, bu kovalent bağların bazıları kırılır. Silisyumda kovalent bağın bağlanma enerjisi

1.1 eV'tur. Bir bağa 1.1 eV veya daha fazla enerji verildiğinde, bir elektron bir atomdan kopabilir ve elektron kristal boyunca serbestçe hareket edebilir [31].

Katkılama adı verilen işlem ile silisyum kristalinin elektriksel özelliklerini değiştirmek için safsızlık atomları saf silisyuma yerleştirilir. Bu katkılama işlemine tabi tutulan yarı iletken malzemeye katkı malzeme denir. Katkı atomu eklenerek üretilen N-tipi ve P-tipi olmak üzere iki tip katkılı malzeme vardır. N-tipi yarı iletken malzeme antimon, arsenik ve antinom gibi son yörüngesinde beş elektron bulunan katkı maddesi eklenerek elde edilir [32].

Şekil 2.3'te silisyum kristaline antinom katkılanarak N-tipi yarı iletken malzeme elde edilmesi gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere antinom atomunun beş valans elektronunun dördü kovalent bağ oluşturur. Bu oluşum bir tane valans elektronun boşta kalmasına sebep olur. Bu elektron kristal yapıda serbestçe hareket edecek durumdadır ve antinom atomuna zayıf bir bağ ile bağlıdır ki (0.045 eV bağ enerjisi) normal sıcaklıklarda kristal içindeki termal enerji bu atomu antinom atomundan koparmak için yeterlidir. Ortaya çıkan bağlanmamış bu elektron kristalin içinde serbestçe dolaşabilir [31].

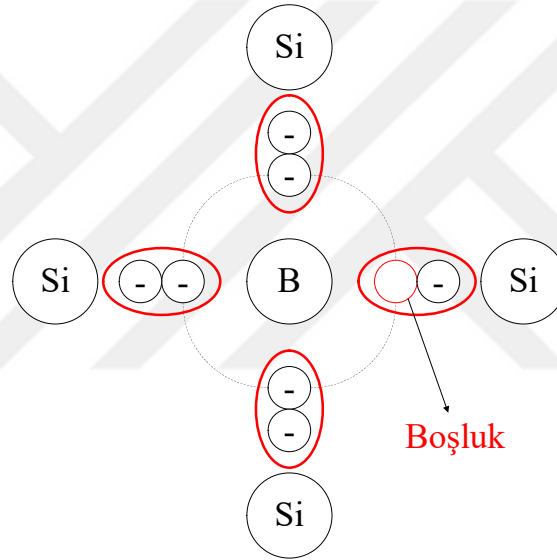


Şekil 2.3 N-Tipi Yarı İletken Malzeme

Eklenen katkı atomu kristal yapıya serbest bir elektron katkısında bulunduğu için beş elektrona sahip katkı maddelerine katkı atomları veya donör atomları denir. Bir silisyum kristalinin elektriksel iletkenliği, kristaldeki katkı atomlarının sayısı dikkatlice ayarlanarak mükemmel bir şekilde kontrol edilebilir. Tipik güneş pili uygulamalarında her 5.000.000 silisyum atomu için yaklaşık bir donör atomu vardır. Silisyum atomunu katkılanmak için dörtten fazla bağ elektronuna sahip olan antinom gibi bir atom kullanıldığında antinom atomuna bağlanmamış serbest elektronlar oluşmaktadır. Elektronlar negatif bir elektrik yüküne sahip oluğu için ortaya çıkan kristal malzemeye N-tipi yarı iletken malzeme denir [31], [32].

Yukarıda belirtildiği gibi, silisyum atomu antinom ile katkıldığında, antinom kristaldeki silisyum atomlarının yerine geçer ve silisyumun yaptığı gibi dört kovalent bağ oluşturur. Kristaldeki termal enerji (sadece oda sıcaklığında olduğundan) antinomdaki zayıf bağlanmış beşinci elektronu antinom atomundan koparır ve bu elektron artık kristalin etrafında serbestçe hareket edebilecek duruma geçer [31].

Beş protona ve son yörüngesinde üç elektrona sahip olan bor, ayrıca bir silisyum atomuna katkılanabilir. Bu durum Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Bir bor atomunun bağ kabuğunda sadece üç elektron olduğu için bir kristaldeki bor atomu ile silisyum atomları arasında sadece üç kovalent bağ oluşturulabilir. Bunun nedeni, kovalent bir bağ oluşturmak için her atomdan bir tane olmak üzere iki elektronun paylaşılmasının gerekli olmasıdır. Bağ kabuğunda dördüncü bir elektron olmadan bor sadece üç kovalent bağ oluşturabilir [31].

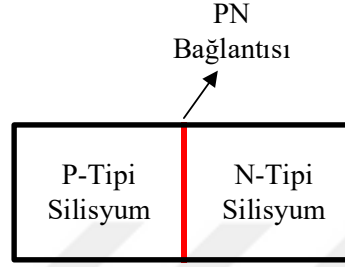


Şekil 2.4 P-Tipi Yarı İletken Malzeme

Mutlak sıfıra yakın sıcaklıklarda, bu bor atomu eksik bağıyla kararludur. Oda sıcaklığında, yakındaki bir elektronu bu boşluğa itmek için yeterli termal enerji vardır. Bu durum meydana geldiğinde, bor atomuna elektron sağlayan atom, kristaldeki başka bir atomdan bir elektron tarafından doldurulabilecek bir elektron boşluğuna sahiptir. Bu şekilde boşluk veya "delik" atomdan atoma hareket edebilir. Bu durum, delikleri dolduran (böylece yeni bir delik bırakan) etrafında hareket eden negatif yüklü elektronlar olarak veya alternatif olarak, malzeme içinde hareket eden pozitif yükler (hareket eden delikler olarak) olarak görülebilir. Silisyum atomuna bor gibi bir katkı atomu (silikondan daha az bağ elektronu olan) eklendiği zaman elde edilen yarı iletken malzemeye P-tipi yarı iletken denir. Bunun nedeni, bu tip katkı atomlarının kristalde her bir deliğin pozitif elektrik yüküne sahip hareketli delikler oluşturmasıdır. Bir silisyum kristali, katkı atomuna bağlı olarak hareketli elektronlara veya deliklere sahip olacaktır. Elektronların ve deliklerin her

biri bir elektrik yükü olduğundan, elektrik alanından etkilenirler. Bir diğer önemli etki, elektronların ve deliklerin rastgele termal hareketidir [31].

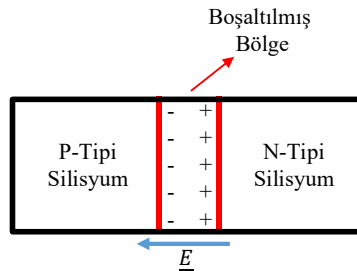
Bir silisyum parçasının bir tarafına bor (P-tipi bir katkı maddesi) ve diğer tarafına antinom (N-tipi bir katkı maddesi) ile katkılama yapılması ile bir P-N bağlantısı oluşturur. Şekil 2.5 bir P-N bağlantısını gösterir. N-tipi malzeme, malzeme içinde hareket edebilen çok sayıda serbest elektrona (negatif yüklü) sahiptir. Pozitif yüklü antinom atomlarının sayısı bu negatif serbest elektronların sayısını ve yükünü tam olarak dengeler.



Şekil 2.5 P-N Tip Yarı İletken Malzeme

Benzer şekilde, P-tipi yarı iletken malzemede, malzeme içinde hareket edebilen çok sayıda serbest delik vardır. Sayıları ve pozitif yükleri, negatif yüklü bor atomlarının (negatif iyonlar) sayısı ile tam olarak dengelenir.

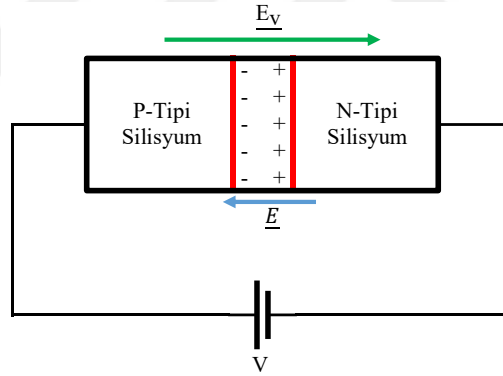
Silisyum kristalinin katkılanmasından dolayı, N-tipi tarafta çok sayıda serbest elektron, P-tipi tarafta çok az hareketli elektron vardır. Serbest elektronların rastgele termal hareketi nedeniyle, elektronlar N-tipi taraftan P-tipi tarafa yayılmaya başlar. Benzer şekilde, silisyumun katkılanmasından dolayı, P-tipi tarafta çok sayıda hareketli delik, N-tipi tarafta ise çok az hareketli delik vardır. Bu nedenle P-tipi taraftaki delikler, N-tipi tarafa doğru yayılmaya başlar. N-tipi malzemedeki elektronlar P-tipi tarafa doğru yayılırken, N ve P-tipi bölgeleri arasındaki ara yüzey yakınında pozitif yüklü antinom iyonlarını geride bırakırlar. Bu sabit iyonlar, Şekil 2.6'da gösterilen N-tipi ve P-tipi malzeme arasındaki birleşme noktasında bir elektrik alanı oluşturur. Bu elektrik alanının yönü, N-tipi malzemedeki pozitif yüklü iyonlardan P-tipi malzemedeki negatif yüklü iyonlara doğrudur [31].



Şekil 2.6 Boşaltılmış Bölgesi P-N Tip Yarı İletken Malzeme

Serbest elektronlar ve delikler, elektronların pozitif iyonlara ve deliklerin negatif iyonlara doğru çekilmesiyle bu elektrik alanından etkilenir. Böylece, elektrik alanı bazı elektronların ve deliklerin difüzyonun neden olduğu akışa zıt yönde akmasına neden olur. Bu zıt akışlar, sonunda, elektrik alanı nedeniyle geri akan elektronların sayısını tam olarak dengeleyen difüzyon nedeniyle akan elektronların sayısı ile kararlı bir dengeye ulaşır ve P-N bağlantı noktasında boşaltılmış bir bölge oluşur. Boşaltılmış bölgenin direnci, dış bir elektrik alanı ile değiştirilebilir. Dış elektrik alanı ile P-N bağlantısında oluşan elektrik alanı aynı yönde ise boşaltılmış bölgenin direnci artacaktır. Ters durumda ise boşaltılmış bölgenin direnci küçülecektir. Bu nedenle boşaltılmış bölgenin gerilim kontrollü bir direnç olarak çalıştığı düşünülebilir [31].

Şekil 2.7’de gösterildiği gibi yeterli büyüklükteki bir gerilim kaynağının pozitif kutbu P-tipi tarafa, negatif kutbu ise N-tipi tarafa bağlanırsa N-tipi malzemeden P-tipi malzemeye doğru bir elektron akışı olacaktır. Bu durumda, P-N bağlantısındaki elektrik alanı ile dışardan uygulanan elektrik alanı zıt yönlere olacaktır. Bu iki alan toplandığında, bağlantı noktasındaki bileşke alanın büyüklüğü elektrik alanının büyüklüğünden daha küçüktür. Uygulanan gerilim yeterince büyükse (silisyumda bu gerilim yaklaşık 0.7 V’tur) boşaltılmış bölgenin direnci ihmal edilebilir. 0.7 V’un üzerinde, boşaltılmış bölgenin direnci çok küçüktür ve P-N bağlantısından akım akmaya başlar [31].



Şekil 2.7 İleri Yönde Kutuplanmış P-N Tip Yarı İletken Malzeme

Güneş pilleri geniş alanlı P-N bağlantısından oluşurlar. Üzerlerine ışık düştüğünde güneş pillerinin uçlarında bir gerilim farkı veya bir akım akışı meydana gelir. Bunun nedeni, P-tipi ve N-tipi malzemenin birleşim yerinde oluşan elektrik alanıdır.

Işık, silisyum kristalinin bazı kimyasal bağlarını kırmak için yeterli enerjiye sahipse silisyum kristalindeki elektronların, ışık tarafından daha yüksek bir enerji durumuna uyarılır ve bağ kırılır. Güneş’in yeryüzündeki ışık yoğunluğu, güneş pilindeki her yüz milyon silisyum atomu için yaklaşık bir bağ koparacak kadar güçlüdür. Uyarılmış elektronlar artık katkılı atomlardan gelen elektronlar gibi davranır ve malzeme içinde serbest halde hareket ederler. Benzer şekilde, ışığın yarattığı kopmuş bağlar tıpkı silisyum ve bor atomları arasındaki bağlardaki eksik elektronlar gibi delik görevi görür ve bu delikler de malzeme boyunca

serbestçe hareket edebilir. Bu şekilde oluşturulan elektronlar ve delikler fiziksel olarak birbirine yakındır: ışık tarafından uyarılan her elektron için karşılık gelen bir delik oluşur. Bu elektronlar ve delikler sadece kısa bir süre için uyarılmış halde kalabilirler. Tekrar birleşme adı verilen bir süreçte, uyarılmış elektronlar deliklere çok yaklaşır ve ikisi tekrar bağlı pozisyonlara düşer. Bu olduğunda, çiftin elektrik enerjisi ısı olarak kaybolur. Çok fazla tekrar birleşme varsa, güneş pili çok iyi çalışmayacaktır. Güneş pili üzerine düşen ışık tarafından uyarılan elektronlar ve delikler, malzemenin hacmi boyunca, P-bölgesinde, N-bölgesinde ve P-N bağlantı noktasındaki elektrik alanının olduğu bölgede meydana gelir [31].

P-N bağlantı noktasındaki elektrik alanı nedeniyle elektronlar, N-tipi malzemede pozitif yüke doğru çekilir. Benzer şekilde, delikler P-tipi malzeme tarafındaki negatif yüke çekilir. Bu yüklerin ayrılması, bir akımın bağlantı boyunca akmasına neden olur. Akım akışının yönü (geleneksel akım), deliklerin hareketiyle aynıdır. Benzer şekilde, bağlantı noktasından çok uzakta olan elektronlar ve delikler, yeniden birleşmeden önce bağlantıya doğru yollarını bulabilirlerse boşaltılmış bölgenin elektrik alanı ile ayrılabilirler. Bu yükler dış devrede elektron akışına neden olur. Bu akım güneş piline seri bir ampermetre bağlanarak ölçülebilir. Dış devrenin ve ampermetrenin direnci ihmal edilirse güneş pilinin uçlarındaki gerilim 0 V olacaktır. Bu akıma güneş pilinin kısa devre akımı denir [31].

Güneş pilinin uçlarında bir gerilim farkı ve dış devreye bir akım verdiği zaman güneş pili güç üretir. Eğer güneş pilinin uçları açık devre edilirse güneş pilinden dış devreye herhangi bir akım akmayacaktır. Bununla birlikte, güneş pilinin üzerine ışık düştüğü müddetçe elektronların ve deliklerin ayrılması, güneş pilinin içinde gerçekleşmeye devam etmektedir. Elektronlar N-tipi tarafa doğru itilirken delikler P-tipi tarafa doğru itilir [31].

Elektronların N-tipi tarafa akışı ve P-tipi taraftaki deliklerin düşük olması, güneş pili boyunca bir gerilim farkı oluşmasına neden olur (P-tipi tarafta pozitif gerilim, N-tipi tarafta negatif gerilim). Bu durumda ise güneş pilinden akım akmamasına rağmen pilin uçlarında bir gerilim farkı oluşur. Bu gerilime güneş pilinin açık devre gerilimi denir. Bu gerilim bir voltmetre yardımı ile ölçülebilir. Silisyum bir güneş pili için iyi bir güneş ışımasını altında bu değer yaklaşık 0.6 V civarındadır [31].

Işınım altında bulunan açık devre bir güneş pilinde, bağlantı boyunca ve karşılık gelen P-tipi ve N-tipi bölgelere akan ışıkla üretilen elektronların ve deliklerin sabit bir değeri vardır. Işık tarafından üretilen akım, yalnızca güneş ışığının ne kadar yoğun olduğuna ve güneş pili içinde ne kadar tekrar birleşme meydana geldiğine bağlıdır [31].

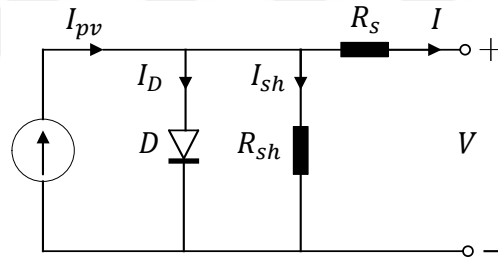
Bir güneş pilinden optimum güç elde etmek için, iki kontak arasında tam olarak doğru değere sahip bir direnç olması gerekir. Direnç çok düşükse, güneş pilinden yüksek akım akar ve gerilim düşük olur. Ters durumda ise gerilim elde edilirken akım çok düşük olur [31].

Yalnızca güneş pili uygun direnç değerine sahip olduğu zaman optimum akım ve gerilim değeri elde edilecektir. Uygun direnç değeri ile güneş pilinden elde edilebilecek maksimum elektrik enerjisi dirence iletilir. Bu koşullar altında güneş pilinin MPP'de çalıştığı söylenir. Güneş pillerinden büyük miktarda güç üretmek için güneş pillerini

birbirine seri/paralel bağlamak gereklidir [31].

2.1. Güneş Piliin Matematiksel Modeli

Literatürde güneş pilinin matematiksel modelini elde etmek için birçok farklı çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda en yaygın kullanılan güneş pili modeli tek diyot modelidir. Güneş piline ait tek diyot bulunan elektriksel eşdeğer devresi Şekil 2.8’de verilmiştir. Bu model beş parametrelidir model olarak ta bilinmektedir. Bu eşdeğer devrede güneş pilinden elde edilen enerji gerilim bağımlı bir akım kaynağı (I_{pv}) ile modellenmiştir. Fotovoltaik panelden elde edilen gerilim (V) olarak gösterilmiştir. Çıkışa seri bağlı direnç (R_s); pili oluşturan yarı iletken malzemenin direnci ve pillerin birbirine bağlantı noktalarında oluşan temas dirençlerinin toplamını, paralel direnç (R_{sh}) ise çok ince katmanları içeren ince film yapısındaki malzemelerde katmanlar arasında ve pilin etrafında oluşan direnç değerlerinin toplamını temsil etmektedir. Literatürde yapılan çalışmalar seri direncin değerinin paralel direncin değerine oranla çok küçük olduğunu göstermiştir. Bu nedenle paralel dirençten akan akım ihmal edilebilir ve devrenin asıl direnci seri direnç olarak kabul edilebilir [15]. Ayrıca akım kaynağı ışınlama ile orantılı bir foton akımı (I_{pv}) üretir [33].



Şekil 2.8 Güneş Piliin Tek Diyotlu Elektriksel Eşdeğer Devresi

Şekil 2.8’den çıkış akımı ve gerilimi arasındaki ilişki denk. 2.1’deki gibi yazılabilir [34], [35].

$$I = I_{pv} - I_D - I_{sh} \quad (2.1)$$

Denk. 2.1’de; I_{pv} bir fotovoltaik hücrenin içinde elektron-boşluk çiftleri tarafından üretilen akımdır. I_{pv} , fotovoltaik hücrenin sıcaklığına ve ışınlama bağlıdır ve aşağıdaki denklem ile ifade edilebilir [35].

$$I_{pv} = I_{pv-ref} \left(\frac{G}{G_{ref}} \right) [1 + \alpha_T (T - T_{ref})] \quad (2.2)$$

Denk. 2.2’de; I_{pv-ref} standart referans şartlarda bir fotovoltaik hücrenin içinde elektron-boşluk çiftleri tarafından üretilen akımı ve α_T ise kısa devre akımının bağıl sıcaklık

katsayıdır. Diyot akımı I_D ise denk. 2.3'te verilmiştir [35].

$$I_D = I_{sat}(e^{\frac{q(V+IR_s)}{akT}} - 1) \quad (2.3)$$

Denk. 2.3'te; I_{sat} ters doyum akımını, a idealite faktörünü, q elektron yükünü ($1.602 \times 10^{-19}C$), k Boltzmann sabitini ($1.30806503 \times 10^{-23}J/K$), T hücrenin sıcaklığını gösterir. I_{sat} ters doyum akımı ise aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanabilir [35].

$$I_{sat} = I_{sat-ref} \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^3 e^{\frac{E_{g-ref} E_g}{k T_{ref} k T}} \quad (2.4)$$

Denk. 2.4'te; $I_{sat-ref}$ standart referans şartlarda diyotun saturasyon akımı ve E_g ise band aralığı enerjisidir. Denk.2.4'te; E_{gap} yarı iletken malzemenin band enerjisidir. 25° 'de silisyum kristali için E_{gap} 1.12 eV'dir [35]. Paralel direnç R_{sh} 'ın akımı I_{sh} ise denk. 2.5 ile bulunabilir.

$$I_{sh} = \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2.5)$$

Denk. 2.3 ve denk. 2.5, denk. 2.1'de yerine yazılırsa aşağıdaki denklem elde edilir [35].

$$I = I_{pv} - I_{sat}(e^{\frac{q(V+IR_s)}{akT}} - 1) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2.6)$$

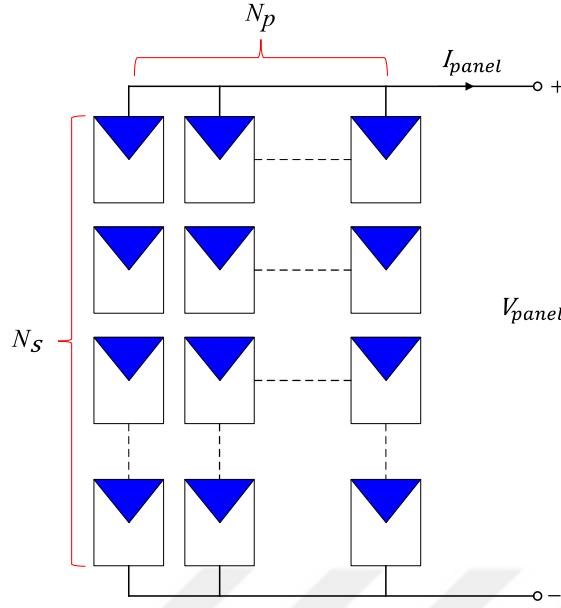
Fotovoltaik panel, fotovoltaik hücrelerin seri bağlanması ile oluşur. N_s adet fotovoltaik hücrenin seri bağlanması ile oluşturulan fotovoltaik bir panelin çıkış gerilimi V_{panel} 'e bağlı olarak çıkış akımı I_{panel} denk. 2.7 ile ifade edilebilir [35].

$$I_{panel} = I_{pv} - I_{sat}(e^{\frac{q(V_{panel}+I_{panel}R_s)}{N_s a k T}} - 1) - \frac{V_{panel} + I_{panel}R_s N_s}{N_s R_{sh}} \quad (2.7)$$

N_{ps} ve N_{pvs} sırası ile seri bağlı panel sayısını ve her bir hücrede seri bağlı hücre sayısını göstermek üzere N_s aşağıdaki denklemdeki gibi yazılabilir [35].

$$N_s = N_{ps} \times N_{pvs} \quad (2.8)$$

Fotovoltaik diziler, fotovoltaik modüllerin seri ve paralel bağlanması ile oluşturulur. Fotovoltaik bir panel konfigürasyonu Şekil 2.9'da gösterilmiştir [35].

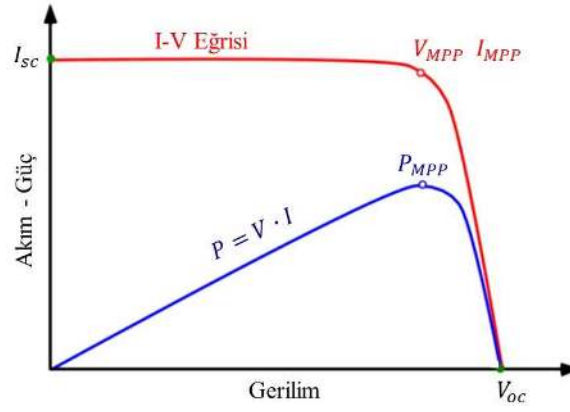


Şekil 2.9 Fotovoltaik Hücrelerin Seri ve Paralel Bağlanması ile Oluşturulan Güneş Paneli

Şekilde seri bağlı paneller N_s ile, paralel bağlı paneller N_p ile gösterilmiştir. panelin çıkış gerilimi (V_{panel}) ve çıkış akımı (I_{panel}) denk. 2.9'da verilmiştir [35].

$$I_{panel} = N_p I_{pv} - N_p I_{sat} \left(e^{\frac{q(V_{panel} + I_{panel} R_s \frac{N_s}{N_p})}{N_s a k T}} - 1 \right) - \frac{V_{panel} + I_{panel} R_s \frac{N_s}{N_p}}{\frac{N_s}{N_p} R_{sh}} \quad (2.9)$$

Bir güneş modülünün $I - V$ ve $P - V$ eğrileri, MPPT de dahil olmak bu eğrilerin analizi tabanlı çeşitli yöntem ve algoritmalar uygulandığından büyük önem taşımaktadır. $I - V$ eğrisi, açık devre gerilimi, kısa devre akımı, maksimum nominal güç, maksimum akım, maksimum gerilim ve modülün verimliliği gibi fotovoltaik modülleri hakkında önemli performans bilgileri sağlar [36]. Bir güneş pilinin $I - V$ eğrisi farklı ışınlım ve sıcaklık değerleri için panelin çıkış gerilimine karşı panel akımının değişiminin, bir güneş pilinin $P - V$ eğrisi ise farklı ışınlım ve sıcaklık değerleri için çıkış gücüne karşı panelin çıkış geriliminin değişiminin çizilmesi ile elde edilir. Şekil 2.10 tipik bir güneş panelinin $I - V$ ve $P - V$ eğrilerini gösterir. Bu şekilden; panelin belirli bir gerilim veya akım değeri için tek bir maksimum güç noktasının olduğu görülmektedir.



Şekil 2.10 Güneş Pili'nin Tipik I-V Karakteristiği

Şekil 2.10'da; I_{sc} güneş pilinin kısa devre akımını, V_{oc} güneş pilinin açık devre gerilimini, V_{MPP} maksimum güç noktasındaki gerilim, I_{MPP} maksimum güç noktasındaki akım ve P_{MPP} ise maksimum gücü gösterir. Bir güneş paneli seçilirken, güneş panelinin bu değerlerini bilmek önemlidir. Bu değerler aşağıda kısaca açıklanmıştır [37].

- **Kısa Devre Akım (I_{sc}):** Bir güneş pilinin kendi yapısına zarar vermeden verebileceği maksimum akımdır. Kısa devre akımı, maksimum çıkışı üretmek için en uygun koşulda hücrenin çıkış uçları kısa devre edilerek ölçülür. Hücre akımı aynı zamanda ışığa maruz kalan hücrenin yüzey alanına da bağlı olduğundan, maksimum akım yerine maksimum akım yoğunluğunu ifade etmek daha uygundur. Maksimum akım yoğunluğu veya kısa devre akım yoğunluğu oranı, hücrenin açıktaki yüzey alanına maksimum veya kısa devre akımının oranıdır ve denk. 2.10 yardımı ile bulunabilir.

$$J_{sc} = \frac{I_{sc}}{A} \quad (2.10)$$

Denk. 2.10'da; J_{sc} maksimum akım yoğunluğunu, I_{sc} amper cinsinden kısa devre akımını, A ise m^2 cinsinden güneş pilinin yüzey alanını gösterir.

- **Açık Devre Gerilimi (V_{oc}):** Hücrenin çıkış uçlarına herhangi bir yük yok iken hücrenin çıkış uçları arasında ölçülen gerilimdir. Bu gerilim, hücrenin üretim tekniğine ve sıcaklığına bağlıdır. Ancak ışığın yoğunluğuna ve ışığa maruz kalan hücre yüzey alanına tam olarak bağlı değildir. Güneş hücresinin normalde açık devre gerilimi yaklaşık 0.5 – 0.6 V civarındadır.
- **Maksimum Güç Noktası (P_{MPP}):** Bir güneş hücresinin standart test koşulunda sağlayabileceği maksimum elektrik gücüdür. Şekil 2.10 incelendiği zaman, maksimum güç karakteristik eğrinin bükülme noktasında meydana geldiği görülür. Bir güneş

pilinden elde edilebilecek maksimum güç denk.2.11 yardımı ile bulunabilir [33].

$$P_{MPP} = V_{oc}I_{sc} \quad (2.11)$$

Maksimum çalışma noktasında güneş pilinden elde edilen verim maksimumdur. Maksimum verim aşağıdaki Denk. 2.12 yardımı ile hesaplanabilir.

$$\eta_{max} = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{P_{max}}{AG_a} \quad (2.12)$$

Burada; η_{max} maksimum verimi, G_a ; W/m^2 cinsinden panelin bulunduğu ortamdaki güneş ışıını miktarını temsil eder.



3. DC-DC DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

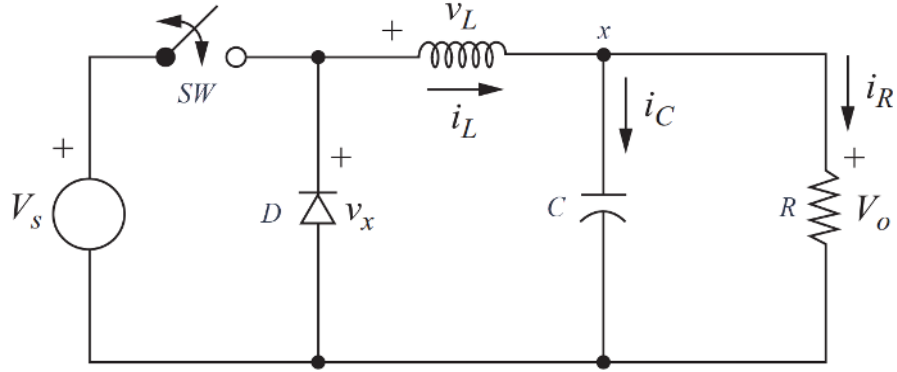
Güneş panelinden beslenen elektriksel yüklerin olması durumunda hem panelden maksimum güç elde edebilmek için hem de yük gerilimini sabit tutabilmek için DC-DC dönüştürücü devreleri kullanılmaktadır. Kullanım amacına göre farklı dönüştürücü yapıları vardır. Bunlar DC-DC dönüştürücüler (DC kıyıcılar), DC-AC dönüştürücüler (inverterler), AC-DC dönüştürücüler (doğrultucular) ve AC-AC dönüştürücülerdir (AC kıyıcılar). Bu tez çalışmasında PV panel ve bu panelden beslenen DC bir yükten oluşan bir sistem ele alınmıştır. Bu sistemde giriş kaynağı ve yük arasında bir dönüştürücü kullanılacaktır. Giriş kaynağının uçları dönüştürücünün girişi (DC), yük uçları ise dönüştürücünün çıkışı (DC) olacaktır. Bu nedenle bu çalışmada DC-DC dönüştürücü kullanılacaktır. Farklı yapıda birçok DC-DC dönüştürücü yapıları vardır. Yükselten tip (boost converter), düşüren tip (buck converter), düşüren – yükselten tip (boost-buck converter) ve Cuk dönüştürücüler en yaygın bilinen DC-DC dönüştürücü yapılarıdır. Aşağıda bu dönüştürücü devrelerinin çalışma prensipleri ve analizleri verilmiştir. Bu dönüştürücülerin analizinde;

- Dönüştürücü devrelerinin sürekli durumda çalıştığı,
- Endüktans akımının sürekli olduğu,
- Filtre kondansatörünün çok büyük olduğu (çıkış gerilimi sabit),
- d doluluk oranı, T anahtarlama periyodu olmak üzere denetimli anahtarın t_{on} (dT) süresi boyunca iletimde, t_{off} ($(1-d)T$) süresi boyunca kesimde olduğu varsayılmıştır.

Ayrıca devrelerin analizi, denetimli anahtarın iletimde ve kesimde olma durumları için endüktans gerilimi ve akımı elde edilerek yapılmıştır [38].

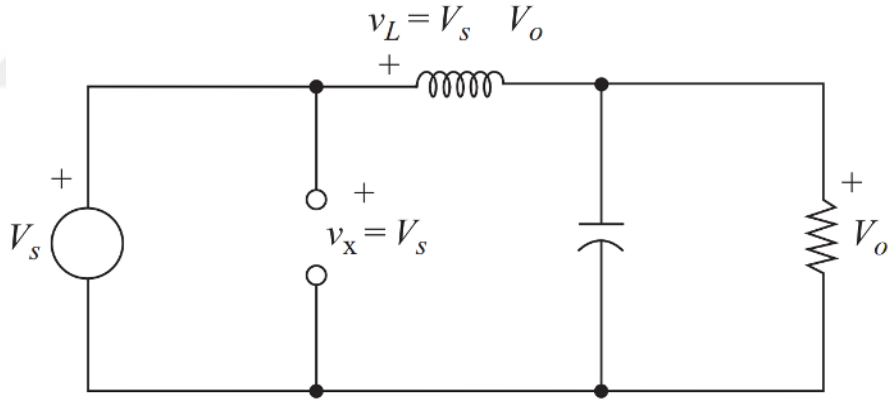
3.1. Düşüren Tip DC-DC Dönüştürücü

Düşüren tip DC-DC dönüştürücü, girişindeki DC kaynak gerilimini çıkışa düşürerek veya giriş gerilimine eşit olacak şekilde dönüştüren elektronik ev aletleri, enerji santralleri, uzay endüstrisi gibi geniş kullanım alanına sahip olan bir güç elektroniği devresidir. İdeal bir düşüren tip DC-DC dönüştürücünün temel devre topolojisi Şekil 3.1’de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi düşüren tip DC-DC dönüştürücü devresi bir denetimli güç anahtarı (SW), diyot (D), endüktansı (L), çıkış filtre kondansatörü (C) ve bir direnç (R) yükünden oluşmaktadır [38].



Şekil 3.1 Düşüren Tip DC-DC Dönüştürücü Devresi [38]

Düşüren tip DC-DC dönüştürücü devresi denetimli anahtarın iletimde ve kesimde olma durumuna göre iki eşdeğer devre yardımı ile analiz edilebilir. Şekil 3.2 denetimli anahtarın iletimde olduğu durum için düşüren tip DC-DC dönüştürücünün eşdeğer devresini gösterir. Denetimli anahtar iletimde iken diyotun katodu DC kaynak V_s 'nin pozitif ucuna bağlı olduğundan diyot kesimdedir. Bu durumda R yükünün ve C kondansatörünün akımı V_s kaynağı tarafından sağlanmaktadır [38].



Şekil 3.2 Denetimli Anahtarın İletimde Olduğu Durum İçin Düşüren Tip DC-DC Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi [38]

Şekil 3.2'de verilen eşdeğer devrede anahtarın iletimde olduğu t_{on} (dT) süresi boyunca bobin gerilimi v_L Kirchoff Gerilim Yasası (KGY) ile denk. 3.1'deki gibi elde edilir [38].

$$v_L = V_s - V_o = L \frac{dI_L}{dt}$$

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{(V_s - V_o)}{L} \quad (3.1)$$

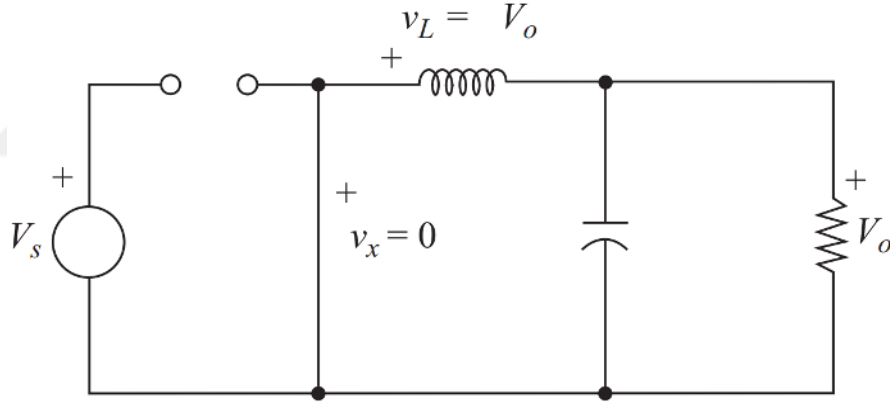
Denk. 3.1 düzenlenirse denk. 3.2 elde edilir [38].

$$\begin{aligned}
 v_L &= V_s - V_o = L \frac{dI_L}{dt} \\
 \frac{\Delta I_L}{(dT)} &= \frac{V_s - V_o}{L} \\
 (\Delta I_L)_{close} &= \frac{(V_s - V_o)}{L} dT
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Denk. 3.2’de; d doluluk oranını, T anahtarlama periyodunu, V_s , DC kaynak gerilimini, V_o dönüştürücünün çıkış gerilimini temsil eder. Şekil 3.2’de verilen eşdeğer devrede x düğümüne Kirchoff Akım Yasası (KAY) uygulanırsa denk. 3.3 elde edilir [38].

$$i_L = i_C - i_R \tag{3.3}$$

Denetimli anahtarın t_{off} ($(1-d)T$) süresi boyunca kesimde olduğu durum için eşdeğer devre Şekil 3.3’te gösterilmiştir. Bu devrede denetimli anahtarın kapı ucuna uygulanan PWM kesildiği zaman D diyot iletme girer. Böylece bobin akımı D diyotu üzerinden C kondansatörüne ve R yüküne doğru akmaya başlar [38].



Şekil 3.3 Denetimli Anahtarın Kesimde Olduğu Durum İçin Düşüren Tip DC-DC Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi [38]

Denetimli anahtar kesimde iken endüktans uçlarındaki gerilim denk. 3.4 yardımı ile bulunabilir [38].

$$\begin{aligned}
 v_L &= -V_o = L \frac{dI_L}{dt} \\
 \frac{\Delta I_L}{(1-d)T} &= \frac{(-V_o)}{L}
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Denk. 3.4’te görüldüğü gibi endüktans akımının türevi negatif sabit bir değerdir ve bu nedenle endüktans akımı doğrusal olarak azalır. Denetimli anahtar kesimde iken endüktans

akımındaki değişim miktarı (ΔI_L) denk. 3.5 yardımı ile hesaplanabilir [38].

$$(\Delta I_L)_{open} = -\left(\frac{V_o}{L}\right)(1-d)T \quad (3.5)$$

Sürekli durumda, bir anahtarlama periyodu sonunda endüktans akımındaki değişim miktarı sıfır olmalıdır [38]. Bu durumda;

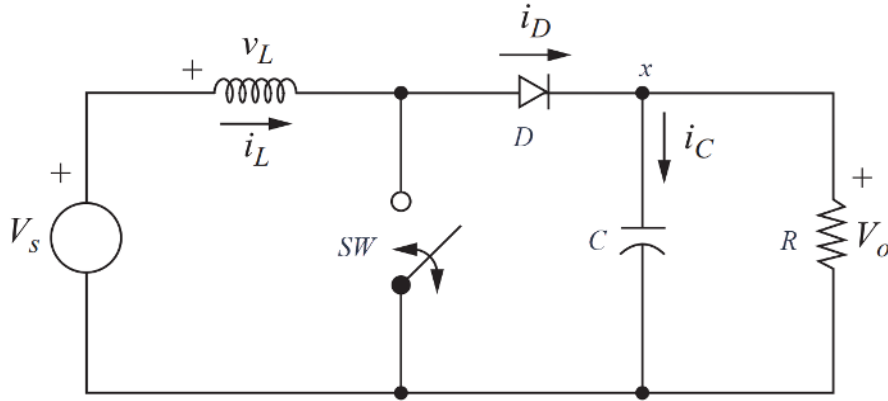
$$(\Delta I_L)_{close} + (\Delta I_L)_{open} = 0 \quad (3.6)$$

olarak yazılabilir. Denk.3.1 ve denk. 3.5, denk.3.6'da yerine yazılırsa düşüren tip DC-DC dönüştürücünün giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki ilişki denk. 3.7'deki gibi elde edilir [38].

$$\begin{aligned} \frac{V_s - V_o}{L}kT - \frac{(-V_o)}{L}(1-d)T &= 0 \\ V_o &= V_s d \end{aligned} \quad (3.7)$$

3.2. Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü

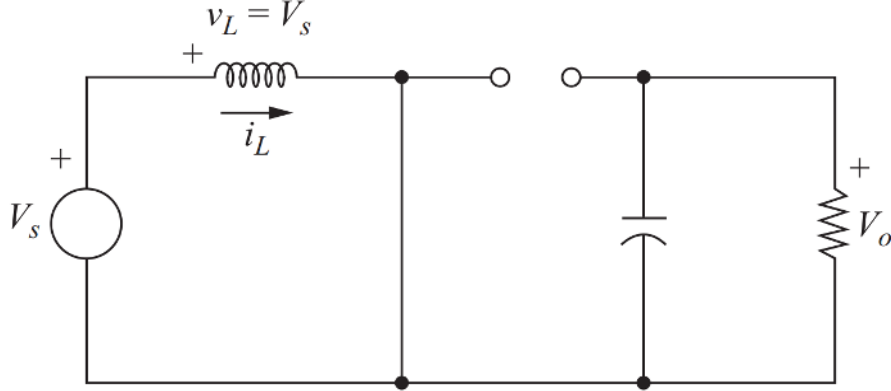
Yükselten tip DC-DC dönüştürücü girişindeki DC gerilimi çıkışında daha yüksek bir DC gerilime dönüştüren bir güç elektroniği devresidir. Şekil 3.4 ideal yükselten tip DC-DC dönüştürücü yapısını gösterir. Şekil 3.4'ten görüldüğü gibi yükselten tip DC-DC dönüştürücü SW , D , L , C ve R 'den oluşur [38].



Şekil 3.4 Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü Devresi [38]

Yükselten tip DC-DC dönüştürücü devresi denetimli anahtarın iletimde ve kesimde olma durumuna göre iki eşdeğer devre yardımı ile analiz edilebilir. Şekil 3.5 denetimli anahtarın iletimde olduğu durum için yükselten tip DC-DC dönüştürücünün eşdeğer devresini gösterir. Denetimli anahtar iletimde iken diyotun anodu DC kaynak V_s 'nin

pozitif ucuna bağlı olduğundan diyot kesimdedir. Bu durumda R yükünün akımını C kondansatörü sağlamaktadır [38].



Şekil 3.5 Denetimli Anahtarın İletimde Olduğu Durum İçin Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi[38]

Şekil 3.5'te verilen devrede anahtar ilettime girdiği zaman bobine sabit DC kaynak gerilimi uygulanır ve bobinden akan akım doğrusal olarak artar. Devrenin analizinde anahtarın t_{on} süresince iletimde kaldığı varsayılmıştır. Eşdeğer devrenin solundaki kapalı çevreye KGY uygulanırsa endüktans uçlarındaki gerilim denk. 3.8 yardımı ile elde edilir [38].

$$\begin{aligned} V_s &= V_L \\ V_s &= L \frac{dI_L}{dt} = L \frac{\Delta I_L}{t_{on}(dT)} \end{aligned} \quad (3.8)$$

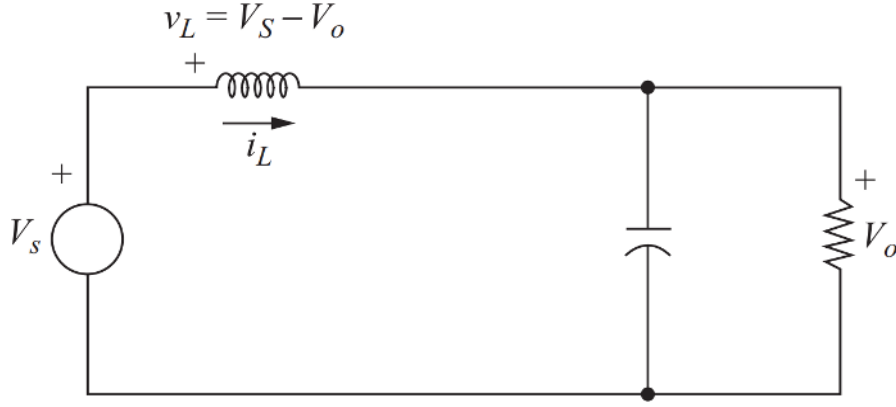
Denk. 3.8 düzenlenirse denetimli anahtar kapalı iken endüktans akımındaki değişim miktarı ΔI_L denk. 3.9 yardımı ile bulunabilir [38].

$$(\Delta I_L)_{close} = \frac{V_s}{L} dT \quad (3.9)$$

Şekil 3.5'te verilen devrede x düğümüne KAY uygulanırsa denk.3.10 elde edilir.

$$I_c = -I_o \quad (3.10)$$

Denetimli anahtarın t_{off} süresi boyunca kesimde olduğu durum için eşdeğer devre Şekil 3.6'da gösterilmiştir. Bu devrede denetimli anahtarın kapı ucuna uygulanan PWM kesildiği zaman denetimli anahtarın akımını D diyotu üzerine alır. Bu durumda denetimli anahtar kesime giderken diyot ilettime girer. Böylece bobin akımı D diyotu üzerinden C kondansatörüne ve R yüküne doğru akmaya başlar [38].



Şekil 3.6 Denetimli Anahtarın Kesimde Olduğu Durum için Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi [38]

Denetimli anahtar iletimde iken bobinde depolanan enerji anahtar kesimde iken yüke ve kondansatöre aktarılır. Bobin uçlarındaki gerilimin polaritesi gerilim kaynağının polaritesi ile aynıdır ve bobin uçlarındaki gerilim D diyotu üzerinden yüke uygulanır. Böylece çıkış geriliminin değeri giriş gerilimine göre artırılmış olur. Anahtarın t_{off} süresince iletimde kaldığı varsayılırsa eşdeğer devredeki kapalı çevreye KGY uygulanırsa endüktans üzerine düşen gerilim denk. 3.11'deki gibi elde edilir [38].

$$\begin{aligned} V_L &= V_s - V_o \\ L \frac{\Delta I_L}{t_{off}} &= V_s - V_o \end{aligned} \quad (3.11)$$

Denk.3.11 düzenlenirse;

$$\frac{\Delta I_L}{(1-d)T} = \frac{(V_s - V_o)}{L} \quad (3.12)$$

elde edilir. Bu durumda endüktans akımındaki dalgalanma miktarı ΔI_L aşağıda verilen denklemdeki gibi elde edilir [38].

$$(\Delta I_L)_{open} = \frac{(V_s - V_o)(1-d)T}{L} \quad (3.13)$$

Şekil 3.6'daki devrede gösterilen x düğümüne KAY uygulanırsa;

$$I_L = I_D = I_c - I_o \quad (3.14)$$

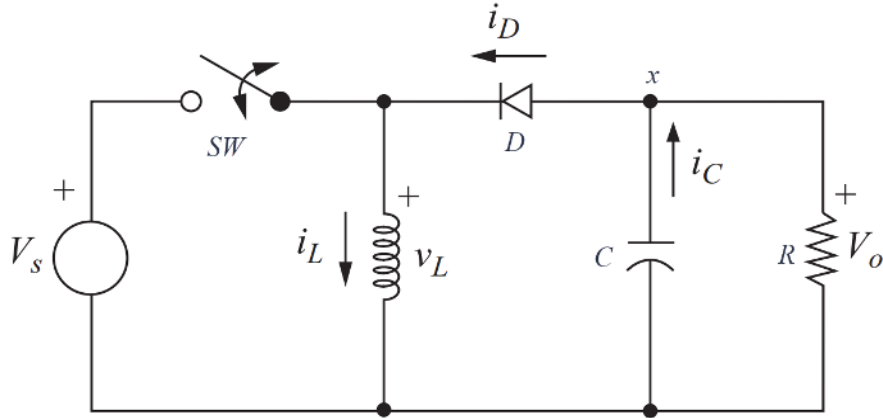
elde edilir [38]. Kalıcı durumda endüktans akımındaki net değişim sıfır olmalıdır. Denk. 3.9 ve denk. 3.13 kullanılarak giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki ilişki denk. 3.15

denklemleri ile ifade edilir [38].

$$\begin{aligned}
 (\Delta I_L)_{close} + (\Delta I_L)_{open} &= 0 \\
 \frac{V_s dT}{L} + \frac{(V_s - V_o)(1-d)T}{L} &= 0 \\
 V_o &= \frac{V_s}{1-d}
 \end{aligned} \tag{3.15}$$

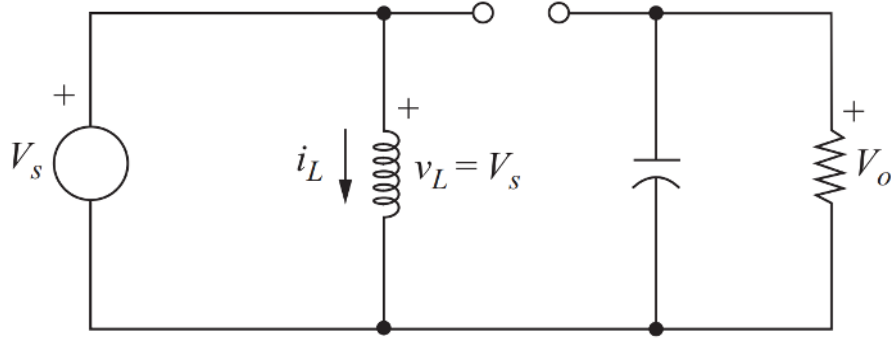
3.3. Düşüren-Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü

Düşüren-yükselten tip DC-DC dönüştürücünün çıkış gerilimi, doluluk oranı d 'ye bağlı olarak giriş geriliminden yüksek veya düşük olabilir. İdeal bir düşüren-yükselten tip DC-DC dönüştürücünün temel devre topolojisi Şekil 3.7'de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi düşüren-yükselten tip DC-DC dönüştürücü devresi SW , D , L , C ve R 'den oluşmaktadır. Diyot, denetimli anahtar iletimde iken katodu kaynağın pozitif ucuna bağlı olacak şekilde yerleştirilmiştir [38].



Şekil 3.7 Düşüren-Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü Devresi [38]

Düşüren-yükselten tip DC-DC dönüştürücü devresi denetimli anahtarın iletimde ve kesimde olma durumuna göre iki eşdeğer devre yardımı ile analiz edilebilir. Şekil 3.8 denetimli anahtarın iletimde olduğu durum için eşdeğer devreyi gösterir [38].



Şekil 3.8 Denetimli Anahtarın İletimde Olduğu Durum için Düşüren-Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi [38]

Şekil 3.8’de verilen eşdeğer devrede anahtarın iletimde olduğu t_{on} süresi boyunca bobin gerilimi v_L denk. 3.16’daki gibi elde edilir [38].

$$\begin{aligned} v_L = V_s &= L \frac{dI_L}{dt} \\ \frac{dI_L}{dt} &= \frac{V_s}{L} \end{aligned} \quad (3.16)$$

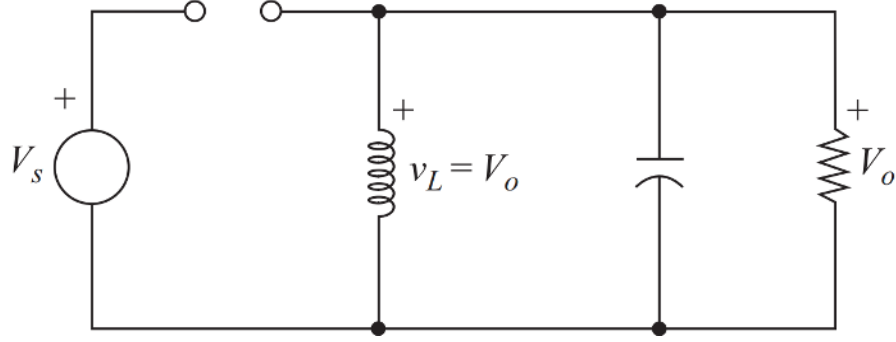
Denk. 3.16’dan görüldüğü gibi endüktans akımının zamana göre değişim miktarı sabittir ve bu nedenle denetimli anahtarın iletimde olduğu süre boyunca endüktans akımı doğrusal olarak artar. Bu durum Denk. 3.17 ile gösterilebilir [38].

$$\begin{aligned} \frac{\Delta I_L}{\Delta t(dT)} \\ (\Delta I_L)_{close} &= \frac{V_s}{L} dT \end{aligned} \quad (3.17)$$

Şekil 3.8’de verilen eşdeğer devrede x düğümüne KAY uygulanırsa denk. 3.18 elde edilir [38].

$$i_C + i_R = 0 \quad (3.18)$$

Denetimli anahtarın t_{off} süresi boyunca kesimde olduğu durum için eşdeğer devre Şekil 3.9’da gösterilmiştir [38].



Şekil 3.9 Denetimli Anahtarın Kesimde Olduğu Durum için Düşüren-Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi [38]

Denetimli anahtar kesimde iken, endüktans akımı anlık değişmez. Bu durumda diyot iletme girer ve endüktans akımı direnç ve kondansatörden akmaya başlar. Denetimli anahtar kesimde iken endüktans uçlarındaki gerilim üzerindeki gerilim denk. 3.19 yardımı ile bulunabilir [38].

$$\begin{aligned} v_L &= -V_o = L \frac{dI_L}{dt} \\ \frac{\Delta I_L}{\Delta t} &= \frac{\Delta V_o}{L} \end{aligned} \quad (3.19)$$

Denk. 3.4'te görüldüğü gibi endüktans akımının türevi sabit bir değerdir ve endüktans akımındaki değişim miktarı (ΔI_L) denk. 3.20 yardımı ile hesaplanabilir [38].

$$\begin{aligned} \frac{\Delta I_L}{\Delta t} &= \frac{\Delta I_L}{(1-d)T} = \frac{(V_o)}{L} \\ (\Delta I_L)_{open} &= \left(\frac{V_o}{L}\right)(1-d)T \end{aligned} \quad (3.20)$$

Sürekli durumda, bir anahtarlama periyodu sonunda endüktans akımındaki değişim miktarı sıfır olmalıdır [38]. Bu durumda;

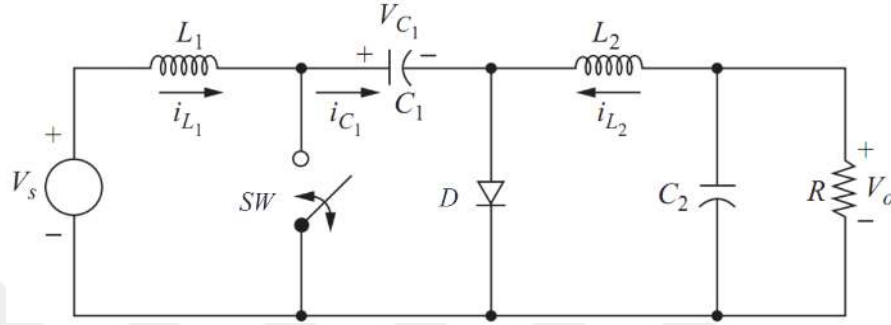
$$(\Delta I_L)_{close} + (\Delta I_L)_{open} = 0 \quad (3.21)$$

Denk.3.17 ve denk. 3.20, denk. 3.21'de yerine yazılırsa düşüren-yükselten tip DC-DC dönüştürücünün giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki ilişki denk.3.22'deki gibi elde edilir [38].

$$\begin{aligned} \frac{V_s}{L}dT + \frac{(V_o)}{L}(1-d)T &= 0 \\ V_o &= \frac{-V_s d}{1-d} \end{aligned} \quad (3.22)$$

3.4. Cuk Tip DC-DC Dönüştürücü

Cuk DC-DC dönüştürücünün devre yapısı Şekil 3.10'da gösterilmiştir. Bu dönüştürücünün çıkış gerilimi doluluk oranına bağlı olarak giriş geriliminden büyük veya küçük olabilir. Ayrıca bu dönüştürücünün çıkış gerilimi giriş gerilimine göre ters polariteye sahiptir. Bu dönüştürücüde enerji transferi diğer dönüştürücülerde olduğu gibi endüktansa değil C_1 kondansatörüne bağlıdır [38].

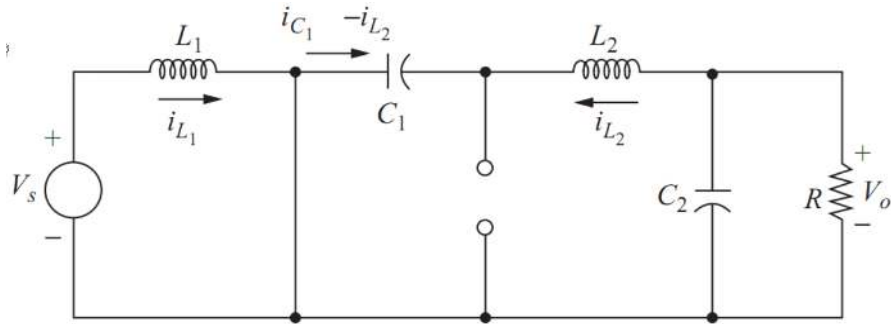


Şekil 3.10 Cuk DC-DC Dönüştürücü Devresi [38]

KGY'den C_1 kondansatörü üzerine düşen gerilim V_{C_1} denk. 3.23'te gösterildiği gibi elde edilir [38].

$$V_{C_1} = V_s - V_o \quad (3.23)$$

Cuk DC-DC dönüştürücü devresi de denetimli anahtarın iletimde ve kesimde olma durumuna göre iki devre ile analiz edilebilir. Denetimli anahtarın iletimde olduğu durum için Cuk DC-DC dönüştürücünün eşdeğer devresi Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Denetimli anahtar iletimde iken diyot kesimdedir [38].



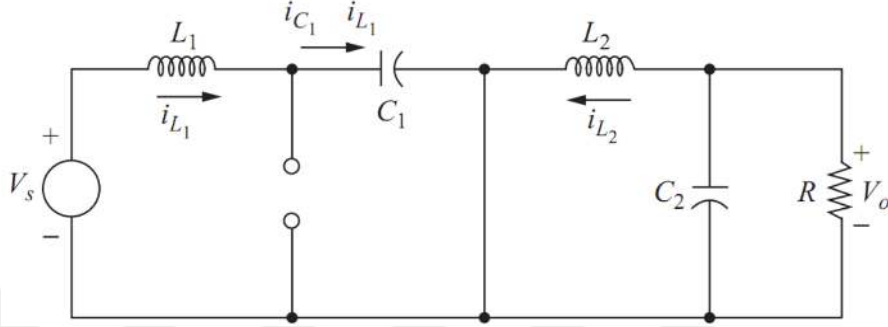
Şekil 3.11 Denetimli Anahtar İletimde İken Cuk DC-DC Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi [38]

Denetimli anahtarın iletimde olduğu durumda C_1 kondansatörünün akımı $I_{C_1-close}$

denk. 3.24'te verilmiştir [38].

$$(I_{C_1-close}) = -I_{L_2} \quad (3.24)$$

Denetimli anahtarın kesimde olduğu durum için Cuk DC-DC dönüştürücünün eşdeğer devresi Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Denetimli anahtarın kesime girmesi ile L_1 ve L_2 endüktanlarının akımından dolayı diyot iletme girer [38].



Şekil 3.12 Denetimli Anahtar Kesimde İken Cuk DC-DC Dönüştürücünün Eşdeğer Devresi [38]

Denetimli anahtarın kesimde olduğu durum için C_1 kondansatörünün akımı I_{C_1-open} denk. 3.25'te verilmiştir [38].

$$(I_{C_1-open}) = I_{L_1} \quad (3.25)$$

Dönüştürücü ideal varsayıldığından yük tarafından harcanan güç, giriş DC kaynağı tarafından sağlanan güce eşittir ve denk.3.26 ile ifade edilebilir [38].

$$\begin{aligned} -V_o I_{L_2} &= V_s I_{L_1} \\ \frac{I_{L_1}}{I_{L_2}} &= -\left(\frac{V_o}{V_s}\right) \end{aligned} \quad (3.26)$$

Periyodik çalışmada kondansatör akımının ortalaması sıfırdır ve bu durum denk.3.27'de verilmiştir [38].

$$(I_{C_1-close})dT + (I_{C_1-open})(1-d)T = 0 \quad (3.27)$$

denk. 3.24 ve denk. 3.25, denk. 3.27'de yerine yazılırsa denk. 3.28 elde edilir [38].

$$\begin{aligned} -(I_{L_2})dT + (I_{L_1})(1-d)T &= 0 \\ \frac{I_{L_1}}{I_{L_2}} &= \frac{d}{1-d} \end{aligned} \quad (3.28)$$

Denk. 3.26 ve denk. 3.27 kullanılarak Cuk DC-DC dönüştürücünün giriş ve çıkış gerilimleri

arasındaki ilişki denk. 3.29 ile elde edilir [38].

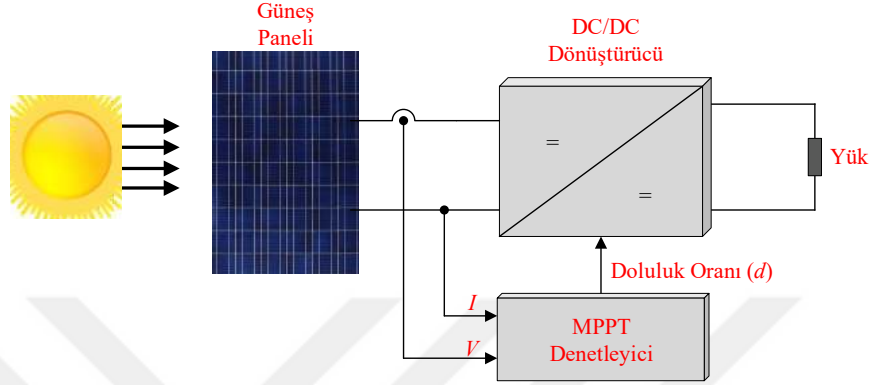
$$V_o = -V_s\left(\frac{d}{1-d}\right) \quad (3.29)$$

Denk. 3.29’da – işareti çıkış geriliminin polaritesinin giriş geriliminin polaritesine göre ters olduğunu gösterir [38].



4. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ

Maksimum güç noktası takibi fotovoltaik dizilerden elde edilen güçten maksimum düzeyde fayda sağlamak üzere kullanılan güç elektroniği devreleridir. Fotovoltaik sistemlerde MPPT uygulamasına ait şematik bir gösterim Şekil 4.1’de verilmiştir [2].



Şekil 4.1 Fotovoltaik Sistemlerde MPPT Uygulamasının Şematik Gösterimi

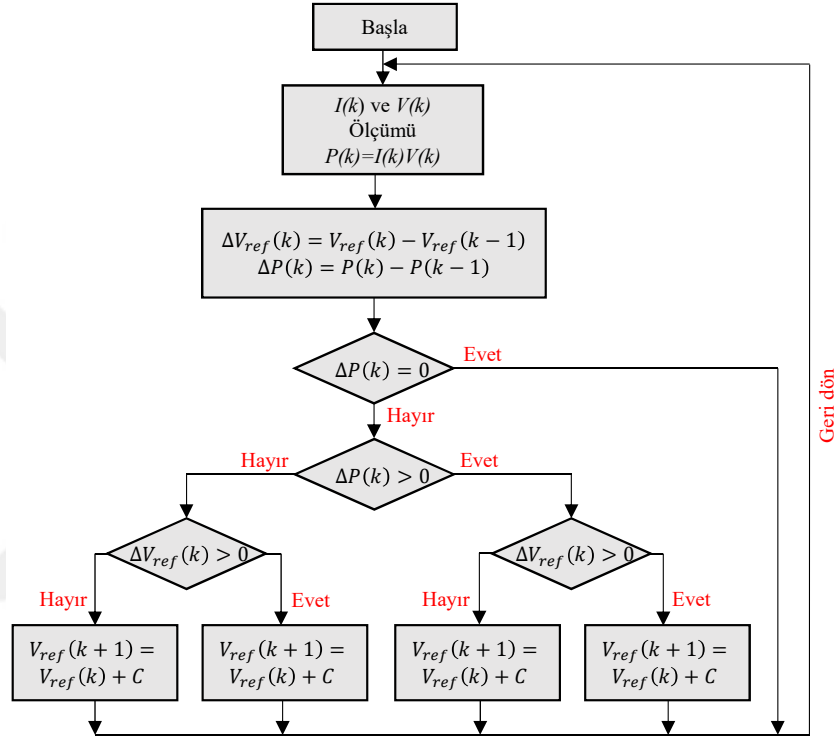
MPPT denetleyiciler, iklim koşullarından bağımsız olarak MPP’de çalıştırılıyorsa, fotovoltaik panelin verimliliği artar. Bu, maksimum güç üretimini gerçekleştirmek için herhangi bir iklim koşulu için yük ile panelin uygun koordinasyonu ile mümkün olur. Fotovoltaik panelden maksimum güç, mekanik olarak panelin güneşi takibi ile mekaniksel ve güç elektroniği devrelerinin uygun denetimi ile elektriksel olarak gerçekleştirilebilir. Mekanik takipte panel yönü yıl boyunca ay ve mevsimlerin değişimine göre değişirken, elektriksel olarak I-V eğrisi MPP’yi bulmak için kullanılır. MPPT, sırasıyla şebekeden bağımsız ve şebekeye bağlı uygulamalar için yüke/akülere/motorlara ve elektrik şebekesine maksimum gücün aktarılmasını sağlayan modern güç sistemlerinin ayrılmaz bir bileşenidir [3], [39].

Fotovoltaik panellerin enerjisine dönüşüm verimliliği düşük olduğundan ve güneş ışınımı her zaman sabit olmadığından, MPPT denetleyiciler solar santrallerde yaygın uygulama alanı bulmaktadırlar. Solar enerji dönüşüm sistemlerinde maksimum güç çıkışı elde etmek için MPPT yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir [40].

Literatürde solar panelden maksimum güç elde etmek için birçok MPPT yöntemi önerilmiştir. Her yöntemin bazı uygulamalar için avantajları ve dezavantajları vardır. [39]’de, MPPT denetim yöntemleri, geleneksel, matematiksel, ölçme ve karşılaştırma, sabit parametre, deneme-yanılma, nümerik, akıllı sistem, yinelemeli tabanlı olmak üzere sekiz gruba ayrılmıştır. Bu yöntemler arasında geleneksel yöntemler en yaygın kullanılanlardır. Ayrıca akıllı sistemler tabanlı MPPT yöntemleri son yıllarda literatürde yoğun bir çalışma yapılan alan haline gelmiştir [3]. Aşağıda literatürde en yaygın kullanılan geleneksel ve son yıllarda büyük ilgi göre akıllı sistemler tabanlı MPPT yöntemleri anlatılmıştır.

1. **Geleneksel MPPT Yöntemleri:** P&Q, InC ve HC yöntemleri ve bu yöntemlerin iyileştirilmiş halleri geleneksel yöntemler olarak sınıflandırılır. Bu geleneksel yöntemlerin detayları aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

a) Değiştir-Gözle Yöntemi: Bu yöntem, en az karmaşık MPPT yöntemlerinden biridir. Gerilimdeki değişime göre güçteki değişim sıfır olduğu zaman MPP'ye ulaşılır ($dP/dV = 0$) [39], [41]. P&Q MPPT yönteminin temel akış şeması Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



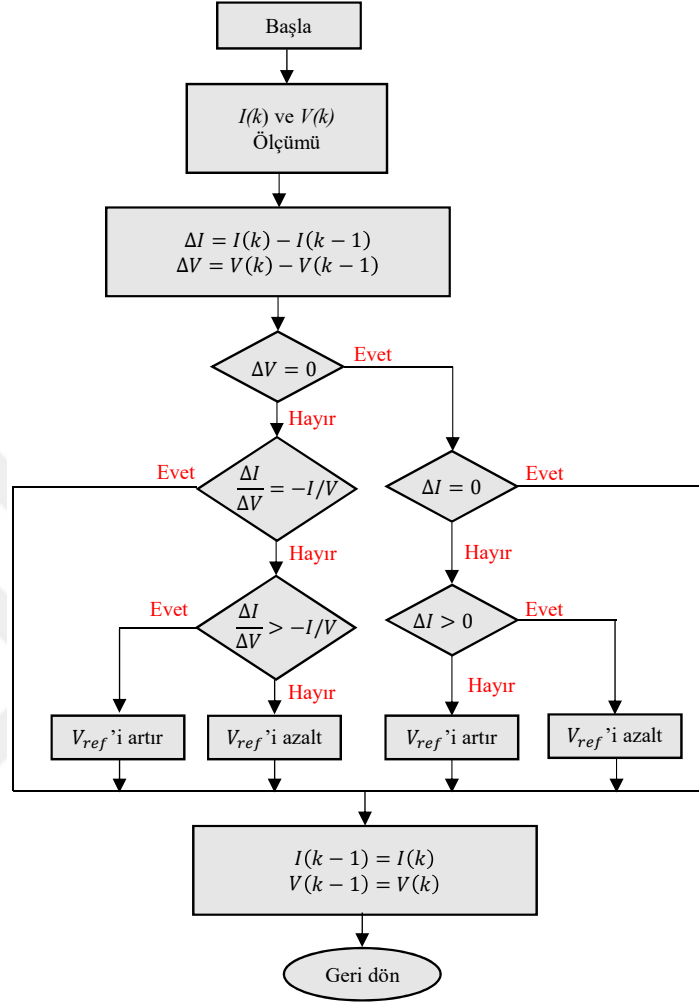
Şekil 4.2 P&Q MPPT Yönteminin Temel Akış Şeması

Şekil 4.2'den görüldüğü gibi P&Q yönteminde, ilk olarak $V(k)$ ve $I(k)$ ölçülür ve ölçülen bu değerlerden panelin o anki gücü $P(k)$ hesaplanır. Algoritma, referans gerilim V_{ref} 'e göre her döngüde çalışma gerilimi V 'yi ayarlar. Çalışma gerilimi, ideal çalışma gerilimi V_{MPP} 'yi elde etmek için MPP'ye ulaşılana kadar salınır. Şekilde gösterilen C sabiti pertürbasyonun adım genişliğinden kaynaklanan güç kayıplarını temsil eder [39].

b) Değiştirilmiş Değiştir-Gözle Yöntemi: Bu yöntemde istenen çıkışı elde etmek için bozucu eleman değiştirilir. Bu yöntem biraz devre karmaşıklığına sahiptir. Ancak bu yöntemin izleme hızı, geleneksel P&Q MPPT algoritmasına kıyasla daha yüksek ve kesindir. Değiştirilmiş P&Q MPPT yöntemleri ile ilgili daha fazla bilgi bulunabilir [39].

c) Artan İletkenlik Yöntemi: Artan iletkenlik MPPT yöntemi (InC) sıfıra eşit olması gereken dP/dV 'ye bağlıdır. Bu yöntem hızla değişen hava koşullar altında

izleme hassasiyetini ve dinamik yürütmeyi iyileştirmek için önerilmiştir [42]. InC algoritmasının akış şeması Şekil 4.3'te gösterilmiştir [39].

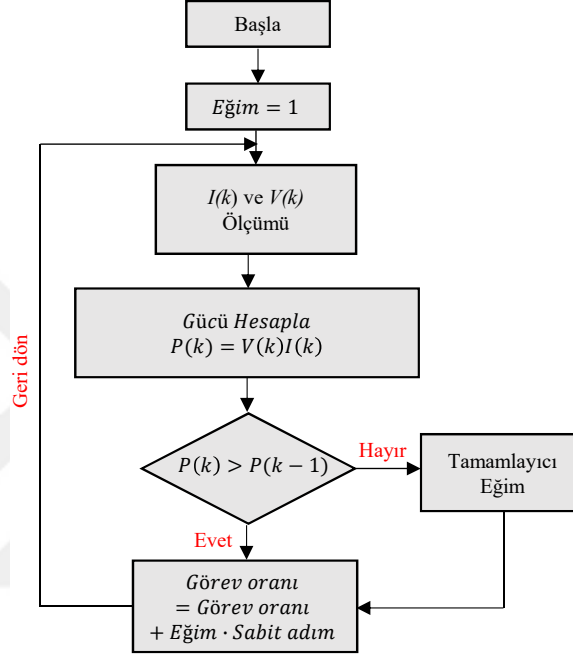


Şekil 4.3 InC MPPT Yönteminin Temel Akış Şeması

InC MPPT yöntemi, hızla değişen hava koşullarında daha iyi uygulama avantajı sunar ve ayrıca MPP çevresinde daha az salınım sağlar. Kısmi gölgelenme olması durumunda gerçek MPP'yi izleyememesi bu yöntemin dezavantajıdır. Ayrıca P&Q ile karşılaştırıldığı zaman InC'nin denetimi için ihtiyaç duyulan donanım daha yüksek maliyete sahiptir [39].

d) Değiştirilmiş Artan İletkenlik Yöntemi: Adım aralığının uygun seçimi, InC stratejisinin dezavantajlarından biridir. Adım aralığı büyük seçildiğinde, izleme hızı daha iyi olmaktadır. Ancak, bu durumda güçte önemli miktarda sabit durum salınımları ortaya çıkmaktadır. Adım boyutunun küçük olması durumunda güçte meydana gelen salınımlar azalmaktadır; ancak, izleme hızı daha yavaş olmaktadır. Değiştirilmiş InC MPPT yönteminde adım boyutu otomatik olarak ayarlanır. Böylece, güçte meydana gelen salınım azaltılır [39].

d) Tepe Tırmanma Yöntemi: Tepe tırmanma (HC) MPPT yöntemi temelde P&Q ile aynıdır. İki yöntem arasındaki temel fark, gerilimi veya akımı yinelemek yerine, gücün artışına göre doluluk oranını değiştirerek panelin çalışma noktası güncellenir. Doluluk oranı, Oransal-İntegral (PI) denetleyici olmadan değiştirildiğinden, HC MPPT yöntemi bazı durumlarda doğrudan doluluk oranı ayarlama yöntemi olarak bilinir. HC MPPT yönteminin akış şeması Şekil 4.4'te gösterilmiştir [39].



Şekil 4.4 HC MPPT Yönteminin Temel Akış Şeması

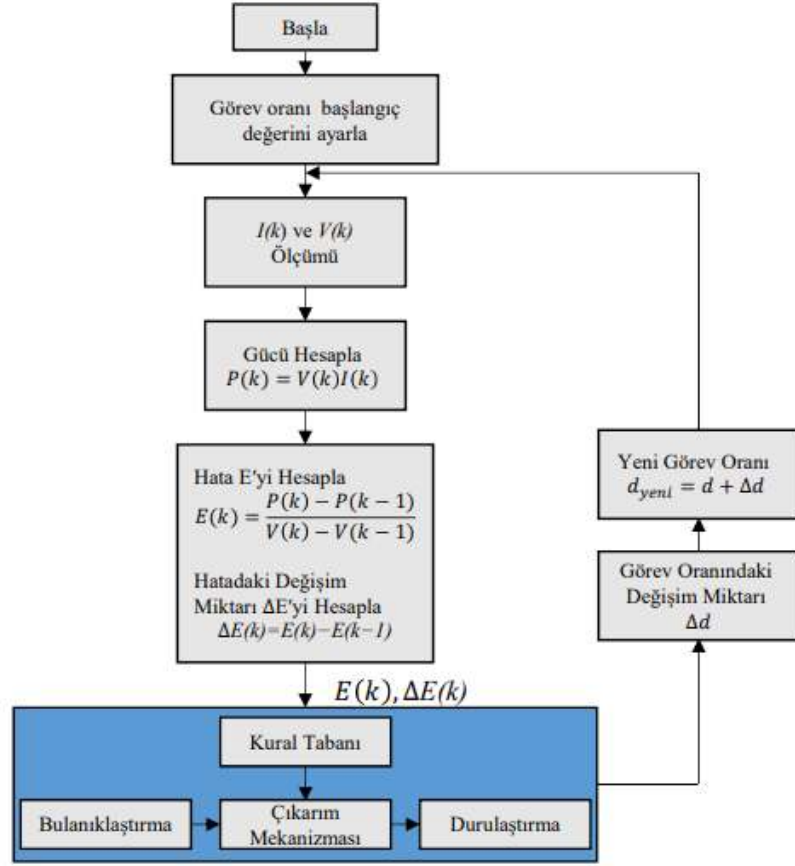
Bu yöntemin önemli dezavantajı, artan salınımların, maksimum çıkarılabilir güce kıyasla ideal çalışma noktasına yakın görülmesidir. Ayrıca bu yöntem MPP'yi yakalamayı ihmal eder ve kararlı duruma ulaşmak için geçen süre, başlangıç doluluk oranı ve adım boyutunun tahminine dayanır [39].

e) Değiştirilmiş Tepe Tırmanma Yöntemi: Bu yöntem, HC yönteminin değiştirilmiş bir versiyonudur. Lei ve ark. kısmi gölgelenme için değiştirilmiş HC için doluluk oranını tam olarak elde edilen bir yöntem önermişlerdir [39].

2. Akıllı Sistemler Tabanlı MPPT Yöntemleri: Bu yöntemler, MPPT optimizasyonu ile uyum sağlamak için güçlü bir araç haline gelen yumuşak hesaplama tabanlıdır. BMS, YSA, evrimsel algoritma (EA) ve uyarlamalı sinirsel bulanık çıkarım sistemleri (ANFIS) bu yöntemlere örnek olarak gösterilebilir. Bu yöntemler aşağıda açıklanmıştır [39].

a) Bulanık Mantık Tabanlı MPPT Yöntemi: BMS Tabanlı MPPT yöntemi, kaynak bilgilerinin kaybedilme olasılığına bakılmaksızın MPP'yi izlediği için iyi bir

yöntem olarak kabul edilir. Bu yöntem, bulanıklaştırma, durulaştırma, çıkarım mekanizması ve kural tabanı olmak üzere dört aşamada gerçekleştirilir. BMS Tabanlı MPPT yönteminin blok diyagramı Şekil 4.5'te gösterilmiştir [39].

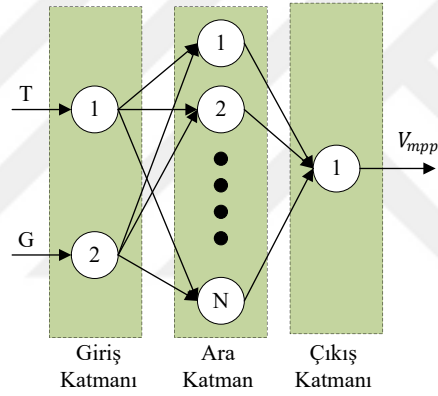


Şekil 4.5 Bulanık Mantık Tabanlı MPPT Yönteminin Blok diyagramı

Şekilden görüldüğü gibi BMS tabanlı MPPT'ye hata (E) ve hatanın değişimi ΔE giriş olarak uygulanmıştır. BMS tabanlı MPPT sisteminin çıkışından ise doluluk oranındaki değişim (Δd) elde edilmiştir. Gerçek doluluk oranı ise doluluk oranındaki değişim miktarına doluluk oranının eklenmesi ile bulunur.

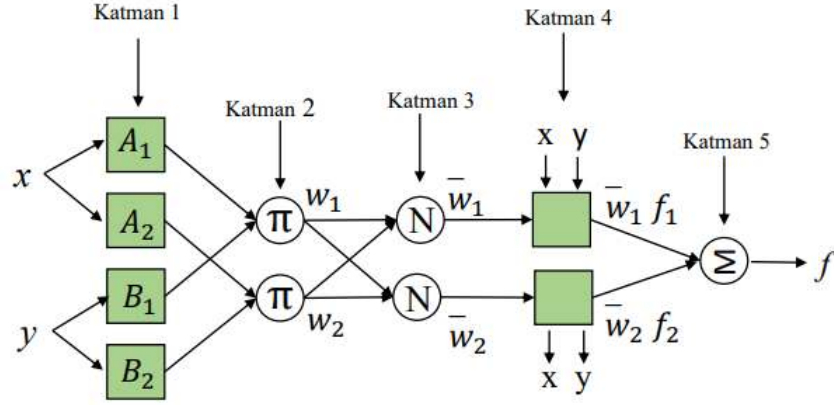
a) Yapay Sinir Ağları Tabanlı MPPT Yöntemi: YSA insan beyninin düşünme, karar verme, öğrenme ve tanıma gibi fonksiyonlarını modeller. YSA'lar; giriş katmanı, en az bir gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşur. Bu katmanlar, birbirine bağlı nöron adı verilen elemanlarla bağlanmıştır. Giriş katmanındaki veriler ağırlıklar ile çarpılır ve bias eklenir. Sonrasında belirlenen bir aktivasyon fonksiyonu ile ağ eğitilerek çıkış değerleri elde edilir. Gizli katman ve nöronların sayısı problemin karmaşıklık durumuna göre şekil almaktadır. Gizli katmanın yapısı ve sinir ağının eğitilmesi YSA'nın performansını belirleyen unsurlardandır. Birinci aşamada problemin girdi ve çıktıları belirlenmeye çalışılır.

Problemın çözüm sürecinde kaç adet giriş ve çıkış verisi kullanılacağına karar verilir. İkinci aşamada eğitim için kullanılacak YSA türü, gizli katmanlarının olup olmayacağı kaç adet nöron kullanılacağı ve hangi fonksiyonun aktivasyon fonksiyonu olarak kullanılacağı gibi tasarım parametrelerine karar verilir. Üçüncü aşama, YSA'nın eğitimi için gerekli olan veri seti eğitim ve test verilerinin hazırlanmasını içerir. Eğitim verileri kullanılarak YSA eğitilir. Gerçek değer ile YSA sonuçları kıyaslanarak tahmin hatası belirlenir. Dördüncü aşamada eğitilen ağın genelleme özelliğine sahip olup olmadığını test etmek için ikinci bir test verisi kullanılarak ağın ezberleyip ezberlemediği kontrol edilir. Bu aşamalardan başarılı olarak geçen ağ tahmin hatası da belirli noktada iyileştirildikten sonra istenilen problemin çözümü için hazır hale getirilmiştir. Şekil 4.6'da MPPT yönteminin YSA ile gerçekleştirilmesine ilişkin diyagram verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi YSA'ya girişler ısıtım (G) ve panel sıcaklığı (T) giriş olarak kullanılmıştır. YSA çıkışı ise maksimum güç noktasındaki gerilim (V_{MPP}) olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.6 Bulanık Mantık Tabanlı MPPT Yönteminin Blok Diyagramı

b) Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemleri Tabanlı MPPT Yöntemi: Uyarlamalı Sinirsel Bulanık Çıkarım Sistemleri (ANFIS) hem YSA'nın hem de BMS'nin avantajlarını birleştiren melez bir akıllı sistemdir. [43] nolu çalışmada ANFIS tabanlı bir MPPT yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntemin yapısı Şekil 4.7'de gösterilmiştir. ANFIS iki girişe ve bir çıkışa sahiptir. ANFIS'in girişleri sıcaklık ve ısıtım, çıkışı ise görev oranındaki değişim olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada kullanılan ANFIS beş katmandan oluşmaktadır. Birinci katman giriş katmanıdır ve ANFIS'e girişler panel akımı ve panel gücü seçilmiştir. İkinci katman giriş üyelik fonksiyonlarının, üçüncü katman kuralların ve dördüncü katman ise çıkış üyelik fonksiyonlarının tanımlandığı katmandır. Beşinci katman ise ANFIS'in çıkışıdır.



Şekil 4.7 ANFIS Tabanlı MPPT Yönteminin Blok Diyagramı

4.1. MPPT Yönteminin Performansının Değerlendirilmesinde Kullanılan Kriterler

Bir MPPT yönteminin performansı üç kriter ile ölçülebilir. Bu kriterler doğruluk, verim ve hatadır. Bunlar aşağıda verilmiştir [44].

- **Doğruluk (a):** Bu parametre, MPPT yönteminin fotovoltaik paneli MPP'ye ne kadar yakın çalıştığını gösterir ve P , I veya V 'nin maksimum değerinin yüzdesi olarak aşağıda verilen denklemdeki gibi tanımlanır.

$$a_{MPPT} = \frac{X}{X_{max}} \quad (4.1)$$

Denk. 4.11'de; X ; I , V veya P 'yi, X_{max} ise bunların maksimum değerini gösterir.

- **Verim (η):** Bu parametre mevcut panel gücünün veya enerjisinin (En) gerçek değerine oranını gösterir ve aşağıdaki denklemdeki gibi tanımlanır.

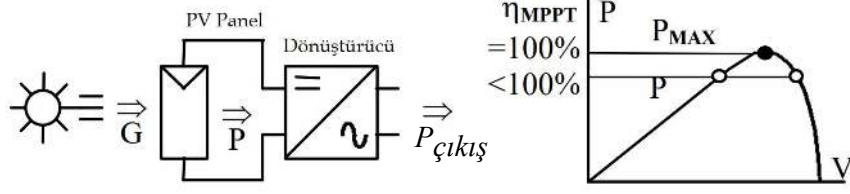
$$\eta_{MPPT-P} = \frac{P}{P_{max}} \quad (4.2)$$

$$\eta_{MPPT-En} = \frac{En}{En_{max}} \quad (4.3)$$

- **Hata (E):** Bu parametre gerilim, akım veya gücün gerçek ve MPP değerleri arasındaki mutlak veya bağıl farkı gösterir ve aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanabilir.

$$E_{MPPT} = X - X_{max} \quad (4.4)$$

Doğruluk ve verim temelde aynıdır. Ancak verim kullanılan güç elektroniği dönüştürücüsünün dönüştürme verimliliğini doğrulamak için kullanılabilir. Şekil 4.8’de MPPT ve güç dönüşüm verimine ait grafik verilmiştir. [44].



Şekil 4.8 MPPT ve Güç Dönüşüm Verimi [44]

Sistemin toplam verimi ise denk. 4.55 yardımı ile hesaplanabilir [44].

$$\eta_{toplam} = \eta_{panel} \times \eta_{MPPT} \times \eta_d$$

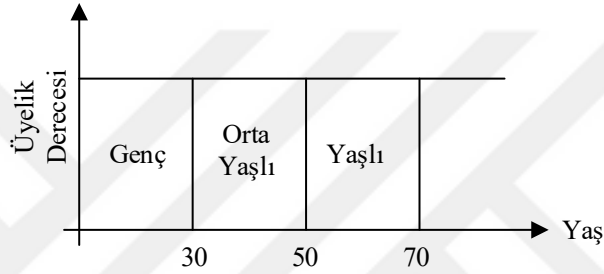
$$\eta_{toplam} = \frac{P_{max}}{G} \frac{P}{P_{max}} \frac{P_{çıkış}}{P} \quad (4.5)$$

Bu denklemde; η_{toplam} sistemin toplam verimini, η_{panel} panelin verimini ve η_d dönüştürücünün verimini temsil eder. MPPT, fotovoltaiik paneli sabit bir gerilim veya akım kaynağı olarak çalıştırdığından, gerilim veya akım hatası MPPT’nin yaptığı işi daha iyi tanımlar. Ayrıca, belirli bir MPPT için gerilim veya akım hatası yalnızca akım veya gerilimin maksimum değerlerinin bir fonksiyonu olarak değişirken verim ek olarak panelin V-I eğrisinin bir fonksiyonudur.

5. BULANIK MANTIK SİSTEMLER

Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) ve bulanık küme teorisi, ilk olarak 1965 yılında Prof. Lotfi A. Zadeh tarafından ileri sürülmüştür. Bu alan birçok bilim adamının ilgisini çekmiş ve birçok uygulamada kullanılmaya başlanmıştır. Bulanık mantık, süreç denetimi, haberleşme, işletme ve tıp gibi birçok farklı alanda uygulanmıştır. Ancak bulanık mantık alanında yapılan çalışmalar denetim alanında yoğunlaşmıştır [45], [46]

Boolean Mantığında bir eleman bir kümenin ya elemandır veya değildir. Bu tür kümelere keskin küme denir. Şekil 5.1'de yaş örneği için bir keskin küme gösterilmiştir. Şekilde verilen örnekte sıfır ile otuz yaş arasındaki kişiler genç, otuz ile elli yaş arasındaki kişiler orta yaşlı, yaşı elliye büyük olan kişiler ise yaşlı olarak tanımlanmıştır [47].



Şekil 5.1 Yaş için Keskin Küme Örneği

Bulanık Mantık Sistemlerde, keskin mantığın yerine az sıcak, sıcak, çok sıcak gibi kümeler tanımlanır. Daha sonra her giriş değeri için bulanık kümeler içinde $[0, 1]$ aralığında bir üyelik derecesi hesaplanır ve bu durum bazı uygulamalarda daha uygun bir mantık oluşturur. Bulanık kümeler üyelik fonksiyonları ile gösterilir [45]. Bu üyelik fonksiyonları tip-1 ve tip-2 olmak üzere ikiye ayrılabilir. Tip-1 ve tip-2 Bulanık Mantık Sistemler aşağıda anlatılmıştır.

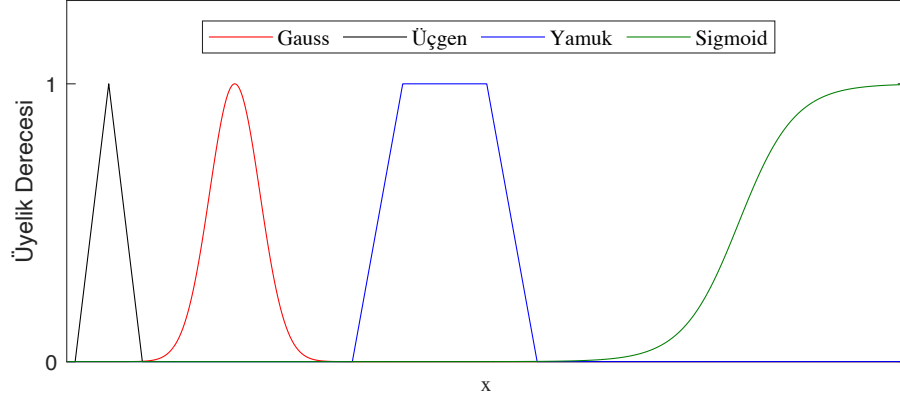
5.1. Tip-1 Bulanık Mantık Sistemler

Elemanların üyelik kesinlik dereceleri sıfır veya bir olarak belirlenemediğinde tip-1 bulanık kümeler kullanılır [48], [49]. Öğeleri x olarak gösterilen bir X uzayındaki bir bulanık A kümesi aşağıdaki gibi tanımlanabilir [50], [51]:

$$A = \{(x, \mu_A(x)) | x \in X\} \quad (5.1)$$

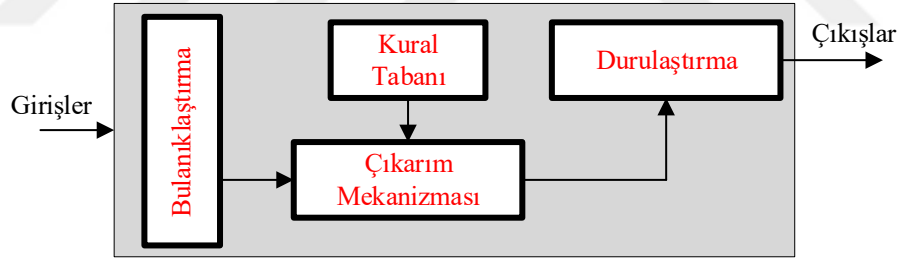
Burada; $\mu_A(x)$ A kümesinde x 'in üyelik derecesidir. Üyelik derecesi $[0, 1]$ aralığında bir değer alır. Eğer $\mu_A(x) = 0$ ise x , A bulanık kümesinin elemanı olmadığı, $0 < \mu_A(x) < 1$ ise x bulanık A kümesinin belirli ölçüde elemanı olduğu anlamına gelir. Üyelik fonksiyonları (MF), giriş uzayındaki her noktanın 0 ile 1 arasında bir üyelik derecesine eşleştirir [50],

[51]. Şekil 5.2 Tip-1 Bulanık Sistemlerde (T1BMS) yaygın olarak kullanılan üçgen, Gauss ve yamuk vb. üyelik fonksiyonlarını gösterir.



Şekil 5.2 T1BMS'lerde Yaygın Olarak Kullanılan Üyelik Fonksiyonları

Bulanık çıkarım sistemler, insanın bilgisini bir dizi bulanık Eğer-O zaman kuralına göre işlerler. Tipik bir bulanık çıkarım sistemi Şekil 5.3'te gösterildiği gibi bulanıklaştırma, kural tabanı, çıkarım mekanizması ve durulaştırma birimi olmak üzere dört bileşenden oluşur [50], [51].



Şekil 5.3 T1BMS'in Genel Yapısı

Bulanıklaştırma biriminde, giriş değişkenlerinin aldığı her değere karşılık ilgili giriş değişkeni için tanımlanan tüm bulanık kümeler için bir üyelik derecesi hesaplanır. Kısaca bu birim uygulanan her giriş değeri için bir üyelik derecesi hesaplar (ilgili değişken için tanımlanan üyelik fonksiyonlarının hepsi için) ve bu değeri çıkarım mekanizmasına iletir [45].

Bir bulanık denetleyicinin kural tabanı, genellikle denetlenecek sistem hakkında bilgi sahibi uzman kişilerin dilsel ifadelerinden elde edilen bir grup Eğer- Ozaman kuralından oluşur. Kural tabanı, bir Bulanık Mantık Sistemin kalbi olarak nitelendirilebilir. Bu birimde bulanık kümelerin dilsel terimleri kullanılarak kesin değerleri üyelik derecelerine dönüştürülür. Kural tabanı Eğer - Ozaman bulanık kurallarından oluşur. p girişli bir

T1BMS'in ($x \in X$) aşığıdaki gibi ifade edilir [50], [51].

$$n. \text{ Kural}=\text{Eğer } x_1 = A_{1n}, x_2 = A_{2n}, \dots, x_p = A_{pn}, \text{ Ozaman } y = C \quad (5.2)$$

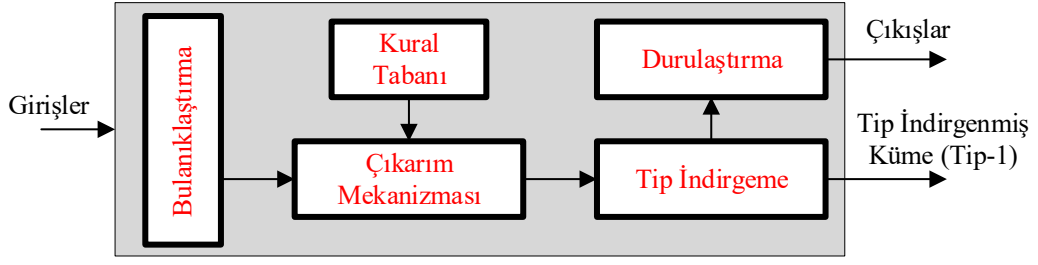
Denk. 5.3'te, $n = 1, 2, \dots, M$ olmak üzere M kural sayısını, A ise BMS'de herbir giriş dilsel değışkenin değeri gösterir. Çıkarım mekanizması, bulanıklaştırma biriminden elde edilen üyelik derecelerini ve kural tabanını kullanarak bir bulanık küme oluşturur. Bu bulanık küme, durulaştırma birimi tarafından çıkışın hesaplanmasında kullanılır [50], [51].

Çıkarım mekanizmasında, üç temel işlem gerçekleştirilir. Birinci işlem kuralların varsayım kısmındaki terimler arasındaki bulanık işlemlerdir. Terimler genellikle AND, OR veya NOT operatörleri ile birbiri ile ilişkilendirilir. Bu operatörler ile giriş değerlerinin üyelik dereceleri arasındaki işlem hesaplanır ve sonuç olarak her kural için kuralın kesinlik derecesi elde edilir. İkinci işlem ima işlemidir. Bu işlem ile kuralın kesinlik derecesinin ilgili kuralın bulanık çıkış kümesine etkisi belirlenir. İma işlemi sonucunda kural tabanındaki her kural bir ima edilen bulanık çıkış küme oluşur. Üçüncü işlem ise toplama işlemidir. Toplama işlemi sonucunda net bulanık çıkış kümesi elde edilir. Tercih edilecek durultma yöntemi doğrudan ima edilen bulanık kümeyi kullanması durumunda toplama işlemine ihtiyaç duyulmaz [50], [51]. Durulaştırma birimi, bir bulanık kümeden kesin bir değerin elde edilmesi işlemini ifade eder. Literatürde bir bulanık kümeden kesin değeri elde etmek için farklı yöntemler önerilmiştir. Ancak alan merkezi (COA) ve maksimumun ortalaması (MOM) yöntemleri bir bulanık kümeden kesin çıkışın üretilmesinde en yaygın kullanılan iki yöntemlerdir [45], [50], [51].

5.2. Tip-2 Bulanık Mantık Sistemler

Tip-2 bulanık küme kavramı, tip-1 bulanık küme kavramının bir uzantısı olarak Zadeh tarafından ileri sürülmüştür. Üyelik derecesi $[0, 1]$ aralığında belirlemede problem varsa tip-2 bulanık kümelerin kullanılması daha uygundur [49]. Tip-2 Bulanık Mantık Sistemler (T2BMS), tip-2 bulanık kümeler içeren bulanık Eğer - Ozaman kurallarından oluşur. Belirsizliğin sadece dilsel değışkenlerle sınırlı olmadığı, aynı zamanda T1BMS'nin bir genellemesi olduğunu söylenebilir [48]–[51].

T2BMS'nin genel yapısı Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Şekil 5.3 incelendiği zaman T2BMS ve T1BMS'nin birbirine benzediği görülmektedir. Aralarındaki en büyük fark, T1BMS'nin durulaştırma biriminin, T2BMS'de tip indirgeme ve ardından durulaştırma ile değıştirilmesini içermesidir [50], [51].



Şekil 5.4 T2BMS'in Genel Yapısı

5.2.1. Tip-2 Bulanık Küme ve Üyelik Fonksiyonları

$\tilde{A}$ ile gösterilen bir tip-2 bulanık küme tip-2 MF ($\mu_{\tilde{A}}(x, u)$) ile gösterilir ($x \in X$ ve $u \in J_x \subseteq [0, 1]$) ve aşağıdaki denklemdeki gibi ifade edilir [50], [51].

$$\tilde{A} = \{(x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u) | \forall x \in X, \forall u \in J_x \subseteq [0, 1]\} \quad (5.3)$$

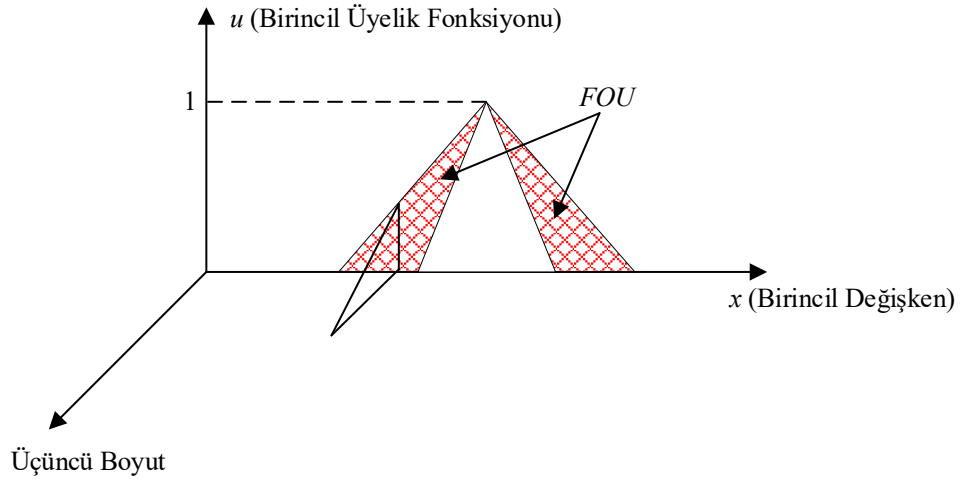
Denk. 5.3'te $\mu_{\tilde{A}}(x, u)$ $[0, 1]$ aralığında tanımlıdır. Ayrıca $\tilde{A}$ aşağıdaki gibi tanımlanabilir [50], [51].

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} \mu_{\tilde{A}}(x, u) / (x, u) \quad J_x[0, 1] \subseteq \quad (5.4)$$

Bu denklemde, $\int \int$ tüm kabul edilebilir x ve u uzayını ifade eder. $\forall x \in X, J_x \subseteq [0, 1]$ olmak üzere J_x , x 'in birincil üyelik fonksiyonudur. Ayrıca, her bir birincil üyelik değerine karşılık gelen bir ikincil üyelik değeri vardır [50], [51].

Tip-2 bulanık küme $\tilde{A}$ 'nın birincil üyelik fonksiyonlarındaki belirsizlik, belirsizliğin ayak izi (FOU) olarak adlandırılan sınırlı bir bölgeden oluşur. FOU matematiksel olarak, tüm birincil MF'lerin birleşimidir [50], [51].

Genel bir tip-2 bulanık kümenin MF'si üç boyutludur ve Şekil 5.5'te üçüncü boyutun bir diliminin enine kesiti gösterilmiştir. Genel tip-2 bulanık kümenin MF'sini tanımlamak için sadece enine kesitin sınırı kullanılır [50], [51].



Şekil 5.5 Tip-2 Üyelik Fonksiyonu

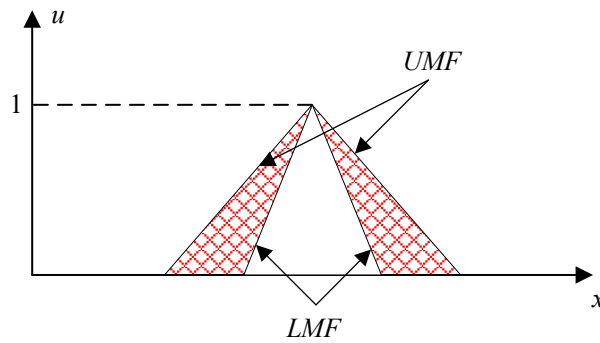
Tip-2 bulanık kümelerin anlaşılması ve kullanılmasıdaki zor olduğundan aralıklı tip-2 bulanık küme adı verilen özel bir tip-2 bulanık küme önerilmiştir [52].

5.3. Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık Sistemler

Eğer tüm $\mu_{\tilde{A}}(x, u)$ bire eşit olursa bu durumda $\tilde{A}$ aralıklı tip-2 bulanık mantık sistem (IT2BMS) olur. Denk. 5.4 IT2BMS için aşağıdaki gibi tanımlanabilir [49], [50].

$$\tilde{A} = \int_{x \in X} \int_{u \in J_x} 1/(x, u) \quad J_x[0, 1] \subseteq \quad (5.5)$$

IT2BMS kümenin MF'si Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Bir IT2FS için üçüncü boyut değeri her yerde aynıdır. Bu durum IT2BMS'nin üçüncü boyutunun yeni hiçbir bilgi barındırmadığı anlamına gelir. Bu nedenle, üçüncü boyut ihmal edilir ve IT2BMS'yi tanımlamak için sadece FOU kullanılır [50].



Şekil 5.6 Aralıklı Tip-2 Bulanık Mantık Sistemin Üyelik Fonksiyonu

Şekil 5.6'dan görüldüğü gibi IT2BMS'nin üyelik fonksiyonları tip-2 bulanık küme $\tilde{A}$ 'nın FOU'su için sınır olan bir üst üyelik fonksiyonu (UMF) ve bir alt üyelik fonksiyonu (LMF) olmak üzere iki adet tip-1 üyelik fonksiyonu ile gösterilir [50], [51]. T1BMS ve T2BMS'ler arasındaki en önemli fark, T2BMS'lerde tip-2 MF'lerin kullanılmasıdır. Her iki BMS'de kuralların yapısı tamamen aynıdır. n girişli bir T2BMS'nin kural yapısı Denk. 5.6'da verilmiştir [50], [51].

$$r.Kural : \text{Eğer } x_1 = \tilde{A}_1^i, \ x_2 = \tilde{A}_2^i, \dots, \ x_n = \tilde{A}_n^i, \text{ O zaman } y = C^i \quad (5.6)$$

Denk. 5.6'da; M kural sayısını göstermek üzere $j = 1, \dots, N$, $x \in X$ ve $y \in Y$ 'dir. Ayrıca bu denklem, T2BMS'nin giriş uzayı X ile çıkış uzayı Y arasındaki tip-2 ilişkisini gösterir [50], [51].

Bulanık Çıkarım Mekanizması: T2BMS'lerde çıkarım işlemi T1BMS'lere çok benzerdir. Çıkarım mekanizmasında kurallar birleştirilir ve giriş T2BMS'lerini çıkış T2BMS'lerine eşleştirilir. Bu eşleştirme işlemi için, T2BMS'lerin birleşimlerini ve kesişimlerini ve ayrıca tip-2 ilişkilerinin bileşimlerini hesaplamak gerekir. Kesişim ve birleşim işlemlerinin yerine T2BMS'lerde katılma ve buluşma işlemleri kullanılır. Katılma ve buluşma işlemleri ikincil üyelik fonksiyonlarında kullanılır [50], [51]. C^j , j . Eğer-Ozaman kuralının sonuç aralık kümesi olmak üzere;

$$\begin{aligned} \tilde{\mu}_1 &= [\bar{\mu}_1, \underline{\mu}_1] \\ \tilde{\mu}_2 &= [\bar{\mu}_2, \underline{\mu}_2] \\ &\vdots \\ \tilde{\mu}_n &= [\bar{\mu}_n, \underline{\mu}_n] \end{aligned} \quad (5.7)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, $\bar{\mu}$ ve $\underline{\mu}$ sırası ile UMF ve LMF'nin üyelik kesinlik dereceleridir [50], [51]. Her kural için toplam üyelik kesinlik derecelerinden oluşan küme aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$f^j = [\bar{f}^j, \underline{f}^j] \quad (5.8)$$

Denk. 5.8'de;

$$\begin{aligned} \underline{f}^j &= \underline{\mu}_1(x_1) \cap \underline{\mu}_2(x_2) \cap \dots \cap \underline{\mu}_n(x_n) \\ \bar{f}^j &= \bar{\mu}_1(x_1) \cap \bar{\mu}_2(x_2) \cap \dots \cap \bar{\mu}_n(x_n) \end{aligned} \quad (5.9)$$

r. kuralın sonuç kümesi C^j bir aralık kümesidir ve aşağıdaki denklemdeki gibi tanımlanır [50], [51].

$$C^j = [c_l^j, c_r^j] \quad (5.10)$$

Elde edilen çıkış y_{net} T2BMS'nin net çıkışıdır ve aşağıdaki denklemdeki gibi

yazılabilir.

$$y_{net} = [y_l, y_r] \quad (5.11)$$

y_l ve y_r bir tip indirgeme yöntemi kullanılarak hesaplanabilir. Daha sonra, IT2BMS için tipi indirgenmiş bulanık küme aşağıda verilen denklemdeki gibi ifade edilebilir [50], [51].

$$Y_{TR} = [y_l(x), y_r(x)] \quad (5.12)$$

Denk. 5.12’de, Y_{TR} iki uç noktası y_l ve y_r tarafından belirlenen aralıklı tip-1 bulanık kümedir. T2BMS’nin çıkışı y_l ve y_r ’nin ortalama değerleri kullanılarak aşağıdaki denklem yardımı ile hesaplanabilir [50], [51].

$$Y = \frac{y_l + y_r}{2} \quad (5.13)$$

T2BMS’nin her kuralına karşılık gelen çıkış kümesi, bir tip-2 kümedir. Tip indirgeyici, tüm bu çıkış kümelerini bir tip-1 durulaştırıcının tip-1 kural çıkış kümelerini birleştirdiği gibi birleştirir [53]. Daha sonra bu tip-2 küme üzerinde bir merkez hesaplaması yapılır ve bu işlem sonunda tip-1 kümesi ile sonuçlanan indirgenmiş bir küme elde edilir. Literatürde birçok tip indirgeme yöntemi önerilmiştir. En yaygın olarak kullanılan tip indirgeme ve durulaştırma yöntemi yinelemeli Karnik ve Mendel (KM) algoritmasıdır. Bu tez çalışmasında tip indirgeme için KM yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntemin detayları aşağıda verilmiştir [50], [51].

- Karnik ve Mendel Tip İndirgeme Yöntemi:

y_l ’yi hesaplamak beş adımdan oluşur. Bu adımlar aşağıda anlatılmıştır.

1. Adım: $c_l^1 \leq c_l^2 \leq \dots \leq c_l^N$ şeklinde artan derecede c_l^j ’ler sıralanır ($j = 1, 2, \dots, N$). Sıralanmış c_l^j ’ye karşılık gelen indeksleri ile $\underline{f}$ ve $\bar{f}$ ’in uygun ağırlıkları eşleştirilir [52].
2. Adım: Aşağıdaki denklemdeki gibi f_i başlatılır ve y hesaplanır.

$$f_i = \frac{\underline{f}_i + \bar{f}_i}{2} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (5.14)$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^N f_i c_l^i}{\sum_{i=1}^N f_i} \quad (5.15)$$

3. Adım: $c_l^i \leq y \leq c_l^{i+1}$ olacak şekilde anahtarlama noktası L bulunur $1 \leq L \leq N - 1$.
4. Adım: f_i aşağıda verilen denklemdeki gibi ayarlanır ve y' hesaplanır [50], [51].

$$x = \begin{cases} \bar{f}^i & i \leq L \\ \underline{f}^i & i > L \end{cases} \quad (5.16)$$

$$y' = \frac{\sum_{i=1}^N f_i c_l^i}{\sum_{i=1}^N f_i} \quad (5.17)$$

5. Adım: $y = y'$ şartı kontrol edilir. Eğer eşit değilse 3.adıma gidilir ve $y = y'$ olarak ayarlanır. Aksi halde doğrudan $y = y'$ olarak ayarlanır [50], [51].

y_r 'yi hesaplamak beş adımdan oluşur. Bu adımlar aşağıda anlatılmıştır.

1. Adım: $c_r^1 \leq c_r^2 \leq \dots \leq c_r^N$ şeklinde artan derecede c_r^j 'ler sıralanır ($j = 1, 2, \dots, N$). Sıralanmış c_r^j 'ye karşılık gelen indeksleri ile $\underline{f}$ ve $\bar{f}$ 'in uygun ağırlıkları eşleştirilir [50], [51]. 2. Adım: Aşağıdaki denklemdeki gibi f_i başlatılır ve y hesaplanır [50], [51].

$$f_i = \frac{\underline{f}_i + \bar{f}_i}{2} \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (5.18)$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^N f_i c_r^i}{\sum_{i=1}^N f_i} \quad (5.19)$$

3. Adım: $c_r^i \leq y \leq c_r^{i+1}$ olacak şekilde anahtarlama noktası R bulunur $1 \leq R \leq N - 1$ [50], [51]. 4. Adım: f_i aşağıda verilen denklemdeki gibi ayarlanır ve y' hesaplanır [50], [51].

$$x = \begin{cases} \bar{f}^i & i \leq R \\ \underline{f}^i & i > R \end{cases} \quad (5.20)$$

$$y' = \frac{\sum_{i=1}^N f_i c_r^i}{\sum_{i=1}^N f_i} \quad (5.21)$$

5. Adım: $y = y'$ şartı kontrol edilir. Eğer eşit değilse 3.adıma gidilir ve $y = y'$ olarak ayarlanır. Aksi halde doğrudan $y = y'$ olarak ayarlanır [50], [51].

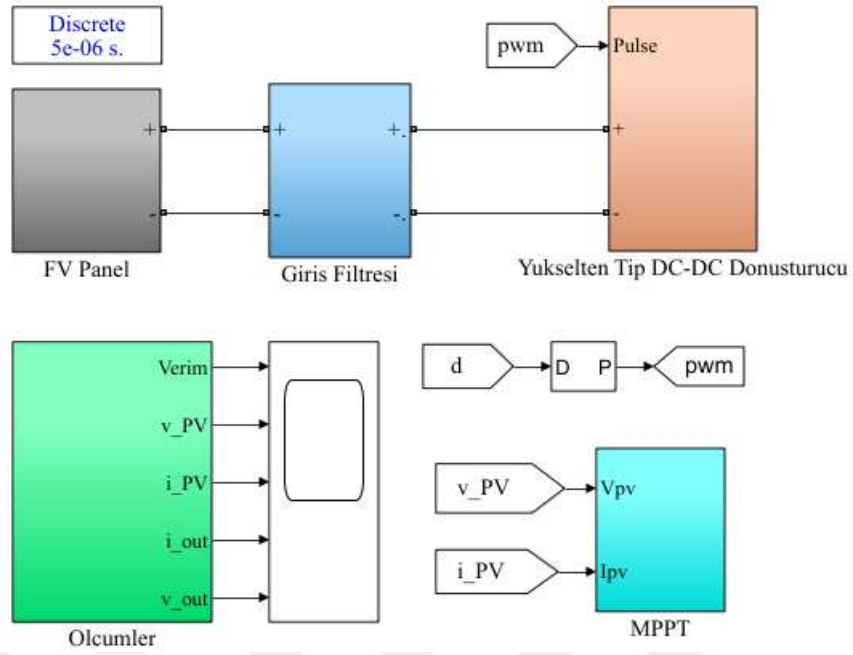
6. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Bu tez çalışmasında, fotovoltaik panelden beslenen bir DC-DC dönüştürücünün MPPT kontrolü için IT2BM tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemin performansını değerlendirmek için 4 adet 1Soltech 1STH-215-P marka 213.15 W gücünde fotovoltaik panel, yükselten tip DC-DC dönüştürücü, yük ve MPPT yöntemini içeren bir Matlab/Simulink benzetim modeli oluşturulmuştur. Benzetim modeline ait parametreler Tablo 6.1.'de verilmiştir.

Oluşturulan IT2BM ve P&Q MPPT yöntemlerini içeren Matlab/Simulink benzetim modeli Şekil 6.1'de verilmiştir. Benzetim modeli; fotovoltaik panel, giriş filtresi, yükselten tip DC-DC dönüştürücü, yük, MPPT algoritmaları, dönüştürücü için kapı darbelerinin üretmesi ve ölçüm birimlerinden oluşmaktadır.

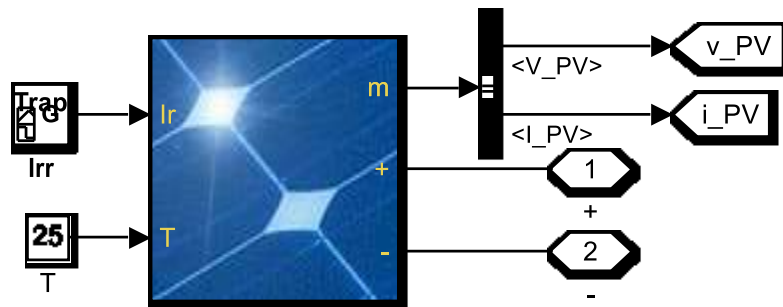
Tablo 6.1. Benzetim Modeline Ait Parametreler

Fotovoltaik Panel	
Marka	1 Soltech 1STH-215-P
Maksimum Güç	213.15 W
Açık Devre Gerilimi	36.3 V
MPP Noktasındaki Gerilimi	29 V
Her Modüldeki Hücre Sayısı	60
Kısa Devre Akımı	7.84 A
MPP Noktasındaki Akım	7.35 A
Yükselten Tip DC-DC Dönüştürücü	
Endüktans	2 mH
Endüktansın İç Direnci	0.1 Ω
Çıkış Kondansatörü	500 μ F
Çıkış Kondansatörünün İç Direnci	0.1 m Ω
Yük	20 Ω
Anahtarlama Frekansı	5 kHz
Benzetim Modeli	
Örnekleme Periyodu	5 μ s



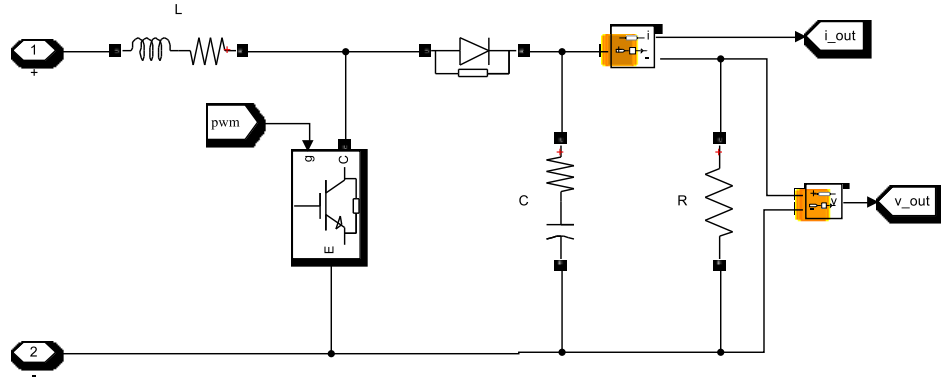
Şekil 6.1 IT2BM Tabanlı MPPT Yönteminin Matlab/Simulink Benzetim Modeli

Şekil 6.1’de gösterilen fotovoltaik panel, yükselten tip dönüştürücü, MPPT algoritması bloklarının alt blokları aşağıdaki şekillerde sırası ile verilmiştir. Şekil 6.2’de fotovoltaik panel Simulink bloğunun alt bloğu gösterilmiştir. Bu blok Simulink/Simscape kütüphanesinde hazır bulunmaktadır. Sıcaklık ve ışıma panele giriş olarak uygulanmaktadır. Panelin çıkışından panel gerilimi elde edilmektedir. Ayrıca ölçüm ucundan (m) panelin gerilim ve akım bilgileri de elde edilmektedir.



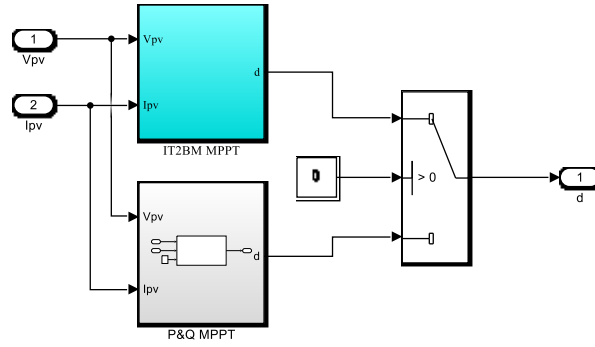
Şekil 6.2 Fotovoltaik Panel Bloğunun Alt Bloğu

Şekil 6.3’te yükselten tip DC-DC dönüştürücünün Simulink bloğunun alt bloğu gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi yükselten tip DC-DC dönüştürücü yarı iletken anahtar, endüktans, kondansatör ve diyottan oluşmaktadır. Devrede endüktans ve kondansatörün iç dirençleri de göz önünde bulundurulmuştur. Dönüştürücünün çıkışına ise bir DC yük bağlanmış ve dönüştürücünün bu yükü beslediği varsayılmıştır.



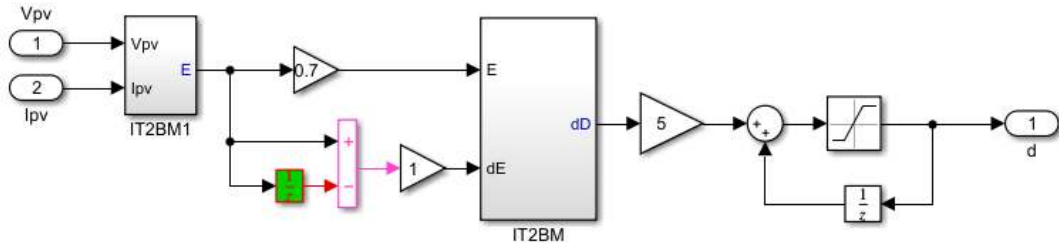
Şekil 6.3 Yükselten Tip Dönüştürücü Simulink Bloğunun Alt Bloğu

Şekil 6.4'te MPPT Simulink bloğunun alt bloğu gösterilmiştir. Bu blokta hem P&Q hem de IT2BM MPPT yöntemlerine ait bloklar bulunmaktadır. Kullanılan switch elemanı ile istenilen MPPT yöntemi çalıştırılmaktadır.

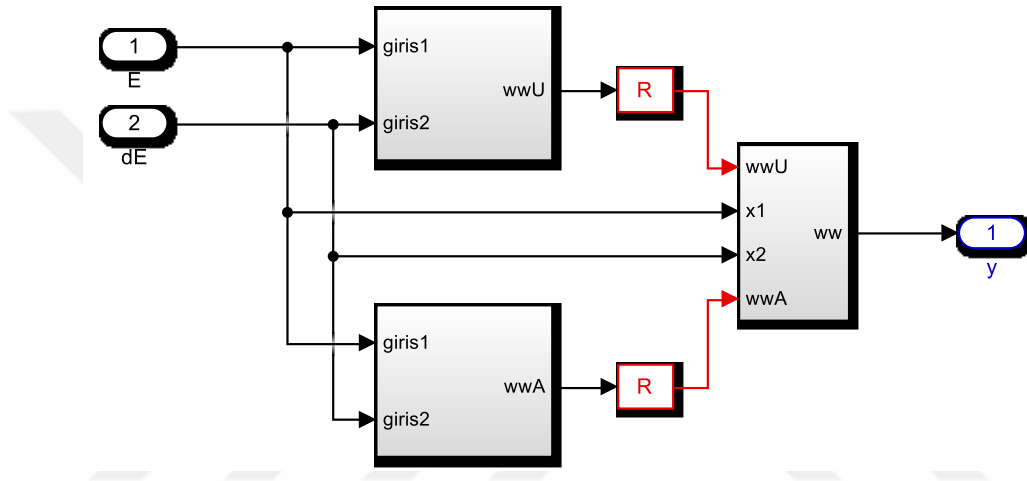


Şekil 6.4 MPPT Simulink Bloğunun Alt Bloğu

Şekil 6.4'te verilen IT2BM MPPT Simulink bloğunun alt bloğu Şekil 6.5 ve 6.6'da verilmiştir. Bu blok giriş olarak E (dP/dV) ve ΔE 'yi alır ve çıkış olarak görev oranını verir. Sürekli durum hatasını yok etmek için IT2BM'nin çıkışı ayrıca integre edilmiştir. Şekil 6.6'da verilen blokta her iki giriş hem alt hem de üst üyelik fonksiyonları için değerlendirilmiş ve son olarak tip indirgeme yapılmıştır.

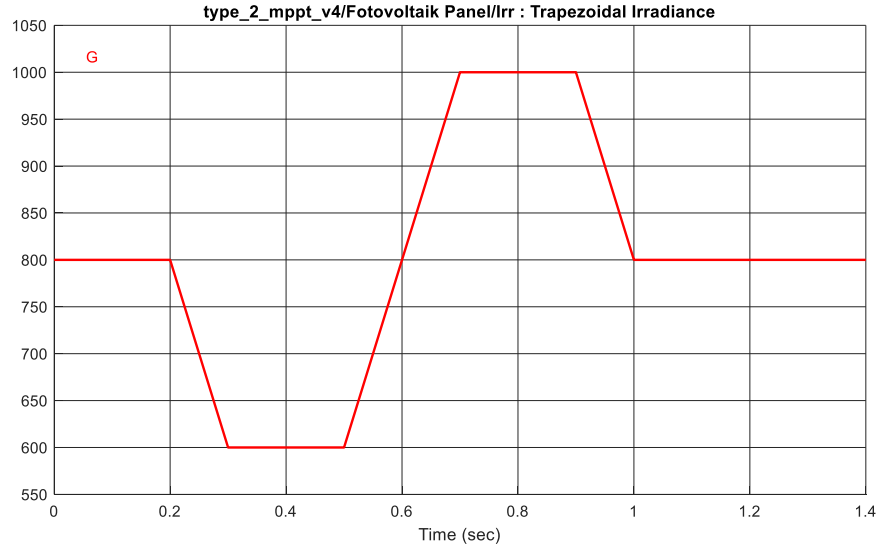


Şekil 6.5 IT2BM MPPT Simulink Bloğunun Alt Bloğu



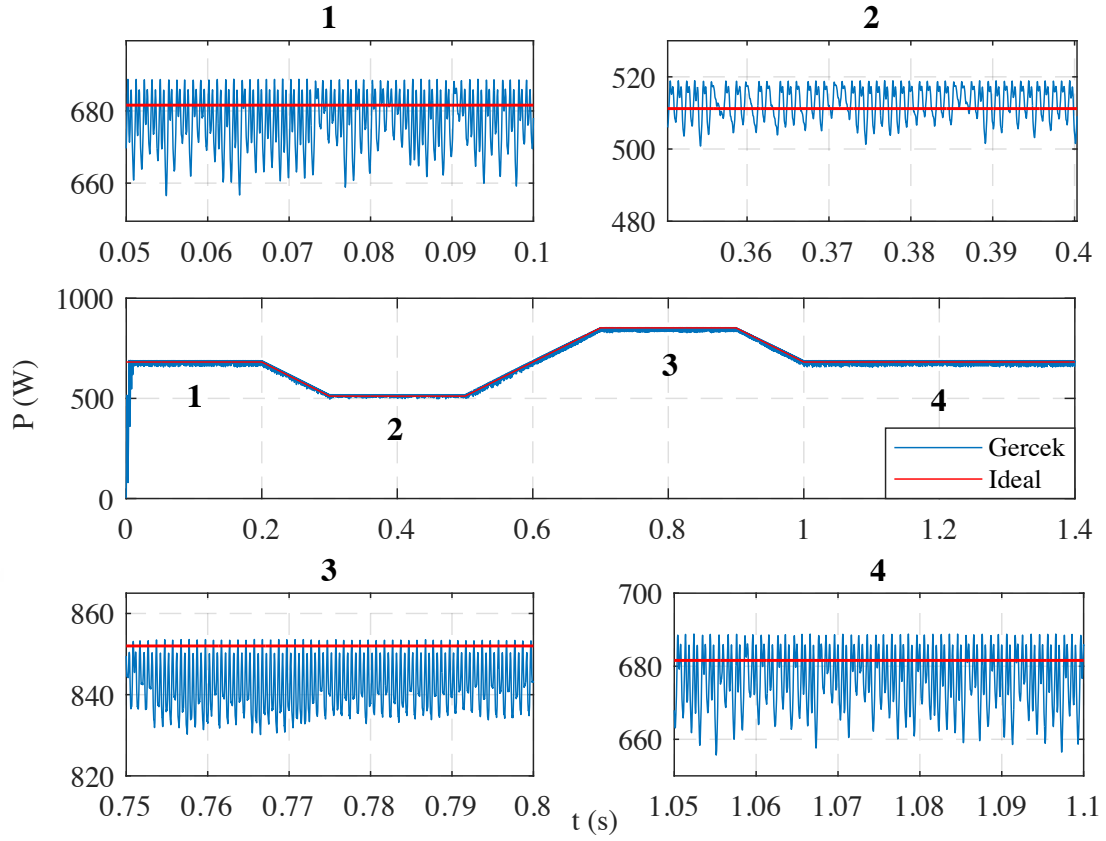
Şekil 6.6 IT2BM Simulink Bloğunun Alt Bloğu

Dönüştürücü için kapı işaretleri 5 kHz'lik anahtarlama frekansında PWM yöntemi ile üretilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi tasarlanan IT2BM iki girişe ve bir çıkışa sahiptir. IT2BM'ye girişler hata (E) ve hatanın değişimi (ΔE), çıkış ise doluluk oranındaki değişim (Δd) olarak belirlenmiştir. IT2BM'de E ve (ΔE)'nin her biri için beş adet alt ve beş adet üst üyelik fonksiyonu ve çıkış için de beş adet alt ve üst üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Ayrıca sürekli durum hatasını gidermek için IT2BM'nin çıkışı integre edilmiştir. Benzetim modelinin dinamik performansı panel sıcaklığı sabit tutulup ısıtım 0 – 0.2 s arasında 800 W/m^2 , 0.3 – 0.5 s arasında 600 W/m^2 , 0.7 – 0.9 s arasında 1000 W/m^2 , 1 s'den sonra ise 800 W/m^2 olarak değiştirilerek incelenmiştir. Isınımın değişimine ait Matlab/Simulink bloğu Şekil 6.7'de verilmiştir.



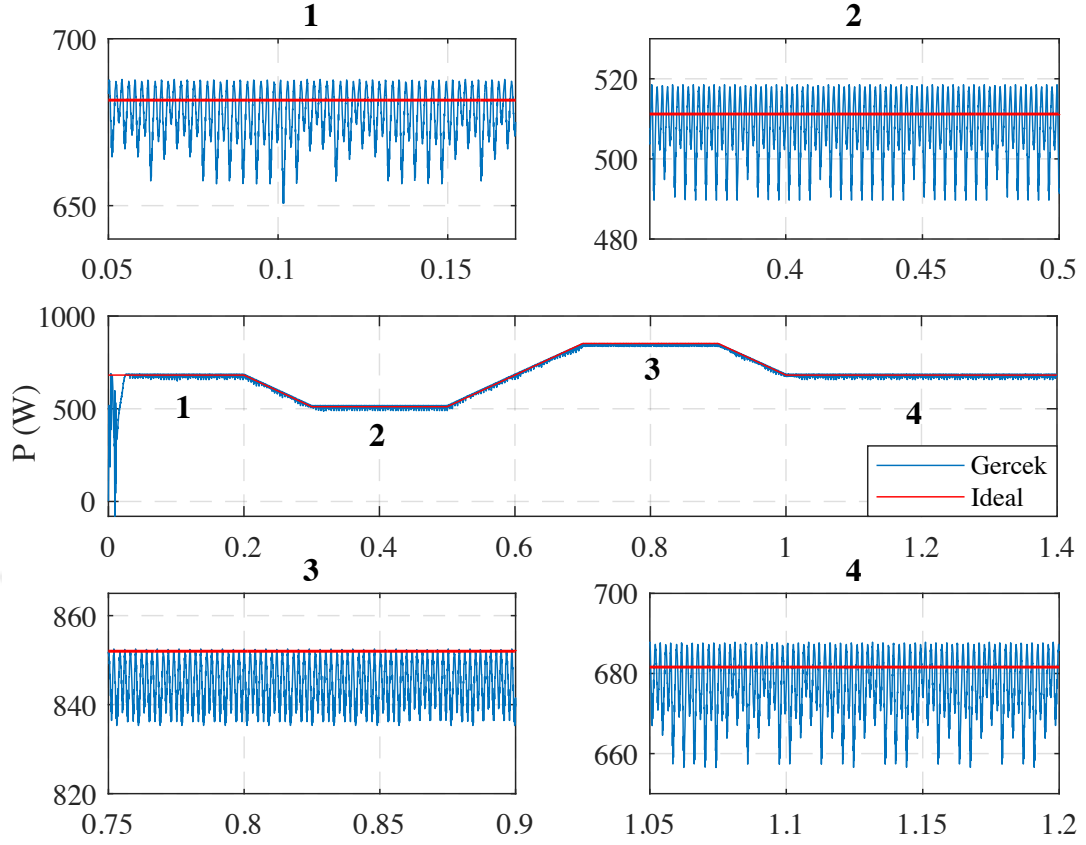
Şekil 6.7 Işınımın Değişimine Ait Matlab/Simulink Bloğu

Önerilen MPPT yöntemin etkinliğini göstermek için benzetim sonuçları aynı çalışma şartları için P&Q MPPT yönteminin sonuçları ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yukarıda bahsedilen çalışma şartları altında IT2BM tabanlı ve P&Q MPPT yöntemlerinden elde edilen gücün panelin ideal gücüne göre değişimini gösteren benzetim sonuçları Şekil 6.8 ve Şekil 6.9’da verilmiştir.



Şekil 6.8 Önerilen MPPT Yönteminden Elde Edilen Panel Gücünün Değişimine Ait Benzetim Sonucu

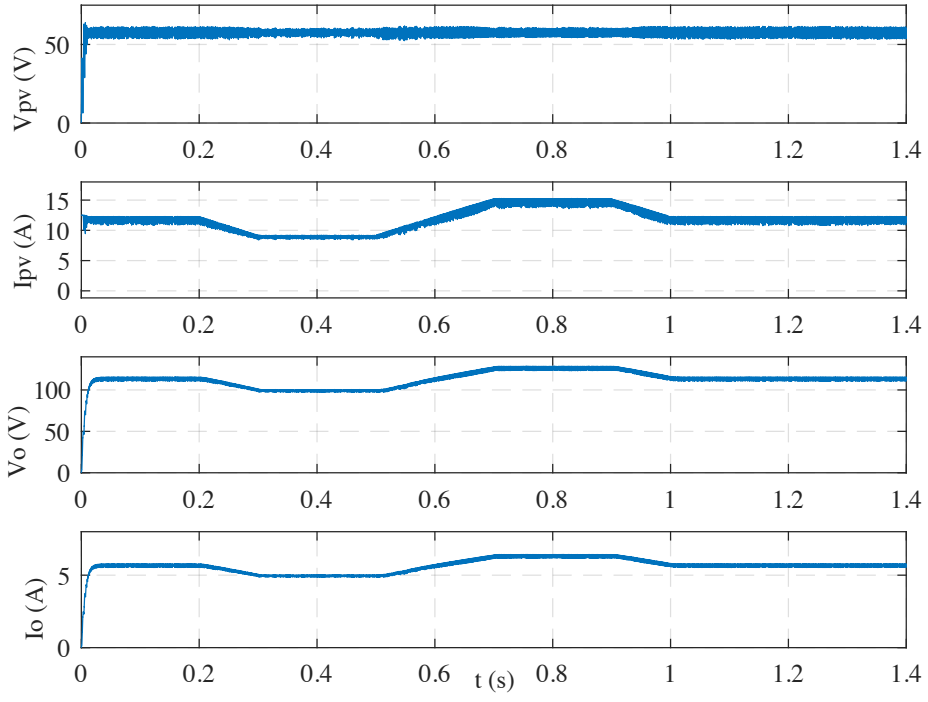
IT2BM tabanlı MPPT yönteminden elde edilen gücün panelin ideal gücüne göre değişimi Şekil 6.8 (1-4)'te detaylı olarak gösterilmiştir (Şekil 6.8-1'de 0.05-0.1 s aralığı, 2'de 0.3-0.4 s aralığı, 3'te 0.75-0.8 s aralığı, 4'te 1.05-1.1 s aralığı verilmiştir).



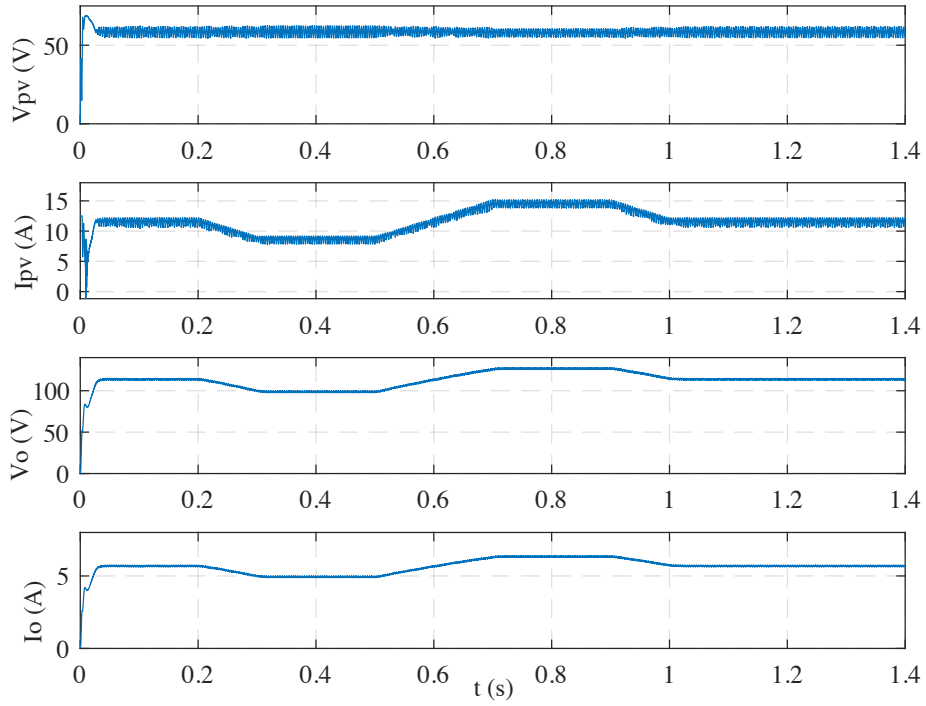
Şekil 6.9 P&Q MPPT Yönteminden Elde Edilen Panel Gücünün Değişimine Ait Benzetim Sonucu

P&Q MPPT yönteminden elde edilen gücün panelin ideal gücüne göre değişimi Şekil 6.9'da (1-4) detaylı olarak gösterilmiştir (Şekil 6.9-1'de 0.05-0.15 s aralığı, 2'de 0.3-0.5 s aralığı, 3'te 0.75-0.9 s aralığı, 4'te 1.05-1.2 s aralığı verilmiştir). Bu yöntem kullanılarak maksimum güç elde edilmiştir fakat detaylı şekiller incelendiği zaman güçte meydana gelen dalgalanmaların çok fazla olduğu görülmektedir. Her iki yöntemde maksimum gücü elde etmeyi başarmıştır. Bunun yanında, başlangıçtaki geçici durumda IT2BM tabanlı MPPT yöntemi, P&Q MPPT yöntemine göre daha hızlı bir cevaba sahiptir. Panel gücünün değişimine ait her iki MPPT yönteminin benzetim sonuçları incelendiği zaman, önerilen MPPT yönteminde bazı çalışma şartları için güçte daha az dalgalanma meydana gelmiştir.

Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de önerilen ve P&Q MPPT yöntemlerine ait panel akımı-gerilimi ve yük akımı-gerilimi verilmiştir.

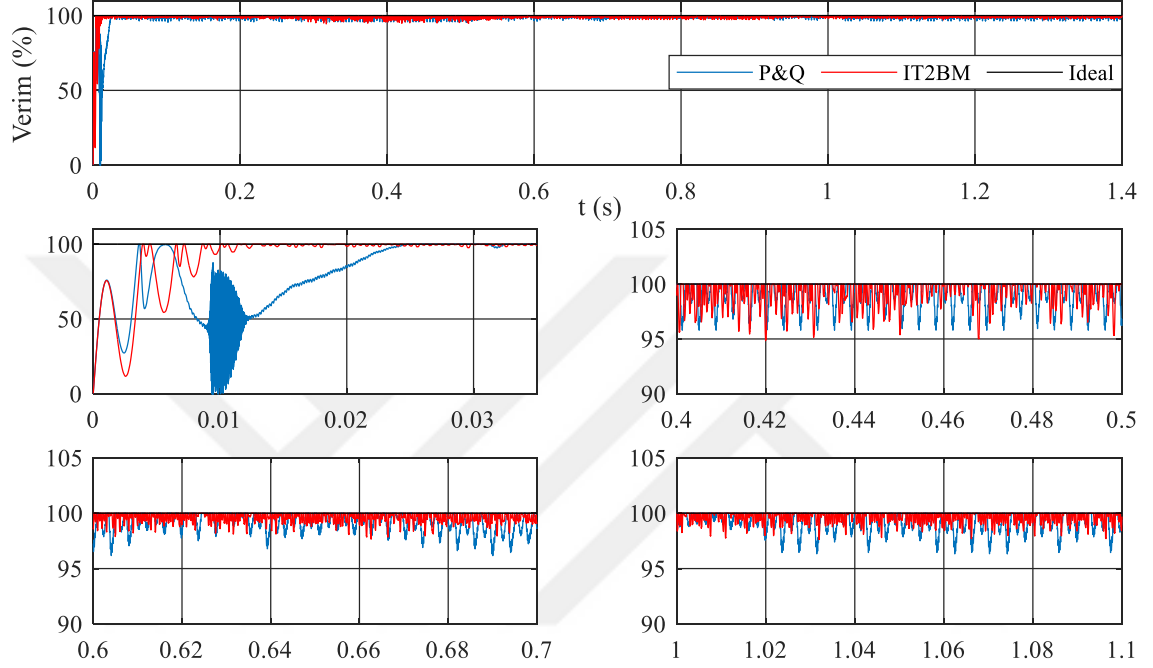


Şekil 6.10 Önerilen MPPT Yönteminden Elde Edilen Panel Gerilimi-Akımı ve Yük Gerilimi-Akımının Değişimine Ait Benzetim Sonucu



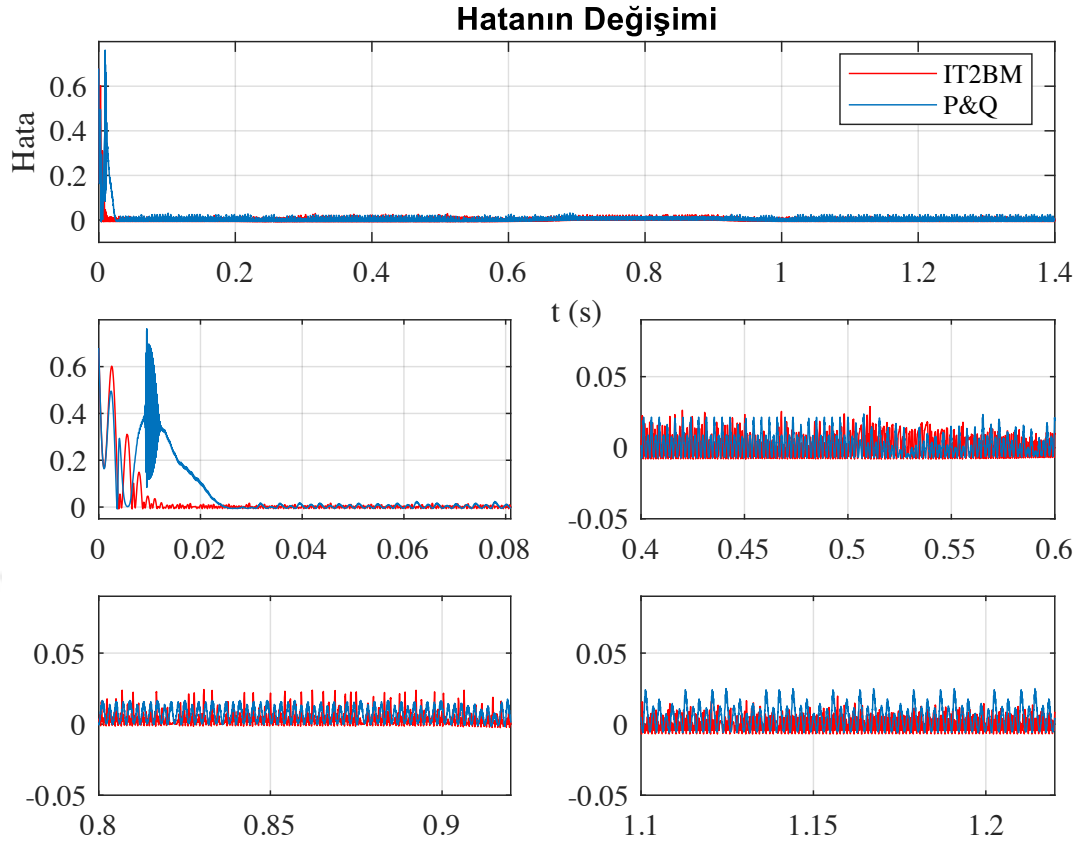
Şekil 6.11 P&Q MPPT Yönteminden Elde Edilen Panel Gerilimi-Akımı ve Yük Gerilimi-Akımının Değişimine Ait Benzetim Sonucu

Şekil 6.12’de önerilen ve P&Q MPPT yöntemlerine ait MPPT verimini gösteren benzetim sonucu verilmiştir. Şekil 6.12 incelendiği zaman, önerilen yöntemin MPPT veriminin genel olarak P&Q MPPT yönteminden daha yüksek olduğu görülmektedir. 0-0.03 s aralığı için verilen benzetim sonuçları incelendiği zaman, önerilen yöntem ideal verim değerini yakalamışken P&Q MPPT yönteminin veriminin bu aralıkta belirli bir süre düşük devam ettiği görülmektedir.



Şekil 6.12 IT2BM ve P&Q MPPT Yönteminden Elde Edilen MPPT Veriminin Değişimine Ait Benzetim Sonucu

MPPT yöntemlerinin performansını değerlendirmede kullanılan diğer bir performans kriteri ise güç, akım veya gerilim hatasıdır. Önerilen MPPT yöntemi ile P&Q MPPT yöntemlerinin güç hatasına ait benzetim sonucu ise Şekil 6.13’te verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi önerilen yöntemin başlangıçtaki hatasının P&Q MPPT yöntemine kıyasla daha düşük olduğu ve daha hızlı bir şekilde azaldığı görülmektedir.



Şekil 6.13 IT2BM ve P&Q MPPT Yönteminden Elde Edilen Güç Hatasının Değişimine Ait Benzetim Sonucu

7. SONUÇLAR

MPPT, çalışma şartları değiştikçe değişken gerilim veya akım kaynaklarından maksimum enerji elde etmek için kullanılan bir yöntemdir. Literatürde birçok MPPT yöntemi önerilmiştir. MPPT yöntemlerinin çözmeye çalıştığı temel problem, güneş panelinden güç transferinin verimliliğinin mevcut güneş ışığı miktarına, güneş paneli sıcaklığına ve yükün elektriksel özelliklerine bağlı olmasıdır. Bahsedilen çalışma şartları değiştikçe maksimum güç transferini sağlayan yük karakteristiği değişir. Güç aktarımını maksimum yapabilmek için yük karakteristiği değiştiğinde sistem optimize edilir. Kısaca MPPT, çalışma şartları değiştikçe yük karakteristiğini ayarlama işlemidir. Kullanılan güç elektroniği devrelerinin uygun kontrolü ile yük empedansı ve yük uçlarından bakıldığında devrenin empedansına eşleştirilir. Bu durumda kontrol edilen devrenin değişken bir empedans gibi davrandığı düşünülebilir. MPPT yöntemleri en yaygın olarak fotovoltaik sistemlerde kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, fotovoltaik panelden beslenen bir DC-DC dönüştürücünün MPPT kontrolü için dayanıklı yapıya sahip IT2BM tabanlı bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntemin etkinliği Matlab/Simulink tabanlı bir benzetim modeli kullanılarak incelenmiştir. Benzetim modeli 1STH-215-P marka fotovoltaik panel, yükselten tip DC-DC dönüştürücü, yük ve MPPT yöntemini içermektedir. MPPT kontrolü için kullanılan IT2BM iki girişe ve bir çıkışa sahiptir. IT2BM'ye girişler hata E ve hatadaki değişim ΔE , çıkış ise Δd olarak belirlenmiştir. Önerilen yöntemin MPP'yi yakalama performansı panel sıcaklığı sabit tutulup ışıınım zamana göre değiştirilerek incelenmiştir. Önerilen yöntemin etkinliğini göstermek için önerilen yöntemden elde edilen benzetim sonuçları literatürde en yaygın kullanılan MPPT yöntemlerinden biri olan $P\&Q$ MPPT yönteminin sonuçları ile aynı çalışma şartları altında karşılaştırılmıştır. Benzetim sonuçlarından, önerilen IT2BM tabanlı MPPT yönteminin cevap hızı, güç salınımları ve güç hatası bakımından $P\&Q$ MPPT yönteminden üstün olduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Yavuz, A., Bařol, D., Ertay, M.M., Yücedağ, İ. (2013). Güneş pili modelleri eğitim seti, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, C. 2, Sayı 2, 14–21.
- [2] Erdoğan, Y., Dinçler, T., Kuncan, M., Ertunç, H.M. (2014). Güneş panelleri için yüksek verimli maksimum güç noktası izleyicisi (MPPT) tasarımı, *Türk Otomatik Kontrol Toplantısı*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- [3] Bendib, B., Belmili, H., Krim, F. (2015). A survey of the most used MPPT methods: Conventional and advanced algorithms applied for photovoltaic systems, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, C. 45, 637-648.
- [4] Tüysüz, M. (2018). *Hibrit Güç Sistemlerinde Maksimum Güç Noktası Takibi İçin Bulanık Denetleyicinin Optimizasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [5] Manganiello, P., Ricco, M., Petrone, G., Monmasson, E., Spagnuolo G. (2014). Optimization of perturbative pv MPPT methods through online system identification, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, IEEE, C. 61, Sayı 12, 6812-6821.
- [6] Choudhary, D., Saxena, A.R. (2014). Incremental conductance MPPT algorithm for pv system implemented using dc-dc buck and boost converter, *Int. J. Eng. Res. Appl.*, C. 4, Sayı 8, 123–132.
- [7] Ay, S. (2019). *Maksimum Güç Nokta İzleyici İçin Kullanılan Artan İletkenlik Algoritmasının FPGA Tabanlı Kosimülasyonu*, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [8] Rokonzaman, M., Hossam-E-Haider, M. (2016). Design and implementation of maximum power point tracking solar charge controller, *3rd International Conference on Electrical Engineering and Information Communication Technology (ICEEICT)*, IEEE, 1-5, Dhaka, Bangladesh.
- [9] Mohamed, A.-E., Marei, M.I., El-khattam, W. (2018). A maximum power point tracking technique for pv under partial shading condition, *8th IEEE India International Conference on Power Electronics (IICPE)*, IEEE, 1-6, Jaipur, India.
- [10] Gaga, A., Errahimi, F., Es-Sbai, N. (2014). Design and implementation of MPPT solar system based on the enhanced p&o algorithm using labview, *2014 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, IEEE, 203-208, Ouarzazate, Morocco.
- [11] Khanam, J., Foo, S.Y. (2018). Neural networks technique for maximum power point tracking of photovoltaic array, *SoutheastCon 2018*, IEEE, 1-4, Florida, USA.
- [12] Hussein, K., Muta, I., Hoshino T., Osakada, M. (1995). Maximum photovoltaic power tracking: An algorithm for rapidly changing atmospheric conditions, *IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, C. 142, Sayı 1, 59–64. doi: 10.1049/ip-gtd:19951577.
- [13] Huynh, P., Cho, B.H. (1996). Design and analysis of a microprocessor-controlled peak-power-tracking system [for solar cell arrays], *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, IEEE, C. 32, S 1, 182–190. doi: 10.1109/7.481260.
- [14] Enslin, J.H., Wolf, M.S., Snyman, D.B., Swiegers, W. (1997). Integrated photovoltaic maximum power point tracking converter, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, IEEE, C. 44, Sayı 6, 769–773. doi: 10.1109/41.649937.
- [15] Hua, C., Lin, J., Shen, C. (1998). Implementation of a dsp-controlled photovoltaic system with peak power tracking, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, IEEE, C. 45, Sayı 1, 99–107. doi: 10.1109/41.661310.

- [16] Xiao, W., Dunford, W.G., Capel, A. (2004). A novel modeling method for photovoltaic cells, *35th Annual Power Electronics Specialists Conference (IEEE Cat. No. 04CH37551)*, IEEE, C. 3, 1950–1956. doi: 10.1109/PESC.2004.1355416.
- [17] Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G., Vitelli, M. (2005). Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method, *IEEE Transactions on Power Electronics*, IEEE, C. 20, Sayı 4, 963–973. doi: 10.1109/TPEL.2005.850975.
- [18] Liu, F., Duan, S., Liu, F., Liu, B., Kang, Y. (2008). A variable step size inc MPPT method for pv systems, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, IEEE, C. 55, Sayı 7, 2622–2628. doi: 10.1109/TIE.2008.920550.
- [19] Tofoli, F.L., de Castro Pereira, D., de Paula, W.J. (2015). Comparative study of maximum power point tracking techniques for photovoltaic systems, *International Journal of Photoenergy*, C. 2015, 1-10.
- [20] Safari, A., Mekhilef, S. (2011). Implementation of incremental conductance method with direct control, *TENCON 2011-2011 IEEE Region 10 Conference*, IEEE, 944–948 doi: 10.1109/TENCON.2011.6129249, Bali, Indonesia.
- [21] Jiang, Y., Qahouq, J.A.A., Batarseh, I. (2010). Improved solar pv cell matlab simulation model and comparison, *2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, IEEE, 2770–2773, Paris, France.
- [22] Çelik, Ö., Teke, A. (2017). A hybrid MPPT method for grid connected photovoltaic systems under rapidly changing atmospheric conditions, *Electric Power Systems Research*, C. 152, 194–210.
- [23] Pilakkat, D., Kanthalakshmi, S. (2019). An improved p&o algorithm integrated with artificial bee colony for photovoltaic systems under partial shading conditions, *Solar Energy*, C. 178, 37–47.
- [24] Yau, H.-T., Lin, C.-J., Wu, C.-H. (2013). Sliding mode extremum seeking control scheme based on PSO for maximum power point tracking in photovoltaic systems, *International Journal of Photoenergy*, C. 2013, 1-10.
- [25] Lee, J.-S., Lee, K.B. (2013). Variable dc-link voltage algorithm with a wide range of maximum power point tracking for a two-string pv system, *Energies*, C. 6, Sayı 1, 58–78. doi: 10.3390/en6010058.
- [26] Soon, T.K., Mekhilef, S. (2014). A fast-converging MPPT technique for photovoltaic system under fast-varying solar irradiation and load resistance, *IEEE transactions on industrial informatics*, IEEE, C. 11, Sayı 1, 176–186. doi: 10.1109/TII.2014.2378231.
- [27] Siddhant, K. (2014). *Implementation of Fractional Open Circuit Voltage MPPT Algorithm in A Low Cost Microcontroller*, Doktora Tezi, National Institute of Technology, Rourkela
- [28] Edmond becquerel: The man behind solar panels, <https://solenergy.com.ph/solar-panel-philippines-edmond-becquerel/>, Erişim: 30 Kasım 2021.
- [29] Durgut, T. (2015). *Güneş Panel Sistemi İçin Farklı Bir Method Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [30] Akman, E., Akın, S., Karanfil, G., Sönmezoğlu, S. (2013). Organik güneş pilleri, *Trakya University Journal of Engineering Sciences*, C. 14, Sayı 1, 1–30.
- [31] Sproul, A. (2003). Understanding the pn junction, *Solar Cells: Resource for the Secondary Science Teacher*.
- [32] Boylestad R.L., Nashelsky L., (2012). *Electronic Devices and Circuit Theory*, Prentice Hall, Amerika
- [33] Hansen, A.D., Sorensen, P., Hansen, L.H., Bindner, H. (2000). *Models for a stand-alone pv system*, Risoe National Laboratory, Roskilde.
- [34] Nguyen-Duc, T., Nguyen-Duc, H., Le-Viet, T., Takano, H. (2020). Single-diode models of pv modules: A comparison of conventional approaches and proposal of a novel model, *Energies*, C. 13, Sayı 6, 1296. doi: 10.3390/en13061296.

- [35] Premkumar, M., Kumar, C., Sowmya, R. (2020). Mathematical modelling of solar photovoltaic cell/panel/array based on the physical parameters from the manufacturer's datasheet, *International Journal of Renewable Energy Development*, C. 9, Sayı 1, 7-22.
- [36] Singh, N., Goswami, A. (2018). Study of p-v and i-v characteristics of solar cell in matlab/simulink, *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, C. 118, Sayı 24, 1-8.
- [37] Characteristics of a solar cell and parameters of a solar cell, <https://www.electrical4u.com/characteristics-and-parameters-of-a-solar-cell/>, Erişim: 30 Kasım 2021.
- [38] Hart, D.W. (2011). *Power Electronics*, Tata McGraw-Hill Education, India.
- [39] Podder, A.K., Roy, N.K., Pota, H.R. (2019). MPPT methods for solar pv systems: A critical review based on tracking nature, *IET Renewable Power Generation*, C. 13, Sayı 10, 1615–1632.
- [40] Baba, A.O., Liu, G., Chen, X. (2020). Classification and evaluation review of maximum power point tracking methods, *Sustainable Futures*, C. 2, 1-28.
- [41] Arpacı, G.N., Taplamacıoğlu, M.C., Gözde, H. (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*, C. 3, Sayı 1, 66–71.
- [42] Kandemir, E. (2015). *Tak – Üret Modunda Tek Dönüştürücülü Maksimum Verimde Çalışan Şebeke Bağımlı PV Panel Sistemi Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [43] F. Mayssa and L. Sbita, (2012). Advanced ANFIS-MPPT control algorithm for sunshine photovoltaic pumping systems, *First International Conference on Renewable Energies and Vehicular Technology*, IEEE, 167–172, Hammamet, Tunisia.
- [44] Jantsch, M., Real, M., Häberlin, H., Whitaker, C., Kurokawa, K., Blässer, G., Kremer, P., Verhoeve, C. (1997). *Measurement of PV maximum power point tracking performance*, Proc. 14th EU-PVSEC, Spain.
- [45] Akpolat, Z.H. (2005). Non-singleton fuzzy logic control of a dc motor, *Journal of Applied Sciences*, C. 5, Sayı 5, 887–891. doi: 10.3923/jas.2005.887.891
- [46] Koca, G.Ö., Akpolat, Z.H., Özdemir, M. (2010). Dört-kol mekanizması için tip2 bulanık mantık tabanlı bir kontrolör tasarımı, *Fırat University Journal of Engineering*, C. 22, Sayı 2, 187-195.
- [47] Akpolat, Z.H. (2022). *Bulanık Mantık Ders Notları*, Fırat Üniversitesi Elektronik Bilgisayar Öğretmenliği Bölümü
- [48] Özek, M.B., Akpolat, Z.H. (2008). A software tool: Type-2 fuzzy logic toolbox, *Computer Applications in Engineering Education*, C. 16, Sayı 2, 137–146.
- [49] Özek M.B., Akpolat, Z.H. (2010). Bulanık mantık için yeni bir yaklaşım: Tip-2 bulanık mantık, *Engineering Sciences*, C. 5, Sayı 3, 541–557.
- [50] Aliasghary, M., Eksin, I., Guzelkaya, M., Kumbasar, T. (2015). General derivation and analysis for input–output relations in interval type-2 fuzzy logic systems, *Soft Computing*, C. 19, Sayı 5, 1283–1293.
- [51] Öztürk, C. (2014). *Learning of Interval Type-2 Fuzzy Logic Systems Using Big Bang–Big Crunch Optimization*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [52] Liang, Q., Mendel, J.M. (2000). Interval type-2 fuzzy logic systems: Theory and design, *IEEE Transactions on Fuzzy systems*, IEEE, C. 8, Sayı 5, 535–550. doi: 10.1109/91.873577
- [53] Karnik, N.N., Mendel J.M., (1998). Type-2 fuzzy logic systems: type-reduction, *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, IEEE, C. 2, 2046-2051. doi: 10.1109/ICSMC.1998.728199

ÖZGEÇMİŞ

Hilal KARAASLAN

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]

[REDACTED]