

**T.C.  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ ENERJİ TESİSLERİ İÇİN BULANIK MANTIK  
KONTROLLÜ MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP  
ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİ VE İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan  
Serenay EMİKÖNEL**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe KOCALMIŞ BİLHAN**

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Temmuz 2022  
NEVŞEHİR**



**T.C.  
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ ENERJİ TESİSLERİ İÇİN BULANIK MANTIK  
KONTROLLÜ MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP  
ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİ VE İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan  
Serenay EMİKÖNEL**

**Tez Danışmanı  
Dr. Öğr. Üyesi Ayşe KOCALMIŞ BİLHAN**

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı  
Yüksek Lisans Tezi**

**Temmuz 2022  
NEVŞEHİR**

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince tüm bilgilerimi benimle paylaşmaktan kaçınmayan, tezimin planlanması, araştırılması, yürütülmesi ve her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen, tezimde büyük emeği olan, eğitime verdiği güven, destek ve özveriyle beni her zaman bir adım öteye taşıyan sayın hocam Dr. Öğr. Üyesi Ayşe KOCALMIŞ BİLHAN'a teşekkür ederim.

Eğitim alanında verdikleri emek, başarı, özveri, fedakârlık ve öğrenme arzuları ile bana her zaman ilham veren, bana öncülük eden, her konuda bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen ablam Öğr. Gör. Serpil EMİKÖNEL ve Sevilay EMİKÖNEL'e teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemen, her konuda en büyük destekçim olan anneme, babama ve kardeşlerime yürekten teşekkürlerimi sunarım.

**GÜNEŞ ENERJİ TESİSLERİ İÇİN BULANIK MANTIK KONTROLLÜ  
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİ  
VE İNCELENMESİ**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Serenay EMİKÖNEL**

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Temmuz 2022**

**ÖZET**

Dünyada artan nüfus miktarına bağlı olarak kentsel yaşam biçimlerinin gelişimi ile yaygınlaşması, enerji talebini arttıran önemli etkenlerden biridir. Günlük hayatta her alanda enerjiye ihtiyaç duyulması enerji tüketiminin yanı sıra enerji üretiminin de önemini arttırmıştır. Enerji talebindeki bu artışı karşılayabilmek amacıyla kullanılan fosil kaynaklı enerji kaynaklarının bugün ki kullanımıyla gelecek yüzyıl içerisinde tükenecek olması önemli bir sorun oluşturmaktadır. Bunun yanı sıra fosil kaynaklı enerji kaynaklarının kullanımının çevreye ve insan sağlığına verdiği zararda gün geçtikte açığa çıkmaktadır. Bu sebeplerle ülkeler, yeni enerji kaynaklarının bulunmasına ve bunların verimli kullanımlarının araştırmasına odaklanmıştır.

Güneş, rüzgâr gibi doğal kaynaklardan elde edilen enerji, fosil yakıtlarına kıyasla çevreye verilebilecek zararı en aza indirmesi, sınırsız bir enerji imkânı sunması ve temiz bir enerji kaynağı olmasıyla önemli bir yere sahiptir. Yenilebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi herhangi bir yakıt gereksiniminde bulunmaması, kullanım esnasında atık madde üretmemesi, çevre dostu olması ve bol miktarda bulunmasından dolayı çok tercih edilen bir enerji kaynağıdır. Ülkemiz, coğrafi konumu itibariyle güneş kuşağında bulunmaktadır ve güneş ışınımı ve güneşlenme süresi açısından oldukça yüksek potansiyele sahiptir.

Güneş enerjisinden elektrik üretmek için kullanılan en yaygın yöntem fotovoltaik panellerdir. Fotovoltaik panellerden yüksek verimin elde edilebilmesi, maksimum çıkış gücü sağlayarak çalıştığı maksimum güç noktasına, panel sıcaklığına ve güneş ışınlarının panel yüzeyine geliş açısına bağlıdır. Fotovoltaik paneller sabit veya

hareketli konumda olabilmektedirler. Hareketli paneller, tek ve çift eksenli olarak kendi içinde ikiye ayrılmaktadır. Güneş enerjisinden elde edilecek verimi arttırabilmek için çift veya tek eksenli maksimum güç noktası takipçisi (MGNT) sistemleri kullanılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, ülkemizin ve Nevşehir ilinin sahip olduğu güneş enerji potansiyeli detaylı olarak ele alınmıştır. Ve bu çalışmada fotovoltaik panellerden elde edilecek verimi arttırmak amacıyla kullanılan MGNT yöntemlerinden gözle ve uygula (P&O) ve bulanık mantık algoritmaları kullanılarak fotovoltaik panelin kontrolü gerçekleştirilmiştir. Sistem tasarımı MATLAB/Simulink benzetim programında modellenerek karşılaştırmalı sonuçları verilmiştir.

***Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, Kontrol, Maksimum güç noktası takibi***

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe KOCALMIŞ BİLHAN**

**Sayfa Adeti: 86**

**DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF FUZZY LOGIC CONTROLLED  
MAXIMUM POWER POINT TRACKING ALGORITHM FOR SOLAR POWER  
PLANTS**

**(M. Sc. Thesis)**

**Serenay EMİKÖNEL**

**NEVSEHIR HACI BEKTAS VELI UNIVERSITY  
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

**July 2022**

**ABSTRACT**

Depending on the increasing amount of population in the world, the development and prevalence of urban lifestyles is one of the important factors that increase the energy demand. The need for energy in every field in daily life has increased the importance of energy production as well as energy consumption. The fact that fossil-based energy sources, which are used to meet this increase in energy demand, will be depleted in the next century with the current use, which constitutes an important problem. In addition, the damage caused by the use of fossil-based energy sources to the environment and human health is increasing day by day. For these reasons, countries have focused on finding new energy sources and researching their efficient use.

The energy obtained from sources found in nature such as the sun, wind and water has a very important place as it minimizes the damage to the environment compared to fossil fuels, is free of charge, and offers an almost unlimited energy opportunity. Solar energy, which is one of the renewable energy sources, is an energy source that is highly emphasized because it does not require any fuel, does not produce pollution during use, is environmentally friendly and is accessible in almost every geography. Turkey is located in the sun belt due to its geographical location and has a very high potential in terms of solar radiation and sunshine duration.

The most common method used to generate electricity from solar energy is photovoltaic panels. Achieving high efficiency from photovoltaic panels depends on the maximum power point at which it operates by providing maximum output power, the panel temperature and the angle of incidence of the sun rays on the panel surface.

Photovoltaic panels can be positioned as fixed or to tracking the sun. Tracking panels are divided into two as single-axis and dual-axis. In order to increase the efficiency to be obtained from solar energy, double or single axis maximum power point tracker (MPPT) systems are used.

In this thesis, the solar energy potential of Turkey and Nevşehir province is discussed in detail. And in this study, the control of the photovoltaic panel was carried out by using MPPT methods, see and apply (P&O) and fuzzy logic algorithms, which are used to increase the efficiency to be obtained from photovoltaic panels. The system is designed and modelled in the MATLAB/Simulink simulation program and comparative results are given.

***Keywords: Solar energy, Control, Maximum power point tracking***

**Thesis Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Ayşe KOCALMIŞ BİLHAN**

**Page Number: 86**



## İÇİNDEKİLER

KABÜL VE ONAY SAYFASI .....	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI .....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	viii
TABLOLAR LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	xii
HARİTALAR LİSTESİ .....	xv
SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xvi
BÖLÜM 1 .....	1
GİRİŞ .....	1
1.1. Literatür Taraması .....	4
1.2. Tezin Amacı .....	11
BÖLÜM 2 .....	13
ENERJİ KAYNAKLARI.....	13
2.1. Yenilenemez Enerji .....	14
2.2. Yenilenebilir Enerji .....	15
2.2.1. Güneş Enerjisi .....	18
2.2.1.1. Türkiye'deki Güneş Enerji Potansiyeli.....	19
2.2.1.2. Nevşehir İli Güneş Enerji Potansiyeli .....	23
BÖLÜM 3 .....	28
GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ .....	28
3.1. Kontrol Yapısına Göre Güneş Takip Sistemleri.....	29

3.1.1.	Kapalı Çevrim Güneş Takip Sistemleri.....	29
3.1.2.	Açık Çevrim Kontrol Sistemleri.....	30
3.2.	Sürücü Tipine Göre Güneş Takip Sistemleri.....	31
3.2.1.	Aktif Güneş Takip Sistemleri.....	31
3.2.2.	Pasif Güneş Takip Sistemleri .....	33
3.3.	Eksen Tipine Göre Güneş Takip Sistemleri .....	34
3.3.1.	Çift Eksenli Güneş Takip Sistemleri .....	34
3.3.2.	Tek Eksenli Güneş Takip Sistemleri .....	35
BÖLÜM 4 .....		37
BULANIK MANTIK.....		37
4.1.	Klasik Mantık ve Bulanık Mantık .....	38
4.2.	Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları.....	39
4.3.	Bulanık Mantık Denetleyicileri .....	43
4.3.1.	Bulanıklaştırma.....	44
4.3.2.	Bilgi Tabanı .....	44
4.3.3.	Karar Verme Birimi.....	45
4.3.4.	Berraklaştırma .....	46
4.3.4.1.	Maksimum Üyelik Yöntemi .....	46
4.3.4.2.	Ağırlık Merkezi Yöntemi .....	47
4.3.4.3.	Ağırlık Ortalaması Yöntemi .....	47
4.3.4.4.	En Büyüklerin Ortalaması Yöntemi .....	48
4.4.	Bulanık Mantığın Avantaj ve Dezavantajları .....	48
BÖLÜM 5 .....		50
BENZETİM ÇALIŞMASI.....		50
5.1.	Fotovoltaik Paneller.....	50
5.2.	Güç Dönüştürücüleri .....	53

5.2.1. Pozitif Çıkışlı Kademeli Yükseltici DA/DA Dönüştürücü.....	54
5.3. Maksimum Güç Noktası Takipçisi (MGNT).....	58
5.3.1. Gözle ve Uygula Algoritması .....	59
5.4. Bulanık Mantık Kontrol Yöntemi .....	63
BÖLÜM 6 .....	74
SONUÇLAR .....	74
KAYNAKLAR .....	76
ÖZGEÇMİŞ .....	86



## TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı.....	22
Tablo 2.2.	Bölgelerin ışı nım şiddetleri ve güneşlenme süreleri.....	22
Tablo 2.3.	Nevşehir ilinin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı.....	26
Tablo 2.4.	Nevşehir ilindeki aktif ve yapım aşamasındaki güneş enerji santralleri.....	27
Tablo 4.1.	Klasik mantık ve bulanık mantık arasındaki temel farklılıklar.....	39
Tablo 4.2.	MATLAB programında tanımlı üyelik fonksiyonları.....	42
Tablo 5.1.	LNSE-245P FV polikristal modülün elektriksel parametreleri.....	51
Tablo 5.2.	Bulanık mantık kural tablosu.....	69

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Enerji kaynaklarının sınıflandırılması.....	14
Şekil 2.2.	Yenilenemez enerji kaynakları.....	15
Şekil 2.3.	Yenilenebilir enerji kaynakları.....	17
Şekil 2.4.	Türkiye global radyasyon değerleri (KWh/m <sup>2</sup> -gün).....	20
Şekil 2.5.	Türkiye güneşlenme süreleri (saat) .....	21
Şekil 2.6.	Türkiye'de güneş enerjisi kurulu gücü 2014- Aralık 2020.....	23
Şekil 2.7.	Nevşehir ili güneş enerji potansiyel atlası.....	24
Şekil 2.8.	Nevşehir ili aylık ortalama global radyasyon değerleri (KWh/m <sup>2</sup> -gün).....	25
Şekil 2.9.	Nevşehir ili aylık ortalama güneşlenme süreleri (saat).....	25
Şekil 3.1.	Gün doğumundan gün batımına kadar güneşin izlenmesi.....	28
Şekil 3.2.	Kapalı çevrim güneş takip sistemi blok yapısı.....	30
Şekil 3.3.	Açık çevrim güneş takip sistemi blok yapısı.....	31
Şekil 3.4.	Aktif güneş takip sisteminin genel blok şeması.....	32
Şekil 3.5.	Aktif güneş takip sisteminin genel kontrol algoritması.....	32
Şekil 3.6.	Pasif güneş takip sistemi çalışma yapısı.....	33
Şekil 3.7.	Çift eksenli güneş takip sisteminin çalışma yapısı.....	34
Şekil 3.8.	Dikey ve yatay eksenli tek eksenli güneş takip sisteminin çalışma yapısı.....	35
Şekil 4.1.	Klasik üyelik fonksiyonu.....	40
Şekil 4.2.	Bulanık üyelik fonksiyonu.....	40
Şekil 4.3.	Üyelik fonksiyonlarına ait örnekler.....	41
Şekil 4.4.	Bulanık mantık denetleyicisinin genel yapısı.....	43
Şekil 4.5.	Bulanık mantık serüveni.....	44

Şekil 4.6.	Maksimum üyelik yöntemi.....	46
Şekil 4.7.	Ağırlık merkezi yöntemi.....	47
Şekil 4.8.	Ağırlık ortalaması yöntemi.....	47
Şekil 4.9.	En büyüklerin ortalaması yöntemi.....	48
Şekil 5.1.	Sistemin blok şeması.....	50
Şekil 5.2.	Fotovoltaik pil, (a) eşdeğer devre modeli, (b) basitleştirilmiş devre modeli.....	51
Şekil 5.3.	Farklı ışınım değerleri altında FV modülün (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim karakteristik eğrileri.....	52
Şekil 5.4.	Kademeli gerilim yükseltici DA/DA dönüştürücün temel devre yapısı.....	55
Şekil 5.5.	Kademeli yükseltici DA/DA dönüştürücü (a) iletim durumu için eşdeğer devre şeması, (b) kesim durumu için eşdeğer devre şeması....	55
Şekil 5.6.	Kademeli yükseltici DA/DA dönüştürücü devresine ait MATLAB/Simulink modeli.....	57
Şekil 5.7.	Farklı ışınım değerleri altında 2 paralel 5 seri bağlanmış FV generatöre ait akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristik eğrileri.....	58
Şekil 5.8.	Gözle ve uygula algoritmasının temel prensibi.....	60
Şekil 5.9.	Gözle ve uygula algoritması akış diyagramı.....	61
Şekil 5.10.	Gözle ve uygula algoritması kullanılan sistemin MATLAB/Simulink modeli.....	61
Şekil 5.11.	Işınım değeri $600 \text{ W/m}^2$ için konvertör çıkış gerilimi ( $V_c$ ) ve panel çıkış gerilimi ( $V_{pv}$ ) değişimleri.....	62
Şekil 5.12.	Işınım değeri $800 \text{ W/m}^2$ için konvertör çıkış gerilimi ( $V_c$ ) ve panel çıkış gerilimi ( $V_{pv}$ ) değişimleri.....	62
Şekil 5.13.	Işınım değeri $1000 \text{ W/m}^2$ için konvertör çıkış gerilimi ( $V_c$ ) ve panel çıkış gerilimi ( $V_{pv}$ ) değişimleri.....	63

Şekil 5.14.	MATLAB benzetim programında bulanık mantık tasarım arayüzünün çağrılması.....	64
Şekil 5.15.	FIS Editor penceresi.....	65
Şekil 5.16.	Giriş ve çıkış değişkeni ekleme.....	65
Şekil 5.17.	Bulanık mantık tabanlı MGNT yöntemi giriş ve çıkış değişkenleri.....	66
Şekil 5.18.	Üyelik fonksiyonu ekleme, tipi ve sayısının belirlenmesi.....	67
Şekil 5.19.	Bulanık mantık arayüzünde giriş ve çıkış değişkenleri; (a) hata (e), (b) hatadaki değişim (de) ve görev periyodu (D) için belirlenen bulanık kümeler.....	68
Şekil 5.20.	Kural tabanı oluşturabilmek için “Rules Editor” penceresinin çağrılması.....	69
Şekil 5.21.	Kural tabanının oluşturulması.....	70
Şekil 5.22.	Bulanık mantık denetleyici algoritması kullanılan sistemin MATLAB/Simulink modeli.....	71
Şekil 5.23.	Bulanık mantık kontrolörü.....	71
Şekil 5.24.	Işıma değeri $600 \text{ W/m}^2$ için konvertör çıkış gerilimi ( $V_c$ ) ve panel çıkış gerilimi ( $V_{pv}$ ) değişimleri.....	72
Şekil 5.25.	Işıma değeri $800 \text{ W/m}^2$ için konvertör çıkış gerilimi ( $V_c$ ) ve panel çıkış gerilimi ( $V_{pv}$ ) değişimleri.....	72
Şekil 5.26.	Işıma değeri $1000 \text{ W/m}^2$ için konvertör çıkış gerilimi ( $V_c$ ) ve panel çıkış gerilimi ( $V_{pv}$ ) değişimleri.....	73
Şekil 5.27.	Gözle ve uygula algoritması ve bulanık mantık algoritması kullanılan DA/DA kademeli yükseltici devresi çıkış gerilimi ve FV dizisinin çıkış gerilimlerinin $1000 \text{ W/m}^2$ ışırma değeriindeki çalışması.....	73

## HARİTALAR LİSTESİ

Harita 2.1. Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli atlası (GEPA).....20





## SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ

AA	Alternatif Akım
DA	Doğru Akım
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
BMD	Bulanık Mantık Denetleyicisi
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
FV	Fotovoltaik
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası
GES	Güneş Enerji Santrali
GPS	Global Positioning System (Küresel Konumlama Sistemi)
IEA	International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
MGN	Maksimum Güç Noktası
MGNT	Maksimum Güç Noktası Takibi
PLC	Enerji Hattı İletişimi
P&O	Gözle ve Uygula
RES	Rüzgâr Enerji Santrali
YE	Yenilenebilir Enerji
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
m	Metre
m <sup>2</sup>	Metrekare
km <sup>2</sup>	Kilometrekare
W	Watt

KW	Kilowatt
MW	Megawatt
KWh	Kilowatt hour
$\Delta P$	Güç değişimi
$\Delta V$	Gerilim değişimi
$\Delta I$	Akım değişimi
P	Güç
V	Gerilim
I	Akım
L	Bobin
C <sub>1</sub> , C <sub>2</sub>	Kondansatör
R	Direnç
D <sub>1</sub> , D <sub>2</sub>	Diyot
A	Anahtar
f	Frekans
D	Anahtar görev oranı
V <sub>g</sub>	Giriş gerilimi
V <sub>ç</sub>	Çıkış gerilimi
I <sub>g</sub>	Giriş akımı
I <sub>ç</sub>	Çıkış akımı
t <sub>on</sub>	Anahtarın iletimde kalma süresi
t <sub>off</sub>	Anahtarın kesimde kalma süresi
P <sub>MAX</sub>	Maksimum Güç

## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Dünyanın en gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeleri, sosyal ve ekonomik kalkınmayı sağlamak ve sürdürmek için enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Enerji, yaşam standartlarını ve refah düzeyini iyileştirmede temel faktörlerin başında gelmektedir. Nüfus artışı, endüstriyel gelişim ve sanayileşme son yıllarda küresel enerji talebinde bir artışa yol açmıştır. Günlük hayatta elektronik araçlar, elektrik ile çalışan otomobiller, fabrikalar ve sokak aydınlatmaları gibi hemen hemen hayatımızın her alanında enerjinin kullanılması, enerjinin tüketiminin yanı sıra üretiminin de önemini arttırmıştır.

Artan enerji talebinin büyük bir kısmı fosil yakıtları (kömür, petrol, doğal gaz) tarafından karşılanmaktadır. Dünya çapında toplam ticari enerji tüketiminin yaklaşık %82'sini fosil yakıtları oluşturmaktadır. Fosil yakıtlarının enerji üretiminde yaygın ve artan kullanımı küresel ısınma ve iklim değişikliğine neden olmaktadır. İklim değişikliği, daha yüksek küresel sıcaklık, eriyen buzullar ve aşırı hava olaylarının yoğunluğu ve sıklığının artmasıyla kendini göstermektedir. Bu da insan yaşamının temel unsurlarını (suya erişim, gıda üretimi, sağlık, çevre vb.) önemli ölçüde etkilemektedir. Fosil yakıtları rezervlerinin günümüzdeki kullanımıyla ancak 80-100 yılda biteceği öngörülmektedir. Küresel enerji talebinin 2040 yılına kadar 2010 seviyelerine göre %56 oranında artacağı tahmin edilmektedir. Her geçen yıl enerji talebinin artması, fosil enerji kaynaklarının sınırlı olması, özellikle CO<sub>2</sub> emisyonlarıyla ilgili çevresel etkilere ilişkin artan endişeler ve sağlık ve güvenlik hususları, yeni alternatif enerji kaynakları arayışını zorunlu hale getirmiştir [1-3].

Yenilenebilir enerji, doğal süreçlerden oluşup bir sonraki günde mevcut olarak kaynağın tükenme hızından daha hızlı bir şekilde kendini yeniden yenileyebilmesidir. Yenilenebilir enerji kaynakları, güneş, rüzgâr, biyokütle, jeotermal ve gelgit dalgaları gibi çeşitli enerji türlerinin birleşiminden oluşur [4,5]. Birincil enerji kaynaklarına alternatif olarak sunulan yenilenebilir enerji kaynakları artan küresel enerji talebini önemli miktarda karşılayarak enerji bağımlılığını azaltmakta ve insan sağlığına ve çevreye verdiği zararlı karbon salınımını azaltarak temiz bir enerji imkânı sunmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretimindeki payı her geçen gün artmakta olup Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) tahminlerine göre, yenilenebilir enerji 2016'da

%24'ten 2022'de toplam dünya elektrik üretiminin %30'unu paylaşacak ve 8000 TWh'in üzerine çıkacaktır [6].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi artan enerji talebinin karşılanmasında önemli bir yere sahiptir. Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde mevcut olan hidrojen gazının helyum gazına dönüşmesiyle meydana gelen füzyon reaksiyonu sonucu açığa çıkan ışıyım enerjisidir. Güneş, dünyaya sadece 90 dakikada yeterli enerjiyi sağlar ve bu da tüm bir yıl boyunca küresel enerji talebini karşılamaya yeterlidir [7]. Dünyanın hemen her yerinde bol miktarda bulunan güneş enerjisi, havada CO<sub>2</sub> veya diğer gaz emisyonlarına neden olmamakla birlikte sıvı veya katı atık ürünler oluşturmayıp temiz enerji imkânı sunmaktadır. Doğal kaynaktan elde edilen bu enerji güneşin olduğu zamanlarda sınırsız olması ve tükenmeyen bir enerji imkânı sağlaması sebebiyle bu enerji türüne olan ilgiyi arttırmaktadır. Uluslararası Enerji Ajansı'na göre 2050 yılına kadar güneş enerjisinin dünya elektrik ihtiyacının %11'ini karşılayacağı öngörülmektedir [8].

Güneş enerjisinden elektrik enerji üretebilmek için fotovoltaik panel sistemleri kullanılmaktadır. Bu enerji türünün dezavantajı ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve fotovoltaik panel üzerine düşen güneş ışığının sadece bir miktarının elektrik enerjisine dönüştürülebilmesinden dolayı verimliliklerinin düşük olmasıdır. Panellerden elde edilebilecek enerji güneş ışığının yoğunluğuna ve geliş açısına bağlıdır. Belirli bir açıyla sabitlenmiş ve eğimli olan geleneksel güneş panelleri, günün belirli zamanlarında güneşten faydalanabildiklerinden dolayı panelden elde edilebilecek enerji maksimize edilemez. Bu da verimde düşüğe sebep olur. Fotovoltaik panellerden en etkili şekilde yararlanabilmek için yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Bunlardan bir tanesi de güneş panellerinin yüzeyine gün boyunca güneş ışınlarının dik olarak gelebilmesini sağlamaktır. Güneş enerjisinden maksimum verim sağlayabilmek için güneşin pozisyonunu algılayan ve takip eden güneş takip sistemleri kullanılmaktadır.

FV panellerden elde edilecek enerji verimliliğinin artırılması son derece önemli bir konudur. Güneş, gün boyu aynı açıyla panele gelemeyeceği için doğrusal olmayan akım ve gerilim (I-V) karakteristiğine sahiptir. Bu karakteristik incelendiğinde maksimum güç noktası olarak ifade edilen optimum bir çalışma noktası bulunmaktadır. Bu nokta panelin üretim teknolojisine, kullanılacak konumun güneş ışıyımı ve sıcaklığı gibi

etkenlere bağılı olarak değişiklik göstermektedir. FV sistemlerden yüksek verim elde edebilmek için maksimum güç noktasında çalıştırılmaları gerekmektedir. Günümüzde FV sistemlerden yüksek verim elde edebilmek için maksimum güç noktasının tespit edilmesi ve bu noktanın takip edilmesi konusunda birçok yöntem geliştirilmiştir ve halen geliştirmeye devam edilmektedir. Bu yöntemlerden bazıları gözle ve uygulama (P&O), bulanık mantık, parçacık sürü optimizasyonu vb. gibi birçok yöntem sıralanılabilir.

Bu tez çalışmasında, MATLAB/Simulink benzetim programında gözle ve uygulama (P&O) ve bulanık mantık hesaplama yöntemleri modellenerek karşılaştırmalı sonuçları incelenecektir.

Bu tez çalışması giriş bölümü haricinde, içerikleri aşağıdaki başlıklarda sıralandığı üzere 5 bölümden oluşmaktadır. Bunlar;

- **Bölüm 2 - Enerji Kaynakları:** Bu bölümde, enerji kaynakları, yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları, güneş enerjisi anlatılmıştır. Türkiye'deki GEP ve Nevşehir İli GEP hakkında bilgi verilmiştir.
- **Bölüm 3 – Güneş Takip Sistemleri:** Bu bölümde, güneş takip sistemleri ile ilgili bilgi verilmiştir. Güneş takip yöntemleri hakkında alt başlıklar altında her yöntemin çalışma prensibi detaylı bir şekilde açıklanmıştır.
- **Bölüm 4 – Bulanık Mantık:** Bu bölümde, bulanık mantık hakkında bilgi verilmiştir. Klasik mantık ve bulanık mantık arasındaki farklar açıklanmıştır. Kullanılan üyelik fonksiyonları anlatılmıştır. Bir bulanık mantık süreci hakkında (bulanıklaştırma, bilgi tabanı, karar verme birimi ve berraklaştırma) detaylı bir bilgi verilmiştir.
- **Bölüm 5 – Benzetim Modeli:** Bu bölümde, fotovoltaik modülün elektriksel eşdeğer devresi modeli ve denklemleri açıklanmıştır. Güç dönüştürücüsü hakkında genel bilgi verilmiştir ve kullanılan pozitif çıkışlı kademeli yükseltici dönüştürücüsü hakkında detaylı bilgi verilip denklemler ile açıklanmıştır. MGNT, MGNT önemi ve yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir. MGNT yöntemlerinden gözle ve uygulama (P&O) algoritmasının temel çalışma prensibi açıklanmıştır ve benzetim programında tasarlanan model ve simülasyon sonuçları verilmiştir. Bulanık mantık MGNT hakkında bilgi verilmiştir ve benzetim programında nasıl

modellendiği adım adım açıklanmıştır. Simülasyon sonuçları grafiklerle desteklenmiştir.

- **Bölüm 6 – Sonuçlar:** Gözle ve uygulama (P&O) ve bulanık mantık yöntemleri ile tasarlanan modellerin sonuçları değerlendirilmiştir.

### 1.1. Literatür Taraması

Literatürde güneş takip sistemi ile ilgili birçok çalışma bulunmaktadır ve bu çalışmalarda birçok yöntem önerilerek uygulamalı olarak sunulmuştur. Genelde yapılan çalışmalarda güneş takibini gerçekleştirebilmek için mikroişlemci, denetleyici, GPS ve elektronik sensörlü sistemler gibi kontrol devreleri ele alınarak yapılmış, sabit sistemlerle karşılaştırılmıştır. Son yıllarda güneş takip sistemleriyle ilgili yapılan çalışmalar incelenmiş olup bunlardan birkaç tanesi aşağıda özetlenmiştir.

Güneş takip sistemi alanındaki gelişmelere genel bir bakış açısı sunmak amacıyla yapılan çalışmada çift eksenli güneş takip sistemlerinin son yıllarda gelişen farklı tasarım ve tekniklerinin çalışma performansları hakkında detaylı bir bilgi sunulmuştur. Çalışmaları sonunda çift eksenli güneş takip sistemlerinin çoğunlukla tek eksenli ve sabit muadillerine göre daha verimli olduğu sonucuna varılmıştır. Bunun yanı sıra güneş takip sistemleri uygulamalarında var olan zorluklar da ele alınmıştır [9].

Güneş enerjisi üretimini artırmak için yapılan çalışmada otomatik çift eksenli güneş takip sistemi tasarlanmış, geliştirilmiş ve uygulanmıştır. LDR kullanarak yaptıkları mantık tasarımıyla PV modülün güneş yörüngesini takip edebilmesi için ayarlamayı amaçlamışlardır. Sözde azimut sistemi, hareket mekanizması esnasında stabilite sağlamak için tercih edilmiştir. Tasarladıkları sistem harici internet bağlantısı gerektirmeyip bağımsız olarak çalışabilmektedir. Yaptıkları çalışmada önerdikleri takip sistemini ile sabit düz plakalı sistem karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlar doğrultusunda önerdikleri sistemin verimli bir şekilde çalıştığı gösterilmiştir ve sabit düz plakalı sisteme göre elektrik enerjisi verimliliğini ortalama %44,89 oranında artırdığı belirtilmiştir [10].

Son yirmi yıl için güneş izleyici tiplerinin literatürde sunulan çalışma ilkeleri ve avantajlarını incelemek amacıyla yapılan çalışmada güneş izleyicilerinin birçok çeşidi çalışma prensipleri, kontrol sistemleri, tasarım malzemeleri ve maliyet açısından

incelenmiştir. İncelemeler sonucunda çift eksenli güneş takip sisteminin daha iyi güç katmanı sağladığı ve tek eksenli güneş takip sisteminin ise çift eksenliye nazaran daha uygun ve daha az karmaşık olduğu belirtilmiştir. Her iki sistem içinde enerji getirilerinin sabit PV sistemlere göre her zaman daha yüksek olduğu kanısına varılmıştır. Geleneksel sabit PV sistemlerle karşılaştırıldığında, tek eksenli izleyicilerin enerji dönüşümü %25'e ulaşırken çift eksenli izleyicilerin %40 oranına ulaştığı tespit edilmiştir. Bulgular sonucunda güneş takip sistemlerinin güneş enerjisinde elektrik enerjisi üretim performansını önemli ölçüde iyileştirdiği belirtilmiştir [11].

Tek eksenli izlenen bir panelden alınan güneş ışınımını iyileştirmek için yapılan çalışmada eğik dönen eksen izleme (TR eksen izleme) adı verilen yeni bir tek eksenli izleme yapısı gerçekleştirilmiştir. Tasarladıkları sistem sayesinde paletli bir panel, panelin dönme eksenine göre bir açıyla monte edildiği eğik bir dönme ekseninde döndürülmektedir. Önerilen paletli panel üzerine düşen yıllık güneş radyasyonunun çift eksenli paletli panele göre oranı %96,40 olduğu tespit edilmiştir. Deneysel çalışma sonuçları önerilen izleme yapısı hemen hemen tüm enlemlerde mevcut tek eksenli izleme yapılarına göre önemli avantajlara sahip olduğunu ortaya koymaktadır [12].

ANFIS prensibine dayalı olarak gerçekleştirilen bir çalışmada iki akıllı ve verimli, tek eksenli ve çift eksenli güneş takip kontrol sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilen güneş takip sistemleri sayesinde güneşin gökyüzündeki konumunu takip edebilmek için optimum eğim ve oryantasyon açıları başarılı bir şekilde tahmin edilmiştir. Similasyon sonuçları doğrultusunda daha yüksek tahmin oranı ve daha düşük ortalama kare hatası elde ettiklerini ortaya koymuşlardır. Böylece ANFIS'in bulanık ve sinir ağları ilkelerine göre güneşin tam konumunu tahmin etmede daha iyi olduğu ve bu sayede önerilen modeller ile daha yüksek performans elde edilebileceği gösterilmiştir [13].

Güneş takip sistemleri ve güneş enerji uygulamalarındaki potansiyellerine ilişkin detaylı bir bilgi vermek için yapılan çalışmada tasarım parametreleri, yapımı, tipleri ve tahrik sistemleri teknikleri ele alınmıştır. Hareket serbestlik derecesine göre tek eksenli ve çift eksenli güneş takip sistemleri ile sürücü sistemlerine göre takip teknolojilerine dayalı olarak aktif takip, pasif takip, yarı pasif takip, manuel takip ve kronolojik takip hakkında detaylı bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Yaptıkları incelemeler sonucunda

güneş takip sistemlerinin güneş enerjisi uygulamalarındaki kullanımının güç verimliliğini iyileştirebileceği kanısına varılmıştır [14].

Güneş enerji dizisinin güç üretim verimliliğini arttırmak amacıyla yapılan çalışmada DSP tabanlı tek eksenli güneş takip sisteminin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Önerilen sistem güneş takibini doğru bir şekilde gerçekleştirebilmek için program kontrolü ve sensör kontrolünün birleşimini kullanmaktadır. Tasarlanan sistem ile güneş ışığının her zaman takibi gerçekleştirilmektedir. Ayrıca önerilen sistem basit izleme algoritması, yüksek hassasiyet ve düşük maliyet özelliklerine de sahiptir [15].

Güneşten alınacak enerji miktarının en fazla olabilmesi için güneş ışınlarının panele dik bir açıyla gelmesi gerekir. Panelin konumunu güneşe göre hizalamak amacıyla yapılan çalışmada mikrodenetleyici tabanlı tek eksenli güneş takip sisteminin tasarımı gerçekleştirilmiştir. PV panelin farklı yerlerine yerleştirilen dört LED sensörden gelen giriş bilgisini alıp motora çıkış hızını veren bulanık kontrolör sayesinde güneş takibi sağlanmıştır. Deneysel sonuçlar doğrultusunda önerdikleri sistemin sabit panele göre %30,26 oranında verimini arttırdığı tespit edilmiştir. Bu da izleme sistemi kullanımının performans sonucunu iyileştirebildiğini göstermektedir [16].

Güneş takip sistemleriyle ilgili yapılan bir tez çalışmasında tek eksenli ve çift eksenli güneş takip sistemleri ve geleneksel sabit güneş paneli sistemi tasarlanmıştır. Tasarım da kontrolör olarak endüstriyel çalışma koşullarına daha elverişli olduğundan ötürü PLC tercih edilmiştir. Tasarlanan sistemler verimlilik ve ürettikleri güç bakımından kıyaslanmıştır. Belirli günlerde onar dakikalık aralıklarla yapılan ölçümler PLC/SCADA yazılımı ile SCADA ekranında görüntülenerek kayıt altına alınmıştır. Elde edilen bulgular sonucunda çift eksenli güneş takip sisteminin tek eksenliye göre %5,43 sabit sisteme göre ise %24,04 daha verimli olduğu tek eksenli güneş takip sisteminin de sabit sisteme göre %20,17 daha verimli olduğu belirtilmiştir [17].

Güneş radyasyonu miktarını maksimize etmek için yapılan çalışmada elektrikli sürücülerin açık döngü kontrol sistemi ile birlikte çift eksenli bir fotovoltaik izleme sisteminin tasarımı ve deneysel testi gerçekleştirilmiştir. Önerilen model ile sabit PV sistem karşılaştırılmıştır. İncelemeler sonucunda önerilen çift eksenli izleme sisteminin sabit sistemlere kıyasla %27'den fazla elektrik enerjisi üretebildiği tespit edilmiştir [18].



Güneşten gün boyu faydalanabilmek ve güneş panellerinden elde edilecek verimi maksimum seviyede tutabilmek için yapılan çalışmada bulanık mantık kontrollü çift eksenli güneş takip sisteminin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sistem öncelikle simülasyon programında wajung blok setlerini ve fuzzy setlerini kullanarak tasarlanmıştır. Bulanık mantık kullanılarak geliştirilen yazılım ile STM32F4 kiti üzerinden panelin yatay ve dikey hareketini sağlayan motorların yön kontrolü gerçekleştirilmiştir. Tasarladıkları sistem sayesinde daha kararlı ve hassas bir kontrolör yapısı oluşturulmuştur. Böylelikle bulutlu ya da kapalı günlerde meydana gelen kararsız çalışma durumlarının ortadan kalktığı belirtilmiştir [19].

Güneş takip sistemleri ile ilgili yapılan bir tez çalışmasında sabit eğik düzlemliler, tek eksen takipçi düzlemliler ve çift eksen takipçi düzlemliler bir FV sistemin PVsyst güneş enerjisi simülasyon programında benzetim çalışması yapılmıştır. Tasarlanan FV sistemlerin PVsyst programı ile simülasyonu yapıldıktan sonra kolektöre yansıyan referans enerji ve üretilen enerji miktarı açısından performans analizi gerçekleştirilmiştir. Benzetim sistemi öncelikle kurulu bir sistemdeki durumlar için incelenip doğruluğu test edilmiştir. Elde edilen sonuçlar simülasyon ve gerçek sistem grafikleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar yorumlanarak planlama ve sistem mühendisleri için öneriler belirtilmiştir. En önemli önerinin ise elde edilen verimin hangi sistemde daha yüksek olacağıdır. Ayrıca güneş takip sistemleriyle ilgili yapılacak çalışmalar için tasarım aşamasıyla ilgili önerilerde de bulunulmuştur [20].

Güneşten en uygun enerji çıkarımını elde etmek amacıyla yapılan çalışmada otomatik güneş takip sistemi tasarımı gerçekleştirilmiştir. İki alt sistem olarak tasarlanan sistem, maksimum enerjinin elde edilebileceği konumu tespit etmek amacıyla kullanılan pilot ve optimal enerji çıkarma mekanizmasından oluşmaktadır. Önerilen sistem dünyayı referans almak yerine iki alt sistem arasında doğru ve hassas bir hizalamayla güneşi bir kılavuz kaynak olarak ele almaktadır. Böylelikle maksimum enerji çıkışı elde edilmektedir [21].

Güneş enerjisinden elde edilecek güç çıkışını maksimize edebilmek amacıyla yapılan çalışmada GPS'e dayalı güneşi izleyen bir sistem tasarlanmıştır. Bu çalışma zamanla yer değiştirmeye devam eden hareketli platformlar için önerilmektedir. Uzun bir tur veya bir seyir gemisinde kullanılan sistemlerde konum ve zaman dilimindeki

değişikliklerden dolayı sistemin yönünün sıklıkla değişmesi gerekmektedir. Bu çalışma ile sistemin konumunun güneşe göre otomatik olarak hizalanması sağlanmıştır. Ayrıca tasarladıkları sistem hava koşullarından bağımsız ve her koşulda çalışabilmektedir. Bu çalışma uzun yol kat eden yolcu gemilerini esas almaktadır ve aydınlatma, ısıtma, elektrik üretimi gibi ihtiyaç duydukları her alanda ihtiyaçlarını temin edebilmeleri amaçlanmıştır [22].

Güneş enerjisinin faydalarından yararlanmak ve güneş enerjisi üretimi ile ilgili çeşitli parametreleri analiz etmek amacıyla yapılan çalışmada arduino pro mini kullanarak çift eksenli güneş takip sistemi tasarlanmıştır. Çalışmadaki temel amaç voltaj, güç, gün boyu verimlilik, maliyet gibi parametrelerin performansını detaylı bir şekilde incelemektir. Kurulum maliyetini en aza indirmek amacıyla minimum sayıda bileşen kullanarak tasarlanan sistem donanım üzerine kurulmuştur. Kontrol kısmı içinde C programlama kullanarak geliştirilen yazılım ile analizi gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda tasarlanan sistemden gün boyu maksimum güç üretildiği gösterilmiştir. Önerilen sistemin tek eksenli sistemlere göre %25 ve sabit sistemlere göre %51 oranında daha verimli olduğu belirtilmiştir [23].

Fotovoltaik modüllerin verimliliğini arttırmak için fotovoltaik modüllerin maksimum güç noktasında çalıştırılması gerekir. Günümüzde maksimum güç noktasının tespiti ve bu noktanın takibi için birçok yöntem geliştirilmiştir. Literatürde MGNT yöntemleri kullanılarak birçok çalışma yapılmıştır. Bu yöntemlerden gözle ve uygula (P&O) ve bulanık mantık en çok tercih edilen yöntemler arasında gösterilebilir. Bu yöntemler ilgili yapılan çalışmalar incelenmiş olup bunlardan birkaç tanesi aşağıda özetlenmiştir.

Güneş panelin maksimum güç noktasının takibi için PO yöntemi kullanılarak yapılan çalışmada, sistemin tepki süresinin ve görev döngüsünün en uygun başlangıç noktasının belirlenmesi ve gücünün en üst düzeye çıkarması hedeflenmiştir. Yapılan çalışmada bir FV dizinin Simulink modeli geliştirilip, DA/DA dönüştürücüsü aracılığıyla yüke bağlanmıştır. Dönüştürücünün görev döngüsünü ayarlamak için PO algoritması uygulanmıştır. Çalışmanın gözlemlenmesi sonucunda ardışık iki geri bildirim arasındaki gecikmenin yetersiz olması ve görev döngüsünün uygun olmayan başlangıç noktası sebebiyle MGNT algoritmalarının düzensiz çalıştığı tespit edilmiştir. Bu çalışma doğrultusunda çok çeşitli yükler için maksimum gücü izleyebilmek için iki geri bildirim

ve görev döngüsü için başlangıç noktası arasında optimum bir gecikme önerilmiştir [24].

FV sistemin verimliliğini arttırmak amacıyla yapılan bir çalışmada ışıınım değerini dikkate alan yeni bir algoritma önerilmiştir. Önerilen algoritma PO ve CV'yi birleştiren yeni bir kontrol algoritmasıdır. Öncelikle önerilen algoritmanın yanıt özellikleri, güneş radyasyon değişimli PO yöntemi, IC yöntemi ve CV yöntemi gibi geleneksel MGNT yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Analizler doğrultusunda önerilen algoritmanın yalnızca yüksek güneş radyasyonunda değil, aynı zamanda düşük güneş radyasyonunda da MGNT kontrolünü gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Bu yöntemin kullanılmasıyla üretilen enerji miktarının ve verimliliğinin artırılabilirliği performans sonucu ile kanıtlanmıştır [25].

Yüksek bir FV sistem performansı elde edebilmek için yapılan çalışmada MGNT yöntemlerinden PO algoritması kullanılmıştır. Bu algoritma ışıma ve yük bozulmasındaki değişiklikler altında gerçek zamanlı olarak test edilmiştir. Yapılan analizler doğrultusunda PO algoritmasının maksimum güç noktasını doğru ve başarılı bir şekilde izlediği tespit edilmiştir [26].

FV paneller, elektrik enerjisi üretiminde güneş ışıını ve sıcaklık gibi çevresel koşullara bağlı olarak doğrusal olmayan bir akım ve gerilim (I-V) karakteristik eğrisi sergiler. FV panellerin en iyi kullanımları için MGN'nda çalıştırılması gerekir. Bu amaçla yapılan çalışmada PO algoritması kullanarak bir FV dizisinin detaylı bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Tasarladıkları model ile Malezya koşullarındaki değişiklikler hesaba katılarak farklı sıcaklık ve ışıma değerlerinde analizi gerçekleştirilmiştir [27].

FV panelin MGN'nı hesaplamak için yapılan çalışmada MGNT tekniklerinden PO ve IC yöntemleri kullanılmıştır. MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilen çalışma, FV panel, DA/DA dönüştürücü, MGNT kontrolör ve yükten oluşmaktadır. İki yöntem arasındaki güç noktası takibi etkinliğine dayanan karşılaştırmalı çalışmada, yapılan analizler sonucunda yüksek güneş ışıını esnasında INC'nin hafif bir avantajı ile hemen hemen PO ile eşdeğer olduğuna saptanmıştır [28].

Güneş pilinin maksimum güç noktası radyasyon ve sıcaklığa göre değişmektedir. Bu sebeple güç ve verimliliği arttırmak için FV sistemlerde MGNT kontrolü kullanılır.

Ancak geleneksel MGNT kontrolörleri, ortam değişikliği ile MGN'nı takip etmede daha zayıftır. Bu sorunu ortadan kaldırmak amacıyla yapılan çalışmada ortam değişikliğinde yüksek performans ve sağlam kontrolör için FLC kontrolörü önerilmiştir. Önerilen kontrolörün performansı, geleneksel MGNT kontrolörleriyle karşılaştırılmıştır. Analiz sonuçları doğrultusunda önerilen kontrolörün geçerliliği kanıtlanmıştır [29].

Güneş ışınımı gün boyunca çok fazla değişiklik göstermesi sebebiyle bir MGNT sisteminin değişen ışınım koşullarının hepsinde yüksek performans sergileyebilmesi gerekir. Bu amaçla gerçekleştirilen çalışmada bulanık mantık tabanlı bir MGNT sisteminin hızlı ve yavaş değişen ışınım koşullarında gösterdiği çalışma performansı MATLAB/Simulink benzetim programında incelenmiştir. Analiz sonuçları doğrultusunda ışınımın ani artış ve azalışlarında maksimum gücü başarılı bir şekilde izlediği ve ani değişim durumlarında hızlı bir şekilde tepki vererek kararlı durma geçtiği tespit edilmiştir [30].

FV panelin güç noktasını maksimize etmek amacıyla yapılan çalışmada DA/DA yükseltici dönüştürücüyü kontrol etmek için PO algoritması uygulanmıştır. MATLAB/Simulink ortamında gerçekleştirilen çalışmada görev döngüsü, voltaj ve güç gibi farklı sistem tepkileri dikkate alınarak birçok simülasyon yapılmıştır. Simülasyon sonuçları MGN etrafındaki sık salınımların istikrarsızlıktan ve kısmen gölgelenme altında MGN'nı takip etmede zayıf olduğu tespit edilmiştir. Bu sorunları çözmek için gelecekteki çalışmalarda geliştirilmiş bir PO algoritması ile yapılması önerilmiştir [31].

FV sistemlerin verimliliğini arttırmak amacıyla yapılan çalışmada bulanık mantık yöntemi, geleneksel PO ve INC yöntemlerine entegre edilmiştir. Önerilen Fuzzy-PO ve Fuzzy-INC yöntemleri daha fazla güç üretmemize ve kararlı bir sistem için voltaj dalgalanmasını azaltmamıza izin vermektedir. MATLAB/Simulink ortamında yapılan çalışmada simülasyon sonuçları ile her bir algoritmanın performansı ve birleştirilmiş yöntemlerin verimliliği gösterilmiştir [32].

MGN'nı izleyebilmek için bulanık mantık algoritması kullanarak yapılan çalışmada panel performansını optimize etmek amaçlanmıştır. MATLAB/SIMPOWERSYS programında gerçekleştirilen uygulamanın işleyişi sayısal benzetimlerle incelenmiştir. Yapılan analizler doğrultusunda iyi sonuçlar elde edildiği ve yükün tükettiği güç ile güneş panelinin elde edebileceği maksimum gücün çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Bu da kullanılan MGNT kontrolünün güneş panelini optimum çalışma noktasına çok yakın tuttuğu anlamına gelmektedir [33].

Belirli bir FV dizisinin MGN'nı takip edebilmek için gerçekleştirilen çalışmada PO tabanlı bulanık mantık denetleyicisi kullanımı önerilmiştir. Önerilen bulanık denetleyici yöntemi MATLAB/Simulink benzetim programında tasarlanmıştır. Bulanık mantık denetleyicisinin gerçek zamanlı ayarı, maksimum çıkışla güneş enerjisi üretiminin kararlı ve sorunsuz çalışmasını sağlamaktadır. Böylelikle üretilen çıkış gücü, MGN'nda sabitlenmiştir [34].

MGN'nı etkin bir şekilde izlemek amacıyla yapılan çalışmada bulanık mantık denetleyicisi ile geliştirilmiş bir artımlı iletkenlik MGNT algoritması önerilmiştir. Genellikle bir MGN takipçisi, havadaki ani değişiklikleri sınırlamak için hızlı hareket eden kontrolör özelliği gerektirir. Bulanık kontrolör, farklı sıcaklık ve ışınlama koşulları altında hızlı tepki vererek çıktıdaki salınımları azaltmaktadır. Önerilen yöntem MATLAB/Simulink ortamında tasarlanmıştır. Simülasyon sonuçları doğrultusunda, önerilen yöntemin PI kontrolöründen farklı olarak değişik ışınım ve sıcaklık değerlerinde bile maksimum güç noktasını izleyebilme etkinliği ortaya konulmuştur [35].

## **1.2. Tezin Amacı**

Enerji talebindeki artışın, fosil kaynaklı enerji kaynaklarından karşılanması küresel ısınma, çevre kirliliği, hava kirliliği ve sağlık tehditleri gibi birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Bu enerji kaynaklarının günümüzdeki kullanımıyla gelecek yüzyılda tükenecek olması alternatif enerji kaynaklarına yönelimine sebep olmuştur. Güneş enerjisi, elektrik enerji üretiminde en popüler kaynaklardan biridir. Ancak günümüzde FV sistemlerinin ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve güneşten gelen ışınların yalnızca küçük bir kısmının elektrik enerjisine dönüştürülebilmesi, FV sistemlerin en önemli sorunudur.

FV sistemlerden yüksek verim elde edebilmek için bu sistemlerin maksimum güç noktasında çalıştırılması gerekir. FV sistemlerin enerji üretim kapasiteleri sıcaklık ve ışınımına bağlı olarak her an değişim göstermektedir. Değişen çevre koşullarına rağmen güneş enerjisinden üretilen enerji miktarını yüksek seviyede tutmak amacıyla literatürde çeşitli MGNT algoritmaları geliştirilmiştir. Bu algoritmalarından bazıları sıralanırsa;

gözle ve uygula (P&O), bulanık mantık, parçacık sürü optimizasyonu vb. en çok tercih edilen MGNT algoritmaları arasında gösterilebilir.

Bu tez çalışmasında, FV sistemlerin veriminin yükseltilmesi amacıyla yapılan çalışmalara yardımcı bulunabilmek için gözle ve uygula (P&O) ve bulanık mantık MGNT yöntemleri ele alınmıştır. MATLAB/Simulink benzetim programında bu yöntemler ayrı ayrı tasarlanarak çalışma performansları incelenmiştir. Elde edilen bulgular sonucunda FV sistemler için uygun olan MGNT yönteminin belirlenmesi hedeflenmiştir.



## BÖLÜM 2

### ENERJİ KAYNAKLARI

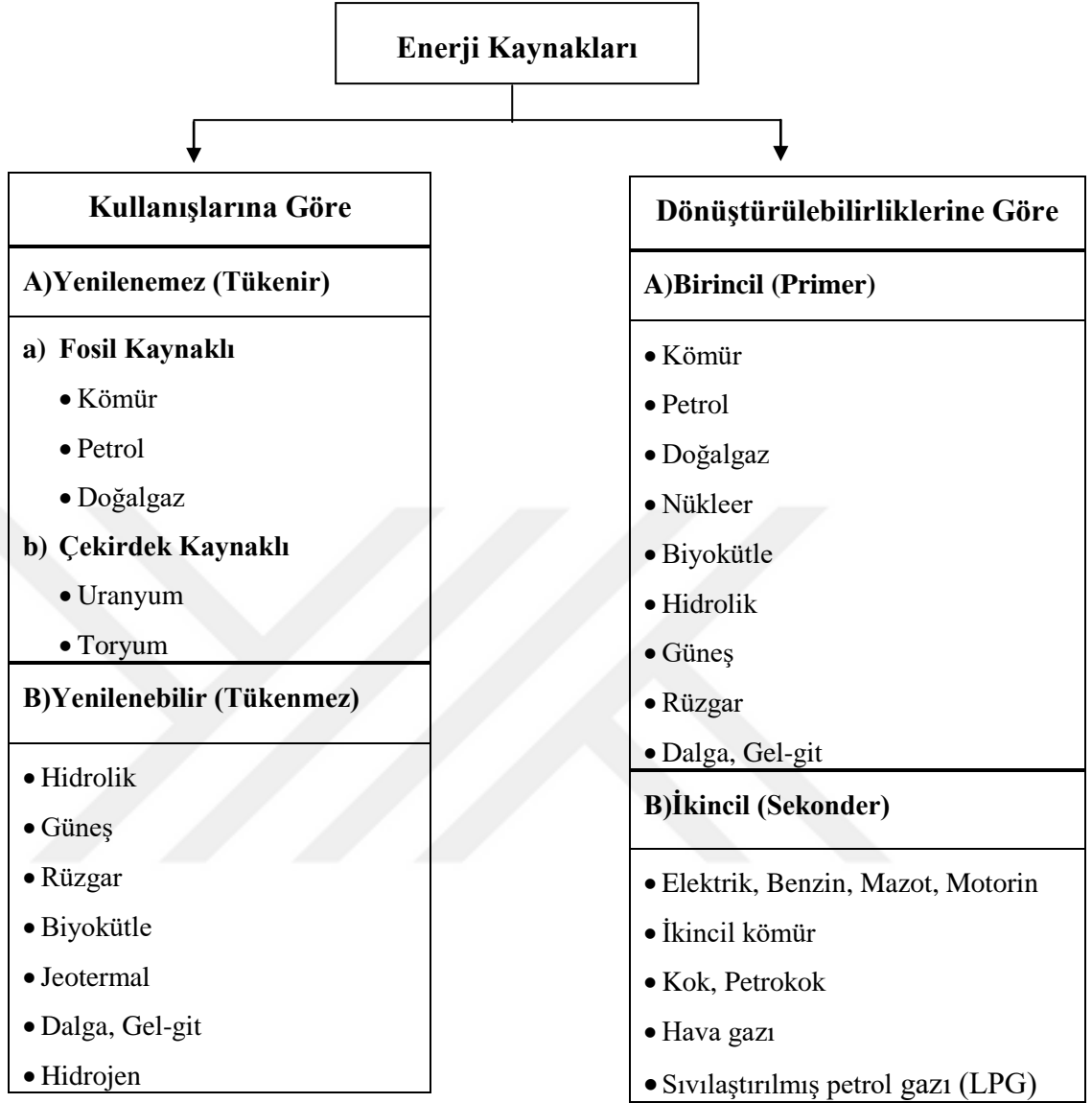
Enerji, insan hayatında vazgeçilmez bir yere sahiptir. İnsan yaşamında teknolojik cihazların gün geçtikçe daha fazla yer alması, fabrikalarda, elektrikli ile çalışan otomobillerde ve sokak aydınlatmaları gibi hemen hemen hayatımızın her alanında enerjinin kullanılması enerjiyi temel bir gereksinim haline getirmiştir [36,37].

Günümüzde enerji ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin belirlenmesindeki en önemli unsurlardan biridir [38]. Enerjiye duyulan ihtiyaç artan nüfus miktarı, sanayileşme ve endüstriyelleşme gibi sebeplerden dolayı gün geçtikçe daha çok artış göstermektedir [39].

Enerji kısaca “iş yapabilme gücü” anlamına gelmektedir ve ısı enerji, ışık enerjisi, kimyasal enerji, mekanik enerji, elektrik enerjisi ve nükleer enerji gibi farklı türleri bulunmaktadır [40].

Enerji kaynakları, enerjinin herhangi bir yolla üretilmesini sağlayan kaynaklardır [41]. Enerji kaynakları genel olarak kullanılışlarına ve dönüştürülebilirliklerine göre sınıflandırılmaktadır. Şekil 2.1’de Enerji kaynaklarının sınıflandırılması gösterilmiştir [37].

Enerji kaynakları, niteliklerinin değişip değişmemesi açısından “birincil” ve “ikincil enerji kaynakları” olarak ikiye ayrılmaktadır. Birincil enerji kaynakları, doğada olduğu gibi değiştirilmeden kullanılabilen kaynaklardır. Örneğin; kömür, linyit, petrol, doğalgaz, jeotermal enerji, hidrolik enerji, güneş enerjisi, odun, hayvan ve bitki artıkları bu tür enerji kaynaklarıdır. İkincil enerji kaynakları, birincil kaynakların çeşitli işlemlerle arıtılmasıyla elde edilen enerji türleridir. Örneğin; elektrik enerjisi, dizel, benzin, gazyağı vb. bu tür enerji kaynaklarıdır. Kullanılışlarına göre enerji kaynakları ise yenilenebilir ve yenilenemez olarak ayrılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgâr, biyokütle, su gücü, dalga gücü, okyanus akıntıları, jeotermal enerjidir. Yenilenemeyen enerji kaynakları, maddenin tekrar kullanılmadığı enerji kaynağı olarak tanımlanır. Kömür, petrol, doğal gaz ve uranyum bu gruba dâhildir [42].



Şekil 2.1. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması

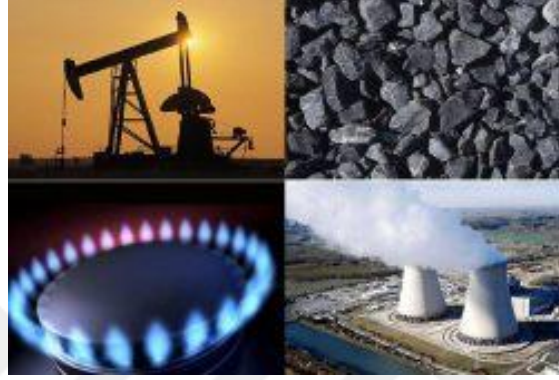
## 2.1. Yenilenemez Enerji

Gelişen dünyada enerji ihtiyacı her geçen gün artmaktadır. Bu ihtiyacın çok büyük bir kısmı yenilenemez enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. Yenilenemez enerji kaynakları doğada var olan ve bir kez kullanıldıklarında kendini yenileyemeyen enerji kaynakları olup fosil kaynaklılar ve çekirdek kaynaklılar olarak iki grupta sınıflandırılır [40,43]. Yenilenemez enerji kaynaklarından bazıları Şekil 2.2’de gösterilmiştir.

Canlıların yaşamlarının son bulması sonucu zamanla fiziksel hava koşulları sebebiyle üzerleri toprak, çamur gibi etmenler tarafından kaplanır. Havayla olan temasının



kesilmesiyle uzun yıllar boyunca ölü durumdaki kalıntı bozulmadan kalabilmektedir. Zaman içerisinde ölmüş canlı kalıntılarının oksijensiz ortamda çözülmesi sonucunda fosil haline gelir. Fiziksel hava koşullarına bağlı olarak canlının fosilleşme halleri farklılık göstermektedir. Bazı canlılar kömür haline dönüşürken bazılarıysa petrol veya doğal gaz haline dönüşmektedir. Bu dönüşüm ile birlikte fosil yakıtları meydana gelmektedir [44].



Şekil 2.2. Yenilenemez enerji kaynakları

Enerji üretimi fosil yakıtları yakılarak gerçekleştirilmektedir. Kömür, petrol, doğal gaz gibi fosil yakıtlarının yakılması ile CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> gibi gazlar açığa çıkmaktadır [45]. Fosil yakıtlarının kullanılması beraberinde sera gazı salınımı, iklimsel değişiklik, çevre kirliliği, asit yağmurlarının oluşması, buzulların erimesi ve küresel ısınma gibi birçok olumsuz sonucu da getirir [46,47]. Dünya Enerji Forumu, fosil bazlı kömür, petrol ve doğalgaz rezervlerinin günümüzdeki haliyle tüketilmesi durumunda önümüzdeki yüzyıl içerisinde tükeneceğini öngörmektedir [47,48]. Fosil yakıtlı enerji kaynaklarının sınırlı olması, çevreye ve atmosfere verdiği zararı önleyebilmek ve artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için insanların alternatif enerji kaynakları arayışına girmesine yol açmıştır [49,50].

## 2.2. Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir Enerji (YE), insanların enerji ihtiyacını karşılayabilmek için petrol, kömür, doğal gaz gibi fosil yakıtlı enerji kaynaklarına alternatif oluşturmaktadır [39]. Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre "Sürekli yeniden doğan ve doğal süreçlerden ortaya çıkan enerji" yenilenebilir enerji olarak tanımlanmaktadır [51].

Yenilenebilir Enerji Kaynakları (YEK), doğada herhangi bir üretim sürecine dâhil olmadan kendiliğinden oluşan, kaynağın tükenme hızından daha hızlı bir şekilde kendini yeniden yenileyebilen ve kullanıma hazır halde doğada bulunan güneş, rüzgâr, hidrolik, jeotermal, biyokütle gibi enerji kaynaklarını ifade etmektedir [39, 44, 52].

Yenilenebilir enerji kaynakları Şekil 2.3’de gösterildiği gibi güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, hidro enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, dalga enerjisi ve hidrojen enerjisinden oluşmaktadır. Bunlardan Güneş Enerjisi, güneşin çekirdeğinde yer alan hidrojen gazının helyum gazına dönüşmesi sonucu yani füzyon reaksiyonun meydana gelmesi ile açığa çıkan çok güçlü bir enerjidir. Bu enerjiden faydalanabilmek için güneş pilleri (fotovoltaik piller), güneş kolektörleri ve güneş santralleri gibi teknolojiler geliştirilmiştir. Isı enerjisi ve elektrik enerjisi olarak birçok alanda kullanılmaktadır [40].

Rüzgâr enerjisi, rüzgârın fazla olduğu bölgelere kurulan türbinler sayesinde sağlanır. Rüzgâr enerji santrallerinin (RES) ana elemanı olan türbinler mevcut olan rüzgârın kinetik enerjisini öncelikle mekanik enerjiye daha sonra elektrik enerjisine dönüştüren makinelerdir [53,54]. İlk kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve her bölgeye kurulumlarının mümkün olmaması gibi dezavantajları olsa da çevreyi kirletmemesi, sonsuz bir enerji imkânı sağlaması, dışa bağımlılığın olmaması ve bakım maliyetlerinin düşük olması gibi avantajlara sahiptir [55-57].

Hidrolik Enerji, akarsuların hızlı bir biçimde akması ve yüksek yerlerden düşmesiyle kazanılan kinetik enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilen enerji türüdür [58]. Temiz, ucuz ve dünyada en yaygın bir biçimde kullanılan yenilenebilir enerji kaynağıdır [55,56].

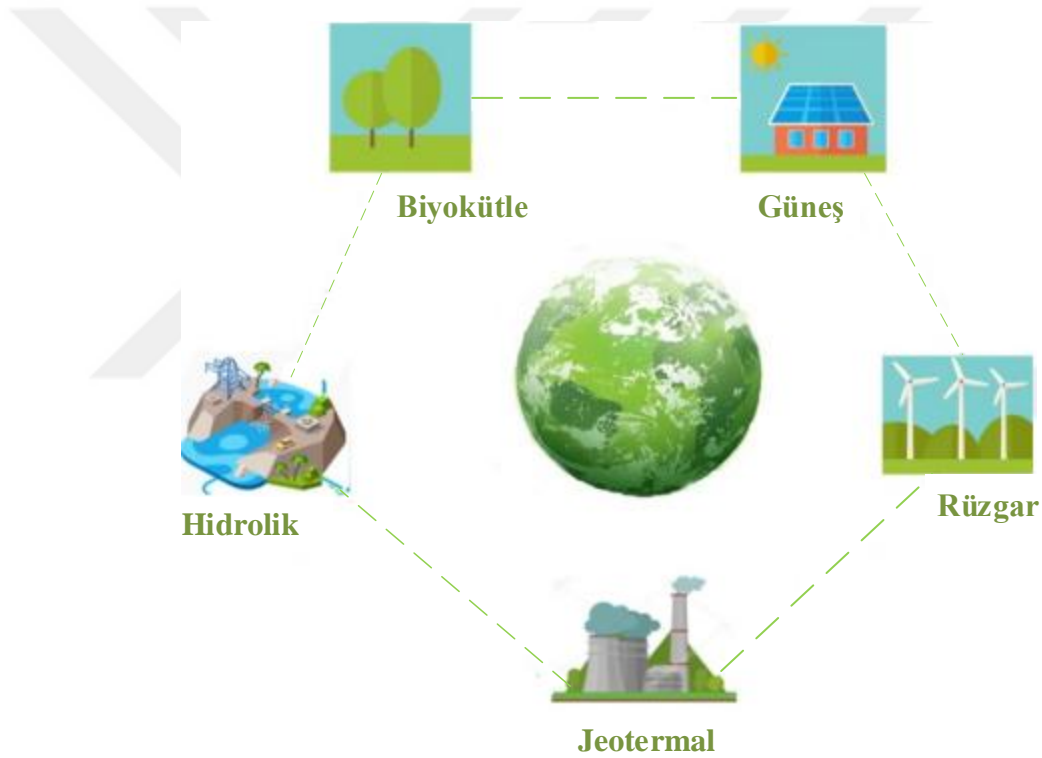
Jeotermal Enerji, yerkabuğunun derinlerinde birikmiş basınç altındaki su buharı, gaz gibi sıcak akışkanlar ve sıcak kuru kayaların kapsadığı termal enerji olarak ifade edilmektedir. Jeotermal santraller sayesinde elektrik enerjisine dönüştürülerek elektrik enerjisi üretiminde kullanılmaktadır [58]. Bunun dışında bölge ısıtımında, termal turizmde, yoğun yağın kar sonucu buzlanmaları çözmede ve kimyasal maddelerin elde edilmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır [56].

Biyokütle Enerjisi, temel bileşenleri karbonhidrat bileşiklerinden oluşan bitkisel veya hayvansal maddelerin yakılarak veya farklı işlemlere tabi tutularak elde edilen enerji

türüdür [53, 58]. Bu enerji yakıt olarak kullanılması sebebiyle biyoyakıt da denilmektedir [55]. Atıklardan, çöplerden kaynak oluşturduğu için çevre kirliliğini azaltmaktadır [58].

Dalga Enerjisi, denizin yüzeyinde rüzgârdan kaynaklı oluşan dalgalardan elde edilmektedir. Belli bölgelerde ve belli zamanlarda elde edilmesi dezavantaj oluştursa da tükenmez bir enerji imkânı sağlamaktadır [55].

Hidrojen Enerjisi, suyun çevrimi enerjisinden oluşmaktadır. Karbon içermediği için çevre kirliliğine neden olmamaktadır ve çok tercih edilen enerji kaynaklarından biridir [41, 55].



Şekil 2.3. Yenilenebilir enerji kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı fosil yakıtları gibi insan sağlığı üzerinde önemli etkileri olan karbon monoksit, kükürt dioksit, nitrojen dioksit gibi emisyonlara neden olmamakla birlikte minimum veya sıfır karbondioksit emisyonu ile elektrik üretilebilmesi sebebiyle temiz bir enerji kaynağıdır [59]. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları sınırsız bir enerji imkanı sunması, ülkelerin enerji ihtiyaçlarını doğal kaynaklardan sağlayarak dışa bağımlılıklarını azaltması ve canlı dostu olması gibi bir çok avantaja sahiptir [60].

### 2.2.1. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi, Dünya üzerindeki kaynağı güneş olan, yenilenebilir bir enerjidir. Doğal bir enerji kaynağı olan bu enerji türü, diğer yenilenebilir enerji kaynakları arasında en popüler olanıdır. Güneş'in çekirdeğinde mevcut olan hidrojen gazının helyum gazına dönüşmesiyle füzyon reaksiyonu gerçekleşmektedir. Füzyon reaksiyonunun oluşmasıyla açığa çıkan ışıyım enerjisi, güneş enerjisidir. Başka bir deyişle Güneş'ten Dünya'nın 1 m<sup>2</sup> yüzeyine watt olarak düşen enerji güneş enerjisidir. Bu enerji türünden faydalanılarak enerji üretimi hususundaki çalışmalar özellikle 1970'li yıllarda sonra hız kazanmıştır. Böylelikle teknolojik bakımdan gelişim ve maliyet açısından bir düşüş sağlanmıştır [61].

Güneş ışınlarının tamamı yer yüzeyine ulaşmamaktadır. Bu ışınların bir kısmı atmosferde tutulurken, yaklaşık %30'luk kısmı ise dünya atmosferi tarafından geri yansıtılmaktadır. Dünya yüzeyinde radyasyon olarak alınan, Güneş'ten gelen enerjinin yalnızca bir kısmı emilebilmektedir ve farklı kullanılabilir enerji biçimlerine dönüştürülebilmektedir [46, 62]. Atmosferin dışında güneş enerjisinin şiddeti, yaklaşık olarak 1370 W/m<sup>2</sup> değerindeyken yeryüzüne ulaşan miktarı atmosferden kaynaklı olarak 0-1100 W/m<sup>2</sup> değerleri arasında değişim göstermektedir. Bu enerjinin dünyaya gelen yalnızca küçük bir kısmı dahi dünyadaki mevcut enerji tüketiminden oldukça fazladır [61]. Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre, 90 dakikada yeryüzüne gelen güneş enerjisi, tüm dünyanın bir yıllık enerji ihtiyacını karşılayacak miktardadır [63].

Güneş enerjiden yararlanabilmek için çeşitli teknolojiler geliştirilmiştir. Fotovoltaik sistemler ve yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemleri (CSP) sayesinde güneşten gelen radyan enerji elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Bu sistemler aracılığıyla üretilen elektrik enerjisi, sistemlerin topladıkları güneş enerjisi miktarı ile ilişkilidir. Güneş ışıyımının dünya üzerindeki dağılımı, ışınların geliş açısına ve güneşe olan mesafeye bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bir noktadaki güneş ışıyımı, dünyanın yıllık hareketi sırasında güneş ile arasındaki uzaklığın ve açının değişimine, o yerin coğrafi konumuna ve günlük atmosferik olaylarına göre farklılık göstermektedir. Ülkemizin de dünya üzerinde bulunduğu konum itibariyle güneş enerji potansiyeli oldukça yüksektir.

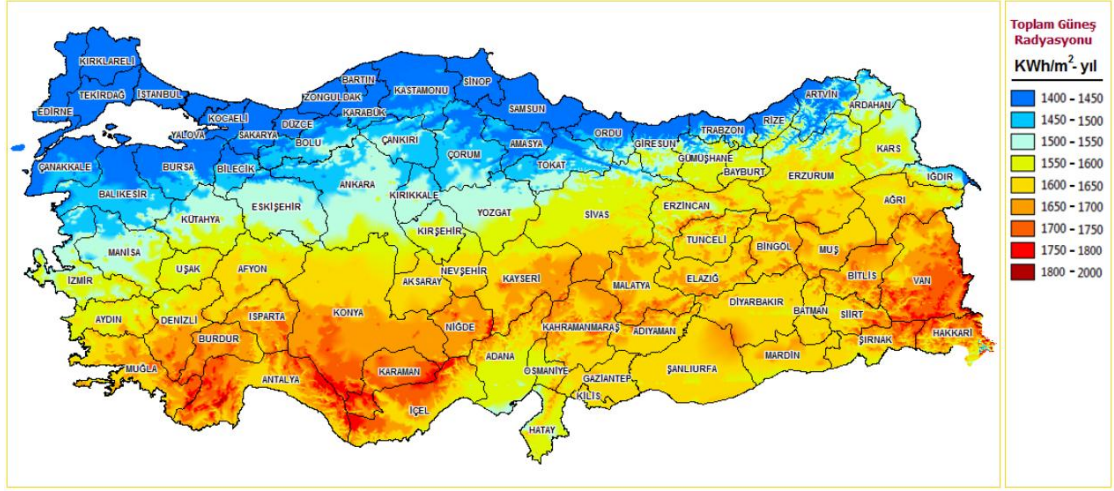
Dünya enerji talebinde, güneş enerjisi kaynağı önemli bir yere sahiptir. Güneş enerjisi, kullanımının kolay olması, kullanıldığında CO<sub>2</sub> gibi çevreye herhangi bir zararlı gaz

salınımına sebep olmaması ve herhangi bir atık madde üretmemesi nedeniyle en temiz enerji kaynaklarından biridir. Kullanım ömürlerinin uzun olması, gürültü oluşturmaması ve yakıt gereksiniminde bulunmadan sıcak su, ısınma, soğutma, elektrik üretimi gibi birçok uygulama sağlaması sebebiyle bu enerji türünün kullanımı büyük önem arz etmektedir. Doğal kaynaktan elde edilen bu enerji, güneşin olduğu zamanlarda sınırsız olması ve tükenmeyen bir enerji imkânı sunmasından dolayı güneş enerjisine olan ilgi artmıştır [46, 64]. Öte yandan ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması, bulutlu günlerde ve çevre kirliliği sebebiyle panellerin tozlanması sonucu enerji üretim verimliliklerinin düşük olması gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

#### **2.2.1.1. Türkiye'deki Güneş Enerji Potansiyeli**

Dünya güneş kuşağı, Ekvator'un 40° kuzey ve 40° güney enlemleri arasında kalan bölgedir. Güneş kuşağında bulunan ülkeler güneş enerjisinden ekonomik olarak faydalanmaktadır. Türkiye güneş kuşağında yer alan bir ülkedir. Konumu itibarıyla 36-42° kuzey paralelleri, 26-45° doğu meridyenleri arasında yer almaktadır. Türkiye coğrafi konumu nedeniyle güneş enerji potansiyeli yüksek olup birçok ülkeye kıyasla daha avantajlı durumdadır.

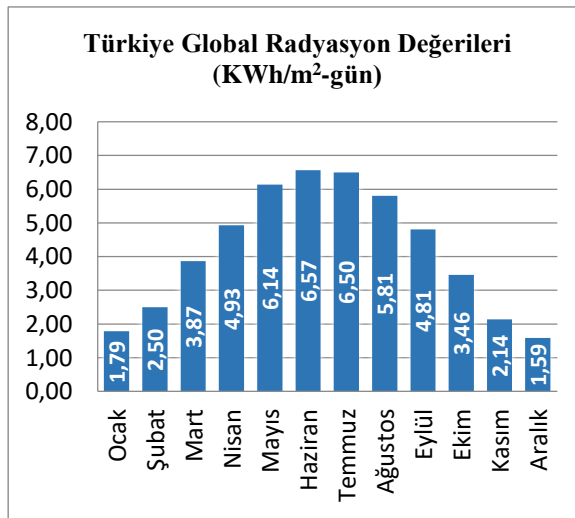
Ülkemizde güneş enerjisi alanında yapılacak çalışmalarda uygun alanların belirlenmesi için Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) tarafından "Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası" oluşturulup kullanıma sunulmuştur. Harita 2.1'de Türkiye'nin Güneş Enerji Potansiyeli Atlası yer almaktadır [65]. Renk bilgisi, maviden kırmızıya renk skalasında ki yıllık ışıma değerine karşılık gelmektedir. Bu renkler güneş ışıını değerlerine göre 1400-2000 KWh/m<sup>2</sup>-yıl arasında değişim göstermektedir. Güneş ışıınmasından en yüksek seviyede yararlanılabilecek şehirler açık ve koyu kırmızı tonlarda en düşük seviyede yararlanılabilecek şehirler ise açık ve koyu mavi tonlarda belirtilmiştir. Haritada görüldüğü üzere ülkenin güney ve doğu kesimleri, batı ve kuzey kesimlerine göre daha yüksek güneşlenme oranlarına sahiptir.



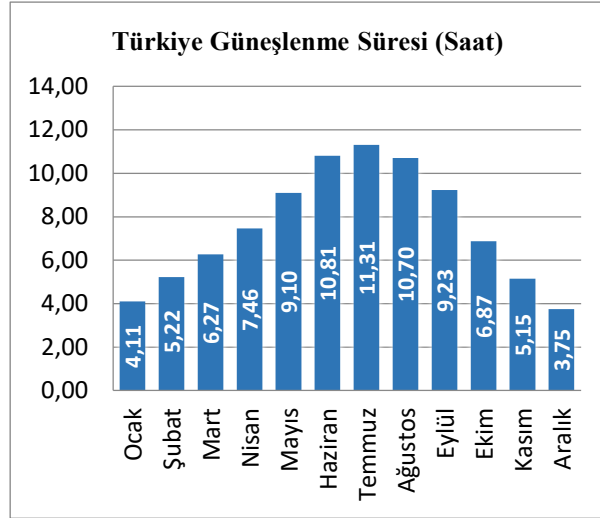
Harita 2.1. Türkiye'nin güneş enerji potansiyeli atlası (GEPA)

Şekil 2.4'de gösterilen grafikteki değerler aylık bazda ortalama günlük global radyasyon değerlerini ifade etmektedir [65]. Global radyasyon değerine bakıldığında en yüksek ışınım şiddetinin Haziran ayında  $6,57 \text{ KWh/m}^2\text{-gün}$  ve en düşük ışınım şiddetinin Aralık ayında  $1,59 \text{ KWh/m}^2\text{-gün}$  olduğu görülmektedir.

Şekil 2.5'te yer alan grafikte ise ülkemizin aylık bazda ortalama günlük güneşlenme süreleri gösterilmiştir [65]. En yüksek güneşlenme süresi 11,31 saat ile Temmuz ayında gerçekleşmiş iken en düşük güneşlenme süresi ise Aralık ayında 3,75 saat olarak gerçekleşmiştir.



Şekil 2.4. Türkiye global radyasyon değerleri ( $\text{KWh/m}^2\text{-gün}$ )



Şekil 2.5. Türkiye güneşlenme süreleri (saat)

Türkiye'nin güneş enerji potansiyelinin toplam, ortalama ve aylara göre dağılımı Tablo 2.1'de detaylı bir şekilde gösterilmiştir [65]. Ülkemizin ortalama günlük toplam ışınım şiddeti  $4,18 \text{ KWh/m}^2\text{-gün}$  olup ortalama yıllık toplam  $1527,46 \text{ KWh/m}^2\text{-yıl}$  ( $4,18 \times 365$ ) global radyasyon değerindedir. Ülkemizin ortalama günlük toplam güneşlenme süresi ise  $7,50 \text{ saat-gün}$  olup ortalama yıllık toplam  $2741,07 \text{ saat-yıl}$  ( $7,50 \times 365$ ) güneşlenme süresine sahiptir. Bu veriler göz önünde bulundurulduğunda Türkiye'nin yüksek güneş enerji potansiyeline sahip olduğu görülmektedir ve bu açıdan birçok Avrupa ülkesi arasında öne çıkmaktadır [66].

Türkiye'de ki yedi farklı bölgenin yıllık ortalama ışınım şiddetleri ve güneşlenme süreleri Tablo 2.2'de sıralı bir şekilde gösterilmiştir. Güneş kuşağında bulunan ülkemizde güneyden kuzeye doğru gidildikçe güneş enerji potansiyeli azalmaktadır [67]. Güneydoğu Anadolu Bölgesi en yüksek güneş enerji potansiyeline sahip bölgemiz olup devamında Akdeniz Bölgesi gelmektedir. Karadeniz Bölgesi ise güneş enerji bakımında en fakir bölgemizdir. Bunun sebebi Güneydoğu Anadolu Bölgesinin ekvatorial bölgeye daha yakın, Karadeniz Bölgesinin ise ekvatorial bölgeye en uzak olmasından dolayıdır. Diğer bir nedeni ise Karadeniz Bölgesi coğrafi konumundan dolayı en çok yağış alan bölge olup diğer bölgelere göre en az güneş ışığına maruz kalan bölge olmasıdır [67,68].

Tablo 2.1. Türkiye'nin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı

Aylar	Aylık Toplam Işınım Şiddeti (KWh/m <sup>2</sup> -ay)	Aylık Toplam Güneşlenme Süresi (saat/ay)
Ocak	55,49	127,41
Şubat	70	146,16
Mart	119,97	194,37
Nisan	147,9	223,8
Mayıs	190,34	282,1
Haziran	197,1	324,3
Temmuz	201,5	350,61
Ağustos	180,11	331,7
Eylül	144,3	276,9
Ekim	107,26	212,97
Kasım	64,2	154,5
Aralık	49,29	116,25
<b>Toplam</b>	<b>1527,46</b>	<b>2741,07</b>
<b>Ortalama</b>	<b>4,18 KWh/m<sup>2</sup>-gün</b>	<b>7,50 (saat/gün)</b>

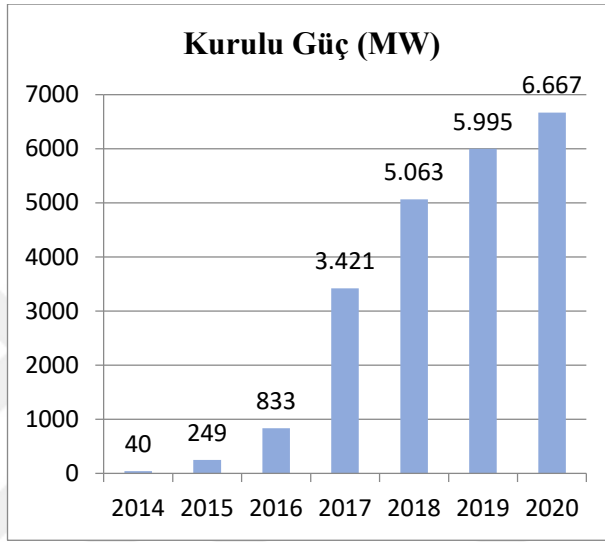
Tablo 2.2'de verilen değerlerin Türkiye'nin gerçek potansiyelinin altında olduğu daha sonraki yapılan çalışmalar doğrultusundan belirlenmiştir. 1992 yılından itibaren Elektrik İşleri Etüd İdaresi (EİE) ile Devlet Meteoroloji İşleri (DMİ) güneş enerjisi değerlerinin daha doğru sonuçlarına ulaşabilmek amacıyla güneş enerjisi ölçümleri yapmaktadır. Devam eden ölçüm çalışmaları sonucunda alınacak yeni veriler doğrultusunda eskiye nazara güneş enerjisi potansiyelinin %20-25'in üzerine çıkması beklenmektedir [42].

Tablo 2.2. Bölgelerin ışıınım şiddetleri ve güneşlenme süreleri

Türkiye'nin Bölgeleri	Işınım Şiddeti (KWh/m <sup>2</sup> -yıl)	Güneşlenme Süresi (saat/yıl)
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	1460	2993
Akdeniz Bölgesi	1390	2956
Doğu Anadolu Bölgesi	1365	2664
İç Anadolu Bölgesi	1314	2628
Ege Bölgesi	1304	2738
Marmara Bölgesi	1168	2409
Karadeniz Bölgesi	1120	1971



2014 - Aralık 2020 yılları arasında güneş enerjisi kurulu gücünün yıllara göre değişimi Şekil 2.6'da verilmiştir. Türkiye 2014 yılı öncesinde kayda değer bir güneş enerjisi kurulu gücüne sahip değildi. Fakat 2014 yılından bu yana özellikle 2016 yılından sonra güneş enerjisi kurulu gücünde önemli bir artış olmuştur. 2014 yılında 40 MW olan kurulu güç, Aralık 2020 sonu itibariyle 6667 MW seviyesine ulaşmıştır. 2020 yılında güneş enerjisinin toplam elektrik üretimi içerisindeki payı ise %3,66 'dır [65].

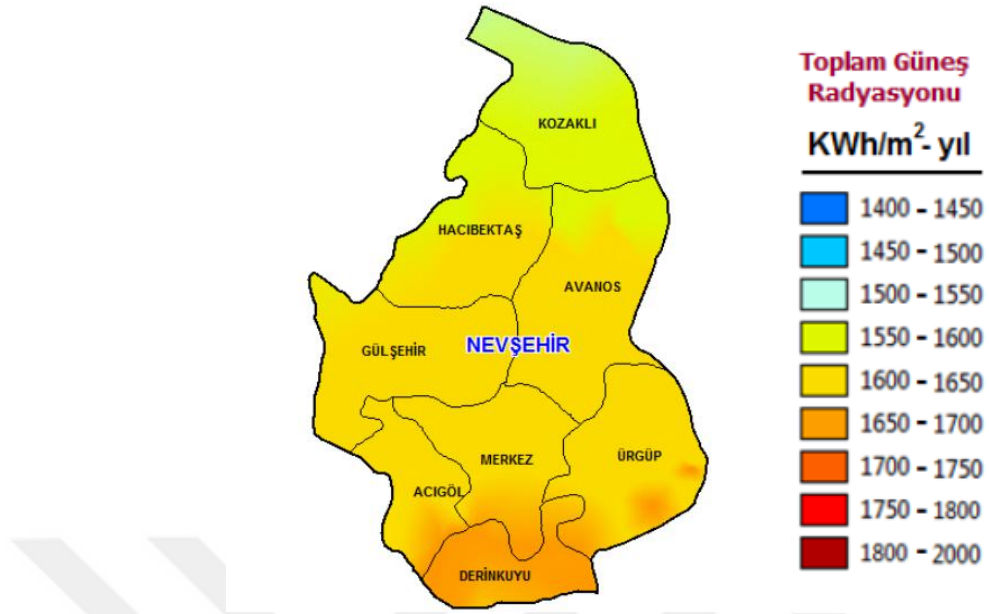


Şekil 2.6. Türkiye'de güneş enerjisi kurulu gücü 2014- Aralık 2020

### 2.2.1.2. Nevşehir İli Güneş Enerji Potansiyeli

Nevşehir İli coğrafi konumu itibariyle İç Anadolu Bölgesinde, 38° 12' ve 39° 20' kuzey enlemleriyle; 34° 11' ve 35° 06' doğu boylamları arasındadır. Konya Kapalı Havzasında yer alan Derinkuyu ilçesi dışında il tamamıyla Orta Kızılırmak Havzasında yer almaktadır. İl alanı, doğudan Kayseri, kuzey doğudan Yozgat, kuzey ve kuzey batıdan Kırşehir, güneyden Niğde, güney batı ve batıdan Aksaray illeriyle çevrilmiştir. Nevşehir konum olarak Türkiye'nin tam ortasında olup, ülke topraklarının binde 7'sini kaplamaktadır. Nevşehir'in rakımı 1124 m, yüzölçümü ise 5392 km<sup>2</sup> 'dir.

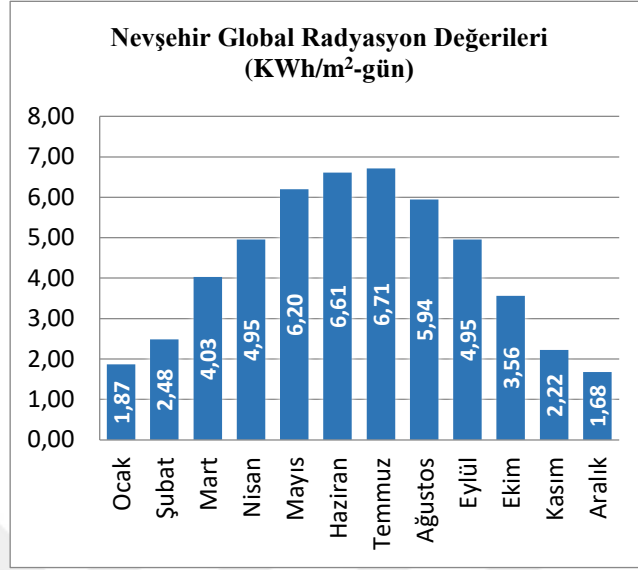
Nevşehir İlinin Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından yayınlanan güneş enerjisi potansiyel atlası Şekil 2.7'de gösterilmiştir [65]. Nevşehir İlinin güney kısımları özellikle de Derinkuyu ilçesi daha yüksek güneş radyasyon miktarına sahiptir. Haritada görüldüğü üzere Nevşehir İli 1550-1700 KWh/m<sup>2</sup>-yıl değerleri arasında güneş radyasyon oranına sahiptir.



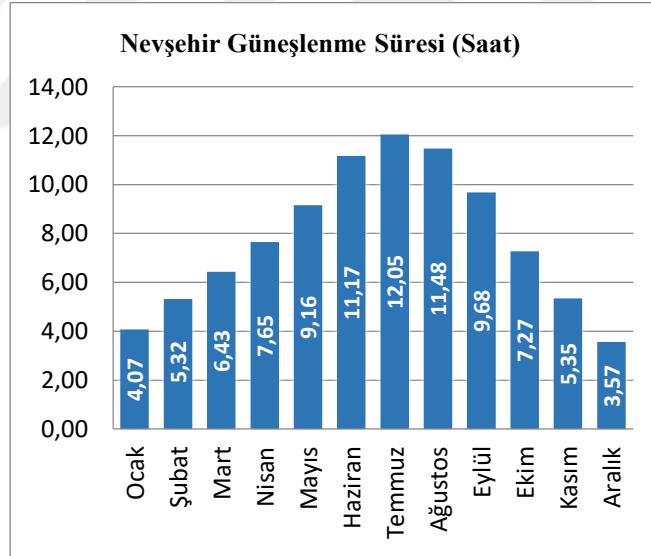
Şekil 2.7. Nevşehir ili güneş enerji potansiyel atlası

Nevşehir ilinin aylık bazda ortalama günlük global radyasyon değerleri Şekil 2.8’de yer almaktadır [65]. Nevşehir ili Temmuz ayında 6,71 KWh/m<sup>2</sup>-gün değeriyle en yüksek ışıınım değerine, Aralık ayında ise 1,68 KWh/m<sup>2</sup>-gün değeriyle en düşük ışıınım değerine sahiptir.

Nevşehir ilinin aylık bazda ortalama günlük güneşlenme süreleri Şekil 2.9’da verilmiştir [65]. Güneşlenme sürelerine bakıldığında 3,57 saat ile Aralık ayında minimum güneşlenme süresindeyken 12,05 saat ile Temmuz ayında maksimum değere ulaştığı görülmektedir. Nevşehir, diğer aylara kıyasla yaz aylarında daha fazla güneş ışığını almaktadır. Bundan dolayı yaz aylarında güneş enerjisinden elektrik üretimi en fazladır.



Şekil 2.8. Nevşehir ili aylık ortalama global radyasyon değerleri (KWh/m<sup>2</sup>-gün)



Şekil 2.9. Nevşehir ili aylık ortalama güneşlenme süreleri (saat)

Nevşehir ilinin güneş enerjisi potansiyelinin toplam, ortalama ve aylara göre dağılımı Tablo 2.3'de detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Nevşehir ili ortalama yıllık toplam 2839,39 saat güneşlenme süresine ve ortalama yıllık toplam 1561,03 KWh/m<sup>2</sup>-yıl ışınlam şiddetine sahiptir. Ülke ortalaması dikkate alındığında ülke ortalamasının üzerindedir. Bu veriler doğrultusunda Nevşehir ilinin güneş enerjisinde yararlanılabilmek için elverişli bir bölge olduğu söylenilebilir.

Tablo 2.3. Nevşehir ilinin toplam güneş enerjisi potansiyelinin aylara göre dağılımı

Aylar	Aylık Toplam Işınım Şiddeti (KWh/m <sup>2</sup> -ay)	Aylık Toplam Güneşlenme Süresi (saat/ay)
Ocak	57,97	126,17
Şubat	69,44	148,96
Mart	124,93	199,33
Nisan	148,5	229,5
Mayıs	192,2	283,96
Haziran	198,3	335,1
Temmuz	208,01	373,55
Ağustos	184,14	355,88
Eylül	148,5	290,4
Ekim	110,36	225,37
Kasım	66,6	160,5
Aralık	52,08	110,67
<b>Toplam</b>	<b>1561,03</b>	<b>2839,39</b>
<b>Ortalama</b>	<b>4,27 KWh/m<sup>2</sup>-gün</b>	<b>7,77 (saat/gün)</b>

Nevşehir ilinde bulunan aktif ve yapım aşamasındaki güneş enerji santrallerinin listesi Tablo 2.4’de verilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere aktif çalışan 5 farklı güneş enerji santrali bulunmaktadır. Bu güneş enerji santrallerinden 17 MW kurulu güce sahip Derinkuyu Güneş Enerji Santrali ilin en büyük GES’idir. İkinci büyük GES ise 4 MW kurulu gücü olan Ede Yol Yapı Enerji ve Güldan GES’dir. Aktif olarak çalışan üçüncü en büyük tesis ise 1,97 MW kurulu güç ile Beşiktaş ve Kadıköy Güneş Enerji Santrali’dir. Hala aktif olarak çalışmasını sürdüren güneş enerji santrallerinin toplam kurulu gücü yaklaşık olarak 23,43 MW’tır.

Nevşehir ilinde yapım aşaması sürecinde olan 4 tane güneş enerji santralleri vardır. Bunlardan Hamzalı GES toplam kurulu gücü 5,90 MW, Tekno Enerji GES 3 MW, Hacıbektaş Belediyesi GES 1 MW ve BEC Tarım GES ise 0,5 MW kurulu gücü ile planlanmıştır. Yapım aşaması sürecinde olan güneş enerji santrallerinin toplam kurulu gücü yaklaşık olarak 10,40 MW’tır. Yapım aşamasında bulunan 4 GES’inde faaliyete geçmesiyle bölgedeki güneş enerji santrallerinin gücü 33,83 MW seviyesine ulaşacaktır. Böylece GES’ler bugün ki ekonomiye sağladığı katkıdan çok daha fazla katkı sağlayacaktır.

Tablo 2.4. Nevşehir ilindeki aktif ve yapım aşamasındaki güneş enerji santralleri

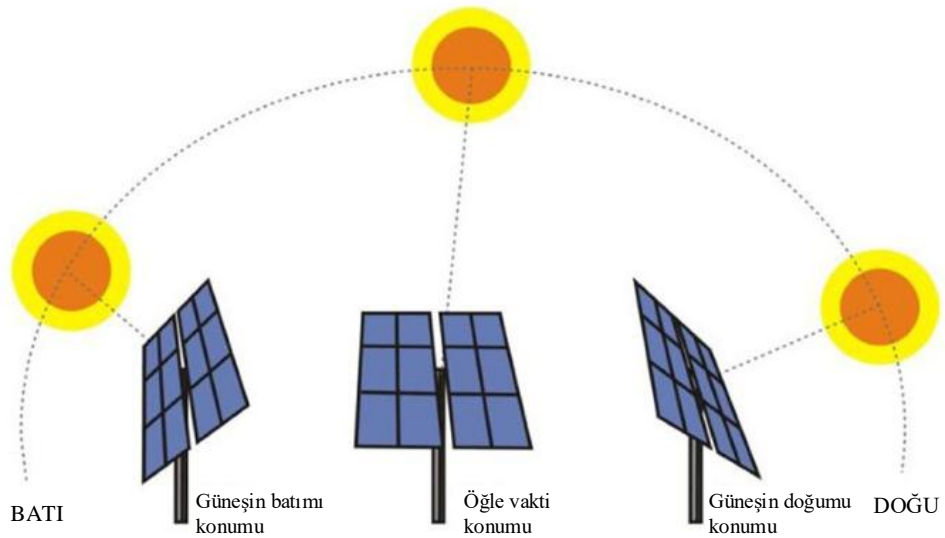
<b>Aktif Güneş Enerji Santralleri</b>			
<b>Santral Adı</b>	<b>İlçe</b>	<b>Firma</b>	<b>Kurulu Güç (MW)</b>
Derinkuyu Güneş Enerji Santrali	Derinkuyu		17
Ede Yol Yapı Enerji ve Güldan GES	Merkez	Ede Yol Yapı Enerji	4,00
Beşiktaş ve Kadıköy Güneş Enerji Santrali	Gülşehir		1,97
Blok Bims Güneş Santrali	Merkez	Blok Bims	0,28
Nevşehir Belediyesi Güneş Enerji Santrali	Merkez	Nevşehir Belediyesi	0,18
<b>Toplam GES Gücü</b>	<b>23,43 MW</b>		
<b>Yapım Aşamasındaki Güneş Enerji Santralleri</b>			
Hamzalı Güneş Enerji Santrali	Gülşehir		5,90
Tekno Enerji Nevşehir GES	Derinkuyu	Tekno Enerji	3,00
Hacıbektaş Belediyesi Güneş Enerji Santrali	Hacıbektaş	Hacıbektaş Belediyesi	1,00
BEC Tarım Güneş Enerji Tesisi	Merkez	BEC Tarım	0,50
<b>Toplam GES Gücü</b>	<b>10,40 MW</b>		

## BÖLÜM 3

### GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİ

Dünyanın günlük ve mevsimsel hareketi sebebiyle güneş ışınlarının yönü sürekli değişir. Güneş, Doğudan Batıya doğru hareket etmektedir. Belirli bir açıyla sabitlenmiş ve eğimli olan sabit güneş paneli öğle vakti mevcut olan enerjinin yüksek bir oranını toplamak üzere konumlandırılrsa da, sabahın erken saatlerinde ve öğleden sonra geç saatlerde de önemli miktarda mevcut olan güçten faydalanamamaktadır. Bu nedenle verimlilikleri düşüktür.

Güneş panelinin yüzeyine gelen güneş ışığının geliş açısı elde edilebilecek güç miktarı için önemli bir unsurdur. Güneş ışığının geliş açısı dikeye ne kadar yakınsa elde edilebilecek güç miktarı o kadar büyük olur. Fotovoltaik panellerden maksimum çıkış gücü elde edebilmek için güneş ışınlarının panel yüzeyine mümkün olduğunca dik açıyla ulaşması gerekmektedir. Bu ancak güneş panelini sürekli güneşe bakacak şekilde eğerek sağlanabilir. Güneşin pozisyonunu algılama ve takip etme süreci ‘Güneş Takip Sistemi’ olarak bilinir [69]. Güneş takip sistemleri, fotovoltaik sistemlerin verimliliğini arttırmak için gün boyunca güneş ışığını takip edecek şekilde tasarlanan sistemlerdir. Güneş takip sistemleri çalışma prensipleri açısından güneşin hareketine göre sürekli güneşe bakacak şekilde yönelen ayçiçeklerine benzetilebilir [70]. Şekil 3.1’de güneşin doğuşundan batışına kadar olan zamanda panelin güneşi nasıl takip ettiği gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Gün doğumundan gün batımına kadar güneşin izlenmesi

Güneş takip sistemi ilk olarak C. Finster tarafından 1927 yılında tanıtılmıştır. Gerçek zamanlı olarak güneşi takip edebilen bu mekanik yapı, uygulama becerilerinde zayıf bir sistemdi. Yıllar sonra A.Saavendra tarafından 1963 yılında doğrudan güneş radyasyon miktarını ölçebilen otomatik bir sistem geliştirilmiştir. Daha sonra 1975 yılından Raymond H. McFee tarafından toplam güneş enerjisini ve merkezi bir güneş enerjisi sisteminde akı yoğunluğu dağılımını hesaplayabilen farklı bir algoritma içeren güneş takip sistemi tipi önerilmiştir. Önerilen sistemde bir dizi ayna kullanılarak  $0,5^\circ$  ile  $1^\circ$  arasında hata toleransı ile güneşin konumu test edilmiştir. 1980 yılına gelindiğinde Mark E. Dorian ve David H. Nelson aracılığıyla ilk ticari amaçlı yapılan güneş takip sistemi tanıtılmıştır. Tasarladıkları sistem, kollektörler ile güneş ışınlarının bir yerde toplanmasını esas alarak tasarlanmıştır. 1981 yılında Semma ve Imamura tarafından ilk mikroişlemci tabanlı güneş takip sistemi yapılmıştır. 1983 yılında da Maldonada tarafından güneşin konumu tespit eden bilgisayar programlı ilk güneş takip algoritması ortaya atılmıştır [11, 71]. Böylelikle bu çalışmalar doğrultusunda güneş takip sistemlerinde önemli bir gelişme olmuştur.

Yapılan bu çalışmalar doğrultusunda güneş enerjisinden elde edilebilecek enerjiyi maksimize etmek için çeşitli güneş takip yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler 3 ana başlık altında sınıflandırılmaktadır. Bunlar;

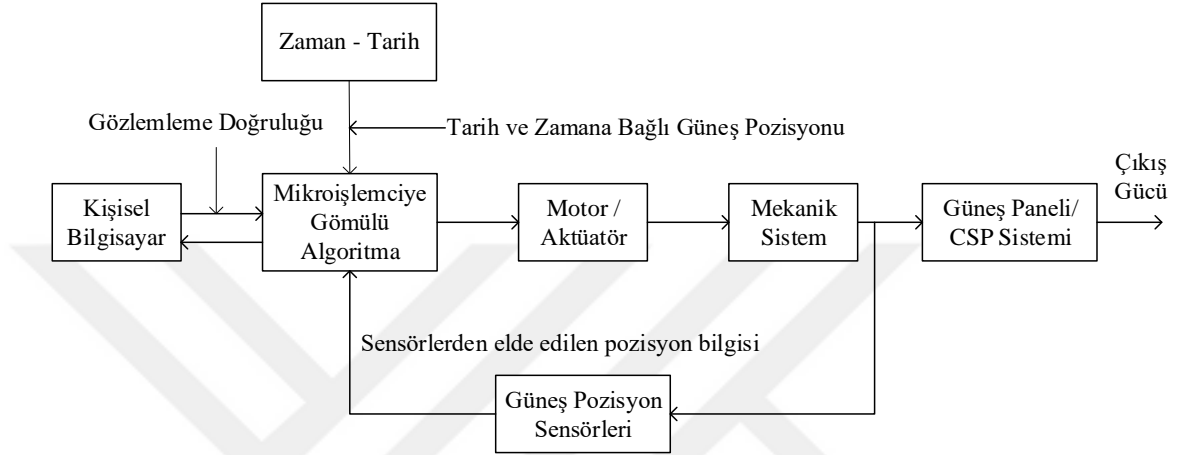
- ❖ Kontrol Yapısına Göre Güneş Takip Sistemi
  - Açık Döngü Sistemi
  - Kapalı Döngü Sistemi
- ❖ Sürücü Tipine Göre Güneş Takip Sistemi
  - Pasif Sistem
  - Aktif Sistem
- ❖ Eksen Tipine Göre Güneş Takip Sistemi
  - Çift Eksenli Sistem
  - Tek Eksenli Sistem

### **3.1. Kontrol Yapısına Göre Güneş Takip Sistemleri**

#### **3.1.1. Kapalı Çevrim Güneş Takip Sistemleri**

Kapalı çevrim güneş takip sistemleri geri besleme kontrol ilkesine dayanmaktadır.

Günün her saatinde güneşin konumu sensörler tarafından algılanır. Kontrolör, sensör çıkışlarını izler ve sensör çıkışları, doğru hizalamaya karşılık gelen istenen değer aralığına ulaşana kadar motorları döndürür. Yani sistemde yer alan sensörler sayende çıkış bilgisi girişe aktarılarak, güneş panelinin konum kontrolü yapılmaktadır [11]. Şekil 3.2’de kapalı çevrim kontrol yapısının genel gösterimi verilmiştir.



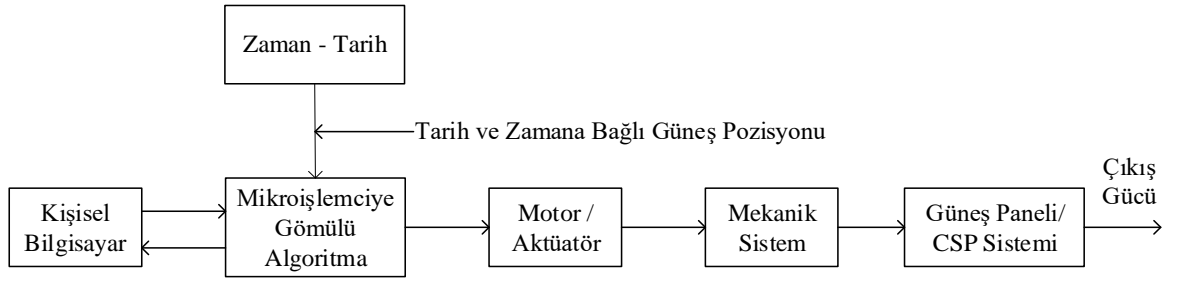
Şekil 3.2. Kapalı çevrim güneş takip sistemi blok yapısı [72]

Kapalı çevrim güneş takip sistemlerinde panelin konumu dışarıdan bir etmen tarafından bozulsa dahi kendini düzeltebilmesi sebebiyle açık çevrimli sistemlerden daha iyidir. Kapalı çevrim sistemleri daha iyi bir izleme verimliliği üretebilse de, LDR’lerin üzerine bir gölge düştüğünde veya güneş bulutlar tarafından engellendiğinde sistem geri bildirim sinyalini ve güneşin konumuna yönelik izlemesini kaybedebilmektedir. Buna ek olarak kapalı çevrim kontrol sistemleri LDR kullanımını gerektirmesi sebebiyle oldukça pahalı ve karmaşıktır [72].

### 3.1.2. Açık Çevrim Kontrol Sistemleri

Dünyanın herhangi bir konumunda, yılın rastgele bir gününün herhangi bir saatinde güneşin hangi koordinatlarda bulunacağı belirlidir. Bu bilgi doğrultusunda güneşin hangi saatte hangi koordinatlar üzerinde bulunacağı bir algılayıcıya ihtiyaç duymadan bir algoritma yardımıyla güneşin konumu takip edilebilmektedir. Sistem içerisinde çıkış bilgisi giriş bilgisine aktarılmadığından dolayı sistem açık çevrim prensibine göre çalışmaktadır. Sistem çıkışı gözlemlenemediği için izleyici herhangi bir etmeden dolayı (örneğin rüzgâr tarafından) bir kez bozulduğunda kendini düzeltememektedir [73]. Yani sistem herhangi bir sebepten dolayı bozulduğunda telafî edilemez. Şekil 3.3’de açık çevrim kontrol yapısının genel gösterimi verilmiştir.





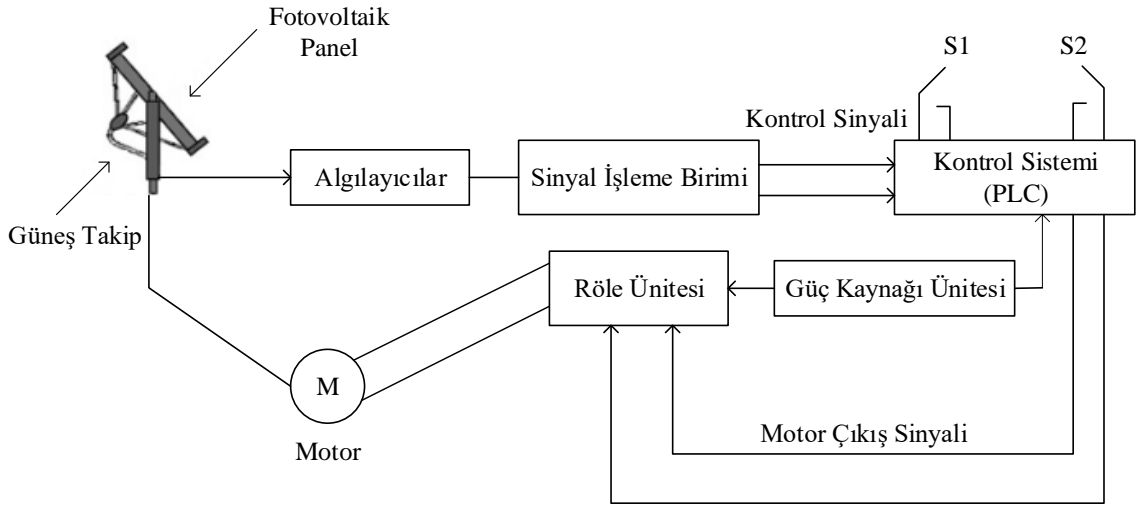
Şekil 3.3. Açık çevrim güneş takip sistemi blok yapısı [11]

Açık çevrim yapısına göre çalışan sistemlerde güneşin bir yerdeki yörüngesi o yerin konumuna ve yılın mevsimine bağlı olması sebebiyle parametrelerden birinde herhangi bir değişiklik olması durumunda yazılımın güncellenmesini gerektirmektedir [73]. Kapalı çevrimli sistemlerle karşılaştırıldığında açık çevrim kontrol sistemleri daha basit, daha ucuz ve daha az bakım gerektirmektedir. Bununla birlikte bazen performansları daha düşüktür.

## 3.2. Sürücü Tipine Göre Güneş Takip Sistemleri

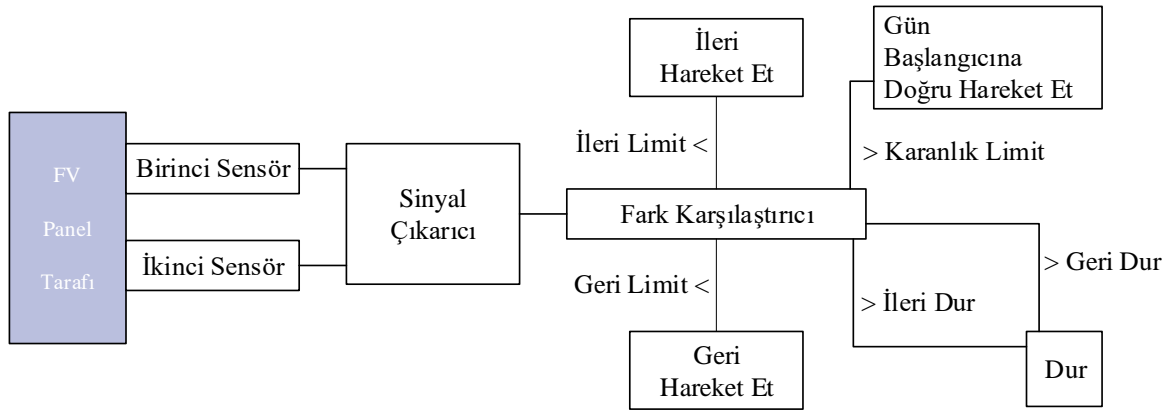
### 3.2.1. Aktif Güneş Takip Sistemleri

Aktif güneş takip sistemleri, fotovoltaik paneli güneş ışınlarına dik olacak şekilde yönlendirerek enerji üretimini artırmak için güneş enerjisi sistemlerinin konumunu değiştirebilen mekanizmalardır. Başlıca aktif güneş takip sistemleri elektronik denetleyiciler, algılayıcı ve motor gibi elektronik bileşenleri içermektedir. Algılayıcı olarak ışığa duyarlı elektronik elemanlar veya küçük yapıda güneş pilleri kullanılmaktadır. Fotovoltaik panelin güneş ışınlarına doğru dönebilmesi içinde genellikle DC motor, step motor, servo motor, lineer aktüatör ve daha büyük yapılar için ise dişli sistemler tercih edilmektedir. Denetleyici olarak da mikroişlemciler, mikrodenetleyiciler ve PLC kullanılabilir. Şekil 3.4’de aktif güneş takip sisteminin genel blok şeması gösterilmiştir. Burada fotovoltaik panel üzerinde yer alan ışık algılayıcılarından alınan veriler doğrudan kontrol sisteminin analog girişine bağlanmıştır. Kontrol sistem ünitesi, analog girişlerinden aldığı sinyalleri karşılaştırarak elektromekanik yapının güneşin konumunu takip etmesi için uygun bir çıkış sinyali üretmektedir [74].



Şekil 3.4. Aktif güneş takip sisteminin genel blok şeması [11]

Algılayıcılar, gün boyunca fotovoltaik panelin her zaman güneşin konumunu takip edebilmesi için montaj sistemini hareket ettirebilmek amacıyla kullanılan motor veya aktüatörü tetikleyecektir. Eğer güneş ışığı izleyici sisteme dik değilse, kullanılan algılayıcılar arasında ışık yoğunluğu miktarlarında bir farklılık olacaktır. Panelin uygun yönde hareketini gerçekleştirebilmek için kullanılan mikroişlemci veya karşılaştırıcı sayesinde algılayıcılardan alınan verilerin farkı alınarak panelin hareket etmesini sağlayacak motora gerekli sinyal verilmektedir. Yapılan bu işlem algılayıcıların eşit miktarda ışık yoğunluğu aldığı ve panelin güneş ışınlarına dik olacak şekilde hizalandığı bir noktada durmaktadır [9]. Şekil 3.5'de aktif güneş takip sistemlerinin genel kontrol algoritması gösterilmiştir.



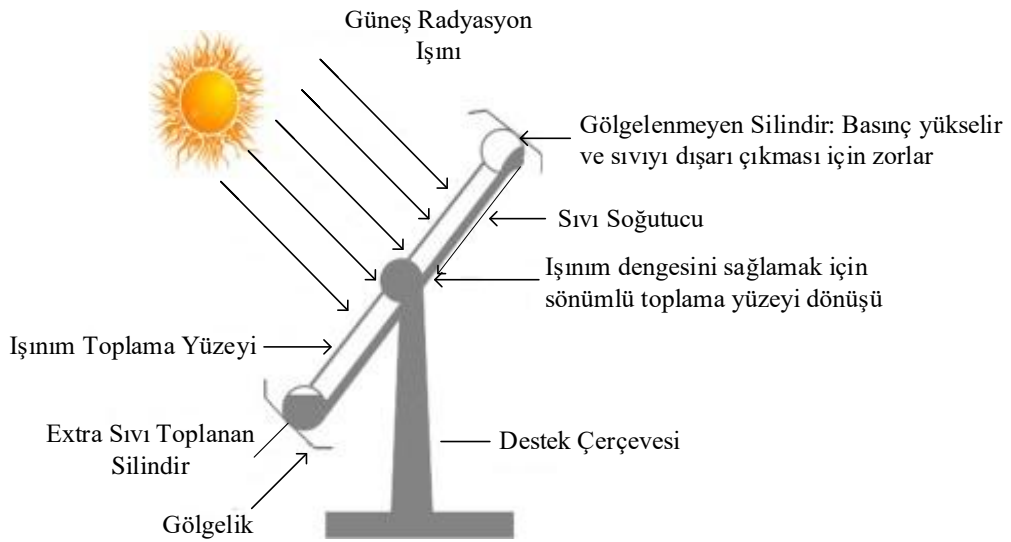
Şekil 3.5. Aktif güneş takip sisteminin genel kontrol algoritması [11]

Aktif izleyicilerin çalıştırılmaları bir enerji tüketimine sebep olsa da pasif izleyicilere kıyasla algılayıcıların güneşin konumunu belirlemesinin zor olduğu çok bulutlu günler haricinde sistem performansı açısından daha doğru sonuçlar vermektedir ve enerji üretim verimliliği daha yüksektir.

### 3.2.2. Pasif Güneş Takip Sistemleri

Pasif güneş takip sistemleri, paneli güneş radyasyon ışınlarına doğru yönlendirebilmek için herhangi bir mekanik sürücü kullanmadan güneşi takip edebilen sistemlerdir. Bu sistemlerde aktüatör olarak düşük kaynama noktasına sahip sıkıştırılmış gaz sıvısı veya şekil hafızalı alaşımlar kullanılmaktadır. Pasif izleyiciler, güneşin takibini gerçekleştirmek için güneş ısısının değişiminden dolayı her iki uç nokta arasında meydana gelen basınç dengesizliğini veya termal genleşmeyi kullanmaktadır [11].

Güneş panelinin üzerinde merkezi milden eşit uzaklıkta ve kısmi basınç altında bir sıvı ile doldurulmuş iki özdeş silindirik tüp yer almaktadır. Bu tüplere güneş ışınlarının eşit miktarda gelmediği zamanlarda dengesiz bir durum oluşacaktır. Güneş radyasyon ışınlarının daha fazla geldiği yöndeki sıvının ısınmasıyla genleşme meydana gelir. Böylece bir tüpten diğerine doğru sıvı akışı gerçekleşir. Bu dengesiz yer çekim kuvveti güneş panelinin dönmesine neden olmaktadır. Bu durum kuvvet dengesi sağlanana kadar devam etmektedir [75]. Şekil 3.6'da pasif güneş takip sisteminin çalışma yapısı gösterilmiştir.



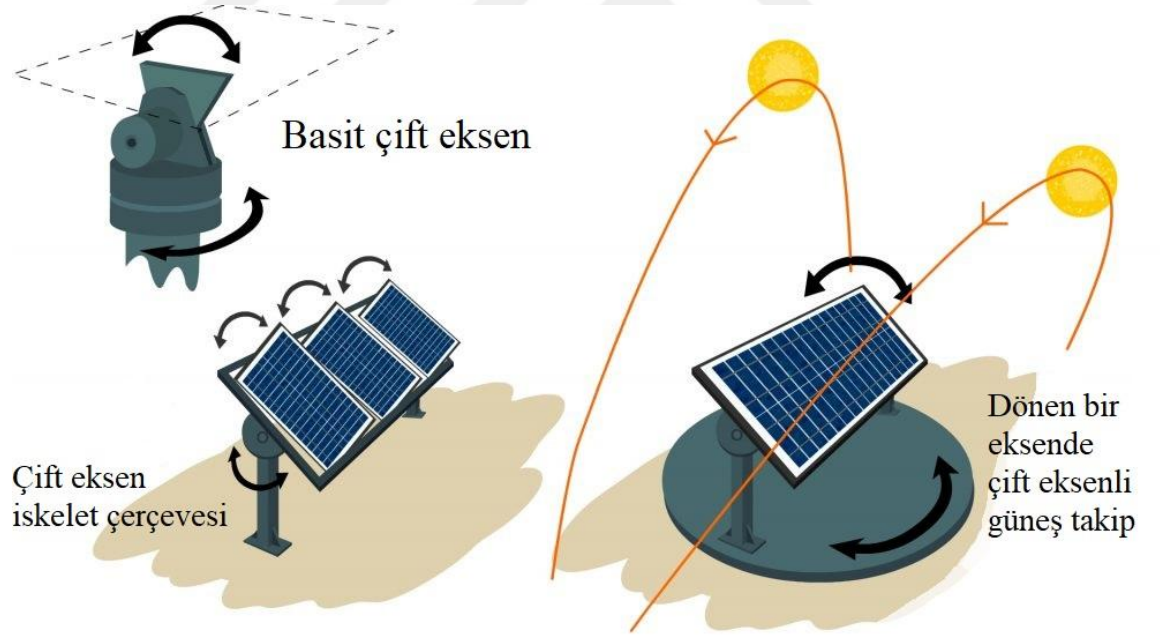
Şekil 3.6. Pasif güneş takip sistemi çalışma yapısı [11]

Pasif güneş takip sistemleri güneşin hareketini takip edebilmek için kontrol ünitesi, motor ve algılayıcı gibi elektronik ekipmanları kullanılmaması sebebiyle basit yapılara sahiptirler. Aktif sistemlere kıyasla daha az maliyetle kurulumları mümkündür ve harici bir güç gereksinimleri yoktur. Bu izleyicilerin dezavantajı ise düşük sıcaklıklarda yüksek verim sağlayamamasıdır.

### 3.3. Eksen Tipine Göre Güneş Takip Sistemleri

#### 3.3.1. Çift Eksenli Güneş Takip Sistemleri

Çift eksenli güneş takip sistemleri, güneşin konumunu hem yatay yönünde hem de dikey yönünde takip edebilen sistemlerdir. Yani güneş takibi yapabilmek için birbirine dik iki dönme eksenine sahip sistemlerdir. Yatay hareketiyle güneşin doğu-batı hareketi takip edilirken dikey hareketiyle güneşin kuzey-güney yönündeki hareketi takip edilmektedir [76]. Şekil 3.7’de çift eksenli güneşin takibini yapabilen bir sistemin çalışma yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3.7. Çift eksenli güneş takip sisteminin çalışma yapısı [77]

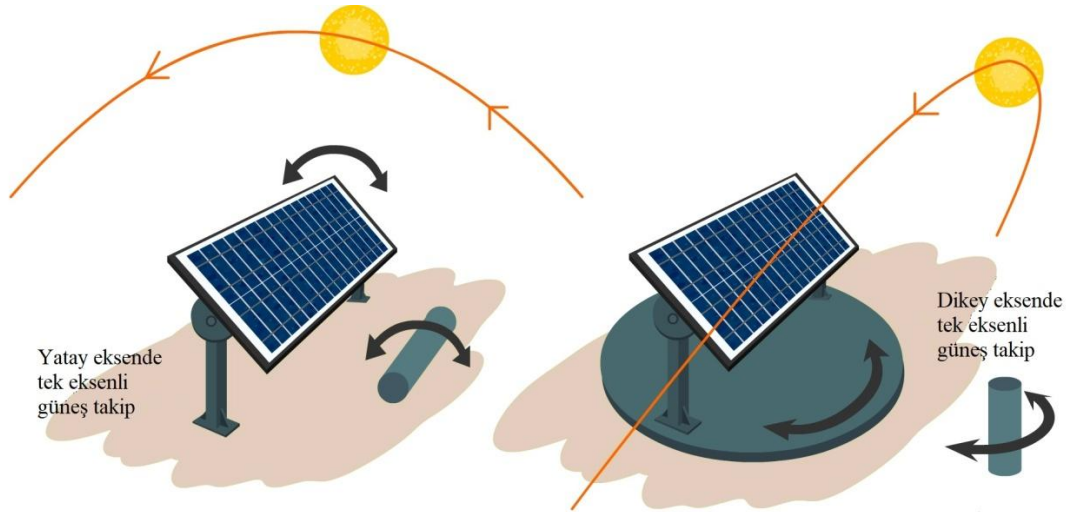
Güneş gün içerisinde sadece doğudan batıya kaymaz. Mevsimler değiştikçe güneşin konumu da kuzeyden güneye doğru değişmektedir. Çift eksenli izleyiciler sayesinde güneşin yalnızca günlük hareketleri değil yıllık hareketlerinin takibi de yapılmaktadır [78]. Böylece belirli zamanlarda panelin eğim açısının ayarlanmasını da gerektirmezler.

Çift eksenli izleyiciler, iki eksenli dönüş kabiliyetine sahip oldukları için panelin maksimum miktarda enerji alması için panelin her zaman güneş ışınlarına maruz kalmasını sağlamaktadır. Bu sebeple, çift eksenli izleyicilerin enerji üretim verimliliği sabit sistemler göre %30-40, tek eksenli sistemlere göre %7-15 daha fazladır [79]. Çift eksenli izleyiciler diğer sistemlere göre daha karmaşık kontrol yapısına sahiptir ve daha hassas sistemlerdir.

### 3.3.2. Tek Eksenli Güneş Takip Sistemleri

Tek eksenli güneş takip sistemleri, güneş panelini güneş ışınlarına dik bir açıyla hizalamak için yalnızca bir dönme eksenine sahiptir. Dönme eksenini tipik olarak gerçek bir Kuzey meridyeni boyunca hizalanır. Gelişmiş izleme algoritmaları ile bunları herhangi bir ana yönde hizalamak mümkündür [80].

Tek eksenli izleyiciler, güneşin konumunu dikey veya yatay eksen üzerinden takip etmektedir. Şekil 3.8’de dikey eksen ve yatay eksen tek eksenli güneşin takibini yapabilen bir sistemin çalışma yapısı gösterilmiştir. Tek eksenli izleyicilerde yatay tip öğle saatlerinde güneşin çok yükseldiği ve günlerin kısa olduğu tropik bölgelerde tercih edilirken, dikey tip güneşin çok yüksek olmadığı, yaz günlerinin uzun olduğu yüksek enlemlilerde tercih edilmektedir [80].



Şekil 3.8. Dikey ve yatay eksen tek eksenli güneş takip sisteminin çalışma yapısı [77]

Tek eksenli güneş takip sistemlerinin; yatay eksen takibi, dikey eksen takibi, kutupsal hizalama takibi, eğik tek eksen takibi gibi çeşitli modlarda yaygın kullanımları

mevcuttur. Fotovoltaik modülün izleyici eksenine göre yönü, yapılacak modelin çalışma performansını belirlemede önem teşkil etmektedir.

Tek eksenli güneş takip sistemleri sayesinde panel gün boyu güneşin konumuna göre hareket eder ve güneş ışınlarının geliş açısı dik tutulur. Ancak bu sistemler güneşin takibini yıllık hareketlerle yapmayıp sadece günlük hareketlerle yaptıkları için güneşin mevsimlere göre değişen konumunu takip edemez. Bu sebeple belirli zamanlarda panelin eğim açısının ayarlanmasını gerektirir [81].

Tek eksenli izleyiciler, çift eksenli sistemlere göre tek yönde hareket ettikleri için daha az işlem gerektirirler, böylece daha az enerji tüketirler. Ayrıca kurulum esnasında daha az maliyet gerektirir ve daha basit yapıya sahiptirler. Bu sistemin dezavantajı ise tek eksenli dönüş hareketi gerçekleştirilmesi sebebiyle çift eksenli sistemlere göre verimlilikleri daha düşüktür. Sabit sistemlerle kıyaslandığında ise sabit sistemlerde paneller günün yalnızca belirli vakitlerinde güneş ışınlarını tam olarak alabildiklerinden dolayı tek eksenli sistemler daha verimlidir.

## BÖLÜM 4

### BULANIK MANTIK

Dünyada insanoğlunun karşılaştığı her olayı açıklayabilmek için kesin tanımlamalarda bulunabilmesi mümkün değildir. Çünkü olaylar çoğu zaman karmaşıklık ve belirsizlikler içerir. İnsan beyni, kesinlik içermeyen belirsiz durumlar karşısında bir değerlendirme yoluna giderek durumu bir karara bağlamaktadır. Günlük hayatımızda yaşadığımız bir olayı anlatırken sıkça az, çok, biraz, hızlı, yavaş, genç, yaşlı, soğuk, sıcak, ılık gibi pek çok kesinlik ifade etmeyen bulanık kavramlar kullanırız. Bu kavramların sahip oldukları sayısal değerler veya ölçütler onları anlamlı kılmaktadır. Örneğin rampada veya yolun kayganlık durumunda arabanın fren veya gaz pedalına biraz daha hızlı veya biraz daha yavaş basarız.

Bulanık mantık kavramı, insanların kesin olmayan ifadelerle, düşünme yeteneğiyle örtüşen mantık sistemidir. Yani bulanık mantık ikili değişkenlerden oluşan kesin dünyayı esnek niteleyici ifadelerle gerçek dünyaya benzetir [82].

Bulanık mantık kavramından ilk kez 1956 yılında, ABD ülkesinde gerçekleştirilen bir konferansta bahsedilmiştir. Ancak bu kavram hakkında ilk ciddi adım Kaliforniya Üniversitesi'nde öğretim üyesi olan Prof. Lotfi A. Zahed tarafından "The Theory of Fuzzy Logic and Fuzzy Sets (Bulanık Mantık ve Bulanık Kümeler)" isimli yayınının literatüre girmesiyle atılmıştır. Bu çalışmasıyla Zahed, insan düşüncesinin büyük bir kısmının kesin bilgilerden değil de net olmayan bilgilerden oluştuğunu ifade etmiştir. Bulanık mantığın genel özellikleri Zahed tarafından şu şekilde belirtilmiştir [83];

- Bulanık mantıkta, kesin değerlere dayanan düşünme yerine, yaklaşık düşünme kullanılır.
- Bulanık mantıkta her şey  $[0, 1]$  aralığında belirli bir derece ile gösterilir.
- Bulanık mantıkta bilgi dilsel ifadeler (kısa, uzun, biraz kısa vb.) şeklindedir.
- Bulanık çıkarım işlemi, dilsel ifadeler arasında tanımlanan kurallar ile yapılmaktadır.
- Mantıksal olan her sistem bulanık olarak ifade edilebilir.
- Bulanık mantık bir matematiksel modelin elde edilebilmesinin çok zor olduğu sistemlere çok uygundur.

Bulanık mantık kavramı ilk defa 1974 yılında Mamdani tarafından bir buhar makinesinin kontrol sistemine entegre edilmesiyle uygulamaya geçmiştir. Bu sistem “Eğer türbinin hızlanma ivmesi yükseliyorsa, basınç çok düşünce buhar vanasını bir miktar aç” kuralına göre çalışmaktaydı. Mamdani’nin geliştirdiği, temeli bulanık mantığa dayalı bu sistem ile türbin hızı ve performansının denetimini başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir [84]. Böylelikle Zahed’in dilbilimsel kural yaklaşımının bilgisayarlar aracılığıyla kolaylıkla işlenebildiği gösterilmiştir.

Bulanık mantığın ilk önemli endüstriyel uygulaması, 1980 yılında Danimarka’daki bir çimento fırınının denetimini yapabilmek için geleneksel denetleyiciler yerine bulanık mantık denetleyicisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bir diğer önemli uygulama ise Hitachi firmasının 1987 yılında kontrolünü bulanık mantık denetleyicisiyle yaptığı Sendai Metro’sudur. Yapılan bu çalışma sayesinde, metronun yavaşlama ve hızlanma eylemleri iyileştirilmiş ve tüketilen enerji miktarı %10 azaltılmıştır. Böylelikle yolculara daha konforlu bir seyahat imkânı sunulmuştur [85].

Bulanık mantık, televizyon, çamaşır makinesi, elektrik süpürgesi gibi elektronik cihazlarda, arabaların yakıt ateşleme ve püskürtme sistemlerinin denetiminde ve daha birçok alanda kullanılmaktadır. Özellikle Japon araştırmacıların yeni teknolojilere olan tutumları sayesinde bulanık mantık çok hızlı bir biçimde gelişme göstermiştir.

#### **4.1. Klasik Mantık ve Bulanık Mantık**

Klasik mantığın öncülerinden olan Aristoteles’e göre, insanlar boy yönünden ya uzundur ya da değildir. Bunu bir örnekle açıklayacak olursak; uzun boylu insanların alt sınırını 1.70 m olarak kabul edildiğini varsayalım. Klasik mantığa, “Mehmet uzun mudur?” diye sorulursa, eğer Mehmet’in boyu 1.70 m’in üzerinde ise Mehmet uzun boyludur. Ancak Mehmet 1.69 m ise kısa boyludur. Yani klasik mantığa göre uzunluk-kısalık kavramının bir kesinliği vardır.

Klasik mantık kuramında bir nesne ya kümenin elemanıdır ya da değildir. Yani bu yaklaşıma göre kısmi üyelik olma gibi bir durum söz konusu değildir. Eğer kümenin elemanı ise “1” kümenin elemanı değilse “0” üyelik değerine sahiptir. Başka bir şekilde ifade edecek olursak klasik kümelerin elemanları sadece (0,1) üyelik değerlerini alırlar [83].



Zahed yaklaşımına göre ise uzun boyluluğun değişik dereceleri vardır. Uzun boylu insanlardan bir tanesi gerçek uzun boylu olarak referans alınırsa ondan biraz daha uzun veya biraz daha kısa olanlar uzun boylu değil diye dışlanmazlar. Referans alınan uzun boyluluğun üstündeki ve altındaki boylar o kadar kuvvetli olmasalar da uzun boyluluğa ait olma derecesi biraz daha az olup yine de uzun boylular kümesine dâhildirler [86]. Yani bulanık mantık, Mehmet'in ne kadar uzun olduğunu sorar. Klasik mantıktaki gibi uzun boyluya 1, kısa boyluya 0 gibi değerler vermez. Bulanık mantık 0.1, 0.2, 0.3... gibi daha hassas ve esnek değerler verir. Böylelikle boyu 1.69 m olan bir insana kısa (0) demez, 0.2 gibi bir uzunluğa sahiptir der. Elbette bulanık mantığında belirli sınırları vardır. Bu sınırlar; ele alınan makama, elemana ve şartlara göre değişmektedir. Bulanık mantığı, klasik mantıktan ayıran en temel nokta bu sınırların daha esnek olmasıdır. Bu esneklikten dolayı bulanık mantık tatbik edildiği her alanda çok daha hassas sonuçlar doğurmaktadır.

Bulanık mantık ile kesinlikler ortandan kalkarak sınırlara belirsizlik özelliği katılmaktadır. Bulanık mantık, klasik mantık gibi (0, 1) olmak üzere iki seviyeli değil, [0, 1] aralığındaki bütün değerlere sahip olabileceğinden ötürü çok seviyeli denilebilir [83]. Tablo 4.1'de de klasik mantık ve bulanık mantık arasındaki temel kavram değişiklikleri listelenmiştir [87].

Tablo 4.1. Klasik mantık ve bulanık mantık arasındaki temel farklılıklar

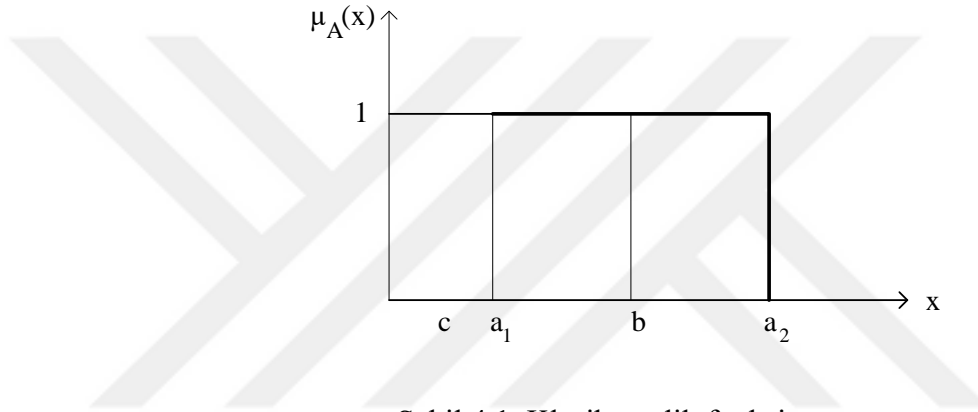
<b>KLASİK MANTIK</b>	<b>BULANIK MANTIK</b>
0 veya 1	0 ve 1 Arasında Süreklilik
İki seviyeli	Çok seviyeli
Kesin	Kısmi
Hepsi veya Hiçbiri	Belirli Derecelerde
A veya A Değil	A ve A Değil
Dijital Bilgisayar	Nöral Ağ (Beyin)

#### 4.2. Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları

Bulanık küme, bulanık sistemlerin en temel elemanıdır. Bulanık bir küme, farklı üyelik derecelerine (başka bir deyişle ait olma derecelerine) sahip elemanları bulunan bir küme

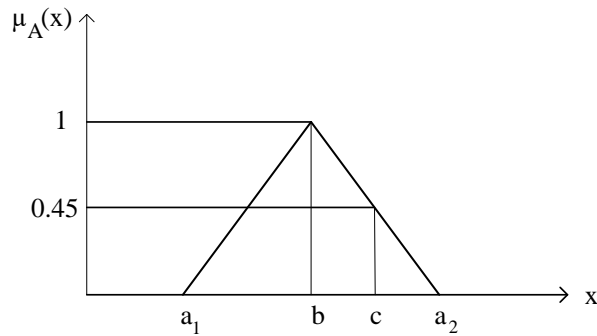
türüdür. Böyle bir küme içerisinde yer alan elemanların her birine 0 ile 1 arasında yalnızca bir üyelik değeri atayabilen üyelik fonksiyonu yardımıyla karakterize edilebilir [88].

Klasik mantık için üyelik fonksiyonu aşağıda Şekil 4.1’de verilmiştir. Grafiği yorumlayacak olursak; Burada “b” elemanı,  $a_1$  ve  $a_2$  değerleri arasında bir değer olduğu için “A” bulanık kümesinin kesin elemanıdır ve “b” elemanının üyelik derecesi 1 olarak ifade edilmektedir. “c” elemanı ise  $a_1$  ve  $a_2$  değerleri arasında bir değer olmadığı için “A” bulanık kümesine ait değildir. Bu sebeple üyelik derecesi 0 olarak kabul edilir.



Şekil 4.1. Klasik üyelik fonksiyonu

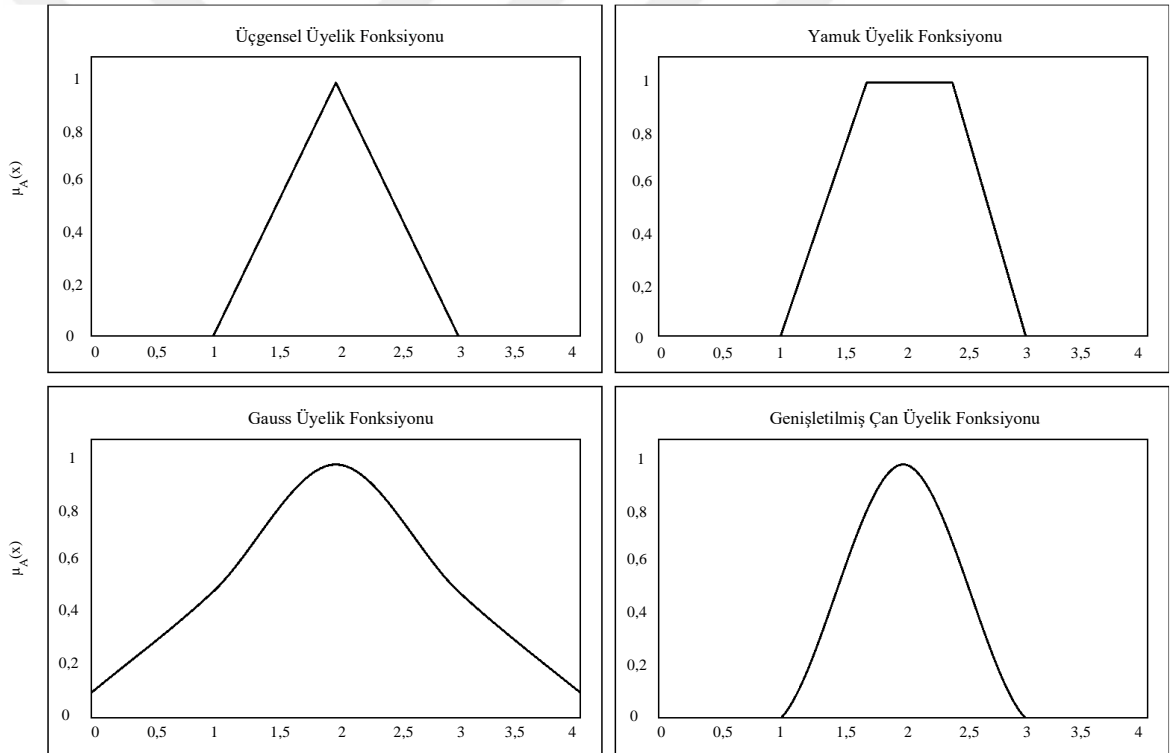
Bulanık üyelik fonksiyonunun grafiği ise Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Bu grafiğe göre “b” değeri “A” bulanık kümesinin kesin elemanıdır ve bu “b” elemanının üyelik derecesi 1 olarak ifade edilmektedir. “c” değeri ise “A” bulanık kümesinin belirli bir derecede üyesidir. Bulanık kümeye göre elemanlar  $[0, 1]$  arasından bir üyelik derecesinde gösterilmektedir. Bu sebeple “c” elemanının üyelik derecesi 0.45’tir.



Şekil 4.2. Bulanık üyelik fonksiyonu

Bulanık mantık kuramıyla  $[0, 1]$  aralığında değişen dilsel değişkenler için eğer küçük değerler ise 0'a doğru azalan değerler, büyük değerler için ise 1'e doğru büyüyen değerler verilebilir [83].

Klasik küme ile bulanık küme arasındaki önemli farklardan bir tanesi de klasik kümeler yalnızca bir tane dikdörtgen üyelik fonksiyonuna sahip iken bulanık kümeler değişik üyelik fonksiyonlarına sahiptir [86]. Bulanık üyelik fonksiyonları üçgen, yamuk, gaussian, çan eğrisi, sigmoid gibi sistemin özelliğine göre işlev tercihi değişmektedir. Şekil 4.3'de üyelik fonksiyonlarının bazıları gösterilmiştir. Üyelik fonksiyonu tercihi, bilgilerin üyelik derecelerinin 0 ile 1 arasında nasıl değiştiğine göre belirlenmektedir [83].



Şekil 4.3. Üyelik fonksiyonlarına ait örnekler

Bulanık üyelik fonksiyonlarından üçgensel üyelik fonksiyonu ve yamuk üyelik fonksiyonu genellikle daha çok tercih edilmektedir. Üçgensel üyelik fonksiyonu  $a_1$ ,  $a_2$  ve  $a_3$  olacak şekilde üç değer ile tanımlanır. Bu üyelik fonksiyonunun matematiksel formülasyonu Denklem 4.1'deki gibidir.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ \frac{a_3 - x}{a_3 - a_2}, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ 0, & a_3 \leq x \end{cases} \quad (4.1)$$

Yamuk üyelik fonksiyonu, işlem etkinliği ve basitliği sebebiyle en sık kullanılan fonksiyonlardan biridir.  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$  ve  $a_4$  olmak üzere dört değer ile tanımlanır. Bu üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi Denklem 4.2’de verilmiştir.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a_1 \\ \frac{x - a_1}{a_2 - a_1}, & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1, & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4 - x}{a_4 - a_3}, & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0, & a_4 \leq x \end{cases} \quad (4.2)$$

Üyelik fonksiyonları, benzetim programı olan MATLAB’de tanımlıdır. Tanımlı olan üyelik fonksiyonlarının programdaki kodlamaları Tablo 4.2’de listelenmiştir [89].

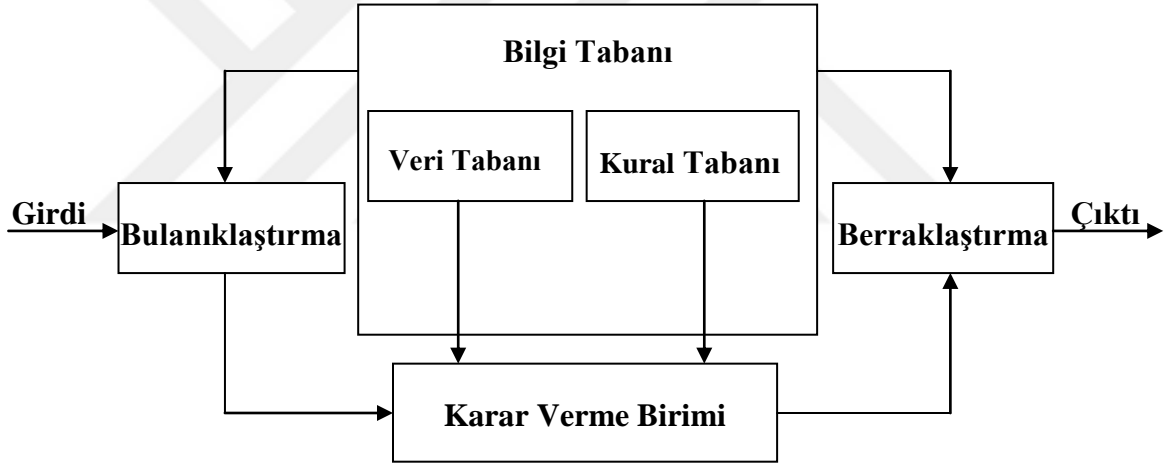
Tablo 4.2. MATLAB programında tanımlı üyelik fonksiyonları

Üyelik Fonksiyonu	MATLAB İsim Kodlaması
Üçgen Üyelik Fonksiyonu	trimf
Yamuk Üyelik Fonksiyonu	trapmf
Çan Şekilli Üyelik Fonksiyonu	gbellmf
Gauss Üyelik Fonksiyonu (tam simetrik)	gaussmf
Gauss Üyelik Fonksiyonu	gauss2mf
Π Üyelik Fonksiyonu	pimf
Sigmoidal Üyelik Fonksiyonu (tam simetrik)	dsigmf
Sigmoidal Üyelik Fonksiyonu	psigmf

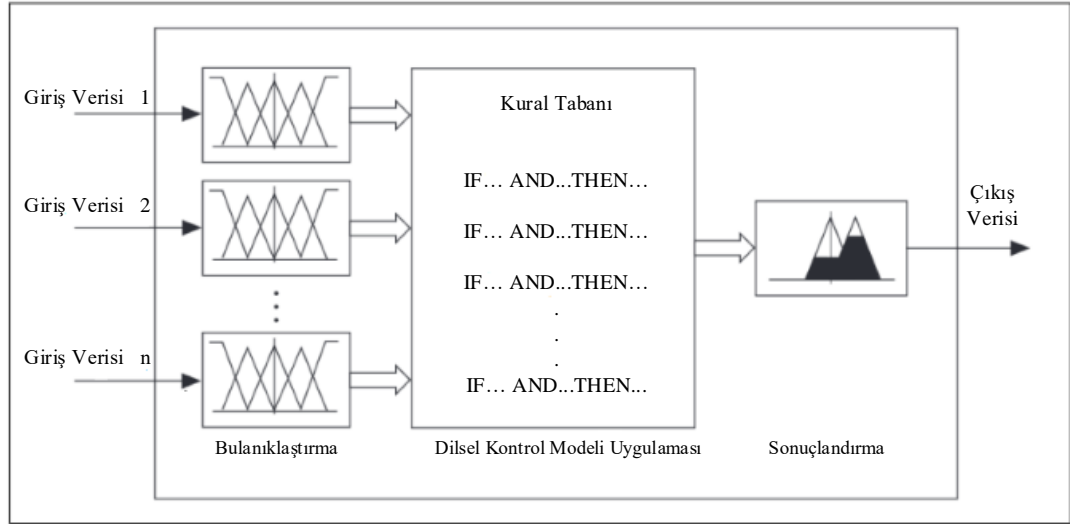
### 4.3. Bulanık Mantık Denetleyicileri

Bulanık mantık denetleyicisinin temel elemanları; bulanıklaştırma, bilgi tabanı, karar verme birimi ve berraklaştırma'dır. Bir bulanık mantık denetleyicisinin genel yapısını gösteren blok şema Şekil 4.4'te verilmiştir [89].

Şekil 4.5'te bir bulanık mantık serüveni gösterilmiştir. Bir bulanık mantık modelinin ilk aşaması olan bulanıklaştırma biriminde giriş bilgilerini üyelik fonksiyonları yardımıyla bulanık kümeler ile eşleştirerek üyelik dereceleri tespit edilir. Bulanıklaştırıcıdan gelen bulanık değerler ile kural tabanı biriminde "eğer ... ise" şeklindeki önceden belirlenmiş koşul cümleleriyle oluşturulan kurallar yardımıyla karar verme biriminde bulanık bir sonuç elde edilir. Bu bulanık değer, tekrar dış dünyada kullanılabilmesi amacıyla gerçek değerlere dönüştürebilmek için berraklaştırma işlemi yapılmaktadır [83, 90].



Şekil 4.4. Bulanık mantık denetleyicisinin genel yapısı



Şekil 4.5. Bulanık mantık serüveni

#### 4.3.1. Bulanıklaştırma

Bulanık mantık denetleyicisi ile modellemenin ilk adımı bulanıklaştırma işlemidir. Bulanıklaştırma birimi, sistemden alınan giriş bilgilerini bunlara karşılık gelen sembolik değerlere dönüştürür. Üyelik fonksiyonundan yararlanılarak giriş bilgilerinin dâhil olduğu bulanık küme veya kümeleri ve üyelik derecelerini tespit ederek, girilen sayısal verilere küçük, büyük, orta gibi dilsel değişken değerleri atanır. Yani bu işlem ile giriş değişkenlerine dilsel nicelik kazandırılır. Sistemin en verimli şekilde çalışabilmesi için üyelik derecelerinin 0 ve 1 aralığındaki değişimine göre üçgen, yamuk, gauss gibi bulanık küme fonksiyonları tercih edilebilmektedir [83, 89].

#### 4.3.2. Bilgi Tabanı

Bilgi tabanı, sistemin veri ve kural tabanlarını oluşturan bölümdür. Veri tabanı, hem karar verme biriminin hem de kural tabanının bilgileri aldığı kısımdır. Kural tabanı ise dilsel denetim kurallarının bulunduğu kısımdır. Kurallar kümesi, kontrol hedeflerini ve kontrol stratejilerini belirlemektedir. Giriş bilgisi ile çıkış bilgisi arasındaki bağlantı kural tabanındaki kurallar yardımıyla yapılmaktadır [83]. Bu kısımda EĞER-İSE ifadeleri ile kavramsal terimler birbirleri ile bağdaştırılır. Eğer birden fazla girdi mevcut ise VE-VEYA bağlayıcıları ile bu girdiler birbirlerine bağlanmaktadır [89].

X ve Y giriş değişkenleri ve Z çıkış değişeni olan bir sistemde;

EĞER X=a ve Y=b ise O HALDE Z=c

şeklinde belirtilen bir kuralda X ve Y değişkenlerinin aldığı değerlere bağlı olarak Z çıkış değişkeninin bulanık değeri belirlenmektedir.

Bulanık kurallar, karar verme biriminin temelini oluştururlar. Yapıları bakımından bulanık ortamlarda insanların düşünme ve akıl yürütme yeteneklerini yansıtmaya kabiliyeti taşımaktadırlar. Örneğin; “Eğer ürünün fiyatı düşük ise talep yüksektir” kuralını inceleyecek olursak; burada fiyat ve talep ifadeleri dilsel değişkenlerdir, düşük ve yüksek ifadeleri ise bu dilsel değişkenlere karşılık gelen değerleri ifade etmektedir [89].

### 4.3.3. Karar Verme Birimi

Karar verme birimi, çıkarım motoru olarak da bilinmektedir. Bu birim bulanık mantık denetleyicisinin temelini oluşturur. Giriş verileri ile oluşturulan kural tablosunu birleştirerek sistemin bulanık çıktısının üretilme süreci “çıkartım” olarak tanımlanır [89].

Karar verme birimi, insanın karar verme yeteneğine ve insanın mevcut bulguları kullanarak bir hükme varabilme yeteneğine benzer bir şekilde bulanık kavramları işler ve bunun sonucunda bir çıkarım yaparak gerekli olan denetimi belirlemektedir. Yani kısaca ifade edecek olursak insan beynini taklit etmektedir [83].

Birbirinden farklı birçok bulanık içermeye işlemi bulunmaktadır. “EĞER a=X O HALDE b=Y” şeklinde ifade edilen bir bulanık içermeye işlevinde X ve Y sırasıyla U, V uzaylarında tanımlanmış bulanık kümelerdir ve  $\mu_X$  ve  $\mu_Y$  de bu kümelerin bulanık işlevleridir. Bulanık içermeye işlevleri aşağıda yer alan bu 5 tanesinden birine dâhildir. Genellikle ileri çıkarımlı bulanık içermeye kullanılmaktadır.

1.  $X \rightarrow Y = (X \text{ değil}) + Y$
2.  $X \rightarrow Y = (X \text{ değil}) + (X * Y)$
3.  $X \rightarrow Y = (X \text{ değil} * Y \text{ değil}) + Y$
4.  $X \rightarrow Y = \sup \{ c \in [0,1], X * c \leq Y \}$  (İleri veri sürümü çıkarımı tanımıdır.)
5.  $X \rightarrow Y = \inf \{ t \in [0,1], Y + 1 \leq X \}$  (Geriye çıkarım tanımıdır.)

Bulanık çıkarım yöntemleri;

- Mamdani Yöntemi
- Takagi-Sugeno-Kang Yöntemi
- Larsen Yöntemi

- Tsukamoto Yöntemi

şeklinde listelenebilir. Bu yöntemlerden ilk ikisi en çok kullanılan çıkarım yöntemleridir [89].

#### 4.3.4. Berraklaştırma

Bir bulanık mantık denetleyicisinin son aşaması berraklaştırmadır. Başlangıçta bulandırma biriminde bulanıklaştırılan değerlerin kullanılabilir olması için tekrar berraklaştırılması (sayısal değerlere dönüştürülmesi) gerekmektedir. Bu işlem literatürde netleştirme veya durulama olarak da ifade edilmektedir [91].

Berraklaştırma işlemi için uygulamada farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bulanık modelin performansının iyi olabilmesi için en uygun yöntemin seçilmesi gerekmektedir. Literatürde daha çok kullanılan berraklaştırma yöntemleri;

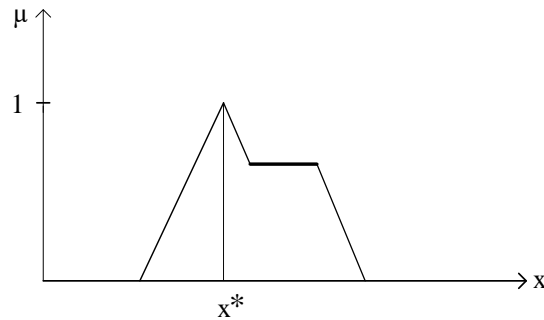
- Maksimum üyelik,
- Ağırlık merkezi,
- Ağırlık ortalaması,
- En büyüklerin ortalaması'dır.

##### 4.3.4.1. Maksimum Üyelik Yöntemi

Bu yöntem yükseklik yöntemi olarak da bilinmektedir. Bulanık kümede bulunan bütün üyelik dereceleri içinde değeri en büyük olan değer alınmaktadır [89]. Şekil 4.6'da  $x^*$  değerinin elde edilişi gösterilmiştir ve aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\mu_C(x^*) \geq \mu_C(x) \quad x \in X$$

Buradaki  $x$  üyelik değerlerini,  $C$  çıkış üyelik işlevlerinin birleşimini ifade etmektedir.



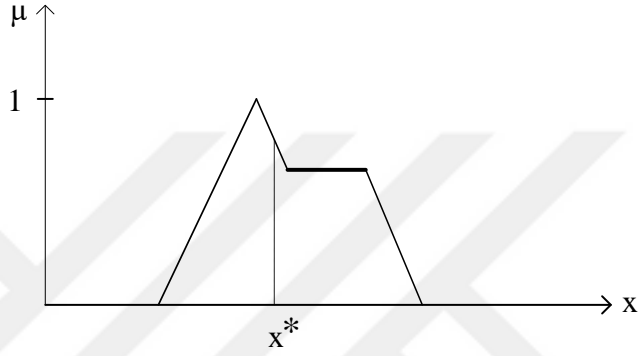
Şekil 4.6. Maksimum üyelik yöntemi



#### 4.3.4.2. Ağırlık Merkezi Yöntemi

Bu yöntem literatürde alan merkezi olarak da bilinmektedir ve en yaygın kullanılan berraklaştırma yöntemidir [83]. Şekil 4.7’de gösterilen berraklaştırma işleminin matematiksel işlemi Denklem 4.3 ile yapılmaktadır.

$$x^* = \frac{\int \mu c(x) \cdot x dx}{\int \mu c(x) dx} \quad (4.3)$$

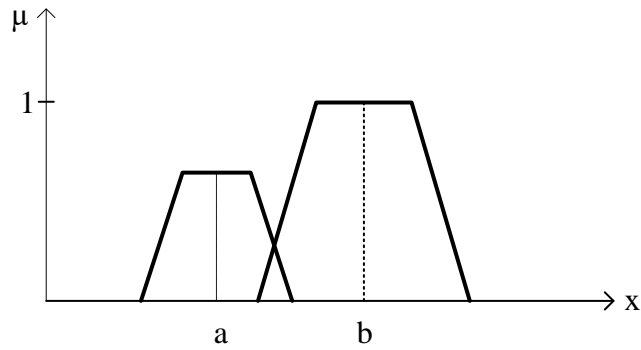


Şekil 4.7. Ağırlık merkezi yöntemi

#### 4.3.4.3. Ağırlık Ortalaması Yöntemi

Bu yöntemin kullanılabilmesi için simetrik üyelik fonksiyonunun olması gerekir. Girişlerden elde edilen bulanık değerlerin hepsi ile üyelik değerleri kullanılarak berraklaştırma işlemi yapılmaktadır [83, 86]. Bu yöntem ile yapılan berraklaştırma işleminin Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Matematiksel ifadesi Denklem 4.4’de verilmiştir.

$$x^* = \frac{\sum \mu c(\bar{x}) \cdot \bar{x}}{\sum \mu c(\bar{x})} \quad (4.4)$$

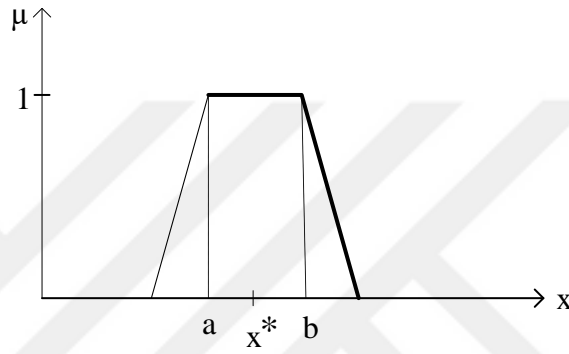


Şekil 4.8. Ağırlık ortalaması yöntemi

#### 4.3.4.4. En Büyüklerin Ortalaması Yöntemi

Bu yöntem maksimum üyelik yöntemi ile ilişkilidir. Bu yöntemde maksimum üyelik derecesi birden fazla olup düzlük kısımları bulunmaktadır. Bu değerlerin ortalamasının alınarak bulunduğu yöntem türüdür [83]. Şekil 4.9'da bu yöntemle yapılan berraklaştırma işlemi gösterilmiştir. Matematiksel ifadesi Denklem 4.5'de verilmiştir.

$$x^* = \frac{a + b}{2} \quad (4.5)$$



Şekil 4.9. En büyüklerin ortalaması yöntemi

#### 4.4. Bulanık Mantığın Avantaj ve Dezavantajları

Gerçek dünyayı yansıtan, daha net ve belirgin sonuçlara ulaştıran bulanık mantığın başlıca özellikleri ve sağladığı avantajlar aşağıda sıralanmıştır [92, 93].

- Günlük hayatımızda zamanla değişiklik gösteren, belirsiz, tanımı iyi yapılmamış, karmaşık sistemlerin kontrolünü daha anlaşılır hale getirir.
- Bulanık mantığın esneklik özelliği sayesinde en baştan yeniden başlamaya gerek kalmadan herhangi bir sistem üzerine birden fazla işlevsellik katmak mümkündür.
- Bulanık mantık, kesin olmayan, belirsiz bilgilere karşı toleranslıdır.
- Bulanık mantık, uzman deneyimler üzerine inşa edilebilir.
- Bulanık mantık ile zamanla değişen ve doğrusal olmayan fonksiyonlar modellenebilir. Herhangi bir girdi bilgisi ile çıktı bilgisini eşleştirmek için bulanık bir sistem oluşturulabilir.
- Bulanık mantık doğal bir dilden oluşmaktadır ve temelini insan iletişimi oluşturur.

- Bulanık mantık sayısal veriler yerine dilsel değişkenleri esas almaktadır.
- Bulanık mantık, geleneksel kontrol yöntemleri ile harmanlanabilir. Bulanık sistemler geleneksel kontrol yöntemlerinin yerini almayı yalnızca onları güçlendirerek uygulamaları basite indirgemektedir.

Bulanık mantığın avantajlarının yanı sıra dezavantajları da vardır, bunlar aşağıda sıralanmıştır [83].

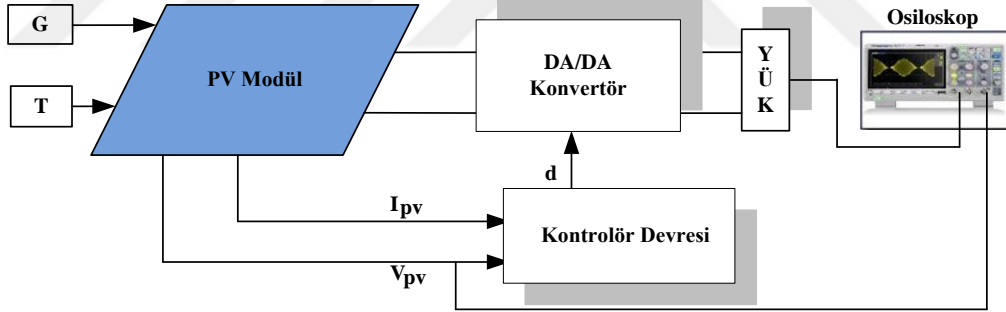
- Bulanık mantık uygulamalarında üyelik işlevlerini ve kuralları tanımlamak her zaman kolay olmayıp, uzman deneyimlere bağlı kalması temel sorunlardan biridir.
- Bulanık mantıkta üyelik fonksiyonlarının değişkenlerinin belirlenebilmesinde kesin sonuç veren herhangi bir yöntem yoktur. Bu yüzden deneme-yanılma yoluyla en mükemmel sonuca ulaşılmaya çalışılmaktadır. Bu da bazen çok uzun zaman alabilmektedir.
- Sistemlerin gözlemlenebilirlik, denetlenebilirlik ve kararlılık analizlerinin yapılabilmesinde ispatlanmış herhangi bir yöntem yoktur.
- Üyelik fonksiyonlarının öğrenme yeteneği olmaması ve ayarlanması uzun zaman almaktadır.

## BÖLÜM 5

### BENZETİM ÇALIŞMASI

Fotovoltaik modüllerin güç-gerilim (P-V) karakteristikleri incelendiğinde maksimum güç noktası olarak (MPPT-max. power point) adlandırılan optimum bir çalışma noktası bulunmaktadır. Bu nokta panelin üretim teknolojisine, kullanılacak yerin güneş ışınım ve sıcaklığı gibi değişkenlere bağlı olarak değişmektedir. Fotovoltaik modüllerden yüksek verim elde edilebilmesi için de fotovoltaik modüllerin bu maksimum güç noktasında çalıştırılması gerekir. Günümüzde maksimum güç noktasının tespiti ve bu noktanın takibi için birçok yöntem geliştirilmiş ve geliştirilmeye de devam etmektedir. Bu yöntemlerden bazıları sıralanırsa; gözle ve uygula (P&O), bulanık mantık, parçacık sürü optimizasyonu vb. en çok tercih edilen yöntemler arasında gösterilebilir.

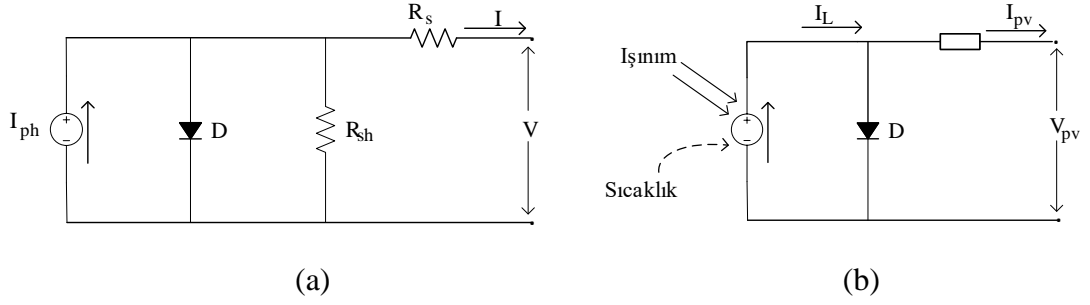
Bu tez çalışması sırasında gözle ve uygula (P&O) ve bulanık mantık hesaplama yöntemleri modellenerek karşılaştırmalı sonuçları verilmektedir. Şekil 5.1 ile tasarlanan sisteme ait blok şema gösterilmektedir.



Şekil 5.1. Sistemin blok şeması

#### 5.1. Fotovoltaik Paneller

Fotovoltaik (FV) hücreler, yarı iletken malzemelerden oluşan ve güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirerek FV panelleri oluşturan yapılardır. FV hücrelerin elektriksel eşdeğer devresi, seri ve paralel bağlı akım kaynağı, diyot ve dirençlerden oluşur [94]. Şekil 5.2'de fotovoltaik pilin eşdeğer devre modeli (a) ve basitleştirilmiş devre modeli (b) gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Fotovoltaik pil, (a) eşdeğer devre modeli, (b) basitleştirilmiş devre modeli

Akım kaynağı, güneş ışınlarının ve ısının bir fonksiyonu olarak akım üretir. Bir FV panelinin akımını Denklem 5.1’de verilen eşitlik kullanılarak belirlenir.

$$I_{pv} = I_{ph} - I_p \left[ e^{\frac{q(v_{pv} + i_{pv} R_s)}{\eta \cdot k \cdot T}} \right] - \frac{v_{pv} + i_{pv} R_s}{R_{sh}} \quad (5.1)$$

Burada  $I_{pv}$  fotovoltaik hücrenin çıkış akımı,  $V_{pv}$  ise fotovoltaik hücrenin çıkış gerilimidir.  $I_{ph}$  fotovoltaik akımı,  $I_p$  seri direncin çıkış akımı,  $R_s$  seri direnç ve  $R_{sh}$  şönt direncidir.

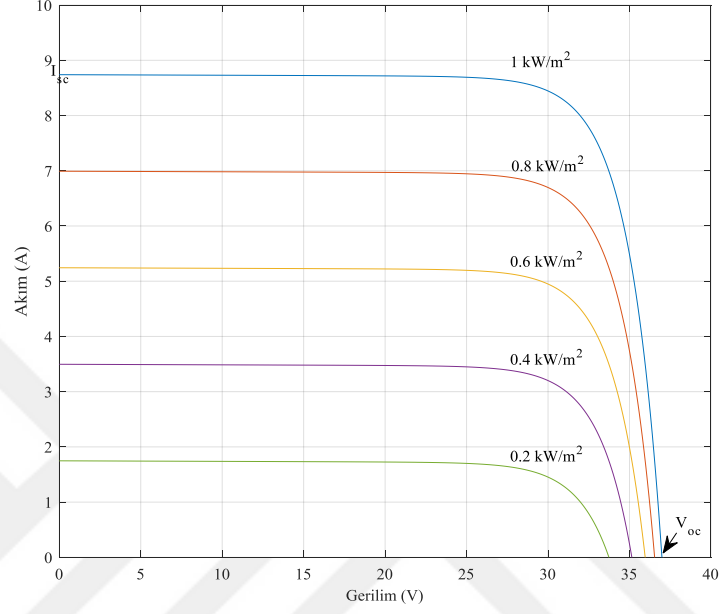
Denklemden yer alan  $q$  elektron yükünü ( $1,602 \times 10^{-19}$  C),  $T$  kelvin cinsinden hücre sıcaklığını,  $\eta$  kalite faktörünü ve  $k$  Boltzman sabitini ( $1.38 \times 10^{-23}$  J/K) ifade etmektedir.

Belirli ışığa değerine maruz kaldığında fotovoltaik hücreler doğru gerilim üretir. Bu tez çalışmasında kullanılan FV modülün üretici firmanın  $25^{\circ}\text{C}$  ve saat 1.5 AM’de  $1000\text{W}/\text{m}^2$  şartları altında elde ettiği katalog değerleri Tablo 5.1 ile verilmektedir. FV panelin maksimum güç gerilimi, maksimum güç akımı, kısa devre akımı, açık devre gerilimi gibi elektriksel parametreleri detaylı bir şekilde listelenmiştir.

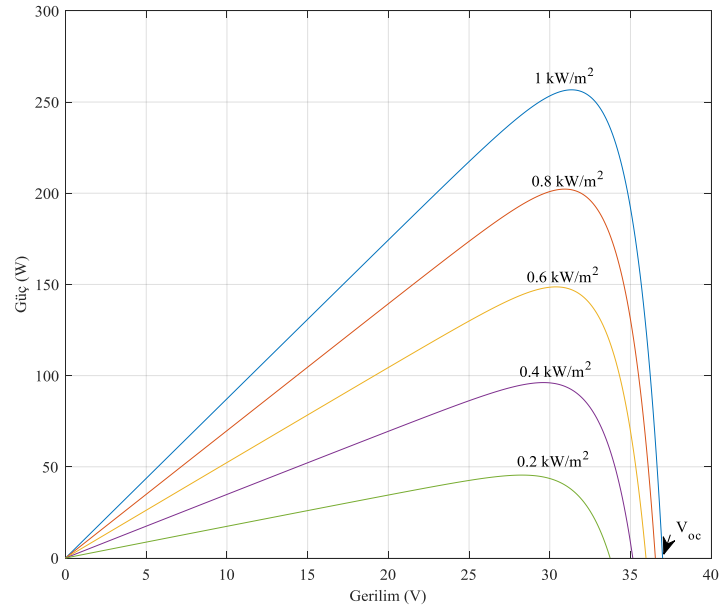
Tablo 5.1. LNSE-245P FV polikristal modülün elektriksel parametreleri

Maksimum Güç Noktasındaki Gerilimi ( $V_{mp}$ )	30.0V
Maksimum Güç Noktasındaki Akımı ( $I_{mp}$ )	8.17A
Açık Devre Gerilimi ( $V_{oc}$ )	37.1V
Kısa Devre Akımı ( $I_{sc}$ )	8.74A
Maksimum Güç ( $P_{max}$ )	245W
Ölçüleri	1640x992x40mm

Şekil 5.3 (a) ve (b)'de  $200 \text{ W/m}^2$  ile  $1000 \text{ W/m}^2$  arasında değişen farklı ışınma değerlerinde FV modülün I-V ve P-V karakteristik eğrileri verilmektedir. FV modülün maksimum güç noktasını tanımlamak için aynı test koşullarına göre üretilen güç özellikleri Şekil 5.3 (b)'de gösterilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.3. Farklı ışınım değerleri altında FV modülün (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim karakteristik eğrileri

FV hücrelerin üreteceği akım, sıcaklık ve güneş ışınımına bağlı olması sebebiyle değerlerin değişmesi durumunda FV hücrelerin üreteceği güç miktarı da değişir. 25 °C sabit sıcaklıkta 200 W/m<sup>2</sup> ile 1000 W/m<sup>2</sup> arasında değişen farklı ışınım değerlerinde üretilen güç, ışınım değerinin artmasıyla artış göstermektedir. Yani üretilen maksimum güç değeri artmaktadır. Şekil 5.3 (a)'da görüldüğü üzere, ışınımdaki değişiklikler FV hücrelerin üreteceği akım değerinde büyük değişikliklere neden olmaktadır.

## 5.2. Güç Dönüştürücüleri

Güneş, ışık ve ısı enerjisinin kaynağıdır. Güneş'in sunduğu bol miktardaki enerji, dünyanın şu anda kullandığı toplam enerji tüketiminden oldukça daha fazladır. Bundan dolayı güç dönüşümü, Güneş enerjisinden elde edilecek enerjinin elektrik enerjisi olarak kullanılmasındaki ana gereksinimlerden biridir. Güneş panelinden direk elde edilen DA çıkış voltajı genellikle düşüktür. Bu nedenle, yükü karşılamak için daha yüksek DA voltajına dönüştürülmesi veya AA voltajına dönüştürülmesi veya şebekeye bağlanması gerekir [95].

DA-DA dönüştürücüler, düşük gerilim ve akım dalgalanmaları ile yüksek gerilim ve verimli iletim kazançlarını sağlamak amacıyla geliştirilen devrelerdir. Özellikle DA dönüştürücüler, düşük fotovoltaiik gerilim nedeniyle yenilenebilir enerji uygulamalarında oldukça önemli bir yere sahiptir. Birçok endüstriyel uygulamada DA motorlarda, bilgisayar sistemleri ve iletişim cihazlarında, hibrit elektrikli araçlar vb. uygulamalarda DA/DA dönüştürücüler yaygın olarak kullanılmaktadır.

Güç kontrolünü gerçekleştirebilmek ve var olan güçten maksimum seviyede yararlanabilmek için MGNT yöntemleri kullanılırken, gerilim salınımlarını önlemek içinde bir ara birim çözümünün geliştirilmesi gerekmektedir. FV enerji sistemlerinde, yüke veya eviriciye istenen genlikte ve sabit bir gerilim sağlayabilmek için çeşitli konvertör devreleri kullanılmaktadır [96]. Bu konvertörlerden bazıları aşağıda kısaca açıklanmıştır.

- **Azaltan (Buck) Konvertör:** DA giriş gerilimden daha küçük bir çıkış gerilimi elde etmek amacıyla kullanılan konvertör çeşididir. Regüle edilmiş DA güç kaynaklarında ve DA motor hızının kontrol edildiği devrelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

- **Arttıran (Boost) Konvertör:** DA giriş geriliminden daha büyük çıkış gerilimi elde etmek için kullanılan konvertör türüdür. Yaygın olarak DA motorların dinamik frenlemede ve regüleli DA güç kaynaklarında kullanılmaktadır.
- **Azaltan-Arttıran (Buck-Boost) Konvertör:** Bu tip konvertörlerde, çıkış gerilimi giriş geriliminden küçük, eşit veya büyük olabilir. Eğer çıkış gerilimi giriş geriliminden büyük ise arttıran, küçük ise azaltan konvertör olarak çalışmaktadır.

Bu tez çalışmasında FV panelden elde edilen düşük gerilim değeri kademeli yükseltici DA/DA dönüştürücüsü kullanılarak arttırılacaktır.

### 5.2.1. Pozitif Çıkışlı Kademeli Yükseltici DA/DA Dönüştürücü

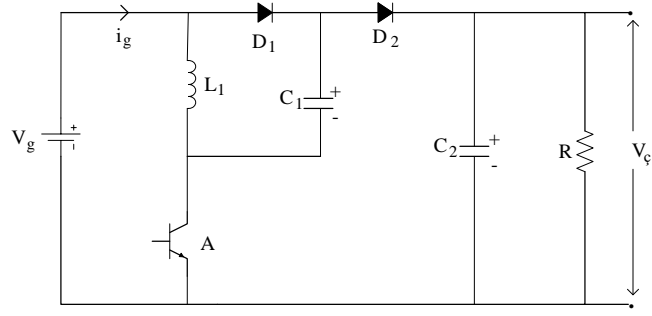
DA/DA dönüştürücü devre tasarımında, gerilim yükseltme (VL) ve süper kaldırma (SL) tekniği, gerilim değerini yükseltmek için popüleritesi her geçen gün artmakta olup yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Son yıllarda bu yöntemlerin etkin olarak kullanımı, yüksek gerilim kazançlı dönüştürücüler tasarlamak için çeşitli fırsatlar açmıştır.

Kademeli dönüştürücüler, yıllar içinde popülerliği artmış DA/DA konvertör çeşididir. Özellikle yüksek çıkışlı gerilim uygulamalarında tercih edilmektedir. Çıkış gerilimleri kademeli geometrik artarak çok yüksek gerilim transfer kazanımlarına sahiptir. Bu nedenle yüksek çıkış gerilimi gerektiren endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatür de pozitif kademeli, negatif kademeli, pozitif kaskat ve negatif kaskat olmak üzere 4 farklı devre yapısı tanıtılmıştır. Bu çalışmada da pozitif kademeli yapısı modellenmiştir.

Pozitif çıkışlı kademeli yükseltici DA/DA dönüştürücülerinin temel amacı, giriş geriliminden daha yüksek bir çıkış gerilimi sağlamaktır. Her devre bir anahtar (A), n tane indüktans, 2n tane kapasite ve (3n-1) tane diyot kullanılarak oluşturulur [95, 97].

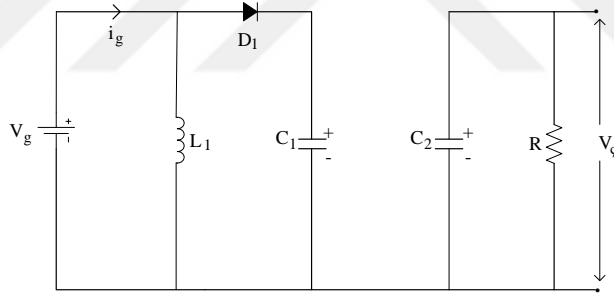
Temel devre yapısı; DA besleme gerilimi  $V_g$ , güç anahtarı A, kapasitörler  $C_1$  ve  $C_2$ , indüktans  $L_1$ , diyotlar  $D_1$  ve  $D_2$  ve yük direnci R'den oluşur. Şekil 5.4'de kademeli DA/DA dönüştürücünün temel devre yapısı gösterilmiştir. Anahtarlama frekansı f ( $T = 1/f$ ) ve iletim görev oranı D'dir. Giriş gerilimi ve akımı  $V_g$  ve  $I_g$ , çıkış gerilimi ve akımı  $V_ç$  ve  $I_ç$ 'dir.



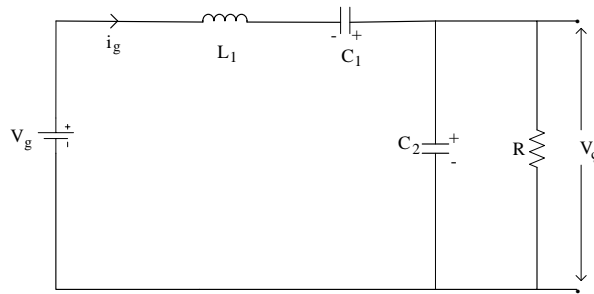


Şekil 5.4. Kademeli gerilim yükseltici DA/DA dönüştürücünün temel devre yapısı

Şekil 5.5’de Kademeli gerilim yükseltici DA/DA dönüştürücünün çalışma modları gösterilmiştir. Şekil 5.5 (a) anahtarın iletim durumundaki, (b) anahtarın kesim durumundaki devre yapısıdır. Anahtar iletimde olduğu durum boyunca ( $t_{on}$  durumunda)  $C_1$  kondansötörü  $V_g$  giriş gerilimine sarj olur. Bu esnada  $L_1$  bobininden akan  $i_{L1}$  akımı DT anahtarlama süresince  $V_g$  giriş gerilimi ile artar. Anahtar kesime girdiğinde yani  $(1-D)T$  periyodunda iken  $i_{L1}$  indüktör akımı  $(V_ç-2V_g)$  gerilimiyle azalır.



(a)



(b)

Şekil 5.5. Kademeli yükseltici DA/DA dönüştürücü (a) iletim durumu için eşdeğer devre şeması, (b) kesim durumu için eşdeğer devre şeması

Anahtarın iletim ve kesim durumlarında meydana gelen indüktans akımındaki dalgalanma ( $\Delta i_{L1}$ ) Denklem 5.2 ve giriş ve çıkış gerilimi arasındaki ilişki Denklem 5.3 ile hesaplanmaktadır.

$$\Delta i_{L1} = \frac{V_g * D * T}{L_1} = \frac{V_\zeta - 2V_{in}(1-D)T}{L_1} \quad (5.2)$$

$$V_\zeta = \left(\frac{2-D}{1-D}\right) V_{in} \quad (5.3)$$

$i_g$  giriş akımı, indüktör akımı ve kapasitör akımının toplamına ( $i_g = i_{L1} + i_{C1}$ ) eşittir. Anahtarın iletim ve kesim durumları için giriş akımı, Denklem 5.4 ile hesaplanır.

$$\begin{aligned} i_{giletim} &= i_{L1iletim} + i_{C1iletim} \\ i_{gkesim} &= i_{L1kesim} + i_{C1kesim} \end{aligned} \quad (5.4)$$

$$DTi_{C1iletim} = (1-D)Ti_{C1kesim}$$

Eğer  $L_1$  indüktansının değeri yeteri kadar büyük seçilirse, indüktans akım değeri ( $i_{L1}$ ) ortalama indüktans akım ( $I_{L1}$ ) değerine eşit olur.

$$i_{gkesim} = i_{C1kesim} = I_{L1}, i_{giletim} = I_{L1} + \left(\frac{1-D}{D}\right) I_{L1} = \frac{I_{L1}}{D} \quad (5.5)$$

$$i_{C1iletim} = \left(\frac{1-D}{D}\right) I_{L1} \quad (5.6)$$

Ortalama giriş akım değeride ( $I_g$ ) Denklem 5.7 ile hesaplanır.

$$I_g = Di_{giletim} + (1-D)i_{gkesim} = I_{L1} + (1-D)I_{L1} = (2-D)I_{L1} \quad (5.7)$$

İndüktans akım değişim oranı ( $\zeta$ ) ise;

$$\frac{V_g}{i_g} = \left(\frac{1-D}{2-D}\right)^2 \cdot \frac{V_\zeta}{i_\zeta} = \left(\frac{1-D}{2-D}\right)^2 R \quad (5.8)$$

$$\zeta = \frac{\Delta i_{L1}/2}{I_{L1}} = \frac{D(2-D)TV_g}{2L_1 i_g} = \frac{D(1-D)^2 R}{2(2-D)fL_1} \quad (5.9)$$

denklemleri ile hesaplanır. Çıkış gerilimindeki dalgalanmada ( $\Delta V_C$ ) Denklem 5.10 ile hesaplanır.

$$\Delta V_{\zeta} = \frac{\Delta Q}{C_2} = \frac{i_{\zeta}(1-D)T}{C_2} = \frac{(1-D)V_{\zeta}}{fC_2R} \quad (5.10)$$

Bu dönüştürücü devresi için giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki ilişkinin genelleştirilmiş hali Denklem 5.11 ile verilmiştir. Denklemdaki n, seviye sayısını temsil etmektedir.

$$\frac{V_{\zeta}}{V_g} = \left(\frac{1-D}{2-D}\right)^n \quad (5.11)$$

L indüktansının değeri  $\Delta I_{L1}$  dalgalanmasından yararlanarak hesaplanır. Buna göre;

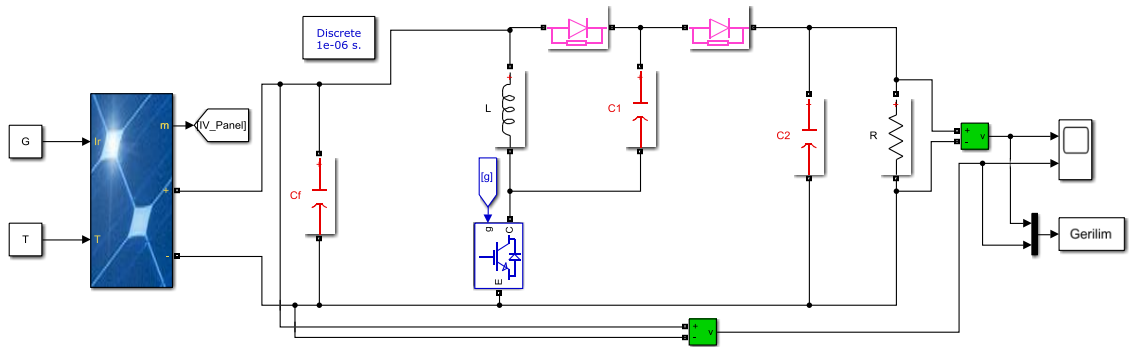
$$L = \frac{V_{\zeta} - 2V_g}{\Delta I_{L1} \cdot f} \quad (5.12)$$

Kapasite değeri ise;

$$C_1 = C_2 = \frac{(1-D) \cdot V_{\zeta}}{fR\Delta V_{\zeta}} \quad (5.13)$$

şeklinde hesaplanır.

Kademeli Yükseltici DA/DA Dönüştürücü devresine ait MATLAB/Simulink benzetim modeli Şekil 5.6 ile gösterilmiştir. Konvertör parametreleri;  $C_f=4400\mu\text{F}$ ,  $L=10\text{mH}$  ve  $R=80\Omega$  olarak kullanılırken  $C_1=2200\mu\text{F}$ ,  $C_2=2200\mu\text{F}$ 'dır. Anahtarlama frekansı ise 1 kHz'dir.

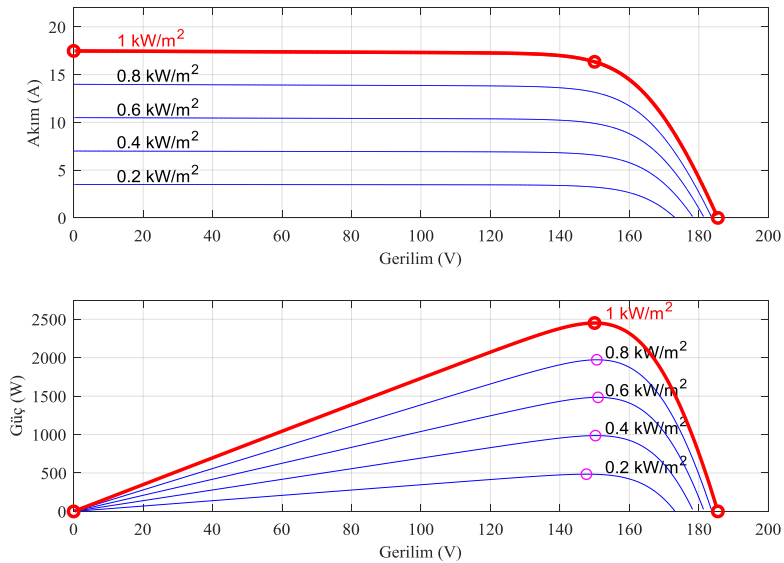


Şekil 5.6. Kademeli yükseltici DA/DA dönüştürücü devresine ait MATLAB/Simulink modeli

### 5.3. Maksimum Güç Noktası Takipçisi (MGNT)

Fotovoltaik sistemler, üzerine düşen güneş ışığından elektrik enerjisi üretmek için kullanılmaktadır. FV panelin performansı, güneş ışığına ve sıcaklığı bağlıdır. Gün boyu sıcaklıktaki değişimler, FV panelin çıkış gerilimini, ışınımdaki dalgalanmalar ise FV panelin çıkış akımını etkilemektedir [98]. Bu sebeple FV panelin I-V karakteristik eğrisi doğrusal değildir ve gün boyu panel güneş ışığına maruz kalsa bile yalnızca bir maksimum güç noktasına sahiptir. Bu Maksimum Güç Noktası (MGN), panelin maksimum gücünde çalıştığı optimum çalışma noktasını temsil etmektedir. Değişen çevresel faktörlere rağmen güneş enerjisinden üretilen enerji miktarını maksimum seviyede tutmak için literatürde çeşitli MGNT algoritmaları geliştirilmiştir. MGNT kontrolörünün temel amacı, sıcaklık ve güneş ışığı gibi atmosferik değişkenlerden bağımsız olarak FV panellerden maksimum kullanılabilir gücü elde etmektir. FV sistemler için açık devre akımı ( $V_{oc}$ ), kısa devre akımı ( $I_{sc}$ ), gözle ve uygula (P&O), artan iletkenlik (IC) vb. gibi literatürde birçok MGNT algoritması vardır [99, 100].

Şekil 5.7’de  $200 \text{ W/m}^2$  ile  $1000 \text{ W/m}^2$  arasında değişen farklı ışımaya değerlerinde 2 paralel, 5 seri bağlanmış FV dizisinin P-V ve I-V karakteristik eğrileri verilmektedir. FV dizinin maksimum güç noktasını tanımlamak için aynı test koşullarına göre üretilen güç özellikleri ikinci grafikte gösterilmektedir.



Şekil 5.7. Farklı ışınım değerleri altında 2 paralel 5 seri bağlanmış FV generatöre ait akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristik eğrileri

Bu tez çalışmasında FV panelden maksimum çıkış gücü elde edebilmek için MGNT yöntemlerinden gözle ve uygula algoritması kullanılmıştır.

### 5.3.1. Gözle ve Uygula Algoritması

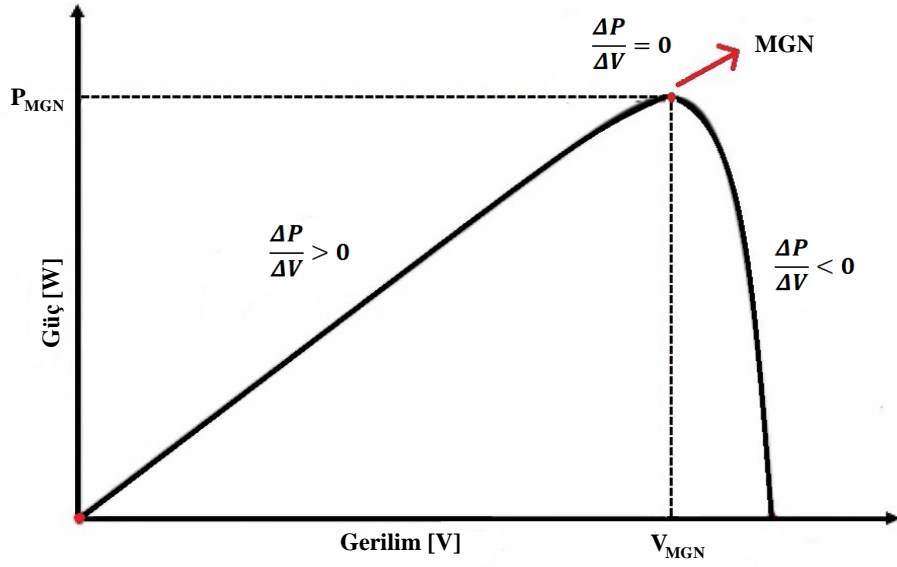
Gözle ve uygula algoritması, FV panelin maksimum güç noktasına yaklaşımı için tekrarlamalı bir yöntemdir. Bu yöntemin bir diğer adı ise tırmanma algoritmasıdır. Kolay uygulanabilirliği ve basitliği sebebiyle yaygın olarak kullanılan bir MGNT tekniğidir [99, 101].

FV panelin çıkış gücü anlık güneş ışığına ve sıcaklığa bağlı olarak sürekli değişmektedir. Sistem, çıkış gücünü hesaplayabilmek amacıyla FV panelin gerilimini ve akımını periyodik olarak ölçen gerilim ve akım sensörü olmak üzere iki adet sensör gerektirmektedir. Sensörler yardımıyla elde edilen gerilim ve akım bilgisi doğrultusunda sistem içerisinde sürekli olarak FV panelin o anki gerçek gücü ile bir önceki güç değeri arasındaki değişim ( $\Delta P$ ) algoritma içerisinde hesaplanır. Algoritma, güçteki değişime göre aynı zamanda gerilimdeki değişim ( $\Delta V$ ) veya akımdaki değişim ( $\Delta I$ ) arasındaki ilişkiye bağlıdır. Karşılaştırma yapılarak sistemin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlamak amacıyla anahtarlama görev oranı artırılır ya da azaltılır [102-104]. Gözle ve uygula algoritmasının temel çalışma prensibi Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Sistemin o anki durumu;

$$\frac{\Delta P}{\Delta V} > 0 \quad \text{ise çalışma noktası maksimum güç noktasının solunda,}$$

$$\frac{\Delta P}{\Delta V} = 0 \quad \text{ise çalışma noktası maksimum güç noktasında,}$$

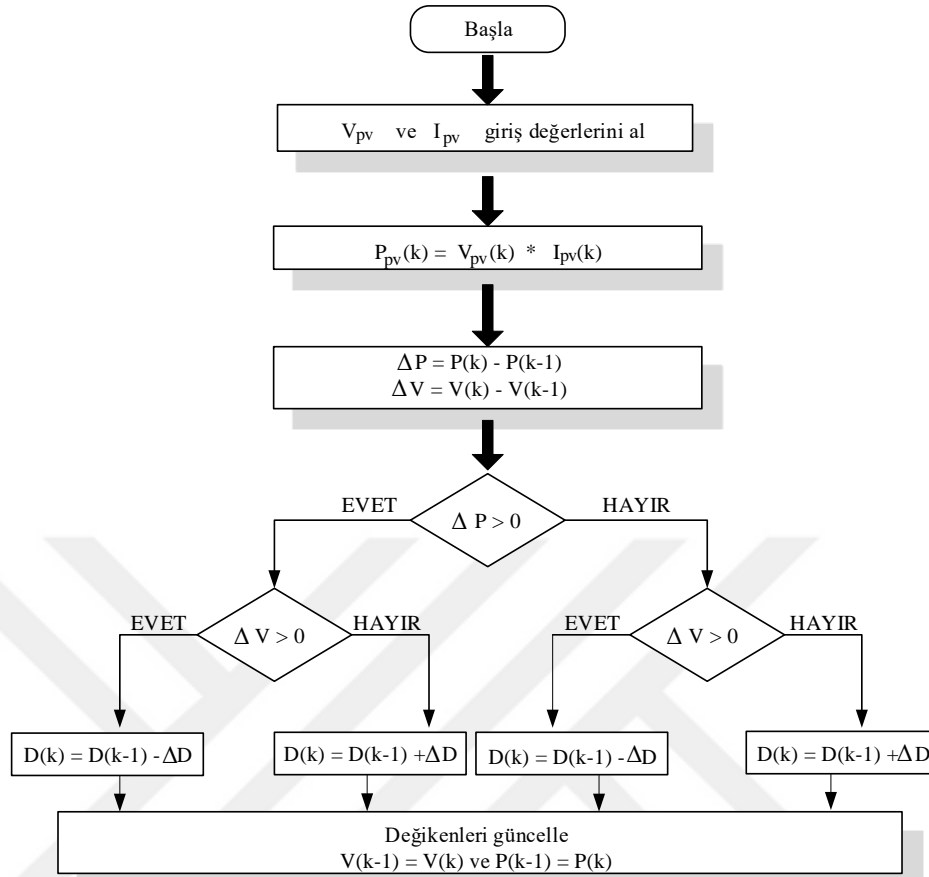
$$\frac{\Delta P}{\Delta V} < 0 \quad \text{ise çalışma noktası maksimum güç noktasının sağındadır.}$$



Şekil 5.8. Gözle ve uygula algoritmasının temel prensibi

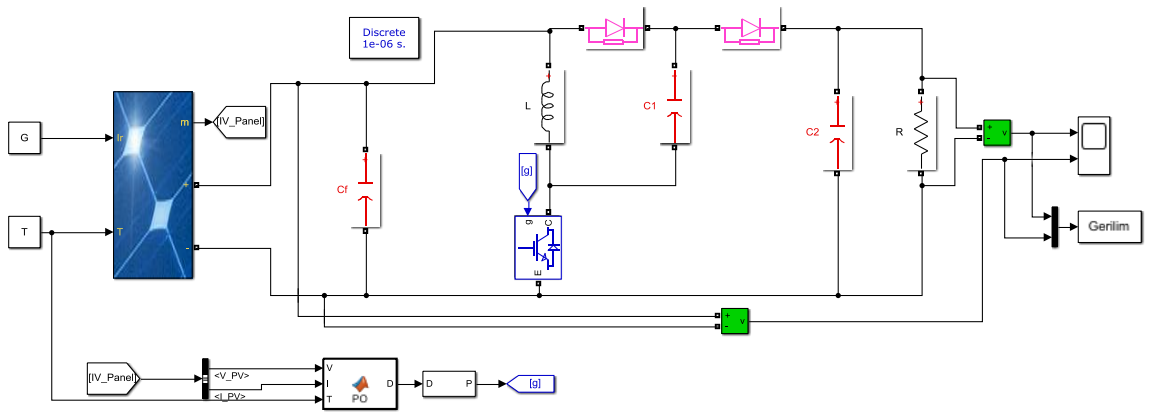
Gözle ve uygula algoritması basit bir geri besleme yapısına sahip olması ve düşük maliyetiyle uygulama kolaylığından dolayı hem güneş enerjisi hem de rüzgâr enerjisinde maksimum güç noktasını takip etmek için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Gözle ve uygula algoritmasının çalışmasını anlatan akış diyagramı Şekil 5.9 ile verilmiştir. Şekil 5.9'da yer alan algoritmada görüldüğü üzere gerilim ve akım bilgisi sensörler yardımıyla elde edilir. Daha sonra gerilim ve akımın çarpımı o anda ki FV panelin gerçek gücünü verir. Hesaplanan güç değerinden bir önceki güç değeri çıkartılarak  $\Delta P$  güç değişimi elde edilir. Eğer güçte herhangi bir değişiklik yoksa bu durum çalışma noktasının MGN'nda olduğunu ifade etmektedir. Güç değişimi pozitif ( $\Delta P > 0$ ) ve o andaki gerilim değeri ile bir önceki gerilim değeri arasındaki değişim de pozitif ( $\Delta V > 0$ ) ise D anahtar görev oranı  $\Delta D$  kadar azaltılır, gerilim değerleri arasındaki değişim negatif ( $\Delta V < 0$ ) ise D anahtar görev oranı  $\Delta D$  kadar artırılır ve algoritma başa döner. Güç değişimi negatif ( $\Delta P < 0$ ) ve gerilim değişimi de negatif ( $\Delta V < 0$ ) ise D anahtar görev oranı  $\Delta D$  kadar artırılır, gerilim değişimi pozitif ( $\Delta V > 0$ ) ise D anahtar görev oranı  $\Delta D$  kadar azaltılır ve algoritma başa döner.



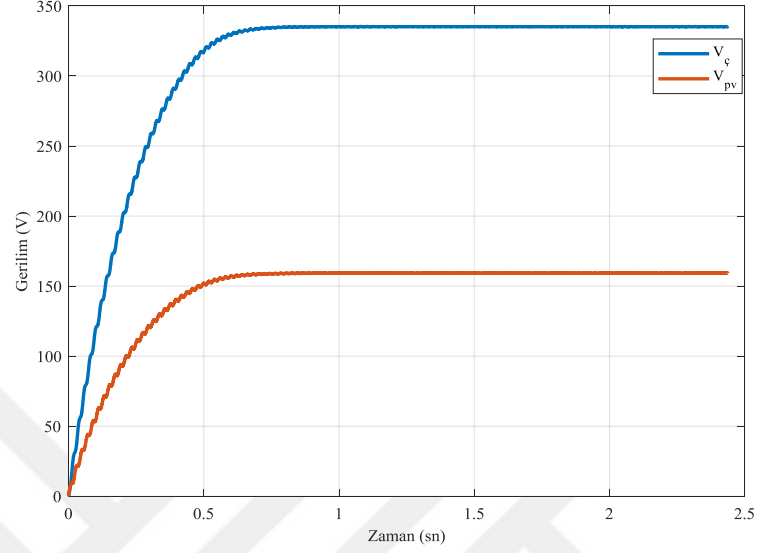
Şekil 5.9. Gözle ve uygula algoritması akış diyagramı

Şekil 5.9 ile akış şeması verilen gözle ve uygula algoritması kullanılarak maksimum güç noktasına karşılık gelen optimum görev periyodunu (D'yi) hesaplayarak kademeli yükseltici DA/DA dönüştürücüye uygulanmaktadır. Tasarlanan sistemin MATLAB/Simulink modeli Şekil 5.10'da gösterilmiştir.



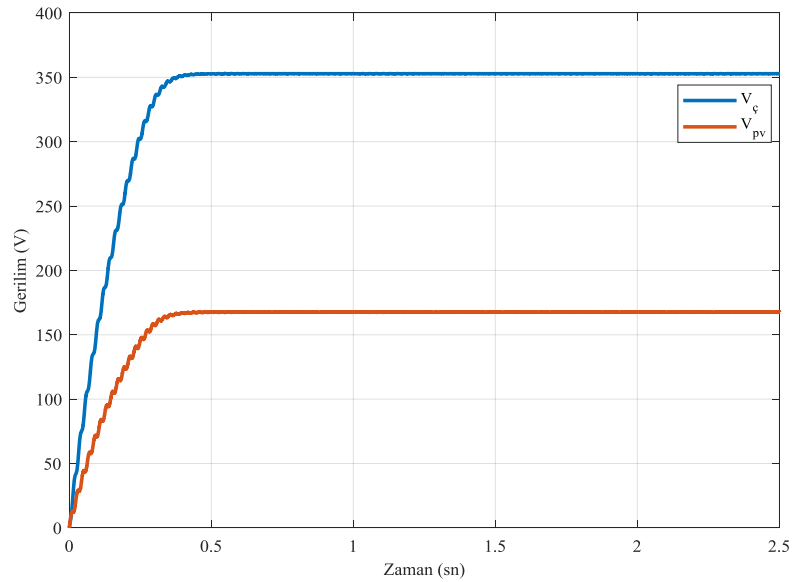
Şekil 5.10. Gözle ve uygula algoritması kullanılan sistemin MATLAB/Simulink modeli

Işımanın  $600 \text{ W/m}^2$  olduğu durumumda panel çıkış gerilimi ve kademeli yükseltici DA/DA gerilim değeri Şekil 5.11 ile gösterilmektedir.



Şekil 5.11. Işıma değeri  $600 \text{ W/m}^2$  için konvertör çıkış gerilimi ( $V_{\text{ç}}$ ) ve panel çıkış gerilimi ( $V_{\text{pv}}$ ) değişimleri

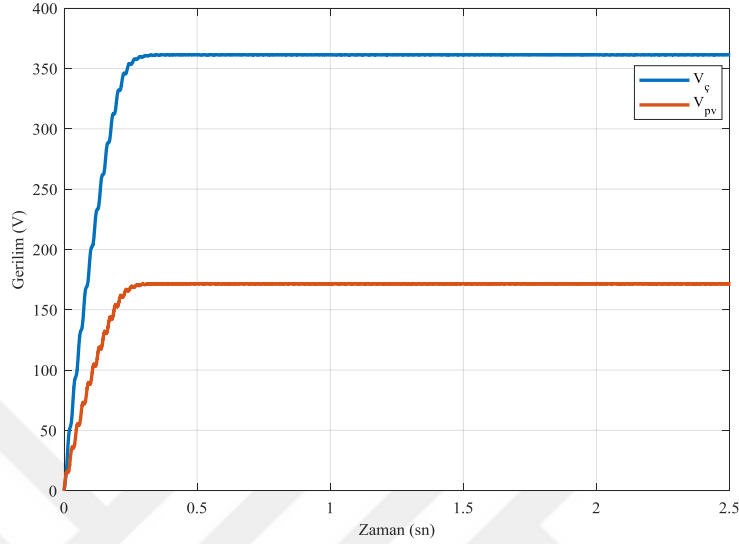
Işımanın  $800 \text{ W/m}^2$  olduğu durumumda panel çıkış gerilimi ve kademeli yükseltici DA/DA gerilim değeri Şekil 5.12 ile gösterilmektedir.



Şekil 5.12. Işıma değeri  $800 \text{ W/m}^2$  için konvertör çıkış gerilimi ( $V_{\text{ç}}$ ) ve panel çıkış gerilimi ( $V_{\text{pv}}$ ) değişimleri



Işımanın  $1000 \text{ W/m}^2$  olduğu durumda panel çıkış gerilimi ve kademeli yükseltici DA/DA gerilim değeri Şekil 5.13 ile gösterilmektedir.

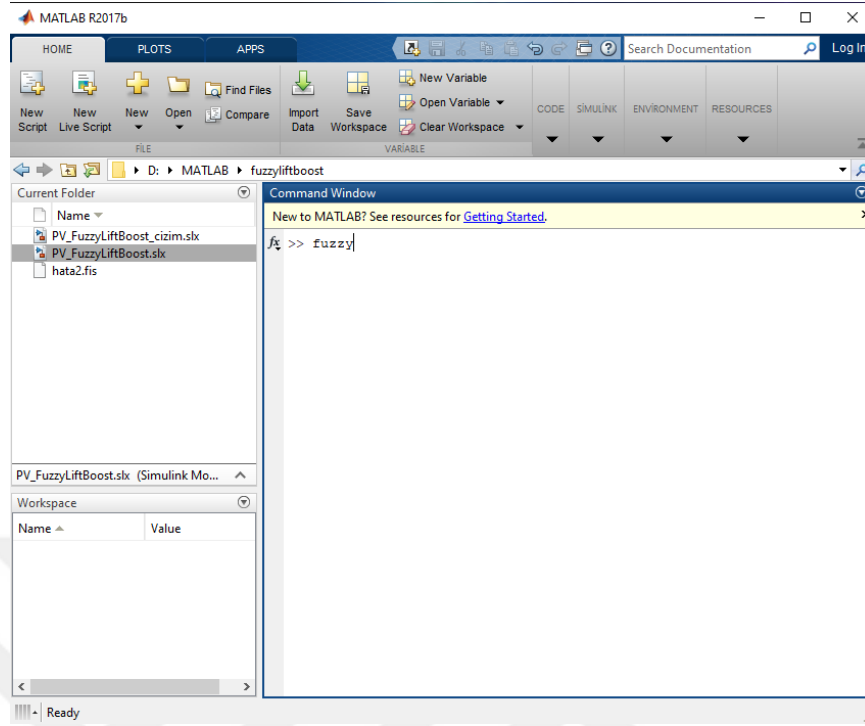


Şekil 5.13. Işıma değeri  $1000 \text{ W/m}^2$  için konvertör çıkış gerilimi ( $V_{\text{ç}}$ ) ve panel çıkış gerilimi ( $V_{\text{pv}}$ ) değişimleri

#### 5.4. Bulanık Mantık Kontrol Yöntemi

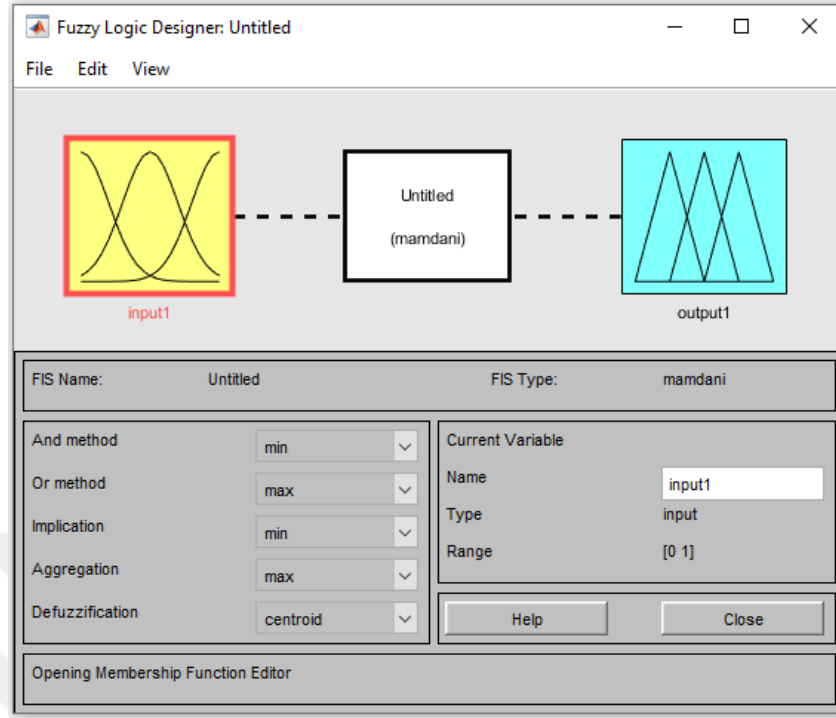
FV sistem çalışmalarında her geçen yıl bulanık mantık denetleyicisi kullanımı önemli derecede bir artış göstermektedir. Dayanıklı olması ve diğer kontrol yöntemlerine göre sistem modelinin tam bilinmesini gerektirmemesi sebebiyle FV sistem uygulamalarındaki kullanımını yaygınlaştırmıştır [105]. Bulanık mantık denetleyicisinin temel elemanları ve bir bulanık mantık sürecinin nasıl gerçekleştiği Bölüm 4 ile ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Bu bölümde, bulanık mantık yöntemi kullanılarak tasarlanan sistem hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

FV sistemlerden elde edilen gücü maksimize etmek için kullanılan algoritmalarından biride bulanık mantık algoritması ile yapılan MGNT uygulamasıdır. Bulanık mantık denetleyicisi ile MGNT tasarımı yapılabilmesi için MATLAB benzetim programında Command Window ekranına “fuzzy” komutu yazılarak tasarım ara yüzü çağırılır. Tasarım arayüzünün çağırılması Şekil 5.14 ile gösterilmiştir.



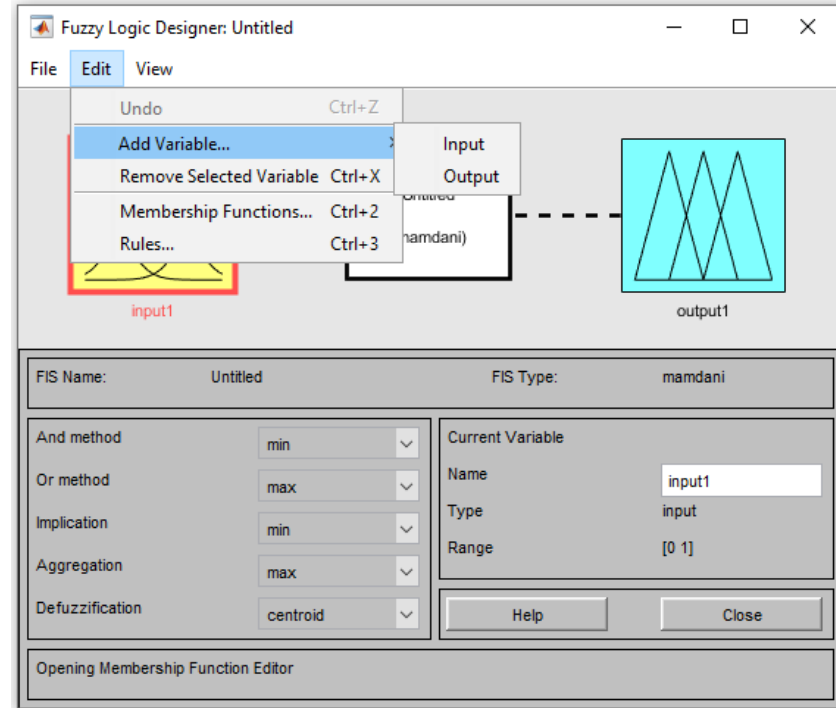
Şekil 5.14. MATLAB benzetim programında bulanık mantık tasarım arayüzünün çağırılması

“Fuzzy” komutu kullanılarak çağrılan pencere Şekil 5.15’de verilmiştir. Açılan pencereden ve, veya, bulandırma, toplama ve durulama ayarları yapılabilmektedir. Tasarlanılacak sisteme göre giriş ve çıkış sayısı belirlenebilir. Giriş veya çıkış ayarlarının yapılabilmesi içinde ayarlanacak bloğa çift tıklayarak “Membership Function Editor” penceresini açarak gerekli ayarlamalar yapılabilir. Bu pencereden değer aralıkları, üyelik fonksiyonları ayarlanabilir.



Şekil 5.15. FIS Editor penceresi

Bu çalışmada tasarlanacak bulanık mantık sistemi 2 giriş ve 1 çıkışlı olması sebebiyle Şekil 5.16’de görüldüğü üzere bir adet daha giriş değişkeni eklenmiştir.



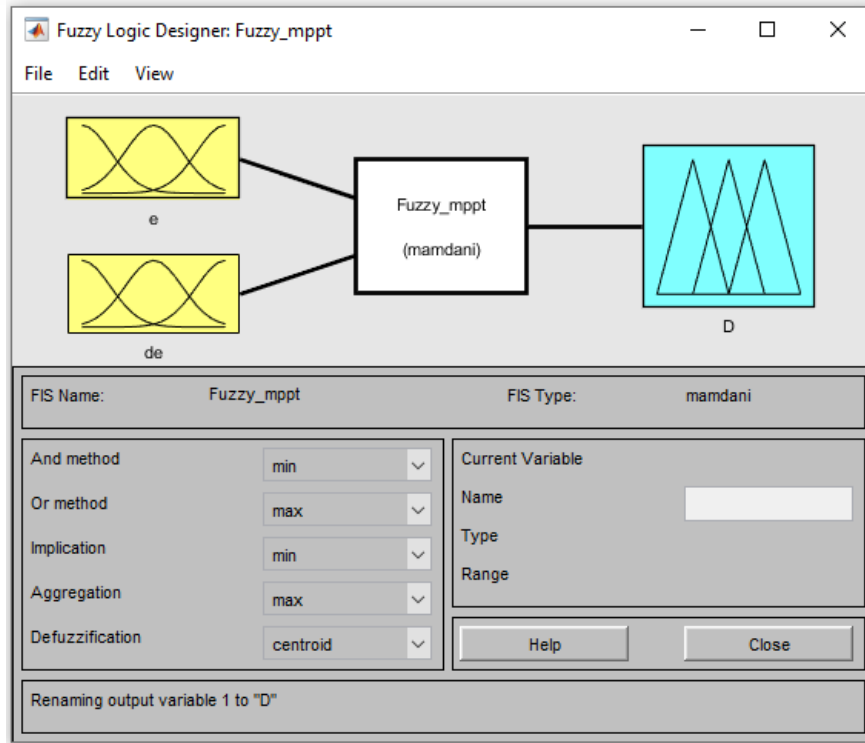
Şekil 5.16. Giriş ve çıkış değişkeni ekleme

Şekil 5.17’de tasarlanacak sistemin giriş ve çıkış değişkenlerinin MATLAB arayüzündeki görünümü verilmiştir. Giriş değişkenleri, hata (e) ve hatadaki değişim (de) olarak tanımlanmıştır. Giriş değişkenleri olan hata (e), Denklem 5.14’de ve hatadaki değişim (de), Denklem 5.15’de yer alan matematiksel ifadeleri yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$e = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} \quad (5.14)$$

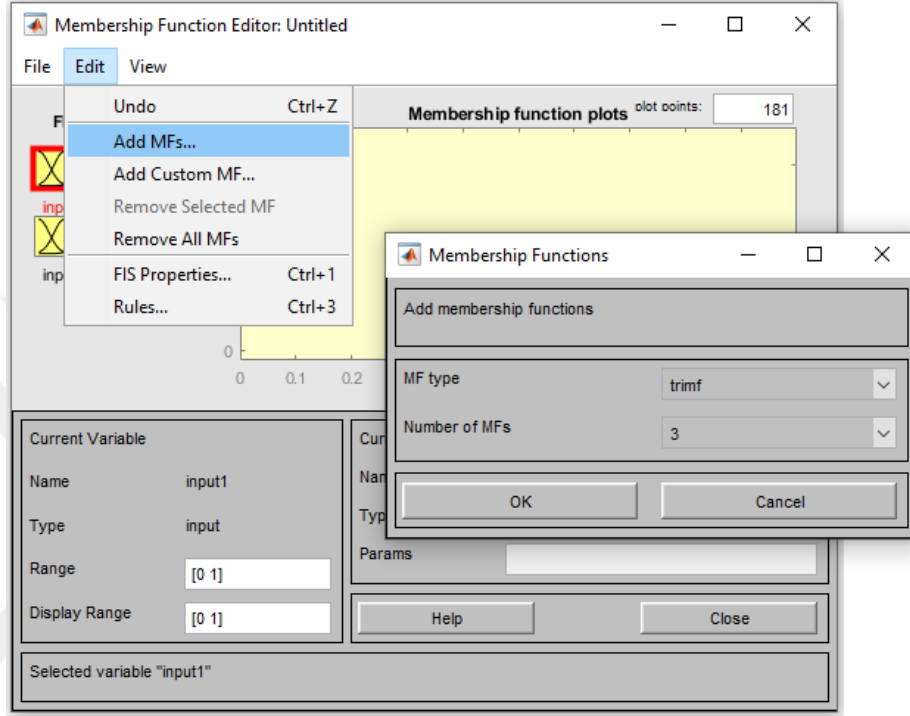
$$de = e(k) - e(k - 1) \quad (5.15)$$

Denklem 5.14’de P(k), FV panelin k anındaki gücünü; P(k-1), FV panelin k anından bir önceki gücünü; V(k), FV panelin k anındaki gerilimini; V(k-1), FV panelin k anından bir önceki gerilimini ifade etmektedir. Denklem 5.15’de ise e(k), k anındaki hatayı; e(k-1) ise k anından bir önceki hatayı ifade etmektedir. Tasarlanan sistemde çıkış değişkeni olarak DA/DA dönüştürücüsünün anahtarlama görev oranı (D) kullanılmıştır. Denetleyici olarak da sadeliği ve kolaylığı sebebiyle Mamdani çıkarım yöntemi tercih edilmiştir.



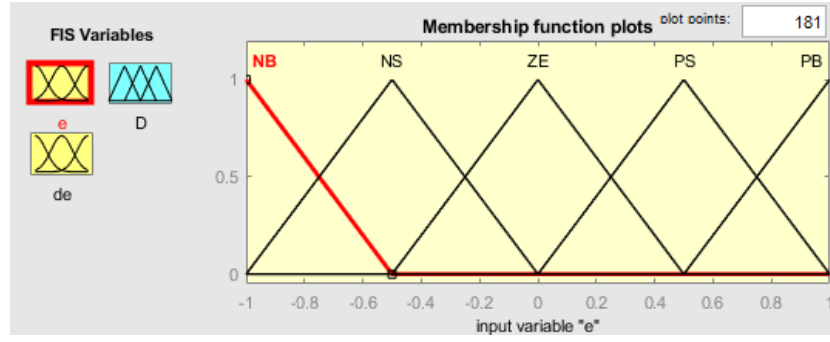
Şekil 5.17. Bulanık mantık tabanlı MGNT yöntemi giriş ve çıkış değişkenleri

Giriş ve çıkış değişken sayıları belirlendikten sonra bu verilerin değer aralıklarına göre sisteme tanımlanması gerekmektedir. Şekil 5.18’de görüldüğü gibi bu pencereden sistem içerisindeki bütün giriş ve çıkış değişkenleri için isim, değer aralığı, üyelik fonksiyon tipi, üyelik fonksiyon sayısı gibi ayarlamaları yapılmaktadır.

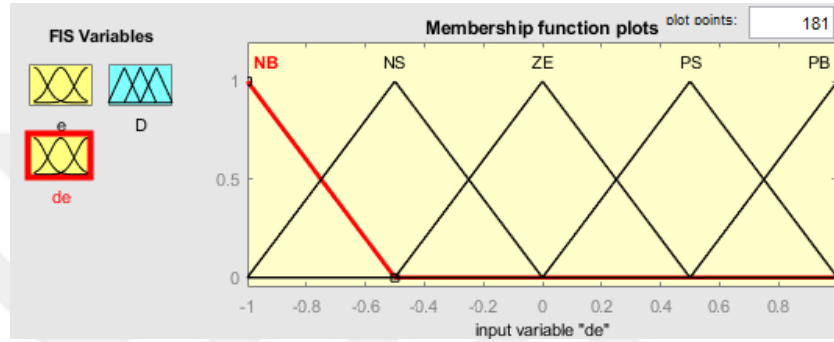


Şekil 5.18. Üyelik fonksiyonu ekleme, tipi ve sayısının belirlenmesi

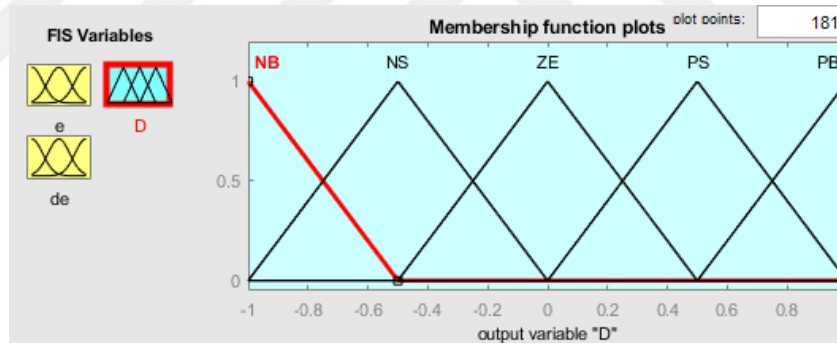
Tasarlanacak bulanık mantık algoritmasında, giriş ve çıkış değişkenleri için üçgen üyelik fonksiyonunun kullanımı tercih edilmiştir. Giriş ve çıkış değişkenlerini, dilsel değişkenlerle ifade edebilmek amacıyla beş seviye kullanılmıştır. Üyelik fonksiyonundaki bu seviyeler; NB (Negatif Büyük), NS (Negatif Küçük), ZE (Sıfır), PS (Pozitif Küçük) ve PB (Pozitif Büyük) olacak şekilde dilsel değişkenlere dönüştürülmüştür. Şekil 5.19’da giriş ve çıkış değişkenleri için hangi değer aralıklarında hangi dilsel değişkenlerle ifade edildiğini gösteren bulanık kümeler gösterilmiştir.



(a)



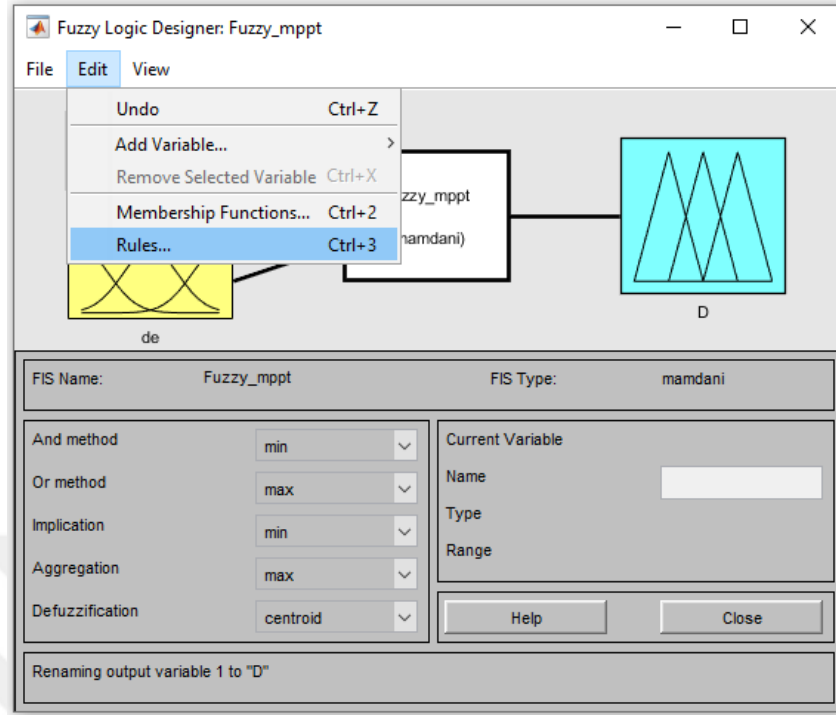
(b)



(c)

Şekil 5.19. Bulanık mantık arayüzünde giriş ve çıkış değişkenleri; (a) hata (e), (b) hatadaki değişim (de) ve görev periyodu (D) için belirlenen bulanık kümeler

Giriş ve çıkış verilerinin, bulanık küme tanımlamaları yapıldıktan sonra kural tabanı oluşturulur. Şekil 5.20’de gösterildiği gibi kural tabanını oluşturabilmek için “Rules Editor” penceresi çağırılır.



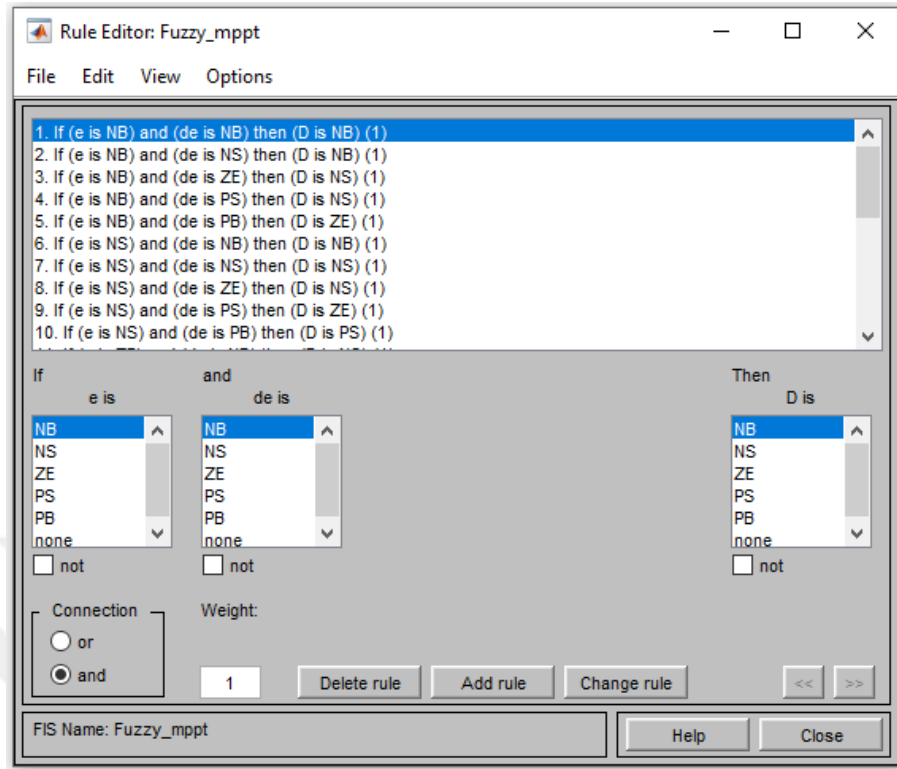
Şekil 5.20. Kural tabanı oluşturabilmek için “Rules Editor” penceresinin çağrılması

Bulanıklaştırma işlemi sonucu oluşan bulanık veriler, veritabanında toplanmaktadır. Giriş ve çıkış değişkenleri arasında “If-Then” koşulları ile ilişki kurulmaktadır. İki giriş ve bir çıkış değişkeni olan bulanık tasarıma ait kural tabanının “Rules Editor’e” girilebilmesi için giriş değişkenlerinin durumuna göre çıkışın değişimini gösteren tablo aşağıda Tablo 5.2 ile verilmiştir.

Tablo 5.2. Bulanık mantık kural tablosu

e/de	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	NS	NS	ZE
NS	NB	NS	NS	ZE	PS
ZE	NS	NS	ZE	PS	PS
PS	NS	ZE	PS	PS	PB
PB	ZE	PS	PS	PB	PB

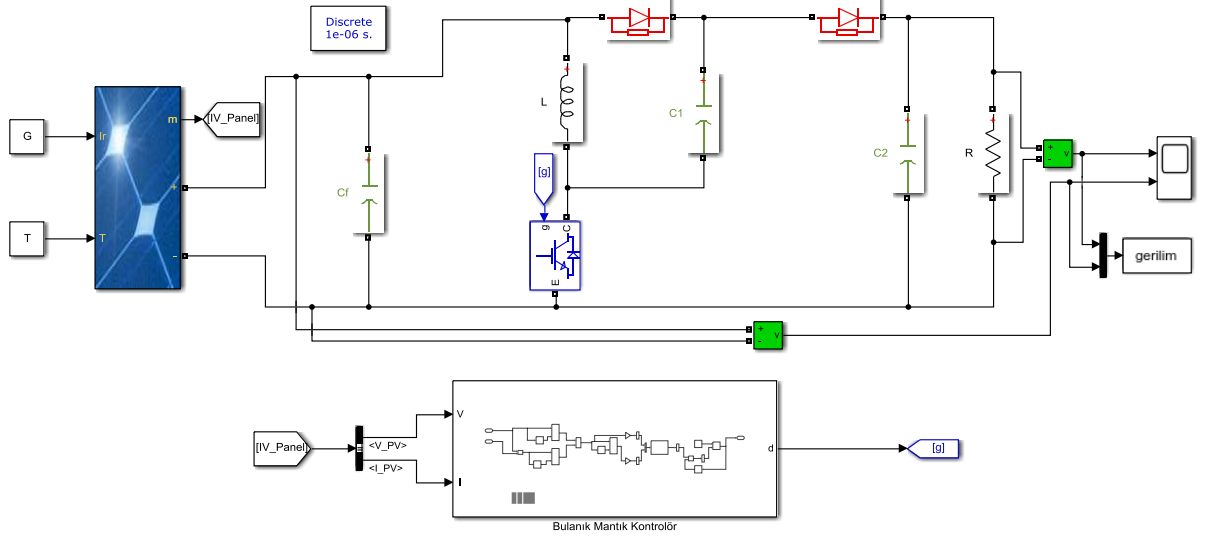
Tablo 5.2’de verilen kural tablosu Şekil 5.21’de görüldüğü gibi kural editörüne girilerek toplamda 25 kural elde edilmiştir.



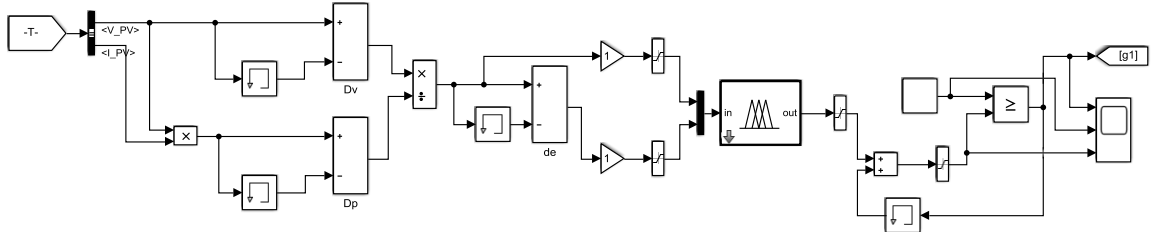
Şekil 5.21. Kural tabanının oluşturulması

Yapılan bulanık mantık tabanlı MGNT sistemi, FV panelden gelen o anki akım ve gerilim bilgileriyle gücü hesaplayıp bir önceki güç değerinden çıkararak elde ettiği güç değişimi ile panelinin o anki gerilimden bir önceki gerilim değerinin çıkartılmasıyla elde ettiği gerilim değişimlerinden yola çıkarak ürettiği hata (e) ve hata değişimi (de) girişlerini, üyelik fonksiyonları ile dilsel değişkenlere dönüştürmektedir. Bu işlemden sonra giriş verileri ile oluşturulan kural tabanına göre sistemin o anki koşullarda ürettiği çıkış değeri, DA/DA dönüştürücüyü anahtarlayarak, sistemi MGN'nda çalıştırmayı amaçlamaktadır. Şekil 5.22'de MATLAB/Simulink benzetim programında bulanık mantık denetleyici algoritması kullanılarak tasarlanan sistem gösterilmiştir. Şekil 5.23'de ise bulanık mantık kontrolörü içerisine gömülü olan tasarım gösterilmiştir.



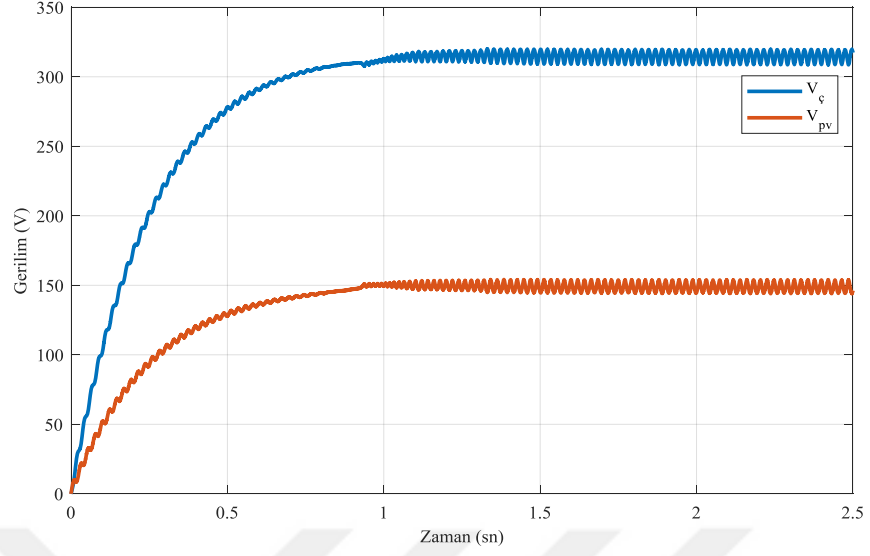


Şekil 5.22. Bulanık mantık denetleyici algoritması kullanılan sistemin MATLAB/Simulink modeli



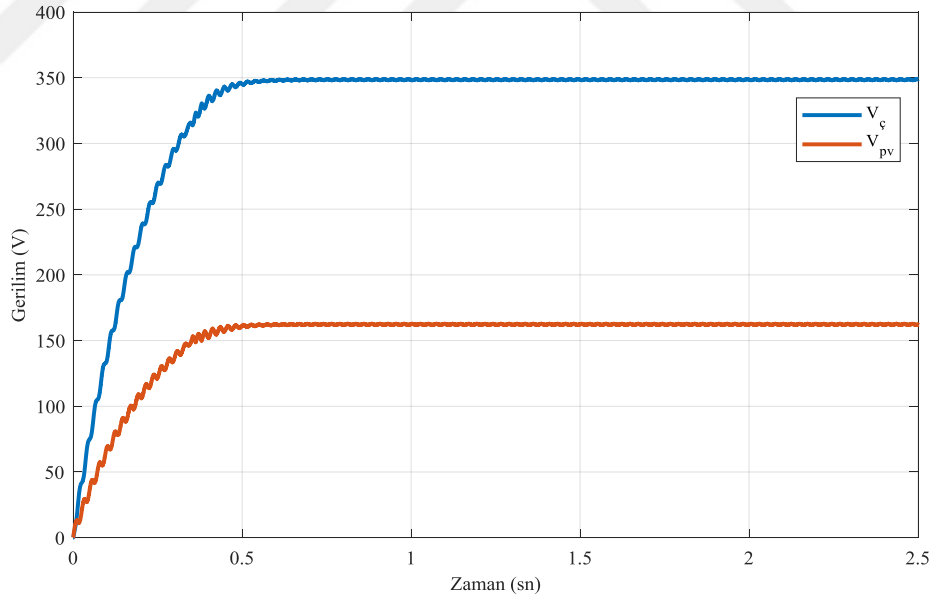
Şekil 5.23. Bulanık mantık kontrolörü

Işımanın  $600 \text{ W/m}^2$  olduğu durumumda panel çıkış gerilimi ve kademeli yükseltici DA/DA gerilim değeri Şekil 5.24 ile gösterilmektedir.



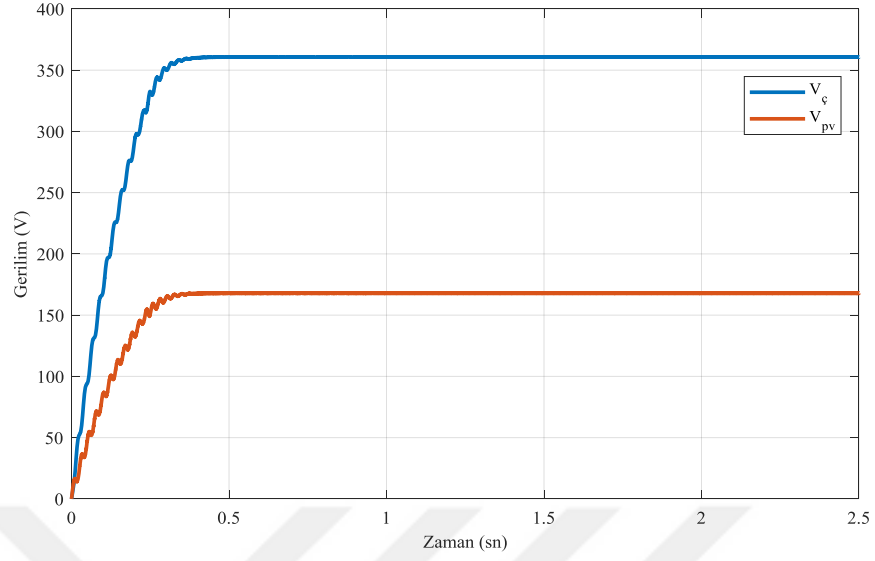
Şekil 5.24. Işıma değeri  $600 \text{ W/m}^2$  için konvertör çıkış gerilimi ( $V_c$ ) ve panel çıkış gerilimi ( $V_{pv}$ ) değişimleri

Işımanın  $800 \text{ W/m}^2$  olduğu durumumda panel çıkış gerilimi ve kademeli yükseltici DA/DA gerilim değeri Şekil 5.25 ile gösterilmektedir.



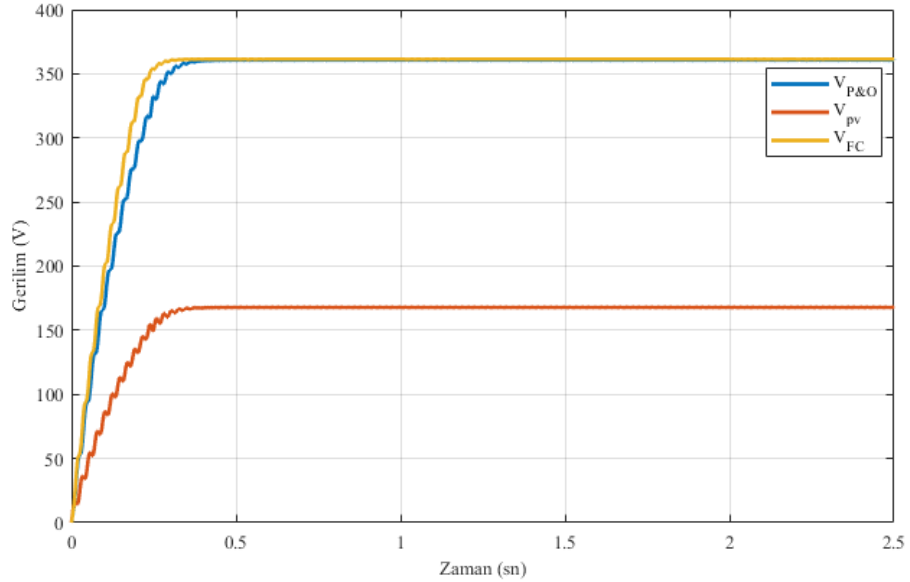
Şekil 5.25. Işıma değeri  $800 \text{ W/m}^2$  için konvertör çıkış gerilimi ( $V_c$ ) ve panel çıkış gerilimi ( $V_{pv}$ ) değişimleri

Işımanın  $1000 \text{ W/m}^2$  olduğu durumumda panel çıkış gerilimi ve kademeli yükseltici DA/DA gerilim değeri Şekil 5.26 ile gösterilmektedir.



Şekil 5.26. Işıma değeri  $1000 \text{ W/m}^2$  için konvertör çıkış gerilimi ( $V_{\text{ç}}$ ) ve panel çıkış gerilimi ( $V_{\text{pv}}$ ) değişimleri

Işımanın  $1000 \text{ W/m}^2$  olduğu durumumda panel çıkış gerilimi ve gözle ve uygula algoritması ve bulanık mantık algoritması kullanılan DA/DA kademeli yükseltici devresi çıkış gerilimi üzerindeki karşılaştırmalı sonucu Şekil 5.27 ile verilmiştir.



Şekil 5.27. Gözle ve uygula algoritması ve bulanık mantık algoritması kullanılan DA/DA kademeli yükseltici devresi çıkış gerilimi ve FV dizisinin çıkış gerilimlerinin  $1000 \text{ W/m}^2$  ışırma değeriindeki çalışması

## BÖLÜM 6

### SONUÇLAR

Bu çalışmada ülkemizin ve Nevşehir ilinin sahip olduğu güneş enerji potansiyeli detaylı olarak araştırılmıştır. Nevşehir ilinde kurulacak güneş enerji sistemlerinden daha iyi bir şekilde verim alabilmek için güneşlenme süreleri ve global radyasyon değerleri incelenmiştir. Nevşehir ilinde aktif olarak enerji üretimi yapan toplam 23,43 MW kurulu güce sahip 5 Güneş Enerji Santrali bulunmaktadır. Yapım aşamasında olan 4 GES’inde faaliyete geçmesi ile bu günden daha fazla enerji üretimi yapılacaktır. Bunun yanı sıra şuan yapım aşamasında olan güneş enerji santralleri ve kurulacak yeni santraller sayesinde yeni iş imkanları da sunacaktır. Ülkemizin güneşlenme süresi ve global radyasyon değerleri göz önünde bulundurulduğunda sahip olduğu güneş enerji potansiyeli güneş enerjisinden enerji üretimine fayda sağlayacak yerler arasında önemli bir konumdadır. Güneş enerji potansiyeli oldukça yüksek olan ülkemiz birçok ülkeye kıyasla daha şanslı durumdadır. Her bölgede kurulabilecek bir güneş enerjisi santralinin bölgesel enerjiye veya ülke ekonomisine katkı sağlayabileceği öngörülebilir.

Güneşten gelen ışınların elektrik enerjisine dönüştürülmesi amacıyla çeşitli sistemler tasarlanmaktadır. Bu amaçla güneş panelleri çok tercih edilmektedir. Bu tez çalışmasında güneş panellerinden yararlanarak elektrik enerjisi üretmek amacıyla MGNT yöntemlerinden gözle ve uygula (P&O) ve bulanık mantık yöntemleri kullanılarak MATLAB/Simulink benzetim programında modellemeleri yapılmıştır. Amaç, ışınım ve sıcaklık seviyelerindeki değişikliklere karşı daha yüksek hassasiyet ve en hızlı sistem tepkilerini elde etmektir. Bu nedenle, farklı MGNT yöntemleri test edilmiş ve karşılaştırılmıştır.

Güneş panellerinden yüksek verim elde edilebilmesi için panelin maksimum güç noktasında çalıştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada 2 paralel 5 seri bağlanmış PV generatörün maksimum güç noktasının tespiti ve bu noktanın takip edilmesi için öncelikle gözle ve uygula (P&O) algoritması kullanılarak MATLAB/Simulink benzetim programında tasarımı gerçekleştirilmiştir.  $600 \text{ W/m}^2$ ,  $800 \text{ W/m}^2$  ve  $1000 \text{ W/m}^2$  olacak şekilde farklı ışınma değerlerinde çıkış gerilimleri elde edilerek grafiklerle desteklenmiştir ve çıkış gerilimi üzerindeki etkisi incelenmiştir. Daha sonra bulanık mantık denetleyicisi kullanarak model tasarımı yapılmıştır. Bulanık mantık denetleyicisi

içinde yine  $600 \text{ W/m}^2$ ,  $800 \text{ W/m}^2$  ve  $1000 \text{ W/m}^2$  olacak şekilde farklı ışınma değerlerinde çıkış gerilimleri elde edilerek grafiklerle desteklenmiştir ve çıkış gerilimi üzerindeki etkisi incelenmiştir.

Bulanık mantık denetleyicisinin performansı kullanıcı bilgisine yani tasarımı yapan kişinin kural tabanını uygun bir şekilde oluşturmasına bağlıdır. Bu çalışmada 5 seviye kullanarak oluşturulan kural tabanı 25 kuraldan oluşmaktadır. Bu kurallar doğrultusunda çıkış gerilimi elde edilmektedir. Kural tablosu ne kadar çok arttırılırsa sistem o kadar hassas çalışmaktadır. Uygulamada kullanılan iki yöntem de benzer verimlilikte çalışmaktadır. Bulanık mantık denetleyicisi ile gözle ve uygula (P&O) algoritmasına kıyasla daha hızlı bir cevap elde edilmiştir. Buna ek olarak bu yöntemin öğrenim tabanlı olması sebebiyle farklı sistemlere de uygulanabilir olması da bir avantajdır.

Klasik yükseltici devrelerinde gerilim yükseltimi belirli bir sınıra kadar gerçekleştirilirken, kademeli yükseltici devrelerinde bu durum daha yüksek değerlere ulaşılmasını sağlamaktadır. Bu sebeple, bu çalışmada pozitif çıkışlı kademeli yükseltici dönüştürücü kullanılmıştır. Daha hızlı cevap verip daha düşük bir görev periyodunda istenilen maksimum güç noktasına ulaşması sebebiyle de bu devre için avantajlı bir durum oluşturmaktadır. Bu sayede şebekeye daha fazla enerji aktarımı gerçekleştirilebilir veya bireysel kullanıcılar için daha yüksek gerilim seviyeleri elde edilebilir.

## KAYNAKLAR

1. Sahu, P., Maurya, N.S., Sahu, S., "Automatic Sun Tracking for the Enhancement of Efficiency of Solar Energy System", *2018 International Conference and Utility Exhibition on Green Energy for Sustainable Development (ICUE)*, 1-4, 2018.
2. Topkaya, S. O., "A discussion on recent developments in Turkey's emerging solar power market", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3754-3765, 2012.
3. Rahman, A., Farrok, O., Haque, M.M., "Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112279, 2022.
4. Emikönel, S., Bilhan, A., "Analysis of Turkey's Solar Energy Potential in Different Regions", *Osmaniye Korkut Ata University Journal of The Institute of Science and Technology*, 5 (Özel Sayı), 170-184, 2022.
5. Kabalcı, Y., Kabalcı, E., Canbaz, R., Capbinici, A., "Design and implementation of a solar plant and irrigation system with remote monitoring and remote control infrastructures", *Solar Energy*, 139, 506-517, 2016.
6. Gao, Y., Dong, J., Isabella, O., Santbergen, R., Tan, H., Zeman, M., Zhang, G., "Modeling and analyses of energy performances of photovoltaic greenhouses with sun-tracking functionality" *Applied Energy*, 233-234, 424-442, 2019.
7. Yu, J., Tang, Y.M., Chau, K.Y., Nazar, R., Ali, S., Iqbal, W., "Role of solar-based renewable energy in mitigating CO<sub>2</sub> emissions: Evidence from quantile-on-quantile estimation", *Renewable Energy*, 182, 216-226, 2022.
8. Dinçer, F., "The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15 (1), 713–720, 2011.
9. Awasthi, A., Shukla, A. K., SR, M. M., Dondariya, C., Shukla, K. N., Porwal, D., Richhariya, G., "Review on sun tracking technology in solar PV system", *Energy Reports*, 6, 392-405, 2020.
10. Jamroen, C., Komkum, P., Kohsri, S., Himananto, W., Panupintu, S., Unkat, S., "A low-cost dual-axis solar tracking system based on digital logic design: Design

- and implementation”, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 37 (100618), 2020.
11. Nsengiyumva, W., Chen, S. G., Hu, L., Chen, X., “Recent advancements and challenges in Solar Tracking Systems (STS): A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 250-279, 2018.
  12. Zhu, Y., Liu, J., Yang, X., “Design and performance analysis of a solar tracking system with a novel single-axis tracking structure to maximize energy collection”, *Applied Energy*, 264 (114647), 2020.
  13. Nadia, A. R., Isa, N. A. M., Desa, M. K. M., “Efficient single and dual axis solar tracking system controllers based on adaptive neural fuzzy inference system”, *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 32(7), 459-469, 2020.
  14. Hafez, A. Z., Yousef, A. M., Harag, N. M., “Solar tracking systems: Technologies and trackers drive types–A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 754-782, 2018.
  15. Huang, H., Zhang, W., Jin, B., Gao, S., “DSP-Based Uniaxial Solar Tracking System”, *2020 Chinese Control And Decision Conference (CCDC 2020)*, s. 4595-4599, 2020.
  16. Racharla, S., Rajan, K., Senthil Kumar, K. R., “A Fuzzy Logic Controlled Single Axis Solar Tracking System”, *Applied Mechanics and Materials*, 787, 893-898, 2015.
  17. Alfirjanı, F. A. S., “Comparison Of The Efficiencies Of Dual-Axis, Single-Axis Solar Tracking Systems And Fixed Pv System In Karabük”, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi*, s. 1-84, Karabük, 2021.
  18. Seme, S., Srpčić, G., Kavšek, D., Božičnik, S., Letnik, T., Praunseis, Z., Hadžiselimović, M., “Dual-axis photovoltaic tracking system–Design and experimental investigation”, *Energy*, 139, 1267-1274, 2017.
  19. Şenol, R., Aksoy, B., Sarı, R., Küçükbodur, B., “STM32F407 İle Bulanık Mantık Kontrollü Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi”, *2. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik Ve Fen Bilimleri Kongresi*, s. 392-401, Antalya, 2019.

20. Aktaş, A., "Sabit Ve Güneş Takipli Fotovoltaik Sistemlerin Performans Analizi", *Bitlis Eren Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 1-61, Bitlis, 2021.
21. Idoko, J. A., Bamgbade, O. B., Abubakar, I. N., Onyechokwa, T. I., Adegboye, B. A., Mustapha, B. M., "Design of Automatic Solar Tracking System Prototype to Maximize Solar Energy Extraction", *2020 IEEE PES/IAS PowerAfrica*, s. 1-5, 2020.
22. Verma, N., Kumar, M., Sharma, S., "Real-Time Solar Tracking System with GPS", *2021 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Systems (ICAIS)*, s. 783-788, 2021.
23. Jain, S., Yadav, R., Garg, A., Gupta, A., Som, T., "Fabrication of an energy dual-axis solar tracking system and performance analyses through optimal values of solar panel parameters", *2021 Innovations in Energy Management and Renewable Resources (52042)*, s. 1-5, 2021.
24. Das, R., Rahman, K.M., "Effect of response time and starting point of duty cycle in maximum power point tracking operation of solar panel using PO algorithm", *2016 9th International Conference on Electrical and Computer Engineering (ICECE)*, 357-360, 2016.
25. Baek, J., Ko, J., Choi, J., Kang, S., Chung, D., "Development of novel MPPT algorithm of PV system considering radiation variation", *International Conference on Control, Automation and Systems 2010 (ICCAS 2010)*, 1235-1241, 2010.
26. Farhat, M., Barambones, O., Sbita, L., "A real-time implementation of MPPT-based on P&O method", *2016 5th International Conference on Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA)*, 1-5, 2016.
27. Hamidon, F.Z., Aziz, P.D.A., Yunus, N.H.M., "Photovoltaic array modelling with P&O MPPT algorithm in MATLAB", *2012 International Conference on Statistics in Science, Business and Engineering (ICSSBE)*, 1-5, 2012.
28. Assiya, L., Aziz, D., Ahmed, H., "Comparative study of P&O and INC MPPT algorithms for DC-DC Converter Based PV System on MATLAB/SIMULINK", *2020 IEEE 2nd International Conference on Electronics, Control, Optimization and Computer Science (ICECOCS)*, 1-5, 2020.



29. Kang, S., Ko, J., Choi, J., Jang, M., "A Novel MPPT Control of photovoltaic system using FLC algorithm", *2011 11th International Conference on Control, Automation and Systems*, 434-439, 2011.
30. Çakmak, R., Altaş, İ. H., "Bulanık Mantık Tabanlı MGNT Sistem Performansının Ani ve Yavaş Değişen Güneş Radyasyonu Koşullarında İncelenmesi", *ElektrikElektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu*, s. 101-105, Bursa, 2014.
31. Hayder, W., Abid, A., Hamed, M.B., Sbita, L., "MPPT based on P &O method under partially shading", *2020 17th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD)*, 538-542, 2020.
32. Zerouali, M., Zouirech, S., Ougli, A.E., Tidhaf B., Zrouri, H., "Improvement of Conventional MPPT Techniques P&O and INC by Integration of Fuzzy Logic", *2019 7th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, 1-6, 2019.
33. Corcau, J.I., Dinca, L., "Modeling and Analysis of a Fuzzy Type MPPT Algorithm", *2019 International Conference on Electrical Drives & Power Electronics (EDPE)*, 230-234, 2019.
34. Prasad, C.B., Sonam, S.K., Reddy, B.R.G., Harika, P., "A fuzzy logic based MPPT method for solar power generation", *2017 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, 1182-1186, 2017.
35. Kumari, N.C.H., Kaumudi Pravallika, V.S.V., "Fuzzy based Improved Incremental Conductance MPPT algorithm in PV System", *2020 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT)*, 1-6, 2020.
36. Pınar, A., Buldur, A. D., Tuncer, T., "Türkiye'deki Rüzgar Enerji Santralleri Dağılımının Coğrafi Perspektifle İncelenmesi", *Doğu Coğrafya Dergisi*, 25(43), 167-182, 2020.
37. Kaya, K., Şenel, M. C., Koç, E., "Dünyada Ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi", *Technological Applied Sciences*, 13(3), 219-234, 2018.
38. Taşkın, O., Korucu, T., "Kahramanmaraş İli Güneş Enerjisi Potansiyeli ve Kullanım Olanakları", *KSÜ Doğa Bilimler Dergisi*, 17(4), 12-16, 2014.

39. Şendemir, M., “Karabük İlinin Yenilenebilir Enerji Kaynakları Varlığına Yönelik Bir Envanter Çalışması”, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 16-19, Karabük, 2021.
40. Koç, E., Kaya, K., “Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu”, *Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47, 2015.
41. Emeksiz, C., Fındık, M. M., “Sürdürülebilir Kalkınma İçin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Ölçeğinde Değerlendirilmesi”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (26), 155-164, 2021.
42. Taşçıoğlu, A., Keser, H. Y., “Solar Energy in the Logistics Sector: Assessments on Turkey”, *Journal of Business and Social Review in Emerging Economies*, 5 (2), 225-236, 2019.
43. Lüle, F., “Adıyaman İlinin Enerji Kaynakları Potansiyeli”, *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 14 (1), 1-5, 2018.
44. İnan, İ., Akbulut, İ., Aslan, E., “Enerji Sorununun Çözümünde Yenilenemez ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yeri ve Önemi”, *Türk Dünyası Araştırmaları*, 120 (237), 11–40, 2018.
45. Beyoğlu, M. F., “Balıkesir İlinde Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi İle Sabit Eksenli PV Sistemin Verimlerinin Karşılaştırılması”, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 1, Balıkesir, 2011.
46. Kılıç, F. Ç., “Güneş Enerjisi, Türkiye’deki Son Durumu ve Üretim Teknolojileri”, *Mühendis ve Makina*, 56 (671), 28-40, 2015.
47. Dinçer, F., “Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Potansiyeli-Ekonomik Analizi ve AB Ülkeleri ile Karşılaştırmalı Değerlendirme”, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14(1), 2011.
48. Kumar, A., Kumar, K., Kaushik, N., Sharma, S., Mishra, S., “Renewable Energy İn India: Current Status And Future Potentials”, *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, 14(8), 2434-2442, 2010.
49. Bilhan, A.K., Emikönel, S., “Nevşehir İli Güneş Enerji Potansiyelinin Analizi Ve Kurulu Güneş Enerji Santralleri”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (24), 289-294, 2021.

50. Badak, U., Yıldız, A. B., “Fotovoltaik Güneş Paneli Sistemlerinde Maksimum Güç Noktası İzleyicisinin Verime Etkisi”, *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(4), 2496-2507, 2020.
51. Batmaz, T., Bayraç, H. N., Güllü, M., “Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Büyüme Ve Karbon Emisyonu İlişkisi”, *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 6 (3), 645-658, 2019.
52. Demir, N., Baş, P., “Avrupa Birliği'nin Enerji Sorunsalında Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yeri Ve Geleceği”, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 7 (3), 806-831, 2020.
53. Bekar, N., “Yenilenebilir Enerji Kaynakları Açısından Türkiye'nin Enerji Jeopolitiği”, *Türkiye Siyaset Bilimi Dergisi*, 3 (1), 37-54. 2020.
54. Kavcıoğlu, Ş., “Yenilenebilir Enerji Ve Türkiye”, *Finansal Araştırmalar ve Çalışmalar Dergisi*, 11 (21), 209-227, 2019.
55. Kamacı, A., Akça, Y., “TR81 Bölgesinin Yenilenebilir Enerji Durumu”, *Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 12 (24), 114-126, 2021.
56. Ertürk, M. “Büyük Enerji Şirketleri ve Türkiye”, *Lectio Socialis*, 3 (2), 121-138, 2019.
57. Sağır, İ. H., “Türkiye’de Enerji Üretiminde Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Yeri” *Necmettin Erbakan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 38, Konya, 2021.
58. Ulusoy, C. K., “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımındaki Gelişmeler; Güneş Enerji Sistemleri Ve Finansman Modelleri”, *ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi*, 6 (13), 65-84, 2019.
59. Alkan, Ö., Albayrak, Ö. K., “Ranking of renewable energy sources for regions in Turkey by fuzzy entropy based fuzzy COPRAS and fuzzy MULTIMOORA”, *Renewable Energy*, 162, 712-726, 2020.
60. Yılmaz, E. A., Öziç, H. C., “Türkiye’nin Yenilenebilir Enerji Potansiyeli Ve Gelecek Hedefleri”, *ODÜ Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi (ODÜSOBİAD)*, 8 (3), 525–535, 2018.
61. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı-Güneş, <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-gunes>

62. Kabalcı, E., “Renewable Energy Systems”, Hybrid Renewable Energy Systems and Microgrids, *Nevsehir Hacı Bektas Veli University*, Nevsehir, Turkey, s.104, 2020.
63. Kaynar, N., “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Güneş Enerjisinin Amasya İlindeki Potansiyeli”, *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 4(2), 48-54, 2020.
64. Bulut, N., Kuncan, M., Horoz, S., “Türkiye’de Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları Ve Siirt Güneş Enerji Potansiyeli”, *Ahtamara I. Uluslararası Multidisipliner Çalışmalar Kongresi*, 1315-1319. (2018).
65. İnternet: Yenilenebilir Enerji Kaynağı Genel Müdürlüğü “Güneş Enerji Potansiyeli Atlası” <https://gepa.enerji.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>
66. Rüşen, S. E., “Modeling and analysis of global and diffuse solar irradiation components using the satellite estimation method of HELIOSAT”, *CMES*, 115 (3), 327-343, 2018.
67. Doğanay M. M., “Mardin Bölgesi Güneş (Fotovoltaik) Enerjisi Potansiyel Analizi”, *UMÜFED Uluslararası Batı Karadeniz Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 3 (1), 86-117, 2021.
68. Taşova, M. “Türkiye'nin Güneş Enerjisi Parametre Değerleri Ve Güneş enerjisinden Faydalanma Olanakları”, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 7(3), 10-17, 2018.
69. Rizk, J., Chaiko, Y., “Solar Tracking System: More Efficient Use of Solar Panels”, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 17, 313-315, 2008.
70. Menak, R., “Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi Tasarımı Ve Modellemesi”, *Siirt Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 20, Siirt, 2018.
71. Singh, R., Kumar, S., Getlot, A., Pachauri, R., “An imperative role of sun trackers in photovoltaic technology: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 3263-3278, 2018.
72. Huynh, D.C., Nguyen, T. M., Dunnigan, M.W., Muellar, M.A., “Comparison between Open- and Closed-Loop Trackers of a Solar Photovoltaic System”, *2013 IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CEAT)*, 128-133, 2013.

73. Kulkarni, A., Kshirsagar, T., Laturia A., Ghare, P.H., "An Intelligent Solar Tracker for Photovoltaic Panels", *2013 Texas Instruments India Educators' Conference*, 390-393, 2013.
74. Al-Mohamad, A., "Efficiency improvements of photo-voltaic panels using a Sun-tracking system", *Applied Energy*, 79 (3), 345–354, 2004.
75. Clifford, M.J., Eastwood, D., "Design of a novel passive solar tracker", *Solar Energy*, 77, 269-280, 2004.
76. Zorlu, K.N., Saday, A., Sarıtaş, İ., "Adaptif Bulanık Mantık Kontrolü İle Maksimum Güç Noktası İzleyici Tasarımı Ve Gerçeklemesi" *Selcuk University Journal of Engineering Sciences*, 18 (3), 229-240, 2019.
77. İnternet: Green Swarak, <https://greensarawak.com/things-to-know-before-going-solar/going-solar-chapter-11-know-your-solar-pv-panels-mounts-and-supports/>
78. Fahad, H.M., Islam, A., Islam, M., Hasan, M.F., Brishty, W.F., Rahman, M.M., "Comparative Analysis of Dual and Single Axis Solar Tracking System Considering Cloud Cover", *2019 International Conference on Energy and Power Engineering (ICEPE)*, 1-5, 2019.
79. Alici, H., "Designing and performance analysis of solar tracker system: a case study of Çukurova region", *Adana Alparslan Türkeş Science And Technology University Graduate School Of Natural And Applied Sciences, Master of Science*, s. 43, Adana, 2021.
80. Chowdhury, K.I., Iftekhar-ul-Alam, M., Bakshi, P.S., "Performance Comparison Between Fixed Panel, Single-axis and Dual-axis Sun Tracking Solar Panel System", *Brac University*, A Thesis Submitted In Partial Fulfillment Of The Requirments For The Degree Of Bachelor Of Science In Electrical&Electronic Engineering, s. 6-7, Dhaka, 2017.
81. Aldemir, M.A., "Güneş Takip Yöntemlerinin Verimsel Olarak Karşılaştırılması", *Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 38, İzmir, 2019.
82. Ertuğrul, İ., "Akademik Performans Değerlendirmede Bulanık Mantık Yaklaşımı", *Atatürk Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi*, 20 (1), 155-176, 2006.
83. Elmas. Ç., "Bulanık Mantık Denetleyiciler", Seçkin Yayıncılık Ltd. Şti., s.230, İstanbul, 2003.

84. Keskenler, M. F., Keskenler, E. F., “Bulanık Mantığın Tarihi Gelişimi”, *Takvim-i Vekayi*, 5(1), 1-10, 2017.
85. Çobanoğlu, B., “Bulanık Mantık Ve Bulanık Küme Teorisi”, *Niksar Myo /Gop Üniversitesi*, 1-56, 2000.
86. Şen, Z., “Bulanık Mantık İlkeleri ve Modelleme”, Su Vakfı Yayınları, s. , İstanbul, 2009.
87. Tepecik, C., “DC-DC Çeviriciler İçin Adaptif Ağ Yapısına Dayalı Bulanık Mantık Kontrolcü Tasarımı”, *İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*”, *Yüksek lisans tezi*, s. 74, Malatya, 2008.
88. Altaş, İ. H., “Bulanık Mantık : Bulanıklılık Kavramı”, *Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e*, 62, 80-85, 1999.
89. Doğan, O., “Talep Tahmininde Sinirsel Ağ Tabanlı Bulanık Mantık Yöntemleri (ANFIS) Kullanımı Ve Yalın Yapay Sinir Ağı Metodu İle Karşılaştırılmalı Bir Uygulama”, *Dokuz Eylül Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora tezi*, s. 108, İzmir, 2012.
90. Karadeniz, A., “İki Eksenli Sensörsüz Güneş Takip Sisteminin Bulanık Mantık Tabanlı Ve Gerçek Zamanlı Olarak Gerçekleştirilmesi”, *Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 31, Bursa, 2019.
91. Tiryaki, A. E., Kazan, R., “Bulaşık Makinesinin Bulanık Mantık İle Modellenmesi”, *Mühendis ve Makine*, 48(565), 3-8, 2007.
92. Mathworks, T. “Fuzzy Logic Toolbox User’s Guide: MATLAB”, The Mathworks, 2020.
93. Özyılmaz Küçükyağcı, P., “Kent Meydanlarının Mekân Tasarımı Niteliklerinin Bulanık Mantık İle Değerlendirilmesi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, s. , İstanbul, 2020.
94. Kabalcı, E., “Design and analysis of a hybrid renewable energy plant with solar and wind power”, *Energy Conversion and Management*, 72, 51-59, 2013.
95. Tekade, A. S., Juneja, R., Kurwale, M., Debre, P., "Design of Positive Output Super-Lift Luo Boost Converter for Solar Inverter", *2016 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability (ICEETS)*, 153-156, 2016.

96. Boyar, A., “Güneş Panelleri İçin Mikro Evirici Tasarımı Ve Analizi”, *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 20, Nevşehir, 2018.
97. Bilhan, A., “Yakıt Pili Uygulamaları için Kademeli Yükseltici DA/DA Dönüştürücü Devresinin Tasarımı”, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 11(1), 29-37, 2020.
98. Joshi, P., Arora, S., “Maximum power point tracking methodologies for solar PV systems – A review”, *Renewable and Sustainable Energy Review*, 70, 1154-1177, 2017.
99. Krishnan M.M., Bharath, K.R., "A Novel Sensorless Hybrid MPPT Method Based on FOCV Measurement and P&O MPPT Technique for Solar PV Applications", *2019 International Conference on Advances in Computing and Communication Engineering (ICACCE)*, 1-5, 2019.
100. Kabalci E., Boyar A., Kabalci Y., “Design and Analysis of a Micro Inverter for PV Plants”, *Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, s.1-6, Targoviste, ROMÂNIA, 2017.
101. Ram, J.P., Rajasekar, N., Miyatake, M., “Design and overview of maximum power point tracking techniques in wind and solar photovoltaic systems: A review” *Renewable and Sustainable Energy Review*, 73, 1138-1159, 2017.
102. Mohamed, S.A., Sattar, M.A.E., “A comparative study of P&O and INC maximum power point tracking techniques for grid-connected PV systems”, *SN Applied Sciences*, 1, 174, 2019.
103. Bollipo, R.B., Mikkili, S., Bonthagorla, P.K., "Hybrid, optimal, intelligent and classical PV MPPT techniques: A review", in *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, 7(1), 9-33, 2021.
104. Bhattacharyya, S., Kumar P, D. S., Samanta, S., Mishra, S., "Steady Output and Fast Tracking MPPT (SOFT-MPPT) for P&O and InC Algorithms", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 12 (1), 293-302, 2021.
105. Ort, M. İ, “FV Sistemlerde Güneşi Takip Eden Sistem Tasarımı Ve MPPT Kontrolü İle Enerjinin Yüke Maksimum Olarak Aktarılması”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, s. 52, İstanbul, 2016.