

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE MGNT PERFORMANSININ ARTIRILMASINA
YÖNELİK PSO, MFO, GOA ve ABC ALGORİTMALARININ
KARŞILAŞTIRILMALI ANALİZİ ve HİBRİT YAKLAŞIM ÖNERİSİ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÖKTUĞ RECEP AYDIN

TEMMUZ 2025

ZONGULDAK BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE MGNT PERFORMANSININ ARTIRILMASINA
YÖNELİK PSO, MFO, GOA ve ABC ALGORİTMALARININ
KARŞILAŞTIRILMALI ANALİZİ ve HİBRİT YAKLAŞIM ÖNERİSİ

ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Göktuğ Recep AYDIN

DANIŞMAN: Doç. Dr. Nihat PAMUK

ZONGULDAK

Temmuz 2025

KABUL:

Göktuğ Recep AYDIN tarafından hazırlanan “Fotovoltaik Sistemlerde MGNT Performansının Artırılmasına Yönelik PSO, MFO, GOA ve ABC Algoritmalarının Karşılaştırılmalı Analizi ve Hibrit Yaklaşım Önerisi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 25/07/2025

Danışman: Doç. Dr. Nihat PAMUK

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

Üye: Doç. Dr. Fuad ALHAJ OMAR

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Zonguldak Meslek Yüksekokulu, Elektrik ve Enerji Bölümü

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Talha Enes GÜMÜŞ

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü

ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

..../..../2025

Prof. Dr. Fikret GÖLGELEYEN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Göktuğ Recep AYDIN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE MGNT PERFORMANSININ ARTIRILMASINA YÖNELİK PSO, MFO, GOA ve ABC ALGORİTMALARININ KARŞILAŞTIRILMALI ANALİZİ ve HİBRİT YAKLAŞIM ÖNERİSİ

Göktuğ Recep AYDIN

Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Nihat PAMUK

Temmuz 2025, 83 sayfa

Gelişen teknolojiyle birlikte artan enerji ihtiyacı ve fosil yakıtların çevreye verdiği zararlar, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini her geçen gün artırmaktadır. Bu kaynaklar arasında güneş enerjisi, kurulum maliyeti ve bakım kolaylığı sayesinde ön plana çıkmaktadır. Güneş enerji santrallerinde kullanılan fotovoltaik (FV) sistemler, çevreye zarar vermeden elektrik üretim potansiyeline sahip elektrik sistemleridir. Ancak ısınım, sıcaklık ve atmosferik değişkenler gibi çevresel faktörler FV sistemlerin verimliliğini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, maksimum güç noktasını (MGN) belirleyerek üretimi optimize eden maksimum güç noktası takibi (MGNT) algoritmalarının geliştirilmesi gerekmektedir. Geleneksel sabit adımlı MGNT yöntemleri değişken çevre koşullarında yeterli performans gösterememekte ve enerji kayıplarına yol açmaktadır. Bu nedenle günümüzde doğadan esinlenen optimizasyon algoritmaları MGNT süreçlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu algoritmalar, canlıların davranışları, çevresel adaptasyonları ve problem çözme yeteneklerinden ilham alınarak geliştirilmiştir.

ÖZET (devam ediyor)

Bu çalışmada, dört farklı doğadan esinlenen optimizasyon algoritmasının (Güve Alevi Optimizasyonu (MFO), Çekirge Optimizasyonu (GOA), Yapay Arı Kolonisi (ABC) ve geleneksel Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yönteminin MGNT performansları MATLAB/SIMULINK ortamında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca GOA ve ABC algoritmalarının hibrit olarak kullanımı da değerlendirilmiştir. Simülasyonlar, farklı ışınlam ve sıcaklık koşullarında algoritmaların izleme hızı, doğruluk, kararlılık ve enerji verimliliği açısından performansını ortaya koymaktadır. Sonuçlar, doğadan esinlenen algoritmaların özellikle kısmi gölgelenme ve hızlı çevresel değişim koşullarında başarılı ve kararlı sonuçlar sunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Maksimum Güç Noktası Takibi (MGNT), Doğadan Esinlenen Algoritmalar, Fotovoltaik Sistemler, Optimizasyon Yöntemleri, Hibrit Algoritma

Bilim Kodu: 608.02.00.

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

COMPARATIVE ANALYSIS OF PSO, MFO, GOA AND ABC ALGORITHMS AND HYBRID APPROACH PROPOSAL FOR INCREASING MGNT PERFORMANCE IN PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Göktuğ Recep AYDIN

Zonguldak Bülent Ecevit University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Nihat PAMUK

July 2025, 83 pages

With the advancement of technology, the increasing energy demand and the environmental damage caused by fossil fuels are increasing the importance of renewable energy sources. Among these sources, solar energy stands out due to its low installation cost and ease of maintenance. Photovoltaic (PV) systems used in solar power plants have the potential to generate electricity without harming the environment. However, environmental factors such as irradiance, temperature, and atmospheric variables significantly affect the efficiency of PV systems. Therefore, maximum power point tracking (MPPT) algorithms that optimize production by determining the maximum power point (MPPT) need to be developed. Traditional fixed-step MPPT methods fail to perform adequately under variable environmental conditions and lead to energy losses. Therefore, optimization algorithms inspired by nature are widely used in MPPT processes today. These algorithms were developed by taking inspiration from the behavior, environmental adaptations, and problem-solving abilities of living organisms.

ABSTRACT (continued)

In this study, the MGNT performances of four different nature-inspired optimization algorithms (Moth Flame Optimization (MFO), Grasshopper Optimization (GOA), Artificial Bee Colony (ABC), and the traditional Particle Swarm Optimization (PSO) method were comparatively investigated in the MATLAB/SIMULINK environment. In addition, the use of GOA and ABC algorithms as a hybrid was also evaluated. Simulations reveal the performance of the algorithms in terms of tracking speed, accuracy, stability, and energy efficiency under different irradiance and temperature conditions. The results show that the nature-inspired algorithms provide successful and stable results, especially under partial shading and rapid environmental change conditions.

Keywords: Maximum Power Point Tracking (MPPT), Nature-Inspired Algorithms, Photovoltaic Systems, Optimization Techniques, Hybrid Algorithm

Science Code: 608.02.00.

TEŞEKKÜR

Lisans ve yüksek lisans öğrenim süresince değerli bilgi birikimi, tecrübesi ve yönlendirmeleriyle her zaman yanımda olan, karşılaştığım her sorunda rehberliğini esirgemeyen, akademik gelişimime katkı sağlayarak araştırma yapma ve üretme motivasyonumu artıran, bu çalışmanın hayata geçirilmesinde büyük emeği olan kıymetli danışmanım Doç. Dr. Nihat PAMUK’a en içten saygı ve teşekkürlerimi sunarım.





İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL:	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ.....	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xvii
BÖLÜM 1 GİRİŞ	1
1.1 LİTERATÜR TARAMASI	2
1.2 TEZİN AMACI	4
1.3 TEZİN ORGANİZASYONU	5
BÖLÜM 2 FV HÜCRE YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ.....	7
2.1 FV HÜCRE TEK DİYOTLU EŞDEĞER DEVRESİ	8
2.2 FV MODÜL BAĞLANTI YÖNTEMLERİ	10
2.3 FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİ ETKİLEYEN PARAMETRELER.....	14
2.3.1 Değişken Işınım ve Sıcaklığın FV Modüle Etkisi.....	15
BÖLÜM 3 SİSTEM TASARIMI VE MODELLEMESİ.....	21
3.1 DA-DA YÜKSELTEN DÖNÜŞTÜRÜCÜ TASARIMI	23
3.2 KISMİ GÖLGELENME ALTINDA FV MODÜLLERİN ÜRETİM KARAKTERİSTİKLERİ	26

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

BÖLÜM 4 MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP ALGORİTMALARI	31
4.1 GÜVE ALEVİ ALGORİTMASI (MFO)	32
4.2 YAPAY ARI KOLONİSİ OPTİMİZASYONU (ABC)	35
4.3 ÇEKİRGE OPTİMİZASYONU (GOA)	37
4.4 PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU (PSO)	39
4.5 ÇEKİRGE VE YAPAY ARI HİBRİT OPTİMİZASYONU (GOABC)	40
BÖLÜM 5 SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI	43
5.1 GÜVE ALEVİ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI	43
5.2 YAPAY ARI KOLONİSİ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI	46
5.3 ÇEKİRGE OPTİMİZASYON ALGORİTMASI SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI	48
5.4 PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI	51
5.5 ÇEKİRGE/ARI HİBRİT ALGORİTMASI SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI	55
BÖLÜM 6 SONUÇ VE ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	63
EK AÇIKLAMALAR	69
ÖZGEÇMİŞ	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

No	Sayfa
Şekil 2.1 Fotovoltaik modülün genel yapısı.....	7
Şekil 2.2 FV Hücre tek diyotlu eş değer devre modellemesi	9
Şekil 2.3 FV hücre, modül, dizi, seri ve paralel bağlantı yapısı.....	10
Şekil 2.4 Şebeke bağlantılı merkezi evirici kullanılan FV sistem modellemesi	11
Şekil 2.5 Şebeke bağlantılı string evirici kullanılan FV sistem modellemesi	12
Şekil 2.6 Şebeke bağlantısı olmayan FV sistem modellemesi	13
Şekil 2.7 Hibrit FV sistem modellemesi	14
Şekil 2.8 1000 W/m ² ,20°C güç karakteristik eğrisi.....	16
Şekil 2.9 1000 W/m ² ,25°C güç karakteristik eğrisi.....	16
Şekil 2.10 1000 W/m ² ,30°C güç karakteristik eğrisi.....	17
Şekil 2.11 1000 W/m ² ,25°C güç karakteristik eğrisi.....	18
Şekil 2.12 500 W/m ² ,25°C güç karakteristik eğrisi.....	18
Şekil 2.13 350 W/m ² ,25°C güç karakteristik eğrisi.....	19
Şekil 3.1 MGNT sistemi kullanan FV sistem blok diyagramı	22
Şekil 3.2 DA-DA yükselten dönüştürücü devre modellemesi	24
Şekil 3.3 MOSFET iletimde olmadığı durum	24
Şekil 3.4 MOSFET iletimde olduğu durum	25
Şekil 3.5 FV modül karakteristik incelemesi için tasarlanan sistem modeli.....	27
Şekil 3.6 1. Durum için maksimum güç noktası	28
Şekil 3.7 2. Durum için maksimum güç noktası	29
Şekil 3.8 3. Durum için maksimum güç noktası	29
Şekil 4.1 MFO algoritması iş akış diyagramı.....	34
Şekil 4.2 Yapay arı algoritması iş akış diyagramı.....	36
Şekil 4.3 Çekirge optimizasyon iş akış diyagramı	38
Şekil 4.4 Parçacık Sürü optimizasyonu iş akış diyagramı	40
Şekil 4.5 Çekirge ve yapay arı optimizasyonu iş akış diyagramı.....	41
Şekil 5.1 Güve Alevi Optimizasyonu ile MGNT	43
Şekil 5.2 Gölgeleme olmayan durumunda güç-zaman grafiği.....	44
Şekil 5.3 2. Işınım durumu için güç-zaman grafiği.....	44
Şekil 5.4 3. Işınım durumu için güç-zaman grafiği.....	45
Şekil 5.5 Yapay arı optimizasyonu ile MGNT.....	46
Şekil 5.6 Gölgeleme olmayan durumunda güç-zaman grafiği.....	46
Şekil 5.7 2. Işınım durumu için güç-zaman grafiği.....	47
Şekil 5.8 3. Işınım durumu için güç-zaman grafiği.....	48
Şekil 5.9 Çekirge optimizasyonu ile MGNT.....	49

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 5.10 Gölgeleme olmayan durumda güç-zaman grafiği.....	49
Şekil 5.11 2. Işınım durumu için güç-zaman grafiği.....	50
Şekil 5.12 3. Işınım durumu için güç-zaman grafiği.....	51
Şekil 5.13 Parçacık Sürü optimizasyonu ile MGNT	51
Şekil 5.14 Gölgeleme olmayan durumda güç-zaman grafiği.....	52
Şekil 5.15 2 Işınım durumu için güç-zaman grafiği.....	53
Şekil 5.16 Işınım durumu için güç-zaman grafiği.....	54
Şekil 5.17 Çekirge/arı hibrit optimizasyon ile MGNT	55
Şekil 5.18 Gölgeleme olmayan durumda güç-zaman grafiği.....	55
Şekil 5.19 2. Işınım durumu için güç-zaman grafiği.....	56
Şekil 5.20 3. Işınım durumu için güç-zaman grafiği.....	57

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 DA-DA Yükselten Dönüştürücü Parametreleri	26
Çizelge 3.2 Tata Power TB250MBZ FV modül özellikleri	26
Çizelge 3.3 FV modüllere uygulanan ışıınım değerleri.....	27
Çizelge 4.1 Algoritma özelliklerinin karşılaştırılması	32
Çizelge 5.1 Simülasyon Sonuçları	57





EK AÇIKLAMALAR DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
EK A: PSO KODU.....	69
EK B: MFO KODU.....	72
EK C: GOA KODU.....	74
EK D: ABC KODU.....	76
EK E: ABC/GOA HİBRİT KODU.....	79



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

I	: Akım
I_{ph}	: Akım Kaynağı
I_D	: Diyot Akımı
I_p	: Paralel Direnç Üzerinden Geçen Akım
G	: Anlık Işınım Seviyesi
G_{nom}	: Standart Test Koşulları Altında
$I_{ph(Gnom)}$	: Test Koşulları Altındaki Işık Akımı
I_{sc}	: Kısa Devre Akımı
ΔT	: Sıcaklık Farkı
K_i	: Sıcaklık Katsayısı
q	: Elektron Yüğü
C	: Coulomb
V_d	: Diyot Gerilimi
I_0	: Diyot Ters Doyum Akımı
n	: Diyot İdeallik Sabiti
k	: Boltzmann Sabiti
R_s	: Seri Direnç
R_p	: Paralel Direnç
T_c	: FV Hücre Sıcaklığı
R_{sh}	: Tek Diyotlu Eşdeğer Devrenin Direnç Değeri
V_{oc}	: Açık Devre Gerilimi
V	: Volt
W/m^2	: Bir Metrekareye Düşen Watt
P	: Güç
W	: Watt
$^{\circ}C$	: Santigrat Derece

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

V_{pv}	: Fotovoltaik modülde üretilen gerilim
I_{pv}	: Fotovoltaik modülde üretilen akım
L_{in}	: Bobin Akımı
F	: Hertz
kHz	: Kilohertz
mH	: Milihenry
Ω	: ohm
μF	: MikroFarad
sn	: Saniye
d	: Görev Periyodu
t_{on}	: Güç Anahtarının İletimde Kaldığı Süre
T	: Toplam Anahtarlama Periyodu
$R_{yük}$	: Yük Direnç
W	: Watt
C	: Kapasitör
R	: Direnç
D	: Diyot
L	: İndüktör
V_s	: Gerilim Kaynağı
V_0	: $R_{yük}$ Üzerindeki Gerilim Değeri
Δi_L	: Bobin Üzerindeki Akım Değişim Oranı
M	: Matriks
X_i	: Arıların Rastgele Oluşturduğu Bileşen Vektörü
V_i	: Çalışkan Arıların X_i vektörüne oluşturduğu komşu vektör
P_i	: Gözlemci Arıların V_i vektörünü seçme olasılığı
S_i	: Çekirgelerin Birbirine Olan Uzaklığı
G	: Çekirgelerin Birbirine Olan Çekicilik Kuvveti
η	: Verim

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

P_{best}	: PSO'nun Kişisel En iyi Değeri
G_{best}	: PSO'nun Global En iyi Değeri
i	: PSO'nun Parçacık Sayısı
k	: PSO'nun Tekrarlama Sayısı
w	: PSO'nun Atalet Ağırlığı
$r_1 ve r_2$	: PSO'nun Rastgele Değişkenleri
$c_1 ve c_2$	: PSO'nun Hızlandırma Katsayıları
x_i	: PSO'nun i Parçacığının Konumu
V_i	: PSO'nun i Parçacığının Hızı
w_{max}	: Atalet Ağırlığının Maksimum Değeri
w_{min}	: Atalet Ağırlığının Minimum Değeri

KISALTMALAR

AA	: Alternatif Akım
ABC	: Arı Kolonisi Optimizasyonu
DA	: Doğru Akım
DGM	: Darbe Genişlik Modülasyonu
FV	: Fotovoltaik
GOA	: Çekirge Optimizasyonu
IGBT	: Yalıtım Kapılı Bipolar Transistör
MFO	: Güve Alevi Optimizasyonu
MGN	: Maksimum Güç Noktası
MGNT	: Maksimum Güç Noktası Takibi
MOSFET	: Metal Oksit Yarı İletken Alan Etkili Transistör
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Gelişen teknolojinin beraberinde getirdiği enerji ihtiyacının sürekli olarak artması, bu enerjinin fosil yakıtlardan karşılanması durumunda çevreye verdiği zararlar göz önünde bulundurulduğunda yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyaç giderek artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları arasında güneş enerjisinin bakım/işletme kolaylığı ve kurulum maliyeti diğer yenilenebilir kaynaklarına göre daha uygun olduğundan günümüz elektrik enerji üretiminde üst sıralarda yerini almaktadır. Güneş enerji santrallerinde kullanılan fotovoltaik (FV) sistemler güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürerek çevreye zarar vermeden elektrik enerjisi üretebilmektedir. Ancak FV sistemlerde bu üretimi etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Işınım seviyesi, sıcaklık ve atmosferik değişkenler elektrik enerji üretimini önemli ölçüde etkilemektedir (Golroodbari et al. 2015). Bu durumda değişkenlerden minimum seviyede etkilenmek için maksimum güç noktası takibi (MGNT) algoritmalarının geliştirilmesi güneş enerji santralleri için gereklilik haline gelmiştir.

MGNT, FV modüllerde üretilebilecek maksimum güç seviyesini belirlemek için kullanılan yöntemlerdir. İlk yapılan MGNT tasarımların da sabit adımlı yöntemler kullanılmış olup değişken hava şartlarında ve gölgelenme durumlarda istenilen seviyede performans gösteremedikleri için enerji kayıplarına neden olmaktadır. Bu sebeple günümüz teknolojilerin de kullanılan MGNT algoritmalarında doğadan esinlenen optimizasyon algoritmaları kullanılarak enerji kaybını minimize etmeyi hedeflenmektedir. Bu algoritmalar doğadaki canlıların fiziksel özelliklerini, avlanma yöntemlerini ve problem çözme yeteneklerinden esinlenip geliştirilen hesaplama yöntemleridir. Bu yöntemlerde kullanılan algoritmalar güç noktası bulma konusunda daha hassas ve daha hızlı bir şekilde çalışmaktadırlar (Mirjalili, 2015).

Bu çalışmada, doğadan esinlenen dört farklı optimizasyon algoritmasının MGNT performansları MATLAB/SIMULINK programında karşılaştırmalı olarak ele alınmıştır. Çalışma kapsamında her algoritmanın farklı ışınım ve sıcaklık koşullarındaki etkinliği

değerlendirilecek, izleme hızı, doğruluk, kararlılık ve enerji verimliliği açısından simülasyon sonuç çıktıları incelenmiştir. Yapılan simülasyon çalışmaları sonucunda, doğadan esinlenen algoritmaların başarılı sonuçlar verdiğini, özellikle kısmi gölgelenme ve hızlı değişen çevresel koşullar altında belirli algoritmaların diğerlerine göre daha üstün performans sergilediği gözlemlenmiştir. Bu algoritmalar Güve Alevi Optimizasyonu (MFO), Çekirge Optimizasyon Algoritması (GOA), Yapay Arı Kolonisi Algoritması (ABC) ve geleneksel yöntem olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) şeklinde 4 farklı optimizasyon incelenmiş ve GOA/ABC algoritmalarının hibrit şekilde çalışması durumunda enerji üretimindeki farklar ele alınmıştır. MFO algoritması, güvelerin ışık kaynağına olan yönelimini taklit etmektedir. Bu algoritma sayesinde güvelerin spiral hareketinde yönlerini belirlemede kullanılan yöntemle göre hızlı ve optimum çözüm sunmaktadır. GOA algoritmasında ise çekirgelerin en uygun besini bulma eğilimi prensibine göre çalışmaktadır. Böylece bu yöntem küresel ve yerel arama yetenekleri dengeli bir şekilde sağlayarak hızlı ve etkin bir optimizasyon sağlamaktadır. ABC algoritması, bal arılarının bal yapım aşamasında nektar aramasındaki davranışlarını taklit etmesi mantığı ile çalışmaktadır. Üç farklı arı türünün (işçi, keşif ve gözcü) birbiri ile iletişim halinde olmasıyla maksimum güç nokta takibi yapılabilmektedir. İşçi arılar mevcut çözümü değerlendirmekte ve iyileştirmeyi hedeflemektedir. Gözcü arılar işçi arıların bulduğu çözümleri gözlemleyerek en iyi çözümü bulmayı amaçlamaktadır. Keşifçi arılar ise yeni ve rastgele çözümler üretmektedir. Bu süreçte her çözüm bir duty cycle değerine karşılık gelmektedir (Karaboğa & Bahriye , 2007). PSO tabanlı MGNT algoritmasında, her parçacık bir duty-cycle değeri önerir ve bu pozisyondaki çıkış gücüne göre “fitness” değerlendirmesi alır. Parçacığın konum değişimi daha yüksek güç getiriyorsa artış devam eder, azalma olursa yönü düzeltilir. Ancak burada bu karar, parçacığın kendi geçmişteki en iyi konumuna (p_best) ve tüm sürünün en iyi konumuna (g_best) göre şekillenir. Her iterasyonda parçacıkların hızları ve pozisyonları güncellenir, güç artışı durduğu anda ya maksimum iterasyon konumuna gelindiğinde algoritma durur. Son değişiklik, sistemin maksimum güç noktasına (MGN) ulaşan global en iyi konumu temsil eder.

1.1 LİTERATÜR TARAMASI

Yapılan literatür taramasında son yıllarda doğadan esinlenen optimizasyon algoritmalarında artış olduğu gözlemlenmiş, araştırma geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Bu çalışmaların amacı şimdiye kadar yapılmış olan algoritmaları daha hızlı ve daha optimum sonuçların alınması için farklı algoritmaları hibrit şekilde çalıştırıp enerji üretim sonuçları incelenmesi ve doğadaki diğer canlıların özellikleri incelenip yeni optimizasyon algoritmalarının geliştirilmesi yapılmaktadır.

Gümüş ve Demirtaş tarafından hazırlanan çalışmada, D&G, PSO ve GKO algoritmaları kullanarak MATLAB/SIMULINK programında kısmi gölgeleme altında karşılaştırma işlemi yapılmıştır. Yapılan çalışmada tasarımı yapılan FV sistem modeli üzerinde 3 optimizasyon algoritmasını kullanarak üretilen güç, takip zamanı ve akım verileri incelenmiştir. Program çıktılarına göre D&G algoritmasının global maksimum güç noktasına erişmediğini, PSO ve GKO algoritmalarının global maksimum güç noktasına eriştiğini, GKO algoritması PSO algoritmasına göre global güç noktasına daha hızlı sürede ulaştıkları sonucuna varmışlardır (Gümüş & Demirtaş, 2021)

Kaya ve Eke tarafından hazırlanan çalışmada ABC algoritması kullanılarak güneş enerjisi sistemlerinde MGNT algoritması geliştirilmiştir. Çalışmada ABC algoritmasının işçi, gözcü ve keşifçi arıların davranışları model alınarak global maksimum güç noktasına ulaşmada yüksek performans gösterdiği raporlanmıştır. Ayrıca, algoritmanın parametre ayarlarının optimizasyonu ile hem izleme hızı hem de kararlı hal salınımlarının azaltılması başarılmıştır. ABC algoritması, P&O ve klasik yöntemlerle kıyaslandığında daha az güç kaybı sağladığı sonucuna varılmıştır (Kaya & Eke, 2020)

Bilhan ve Emikönel tarafından hazırlanan çalışmada, fotovoltaik (PV) sistemlerin enerji verimliliğini artırmaya yönelik olarak maksimum güç noktası takibi (MPPT) amacıyla Bozulma ve Gözlem (Perturb and Observe- P&O) algoritması ile Bulanık Mantık Denetleyici (Fuzzy Logic Controller- FLC) karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında, her iki algoritma kullanılarak bir DC/DC boost konvertör tasarımı gerçekleştirilmiş ve bu konvertör aracılığıyla PV sisteminden elde edilen güç değerlerinin artırılması hedeflenmiştir. Tasarım sürecinde, özellikle çevresel değişkenlerin sistem performansı üzerindeki etkisini göz önünde bulundurmak amacıyla güneş radyasyonu verileri temel alınmıştır. Bu kapsamda, PV modülün çıkışına etki eden ışıınım seviyeleri dikkate alınarak görev döngüsü parametresi optimize edilmiş ve sistemin anlık olarak maksimum güç noktasında çalışması sağlanmıştır. P&O algoritması, geleneksel yapısı nedeniyle düşük hesaplama yükü ve basit uygulanabilirliği ile dikkat çekerken; bulanık mantık temelli yaklaşım ise çevresel koşullardaki ani değişimlere daha hızlı yanıt verebilme, izleme doğruluğu ve daha düşük kararlı hal salınımı gibi avantajlarıyla öne çıkmıştır (Koçalmış et al. 2025).

Abbas ve arkadaşları tarafından hazırlanan çalışmada, bağımsız çalışan bir PV sistemi üzerinde farklı MPPT denetleyici algoritmalarının performansları incelenmiş ve bu algoritmaların

birbirleriyle olan karşılaştırmaları detaylı olarak ortaya konmuştur. Çalışmada hem tekil MPPT denetleyiciler hem de bu denetleyicilerin ikili ve üçlü hibrit kombinasyonları MATLAB/Simulink ortamında modellenmiş ve simüle edilmiştir. Simülasyonlarda, sistem çıkış gücü, gerilim ve akım gibi parametreler izlenerek her bir algoritmanın takip doğruluğu değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, Perturb and Observe (P&O), Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization – PSO) ve Bulanık Mantık (Fuzzy Logic – FL) gibi tekil MPPT denetleyicilerinin sırasıyla %97,6, %90,3 ve %90,1 oranlarında izleme verimliliği sağladığını ortaya koymuştur. Bununla birlikte, bu algoritmaların hibrit biçimde kullanılmasıyla elde edilen verimlilik oranlarının daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Örneğin, P&O–PSO, PSO–FL ve P&O–FL kombinasyonları sırasıyla %96,8, %96,4 ve %96,5 izleme verimlilikleriyle tekil denetleyicilere kıyasla daha üstün performans sergilemiştir. Çalışmanın en dikkat çekici bulgularından biri ise üç algoritmanın bir araya getirilmesiyle oluşturulan P&O–PSO–FL hibrit MPPT denetleyicisidir. Bu yapı, %99,5 izleme verimliliğiyle hem bireysel hem de çiftli hibrit yapıların önüne geçerek en başarılı sonuçları elde etmiştir (Abbas et al.2025).

Manas ve arkadaşları tarafından hazırlanan çalışmada, sabit sıcaklık altında değişen güneş ışıınımı ve sabit ışıınım altında değişen sıcaklık olmak üzere iki ayrı çevresel profil esas alınarak, üç farklı MPPT algoritmasının izleme verimliliği incelenmiştir. Değerlendirmeye alınan algoritmalar; Bozulma ve Gözlem (Perturb and Observe – P&O), Bulanık Mantık Denetleyici (Fuzzy Logic Controller – FLC) ve Yapay Sinir Ağı (Artificial Neural Network – ANN) tabanlı yöntemlerdir. Çalışma süresince, PV sistemlerin dinamik tepkilerini modellemek ve analiz etmek amacıyla MATLAB/Simulink yazılımı kullanılmıştır. Simülasyon sonuçları, farklı çevresel değişkenlere karşı algoritmaların izleme kabiliyetlerini karşılaştırmalı olarak ortaya koymuştur. Özellikle bulanık mantık tabanlı MPPT algoritmasının hem güneş ışıınımı hem de sıcaklık değerlerindeki ani değişimlere karşı daha hızlı yanıt verdiği ve daha kararlı bir şekilde maksimum güç noktasına ulaştığı belirlenmiştir. Bu sonuç, FLC tabanlı denetleyicinin P&O ve ANN tekniklerine kıyasla daha yüksek izleme etkinliği sunduğunu göstermektedir (Sahariya et al. 2016).

1.2 TEZİN AMACI

Bu tezin amacı; doğadan esinlenen optimizasyon algoritmalarının (ABC, MFO ve GOA) MGNT süreçlerindeki etkinliğini ortaya koyarak, FV sistemlerde verimliliğin artırılmasına katkı sağlamaktır. Elde edilen sonuçların, en sık kullanılan PSO algoritması ile karşılaştırarak

yenilenebilir enerji sistemlerinde akıllı optimizasyon tekniklerinin kullanımı konusunda önemli bir referans oluşturacağı düşünülmektedir. Ayrıca, geliştirilen modeller ve yapılan analizler, gelecekte MGNT algoritmalarının daha da iyileştirilmesine yönelik çalışmalara ışık tutacaktır. Böylece, güneş enerjisi sistemlerinin daha etkin ve sürdürülebilir bir şekilde kullanımı sağlanarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının yaygınlaştırılmasına katkı sunulması hedeflenmektedir.

1.3 TEZİN ORGANİZASYONU

Yapılan tez çalışması toplamda altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, çalışmanın temelini oluşturan konunun genel çerçevesi çizilmiş ve konuya giriş yapılmıştır. Bu kapsamda, öncelikle literatürde bu alanda yapılmış benzer çalışmalar incelenmiş ve mevcut çalışmalara katkı sağlayacak biçimde hazırlanan bu tez çalışmasının amacı detaylı olarak ortaya konmuştur. Ardından çalışmanın bölümler halinde nasıl organize edildiği hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde, fotovoltaik (FV) enerji sistemlerinin temel bileşenleri ve çalışma prensipleri ele alınmıştır. Bu bağlamda, FV hücrenin tek diyotlu eşdeğer devre modeli açıklanarak sistemin fiziksel yapısı ve elektriksel davranışı değerlendirilmiştir. Ayrıca farklı bağlantı yöntemleri incelenmiş, fotovoltaik sistemlerin performansını etkileyen ışıınım, sıcaklık gibi çevresel parametreler üzerinde durulmuştur. Devamında, değişken ışıınım ve sıcaklık koşullarının modül performansına etkileri tartışılmış ve özellikle kısmi gölgeleme durumlarının sistem üzerindeki olumsuz etkileri değerlendirilmiştir. Üçüncü bölüm, maksimum güç noktası takibi (MGNT) işlemi ve bu işlemde kullanılan algoritmalar üzerine odaklanmaktadır. İlk olarak MGNT kavramı açıklanmış, ardından sistemde kullanılan DA-DA yükselten dönüştürücünün (Boost Converter) tasarımı detaylandırılmıştır. Dördüncü bölüm, ilgili algoritmaların MATLAB/SIMULINK ortamında modellenmesini içermektedir. Bu kapsamda sırasıyla Güve Alevi Optimizasyon Algoritması (MFO), Yapay Arı Koloni Algoritması (ABC), Çekirge Optimizasyonu (GOA) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yöntemi ile gerçekleştirilen MGNT uygulamalarının yapısı açıklanmıştır. Son olarak, Çekirge ve Yapay Arı Kolonisi algoritmalarının hibrit olarak birleştirilerek optimize edilmiş bir MGNT yaklaşımı sunulmuştur. Beşinci bölümde, tasarlanan tüm algoritmalar için simülasyon çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Her bir algoritma için ayrı ayrı oluşturulan sistem modelleri kullanılarak, güç izleme başarımları ve kararlılık analizleri yapılmıştır. Bu bağlamda Güve Alevi, Yapay Arı Kolonisi, Çekirge, PSO ve Hibrit Çekirge/Arı algoritmalarının simülasyon sonuçları grafiklerle desteklenerek sunulmuştur. Altıncı ve son bölümde, çalışmanın genel bir değerlendirmesi

yapılmış, elde edilen bulgular doğrultusunda sonuçlar çıkarılmış ve ileriye dönük önerilerde bulunulmuştur.

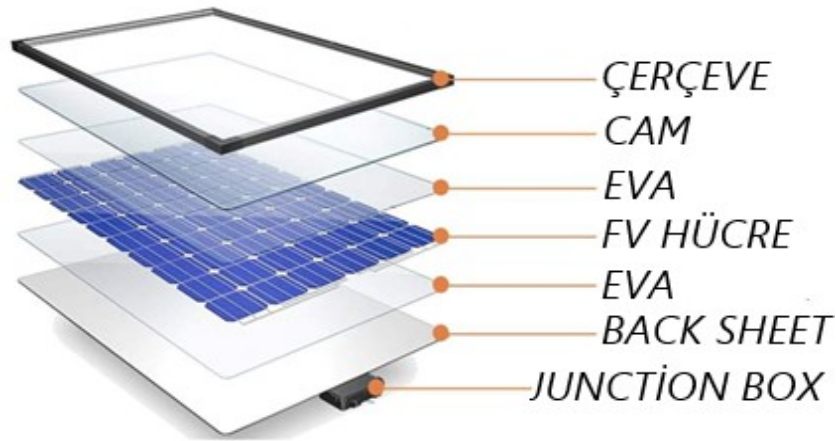


BÖLÜM 2

FV HÜCRE YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

Fotovoltaik (FV) sistemler, yarı iletken malzemelerin fotovoltaik etki prensibi ile güneş ışınının elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir. Bu prensip güneş ışınının elektrik enerjisine dönüştürüldüğü fiziksel bir işlemdir. Fotovoltaik hücre içerisinde bulunan yarı iletken malzeme güneş ışını çarpması sonucu elektrik akımı üretebilmektedirler. Yarı iletken çarpan güneş ışını (fotonlar) FV hücre içerisinde yarı iletkenle etkileşime girerek bağlı olduğu elektronları atomlarından koparırlar. Bu süre zarfında açığa çıkan elektronlar kullanılan yarı iletken malzeme içindeki PN bağlantısı sayesinde belirli bir yönde hareket etmesi sağlanır. Elektronlar N-tipi bölgeden P-tipi bölgeye hareket ederken fotovoltaik hücre içerisinde elektrik alan meydana gelmekte, oluşan elektrik alan sonucunda serbest kalan elektronların belli bir yönde akması sonucu doğru akım (DA) üretilmiş olmaktadır (Smestad 2002).

FV modüller içerisinde fosfor, bor, silisyum, bakır-indiyum-selenid ve kadmiyum tellür gibi farklı yarı iletken malzemeler kullanılmaktadır. Her üretici firmanın kendine özgü özellikleri olan FV modülleri kullanılan eva, cam, hücre yapısı/tipi ve diyot yapısı değişiklik göstermektedir. Şekil 2.1’de FV modülün genel yapısı verilmiştir.

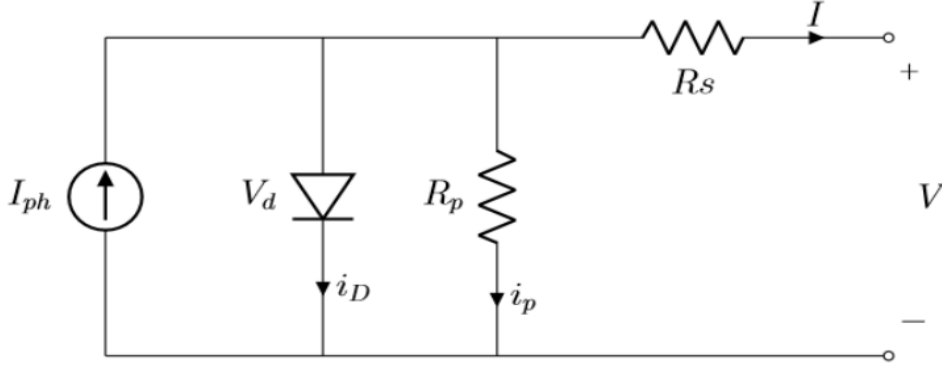


Şekil 2.1 Fotovoltaik modülün genel yapısı

Fotovoltaik sistemler, kurulum ve bakım maliyetleri diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre daha uygun olduğundan ülkemiz ve dünya genelinde hızlı bir artış göstermektedir. Bu artış beraberinde FV modüller üzerindeki teknolojik gelişmeleri de beraberinde getirmiştir. Bu gelişmeler arasında çift yüzölü (glass-glass) enerji üretimi yapabilen FV modül üretimleri yapılmaktadır. Bu modüllerin iki yüzeyinde FV hücre bulundurulur ve modülde bulunan eva şeffaf renklidir. Bu sayede çift taraftan gelen ışınım sayesinde tek taraflı FV hücre yapısına sahip modülden daha fazla enerji üretimi yapabilmektedirler. Half-cut ve full-cell teknolojileri ile üretilen FV modüllerde half-cut FV modülün orta ve alt-üst kısmında enerji toplama barası bulunduğundan enerji kaybı daha düşük şekilde üretim yapılabilirken, full-cell FV modül tasarımında enerji toplama baraları sadece alt ve üst kısımlarda bulunduğundan enerji kaybı half-cut FV modüle göre daha fazla olmaktadır (Duman & Alçı, 2022). Topcan teknolojisi ile üretilen FV modüllerde topcan P-tipi ve N-tipi şeklinde 2 farklı üretimi yapılmaktadır. Bu teknoloji ile üretilen FV modüller silikon levhadan üretilmektedir. Enerji üretimini iyileştirmek amacıyla silikon levha, kimyasal katkıları ile birleştirilip P-tipi ve N-tipi hücreler oluşturulur. İki üretimde arasındaki fark, katkı için kullanılan malzemeden gelmektedir. P-tipi hücreler için bor kullanılırken, N-tipi hücrelerde katkı maddesi fosfordur. Borun oksijen nedeniyle bozulabilmesi ihtimali varken, bu durum fosfor için geçerli değildir. Ayrıca, fosfor katkısı levhaya serbest elektron ekleyerek verimliliği artırılabilir ve fosforun bu özellikleri N-tipi hücreleri, P-tipi hücrelere göre daha avantajlı kılmaktadır (Linke et al. 2023).

2.1 FV HÜCRE TEK DİYOTLU EŞDEĞER DEVRESİ

Bir FV hücrenin literatürde birçok farklı eşdeğer devre modeli bulunmaktadır. En çok tercih edilen ve basitliği ile ön plana çıkan bir diyot ve iki direnç ile kurulabilen tek diyotlu eşdeğer devresi, araştırma ve geliştirmelerde sık sık kullanılmaktadır (Villalva, Gazoli, & Ruppert Filho, 2009). Devrede bir akım kaynağına paralel olarak bir diyot ve bir direnç bağlanıp, bu yapıya seri olarak bağlanan bir direnç bulunmaktadır. Buradaki akım kaynağı, ayarlanabilir akım kaynağı olarak tercih edilmektedir (İşen & Koçhan, 2020). Devrede kullanılan ayarlanabilir akım kaynağının kullanılmasının sebebi, aktif olarak üretilen enerjinin sürekli olarak değişmesinden kaynaklıdır. Bu sayede gölgelenme faktörü istenildiğinde akım değeri düşürülebilmektedir (Karafil, 2021). Seri olarak bağlanan direnç yükü temsil edip, bu sayede üretilen akımı ve gerilim değerini direnç üzerinden görülebilir hale getirmektedir. Şekil 2.2’de verilen tek diyot eşdeğer devre modellemesinde çevre akımları yöntemi kullanılarak devre çıkış akımı ve diyot üzerinden geçen akım denklemi verilmiştir.



Şekil 2.2 FV Hücre tek diyotlu eş değer devre modellemesi

Verilen devre modelinde I akımı devrenin çıkış akımı, I_{ph} akım kaynağını temsil etmektedir. I akımını bulmak için denklem (2.1)'de, I_{ph} akımı için denklem (2.2)'de verilmiştir (Gürkan & Güner, 2024)

$$I = I_{ph} - I_D - I_p \quad (2.1)$$

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{nom}} I_{ph(Gnom)} \quad (2.2)$$

Denklem (2.2)'de verilen G değeri anlık ışıınım değeridir. G_{nom} standart test koşulları altında kabul edilen ışıınım değeridir. Bu değer 1000 W/m^2 'dir. $I_{ph(Gnom)}$ değeri ise test koşulları altındaki ışık akım değeridir. Verilen bu denklemi kısa devre akımı (I_{sc}), sıcaklık farkı (ΔT), sıcaklık kat sayısı olan (K_i : $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$) ve q elektron yükünü ($1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$) cinsinden yazıldığında (2.3)'de verilmiştir (Samecullah & Swarup, 2016)

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{nom}} (I_{sc} + K_i \Delta T) \quad (2.3)$$

Denklem (2.4)'de I_D diyot akımı diyot uç denklemine göre verilmiştir.

$$I_D = I_0 \left[\exp\left(\frac{qV_d}{nkT_c}\right) - 1 \right] \quad (2.4)$$

V_d ifadesi paralel bağlı diyot üzerinde gerilimi ifade eder. Çevre denklemi uygulandığında

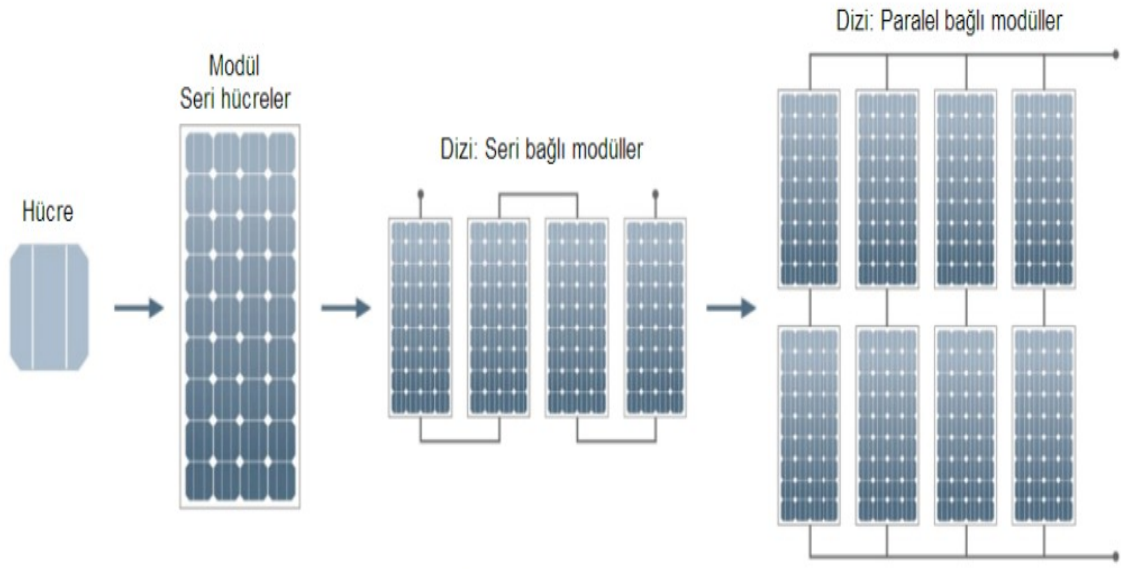
$$V_d = V + IR_s \quad (2.5)$$

Son durumda (2.1)'de verilen denklemde bulunan eşitlikler yerine konulduğunda (2.6)'da eşitlik elde edilmiş olmaktadır.

$$I = \frac{G}{G_{nom}} I_{ph(Gnom)} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V+IR_s)}{nkT_c}\right) - 1 \right] - \frac{V+IR_s}{R_{sh}} \quad (2.6)$$

2.2 FV MODÜL BAĞLANTI YÖNTEMLERİ

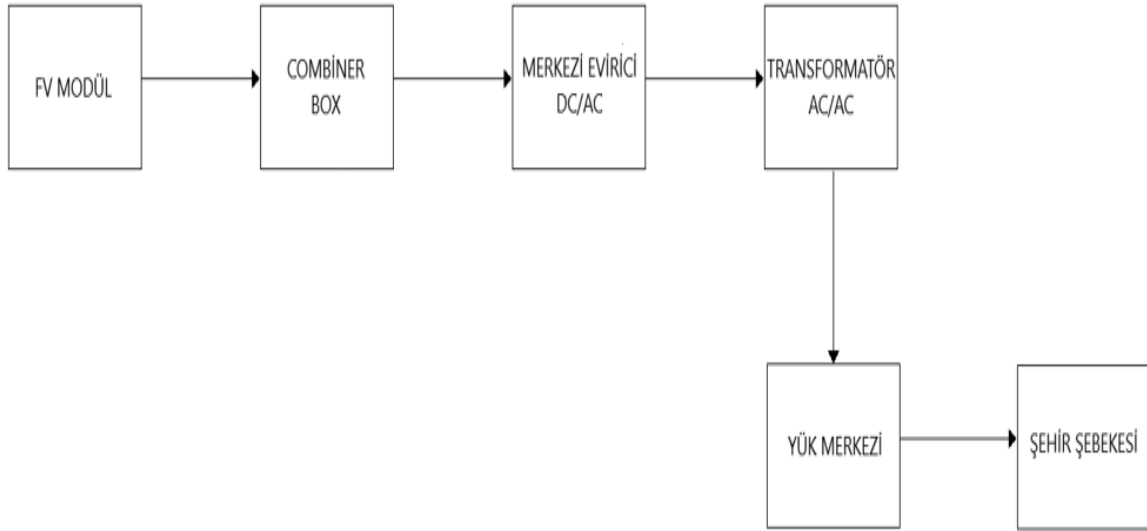
FV modüller sistem tasarımı ve enerji ihtiyacına göre seri ve paralel bağlanabilmektedir. Bağlantı şekline göre sistemde bulunan çıkış gerilimi ve akım kapasitesi değişkenlik göstermektedir (Yusof & Baharuddin, 2020). Aynı durum FV modül içerisinde bulunan hücreler içinde geçerlidir. Half-cut şeklinde üretim yapılan FV modüllerde 144 hücreli bir modülde 72 adet modül kendi içerisinde seri bağlanırken diğer 72 modül ile paralel bağlantısı yapılmaktadır. Bu sayede 72 seri bağlı hücrelerde bir problem olması durumunda kalan 72 hücre aktif şekilde enerji üretimine devam edebilmektedir. Şekil 2.3'te FV hücre, modül, dizi, seri ve paralel bağlantıları verilmiştir.



Şekil 2.3 FV hücre, modül, dizi, seri ve paralel bağlantı yapısı

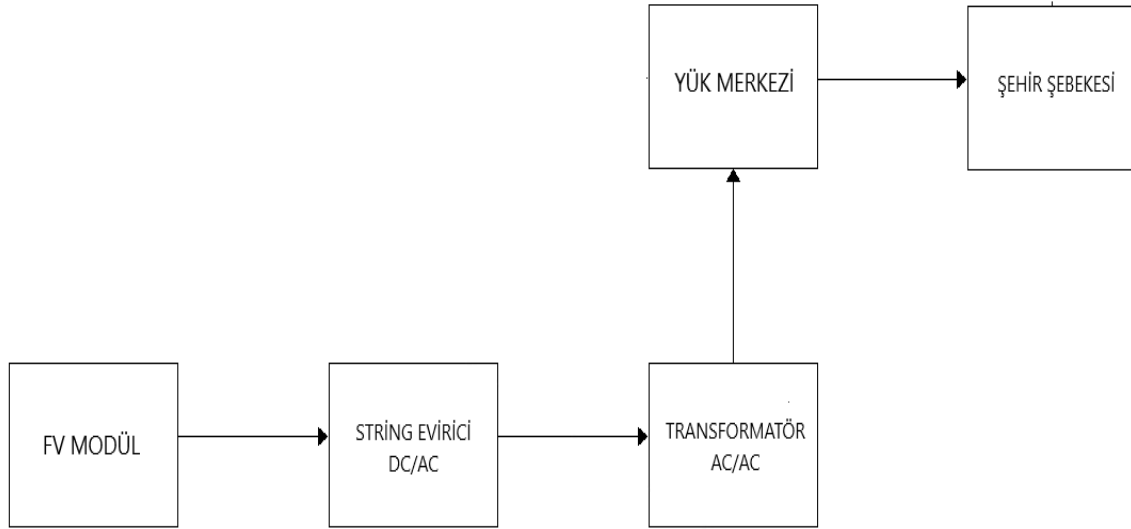
Tasarımı yapılan sistemler şebeke bağlantılı, şebekeye bağlı olmayan ya da hibrit şeklinde enerji ihtiyacını karşılayabilmektedir. Şebeke bağlantılı FV santraller üretilen enerjiyi şehir şebekesine iletilirken, şebeke bağlantılı olmayan santraller iç ihtiyaç için kurulup anlık olarak tüketilmektedir. Şebeke bağlantısı olmayan santrallerde batarya grubu eklenmesi halinde gündüz üretilen enerjiyi gece boyunca kullanım imkân bulunurken, şebeke bağlantılı santrallerde üretilen enerji depolanıp gece kullanım için şehir şebekesine iletebilmektedir. Yüksek üretim kapasiteli santrallerde kullanılan batarya grupları ülkemizde elektrik birim fiyatı gece daha yüksek olduğu için enerji iletim işlemi gece tercih edilmektedir (Dursun, 2023). Hibrit bağlantılar genel olarak öz tüketim için kurulan FV santrallerde güneş enerjisinin yetmediği yerde şebekeden enerji çekerek ihtiyacın tamamlanmasında kullanılan sistemdir. Şebeke bağlantılı sistemler kendi arasında 2 farklı tip evirici kullanmaktadır. Şekil 2.4'te verilen

modellemede merkezi tip evirici kullanılan santralde FV modüller de üretilen enerji combiner box adı altında toplama kutularında toplanır. Toplanan doğru akım merkezi tip eviriciye iletilir. Burada doğru akımdan alternatif akıma çevrilen enerji transformatöre aktarılıp yük merkezinden şebekeye iletilir.



Şekil 2.4 Şebeke bağlantılı merkezi evirici kullanılan FV sistem modellemesi

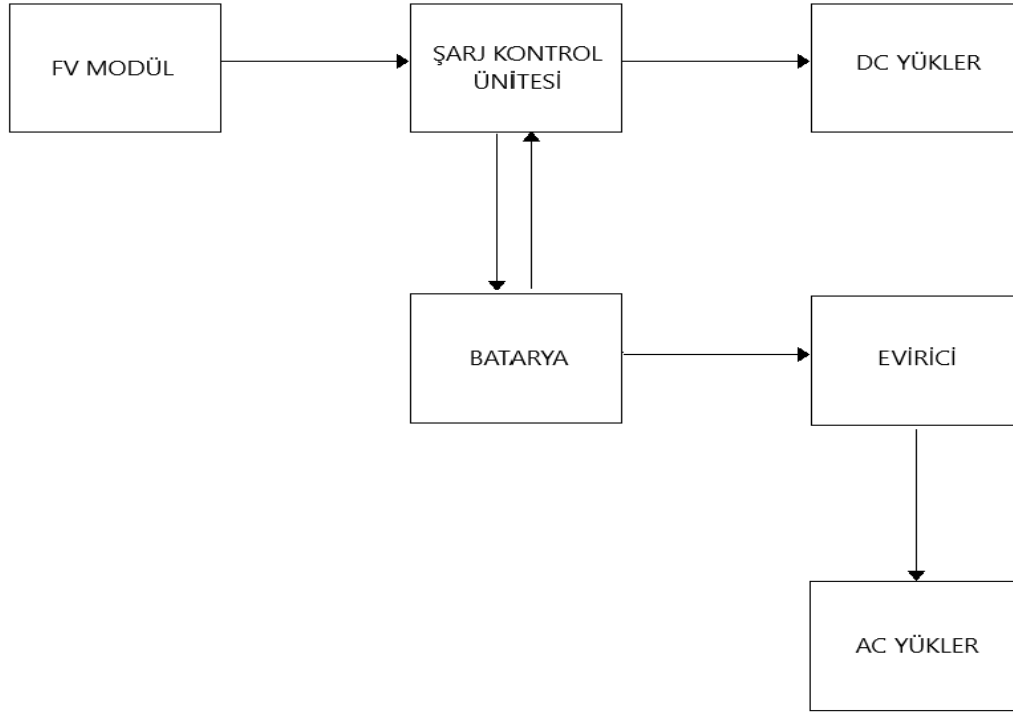
Şekil 2.5'te gösterilen string inverter kullanılan santral yapısında, FV modüllerde üretilen elektrik enerjisi, doğrudan her bir stringe bağlı olan inverterlere iletilir. Bu inverterler, DA olarak gelen enerjiyi AA çevirerek dönüşüm işlemini gerçekleştirir. Bu yapı, merkezi inverter sistemlerinden farklı olarak her bir FV modül grubunun ayrı ayrı izlenebilmesine ve kontrol edilebilmesine olanak tanır. Enerji dönüşüm süreci tamamlandıktan sonra, AA akıma çevrilen elektrik enerjisi bir ortak toplama panosuna aktarılır. Bu noktadan itibaren, sistemin merkezi inverter yapısına benzer şekilde, enerji bir yükseltici transformatör aracılığıyla uygun gerilim seviyesine yükseltilir. Ardından bu enerji yük merkezine iletilir ve nihai olarak elektrik şebekesine aktarılır. Bu sistem hem enerji verimliliği hem de arıza tespitinde sağladığı avantajlar nedeniyle yaygın olarak tercih edilmektedir. Ayrıca, string inverter yapısı sayesinde kısmi gölgelenme veya arızalı modül gibi durumların diğer modüllerin performansını minimum düzeyde etkilemesi sağlanarak sistemin genel verimliliği artırılmaktadır (Karakaya & Yılmaz, 2018).



Şekil 2.5 Şebeke bağlantılı string evirici kullanılan FV sistem modellemesi

Her iki eviricinin de avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Merkezi tip eviricide oluşacak bir arıza bağlı olduğu bütün combiner boxlardaki enerjinin kesintisine sebep olacaktır. String eviricide ise sadece bağlı olduğu MGNT kapatılıp diğer MGNT'ler de enerji dönüşüm işlemi devam edebilmektedir. Ancak piyasa kullanılan merkezi eviricilerin verim oranı string eviricilere göre daha avantajlıdır. String eviricide %90 civarında verimlilik oranı mevcutken, merkezi tip eviricide bu oran %98'lere kadar çıkmaktadır (Phap & Hang, 2019)

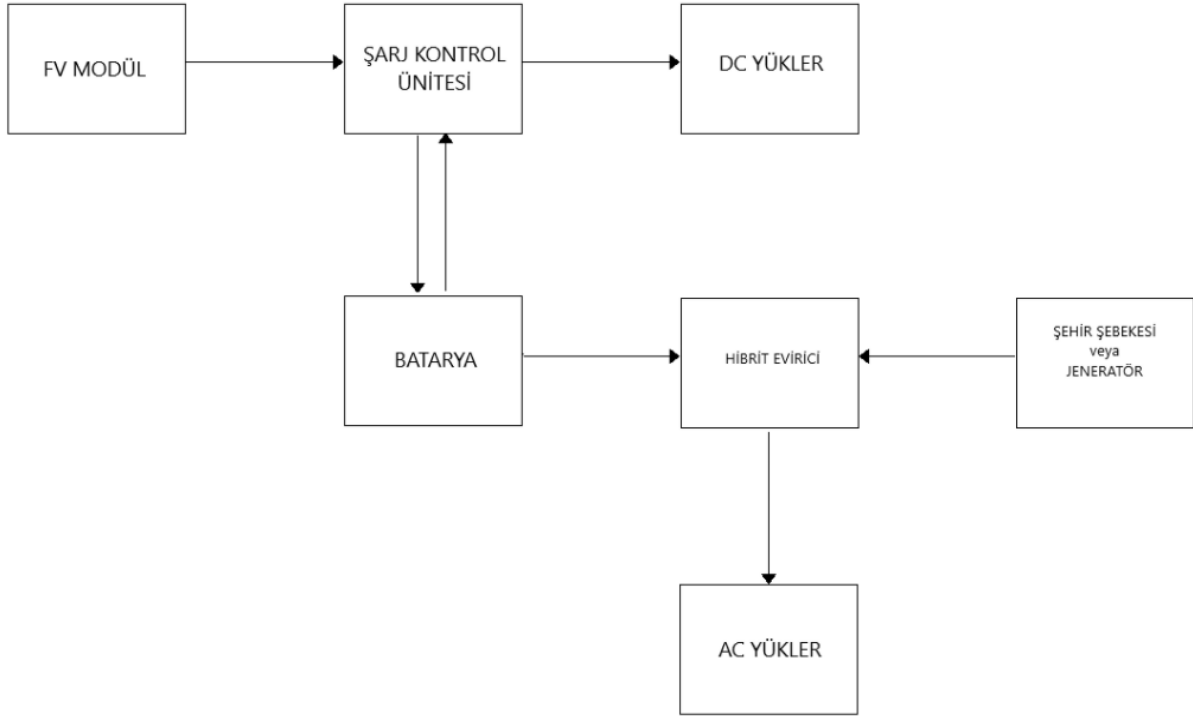
Şebeke bağlantısı olmayan sistemler köy ve kasabalarda öz tüketim için kurulan sistemlerdir. Bu sistemlerde çoğunlukla batarya grubu bağlantısı yapılarak gecede enerji ihtiyacı karşılanmaktadır. Şebeke bağlantılı sistemlerden farklı olarak batarya grubu eklenmesi dahilinde sistem içerisine şarj kontrol ünitesi eklenmektedir. Bu sayede batarya grubunun şarj ve deşarj durumları kontrol edilerek sistemin daha sağlıklı, bataryanın daha uzun ömürlü olması sağlanmaktadır. Şekil 2.6'da şebeke bağlantısı olmayan FV sistemlerin genel modellemesi verilmiştir



Şekil 2.6 Şebeke bağlantısı olmayan FV sistem modellemesi

Hibrit fotovoltaik (FV) sistemler, birden fazla yenilenebilir enerji kaynağının aynı altyapı üzerinde entegre bir biçimde çalıştığı sistemler olarak tanımlanmaktadır. Bu sistemlerde, güneş enerjisi başta olmak üzere rüzgâr, biyokütle veya hidroelektrik gibi diğer yenilenebilir kaynaklar da aynı yapıya entegre edilerek enerji üretiminde süreklilik ve esneklik sağlanmaktadır. Örneğin, bir konut tipi hibrit FV sistemde, gündüz saatlerinde güneş ışınlarından maksimum düzeyde yararlanılarak enerji üretimi gerçekleştirilmekte, bu üretilen enerji evsel yükleri beslemekte veya varsa batarya grubunda depolanmaktadır (Khan & Iqbal, 2005). Akşam saatlerinde ise güneş enerjisi üretimi sona erdiğinden sistem otomatik olarak şehir şebekesinden enerji tüketimine geçmektedir. Bu geçiş süreci, sistemde yer alan hibrit inverterler sayesinde kesintisiz bir biçimde gerçekleşmektedir. Hibrit sistemlerin önemli avantajlarından biri, enerji arz güvenliğini artırması ve kullanıcıyı tek bir kaynağa bağımlı kalmaktan kurtarmasıdır. Ayrıca, bu sistemlerde isteğe bağlı olarak enerji depolama amacıyla batarya grubu da entegre edilebilmektedir. Ancak batarya sistemleri, özellikle lityum-iyon veya kurşun-asit gibi türlerde, düzenli bakım ve belirli aralıklarla yenilenme gerektirdiğinden dolayı, toplam sahip olma maliyetini artırabilmektedir. Bu nedenle özellikle bireysel konut uygulamalarında, batarya grubunun yüksek bakım-onarım maliyetlerini minimize etmek amacıyla hibrit inverter tercih edilmektedir. Hibrit inverterler hem şebekeye bağlı hem de

bataryalı sistemlerle çalışabilme kabiliyetine sahip olup, enerji akışını optimize ederken aynı zamanda sistemin sürdürülebilirliğini ve ekonomik verimliliğini artırmayı hedefler. Sonuç olarak, hibrit FV sistemler hem enerji bağımsızlığını artırmakta hem de kullanıcıya esnek, çevreci ve uzun vadede ekonomik bir çözüm sunmaktadır (Singh & Verma,2015).



Şekil 2.7 Hibrit FV sistem modellemesi

2.3 FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİ ETKİLEYEN PARAMETRELER

FV modüllerin performansı, çevresel ve sistemsel birçok etkene bağlı olarak olumsuz yönde etkilenebilmektedir (Skoplaki & Palyvos, 2009). Bu olumsuzluklar hem FV modül ömrünü hem de hesaplanan üretim gücünün altında kalacak şekilde üretim yapılacağı anlamına gelmektedir. Gölgeleme durumu FV sistemlerin en büyük problemleri arasında rol oynamaktadır. Özellikle kurulu gücü yüksek santrallerde dar alana daha fazla FV modül gücü sığdırmak adına FV modüllerin birbiri ile gölge yapacak şekilde montajlanması hem enerji kalitesini düşürmekte hem de FV modül ömrünü kısaltmaktadır. Kısmi gölgeleme durumunda seri bağlı FV modüllerde akım sınırlanabilir, bu da enerji üretimi konusunda ciddi derecede verim kaybına yol açmasına sebep olacaktır.

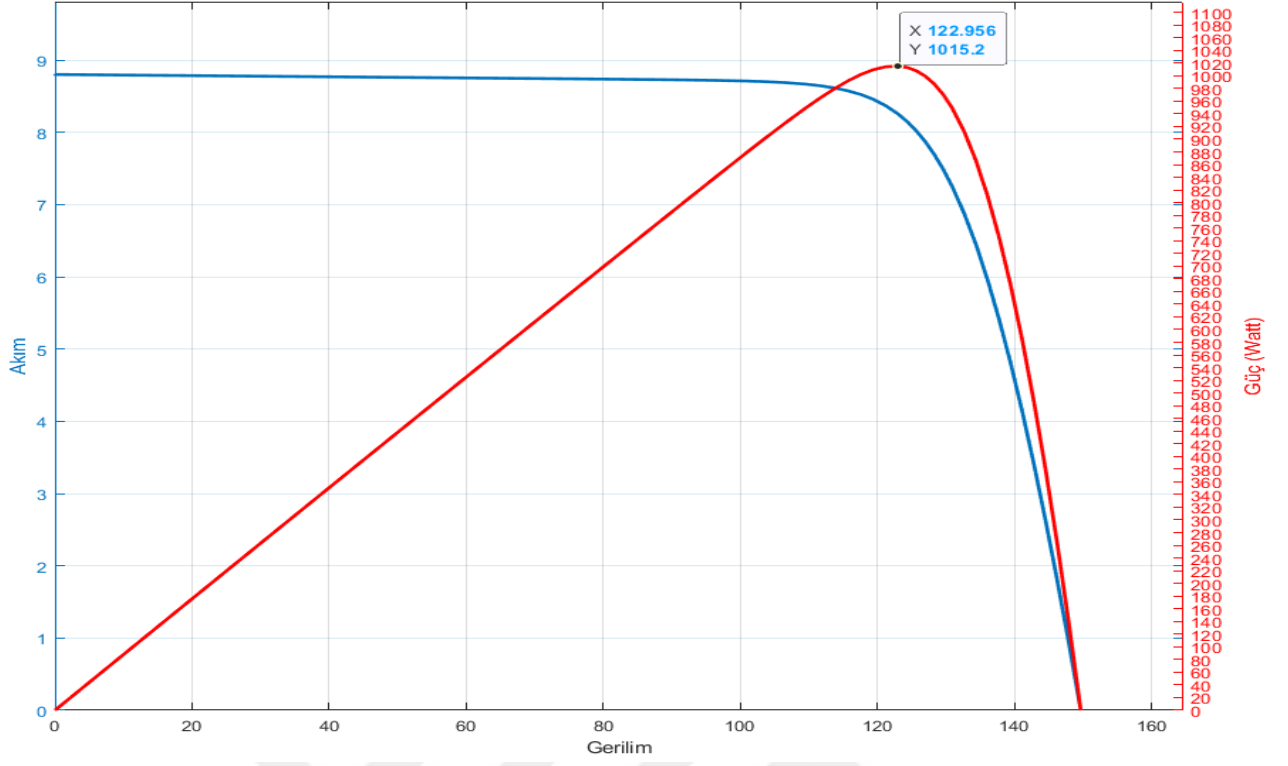
FV modül üzerinde biriken kir, toz ve kuş pisliği FV modül üzerinde kısmi gölgelenme yapacağı için o seride bağlı bütün FV modüllerin de akımını sınırlayacaktır (Koutroulis et al. 2001). Yanlış eğimde montajlanan FV modüller üretmesi gereken enerji miktarından daha az enerji üretimi gerçekleştirecektir. Özellikle FV modüllerin montaj yönü enerji üretiminde oldukça etkilidir. Çünkü gün ışığını, güneş doğumundan batımına kadar FV modül üzerine ışıyım düşürülmediği takdirde istenilen enerji üretilmeyecektir. Bu durumu özellikle ülkemizde dahil Kuzey Kutbu'nda kurulu santrallerde FV modüller Güney cephesine bakacak şekilde montajlanmaktadır.

Kullanılan elektronik ve elektriksel sistemler FV sistemler için oldukça önemlidir. Kullanılan inverter, kullanılan transformatör FV modül üretim verimliliğini doğrudan etkilemektedir. İnverter içerisinde bulunan MGNT algoritmaları hatalı ya da verimsiz çalışması durumunda istenilen üretim elde edilemeyecektir. Bu durumun yaşanmaması için sisteme uygun ve dönüştürme oranı yüksek inverter tercih edilmelidir. Montaj sırasında gevşek bırakılan kablolar, gerilim düşümü hesabı yapılmadan kullanılan DA ve AA kablolar zamanla ısınacağı için sisteme zarar vereceklerdir (Kjaer et al. 2005).

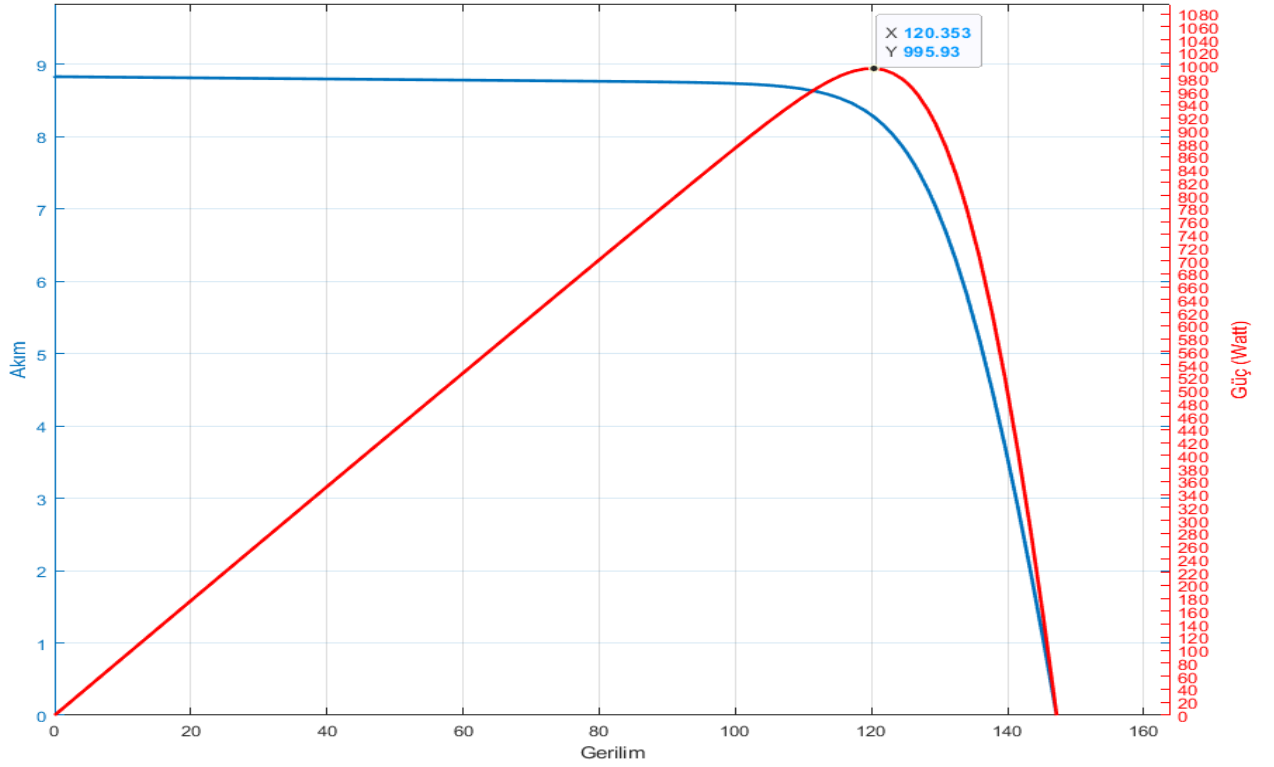
2.3.1 Değişken Işıyım ve Sıcaklığın FV Modüle Etkisi

FV modül üretimi performansını doğrudan etkileyen iki temel parametre sıcaklık ve ışıyım seviyesidir (Al-Bashir et al. 2020).Yüksek ışıyım seviyesi modül üzerindeki akımı artırarak modül çıkış gücünü arttırırken, düşük ışıyım seviyesi de modül çıkış gücünde ciddi ölçüde düşüslere sebep vermektedir. FV modüller her ne kadar ışıyımın bol olduğu yerlerde kurulumu yapılsa da modüller belli bir sıcaklıktan sonra açık devre gerilimi (V_{oc}) azalmakta bu da FV modül üretim verimliliğini olumsuz yönde etkilemektedir (Jordan & Kurtz, 2013). Bu sebepten FV modüller serin ve güneşli havalarda akım ve gerilim değerleri daha yüksek verimlilikte enerji üretmeye elverişli durumda olmaktadır.

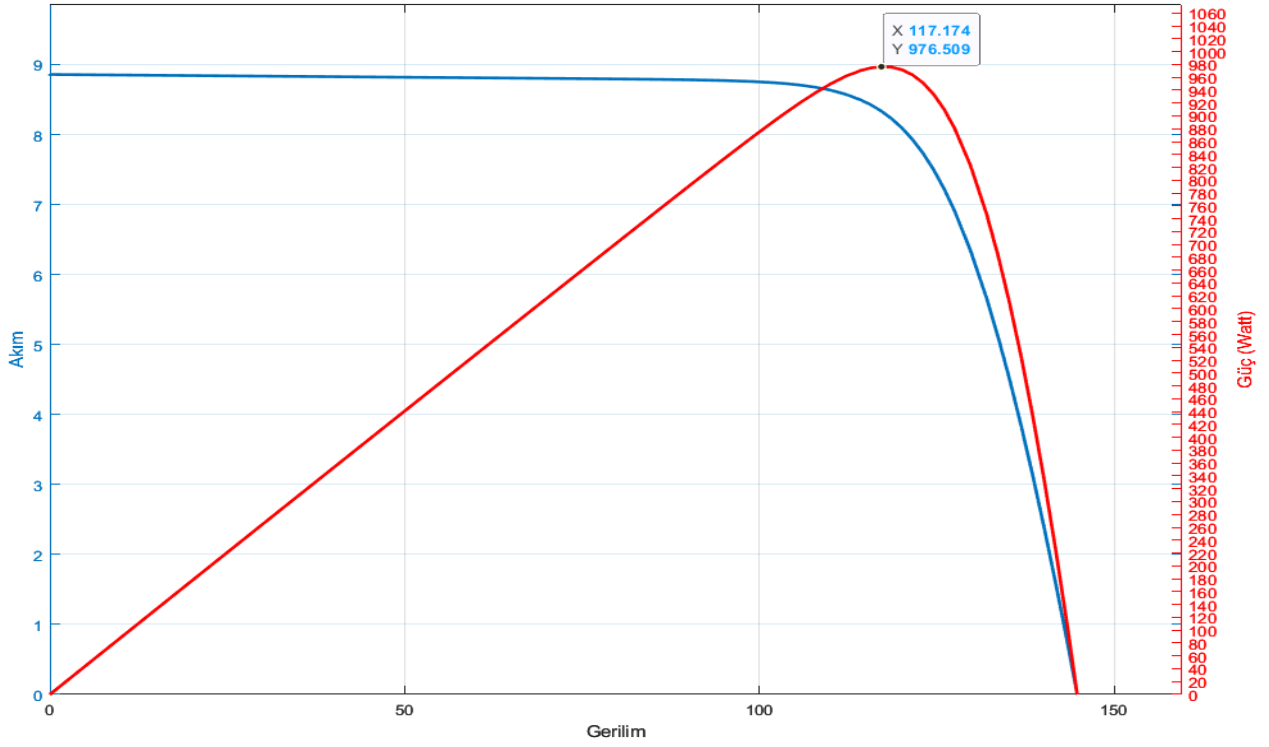
Şekil 2.8, Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da sabit 1000 W/m² ışıyım ve 20°C,25°C,30°C değişken sıcaklık değerlerinde 4 adet 249W üretim potansiyeline sahip FV modülün, üretim karakteristikleri verilmiştir. Çıkan karakteristik sonuçlara göre sıcaklığın üretime nasıl bir etkisi olduğu belirlenecektir.



Şekil 2.8 1000 W/m², 20°C güç karakteristik eğrisi

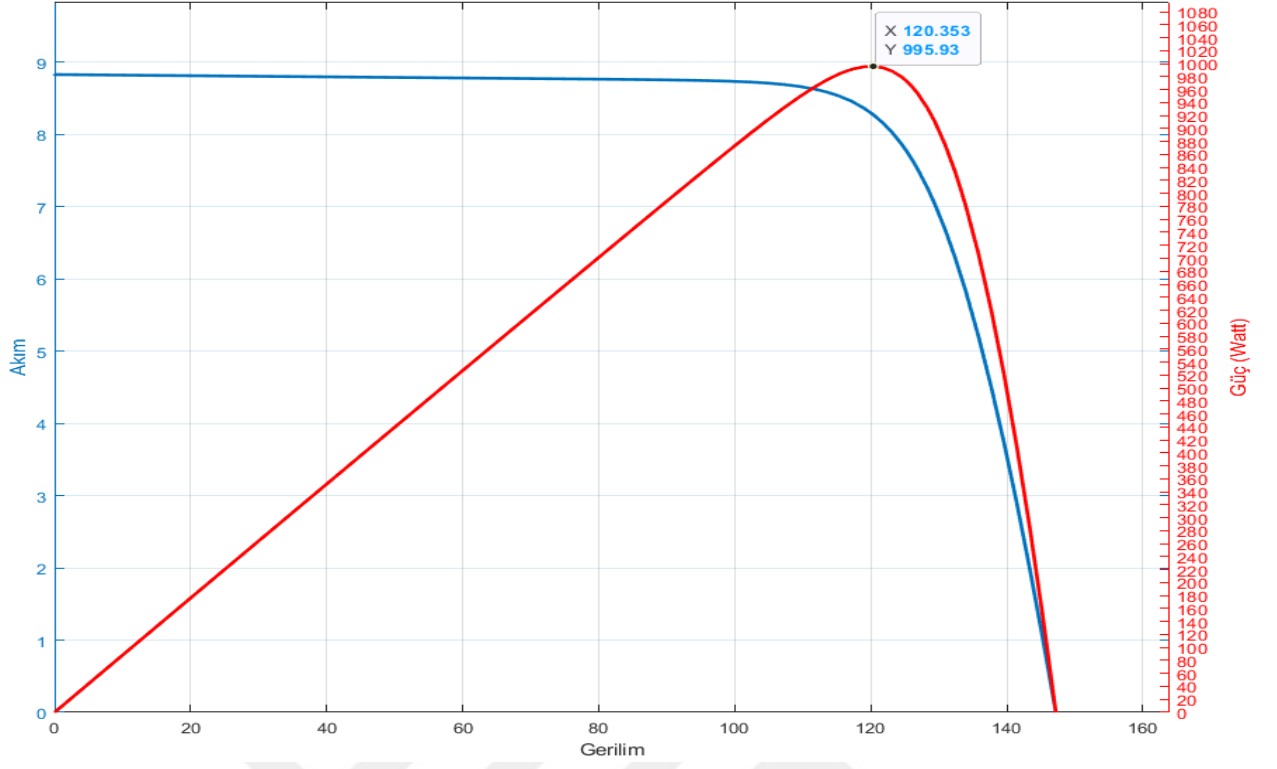


Şekil 2.9 1000 W/m², 25°C güç karakteristik eğrisi

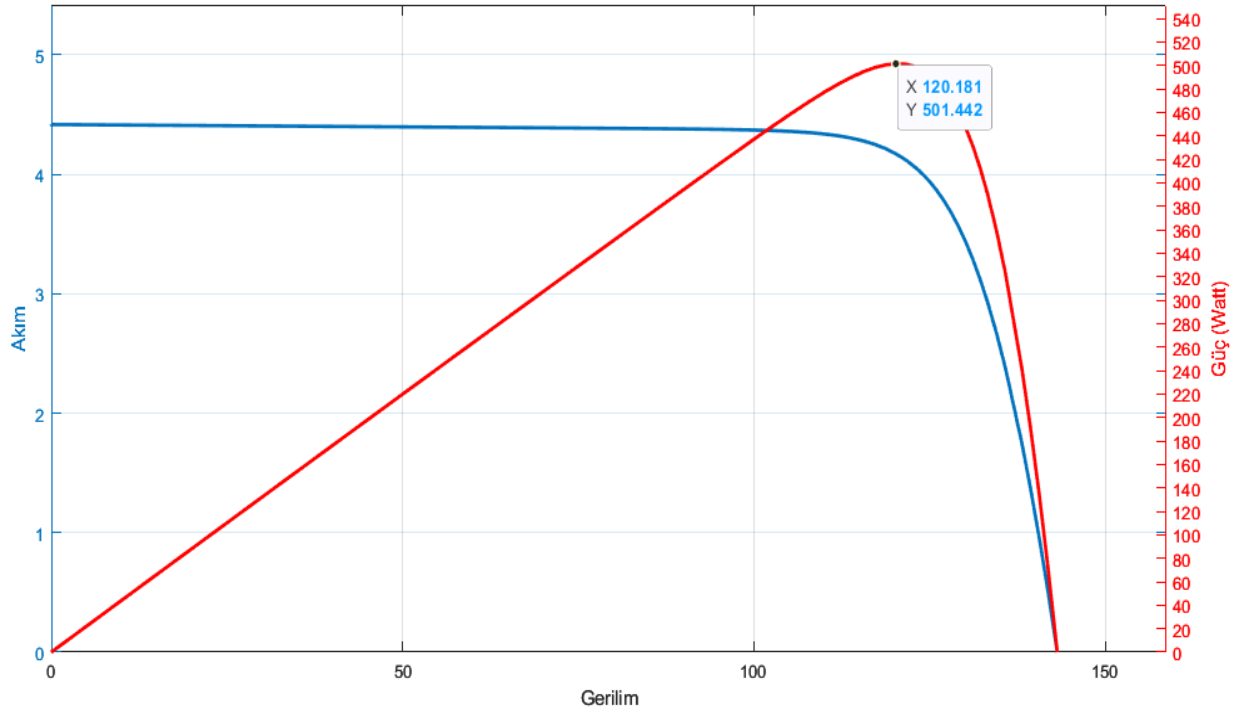


Şekil 2.10 1000 W/m²,30°C güç karakteristik eğrisi

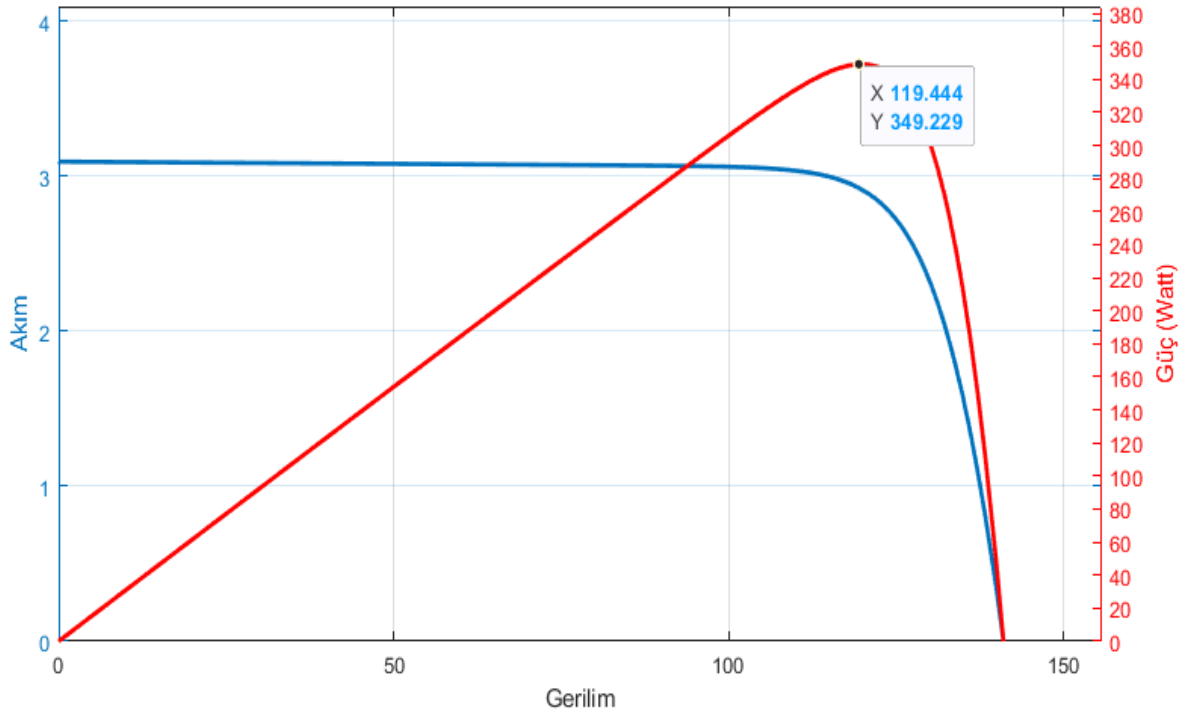
Şekiller incelendiğinde, FV modül üretimi sıcaklık ile doğrudan etkilendiği görülmektedir. Sıcaklık artması durumunda gerilim değerinin düştüğü bunun sonucunda üretilen gücünde o oranla düştüğü görülmektedir. Bunun temel sebebi sıcaklık artması sonucu V_{oc} gerilimi azalmakta bunun sonucu modül üretim düşüşüne sebep olmaktadır. Şekil 2.11, Şekil 2.12 ve Şekil 2.13'te ise 25°C sabit sıcaklıkta 1000 W/m²,500 W/m² ve 350 W/m² değişken ışıınım değerlerinde dört adet 249W üretim potansiyeline sahip FV modülün, üretim karakteristikleri verilmiştir. Çıkan karakteristik eğrilerine göre sıcaklıkta olduğu gibi değişken ışıınım değerinde modül üretimindeki değişiklikler incelenecektir.



Şekil 2.11 1000 W/m², 25°C güç karakteristik eğrisi



Şekil 2.12 500 W/m², 25°C güç karakteristik eğrisi



Şekil 2.13 350 W/m²,25°C güç karakteristik eğrisi

Şekiller incelendiğinde, azalan ışıınım seviyeleri ile birlikte FV modüllerin elektriksel üretim potansiyelinde de belirgin bir azalma gözlemlenmektedir. Güneş ışıınımı, bir FV modülün enerji üretiminde en kritik çevresel parametrelerden biri olup, ışıınım düzeyindeki herhangi bir düşüş doğrudan çıkış gücünde azalmaya neden olmaktadır. Işıınım seviyesi düştüğünde, özellikle çıkış akımının bu değişime oldukça duyarlı olduğunu ve akım değerinde hızlı ve doğrudan bir azalma meydana geldiğini göstermektedir. Buna karşın, gerilim değerindeki azalma daha sınırlı düzeyde gerçekleşmekte, yani gerilim ışıınım değişimlerine karşı daha kararlı bir davranış sergilemektedir.



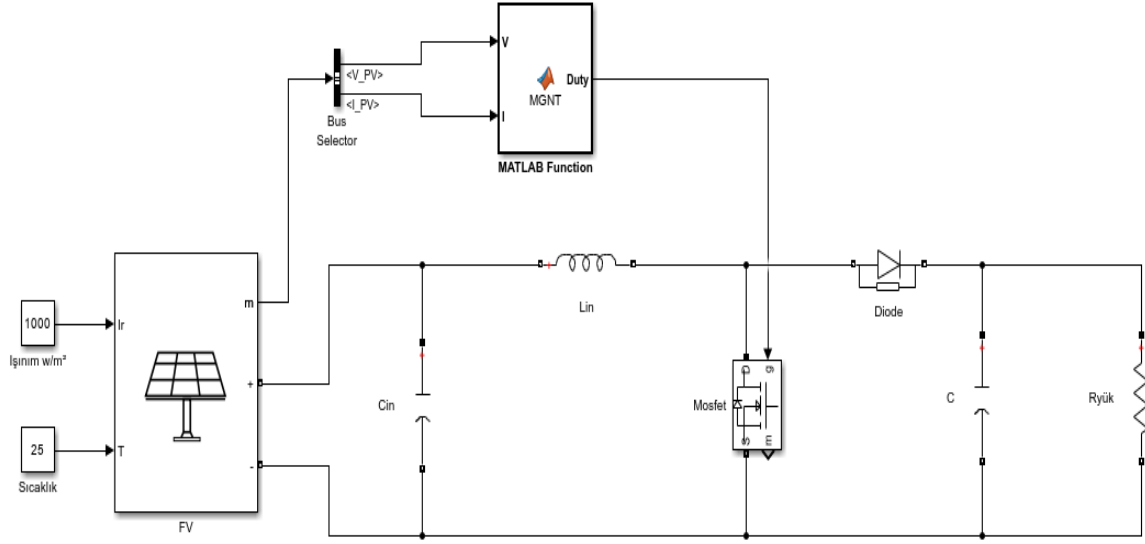
BÖLÜM 3

SİSTEM TASARIMI VE MODELLEMESİ

Kurulan santrallerde üretim verimliliği etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Güneşlenme vakti, açı değeri, kullanılan FV modül, gölgelenme faktörü vb. birçok parametre bulunmaktadır (Brosig & Waffenschmidt, 2016). Kusursuz tasarım, verimlilik oranı yüksek FV modül kullanılsa dahi MGNT tasarımında yapılacak en ufak problem verimlilik oranını büyük oranda düşürecektir. Güneş, gün içerisinde sürekli olarak yer değiştirmesinden kaynaklı FV modüllerdeki üretimde bu denli değişiklik göstermektedir. MGNT, bu değişim faaliyetlerini takip ederek FV modül üretimini sürekli olarak takip etmektedir. Bu sayede modül üretimindeki değişimden en az etkilenecek en verimli noktada üretim yapılması sağlanmaktadır.

Şebeke entegreli FV sistemlerde birçok elektrik ve elektronik cihaz entegre şekilde çalışarak enerji üretimi ve iletimi yapmaktadır. İnverter, doğru akımı alternatif akıma çevirerek üretilen enerjinin trafoya aktarılmasını sağlamaktadır. İnverter içerisinde dönüştürücüler ve MGNT yapısı bulunmaktadır. FV modüllerden üretilen enerjinin anlık olarak değiştiği için maksimum güç noktasına (MGN) ulaşılsa bile invertere aktarılması zor bir durumdur (Katche et al. 2023). Çünkü üretilen enerji anlık olarak yüke aktarılmaktadır. Bu da sürekli olarak gün ışıınımı, sıcaklık gibi parametrelerin anlık olarak ayarlanması gerektiği anlamına gelmektedir. Bu durumda yük ile FV modül arasına MGNT yapısı eklenmelidir (Dali et al. 2021).

DA/DA yükseltici çıkış voltajının ayarlanması için kullanılmaktadır. Bu çıkış gerilimi ve akım değişimleri anlık olarak MGNT yapısıyla kontrol edilip yüksek verimlilikte enerji üretimi sağlanmış olmaktadır.



Şekil 3.1 MGNT sistemi kullanan FV sistem blok diyagramı

Şekil 3.1’de verilen blok diyagramında MATLAB Simulink programı kullanarak tasarımı yapılmış MGNT sistemi kullanan DA-DA yükseltici dönüştürücüye sahip FV sistem modellenmesidir. Bu modelde FV modül üzerinden gelen gücü MGNT aracılığıyla optimize ederek yüke iletilmesini sağlamaktadır (Adak et al. 2019).

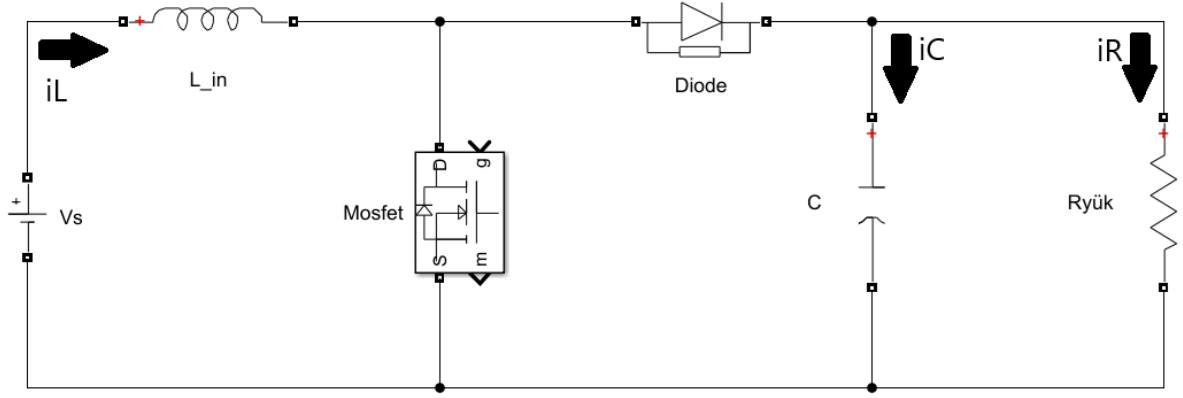
Tasarlanan sistemde V_{PV} ve I_{PV} FV modülde üretilen gerilim ve akımı göstermektedir. Bu değerler MGNT sisteminde analiz ederek anahtarlama elemanı MOSFETE kontrol sinyali yollamaktadır. L_{in} bobin akım depolayarak MOSFET anahtarlamasında enerjiyi yükselterek çıkış gerilim değerini arttırmaktadır. Kullanılan anahtarlama elemanları MOSFET ya da IGBT tercih edilmektedir. Bu anahtarlama elemanları yüksek frekans aralığında tetiklenebilme özellikli ve iletim direnci düşük modelleri seçilmektedir.

3.1 DA-DA YÜKSELTEN DÖNÜŞTÜRÜCÜ TASARIMI

DA-DA dönüştürücü devreleri bir sistemdeki giriş güç oranını istenilen oranda artırılmasını ya da azaltılmasını sağlayan elektronik devre tasarımlarıdır. Bu dönüştürücüler yükseltici (boost), düşürücü (buck) ve hem düşürücü hem yükseltici olarak kullanılan (buck-boost) dönüştürücüler olarak üç farklı şekilde kullanılmaktadırlar (Muhammad & Abidin, 2018). Her dönüştürücünün tasarımı farklı olmakla kullanılan elektronik komponentler aynıdır. Genel olarak bobin, kondansatör ve IGBT/MOSFET gibi kontrollü güç anahtarı elemanları kullanılmaktadır (Rashid, 2015). Sistemde kullanılan MOSFET sistemdeki darbe (duty) gerilimine göre anahtarlama yaparak düşürme ve yükseltme görevini yerine getirmektedir. Sistemde bulunan bobin üzerindeki depolanan akımı ve bobin çıkışında aktarılması gereken gücü, güç anahtar elemanları darbe genişlik modülasyon (DGM) yöntemi ile görev periyodu (d) değiştirilerek, anahtarlama frekansı sabit tutulup yükseltme ve alçaltma işlemidir. DGM tekniğinde, bir anahtarlama periyodu süresince güç anahtarının iletimde kaldığı süre, toplam periyoda oranlayarak 'd' ayarlanmaktadır. Eşitlik 3.1'de görev periyodunun ifadesi verilmiştir. 'd' görev periyodu, t_{on} güç anahtarının iletimde kaldığı süreyi ve T toplam anahtarlama periyodunu ifade etmektedir.

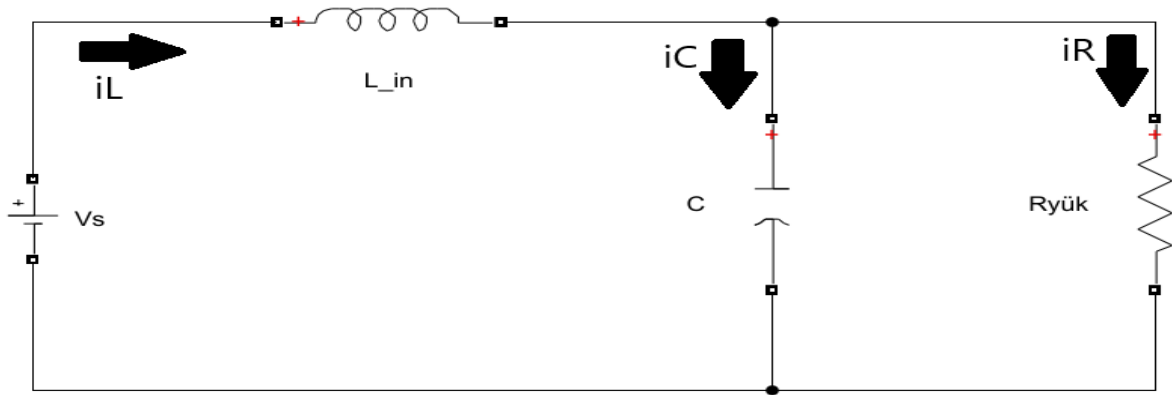
$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (3.1)$$

Güneş enerji santrallerin de MGNT yapısından gelen kontrol sinyallerine göre anlık olarak değişen FV modüllerin güç değerlerinin takibi ve kontrolü için yükselten, alçaltan ve yükselten-alçaltan DA-DA dönüştürücü modelleri kullanılmaktadır. Bu sistemler bobin, kondansatör ve kontrollü güç anahtarlama elemanlarından oluşmaktadır. Sistem L_{in} akımı arttırmak için kullanılan bobin, kontrollü yarı iletken güç anahtarı MOSFET, bir adet filtre kondansatörü C ve 1 adet yük direnci $R_{yük}$ 'ten oluşmaktadır. Şekil 3.2'de DA-DA yükselten dönüştürücü devresi gösterilmektedir.



Şekil 3.2 DA-DA yükselten dönüştürücü devre modellemesi

Şekil 3.2’de verilen DA-DA yükselten dönüştürücünün MOSFET iletimde ya da iletimde olmadığı durumda iki türlü çalışma prensibi bulunmaktadır. Şekil 3.3’te MOSFET iletimde olmadığı durumda devrenin temsili hali gösterilmektedir.



Şekil 3.3 MOSFET iletimde olmadığı durum

Şekil 3.3’te MOSFET iletimde olmadığı için açık anahtar gibi davranacaktır. Bu durumda L_{in} bobini enerjisini boşaltmak isteyeceği için ve üzerindeki akım sıfıra inemeyeceğinden bobin kendi iç enerjisini kullanarak üzerinde akımı filtre kondansatörü ve $R_{yük}$ üzerine boşaltacaktır.

Eşitsizlik 3.2’de çıkış gerilimi sabit kabul edildiğinde bobin üzerindeki gerilim eşitsizliği verilmiştir. Son durumda V_s ile bobin üzerindeki gerilim birleşerek çıkış gerilimi artırılmış olacaktır ve filtre kondansatörü bir yandan gerilim depolarken bir yanda da yükü beslemeye devam edecektir (Hart , 2010).

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_s - V_0}{L} \quad (3.2)$$

İkinci durum MOSFET iletimde iken yani kapalı anahtar gibi davrandığı durum ele alınacaktır. Şekil 3.4’te MOSFET iletimde iletim de olduğu durum gösterilmektedir.



Şekil 3.4 MOSFET iletimde olduğu durum

Şekil 3.4’te verilen görselde MOSFET iletimde olduğu için kapalı anahtar gibi davranmaktadır. Bu durumda L_{in} bobini V_s kaynağından akım depolamaya başlayacaktır. $R_{yük}$ üzerindeki gerilim filtre kondansatörü ile beslenmeye başlayacaktır. Bu durumda kondansatör üzerindeki akım oldukça yüksektir. Eşitsizlik (3.3)’de L_{in} bobini üzerindeki gerilim, eşitsizlik (3.4)’de ise L_{in} bobini üzerindeki akım değişim oranı gösterilmiştir (Hart , 2010).

$$V_{Lin}=V_s = L \frac{di_L}{dt} \quad (3.3)$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_s}{L} \quad (3.4)$$

Bu durumda tasarımı yapılan devrenin içerisinde kullanılan bobin, kondansatör ve direnç değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Hesaplamalarda T değeri 1s, direnç değeri 53Ω , frekans değeri ise 50kHz olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 3.1 DA-DA Yükselten Dönüştürücü Parametreleri

Parametre	Değer	Sembol	Birim
Yük Direnci ($R_{yük}$)	53	R	ohm(Ω)
Frekans	50	f	kiloHertz (kHz)
Bobin (L_{in})	1.478	L	miliHenry(mH)
Filtre Kondansatörü (C)	0.4676	C	mikroFarad (μ F)
Zaman	1	T	Saniye (sn)

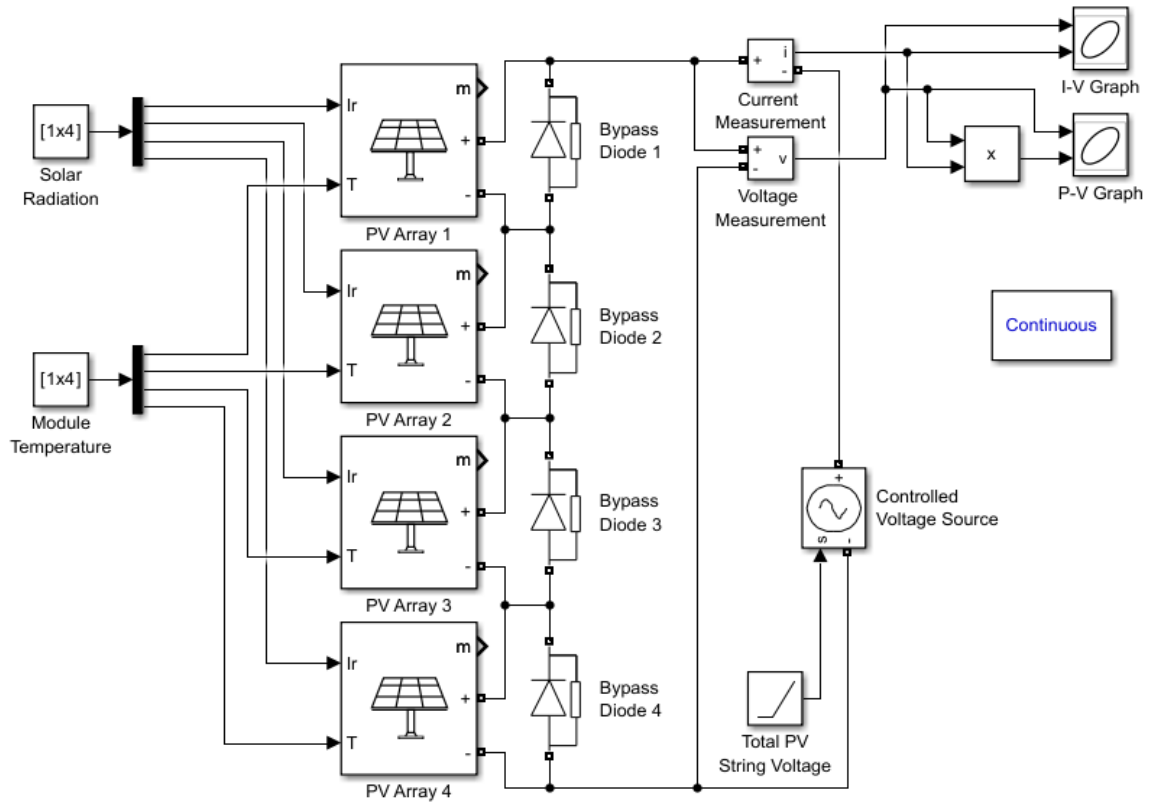
3.2 KISMİ GÖLGELENME ALTINDA FV MODÜLLERİN ÜRETİM KARAKTERİSTİKLERİ

Tasarlanan sistem modelinde Şekil 3.5'te MGNT yapısı olmadan Matlab/Simulink programında FV modüllerin kısmi gölgeleme ve değişken olmayan ışınlım durumunda üretim karakteristiklerini incelenmesi için sistem tasarımı yapılmıştır. Sistemde dört adet FV modül birbiri ile seri bağlantısı yapıp oluşabilecek herhangi bir ters akıma karşı her bir FV modüle paralel olacak şekilde bypass diyotları bağlanmıştır.

Sistemde dört adet Tata Power Solar Systems marka TB250MBZ modeli 249W FV modül kullanılmıştır. Çizelge 3.2'de FV modül özellikleri verilmiştir.

Çizelge 3.2 Tata Power TB250MBZ FV modül özellikleri

PARAMETRELER	DEĞERLER
Modül	Tata Power Solar Systems TP250MBZ
Maksimum Güç (Watt)	249
Hücre Sayısı	60
Açık Devre Gerilimi V_{oc} (V)	38,8
Kısa Devre Akımı I_{sc} (A)	8,83
Maksimum Güç Voltajı (V)	30
Maksimum Güç Akımı (A)	8,3
V_{oc} için sıcaklık katsayısı (%/deg.C)	-0,33
I_{sc} için sıcaklık katsayısı (%/deg.C)	0,063805



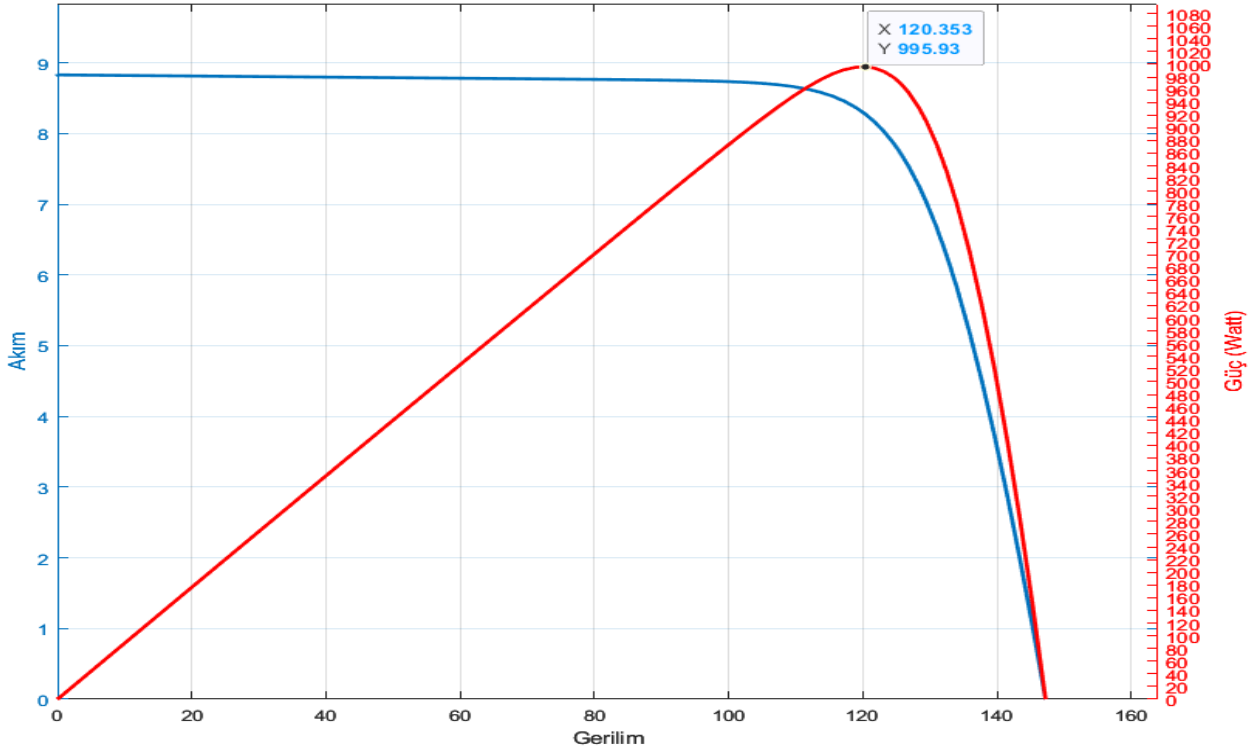
Şekil 3.5 FV modül karakteristik incelemesi için tasarlanan sistem modeli

Sistemde dört adet FV modül değişken ışınlam olmayan durumda ve iki farklı ışınlam durumundaki karakteristik eğrileri elde edilmiştir. Çizelge 3.3'te ışınlam durumları verilmiştir.

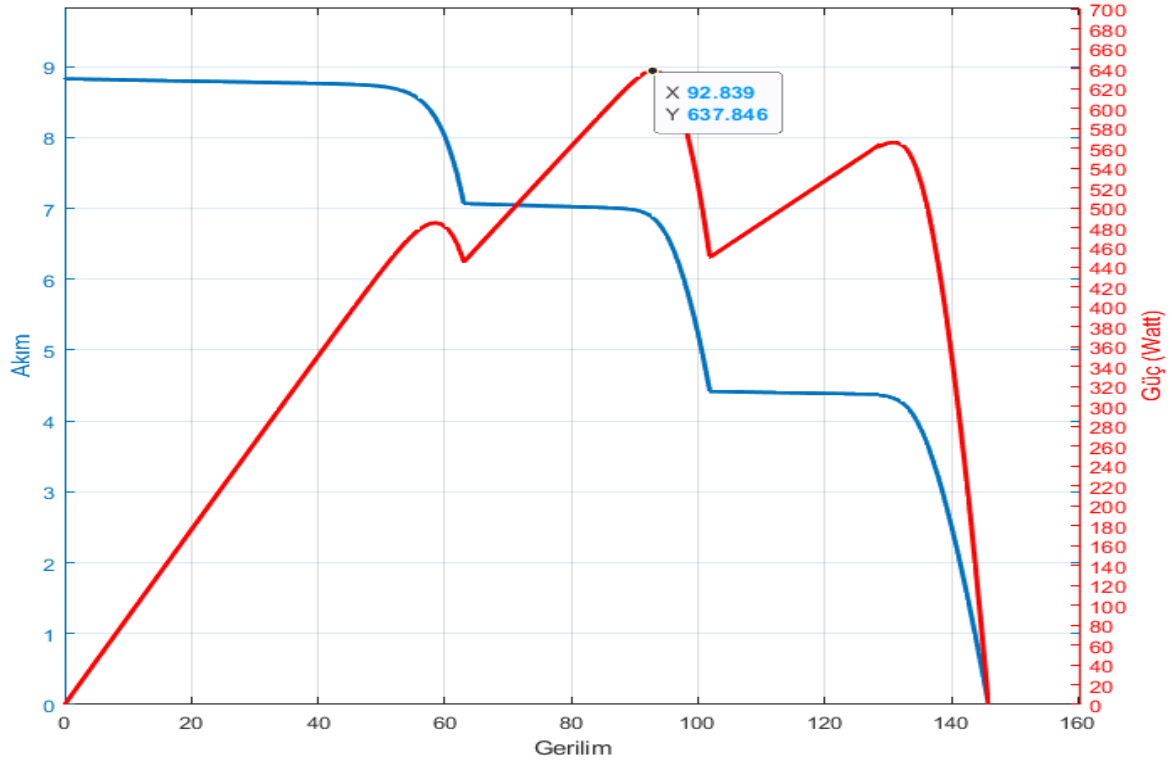
Çizelge 3.3 FV modüllere uygulanan ışınlam değerleri

	1. Durum	2. Durum	3. Durum
FV Modül	İşınım (W/m ²)	İşınım (W/m ²)	İşınım (W/m ²)
1. Modül	1000	500	400
2. Modül	1000	1000	800
3. Modül	1000	800	700
4. Modül	1000	1000	1000

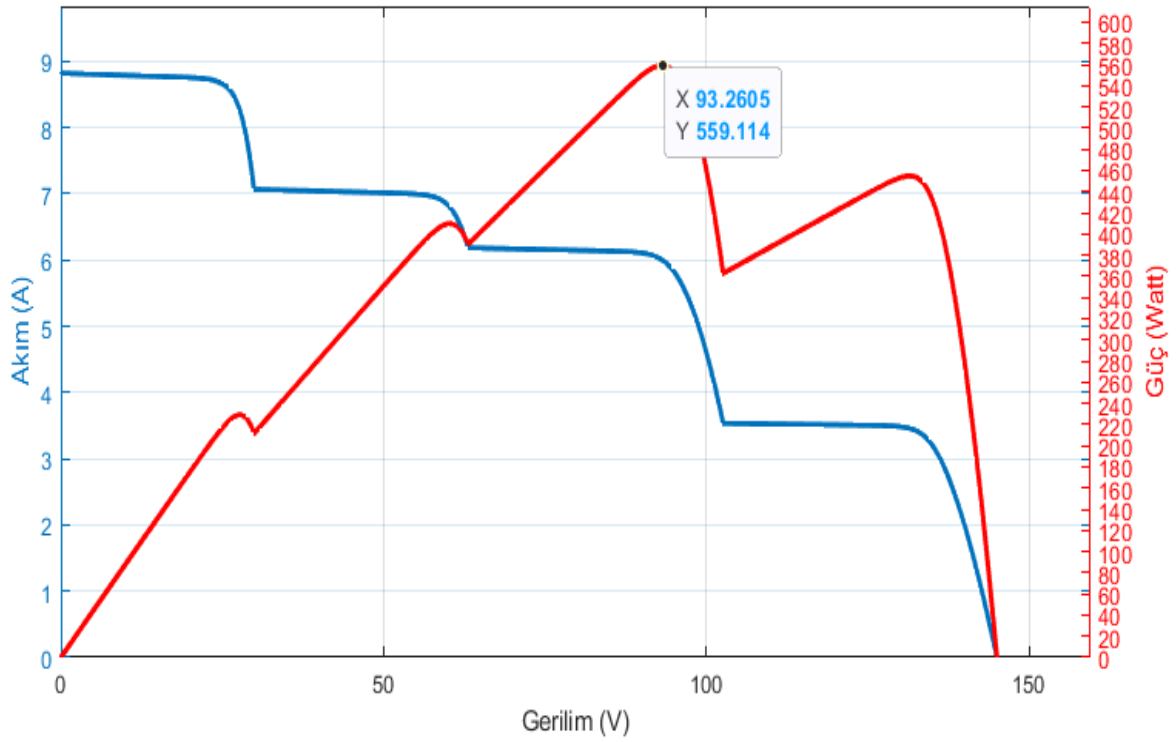
Sisteme sırası ile Çizelge 3.3’te bulunan ışınlm değerleri FV modüllere uygulanmıştır. Uygulan ışınlm değerlerine göre akım ve gerilim (V-I) eğrileri elde edilmiştir. 1. Durumda FV modüllere eşit ışınlm değeri uygulandığı için ve bu ışınlm değeri FV modülü maksimum üretimde çalıştırdığı, oluşan karakteristik eğri FV modüllerin hem global hem de lokal maksimum güç noktası olacaktır. şekil 3.6, şekil 3.7 ve şekil 3.8’de FV modüllerin akım ve gerilim (V-I) karakteristik eğrisi verilmiştir.



şekil 3.6 1. Durum için maksimum güç noktası



Şekil 3.7 2. Durum için maksimum güç noktası



Şekil 3.8 3. Durum için maksimum güç noktası



BÖLÜM 4

MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP ALGORİTMALARI

FV sistemlerdeki üretim verimliliği çevresel koşullara bağlı olmasından kaynaklı anlık olarak sürekli değişiklik göstermektedir. Gölgeleme, artan-azalan sıcaklık ve ışık şiddeti gibi birçok parametre üretim verimliliğini doğrudan etkilemektedir. Bu parametrelerden en az şekilde etkilenmek için MGNT sistemleri geliştirilmiştir. Maksimum güç noktası (MGN) modülün çevre koşulları ile değişen üretimin en üst noktası olarak bilinmektedir. 250W değerindeki bir modül maksimum olarak 250W üretir. Bu değer o modülün maksimum güç noktası olarak bilinir. Ancak bu değer 1000 W/m^2 ışıınım değerinde ürettiği değerdir. Işıınım değeri 500 W/m^2 olduğunda üretilen güç yarıya düşecek ve 125W olacaktır (Esrām & Chapman, 2007). Bu durumda bu değişimden minimum derecede etkilenmek için MGNT sistemleri inverter içerisinde kullanılıp aktif ışıınım değerinde maksimum üretimde kalması hedeflenmektedir. MGNT sürekli olarak FV modül üzerinden çekilen gücü izleyerek inverter çıkışına iletir. Bu durumda değişen sıcaklık ve ışıınımda modül voltaj ve gerilimini düzenleyerek optimum noktada üretim yapmasını sağlamaktadır (Faranda & Leva, 2008).

Günümüz şartlarında birçok farklı MGNT algoritmaları geliştirilmiştir. Algoritmalar genel olarak iki farklı gruba ayrılmaktadır. Bunlar meta-sezgisel ve klasik algoritmalar. Meta-sezgisel algoritmalar daha esnek, hızlı ve küresel çözümler bulurken klasik algoritmalar meta-sezgilere göre daha yavaş ve yerel çözümler sunmaktadır (Hassan et al. 2020). Çizelge 4.1’de algoritmaların avantaj, dezavantaj, çalışma hızları gibi farklı özelliklerinin karşılaştırılmaları verilmiştir.

Çizelge 4.1 Algoritma özelliklerinin karşılaştırılması

Algoritma	Çalışma Prensibi	Avantajları	Dezavantajları	Tepki Süresi	Hesaplama Karmaşıklığı	Verimlilik
Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)	Gerilimi küçük adımlarla değiştirerek güç takibi	Basit, düşük maliyetli, kolay uygulanır	Salınım yapabilir, ışınlıma yavaş uyum	Orta	Düşük	Orta-Yüksek
Güve Alevi (MFO)	Güvelerin ateşe yönelme davranışıyla küresel arama	Küresel optimumu bulur, hızlı	Salınım yapabilir, parametre ayarı önemli	Hızlı	Orta-Yüksek	Yüksek
Çekirge Optimizasyon (GOA)	Sürü hareketine dayalı optimizasyon	Geniş arama, yüksek doğruluk	Hesaplama maliyeti yüksek, yavaş olabilir	Orta	Yüksek	Yüksek
Yapay Arı Kolonisi (ABC)	Arıların nektar arama davranışını taklit eder	Global maksimumu yakalar, adaptif	Yavaş yakınsama, parametre ayarı zor	Hızlı	Orta-Yüksek	Yüksek

4.1 GÜVE ALEVİ ALGORİTMASI (MFO)

Güve Alevi Optimizasyonu doğadaki güvelerin yön bulma konusundaki yeteneğini taklit eden sezgisel optimizasyon algoritmasıdır. Bu optimizasyon 2015 yılında Seyedali Mirjalili tarafından geliştirilmiştir (Mirjalili, 2015). Phototaxis (ışığa yönelim) olarak adlandırılan bir tür biyolojik davranış ile geceleri ay ışığını kullanarak sabit bir açı ile uçuş yapan güveler, yapay ışık kaynaklarından gelen ışınlımları karıştırdıklarında doğal yönlendirme mekanizması sayesinde doğal ışık kaynağına doğru spiral hareketler çizerek yönlerini bulurlar. Bu davranışı matematiksel olarak modelleyerek karmaşık tipli problemlerin çözülmesinde kullanılmaktadır (Mirjalili, 2015).

Algoritmanın temel prensibi güvelerin spiral hareket fonksiyonuna dayanmaktadır. Güveler rastgele başlangıç konumunda çözüm uzayına yerleştirilir. Verilen (3.5) eşitliğinde N tane aday

çözüm var ise bunlar güve matriks (M) içerisinde tutulurlar. Alevler (3.6) eşitliğinde en iyi çözümü temsil ederler ve F matriks ile temsil edilirler.

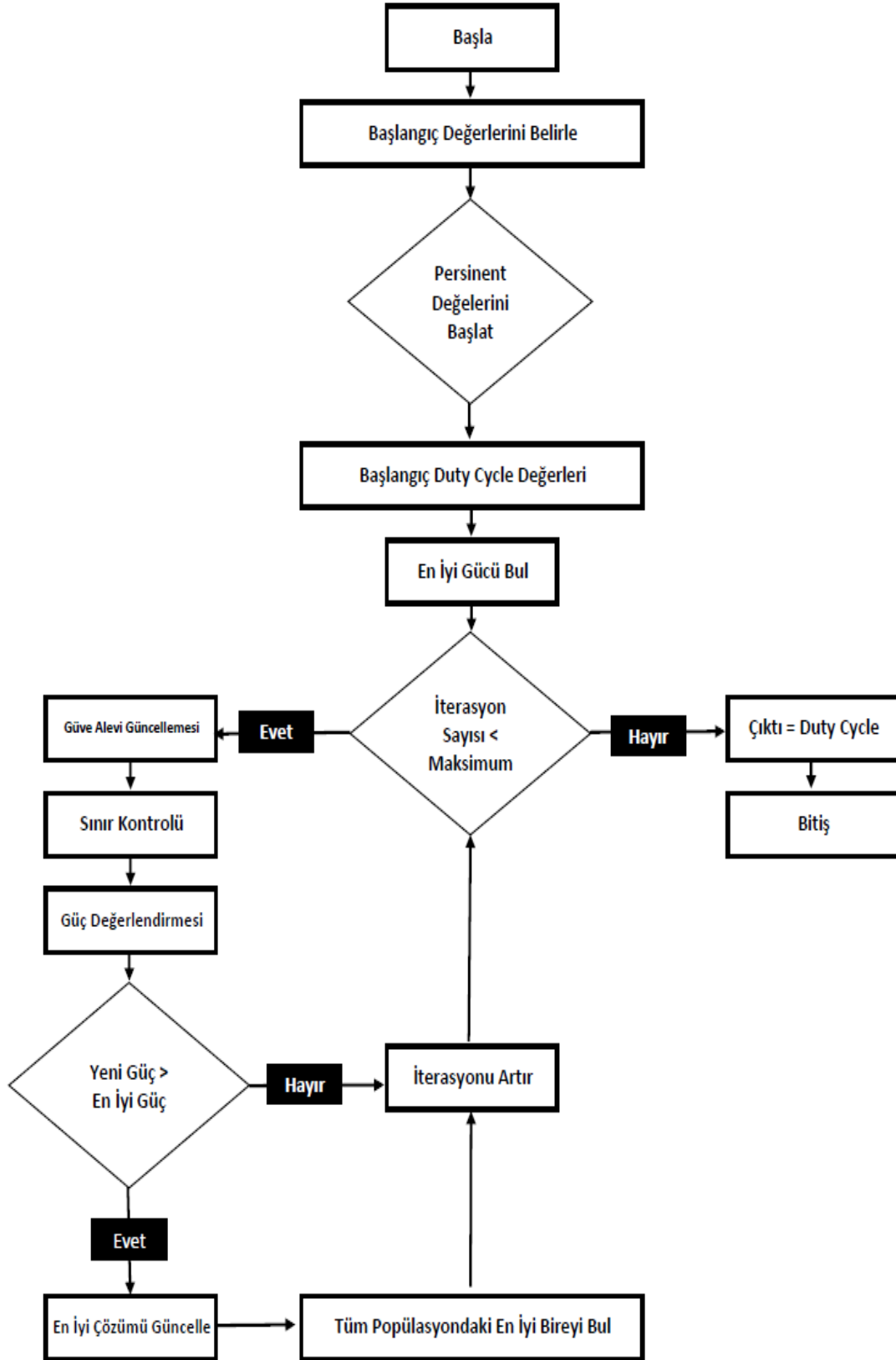
$$M = \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_N \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

$$F = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_N \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Başlangıç noktasında güveler aynı konumda başlarlar ancak iterasyon seviyesi yükseldikçe en iyi çözüm olarak ayrılırlar. Eşitlik (3.7)'de spiral hareketin matematiksel olarak modellenmiş hali verilmiştir. Bu modelde M_i^{t+1} (t+1). İterasyondaki güvenin yeni konumunu, D_i güve ile alev arasında bulunan Öklid mesafesini, b spiral hareketin ölçek parametresini, F ilgili alevin bulunduğu konumu, t ise 1 ile -1 arasındaki herhangi bir sayıyı ifade etmektedir.

$$M_i^{t+1} = D_i \cdot e^{[b \cdot t]} \cdot \cos(2\pi t) + F_i \quad (3.7)$$

Güveler (3.7)'de verilen eşitsizlik ile spiral hareket yaparak alevlere doğru yörünge çizerler. Ancak yapılan her iterasyonda en iyi çözümlere ulaştığında güveler doğrusal olarak sabit bir noktaya yönelmez, daha iyi çözüm aramak için dinamik keşif yaparlar. Şekil 4.1'de MFO algoritmasının iş akış diyagramı verilmiştir (Mirjalili, 2015).



Şekil 4.1 Güve Alevi Optimizasyon algoritması iş akış diyagramı

4.2 YAPAY ARI KOLONİSİ OPTİMİZASYONU (ABC)

Yapay Arı Kolonisi arıların besin bulma davranışlarından esinlenerek geliştirilen sürü zekâ tabanlı algoritma çeşididir. Optimizasyon Derviş Karaboğa tarafından 2005 yılında geliştirilmiştir (Karaboğa & Bahriye , 2007). Geliştirilen bu algoritma enerji sistemleri ve mühendislik alanında birçok problemi çözme konusunda etkili sonuçlar göstermektedir. Algoritmada her çözüm doğadaki bir yiyeceğe benzetilir ve her benzetim üzerinde çalışan farklı tip arılar bulunmaktadır. Üç tip temel arı tipi bulunmaktadır.

Çalışkan arılar (employed bees) üzerine atanmış olan çözüm üzerinde çalışarak alternatif çözümler üretmeye çalışmaktadırlar. Bu durumda yeni çözüm mevcut çözümden iyi ise, arılar yeni çözümü güncelleme görevine geçmektedirler. Gözlemci arılar (onlooker bees), çalışkan arılar tarafından üretilen çözümleri analiz ederler ve analiz sonucuna göre hangi çözüm daha iyi ise o çözüm çevresinde yeni çözümler üretmeye çalışmaktadırlar. Bu süre zarfında arılar, olasılığı yüksek olan çözümü tercih etmektedirler. Eğer ki tercih edilen çözüm belli bir süre geliştirilmez ise o çözüm terk edilir ve izci arılar devreye girmektedir. İzci arılar (scout bees) çözüm uzayında rastgele yeni noktalar belirleyerek çözüm çeşitliliğini artırır. Bu sayede algoritma yerel minimum noktasında çalışması engellenmiş olmaktadır.

ABC algoritması döngüsel olarak çalışan, mevcut çözüm ile rastgele seçilen başka bir çözüm ile arasındaki farkı analiz ederek en iyi çözüme ulaşmayı hedefleyen bir algoritmadır. Bu sayede hem keşif hem de iyileştirme süreçleri dengeli bir şekilde biçimlenmiş olmaktadır.

Başlangıçta N adet çözüm uzayı rastgele oluşturulmaktadır. Her çözüm, D boyutlu vektördür. Eşitlik (3.8)'de çözüm uzay vektörü, eşitlik (3.9)'da ise rastgele üretilen bileşen vektörü verilmiştir (Kumar et al. 2017).

$$X_i = [X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iD}], i = 1, 2, \dots, N \quad (3.8)$$

$$X_{ij} = X_j^{min} + rand(0,1) \cdot (X_j^{max} - X_j^{min}) \quad (3.9)$$

Çalışkan arılar X_i 'nin bir komşu vektörünü üretirler.

$$V_{ij} = X_{ij} + \phi_{ij}(X_{ij} - X_{kj}) \quad (4)$$

Bu durumda;

$k \in \{1, 2, \dots, N\}$, ancak $k \neq i$

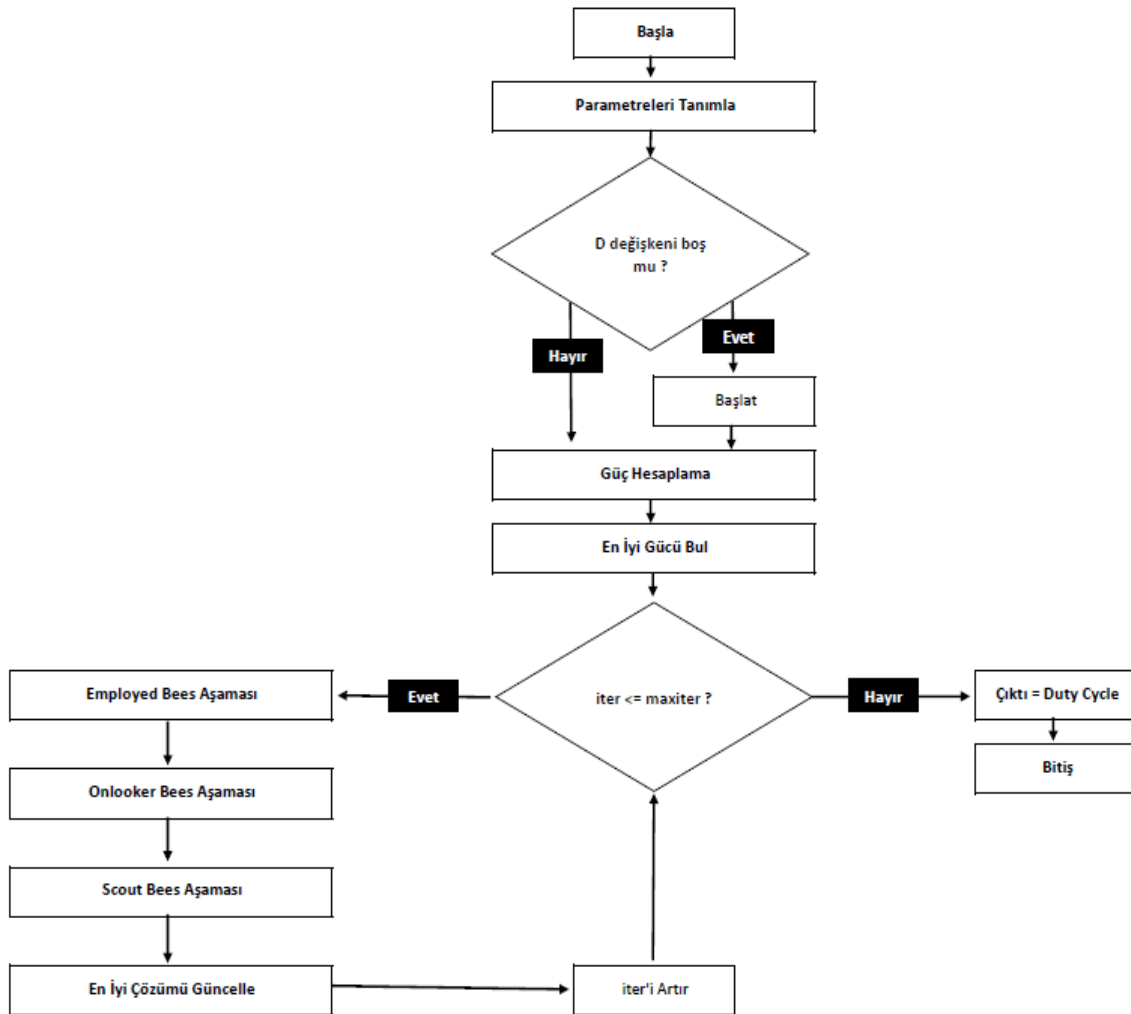
$j \in \{1, 2, \dots, D\}$, $\phi_{ij} \in [-1, 1]$ aralığında rastgele bir sayı olmaktadır.

Komşu olarak üretilen V_i 'nin uygunluğu kontrol edilir. Eğer ki bulunan V_i , X_i 'den iyi ise yeni X_i , V_i olarak güncellenmektedir.

Gözlemci arılar, çalışan arıların çözümlerini olasılıkla seçmektedirler.

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{j=1}^N fit_j} \quad (4.1)$$

Seçilen çözüm belli sayıda iterasyon boyunca geliştirilmezse (bu durum genelde limite ulaşıldığında gerçekleşir) çözüm terk edilir ve yerine eşitlik (4.1)'de verilen çözüm vektörü ile yeni çözüm üretilmektedir. Şekil 4.2'de Yapay Arı Kolonisi algoritmasının iş akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.2 Yapay Arı Koloni Algoritması iş akış diyagramı

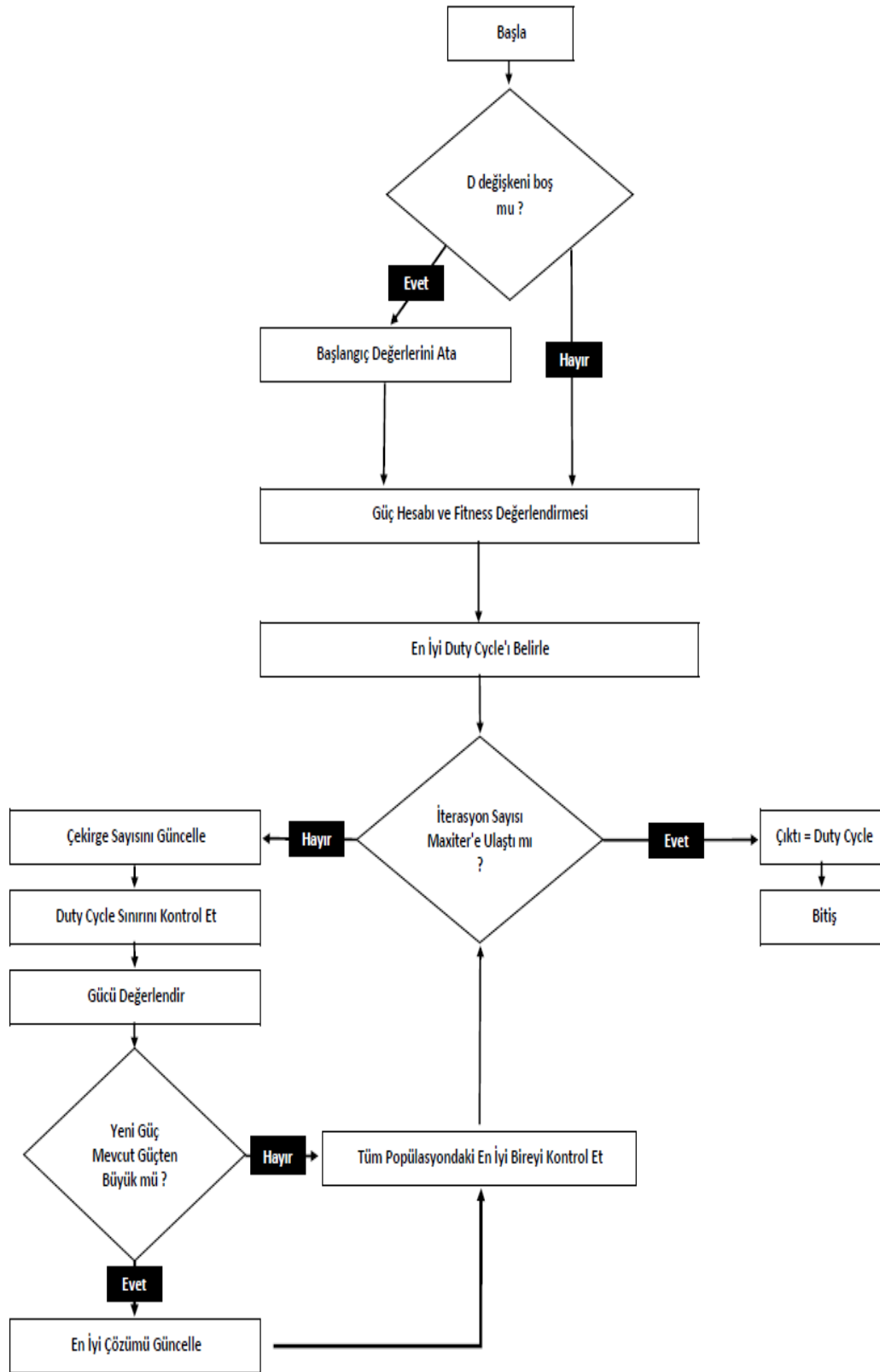
4.3 ÇEKİRGE OPTİMİZASYONU (GOA)

Çekirge optimizasyon algoritması çekirgelerin sürü halinde davranışlarını taklit eden sezgisel bir optimizasyon algoritmasıdır. Bu optimizasyonda çekirgeler yiyecek arama yöneliminde sürü halinde hakaret ederken birbirleri olan uzaklığa göre çekilir ya da yaklaşılırlar. Algoritmanın başlangıç aşamasında, belirli bir popülasyon oluşturularak, her birey yani çekirge için rastgele fotovoltaik modül gerilim (V) ve akım (I) değerleri atanır. Bu rastgele atanan akım ve gerilim değerleri, algoritmadaki her bir çekirgenin başlangıç konumunu temsil etmektedir. Yani sistemdeki her çekirge, potansiyel bir çözümün temsilcisi olup, FV modülden elde edilen güç değeri bu çözümlerin kalitesini belirler. Her bir çekirgenin bulunduğu konuma karşılık gelen güç değeri hesaplanarak bir değerlendirme sürecinden geçirilir. Örneğin, herhangi bir çekirge 100 W, bir diğeri 200 W veya başka biri 300 W gibi farklı güç değerleri üretebilir. Bu güç değerleri, çekirgenin mevcut konumunun etkinliğini ve çözümün sistem için ne derece uygun olduğunu ifade eder. Her çekirge bu değerlere göre hem bireysel olarak hem de popülasyonun genel durumu göz önünde bulundurularak konumunu günceller. Güncelleme sürecinde çekirgeler, hem birbirlerinden belirli bir mesafede kalmaya çalışarak çarpışmayı önlerler hem de daha iyi çözüme ulaşmak amacıyla en iyi çekirgenin bulunduğu konuma doğru yönelirler. Bu yönelim, doğadaki çekirgelerin yiyecek arama davranışları ile benzeşmektedir. Eşitsizlik (4.2)'de bu durumun matematiksel modeli verilmiştir (Saremi et al. 2015)

$$X_i = S_i + G + A \quad (4.2)$$

Algoritma boyunca çekirgeler, birbirlerine göre mesafelerini koruyarak, global en iyi çözüme ulaşana kadar hareketlerini sürdürürler. Optimum güç noktası, yani sistemin üretebileceği maksimum güç değeri bulunduğu anda ise, tüm çekirgeler bu konuma yakınsar ve hareketlerini sonlandırırlar. Böylece, sistemin en verimli çalıştığı nokta belirlenmiş olur. Bu davranış hem koordineli bir optimizasyon sürecini hem de çözüme toplu bir yakınsamayı simgeler.

Şekil 4.3'te, Çekirge Optimizasyon Algoritmasının FV sistemlerde MGNT amacıyla kullanımına yönelik iş akış diyagramı sunulmuştur. Bu diyagram, algoritmanın temel adımlarını ve çekirgelerin karar mekanizmalarını görsel olarak ifade ederek, tasarım sürecinin daha anlaşılır olmasına katkı sağlamaktadır.



Şekil 4.3 Çekirge Optimizasyonu iş akış diyagramı

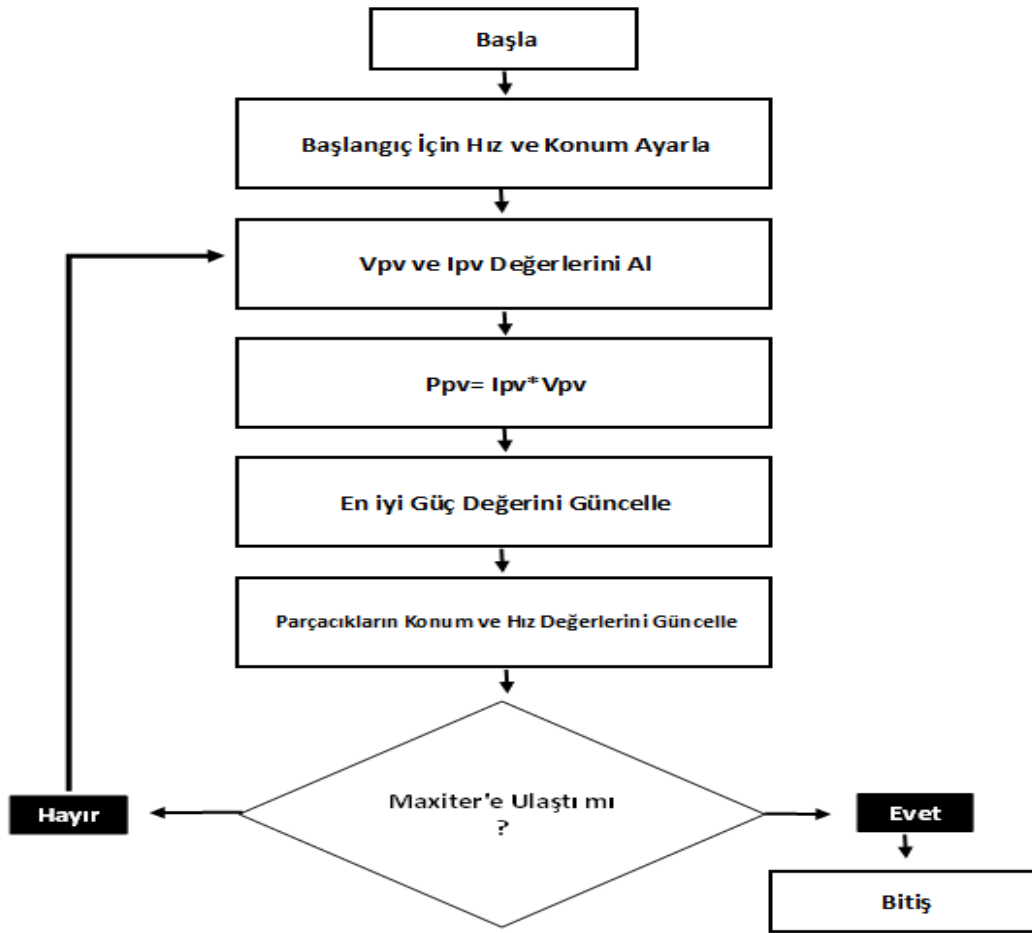
4.4 PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU (PSO)

Güneş enerjili sistemlerde maksimum güç noktasını takip etmek amacıyla geliştirilen Parçacık Sürü Optimizasyon algoritması, basit yapısı ve kolay uygulanabilirliği sayesinde literatürde en yaygın kullanılan yöntemlerden biridir. Bu algoritmanın temel prensibi, PV modül tarafından üretilen her bir güç ayrı bir parçacığı ifade etmektedir. Bu parçacıklar algoritma başladıktan itibaren sürekli olarak kendi konumunu ve hızını güncellemektedir. Bu tekrarlamalar algoritmada iki eşitsizlik ile sağlanmaktadır. Bu eşitsizlikler eşitsizlik 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.

$$X_i(k + 1) = X_i(k) + V_i(k + 1) \quad (4.3)$$

$$V_i(k + 1) = w \cdot V_i(k) + c_1 \cdot r_1 [P_{best} - X_i(k)] + c_2 \cdot r_2 [G_{best} - X_i(k)] \quad (4.4)$$

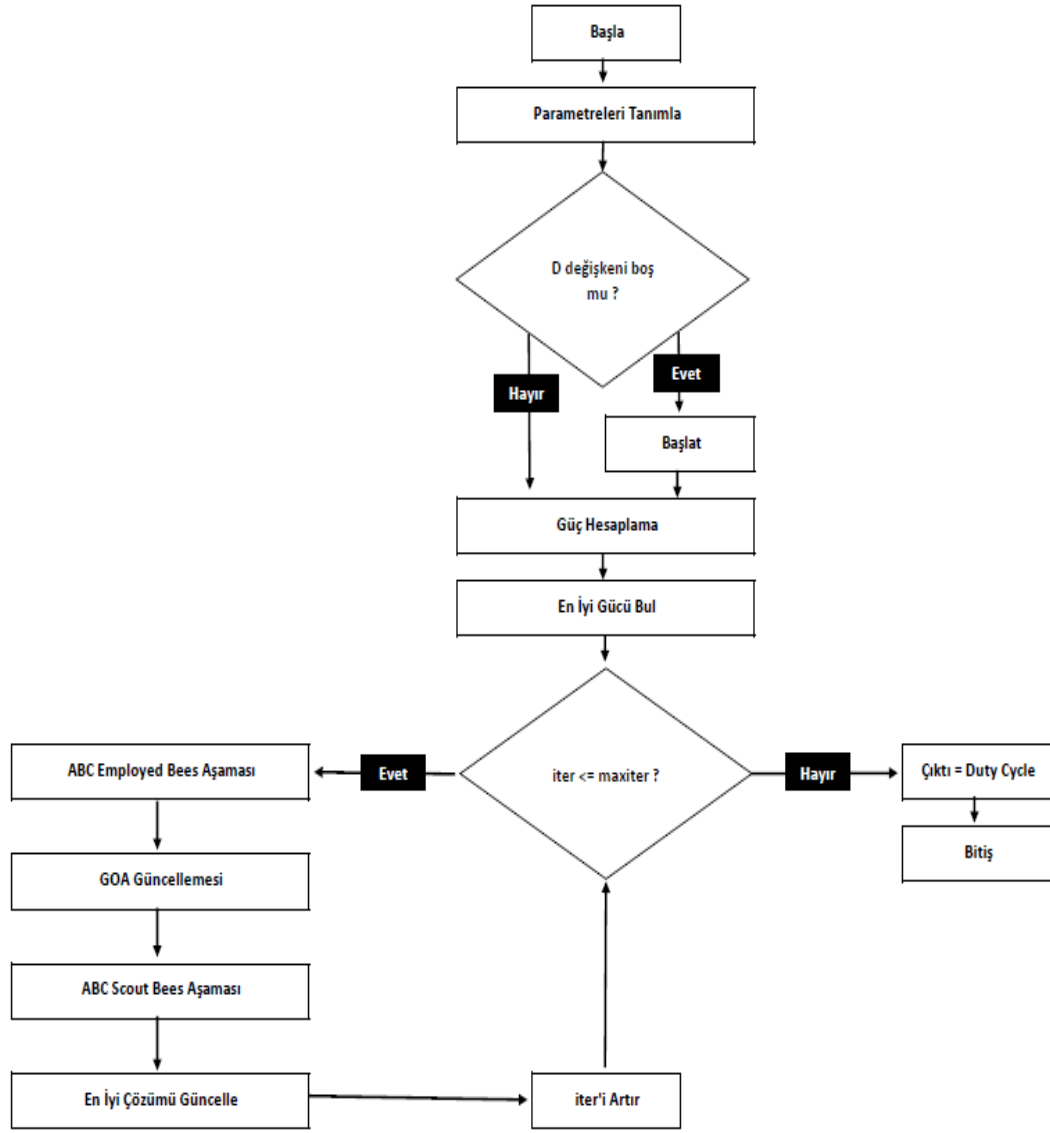
Verilen iki eşitsizlikte parçacıkların hız ve konum güncellemesinin matematiksel modeli verilmiştir. Burada i parçacık sayısını, w atalet sayısını, k yenileme sayısını ve r_1, r_2 değerleri duty cycle $[0,1]$ değerleri arasında rastgele atanmış sayıları, c_1, c_2 ise hızlandırma katsayılarını temsil etmektedir (Femia et al. 2005). Algoritmada parçacık pozisyonları güncellendikten sonra o parçacığın çıkış gücü $X_i(k + 1)$ ile ölçülmektedir. Eğer bu değer mevcut kişisel değerden (P_{best})'den yüksek ise parçacığın o konumu güncellenir ve en iyi değeri P_{best} olarak güncellenir. Eğer ki bu parçacığın değeri global değerden yüksek ise bu değer yeni G_{best} olarak değiştirilmektedir. Bu durumda parçacıkların her güncellenmesinde global değerde güncellenmiş olmaktadır (Verma et al. 2020).



Şekil 4.4 Parçacık Sürü Optimizasyonu iş akış diyagramı

4.5 ÇEKİRGE VE YAPAY ARI HİBRİT OPTİMİZASYONU (GOABC)

Hibrit şekilde tasarımı yapılan bu algorithmada yapay arı algoritmasında bulunan çalışan arılar tarafından üretilen çözümler izci arılara sunulması gerekirken çekirge algoritmasını girdi olarak sunulur. Bu durumda çalışan arılar ürettiği çözümü çekirgeler optimum düzeye çıkartmak için çalışırlar. Yapay arı tarafından üretilen çözüm çekirge optimizasyonuna girdi olarak sunulur. Daha sonra çekirgeler birbirlerine olan mesafeye göre tanımlanan itme-çekme kuvvetlerine göre hareket edip en iyi güç çıktısı etrafından toplanırlar. En iyi gücü bulan çekirgelerin konumları gözlemci arılar tarafından analiz edilip daha iyi çıktı vermek için gözlemci arılar çalışma içerisine girerler. Eğer ki yeni üretilen çıktı önceki çıktıdan daha iyi ise izci arılar tarafından o bölgede yoğunlaşma gerçekleşir ve çıktı olarak son konumda bulunan izci arıların konumları verilmektedir. Şekil 4.5'te hibrit algoritmanın iş akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.5 Çekirge ve Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu iş akış diyagramı

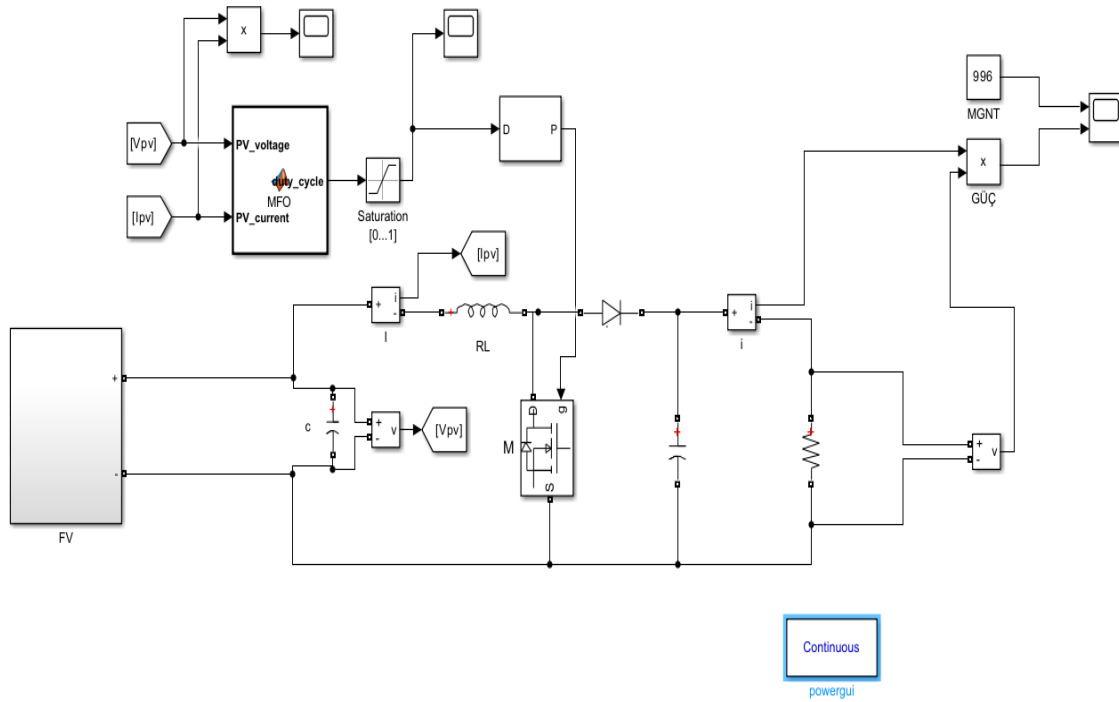


BÖLÜM 5

SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

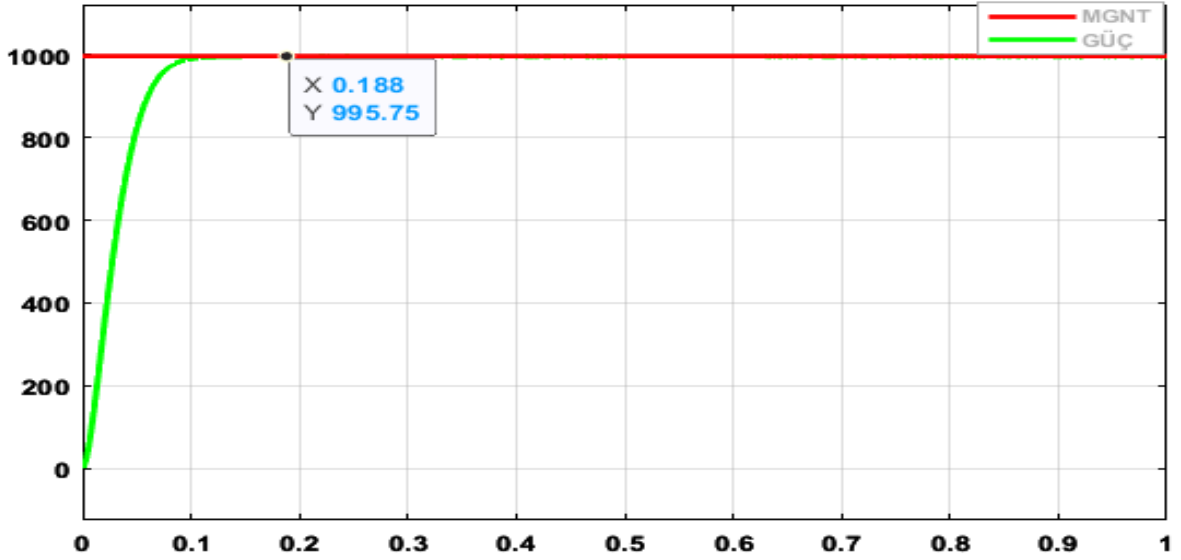
5.1 GÜVE ALEVİ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Şekil 5.1’de tasarlanan sistem modelinde ilk aşamada Güve Alevi algoritması kullanılarak MGNT gerçekleştirilmiştir. Simülasyon çalışmaları, Çizelge 1.1’de teknik özellikleri verilen TB250MBZ FV modülünden dört adetinin seri bağlantısıyla oluşturulan yapıda gerçekleştirilmiştir.



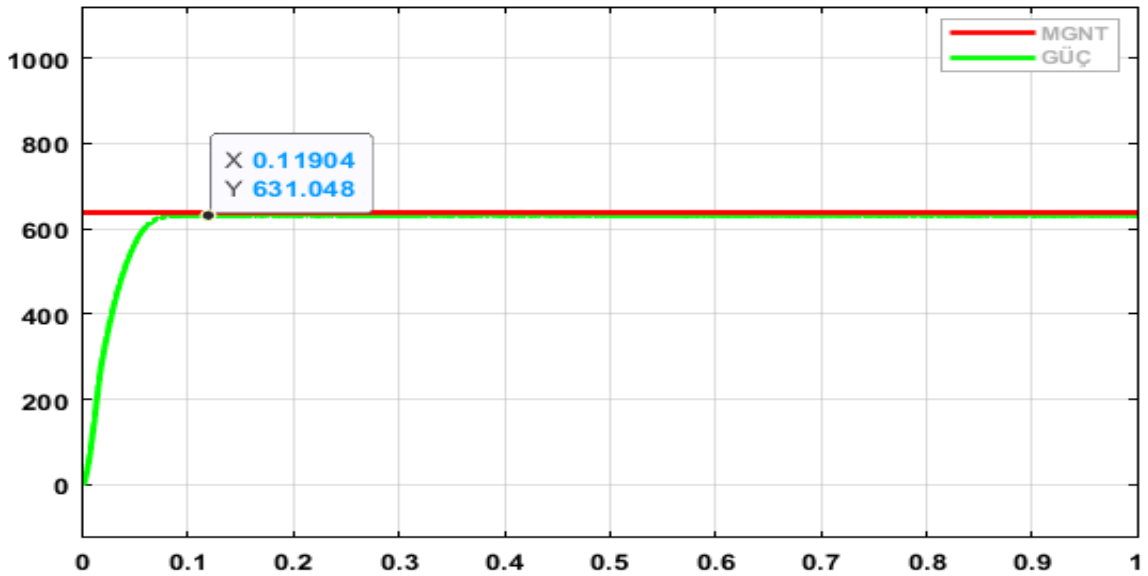
Şekil 5.1 Güve Alevi Optimizasyonu ile MGNT

Sistemde dört adet FV modül seri bağlanarak akım ve gerilim değerlerini MFO fonksiyonuna gönderilmektedir. Gönderilen akım ve gerilim değerlerine göre algoritma maksimum güç noktasına denk gelen duty cycle değerini üretmektedir. Üretilen bu değer mosfet anahtarını kontrol ederek DA-DA dönüştürücünün çıkış gerilimi artırmaktadır. MFO ile Çizelge 3.3’te verilen üç farklı durum sırasıyla sisteme uygulanmıştır. Şekil 5.2’de ışıınım değerleri 1. Işıınım durumunda gölgelenme olmayan ışıınım değerleri FV modüllere uygulanmıştır.



Şekil 5.2 Gölgeleme olmayan durumda güç-zaman grafiği

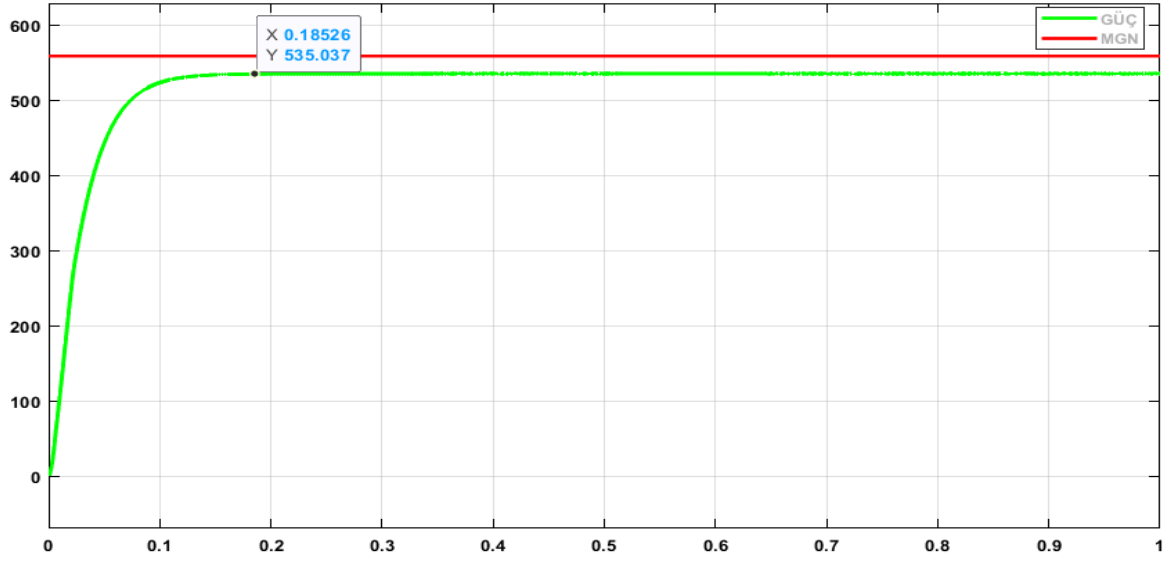
Şekil 5.2 incelendiğinde maksimum güç üretim noktası 995,750 W iken Şekil 3.6'de bulunan görsel de maksimum çıkış gücü 995,93 W değerinde görülmektedir. Algoritma 0,18 saniyede global maksimum güç noktası ulaşmış olup kararlılığını sürdürmüştür. Üretilen bu güç bütün sistemin global maksimum güç noktasıdır. Çünkü sistemde gölge durumu bulunmamaktadır. Sistem verimi incelendiğinde %99,99 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.3 incelendiğinde Çizelge 3.3'te bulunan 2. ışınım durumundaki ışınım değerleri FV modüllere uygulanmıştır.



Şekil 5.3 2. Işınım durumu için güç-zaman grafiği

Şekil 5.3 incelendiğinde maksimum güç üretim noktası 631,048 W iken Şekil 3.7’de bulunan görsel de 637,84 W değerinde görülmektedir. Algoritma 0,12 saniyede global maksimum güç noktası ulaşmış olup kararlılığını sürdürmüştür. Sistem verimi incelendiğinde %98,93 olarak hesaplanmıştır.

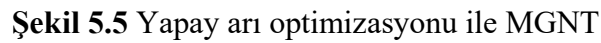
Şekil 5.4 incelendiğinde Çizelge 3.3’te bulunan 3. durumdaki ışıınım değerleri FV modüllere uygulanmıştır.



Şekil 5.4 3. Işınım durumu için güç-zaman grafiği

Şekil 5.4 incelendiğinde maksimum güç üretim noktası 535,037 W iken Şekil 3.8’de bulunan görsel de 559,11 W değerinde görülmektedir. Algoritma 0,18 saniyede global maksimum güç noktası ulaşmış olup kararlılığını sürdürmüştür. Sistem verimi incelendiğinde %95,69 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.5’ de Yapay Arı Kolonisi algoritması ile MGNT yapılmıştır. Çizelge 3.3’te verilen üç farklı durum sırasıyla sisteme uygulanmış ve simülasyon sonuçları alınmıştır.



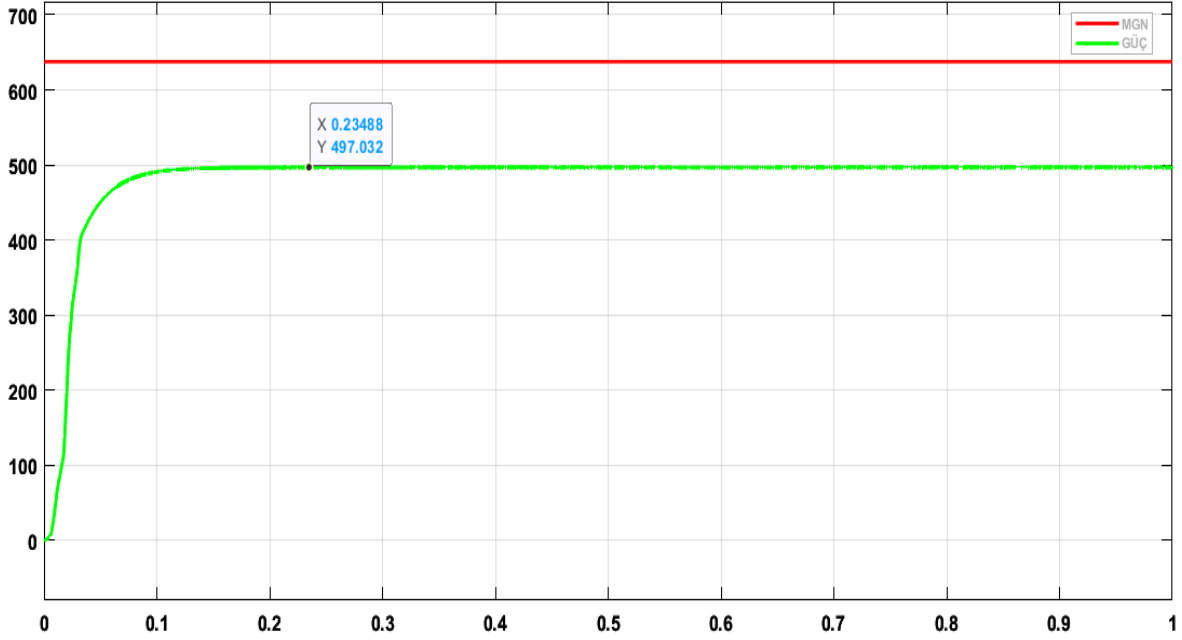
The graph displays two data series over a time interval from 0 to 1. The red line, labeled 'MGN', is a constant horizontal line at the value 1000. The green line, labeled 'GÜÇ', starts at (0,0), rises steeply, and reaches a plateau at Y=716.971 at X=0.05952. A legend in the top right corner identifies the lines, and a data point callout is present on the green line.

X	MGN	GÜÇ
0.05952	1000	716.971
1.0	1000	716.971

46

Şekil 5.6 incelendiğinde maksimum güç üretim noktası 716,971 W iken Şekil 3.6’da bulunan görsel de 995,93 W değerinde görülmektedir. Algoritma 0,06 saniyede global maksimum güç noktası ulaşmış olup kararlılığını sürdürmüştür. Sistem verimi incelendiğinde %71,99 olarak hesaplanmıştır.

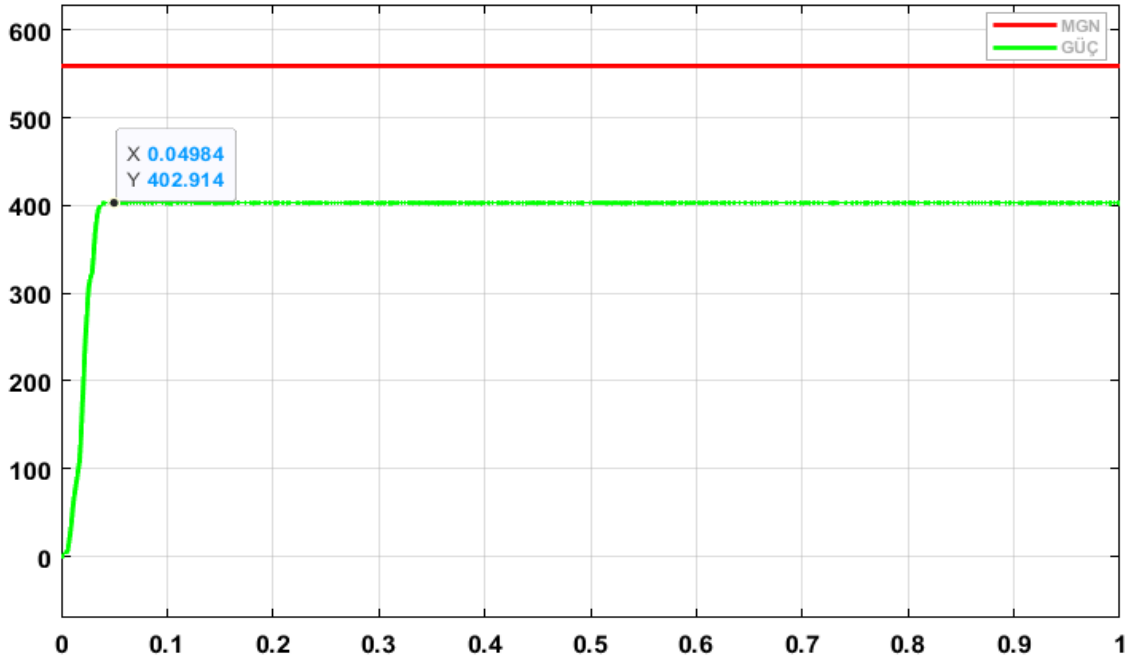
Şekil 5.7 incelendiğinde Çizelge 3.3’te bulunan 2. ışıınım durumundaki ışıınım değerleri FV modüllere uygulanmıştır.



Şekil 5.7 2. Işıınım durumu için güç-zaman grafiği

Şekil 5.7 incelendiğinde maksimum güç üretim noktası 497.032 W iken Şekil 3.7’de bulunan görsel de 637,84 W değerinde görülmektedir. Algoritma 0,23 saniyede global maksimum güç noktası ulaşmış olup kararlılığını sürdürmüştür. Sistem verimi incelendiğinde %77,92 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.8 incelendiğinde Çizelge 3.3’te bulunan 3. durumdaki ışıınım değerleri FV modüllere uygulanmıştır.

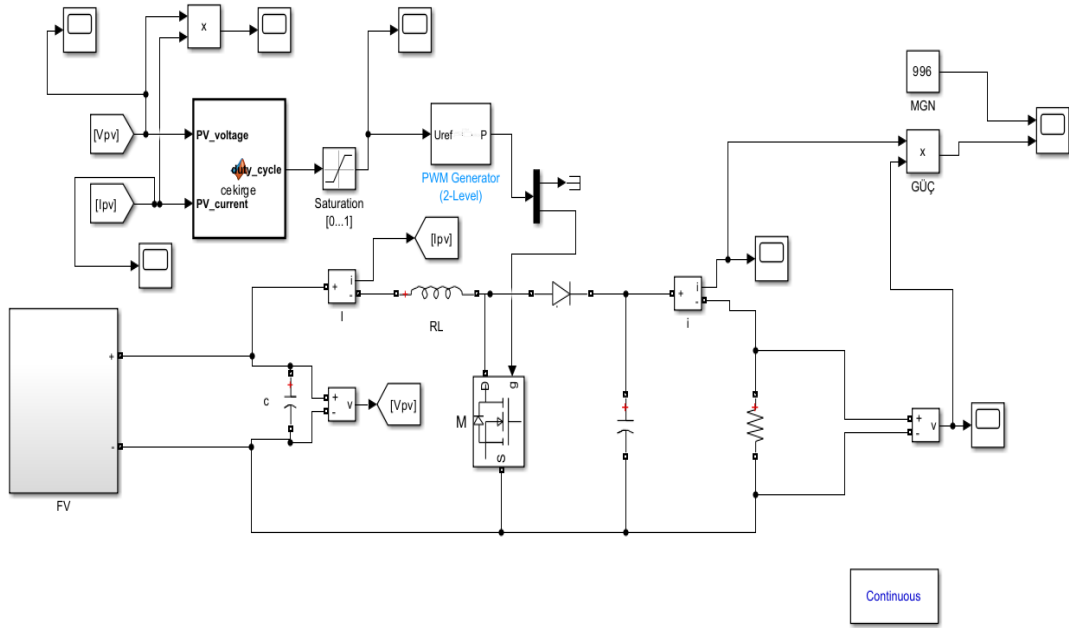


Şekil 5.8 3. Işınım durumu için güç-zaman grafiği

Şekil 5.8 incelendiğinde maksimum güç üretim noktası 402,914 W iken Şekil 3.8’de bulunan görsel de 559,11 W değerinde görülmektedir. Algoritma 0,05 saniyede global maksimum güç noktası ulaşmış olup kararlılığını sürdürmüştür. Sistem verimi incelendiğinde %72,06 olarak hesaplanmıştır.

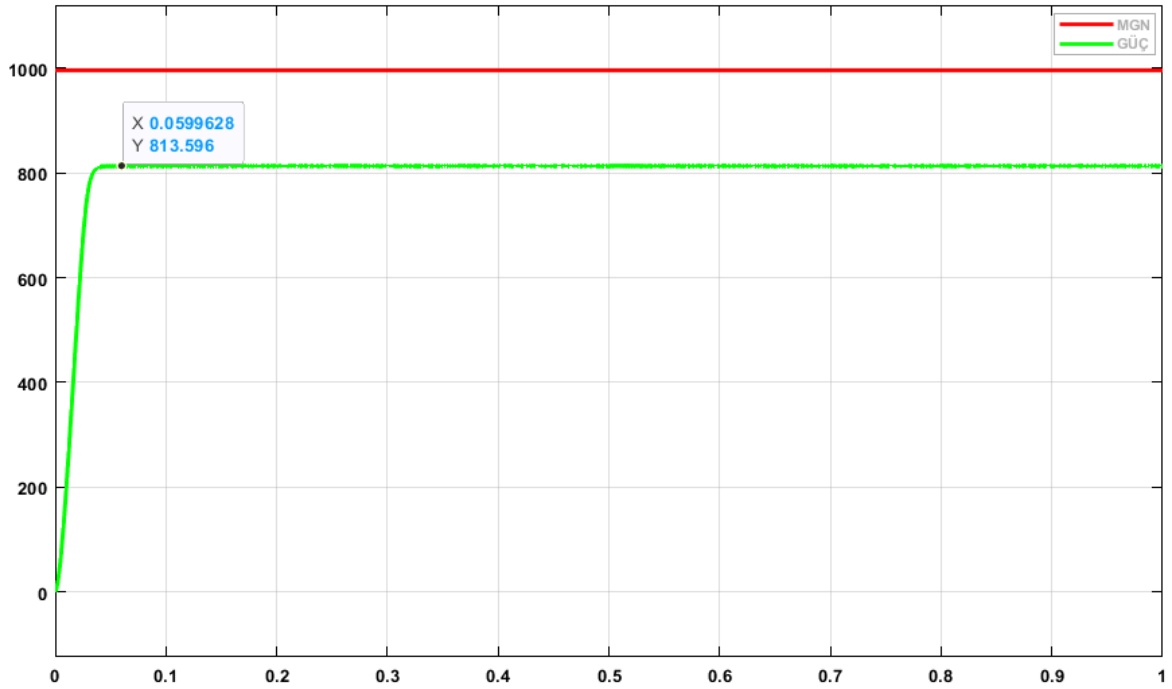
5.3 ÇEKİRGE OPTİMİZASYON ALGORİTMASI SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Şekil 5.9’de Çekirge Optimizasyon algoritması ile MGNT yapılmıştır. Çizelge 3.3’te verilen üç farklı durum sırasıyla sisteme uygulanmış ve simülasyon sonuçları alınmıştır. Güve alevi ve yapar arı algoritmalarından farklı olarak çekirge algoritma devresinde 2 level PWM generator kullanılmıştır. Bunun temel sebebi çekirge algoritmasının çalışma prensibinde sürekli olarak değerler arasında yüksek çözünürlükte optimizasyon aramasından kaynaklıdır. Bu sebepten ötürü optimizasyon çıkışı iki farklı duty cycle çıkışı alınıp mosfete en yüksek duty cycle oranı ile açma-kapama görevi yerine getirilmektedir.



Şekil 5.9 Çekirge optimizasyonu ile MGNT

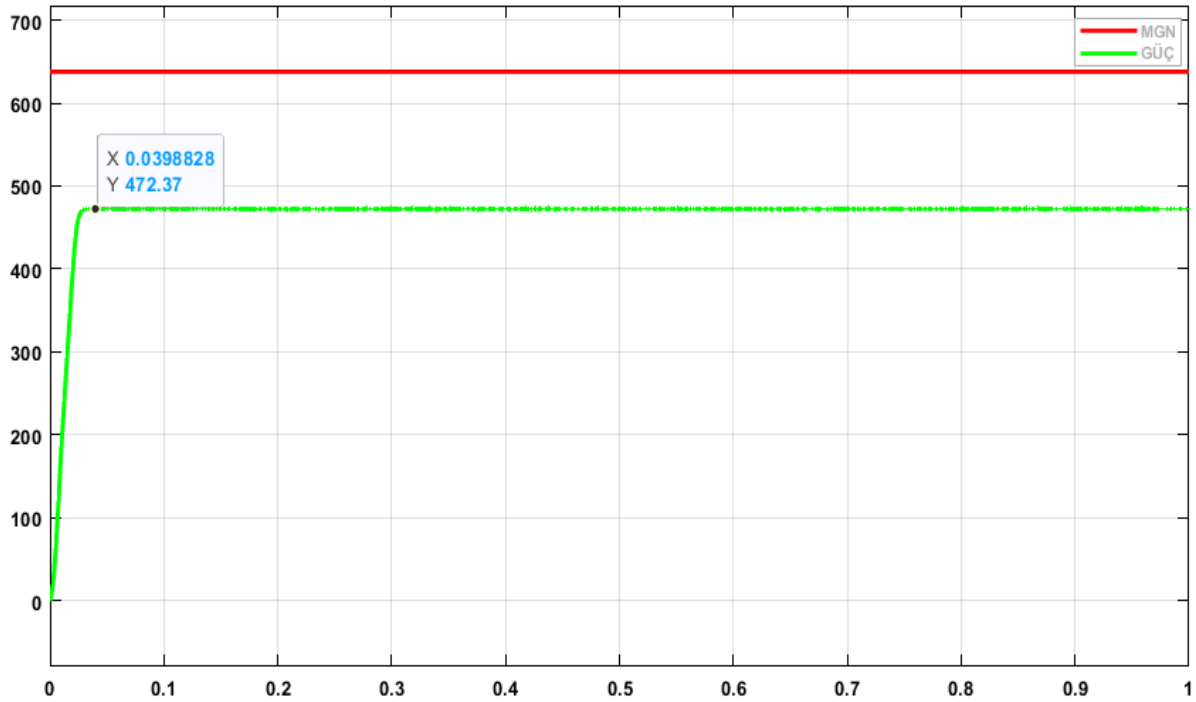
Şekil 5.10'da Çizelge 3.3'te 1. durumda bulunan gölgelenme olayı olmadığı ışıyınım değerleri uygulanmıştır.



Şekil 5.10 Gölgeleme olmayan durumda güç-zaman grafiği

Şekil 5.10 incelendiğinde maksimum güç üretim noktası 813,596 W iken Şekil 3.6’da bulunan görsel de maksimum çıkış gücü 995,93 W değerinde görülmektedir. Algoritma 0,06 saniyede global maksimum güç noktası ulaşmış olup kararlılığını sürdürmüştür. Üretilen bu güç bütün sistemin global maksimum güç noktasıdır. Çünkü sistemde gölge durumu bulunmamaktadır. Sistem verimi incelendiğinde %81,69 olarak hesaplanmıştır.

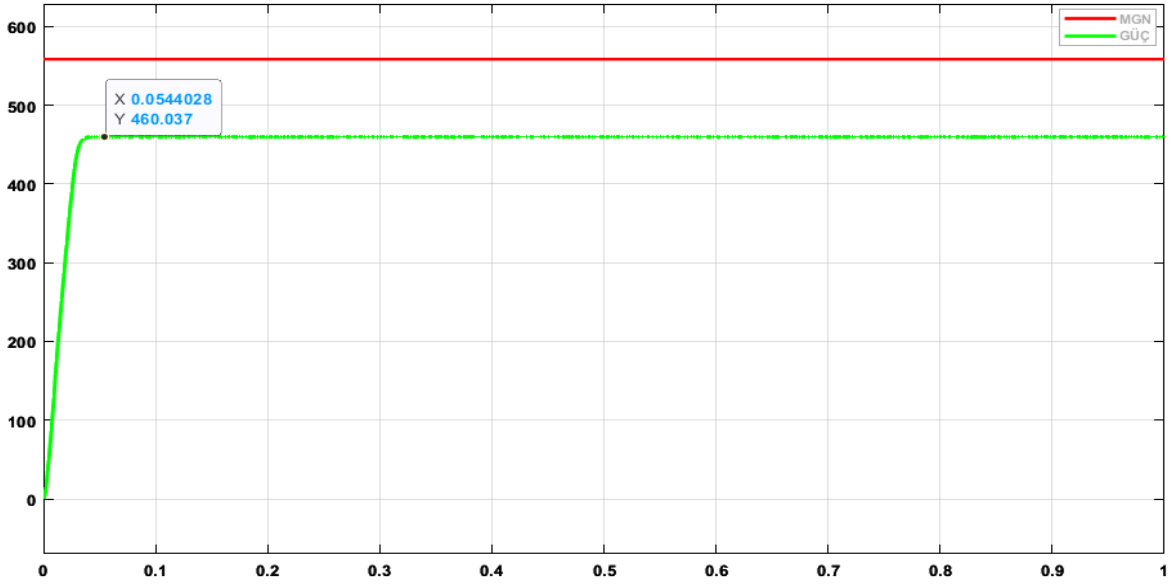
Şekil 5.11 incelendiğinde Çizelge 3.3’te bulunan 2. ışınlam durumundaki ışınlam değerleri FV modüllere uygulanmıştır.



Şekil 5.11 2. Işınlam durumu için güç-zaman grafiği

Şekil 5.11 incelendiğinde maksimum güç üretim noktası 472.370 W iken Şekil 3.7’de bulunan görsel de 637,84 W değerinde görülmektedir. Algoritma 0,04 saniyede global maksimum güç noktası ulaşmış olup kararlılığını sürdürmüştür. Sistem verimi incelendiğinde %74,05 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.12 incelendiğinde Çizelge 3.3’te bulunan 3. durumdaki ışınlam değerleri FV modüllere uygulanmıştır.

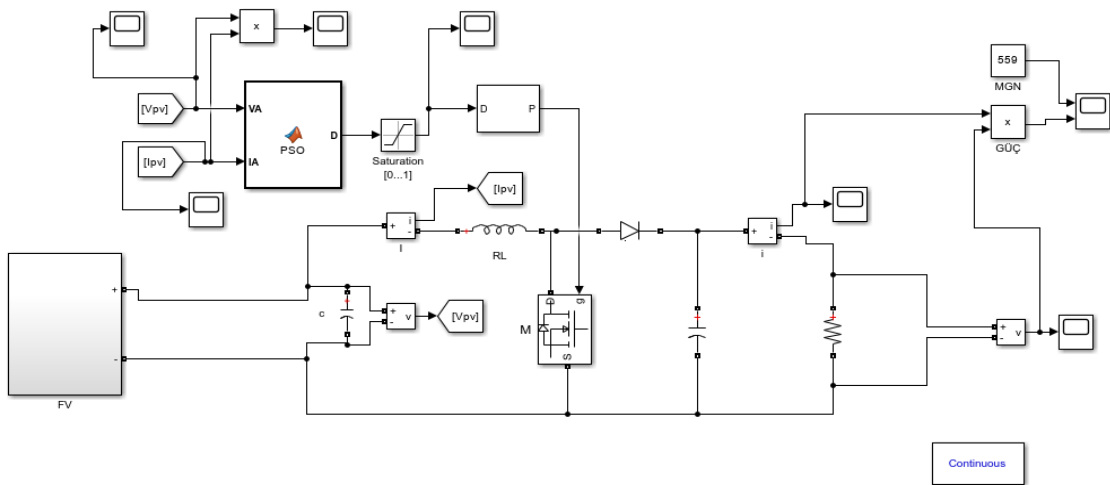


Şekil 5.12 3. Işınım durumu için güç-zaman grafiği

Şekil 5.12 incelendiğinde maksimum güç üretim noktası 460,037 W iken Şekil 3.8’de bulunan görsel de 559,11 W değerinde görülmektedir. Algoritma 0,05 saniyede global maksimum güç noktası ulaşmış olup kararlılığını sürdürmüştür. Sistem verimi incelendiğinde %82,28 olarak hesaplanmıştır.

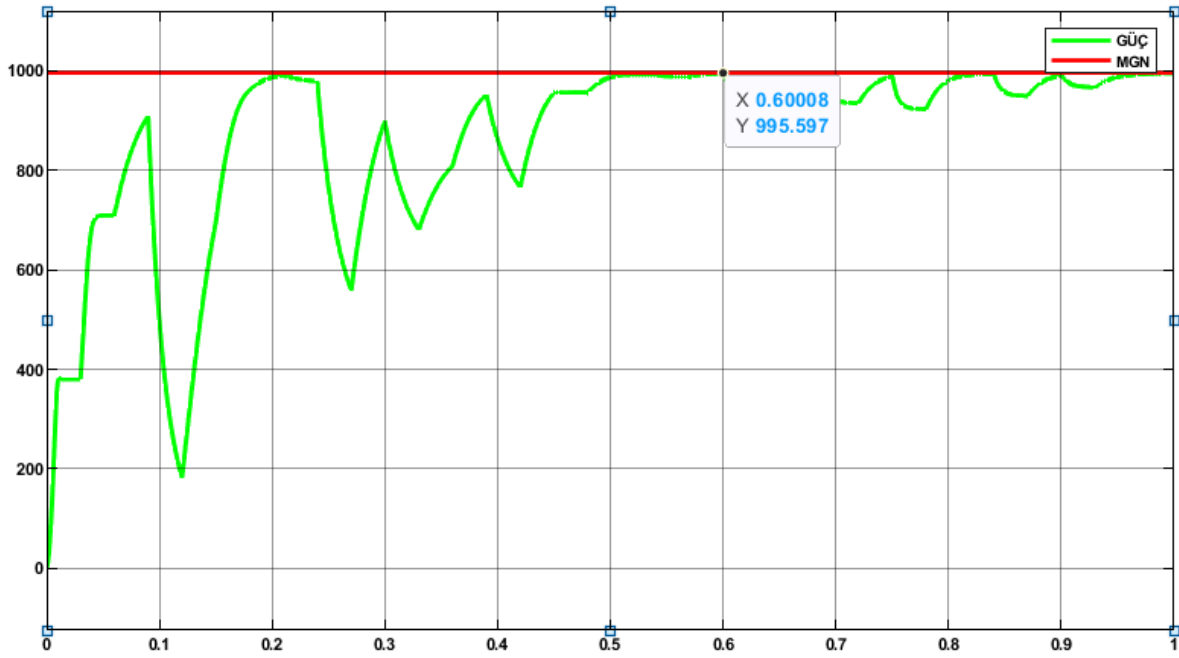
5.4 PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Şekil 5.13’te yapay arı algoritması ile MGNT yapılmıştır. Çizelge 3’te verilen üç farklı durum sırasıyla sisteme uygulanmış ve simülasyon sonuçları alınmıştır.



Şekil 5.13 Parçacık Sürü Optimizasyon algoritması ile MGNT

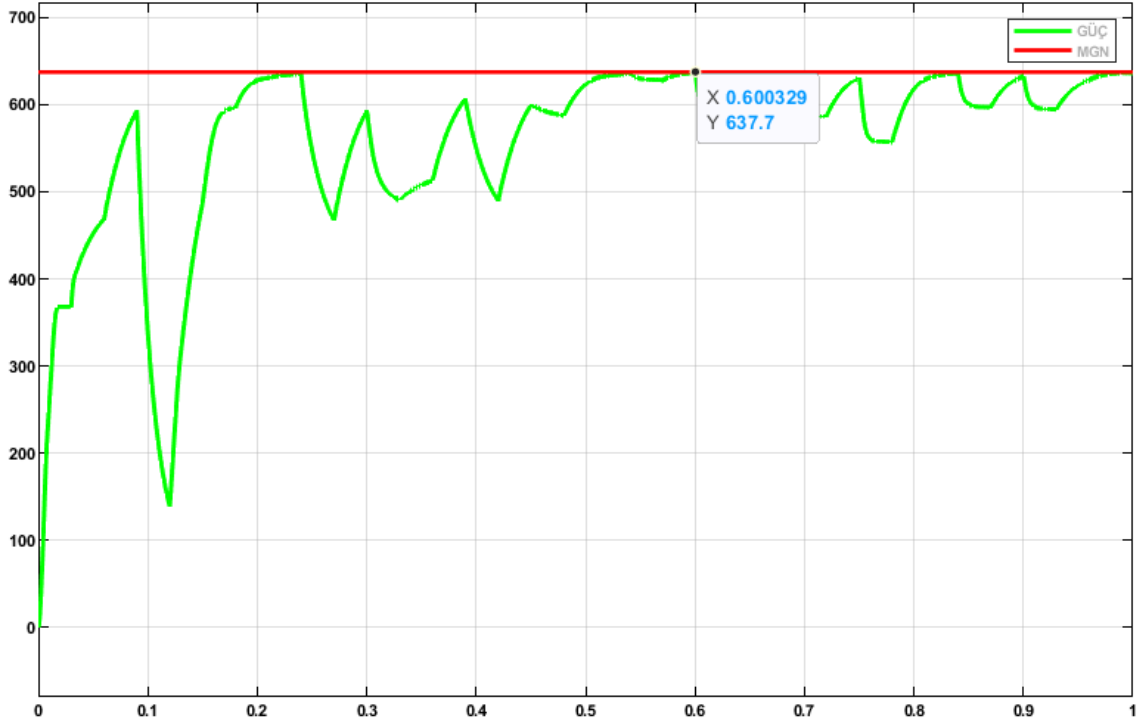
Şekil 5.14'te Çizelge 3.3'te birinci durumda bulunan gölgelenme olayı olmadığı ışınlım değerleri uygulanmıştır.



Şekil 5.14 Gölgeleme olmayan durumda güç-zaman grafiği

Şekil 5.14 incelendiğinde maksimum güç üretim noktası 995,597 W iken Şekil 3.6'da bulunan görsel de maksimum çıkış gücü 995,93 W değerinde görülmektedir. Algoritma 0,6 saniyede global maksimum güç noktası ulaşmış olup kararlılığını sürdürememiştir. Üretilen bu güç bütün sistemin global maksimum güç noktasıdır. Çünkü sistemde gölge durumu bulunmamaktadır. Sistem verimi incelendiğinde %99,96 olarak hesaplanmıştır.

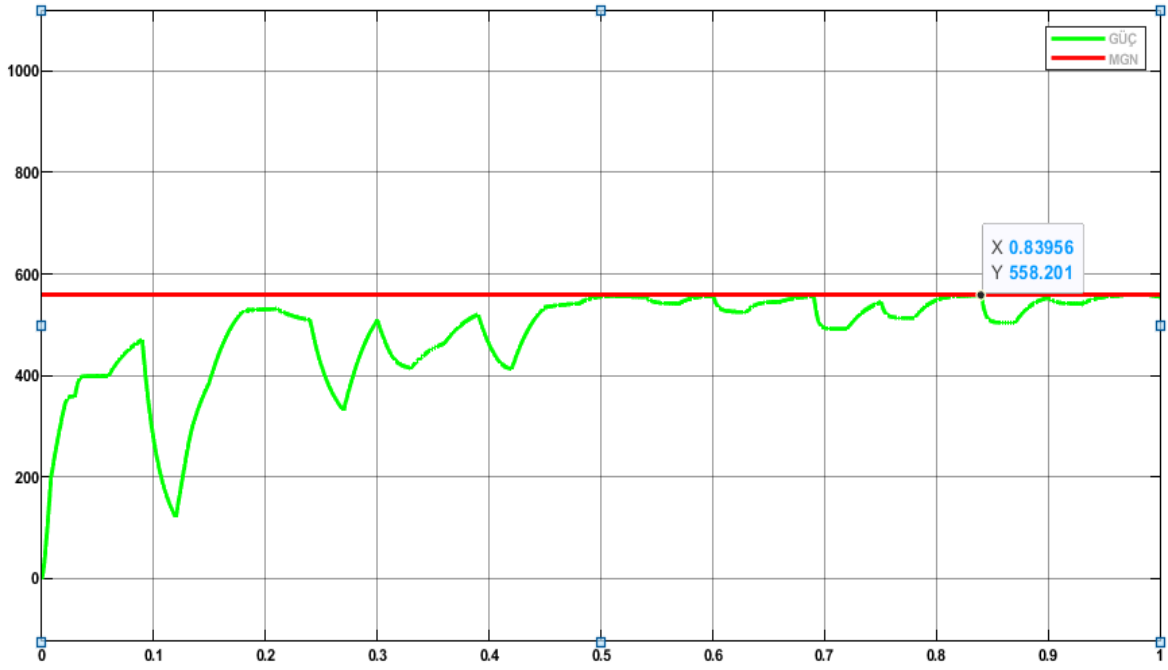
Şekil 5.15 incelendiğinde Çizelge 3.3'te bulunan 2. ışınlım durumundaki ışınlım değerleri FV modüllere uygulanmıştır.



Şekil 5.15 2. Işınım durumu için güç-zaman grafiği

Şekil 5.15 incelendiğinde maksimum güç üretim noktası 637.700 W iken Şekil 3.7’de bulunan görsel de 637,84 W değerinde görülmektedir. Algoritma 0,6 saniyede global maksimum güç noktası ulaşmış olup kararlılığını sürdürememiştir. Sistem verimi incelendiğinde %99,97 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.16 incelendiğinde Çizelge 3.3’te bulunan 3. durumdaki ışınım değerleri FV modüllere uygulanmıştır.

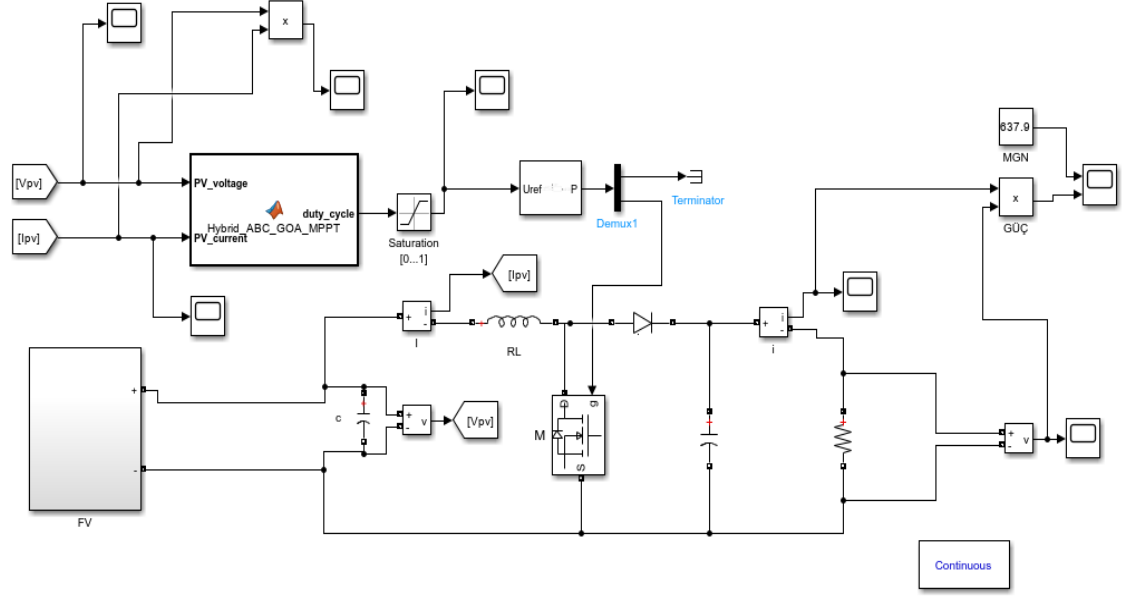


Şekil 5.16 3. Işınım durumu için güç-zaman grafiği

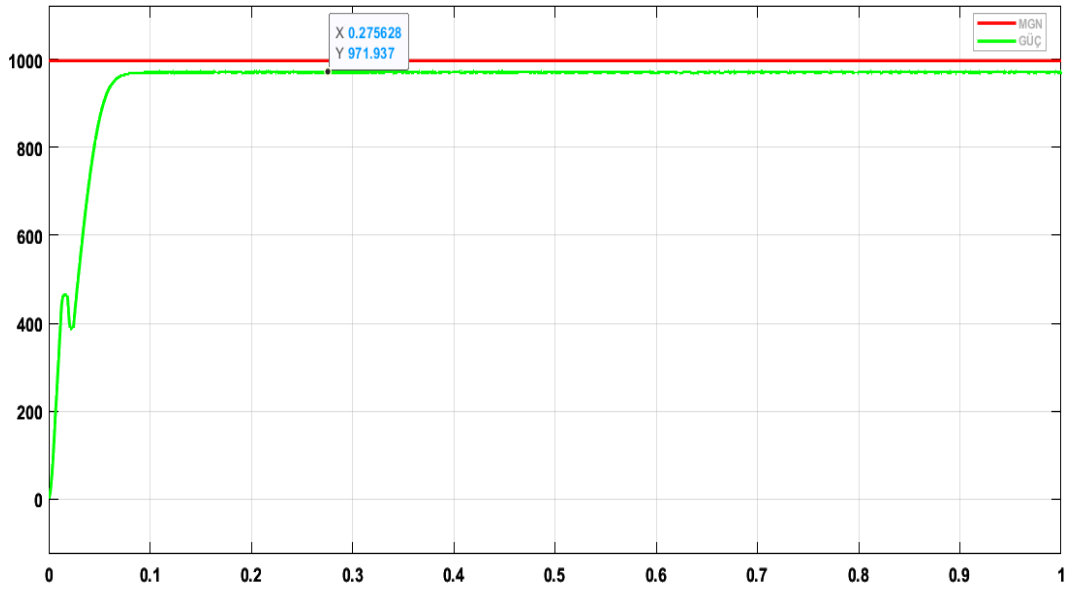
Şekil 5.16 incelendiğinde maksimum güç üretim noktası 558.201 W iken Şekil 3.8’de bulunan görsel de 559,11 W değerinde görülmektedir. Algoritma 0,84 saniyede global maksimum güç noktası ulaşmış olup kararlılığını sürdürememiştir. Sistem verimi incelendiğinde %99,83 olarak hesaplanmıştır.

5.5 ÇEKİRGE/ARI HİBRİT ALGORİTMASI SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Şekil 5.17’de Çekirge ve Yapay Arı Koloni algoritma optimizasyonları ile MGNT yapılmıştır. Çizelge 3.3’te verilen üç farklı durum sırasıyla sisteme uygulanmış ve simülasyon sonuçları alınmıştır.



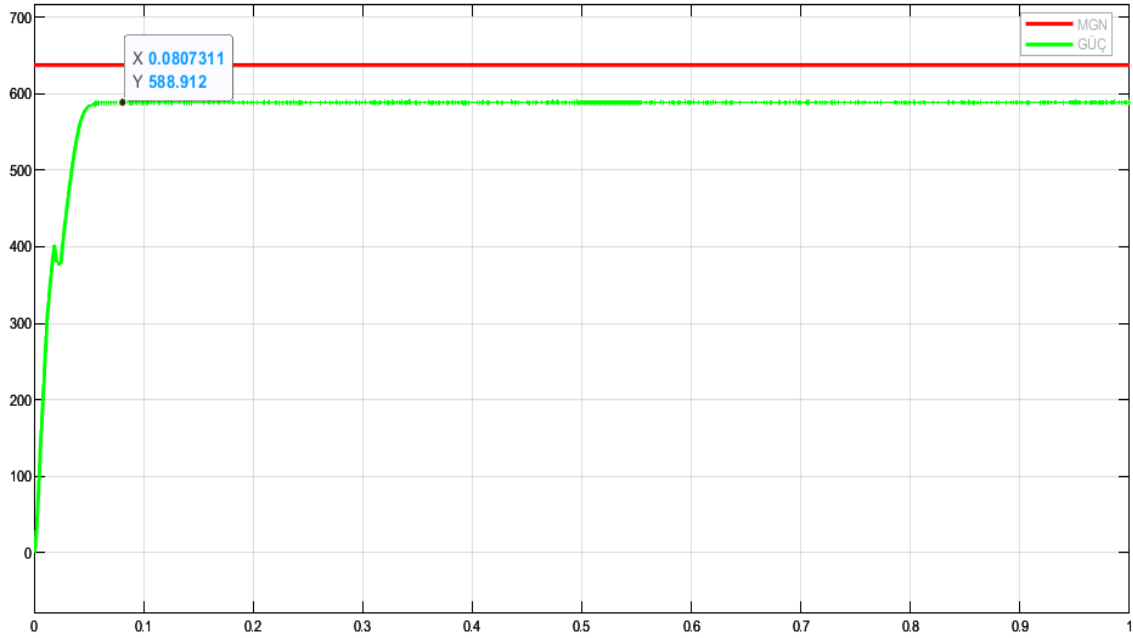
Şekil 5.17 Çekirge/Arı hibrit optimizasyon ile MGNT



Şekil 5.18 Gölgeleme olmayan durumda güç-zaman grafiği

Şekil 5.18 incelendiğinde maksimum güç üretim noktası 971,937 W iken Şekil 3.6’da bulunan görsel de maksimum çıkış gücü 995,93 W değerinde görülmektedir. Algoritma 0,27 saniyede global maksimum güç noktası ulaşmış olup kararlılığını sürdürmüştür. Üretilen bu güç bütün sistemin global maksimum güç noktasıdır. Çünkü sistemde gölge durumu bulunmamaktadır. Sistem verimi incelendiğinde %97,59 olarak hesaplanmıştır.

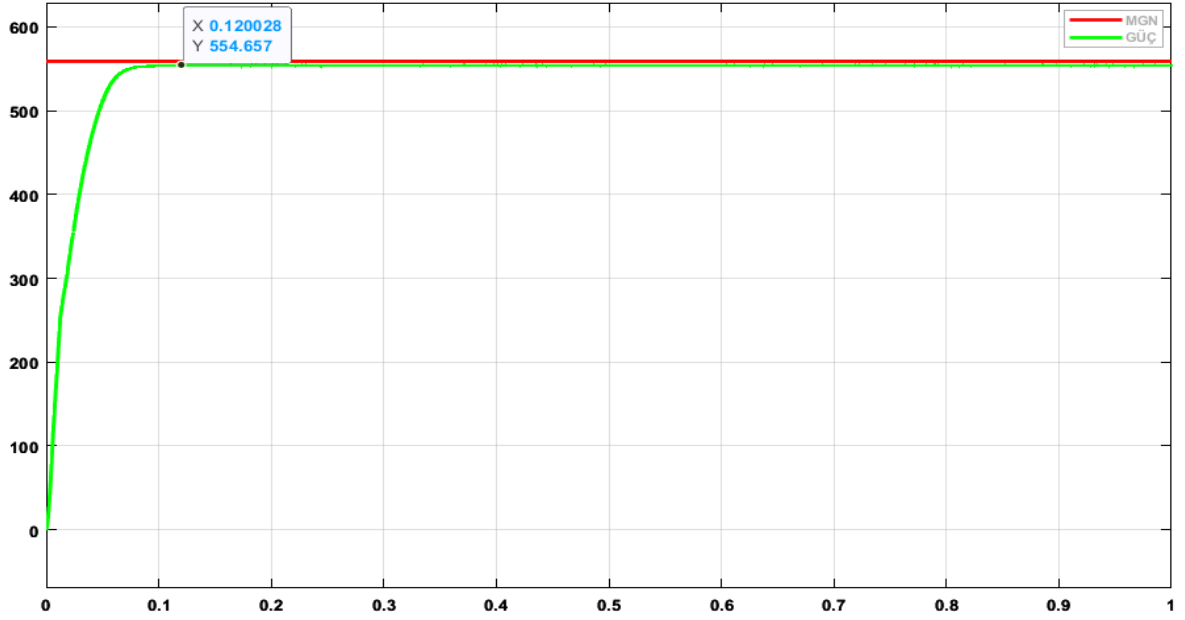
Şekil 5.19 incelendiğinde Çizelge 3.3’te bulunan 2. ışınlam durumundaki ışınlam değerleri FV modüllere uygulanmıştır.



Şekil 5.19 2. Işınlam durumu için güç-zaman grafiği

Şekil 5.19 incelendiğinde maksimum güç üretim noktası 588.912 W iken Şekil 3.7’de bulunan görsel de 637,84 W değerinde görülmektedir. Algoritma 0,08 saniyede global maksimum güç noktası ulaşmış olup kararlılığını sürdürmüştür. Sistem verimi incelendiğinde %92,32 olarak hesaplanmıştır.

Şekil 5.20 incelendiğinde Çizelge 3.3’te bulunan 3. durumdaki ışınlam değerleri FV modüllere uygulanmıştır.



Şekil 5.20 3. Işınım durumu için güç-zaman grafiği

Şekil 5.20 incelendiğinde maksimum güç üretim noktası 554,657 W iken Şekil 3.8’de bulunan görsel de 559,11 W değerinde görülmektedir. Algoritma 0,12 saniyede global maksimum güç noktası ulaşmış olup kararlılığını sürdürmüştür. Sistem verimi incelendiğinde %99,20 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 5.1 Simülasyon Sonuçları

Işınım (W/m ²)	Algoritma	Hız (s)	Güç (W)	Beklenen Güç (W)	Üretim Verimi (η)
1. Durum	Güve Alevi	0,18	995,750	995,93	99,99
	Parçacık Sürü	0,60	995,597	995,93	99,96
	Çekirge	0,06	813,596	995,93	81,69
	Yapay Arı Kolonisi	0,06	716,971	995,93	71,99
	Çekirge /Arı Hibrit	0,27	971,937	995,93	97,59
2. Durum	Güve Alevi	0,12	631,048	637,84	98,93
	Parçacık Sürü	0,60	637,700	637,84	99,97
	Çekirge	0,04	472,370	637,84	74,05
	Yapay Arı Kolonisi	0,23	497,032	637,84	77,92
	Çekirge /Arı Hibrit	0,08	588,912	637,84	92,32
3. Durum	Güve Alevi	0,18	535,037	559,11	95,69
	Parçacık Sürü	0,84	558,201	559,11	99,83
	Çekirge	0,05	460,037	559,11	82,28
	Yapay Arı Kolonisi	0,05	402,914	559,11	72,06
	Çekirge /Arı Hibrit	0,12	554,657	559,11	99,20

Çizelge 5.1’de sunulan simülasyon sonuçları doğrultusunda, geliştirilen dört farklı algoritmanın ve önerilen hibrit yaklaşımın üç ayrı ışınım seviyesinde gösterdiği performanslar incelenmiş, üretim miktarı, izleme hızı ve verimlilik kriterleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu analizler sonucunda, PSO (Parçacık Sürü Optimizasyonu) algoritması, her üç ışınım seviyesinde de tutarlı bir şekilde en yüksek üretim verimliliğini sağlayan algoritma olarak öne çıkmıştır. PSO’nun özellikle ani ışınım değişimlerinde dahi kararlı ve hızlı bir şekilde maksimum güç noktasına ulaşabilmesi, onu güçlü bir MGNT (Maksimum Güç Noktası Takibi) adayı hâline getirmiştir.

Güve Alevi Optimizasyonu (MFO) algoritması da PSO ile benzer şekilde yüksek verimlilik oranlarına ulaşabilmiş; ancak bazı ışınım senaryolarında izleme hızı bakımından PSO’nun gerisinde kalmıştır. Bu durum, MFO’nun özellikle ışınımın ani ve büyük değişim gösterdiği durumlarda denge arayışına daha fazla zaman harcamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Diğer yandan, Çekirge Optimizasyonu (GOA) ve Yapay Arı Kolonisi (ABC) algoritmaları, genel üretim verimliliği açısından PSO ve MFO’nun gerisinde kalmışlardır. Ancak GOA algoritması, maksimum güç noktasına ulaşma süresi bakımından rakiplerine kıyasla oldukça başarılı bir performans sergilemiştir. Bu durum, GOA’nın doğrudan en yüksek güç noktasına yönelme eğiliminden kaynaklanmakta olup, hız açısından avantaj sunmaktadır.

Önerilen GOABC hibrit algoritması, yani Çekirge ve Yapay Arı Kolonisi algoritmalarının birlikte optimize edilerek kullanıldığı yaklaşım ise hem izleme hızı açısından kabul edilebilir düzeyde performans sergilemiş hem de %92’nin üzerinde üretim verimliliği ile dikkat çekmiştir. GOABC’nin bu başarısı, iki algoritmanın birbirini tamamlayıcı yönlerinden faydalanılarak elde edilmiş olup, sistemin daha dengeli ve etkili bir izleme yapmasını sağlamıştır. Bu hibrit yaklaşım sayesinde, her iki algoritmanın tekil performansından daha üstün bir sonuç elde edilmiş ve üretim verimliliği anlamında hem ABC hem de GOA algoritmalarının üzerinde bir başarı sağlanmıştır. Bu da hibrit optimizasyon tekniklerinin fotovoltaik sistemlerde MGNT performansını artırma potansiyelini bir kez daha ortaya koymuştur.

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında, fotovoltaik (FV) sistemlerde maksimum güç noktası takibi (MGNT) performansını artırmaya yönelik olarak, doğadan esinlenen üç farklı sezgisel optimizasyon algoritması olan Güve Alevi Optimizasyonu (MFO), Çekirge Optimizasyonu (GOA) ve Yapay Arı Kolonisi (ABC) algoritmaları ile geleneksel olarak yaygın şekilde kullanılan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) algoritmasının karşılaştırmalı bir analizi gerçekleştirilmiştir. Bu algoritmaların performansları, MATLAB/SIMULINK ortamında geliştirilen ve gerçekçi işletim koşullarını yansıtan bir FV sistem modeli üzerinden test edilmiştir. Değerlendirmeler, farklı ışınlam seviyelerini temsil eden üç ayrı çevresel senaryo altında yapılmış ve bu senaryolar aracılığıyla algoritmaların çeşitli iklimsel koşullarda nasıl performans gösterdiği kapsamlı şekilde incelenmiştir.

Çalışmanın temel amacı, MGNT sürecinde kullanılan bu algoritmaların, üretim verimliliği, izleme hızı (konverjans hızı) ve kararlılık (stabilite) gibi kritik performans göstergelerine olan etkilerini ortaya koymak ve farklı senaryolarda hangi algoritmanın daha avantajlı sonuçlar verdiğini karşılaştırmalı bir biçimde analiz etmektir. Ayrıca bu çalışma kapsamında, farklı algoritmaların güçlü yönlerini birleştirmeye yönelik hibrit bir yaklaşım da önerilerek, mevcut yöntemlerin ötesine geçen yeni bir MGNT stratejisi geliştirilmiştir.

Simülasyon sonuçları, her bir algoritmanın çeşitli çevresel koşullar altında gösterdiği performans farklılıklarını açık bir şekilde ortaya koymuştur. Geleneksel PSO algoritması, özellikle üçüncü senaryoda yer alan ani ışınlam değişikliklerinin gözlendiği durumlarda oldukça başarılı bir performans sergilemiş, izlenen güç çıktılarında %99'un üzerinde üretim verimliliği elde edilmiştir. PSO'nun bu başarısı, algoritmanın yapısal sadeliği ve yerel aramalardaki etkinliğiyle açıklanabilir. Ancak bununla birlikte, PSO algoritması diğer sezgisel yöntemlere kıyasla daha yavaş bir izleme sürecine sahip olduğu görülmüştür. Bu durumda ani çevresel

değişimlerde sistemin maksimum güç noktasına ulaşma süresini uzatmaktadır. Yani verimlilik açısından öne çıksa da izleme hızı bakımından zayıf bir profil sergilemektedir. Güve Alevi Optimizasyonu (MFO) algoritması, yüksek ışınlım seviyelerinin hâkim olduğu senaryolarda PSO'ya oldukça yakın verimlilik değerleri üretmiştir. Bu algoritma, fototaksis (ışığa yönelim) davranışını taklit ederek, güvelerin ışık kaynağına yönelme stratejisini kullanmaktadır. Ancak düşük ışınlım seviyelerinde ve ani çevresel değişimlerde, MFO'nun izleme yeteneği zayıflamakta, sistemin tepkisel hızı azalmakta ve zaman zaman lokal maksimumlara takılma eğilimi göstermektedir. Bu da kararlılığı olumsuz etkilemektedir.

Çekirge Optimizasyonu (GOA) algoritması, üç senaryoda da maksimum güç noktasına ulaşma hızında diğer algoritmalara kıyasla açık ara önde yer almıştır. Özellikle ani ışınlım düşüşü veya gölgelenme gibi durumlarda sistemin yeni maksimum güç noktasını bulması oldukça hızlı gerçekleşmiştir. Bu, GOA'nın yüksek adaptasyon kabiliyeti ve hızlı konverjans özelliğini ortaya koymaktadır. Ancak bu avantajına rağmen, GOA'nın genel üretim verimliliği PSO ve MFO algoritmalarının gerisinde kalmıştır. Bu durum, GOA'nın bazen kararsız davranışlar sergileyerek optimum olmayan çözümlerde sabitlenmesine yol açtığını göstermektedir.

Yapay Arı Kolonisi (ABC) algoritması ise izleme hızı ve üretim verimliliği açısından diğer algoritmaların gerisinde kalmış olsa da dengeleyici ve stabil bir izleme davranışı sergilemiştir. Arıların besin kaynaklarını arama davranışlarını modelleyen bu algoritma, görev temelli arama yapısı sayesinde belirli bir süreklilik ve kararlılık sağlamaktadır. Ancak ani çevresel değişimlere karşı tepki süresi yavaştır ve özellikle dinamik koşullarda reaksiyon kabiliyeti sınırlı kalmaktadır. Bu nedenle, ABC algoritmasının MGNT süreçlerinde yalnız başına kullanılması, çevresel koşullara bağlı olarak sınırlayıcı olabilir.

Bu çalışmanın en dikkat çeken yönlerinden biri, GOA ve ABC algoritmalarının güçlü yönlerinin birleştirilmesiyle geliştirilen GOABC isimli hibrit algoritma olmuştur. Bu hibrit yapı, GOA'nın hızlı izleme yeteneğini ABC algoritmasının dengeleyici ve istikrarlı yaklaşımıyla birleştirerek, hem daha kısa sürede maksimum güç noktasına ulaşmayı hem de sistemin kararlı çalışmasını hedeflemiştir. Simülasyon sonuçlarına göre GOABC, %92'nin üzerinde üretim verimliliği elde etmiş ve izleme süresi açısından hızlı sonuçlar vermiştir. Böylece, hibrit algoritmaların hem verimlilik hem de kararlılık açısından dengeli performans sunabileceği gösterilmiştir.

GOABC algoritması, dinamik ve karmaşık çevresel koşullarda, global ve lokal aramalar arasında etkin bir denge kurarak sistemin hem verimli hem de stabil çalışmasını sağlamıştır. Bu

sonuçlar, MGNT algoritmalarında hibrit yaklaşımların önemli bir potansiyele sahip olduğunu ve geleneksel yöntemlerin ötesinde çözüm olanakları sunduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, bu tür hibrit algoritmaların farklı yapılandırmalarla daha fazla araştırılması ve gerçek zamanlı sistemlere entegrasyonu, ilerleyen çalışmalara önemli bir yön verebileceğı öngörülmektedir.

Elde edilen bulgular, farklı MGNT algoritmalarının farklı koşullarda üstünlük sağlayabileceğini ve bu nedenle uygulama senaryosuna uygun algoritma seçiminin büyük önem taşıdığını ortaya koymuştur. Örneğın, sabit ve yüksek ısıtım koşullarında PSO gibi geleneksel yöntemler yeterli performans sunarken, gölgelenme, bulut geçişleri gibi hızlı çevresel değışimlerin yaşandığı koşullarda GOA veya hibrit algoritmaların tercih edilmesi daha uygun olacaktır. Ayrıca gerçek zamanlı uygulamalar açısından işlem yükü, hesaplama karmaşıklığı, donanımsal gereksinimler ve uygulama maliyetleri gibi faktörlerin de değıerlendirilmesi gerektiğı vurgulanmalıdır.

Sonuç olarak bu tez çalışması, literatürde yer alan benzer akademik çalışmaları destekler nitelikte sonuçlar üretmiştir. Doğadan esinlenen algoritmaların çevresel değışimlere hızlı uyum sağlama ve global maksimumu tespit etme konusundaki başarısı birçok çalışmada belirtilmiş olup, bu çalışmada da benzer başarılar gözlemlenmiştir. Özellikle GOA'nın yüksek adaptasyon kabiliyeti ve MFO'nun yüksek verimlilik düzeyleri, literatürdeki bulgularla örtüşmektedir. Bununla birlikte, literatürde henüz sınırlı sayıda bulunan hibrit MGNT algoritmalarına yönelik bu çalışma, gelecekteki araştırmalar için öncül ve yönlendirici bir nitelik taşımaktadır. Gerek akademik gerekse pratik uygulamalar açısından, hibrit ve doğadan esinlenen optimizasyon temelli MGNT algoritmalarının enerji üretim sistemlerinde daha etkin kullanılabilmesi için kapsamlı çalışmaların sürdürölmesi gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- Abbas A, Ferhan M, Şehzad M, Liyakat R and Ijaz Ö** (2025) Bağımsız PV Sistemi için Hibrit Perturb-Gözlem, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu ve Bulanık Mantık Tabanlı İyileştirilmiş MPPT Kontrolünün Güç Takibi ve Performans Analizi. *Technologies*, 13(3):112.
- Adak S, Cangi H ve Yılmaz A S** (2019) Fotovoltaik Sistemin Çıkış Gücünün Sıcaklık ve Işımaya Bağlı Matematiksel Modellemesi ve Simülasyonu. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11(1): 316-327.
- Al-Bashir A, Al-Dweri M, Al-Ghandoor A, Hammad B and Al-Kouz W** (2020) Analysis of Effects of Solar Irradiance, Cell Temperature and International Journal of Energy Economics and Wind Speed on Photovoltaic Systems Performance. *EconJournals* ,10(1): 353-359.
- Brosig C and Waffenschmidt E** (2016) Energy Autarky of Households by Sufficiency Measures. *Energy Procedia*, 99:194-203.
- Dali A, Abdelmalek S, Bakdi A and Bettayeb M** (2021) A Novel Effective Nonlinear State Observer Based Robust Nonlinear Sliding Mode Controller for A 6 kW Proton Exchange Membrane Fuel Cell Voltage Regulation. *Sustainable Energy Technologies Assessments*, 44: 100996.
- Duman S ve Alçı M** (2022) Yarım ve tam fotovoltaik hücreleri ile tasarlanan güneş enerjisi panellerinin toplam verimliliğini etkileyen parametrelerinin incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*,1:592-600.
- Dursun İ** (2023) Enerji Depolamalı Bir Güneş Enerjisi Sisteminde Tepe Tıraşlama ile Yük Profiline İyileştirilmesi. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(2): 414- 422

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Esrar T and Chapman P** (2007) Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 22(2): 439–449.
- Faranda R and Leva S** (2008) Energy comparison of MPPT techniques for PV systems. *WSEAS Transactions on Power Systems*, 3(6):446–455.
- Femia N, Petrone G, Spagnuolo G and Vitelli M** (2005) Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 20(4): 963- 973.
- Golroodbari S, Vaartjes D, Meit J, van Hoeken A, Eberfeld M, Jonker H and van Sark W** (2021) Pooling the cable: A techno-economic feasibility study of integrating offshore floating photovoltaic solar technology within an offshore wind park. *Solar Energy*, 219: 65-74.
- Gümüş Z ve Demirtaş M** (2021) Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takibinde Kullanılan Algoritmaların Kısmi Gölgeleme Koşulları Altında Karşılaştırılması. *Dergipark*, 24(3): 853- 865.
- Gürkan E ve Güner A** (2024) FV sistemlerde kısmi gölgeleme koşullarında maksimum güç noktası takibi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(7): 891-905.
- Hart D W** (2010) *Power Electronics*.1st edition, ISBN: 9780073380674, McGraw-Hill Higher Education, 496 pp.
- Hassan A, Yanxia S and Zenghui W** (2020) Multi-objective for optimal placement and sizing DG units in reducing loss of power and enhancing voltage profile using BPSO-SLFA. *Energy Reports*, 6:1581-1589.
- Hohm D and Ropp M** (2003) Comparative study of maximum power point tracking algorithms. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 11(1):47-62.
- İşen E ve Koçhan Ö** (2020) Fotovoltaik Panelin Tek Diyotlu Modellenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırma Dergisi*, 2(1): 1-10.
- Jordan D and Kurtz S** (2013) Photovoltaic degradation rates—An analytical review. *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 21(1):12–29.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Karaboğa D and Bahriye B** (2007) A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm. *Journal of Global Optimization*. 39(3):459-471.
- Karakaya E ve Yılmaz E** (2018) Güneş Enerjisi ve Fotovoltaik Sistemler. *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 33(4): 1177–1189.
- Katche M, A B M, Zachary S and M S A** (2023) A comprehensive review of maximum power point tracking (MPPT) techniques used in solar PV systems. *Energies*, 16(5):2206.
- Kaya B ve Eke İ** (2020) Yapay Arı Kolonisi ile Yapılan Geliştirmeler ve Sonuçları. *Verimlilik Dergisi* (1): 99-115.
- Khan M J and Iqbal M T** (2005) Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systems for applications in Newfoundland. *Renewable Energy* 30(6): 835-854.
- Kjaer S, Pedersen J and Blaabjerg F** (2005) A review of single-phase grid-connected inverters for photovoltaic modules. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 41(5):1292–1306.
- Koçalmış B A and Emikönel S** (2022) Design of p&o and fl based mppt controllers of pv array by using positive super lift dc/dc boost converter. *International Journal of Energy and Smart Grid*. 7(1-2):36-46.
- Koutroulis E, Kalaitzakis and Voulgaris N C** (2001) Development of a microcontroller-based, photovoltaic maximum power point tracking control system. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 16: 46-54.
- Kumar A, Kumar D and Jarial S** (2017) A Review on Artificial Bee Colony Algorithms and Their Applications to Data Clustering. *Cybernetics and Information Technologies*, 17: 3-28.
- Linke J, Hoß J, Buchholz F, Lossen J and Kopecek R.** (2023) Influence of the annealing temperature of (n) poly-Si/SiO_x passivating contacts on their firing stability. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 258.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Mirjalili S** (2015) Moth-flame optimization algorithm: A novel nature-inspired heuristic paradigm. *Knowledge-Based Systems*, 89:228-249.
- Muhammad M and Abidin M** (2018) Design and analysis of a DC-DC converter for renewable energy application. *International Journal of Power Electronics and Drive Systems*, 9(3):1143–1150.
- Phap V and Hang L** (2019) Comparison of Central Inverter and String Inverter for Solar Power Plant: Case Study in Vietnam. *Journal of Nuclear Engineering & Technology*, 9(3):11-23.
- Rashid M H** (2015). *Electric Renewable Energy Systems*. ISBN: 978-0128044483, Academic Press, 450 pp.
- Sahariya B J, Manas M and Talukdar B K** (2016) Comparative evaluation of photovoltaic MPP trackers: A simulated approach. *Cogent Engineering*, 3(1).
- Sameeullah M and Swarup A** (2016) MPPT Schemes for PV System Under Normal and. *International Journal of Renewable Energy*, 5(2):79-94.
- Saremi S, Mirjalili S and Lewis A** (2017) Grasshopper Optimisation Algorithm: Theory and application. *Advances in Engineering Software*, 105:30-47.
- Singh M and Verma H K** (2015) Grid-interactive solar photovoltaic systems with battery storage: An overview and multi-objective optimization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50: 1034–1047.
- Skoplaki E and Palyvos J** (2009) On the temperature dependence of photovoltaic module electrical performance: A review of efficiency/power correlations. *Solar Energy*, 83(5): 614-624.
- Smestad G** (2002) Education and solar conversion: Demonstrating electron transfer. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 86(1): 85-105.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Verma A, Yadav S, Arora A and Singh K** (2020) Comparison of Maximum Power Tracking Using Artificial Intelligence Based Optimization Controller in Photovoltaic Systems. *2020 International Conference for Emerging Technology (INCET)*, 5-7 June 2020, Belgaum, India, 1-6.
- Yusof N and Baharuddin A** (2020) The study of output current in photovoltaics cell in series and parallel connections. *International Journal of Technology Innovation and Humanities*,1(1): 7-12.





EK AÇIKLAMALAR

EK A: PSO KODU

```
function D = PSO(Vpv,Ipv)
```

```
persistent u;  
persistent dcurrent;  
persistent pbest;  
persistent p;  
persistent dc;  
persistent v;  
persistent counter;  
persistent gbest;
```

```
if isempty(counter)  
    counter=0;  
end  
if isempty(dcurrent)  
    dcurrent=0.5;  
end  
if isempty(gbest)  
    gbest=0.5;  
end  
if isempty(p)  
    p=zeros(4,1);  
end  
if isempty(v)  
    v=zeros(4,1);  
end  
if isempty(pbest)  
    pbest=zeros(4,1);  
end  
if isempty(u)  
    u=0;  
end  
if isempty(dc)  
    dc=zeros(4,1);  
    dc(1)=0;  
    dc(2)=0.3;  
    dc(3)
```

```

dc(4)=0.9;

end
if(counter>=1 && counter<300)
D=dcurent;
counter=counter+1;
return;

end

counter=0;

if(u>=1 && u<=4)

if((Vpv*Ipv)>p(u))

p(u)=Vpv*Ipv;
pbest(u)=dcurent;

end

end

u=u+1;

if(u==6)

u=1;

end

if(u==1)

D=dc(u);
dcurent=D;
counter=1;

return;

elseif(u==2)

D=dc(u);
dcurent=D;
counter=1;

return;
elseif(u==3)

D=dc(u);
dcurent=D;
counter=1;

```

```

return;

elseif(u==4)
D=dc(u);
dcurrent=D;
counter=1;

return;
elseif(u==5 )

[m,i]=max(p);
gbest=pbest(i);
D=gbest;
dcurrent=D;
counter=1;

%Hızı ve Konumu Güncelle
v(1)=updatevelocity(v(1),pbest(1),dc(1),gbest)
v(2)=updatevelocity(v(2),pbest(2),dc(2),gbest)
v(3)=updatevelocity(v(3),pbest(3),dc(3),gbest)
v(4)=updatevelocity(v(4),pbest(4),dc(4),gbest)

% Hızı ve Konumu Güncelle
dc(1)=updateduty(dc(1),v(1))
dc(2)=updateduty(dc(2),v(2))
dc(3)=updateduty(dc(3),v(3))
dc(4)=updateduty(dc(4),v(4))

return;

D=0.1
End

end

function vfinal=updatevelocity(velocity,pobest,d,gwbest)

% PSO Parametreleri
w=0.3;
c1=0.5
c2=1;
vfinal = (w*velocity)+(c1*rand(1)*(pobestd))+(c2*rand(1)*(gwbest-d));

end

function dfinal=updateduty(d,velocity)

dup=d+velocity;

if(dup>1)

```

```

dfinal=1;

elseif(dup<0)

dfinal=0;

else

dfinal=dup;

end
end

```

EK B: MFO KODU

```

function duty_cycle=MFO_MGNT (PV_voltage, PV_current)
persistent D P_best iter Td;
%% Başlangıç Değerleri
N = 20;                % Çekirge sayısı
Dmin = 0.1;
Dmax = 0.99;           % Duty cycle sınırları
maxIter = 300;         % Maksimum iterasyon
alpha = 0.5;           % Güve alevi etkisi için katsayı
%% Persistent Değişkenleri Başlat
if isempty(D)
D = 0.4 + 0.1 * rand(1, N); % Başlangıç duty cycle değerleri
P_best = zeros(1, N);      % En iyi güçler
iter = 1;                  % Başlangıç iterasyonu
Td = D(1);                 % İlk seçilen duty cycle
end

%% Güç Hesabı
for i = 1:N
P_best(i) = output_power(PV_voltage, PV_current);
end

```

```

[bestP, idx] = max(P_best);
Td = D(idx); % En iyi duty cycle

%% Optimizasyon Döngüsü
if iter <= maxIter
    for i = 1:N
        % Güve alevi güncellemesi

        D_new = D(i) + alpha * (rand() - 0.5); % Rastgele güncelleme

        % Sınır kontrolü

        D_new = min(max(D_new, Dmin), Dmax);

        % Güç değerlendirme

        P_new = output_power(PV_voltage, PV_current);

        % En iyi çözüm güncelle

        if P_new > P_best(i)
            D(i) = D_new;
            P_best(i) = P_new;
        end
    end

    % Tüm popülasyondaki en iyi birey

    [bestP_new, idx] = max(P_best);

    if bestP_new > bestP
        bestP = bestP_new;
        Td = D(idx);
    end

    iter = iter + 1;
end

% Çıktı

duty_cycle = Td;
end

%% PV Güç Hesabı

```

```
function P = output_power(V, I)
```

```
P = V * I;
```

```
End
```

EK C: GOA KODU

```
function duty_cycle = GOA_(PV_voltage, PV_current)
```

```
persistent D P_best iter Td;
```

```
%% Başlangıç Değerleri
```

```
N = 20; % Çekirge sayısı
```

```
Dmin = 0.1;
```

```
Dmax = 0.99; % Duty cycle sınırları
```

```
maxIter = 300; % Maksimum iterasyon
```

```
alpha = 0.5; %Çekirge optimizasyon etkisi için katsayı
```

```
%% Persistent Değişkenleri Başlat
```

```
if isempty(D)
```

```
D = 0.2 + 0.1 * rand(1, N); % Başlangıç duty cycle değerleri
```

```
P_best = zeros(1, N); % En iyi güçler
```

```
iter = 1; % Başlangıç iterasyonu
```

```
Td = D(1); % İlk seçilen duty cycle
```

```
end
```

```
%% Güç Hesabı ve Fitness Değerlendirmesi
```

```
for i = 1:N
```

```
P_best(i) = output_power(PV_voltage, PV_current);
```

```
end
```

```
[bestP, idx] = max(P_best);
```

```
Td = D(idx); % En iyi duty cycle
```

```
%% Optimizasyon Döngüsü
```

```
if iter <= maxIter
```

```
for i = 1:N
```

```

% Çekirge sıçraması güncellemesi

r = rand(); % Rastgele sıçrama faktörü

D_new = D(i) + r * (D(idx) - D(i)); % Diğer çekirgeye sıçrama

% Sınır kontrolü

D_new = min(max(D_new, Dmin), Dmax);

% Güç değerlendirme

P_new = output_power (PV_voltage, PV_current);

% En iyi çözüm güncelle

if P_new > P_best(i)

D(i) = D_new;

P_best(i) = P_new;

end

end

% Tüm popülasyondaki en iyi birey

[bestP_new, idx] = max(P_best);

if bestP_new > bestP

bestP = bestP_new;

Td = D(idx);

end

iter = iter + 1;

end

% Çıktı

duty_cycle = Td;

end

%% PV Güç Hesabı

function P = output_power(V, I)

P = V * I;

End

```

EK D: ABC KODU

```
function duty_cycle = ABC_MPPT(PV_voltage, PV_current)

persistent D P_best trial iter Td;

%% Parametreler
N = 20;           % Arı sayısı
Dmin = 0.1;
Dmax = 0.99;
maxIter = 300;
limit = 60;       % Keşfedilemeyen kaynaklar için sınır

%% Başlatma
if isempty(D)
    D = Dmin + (Dmax - Dmin) * rand(1, N);
    P_best = zeros(1, N);
    trial = zeros(1, N);
    iter = 1;
    Td = D(1);
end

%% Güç Hesapla
for i = 1:N
    P_best(i) = output_power(PV_voltage, PV_current);
end

[bestP, idx_best] = max(P_best);
Td = D(idx_best);

%% Algoritma Döngüsü
if iter <= maxIter
    % Employed Bees Phase
    for i = 1:N
        k = randi([1 N]);
        while k == i
```

```

k = randi([1 N]);

end

phi = rand() * 2 - 1;

D_new = D(i) + phi * (D(i) - D(k));

D_new = min(max(D_new, Dmin), Dmax);

P_new = output_power(PV_voltage, PV_current);

if P_new > P_best(i)

D(i) = D_new;

P_best(i) = P_new;

trial(i) = 0;

else

trial(i) = trial(i) + 1;

end

end

% Onlooker Bees Phase

fitness = P_best ./ sum(P_best);

for i = 1:N

if rand() < fitness(i)

k = randi([1 N]);

while k == i

k = randi([1 N]);

end

phi = rand() * 2 - 1;

D_new = D(i) + phi * (D(i) - D(k));

D_new = min(max(D_new, Dmin), Dmax);

P_new = output_power(PV_voltage, PV_current);

if P_new > P_best(i)

D(i) = D_new;

P_best(i) = P_new;

```

```

trial(i) = 0;

else

trial(i) = trial(i) + 1;

end

end

end

% Scout Bees Phase

for i = 1:N

if trial(i) > limit

D(i) = Dmin + (Dmax - Dmin) * rand();

P_best(i) = output_power(PV_voltage, PV_current);

trial(i) = 0;

end

end

% En iyi çözümü güncelle

[bestP_new, idx_new] = max(P_best);

if bestP_new > bestP

bestP = bestP_new;

Td = D(idx_new);

end

iter = iter + 1;

end

%% Çıkış

duty_cycle = Td;

end

%% Güç Hesaplama

function P = output_power(V, I)

P = V * I;

End

```

EK E: ABC/GOA HİBRİT KODU

```
function duty_cycle = Hybrid_ABC_GOA_MPPT(PV_voltage, PV_current)

    persistent D P_best trial iter Td

    %% Parametreler

    N = 20;           % Popülasyon sayısı

    Dmin = 0.1;

    Dmax = 0.99;

    maxIter = 300;

    limit = 60;       % Scout bee sınırı

    cMax = 1;         % GOA katsayı

    cMin = 0.00004;

    %% Başlatma

    if isempty(D)

        D = Dmin + (Dmax - Dmin) * rand(1, N); % Rastgele duty cycle'lar

        P_best = zeros(1, N);                 % En iyi güçler

        trial = zeros(1, N);                   % Deneme sayacı

        iter = 1;

        Td = D(1);

    end

    %% Güç Hesabı

    for i = 1:N

        P_best(i) = output_power(PV_voltage, PV_current);

    end

    [bestP, idx_best] = max(P_best);

    Td = D(idx_best);

    %% Ana Döngü

    if iter <= maxIter

        %% ABC Employed Bee
```

```

for i = 1:N
    k = randi([1 N]);
    while k == i
        k = randi([1 N]);
    end
    phi = rand() * 2 - 1;
    D_new = D(i) + phi * (D(i) - D(k));
    D_new = min(max(D_new, Dmin), Dmax);
    P_new = output_power(PV_voltage, PV_current);
    if P_new > P_best(i)
        D(i) = D_new;
        P_best(i) = P_new;
        trial(i) = 0;
    else
        trial(i) = trial(i) + 1;
    end
end

%% GOA Güncellemesi
c = cMax - iter * ((cMax - cMin) / maxIter); % Azalan c
for i = 1:N
    F = 0;
    for j = 1:N
        if i ~= j
            r = abs(D(j) - D(i));
            s_ij = (Dmax - Dmin) * exp(-r) .* cos(2*pi*r); % çekim etkisi
            F = F + s_ij;
        end
    end
    D_new = c * F + Td; % GOA güncellemesi
end

```

```

D_new = min(max(D_new, Dmin), Dmax);

P_new = output_power(PV_voltage, PV_current);

if P_new > P_best(i)

    D(i) = D_new;

    P_best(i) = P_new;

end

end

%% ABC Scout Bee

for i = 1:N

    if trial(i) > limit

        D(i) = Dmin + (Dmax - Dmin) * rand();

        P_best(i) = output_power(PV_voltage, PV_current);

        trial(i) = 0;

    end

end

%% En iyi çözüm güncelle

[bestP_new, idx_new] = max(P_best);

if bestP_new > bestP

    bestP = bestP_new;

    Td = D(idx_new);

end

iter = iter + 1;

end

%% Çıkış

duty_cycle = Td;

end

%% Güç Hesabı

function P = output_power(V, I)

    P = V * I;

end

```



ÖZGEÇMİŞ

Göktuğ Recep AYDIN, ilk, orta ve lise öğrenimini Ankara/Polatlı ‘da tamamladı.2019 yılında Polatlı Duatepe Anadolu lisesinden mezun oldu. Aynı yıl girdiği Giresun Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde lisans öğrenimine başladı. 2020 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesine yatay geçiş yaptı. 2023 yılında Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesinde lisans eğitimini tamamlayıp, aynı yıl Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisansına devam etmektedir.