

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ İÇİN OPTİMİZASYON ALGORİTMASI TABANLI
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP SİSTEMİ TASARIMI**

Ibrahima DIALLO

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2022

T.C.
BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ İÇİN OPTİMİZASYON ALGORİTMASI TABANLI
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP SİSTEMİ TASARIMI**

Ibrahima DIALLO

DANIŞMAN
Doç. Dr. Serhat DUMAN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2022

ONAY

Ibrahima DIALLO tarafından hazırlanan “**Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Optimizasyon Algoritması Tabanlı Maksimum Güç Noktası Takip Sistemi Tasarımı**” adlı tez çalışması/...../..... tarihinde yapılan sınavla aşağıdaki jüri tarafından oybirliği/oyçokluğu ile Bandırma Onyedü Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Ünvanı., Adı ve Soyadı
(Danışman)

Ünvanı., Adı ve Soyadı
(Üye)

Ünvanı., Adı ve Soyadı
(Üye)

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun .../.../...gün ve .../... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

BANDIRMA ONYEDİ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZ ÇALIŞMASI
ETİK BEYANI

Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kılavuzuna göre hazırlamış olduğum **“Güneş Enerjisi Sistemleri İçin Optimizasyon Algoritması Tabanlı Maksimum Güç Noktası Takip Sistemi Tasarımı”** adlı tezimin özgün bir çalışma olduğunu, tez hazırlanırken tüm aşamalarda bilimsel etik ilkelerine uygun davrandığımı, tez kapsamında sunulan tüm verileri bilimsel etik ilkelerine uygun elde ettiğimi, tezde faydalandığım tüm eserlere atıf yaptığımı ve kaynaklar kısmında bu eserleri gösterdiğimi beyan ederim./...../20...

Ibrahima DIALLO

ÖNSÖZ

Son yıllarda, enerji talebindeki hız artış, dünya üzerinde bu enerji talebinin karşılanması büyük bir yüzdeye sahip fosil yakıtlı kaynakların rezervlerinin gün günden azalmaya devam etmesi ile birlikte farklı enerji kaynaklarının kullanımının araştırılmasına neden olmuştur. Bu tez çalışması kapsamında, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde önemli bir yere sahip olan güneş enerji sistemleri ele alınmıştır. Güneş enerji sistemleri değişen atmosferik koşullar altında çalışma karakteristikleri değişen ve değişen bu değerlere bağlı olarak yüksek verimde çalıştırılması gereken sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemlerin değişen atmosferik koşullar altında en yüksek verimlilikte çalıştırılabilmesi için klasik ve yapay zekaya dayalı algoritmalar kullanılmaktadır. Tez çalışması, optimizasyon algoritmalarına dayalı maksimum güç noktası takip algoritmasının tasarımını, benzetim çalışmalarını sonuçların detaylı bir şekilde yorumlanarak elde edilen çıkarımların sunulmasını amaçlamaktadır.

Bu tez çalışması sırasında, tez konusunun belirlenmesinden başlayarak son aşamaya kadar her konuda benden yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sayın Doç. Dr. Serhat DUMAN'a, şükranlarımı sunarım.

Yetiştiren, büyüten ve bugünlere gelmemde bana destek olan sevgili annem Mariama
DIALLO'ya.....

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GÜNEŞ ENERJİSİ SİSTEMLERİ İÇİN OPTİMİZASYON ALGORİTMASI TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP SİSTEMİ TASARIMI

Ibrahima DIALLO

**Bandırma Onyedİ Eylöl Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliğı Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Serhat DUMAN

Haziran 2022, 62 sayfa

2000 yılların başından itibaren teknolojiadaki hızlı gelişmeler ve dünya nüfusundaki artışın %30 oranına yaklaşması enerji talebine olan gereksinimi günden güne arttırmaktadır. Enerji talebindeki artış ve fosil yakıtlı enerji üretim santrallerindeki yakıt rezervlerinin kısıtlı olması araştırmacıları sürdürülebilir veya yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına odaklandırmıştır. Günümüzde, rüzgar, güneş ve hidroelektrik enerji kaynakları en çok kullanılan yenilebilir enerji kaynaklarındandır. Güneş enerji sistemleri farklı atmosferik koşullar altında çalışma karakteristikleri değişen enerji kaynağı olarak tanımlanmaktadır. Değişen çalışma koşullarında daha yüksek verim elde edebilmek için bu sistemlerin maksimum güç noktalarında çalıştırılmaları gerekmektedir. Güneş enerji sistemlerinin maksimum güç noktasında çalıştırılması için hem klasik hem de yapay zekaya dayalı algoritmalar kullanılmaktadır. Teknolojiadaki gelişmeler yapay zekaya dayalı algoritmaların bu sistemlerde kullanımını giderek kolaylaştırmıştır.

Bu tez çalışmasında, guguk kuşu arama, gri kurt algoritması ve parçacık sürü optimizasyon algoritmalarına dayalı maksimum güç noktası takip algoritmasının tasarımı detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. Şebekeden bağımsız güneş enerji sistemleri için sabit ışınlım, sabit sıcaklık ve

kısmi gölgeli atmosferik koşullar altında önerilen maksimum güç noktası takip algoritmalarının benzetim çalışmaları yapılmıştır. Önerilen yöntemlerden elde edilen sonuçlar kendi aralarında karşılaştırmaları yapılarak maksimum güç noktasını bulmada ki başarıları değerlendirilmiştir. Karşılaştırma sonuçlarına göre, değişen atmosferik koşullar altında gri kurt algoritmasından elde edilen sonuçların maksimum güç noktasını bulmada diğer algoritmalara göre daha başarılı olduğu ifade edilebilir.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Güneş Enerji Sistemleri, Maksimum Güç Noktası, Optimizasyon Algoritmaları.



ABSTRACT

M.Sc. THESIS

OPTIMIZATION ALGORITHM BASED MAXIMUM POWER POINT TRACKING SYSTEM DESIGN FOR SOLAR ENERGY SYSTEM

Ibrahima DIALLO

**Bandırma Onyedi Eylül University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Serhat DUMAN

June 2022, 62 pages

Since the beginning of the 2000s, rapid developments in technology and the increase in the world population approaching 30% increased the need for energy demand day by day. The increase in energy demand and the limited fuel reserves in fossil fuel power generation plants have focused the researchers on the use of sustainable or renewable energy sources. Today, wind, solar, and hydroelectric energy sources are among the most widely used renewable energy sources. Solar energy systems are defined as energy sources with varying operating characteristics under different atmospheric conditions. To achieve higher efficiency in changing operating conditions, these systems must be operated at maximum power points. Both classical and artificial intelligence-based algorithms are used to operate solar energy systems at the maximum power point. Advances in technology have made it easier to use algorithms based on artificial intelligence in these systems.

In this thesis, the design of the maximum power point tracking algorithm based on cuckoo search, gray wolf algorithm, and particle swarm optimization algorithms is explained in detail. Simulation studies of the proposed maximum power point tracking algorithms for off-grid solar energy systems under constant irradiation, constant temperature, and partial shaded atmospheric

conditions are carried out. The results obtained from the proposed methods were compared among themselves and their success in finding the maximum power point was evaluated. According to the comparison results, it can be stated that the results obtained from the gray wolf algorithm under changing atmospheric conditions are more successful than other algorithms in finding the maximum power point.

Keywords: Renewable Energy Sources, Solar Energy Systems, Maximum Power Point, Optimization Algorithms

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	I
ABSTRACT	III
İÇİNDEKİLER.....	V
ŞEKİL LİSTESİ	VII
TABLO LİSTESİ.....	IX
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1 TEZİN AMACI.....	1
1.2 LİTERATÜR TARAMASI	2
1.3 TEZİN BÖLÜMLERİ	6
2. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ	7
2.1 FOTOVOLTAİK PANELLER	7
2.1.1 FV Sistemlerin Elektriksel Eşdeğer Devre Modelleri	7
2.1.2 FV Hücrelerden FV Panel ve Dizilerin Oluşturulması	10
2.1.3 FV Hücrelerin Karakteristik Eğrileri.....	12
3. OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI KULLANARAK MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP ALGORİTMASI TASARIMI	16
3.1 GRİ KURT OPTİMİZASYON ALGORİTMASI	16
3.1.1 Gri Kurt Optimizasyon Algoritmasının Matematiksel Modeli.....	17
3.1.1.1 Sosyal Hiyerarşi.....	17
3.1.1.2 Avın Çevrenmesi.....	17
3.1.1.3 Avlanma	18
3.1.1.4 Ava Saldırılması	18
3.1.1.5 Av Arama.....	19

3.2	GRİ KURT OPTİMİZASYON ALGORİTMASI KULLANILARAK MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP ALGORİTMASI TASARIMI.....	20
4.	BULGULAR.....	22
4.1	BENZETİM ÇALIŞMALARININ SONUÇLARI.....	22
4.1.1	Farklı Işınım Koşullarında Benzetim Çalışmaları	23
4.1.2	Farklı Sıcaklık Koşullarında Benzetim Çalışmaları	31
4.1.3	Kısmi Gölgele Koşullarda Benzetim Çalışmaları.....	38
5.	SONUÇ VE ÖNERİLER	55
6.	KAYNAKLAR.....	57
	ÖZGEÇMİŞ	62

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2-1: Bir diyot FV modelin elektriksel eşdeğer devresi.....	7
Şekil 2-2: İki diyot FV modelin elektriksel eşdeğer devresi.....	9
Şekil 2-3: Üç diyot FV modelin elektriksel eşdeğer devresi.....	9
Şekil 2-4: Hücreden panel elde edilişi.....	10
Şekil 2-5: Seri-paralel bağlı FV sistem modeli.....	11
Şekil 2-6: Seri bağlı FV panellerde akım-gerilim ilişkisi	12
Şekil 2-7: Paralel bağlı FV panellerde akım-gerilim ilişkisi.....	12
Şekil 2-8: Sabit sıcaklık-değişken ışıyım koşullarında FV hücrenin akım-gerilim karakteristiği.....	13
Şekil 2-9: Sabit sıcaklık-değişken ışıyım koşullarında FV hücrenin güç-gerilim karakteristiği.....	13
Şekil 2-10: Sabit ışıyım-değişken sıcaklık koşullarında FV hücrenin akım-gerilim karakteristiği.....	14
Şekil 2-11: Sabit ışıyım-değişken sıcaklık koşullarında FV hücrenin güç-gerilim karakteristiği.....	15
Şekil 3-1: Gri kurt ailesinin hiyerarşisi	16
Şekil 3-2: Gri kurt optimizasyon algoritmasının akış diyagramı	19
Şekil 3-3: Şebekeden bağımsız FV sistem blok diyagramı.....	20
Şekil 3-4: GKA-MGNT algoritmasının akış diyagramı.....	21
Şekil 4-1: FV sistem benzetim modelinin blok diyagramı	23
Şekil 4-2: Çalışma durumu 1: FV sistem akım grafiği.....	24
Şekil 4-3: Çalışma durumu 1: FV sistem gerilim grafiği	24
Şekil 4-4: Çalışma durumu 1: FV sistem güç grafiği	25
Şekil 4-5: Çalışma durumu 1: (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi	26
Şekil 4-6: Çalışma durumu 2: FV sistem akım grafiği.....	27
Şekil 4-7: Çalışma durumu 2: FV sistem gerilim grafiği	27
Şekil 4-8: Çalışma durumu 2: FV sistem güç grafiği	28
Şekil 4-9: Çalışma durumu 2: (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi	28
Şekil 4-10: Çalışma durumu 3: FV sistem akım grafiği.....	29
Şekil 4-11: Çalışma durumu 3: FV sistem gerilim grafiği	29

Şekil 4-12: Çalışma durumu 3: FV sistem güç grafiği	30
Şekil 4-13: Çalışma durumu 3: (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi	30
Şekil 4-14: Çalışma durumu 4: FV sistem akım grafiği.....	32
Şekil 4-15: Çalışma durumu 4: FV sistem gerilim grafiği	32
Şekil 4-16: Çalışma durumu 4: FV sistem güç grafiği	33
Şekil 4-17: Çalışma durumu 4: (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi	33
Şekil 4-18: Çalışma durumu 5: FV sistem akım grafiği.....	34
Şekil 4-19: Çalışma durumu 5: FV sistem gerilim grafiği	35
Şekil 4-20: Çalışma durumu 5: FV sistem güç grafiği	35
Şekil 4-21: Çalışma durumu 5: (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi	36
Şekil 4-22: Çalışma durumu 6: FV sistem akım grafiği.....	36
Şekil 4-23: Çalışma durumu 6: FV sistem gerilim grafiği	37
Şekil 4-24: Çalışma durumu 6: FV sistem güç grafiği	37
Şekil 4-25: Çalışma durumu 6: (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi	38
Şekil 4-26: Kısmi gölgeli FV sistem benzetim modeli.....	39
Şekil 4-27: Çalışma durumu 7: (a) FV sistem çıkış akımı, (b) yakınlaştırılmış hali	41
Şekil 4-28: Çalışma durumu 7: (a) FV sistem çıkış gerilimi, (b) yakınlaştırılmış hali.....	42
Şekil 4-29: Çalışma durumu 7: (a) FV sistem çıkış gücü, (b) yakınlaştırılmış hali	43
Şekil 4-30: Çalışma durumu 7: (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi	44
Şekil 4-31: Çalışma durumu 8: (a) FV sistem çıkış akımı, (b) yakınlaştırılmış hali	45
Şekil 4-32: Çalışma durumu 8: (a) FV sistem çıkış gerilimi, (b) yakınlaştırılmış hali.....	46
Şekil 4-33: Çalışma durumu 8: (a) FV sistem çıkış gücü, (b) yakınlaştırılmış hali	47
Şekil 4-34: Çalışma durumu 8: (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi	48
Şekil 4-35: Çalışma durumu 9: (a) FV sistem çıkış akımı, (b) yakınlaştırılmış hali	50
Şekil 4-36: Çalışma durumu 9: (a) FV sistem çıkış gerilimi, (b) yakınlaştırılmış hali.....	51
Şekil 4-37: Çalışma durumu 9: (a) FV sistem çıkış gücü, (b) yakınlaştırılmış hali	52
Şekil 4-38: Çalışma durumu 9: (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi	53

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
Tablo 4-1: SunPower SPR-X20-250-BLK model FV panel parametreleri	22
Tablo 4-2: DA-DA yükselten dönüştürücüye ait parametre değerleri	23
Tablo 4-3: Farklı ışıınım çalışma koşullarında sistem gerçek değerleri.....	26
Tablo 4-4: Farklı ışıınım koşullarında elde edilen benzetim sonuçları	26
Tablo 4-5: Farklı sıcaklık çalışma koşullarında sistem gerçek değerleri	31
Tablo 4-6: Farklı sıcaklık koşullarında elde edilen benzetim sonuçları.....	31
Tablo 4-7: Kısmi gölgeli koşullarda FV sistem benzetim durumları ve sistemin MGN değerleri.....	39
Tablo 4-8: Kısmi gölgeli koşullar altında elde edilen benzetim sonuçları.....	40

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
a	: Diyot idealite faktörü
G	: Güneş ışınlamı
I	: Akım
I_{D1}	: Diyot akımı
I_{FV}	: FV hücre çıkış akımı
I_{O1}	: Diyot doyum akımı
I_P	: Paralel direnç üzerinden akan akım
I_{PH}	: Foton akım kaynağı
I_{SC}	: Kısa devre akımı
K	: Boltzman sabiti (J/K)
N_P	: Paralel bağlı FV panel sayısı
N_S	: Seri bağlı FV panel sayısı
P	: Güç
P_{FV}	: FV hücre çıkış gücü
R_S	: Seri bağlı direnç
R_P	: Paralel bağlı direnç
V	: Gerilim
V_{FV}	: FV hücre çıkış gerilimi
V_{OC}	: Açık devre gerilimi
V_t	: Diyotun termal gerilimi
T_C	: Hücre sıcaklığı (K)
q	: Elektron yükü (C)
$\vec{A}$	: Katsayı vektörü
$\vec{C}$	: Katsayı vektörü
$\vec{X}_p$	: Awin pozisyon vektörü
$\vec{X}$	: Gri kurdun pozisyon vektörü

Kısaltmalar	Açıklama
BO	: Balina optimizasyonu
BTA	: Benzetim tavlama algoritması
ÇOA	: Çekirge optimizasyon algoritması
ÇTA	: Çiçek tozlaşma algoritması
DA	: Doğru akım
DE	: Diferansiyel evrim
DGM	: Darbe genişlik modülasyonu
FV	: Fotovoltaik
GA	: Genetik algoritma
GES	: Güneş enerji sistemleri
GGKA	: Guguk kuşu arama
GKA	: Gri kurt algoritması
GP	: Görev periyodu
GSAA	: Geliştirilmiş sincap arama algoritması
HGÇ	: Henry gaz çözünürlüğü
HŞO	: Harris şahin optimizasyonu
İAA	: İyileştirilmiş ateşböceği algoritması
İDE	: İyileştirilmiş diferansiyel evrim
İKKA	: İyileştirilmiş karınca kolonisi algoritması
İSK	: İyileştirilmiş sinüs kosinüs
İYA	: İyileştirilmiş yarasa algoritması
İYAA	: İyileştirilmiş yerçekimi arama algoritması
KÇTA	: Kaotik çiçek tozlaşma algoritması
LSPO	: Lider parçacık sürüsü optimizasyonu
MGN	: Maksimum güç noktası
MGNT	: Maksimum güç noktası takip
MKSO	: Modifiye edilmiş kedi sürüsü optimizasyon
MSSO	: Memetik salp sürü optimizasyonu
PSO	: Parçacık sürü optimizasyon
RTO	: Rüzgar tahrikli optimizasyon
SAA	: Sincap arama algoritması

SSO	: Salp sürü optimizasyonu
UJAYA	: Uyarlanabilir JAYA
YA	: Yarasa algoritması
YAA	: Yerçekimi arama algoritması
YAK	: Yapay arı kolonisi



1. GİRİŞ

Son yıllarda, artan dünya nüfusuna bağlı olarak teknoloji ve sanayideki son gelişmeler enerji talebindeki hızlı artışı devam etmektedir. Dünya üzerinde kullanılan enerji kaynakları içerisindeki fosil yakıtlı kaynaklar enerji talebinin karşılanmasında daha fazla bir yüzdeye sahiptir. Bununla birlikte, fosil yakıt rezervlerinin azalmasıyla bu yakıtı kullanan enerji üretim sistemlerinin artan enerji talebini karşılamada yetersiz kalması ve çevresel bozulmalara neden olması, dünyayı sürdürülebilir ve çevre dostu farklı enerji kaynaklarının kullanımına yönlendirmiştir. Fosil (kömür, petrol vb.) yakıtlar elektrik enerjisinin üretiminde kullanılırken çevreye önemli miktarda sera gazı yaymakta olup, çevre dostu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile birlikte bu sera gazlarının artış oranını kontrol edilebildiği görülmektedir. Günümüzde hidroelektrik, jeotermal, rüzgâr, biyokütle, dalga ve güneş enerjisini içeren yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı giderek artmaktadır.

Güneş enerji sistemleri (GES), güneş enerjisinin sınırsız olması, yakıt maliyeti olmaması, düşük bakım ve çevresel uygunluk gibi doğal avantajları nedeniyle yenilenebilir veya sürdürülebilir enerji kaynakları içerisinde kullanımı giderek artan önemli enerji kaynaklarından biridir.

1.1 TEZİN AMACI

GES, güneş ışınımını foton teorisine dayalı olarak güneş panelleri sayesinde doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren, değişen çevresel koşullara bağlı olarak ürettikleri akım ve gerilim değerleri değişen yenilenebilir enerji kaynağıdır. Akım-gerilim değerlerindeki değişime göre üretilen güç değeri de değişmektedir. Değişen çevresel koşullara bağlı olarak üretebilecekleri güç değeri değiştiğinden dolayı bu sistemlerin değişen çevresel koşullar altında maksimum güç noktalarında çalıştırılmaları gerekmektedir. Güneş enerji veya fotovoltaik (FV) sistemlerinin, maksimum güç noktalarında çalıştırılabilmesi için değiştir-gözetle, artan iletkenlik, tepe tırmanma algoritmaları gibi algoritmalar literatürde kullanılmıştır. Bu algoritmaların maksimum güç noktasına geç yakınsama ve maksimum güç noktası etrafında çok fazla salınım yapması gibi dezavantajlara sahiptir.

Teknolojideki yaşanan hızlı gelişmeler, işlemci hızlarının artması araştırmacılar tarafından esnek hesaplama yöntemlerine dayalı geliştirilen maksimum güç noktası takip algoritmalarının uygulanabilmesini kolaylaştırmıştır. Esnek hesaplama yöntemlerine dayalı algoritmalar hem

değişen çevresel koşullar altında maksimum güç değerini bulmada, hem de gölgeli koşullar altında global maksimum güç noktasını bulmada kullanılmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında hem değişen hem de gölgeli çevresel koşullar altında GES’de maksimum güç noktasını belirleyebilmek için optimizasyon algoritmalarına dayalı maksimum güç noktası takip algoritmalarının tasarımı amaçlanmıştır.

1.2 LİTERATÜR TARAMASI

GES’lerde sistemin sürdürülebilirliği, daha az bakım maliyeti, karmaşık parçaların olmaması, doğaya zararlı gazların salınmaması ve çevre dostu olması gibi birçok avantajı, bu sistemleri elektrik enerjisi üretiminde daha fazla tercih edilir kılmaktadır. Bu sistemlerin başlıca dezavantajı ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı, GES’lerden daha fazla verim elde edebilmek için sistemlerin değişen çevresel koşullar altında maksimum güç noktasında (MGN) çalıştırılmaları kaçınılmaz olmuştur [1]. GES’lerin MGN’de çalıştırılabilmesi için literatürde doğrudan, dolaylı ve yapay zekâ veya esnek hesaplama yöntemlerine dayalı maksimum güç noktası takip (MGNT) algoritmaları önerildiği ifade edilmektedir [2[3].

Klasik algoritmalarla değiştir-gözetle, artan iletkenlik ve tepe tırmanma algoritmaları gerçek zamanlı uygulamalarda kolay uygulanabilir olduğundan GES’lerde MGN’yi bulmak için en çok tercih edilen algoritmalarındandır. Bu algoritmaların çalışmasında temel prensip; değişen çevresel koşullar altında GES’lerdeki çalışma noktalarında oluşacak değişimin gözlemlenmesi, algoritmaların çalışma karakteristiklerine uygun maksimum güç noktası için akım, gerilim veya darbe genişlik modülasyonundaki değişimin belirlenmesidir. Bu algoritmalarla kullanılan değişim katsayısı, belirlenen değişimin yönüne bağlı olarak maksimum güç noktasında oluşan salınımları etkilemektedir. Değişim katsayısının değeri, maksimum güç noktasında sürekli olarak yüksek veya düşük seviyede salınımlara yol açarken sistemde de güç kayıplarına neden olmaktadır. Ayrıca, hızlı değişen atmosferik koşullara verdiği tepkinin yavaş olması ve ani değişen durumlarda MGN’yi yanlış yönde arama gibi özelliklerine sahip olması algoritmaların zayıf yönlerini bize göstermektedir [4[5].

Bu dezavantajları ortadan kaldırmak için birçok araştırmacı GES’lerde MGN noktalarını belirleyebilmek için optimizasyon algoritmalarını kullanmaya başlamışlardır. Javed ve Ishaque [6], çalışmalarında güneş panellerinin üzerinde farklı gölgelenme koşulları altında MGN’yi belirleyebilmek için uyarlanabilir parçacık sürü optimizasyon (PSO) algoritmasını kullanmışlardır. Yazarlar, PSO algoritmasının çeşitli uyarlanabilir versiyonlarını MGN’yi bulmak

için elde edilen sonuçların kendi içlerinde başarı oranlarını değerlendirmişlerdir. Önerilen yöntemin bir fotovoltaiik dizide MGN'yi bulma başarısının neredeyse %100 olduğu belirtilmiştir.

Sridhar vd. [7], çekirgelerin kaynaşması, avlarını keşfetmek ve sömürmek için kullanılan operatör geliştirilerek, geliştirilmiş çekirge optimizasyon algoritmasını (ÇOA) kısmi gölgelenmeye maruz kalmış altı panelden oluşan fotovoltaiik dizide MGN'yi bulmada kullanılmışlardır. Önerilen yöntemden elde edilen sonuçlar, değiştir-gözetle, PSO ve diferansiyel evrim (DE) algoritmalarından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. ÇOA algoritmasının MGN'yi bulma, yakınsama, dinamik tepki ve salınımlar gibi çeşitli önemli kriterler açısından diğer algoritmalara göre daha iyi olduğu ifade edilmiştir.

Fares vd. [8], geliştirilmiş sincap arama algoritmasına (GSAA) dayalı yeni bir MGNT algoritmasını çalışmalarında sunmuşlardır. GSAA tabanlı MGNT algoritmasının performansı PSO, genetik algoritma (GA) ve sincap arama algoritma (SAA) tabanlı MGNT algoritmaları ile farklı çalışma koşulları altındaki benzetim çalışmalarında karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre algoritmanın uygulanabilirliği ortaya çıkmış ve önerilen yöntemin deneysel olarak da performansı test edilmiştir. Önerilen yaklaşımın hem MGN'yi bulma hem de MGN'yi izleme süresi bakımından diğer algoritmalara göre daha iyi sonuçlara sahip olduğu, yazarlar tarafından sayısal olarak çalışmalarında gösterilmiştir.

Phanden vd. [9], bir FV sisteminin MGN'sini doğru olarak bulabilmek için doğru akım (DA) dönüştürücüde anahtarlama elamanının görev periyodunu kontrol edebilen iyileştirilmiş karınca kolonisi algoritmasını (İKKA) değişen atmosferik koşullar altında kullanmışlardır. Önerilen yapının, global MGN'yi bulmada ve FV sistemin çıkışındaki güç dalgalanmalarını en aza indirmede geleneksel MGNT algoritmalarından daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir.

Mirza vd. [10], Henry gazı çözünürlüğü (HGÇ) algoritması tabanlı MGNT metodunu farklı optimizasyon algoritmalara dayalı MGNT yöntemleri ile karşılaştırmasını çalışmalarında yapmışlardır. Karşılaştırma kriterleri; izleme süresi, yerleşme süresi, güç izleme verimliliği ve salınım azaltma olarak belirlenmiş olup, değişen çevresel koşullar altında elde edilen sonuçlara göre HGÇ'nin karşılaştırılan optimizasyon algoritmalarından daha iyi performans gösterdiğini ve FV sistemlerinde yaygın olarak bulunan salınımları, dalgalanmaları ve karmaşık kısmi gölgeleme sorunlarını başarıyla çözdüğü yazarlar tarafından literatüre sunulmuştur.

Mansoor vd. [11], Harris şahin optimizasyonu (HŞO) algoritması temelli yeni bir MGNT algoritması FV sistemler için önermişlerdir. Dört farklı çalışma durumu için önerilen yöntem incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, önerilen yöntem global maksimum güç noktasını izlemeye başarıyla gerçekleştirdiği ve maksimum güç noktası etrafında oluşan salınımları etkili

bir şekilde azalttığı ifade edilmiştir. Yazarlar, HŞO'nun yüksek verimliliği nedeniyle, GES'lerin daha verimli kullanılarak tekno-ekonomik fizibilitesine katkıda bulunacağını önermişlerdir.

Premkumar ve Sowmya [12], yeniden başlatmalı balina optimizasyon (BO) algoritmasına dayalı yeni bir MGNT yöntemini çalışmalarında araştırmışlardır. Önerilen tekniğin performansını doğrulamak için benzetim çalışmaları farklı çalışma koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntemden elde edilen sonuçların diğer MGNT algoritmalarından elde edilen sonuçlarla karşılaştırıldığında önerilen tekniğin daha az zaman, daha az güç kaybı ve yüksek verim ile izlemede üstün olduğu sonucu çalışmada gösterilmiştir.

Mirza ve ekibi [13] tarafından, FV sistemlerinden maksimum gücün elde edilmesi için salp sürü optimizasyon (SSO) algoritması tabanlı yeni bir MGNT algoritması yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem, literatürde bilinen yöntemlerle altı farklı senaryo durumunda incelenmiştir. Sonuçlar, önerilen yöntemin izleme süresi, güç dönüştürme verimliliği ve sağlamlık açısından mevcut yöntemlerden önemli ölçüde daha iyi performans gösterdiğini açıklamaktadır. Bu sonuçlara göre, önerilen yöntemin MGN'yi bulmada alternatif bir yöntem olabileceği ifade edilebilir.

Abdalla vd. [14], düzgün dağılımlı olmayan güneş ışınlama koşulları altında çalışan FV sistemler için MGN'nin belirlenmesinde rüzgar tahrikli optimizasyon (RTO) algoritmasına dayanan sağlam bir MGNT yöntemi önermişlerdir. Önerilen yöntem ile literatürde önceden geliştirilmiş yöntemler arasında farklı gölgelenme senaryoları altında kapsamlı bir karşılaştırma yapılmış ve sonuçların RTO algoritmasına dayalı MGNT algoritmasının MGN'yi bulmada daha yüksek başarı oranına sahip olduğunu göstermektedir.

Yang ve çalışma grubu tarafından [15], memetik salp sürü optimizasyon (MSSO) algoritması kullanılarak MGNT algoritması tasarım çalışmaları yapılmıştır. Önerilen MGNT yöntemi, kısmi gölgeli atmosferik koşullar altında hem benzetim hem de dSpace tabanlı bir HIL uygulama çalışmaları yapılmıştır. Önerilen yöntemin sonuçları, çalışmada kullanılan diğer MGNT algoritmaların sonuçlarından daha iyi performans gösterdiği ve maksimum güç noktası etrafında oluşan salınımları en aza indirdiği göstermektedir.

Pilakkat ve Kanthalakshmi [16], kısmi gölgeleme koşulları altındaki FV sistemlerin maksimum güç noktası takibinde yeni geliştirilmiş bir hibrit MGNT yöntemi önerilmişlerdir. Önerilen yöntemde, geleneksel değiştir-gözetle algoritması ve yapay arı kolonisi (YAK) algoritması MGN'yi değişen gölgeleme durumları altında izlemek için birlikte entegre edilmiştir. Önerilen yöntem, YAK, artan iletkenlik ve değiştir-gözetle algoritmalarından yapılan benzetim

çalışmalarında daha iyi performans göstermiş ve maksimum güç noktası etrafında oluşan salınımların azalmıştır. Önerilen yöntemin uygulanabilirliği gösterilmiştir.

Mohamed vd. [17], kısmi gölgelenme koşulları altında FV sistemin MGN'sini belirlemek için hibrit PSO- yerçekimi arama algoritması (YAA) algoritmasını literatüre sunmuşlardır. Önerilen ve diğer algoritmalarından elde edilen benzetim sonuçları kullanılarak istatistiksel ve duyarlılık analizi yapılmıştır. Bu sonuçlara ve algoritmaların MGN'yi bulmadaki başarısı değerlendirildiğinde önerilen yöntemin daha başarılı olduğu ifade edilmiştir.

Li vd. [18], iyileştirilmiş yerçekimi arama algoritması (İYAA) ile FV sistemi için bir MGN izleme yöntemi önermişlerdir. Önerilen yöntem kullanılan diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında, izleme süresi ve izleme doğruluğunda daha etkili olduğu görülmüştür. Ayrıca, İYAA'nın MGN'yi bulmada performansı arttırıldığı için FV sistemin çıktı verimliliği artırıldığı, kurulum ve uygulama sürecindeki maliyet etkinliği optimize edildiği yazarlar tarafından belirtilmiştir.

Guo vd. [19], modifiye edilmiş kedi sürüsü optimizasyon (MKSO) algoritması tabanlı MGNT algoritmasını FV sistemde MGN'yi bulmak için önermişlerdir. Önerilen yöntemin uygulanabilirliği ve etkinliği, farklı çalışma koşulları dikkate alınarak çeşitli simülasyonlar ve deneyler ile doğrulanmıştır. Önerilen yöntem, MGN etrafındaki güç salınımlarını azaltmakta olduğu, izleme doğruluğu ve hızlı yakınsama açısından yüksek performans sergilemekte olduğu belirtilmiştir.

Wu ve Yu [20], kaos arama stratejisi tabanlı yarasa algoritmasını iyileştirilmiş yarasa algoritması (İYA) olarak literatüre sunmuşlardır. İYA öncelikle belirlenen test fonksiyonlarında üstünlüğü kanıtlanmıştır. Sonra, Önerilen İYA FV sistemlerde MGN'yi bulmak için kısmi gölgeli koşullar altında test edilmiştir. İYA tabanlı MGNT algoritması FV sistemin maksimum güç noktası takibini gerçekleştirmede ve çıkış eğrisinin kararlılığı iyileştirmede diğer algoritmalarla kıyasla daha iyi bir performans gösterdiği ifade edilmiştir.

Literatür detaylı bir şekilde incelendiğinde, sabit, ani değişen ve kısmi gölgeli atmosferik koşullar altında yarasa algoritması (YA) [21], çiçek tozlaşma algoritması (ÇTA) [22], lider parçacık sürüsü optimizasyonu (LPSO) [23], iyileştirilmiş diferansiyel evrim (İDE) [24], yapay arı kolonisi (YAK) [25], uyarlanabilir JAYA (UJAYA) [26], kaotik çiçek tozlaşma algoritması (KÇTA) [27], iyileştirilmiş ateşböceği algoritması (İAA) [28], benzetim tavlama algoritması (BTA) [29] ve iyileştirilmiş sinüs kosinüs (İSK) [30] gibi optimizasyon algoritmalarına dayalı MGNT algoritmaları GES veya FV sistemlerde MGN'yi bulmak ve MGN etrafında oluşan güç salınımlarını en aza indirmek için önerilmektedir.

1.3 TEZİN BÖLÜMLERİ

Tez çalışması aşağıda kısaca tanıtılan bölümlerden oluşmaktadır.

- **Bölüm 1:** Tezin amacı, literatür taraması ve tezin bölümlerinin tanıtıldığı bölüm giriş bölümü olarak tanımlanmaktadır.
- **Bölüm 2:** GES’lerdeki FV panellerin yapısı, elektriksel eşdeğer devre modelleri, güneş ışıınının ve sıcaklığın paneller üzerindeki etkisi detaylı bir şekilde tartışılmaktadır.
- **Bölüm 3:** Optimizasyon algoritmalarına dayalı MGNT yapısı detaylı bir şekilde açıklanmıştır.
- **Bölüm 4:** Optimizasyon algoritmalarına dayalı olarak tasarlanan MGNT algoritmasının çeşitli atmosferik koşullar altında benzetim çalışmaları yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.
- **Bölüm 5:** Sonuç ve önerilerin tartışmaya sunulduğu bölümdür.

2. GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLERİ

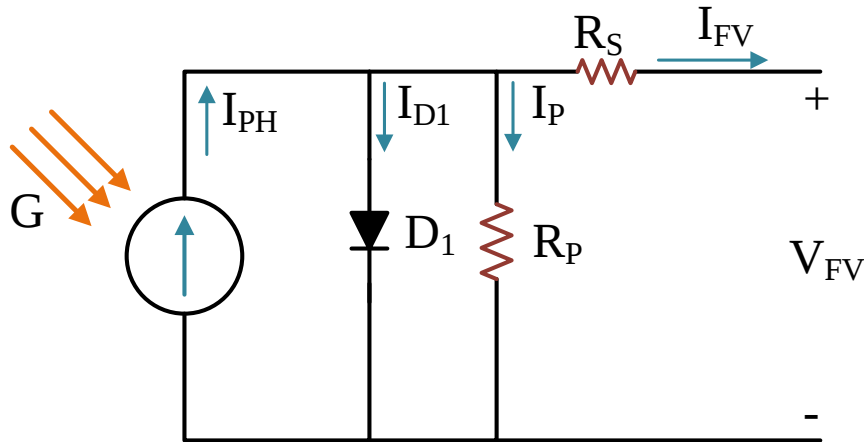
Bu bölümde, GES’lerde kullanılan FV panellerin yapısı, elektriksel eşdeğer devre modelleri ve değişen atmosferik koşullar altında gösterdiği karakteristik yapıları detaylı bir şekilde anlatılmaktadır.

2.1 FOTOVOLTAİK PANELLER

GES’lerdeki FV paneller FV hücrelerin birleşiminden oluşmaktadır. FV hücreler, yüzey alanlarına düşen güneş ışığını fotovoltaik etkiye bağlı olarak elektrik enerjisine çeviren farklı yarı iletken malzemelerden yapılmış elemanlardır. FV etki, ilk olarak iki elektrot arasındaki gerilimin elektrolit çözelti üzerine düşen ışığın etkisine bağlı olarak değiştiği 1839 yılında Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel tarafından yapılan çalışma ile gösterilmiştir. Teknolojinin ilerlemesiyle silisyum, amorf silisyum, bakır indiyum diselenid ve garyum arsenid gibi yarıiletken malzemelerin kullanımı ve verimlerindeki iyileşmelere bağlı olarak FV sistemlerinin kullanımı günümüzde giderek artmaktadır [31], [32], [33], [34], [35].

2.1.1 FV Sistemlerin Elektriksel Eşdeğer Devre Modelleri

FV sistemlerin elektriksel eşdeğeri bir, iki ve üç diyot modelleri kullanılarak gösterilmektedir [36], [37]. FV hücrenin bir diyot elektriksel eşdeğer devre modeli Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2-1: Bir diyot FV modelin elektriksel eşdeğer devresi

Şekil 2.1'deki elektriksel devre modeli Kirchhoff'un akım kanuna göre Denklem 2.1'de gösterildiği gibi ifade edilmektedir.

$$I_{FV} = I_{PH} - I_{D1} - I_P \quad (2.1)$$

Denklem 2.1'deki diyot akımı FV modelin diyot termal gerilimi, çıkış gerilimi ve akımı değerlerine bağlı olarak Denklem 2.2'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$I_{D1} = I_O \left[\exp \left(\frac{V_{FV} + (I_{FV} \times R_S)}{V_t} \right) - 1 \right] \quad (2.2)$$

Diyotun termal gerilimi ve elektriksel eş devre modelinin paralel kol akımı aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$V_t = \frac{aKT_C}{q} \quad (2.3)$$

$$I_P = \frac{V_{FV} + (I_{FV} \times R_S)}{R_P} \quad (2.4)$$

Şekil 2.1'deki bir diyot FV modelin çıkış akımı Denklem 2.5'de gösterildiği gibidir.

$$I_{FV} = I_{PH} - I_O \left[\exp \left(\frac{V_{FV} + (I_{FV} \times R_S)}{V_t} \right) - 1 \right] - \frac{V_{FV} + (I_{FV} \times R_S)}{R_P} \quad (2.5)$$

Şekil 2.1'deki devre modeli kullanılarak FV diziler oluşturulmak istenirse, FV modüller seri ve paralel bağlanarak çıkış akımı ve gerilimi arttırılabilir. Bu tanımlamaya bağlı olarak, Denklem 2.6'da çıkış akımı matematiksel olarak gösterilmektedir.

$$I_{FV} = N_P I_{PH} - N_P I_O \left[\exp \left(\frac{1}{V_t} \left(\frac{V_{FV}}{N_S} + \frac{I_{FV} R_S}{N_P} \right) \right) - 1 \right] - \frac{N_P}{R_P} \left(\frac{V_{FV}}{N_S} + \frac{I_{FV} R_S}{N_P} \right) \quad (2.6)$$

Şekil 2-2: İki diyot FV modelin elektriksel eşdeğer devresi

$$I_{FV} = I_{PH} - I_{O1} \left[\exp \left(\frac{V_{FV} + I_{FV} R_S}{V_{t1}} \right) - 1 \right] - I_{O2} \left[\exp \left(\frac{V_{FV} + I_{FV} R_S}{V_{t2}} \right) - 1 \right] - \frac{V_{FV} + I_{FV} R_S}{R_P}$$
$$I_{FV} = I_{PH} - I_{O1} \left[\exp \left(\frac{V_{FV} + I_{FV} R_S}{V_{t1}} \right) - 1 \right] - I_{O2} \left[\exp \left(\frac{V_{FV} + I_{FV} R_S}{V_{t2}} \right) - 1 \right] - \frac{V_{FV} + I_{FV} R_S}{R_P} \quad (2.7)$$

FV hücrenin üç diyot elektriksel eşdeğer devre modeli Şekil 2.3’de gösterilmiştir. Şekil 2.3’de gösterilen elektriksel eşdeğer devre modeli matematiksel olarak Denklem 2.9 ve Denklem 2.10’da gösterildiği gibi ifade edilmektedir.

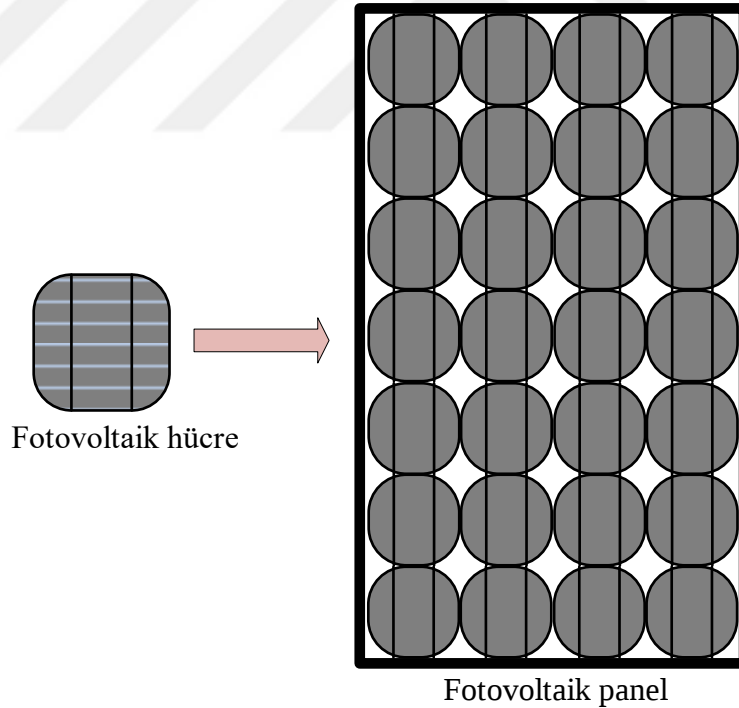
9

$$I_{FV} = I_{PH} - I_{O1} \left[\exp \left(\frac{V_{FV} + I_{FV} R_S}{V_{t1}} \right) - 1 \right] - I_{O2} \left[\exp \left(\frac{V_{FV} + I_{FV} R_S}{V_{t2}} \right) - 1 \right] - I_{O3} \left[\exp \left(\frac{V_{FV} + I_{FV} R_S}{V_{t3}} \right) - 1 \right] - \frac{V_{FV} + I_{FV} R_S}{R_P} \quad (2.9)$$

$$V_{t1} = \frac{a_1 K T_C}{q}, \quad V_{t2} = \frac{a_2 K T_C}{q}, \quad V_{t3} = \frac{a_3 K T_C}{q} \quad (2.10)$$

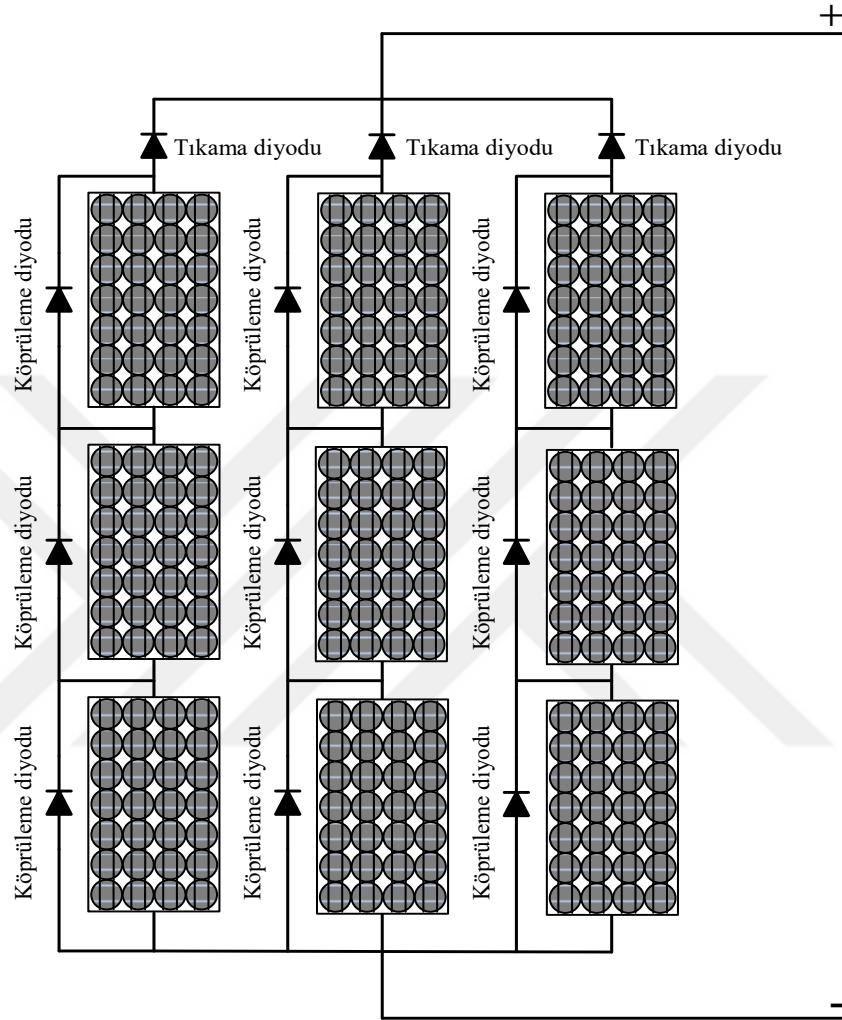
2.1.2 FV Hücrelerden FV Panel ve Dizilerin Oluşturulması

FV hücreler üretim karakteristiklerine bağlı olarak atmosferik koşullardaki değişimlerde düşük güç üretmektedirler. Şekil 2.4’de FV hücreden bir FV panel elde edilmesi gösterilmektedir. FV panelin elde edilmesinde üretilecek panel verilerine bağlı olarak hücreler belli sayıda seri bağlanarak çıkış gerilimi arttırılır.



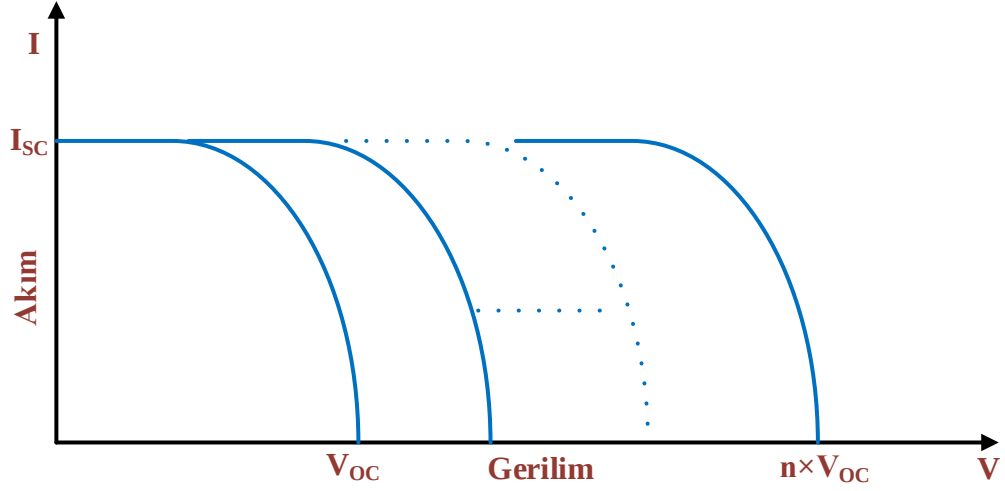
Şekil 2-4: Hücreden panel elde edilişi

Eğer yüksek güçte bir FV veya GES sistemi kurulacak ise, sistemde üretilecek gerilim değerinin arttırmak için FV paneller seri, akım değerini arttırmak için FV paneller paralel bağlanarak Şekil 2.5'deki devre modeli kurulmaktadır.

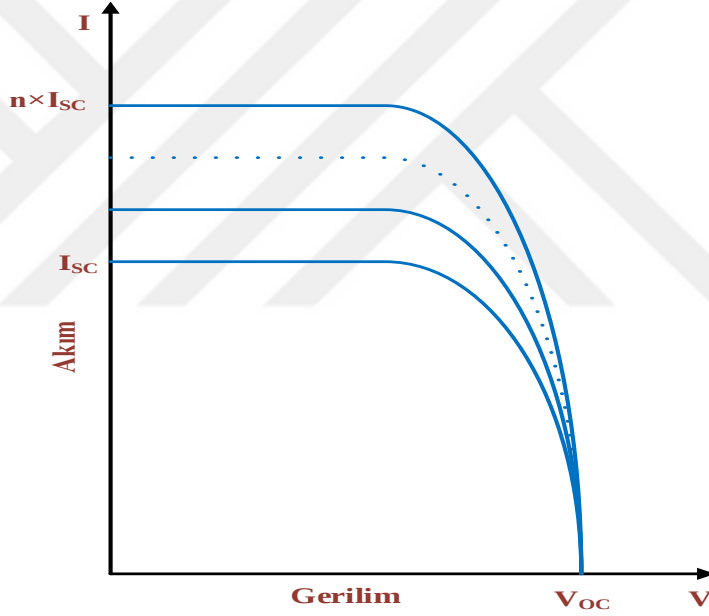


Şekil 2-5: Seri-paralel bağlı FV sistem modeli

GES sistemlerinde istenilen güce ulaşabilmek için sistemin gerilim ve akım değerlerinin o gücü elde edebilecek değere getirilmesi gerekmektedir. GES sistemlerinde, FV paneller seri bağlanarak gerilim değerleri arttırılmakta olup, sistemdeki akım-gerilim ilişkisi Şekil 2.6'da gösterildiği gibidir. Şekil 2.7'de ise, FV paneller paralel bağlanarak istenilen güç değerini sağlayacak sistem akımı elde edilmektedir.



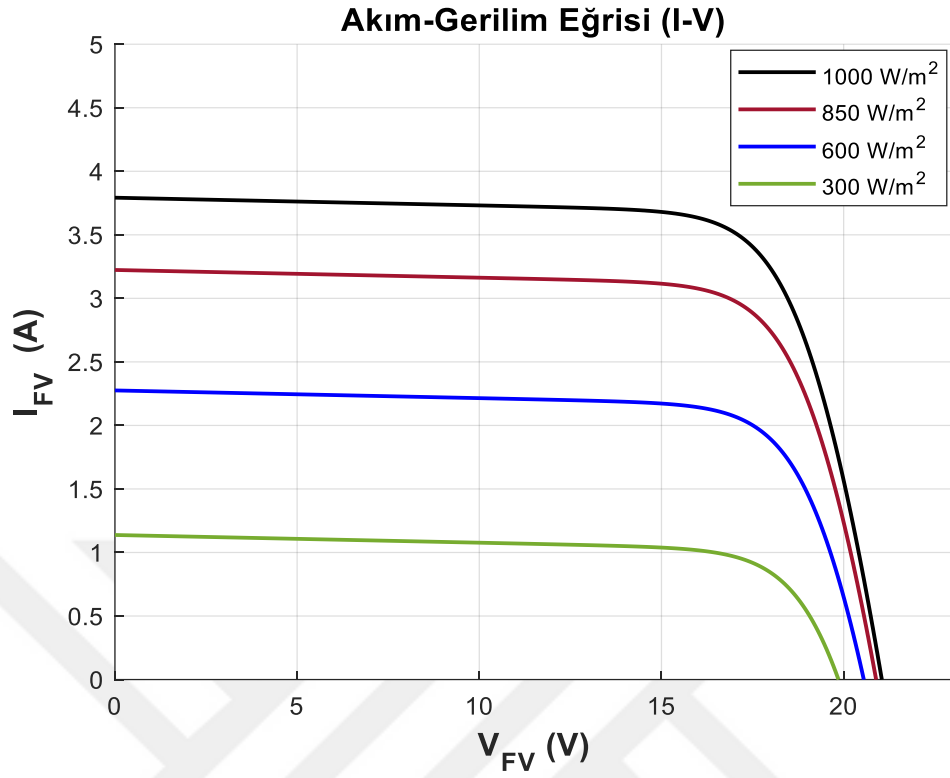
Şekil 2-6: Seri bağlı FV panellerde akım-gerilim ilişkisi



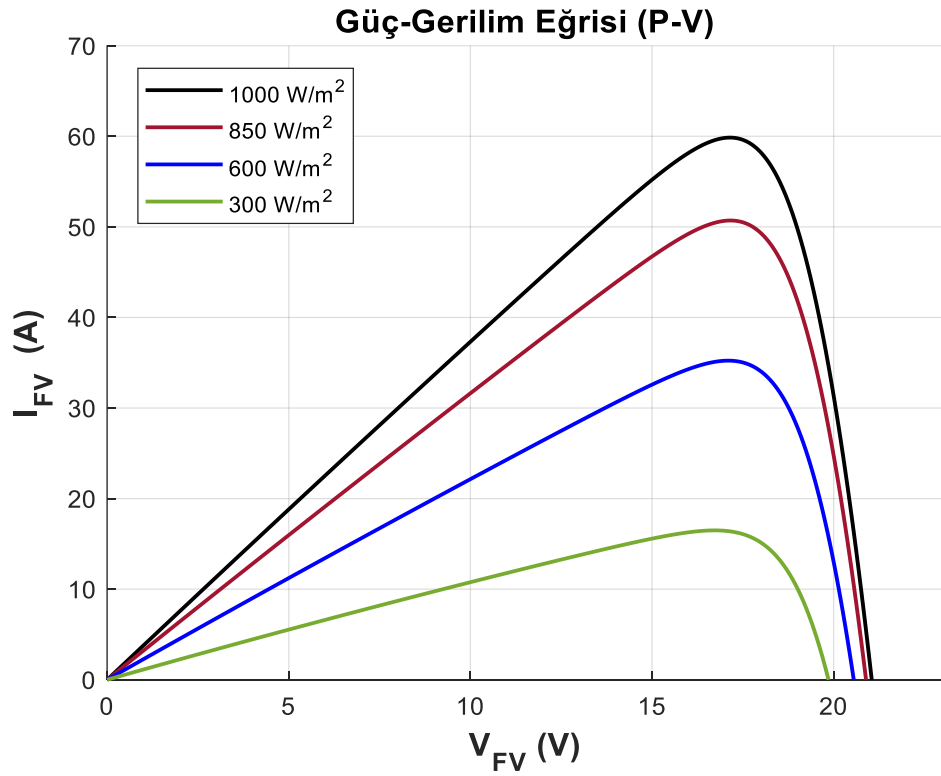
Şekil 2-7: Paralel bağlı FV panellerde akım-gerilim ilişkisi

2.1.3 FV Hücrelerin Karakteristik Eğrileri

FV hücreler veya GES'lerde kullanılan FV paneller değişen atmosferik koşullar altında farklı çıkış karakteristikleri göstermektedir. Atmosferik koşulların değişimiyle, güneş ışıınım değeri ve sıcaklık değeri FV hücrelerin çalışma karakteristiğini etkileyen önemli faktörlerdendir. Sabit sıcaklık-değişen ışıınım koşulları altında, bir FV hücrenin akım-gerilim, güç-gerilim karakteristikleri Şekil 2.8 ve Şekil 2.9'da gösterilmektedir.

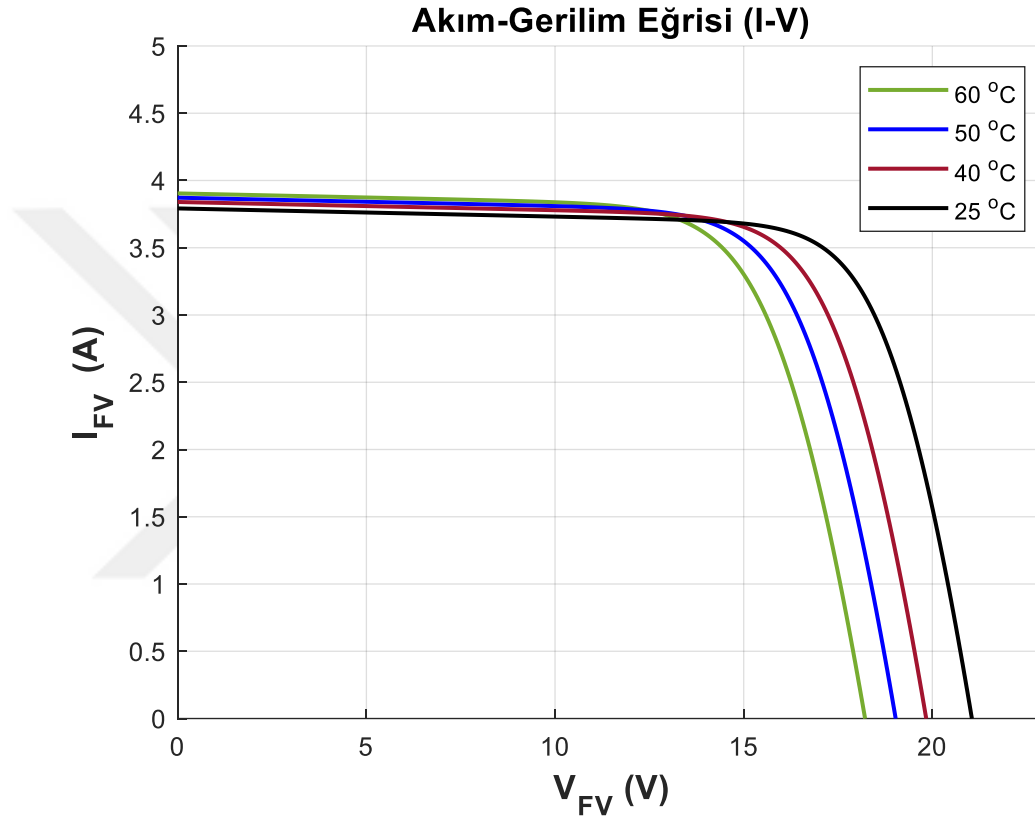


Şekil 2-8: Sabit sıcaklık-değişken ışınlam koşullarında FV hücrenin akım-gerilim karakteristiği



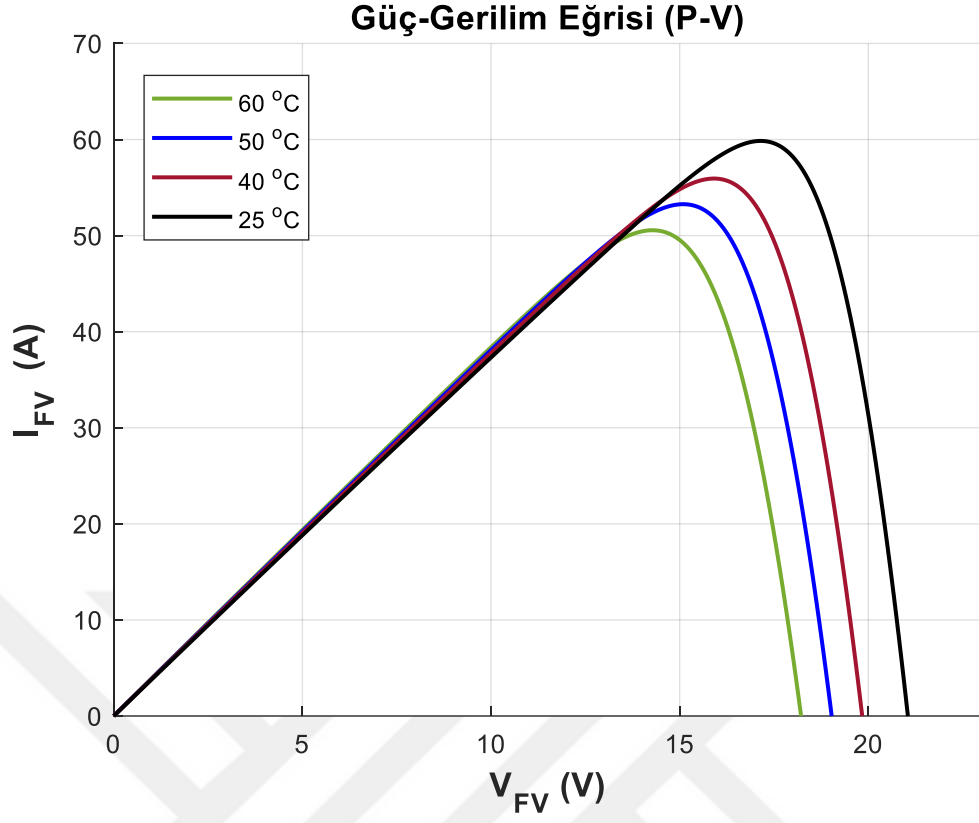
Şekil 2-9: Sabit sıcaklık-değişken ışınlam koşullarında FV hücrenin güç-gerilim karakteristiği

Atmosferik koşullardaki değişime bağlı olarak, güneş ışınım şiddetinde meydana gelen değişimlerde FV hücrenin kısa devre akımındaki değişim doğrusal, açık devre gerilimindeki değişimin ise logaritmik olduğu Şekil 2.8’de görülmektedir. Kısa devre akımında ve çıkış akımında meydana gelen büyük değişimler, FV hücrenin çıkış gücünde de aynı oranda etki ettiği Şekil 2.9’da gösterilmektedir. Sabit ışınım-değişken sıcaklık koşulları altında, bir FV hücrenin akım-gerilim, güç-gerilim karakteristikleri Şekil 2.10 ve Şekil 2.11’de sunulmuştur.



Şekil 2-10: Sabit ışınım-değişken sıcaklık koşullarında FV hücrenin akım-gerilim karakteristiği

Sabit ışınım-değişken sıcaklık koşullarında bir FV hücrenin akım gerilim karakteristiği incelendiğinde, kısa devre akım değerindeki değişimin açık devre gerilimindeki değişime nazaran daha az olduğu Şekil 2.10’dan görülmektedir. Sıcaklık değerinin artışına bağlı olarak gerilim değerindeki azalmalar çıkış gücünde de azalmalara neden olduğu Şekil 2.11’de gösterilmiştir.



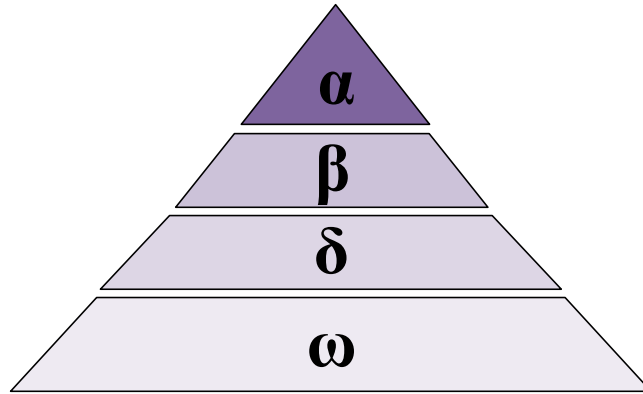
Şekil 2-11: Sabit ışınlım-değişken sıcaklık koşullarında FV hücrenin güç-gerilim karakteristiği

3. OPTİMİZASYON ALGORİTMALARI KULLANARAK MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP ALGORİTMASI TASARIMI

Bu bölümde, değişen atmosferik koşullar altında GES sistemlerinin MGN’de çalıştırılması için optimizasyon algoritmalarına dayalı MGNT algoritmasının tasarımı detaylı bir şekilde anlatılmaktadır. MGNT algoritmasının tasarımı için guguk kuşu arama (GGKA) [38] algoritması, gri kurt algoritması (GKA) [39] ve PSO [40] algoritmasını kullanılmıştır. Bu optimizasyon algoritmaları literatürde birçok optimizasyon probleminin çözümünde kullanılan algoritmalar olarak ifade edilebilir. Bölüm 4’te benzetim çalışmaları sonucunda elde edilen sonuçlara göre, GKA algoritmasına dayalı MGNT algoritması GGKA ve PSO algoritmaları kullanılarak tasarımı yapılan MGNT algoritmalarından MGN’yi bulmada daha başarılı olduğu için bu bölümde GKA algoritması detaylı bir şekilde anlatılacaktır.

3.1 GRİ KURT OPTİMİZASYON ALGORİTMASI

Gri kurtlar, besin zincirinin en üstünde yer alan, sürü halinde yaşayan ve bozkurt ailesine ait apex yırtıcıları olarak tanımlanmaktadırlar. Gri kurt ailesi kendi içerisinde Şekil 3.1’de gösterildiği gibi çok katlı sosyal baskın hiyerarşisini içeren bir düzene sahiptir. Bu ailede liderler, alfa olarak adlandırılan bir erkek ve bir dişiden oluşmaktadır [39].



Şekil 3-1: Gri kurt ailesinin hiyerarşisi

Alfa avlanma, uyuma yeri, uyuma zamanı ve bezer konularda karar vermekte olup, aldıkları kararlar tüm sürüye dikte edilmektedir. Bu yüzden, alfa kurtları sürü içerisinde baskın kurt olarak da adlandırılmaktadır. Ayrıca alfa kurtları sürü içerisindeki en güçlü üye değil, sürüyü yönetebilen en iyi üye olarak ifade edilir. Bu durum, bir sürüde organizasyon ve disiplinin, güçten daha önemli olduğunu göstermektedir. Şekil 3.1’deki hiyerarşide ikinci bölüm beta olarak

adlandırılmakta olup, betalar karar vermede ve diğer faaliyetlerde alfaya yardımcı olan kurtlar olarak tanımlanmaktadır. En düşük seviyeli kurt ise omega olup, bu kurtlar her zaman diğer baskın kurtların talimatlarına uymak zorundadırlar. Bu kurtların türde hiçbir etkinliğinin olmadığı gözükse bile, bu türün kaybolması durumunda sürü içerisinde kargaşa ve kaosun çıktığı görülmektedir [39].

Bu aile içerisinde bir kurt alfa, beta veya omega değilse delta olarak adlandırılmaktadır. Delta kurtları hiyerarşideki alfa ve beta kurtlarına boyun eğerken, omega kurtlarına ise hükmederler. Sürü içerisindeki izciler, nöbetçiler, yaşlılar, avcılar ve bakıcılar bu bölüme girmektedir. Mirjalili vd. [39], gri kurtların doğal yaşamlarındaki bu davranışlarını matematiksel olarak modelleyerek gri kurt optimizasyon algoritması adını verdikleri optimizasyon algoritmasını literatüre sunmuşlardır. GKA 2014 yılından itibaren farklı bilim alanlarında birçok optimizasyon probleminin çözümünde kullanılmıştır [41], [42], [43], [44], [45], [46]. GKA'nın matematiksel olarak modellenmesi detaylı bir şekilde bir sonraki alt bölümde verilmiştir.

3.1.1 Gri Kurt Optimizasyon Algoritmasının Matematiksel Modeli

Bu bölümde, gri kurt sürüsünün doğal yaşamda göstermiş olduğu sosyal hiyerarşi, izleme, kuşatma ve saldırma sürü davranışlarının matematiksel modelleri gösterilmektedir [39].

3.1.1.1 Sosyal Hiyerarşi

GKA algoritması tasarlanırken kurtların sosyal hiyerarşisini matematiksel olarak modellemek için çözüm uzayındaki en iyi çözüm alfa (α), ikinci ve üçüncü en iyi çözümler sırasıyla beta (β) ve delta (δ) olarak ifade edilmektedir. Çözüm uzayındaki diğer çözümler ise omega (ω) olarak adlandırılmaktadır. GKA algoritmasında, optimizasyon süreci α , β ve δ tarafından yönlendirilirken, ω kurtları ise hiyerarşik düzendeki kendinden önce gelen bu üç kurt tipini takip etmektedir.

3.1.1.2 Avın Çevrelenmesi

Gri kurtlar, av sırasında avının etrafını sararak gösterdiği davranış matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)| \quad (3.1)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (3.2)$$

$\vec{A}$ ve $\vec{C}$ vektörleri Denklem 3.3 ve Denklem 3.4'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (3.3)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r}_2 \quad (3.4)$$

$\vec{a}$ 'nın bileşenleri iterasyona bağlı olarak 2'den 0'a doğrusal bir şekilde azalırken, r_1 ve r_2 [0,1] arasında rastgele üretilen vektör olarak tanımlanmaktadır. İki boyutlu pozisyon vektörü ve olası sonraki pozisyonları, avın pozisyonuna göre gri kurdun kendi pozisyonunu güncellemesi Denklem 3.1 ve Denklem 3.2'deki denklemlerde görülmektedir. r_1 ve r_2 rastgele üretilen vektörler gri kurtların avı etrafında alacağı yeni pozisyonun konumuna etki ettiği ifade edilir.

3.1.1.3 Avlanma

Gri kurtlar, alfa kurtları tarafından yönlendirilen avın yerini tanıma ve onları kuşatma yeteneğine sahip sürülerdir. Beta ve delta kurtları avlanma esnasında ara sıra avlanmaya katılan türlerdir. Mirjalili vd., alfa, beta ve delta türlerinin avın potansiyel konumu hakkında daha iyi bilgiye sahip olduğu kabul ederek, omega kurtlarının konumlarını bu üç türe göre güncellendiği avlanma davranışının matematiksel olarak modelini Denklem 3.5 ve Denklem 3.7 arasında gibi ifade etmişlerdir.

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_\alpha - \vec{X}|, \vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}|, \vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}| \quad (3.5)$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot (\vec{D}_\alpha), \vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot (\vec{D}_\beta), \vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot (\vec{D}_\delta) \quad (3.6)$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \quad (3.7)$$

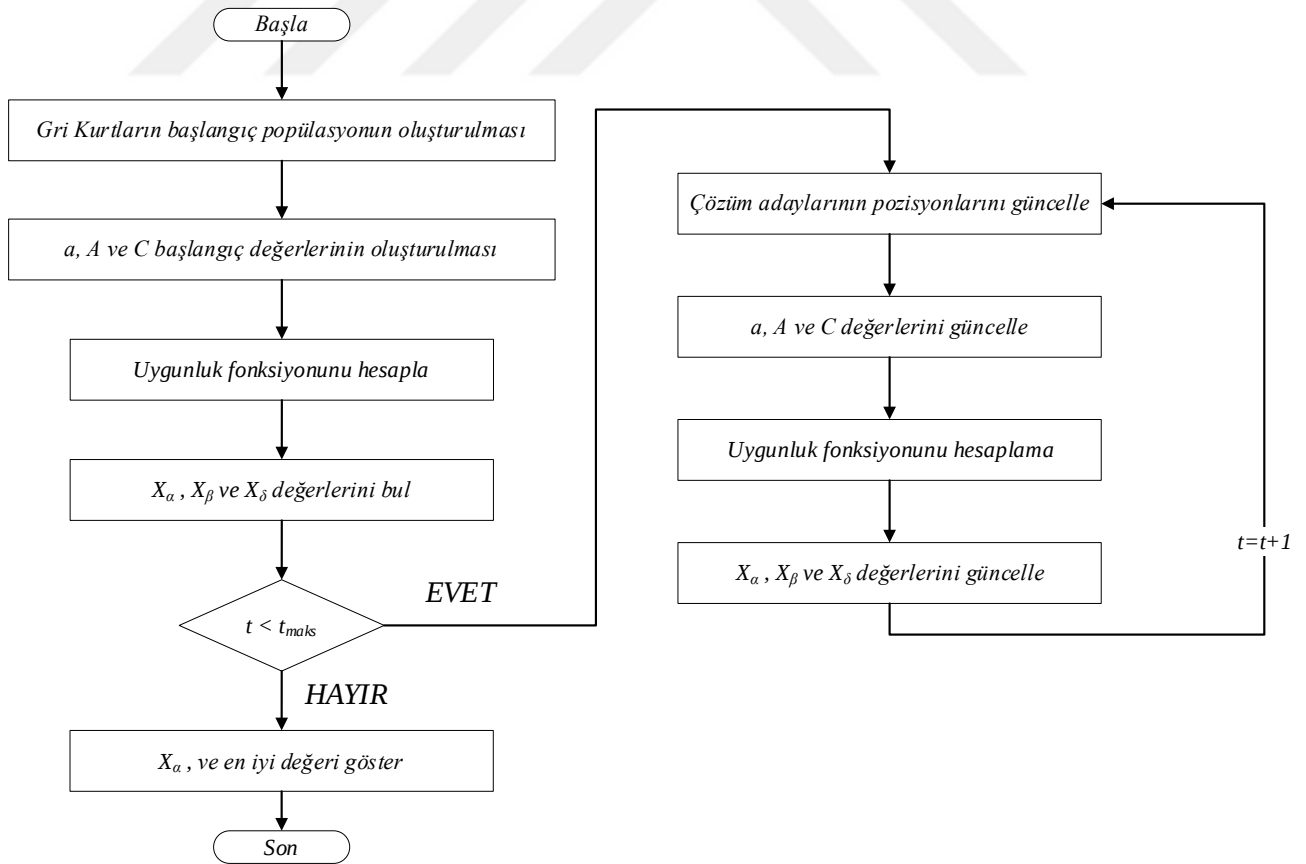
3.1.1.4 Ava Saldırılması

Gri kurtlar, avlanma sürecini durduklarında avlarına saldırarak bitirirler. Bu süreçte ava yaklaşma hareketinin matematiksel modeli $\vec{a}$ 'nın değeri azaltılarak yapılmaktadır. $\vec{A}$ $[-2a, 2a]$

arasında rastgele üretilir ve a iterasyona bağlı olarak 2'den 0'a doğru azalmaktadır. GKA'nın yerel çözüm noktalarında durağanlığını belli bir dereceye kadar aştığı ve daha fazla operatöre ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir.

3.1.1.5 Av Arama

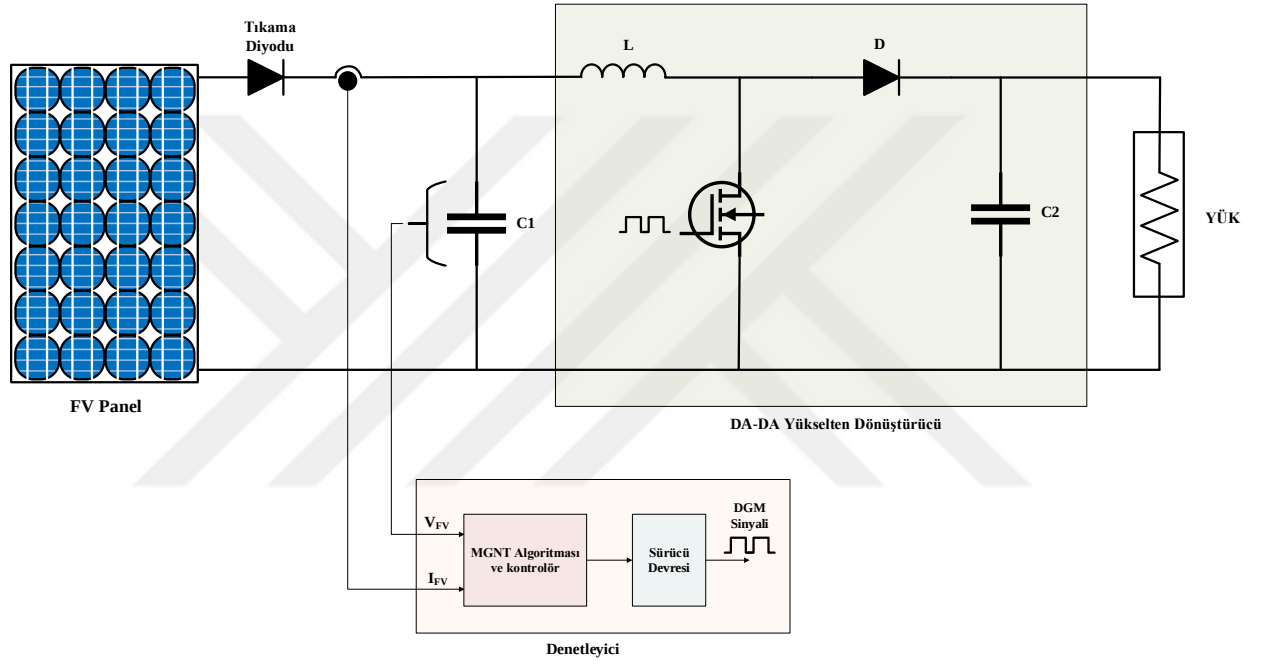
Gri kurt sürüsü alfa, beta ve deltanın konumuna göre av aramak için birbirlerinden ayrılırken, ava saldırmak için birleşmektedirler. Avdan sapmayı modellenmesi için, arama ajanının avdan ayrılmaya zorlamada 1'den büyük veya -1'den küçük rastgele değerlerle $\vec{A}$ kullanılır. Bu durum, keşif davranışını vurgularken, GKA'nın arama uzayında küresel arama yapmasına izin vermektedir. GKA'da keşif davranışını destekleyen diğer bir bileşen ise $\vec{C}$ vektörüdür. Denklem 3.4'de görüldüğü gibi $\vec{C}$ vektörü [0,2] arasında rastgele değerler içermektedir. Bu bileşen, Denklem 3.2'deki mesafeyi tanımlamada avın etkisini stokastik olarak önemini vurgulamak veya azaltmada av için rastgele ağırlıklar sağlamaktadır. Bu, GKA'nın optimizasyon süresince daha rastgele bir davranış göstermesine yardımcı olurken, keşif ve yerel optimum noktalarından kaçınmayı desteklemektedir. GKA'nın akış diyagramı Şekil 3.2'de gösterilmiştir [47].



Şekil 3-2: Gri kurt optimizasyon algoritmasının akış diyagramı

3.2 GRİ KURT OPTİMİZASYON ALGORİTMASI KULLANILARAK MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP ALGORİTMASI TASARIMI

FV paneller, denetleyici, yük ve DA-DA yükselten, alçaltan veya yükselten-alçaltan dönüştürücülerin kullanılmasıyla elde edilen FV sistemler Şekil 3.3’de gösterilmektedir. Şekil 3.3’de gösterilen denetleyici bloğunda kullanılan MGNT algoritmasının tasarımı şebekeden bağımsız FV sistemlerde MGN’yi bulabilmek için optimizasyon algoritmalarından GKA (GKA-MGNT) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3-3: Şebekeden bağımsız FV sistem blok diyagramı

GKA-MGNT algoritması, öncelikle başlangıç popülasyonunu veya aday çözüm havuzunu oluşturmaktadır. Bu çalışmada aday çözüm havuzu, darbe genişlik modülasyon (DGM) sinyalini üretmek için gerekli olan görev periyodu (GP) değerlerinden oluşmaktadır. Aday çözüm havuzu, GP’nin minimum ve maksimum sınır değerleri arasında rastgele oluşturulmaktadır. Oluşturulan bu değerler DGM sinyal üreticisine, DGM sinyali üretildikten sonra üretilen DGM sinyali sürücü devre üzerinden anahtarlama elemanına gönderilerek sistemin çözüm uzayındaki GP değerlerinde çalıştırılması sağlanır. Bu GP değerlerine bağlı olarak, sistemden ölçülen akım (I_{FV}) ve gerilim (V_{FV}) değerleri kullanılarak FV sistemin güç (P_{FV}) değeri hesaplanır. Aday çözüm değerlerine göre hesaplanan FV sistemin güç değerleri içerisinde maksimum değer en iyi değer olarak saklanmaktadır. Bir sonraki iterasyon sürecinde GP değerleri aşağıdaki denklemlere göre elde edilerek DGM sinyal üreticisine gönderilmektedir.

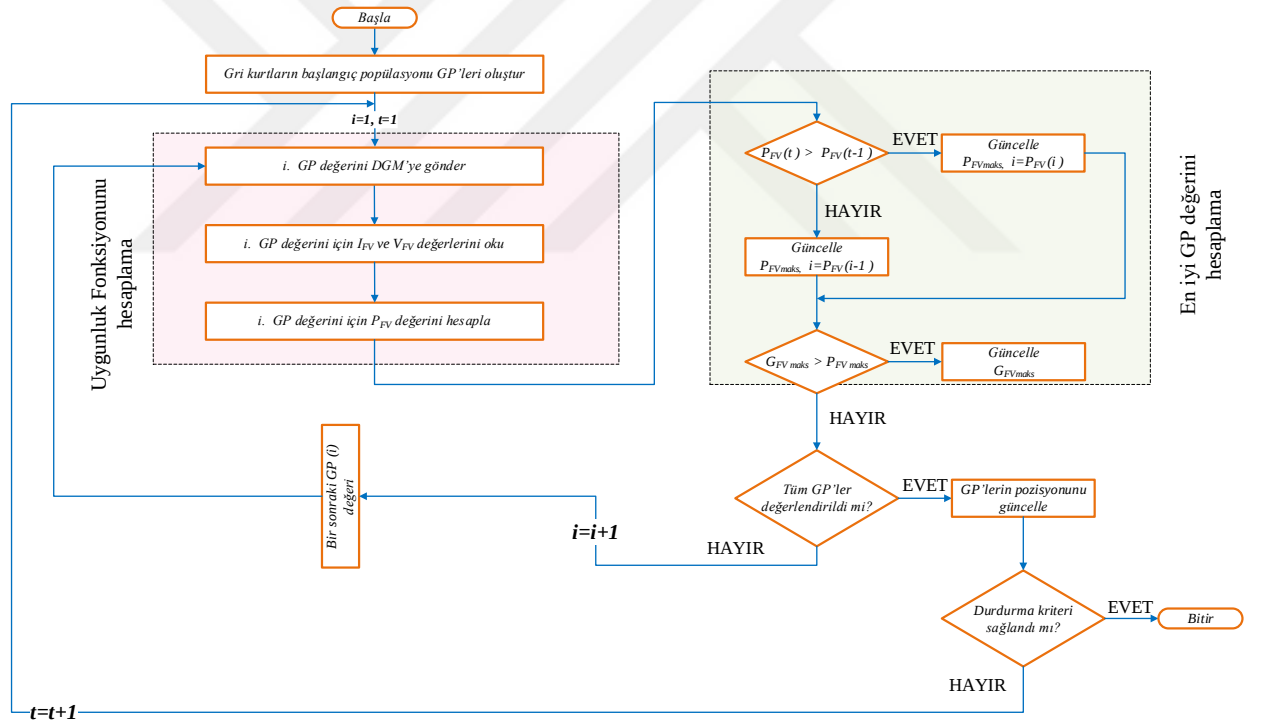
$$A = 2a \cdot r_1 - a \quad (3.8)$$

$$C = 2 \cdot r_2 \quad (3.9)$$

$$D = |C \cdot GP_{pbest}(t) - GP(t)| \quad (3.10)$$

$$GP(t+1) = GP_{gbest}(t) - A \cdot D \quad (3.11)$$

MGN'yi belirleme işlemi, algoritma sonlandırma kriterine ulaşıncaya kadar bu süreçlerin tekrarlanmasıyla devam etmektedir. GKA-MGNT algoritmasının akış diyagramı Şekil 3.4'te gösterilmektedir.



Şekil 3-4: GKA-MGNT algoritmasının akış diyagramı

4. BULGULAR

Bu bölüm, GGKA, GKA ve PSO optimizasyon algoritmaları tabanlı MGNT algoritmalarının sabit ışınlım, sabit sıcaklık ve kısmi gölgelenme şeklinde değişen atmosferik koşullar altında dokuz farklı çalışma senaryosu için yapılan benzetim çalışmalarını ve sonuçlarını sunmaktadır. Optimizasyon algoritmalarına dayalı MGNT algoritmalarının performanslarının dokuz farklı senaryo açısından değerlendirilmesi için FV sistem modeli MATLAB/Simulink ortamında oluşturulmuştur.

4.1 BENZETİM ÇALIŞMALARININ SONUÇLARI

Tez çalışması kapsamında yapılan benzetim çalışmalarında kullanılan SunPower SPR-X20-250-BLK model FV panele ait parametreler Tablo 4.1’de ve DA-DA yükselten dönüştürücüye ait parametreler Tablo 4.2’de verilmiştir. Benzetim çalışmalarında FV sistem, SunPower SPR-X20-250-BLK model FV panelden dört adet kullanılarak 1000W’lık gücü besleyebilecek şekilde tasarlanmıştır.

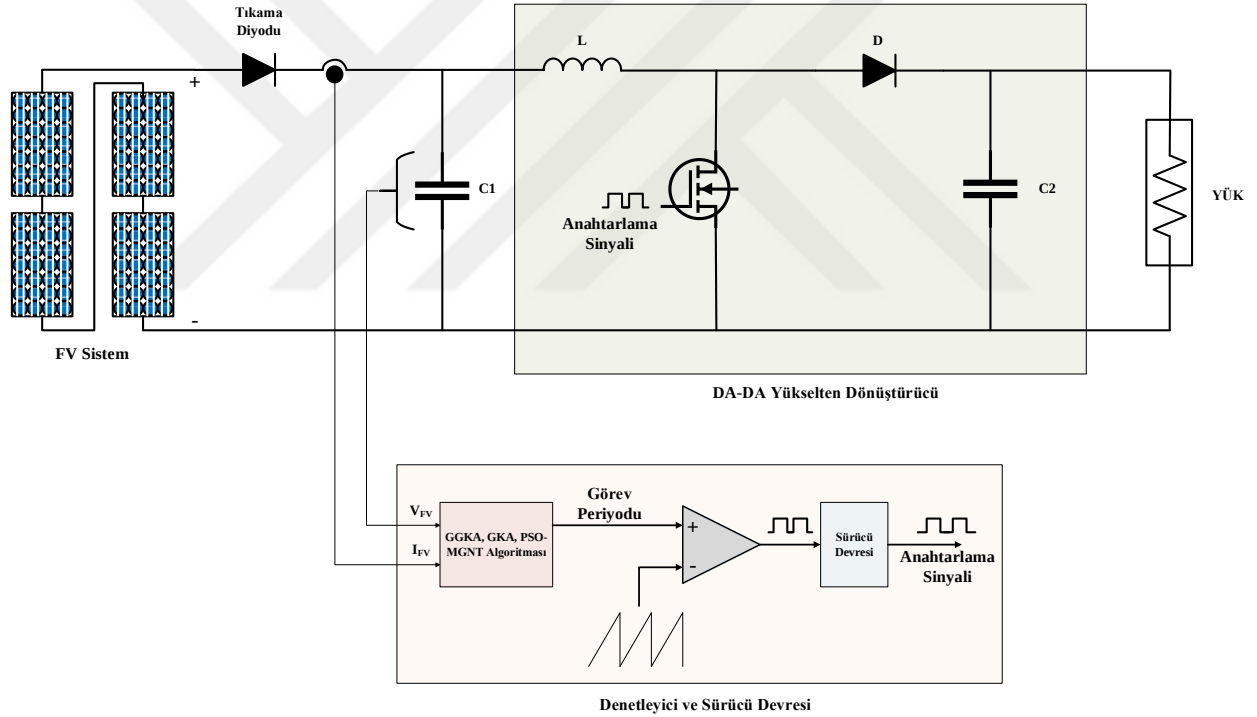
Tablo 4-1: SunPower SPR-X20-250-BLK model FV panel parametreleri

Parametre	Değeri
FV Panel Gücü (W)	250 W
Güç Toleransı	% +5/-0
Ortalama Panel Verimi	% 20.3
FV Panel Maksimum Akımı (I_{maks})	5.84 A
FV Panel Kısa Devre Akımı (I_{sc})	6.20 A
FV Panel Maksimum Gerilimi (V_{maks})	42.8 V
FV Panel Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	50.9 V
Güç Sıcaklık Katsayısı (% / °C)	-0.30
FV Panel Açık Devre Gerilimi Sıcaklık Katsayısı (% / °C)	-125.6 mV
FV Panel Kısa Devre Akımı Sıcaklık Katsayısı (% / °C)	3.5 mA
Panel Hücre Sayısı	72

Tablo 4-2: DA-DA yükselten dönüştürücüye ait parametre değerleri

Parametre	Değeri
Kapasitör (C1)	100 μ F
Kapasitör (C2)	50 μ F
İndüktör (L)	85.6 mH
Yük Direnci (R)	0-150 Ω
Anahtarlama Frekansı	30 kHz

Optimizasyon algoritmalarına dayalı MGNT algoritmasının performanslarının değerlendirilmesi için oluşturulan FV sistem benzetim modeline ait blok diyagram Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

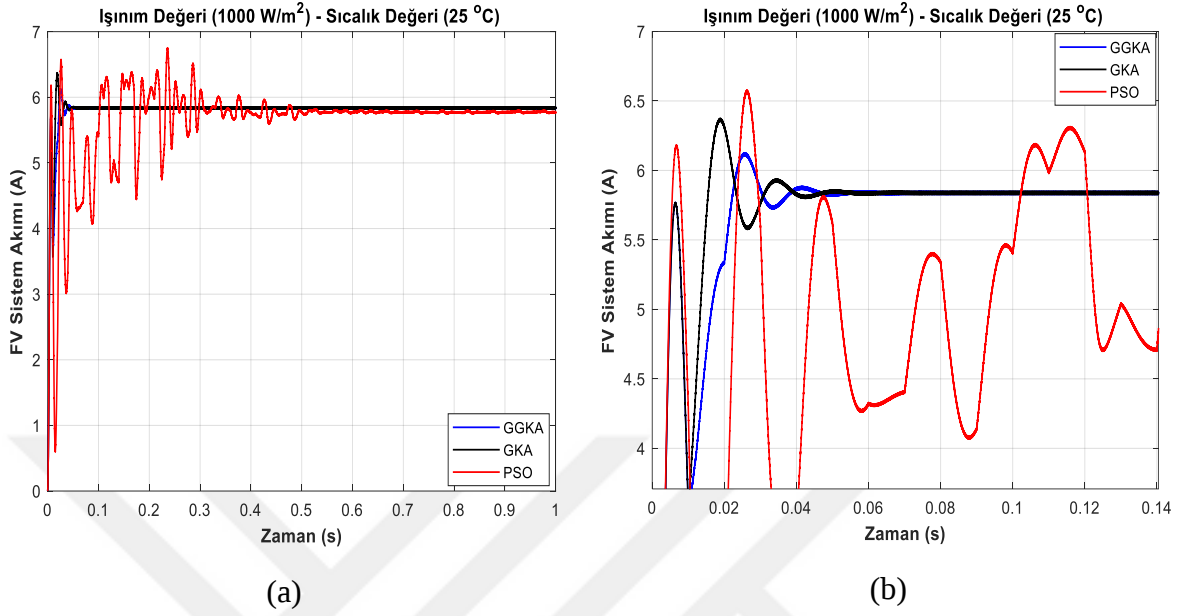


Şekil 4-1: FV sistem benzetim modelinin blok diyagramı

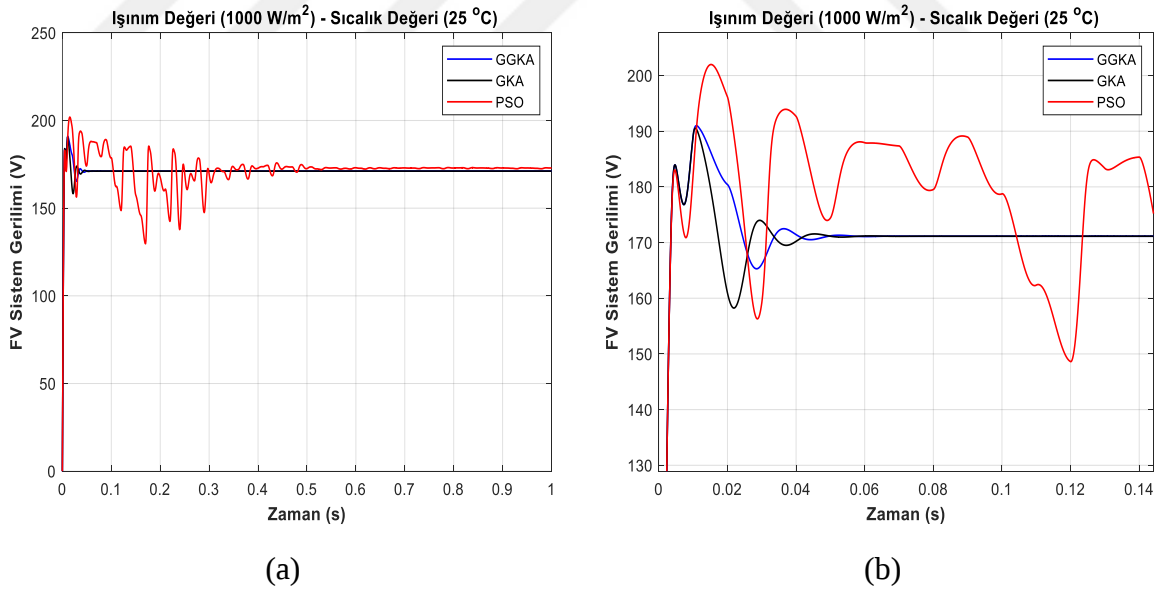
4.1.1 Farklı Işınım Koşullarında Benzetim Çalışmaları

Benzetim çalışmalarının birincisi, üç farklı 1000 W/m², 750 W/m² ve 500 W/m² sabit ışıınım değeri koşulları altında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.1’de dört FV panel birbirine seri bağlanarak sistem çıkış gücü arttırılarak, 1000 W/m² ışıınım ve 25 °C sıcaklık koşullarında GGKA,

GKA ve PSO algoritmalarına dayalı MGNT algoritmalarından elde edilen FV sistem çıkış akımı, gerilimi ve güç değerlerine ait grafikler Şekil 4.2, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de gösterilmektedir.



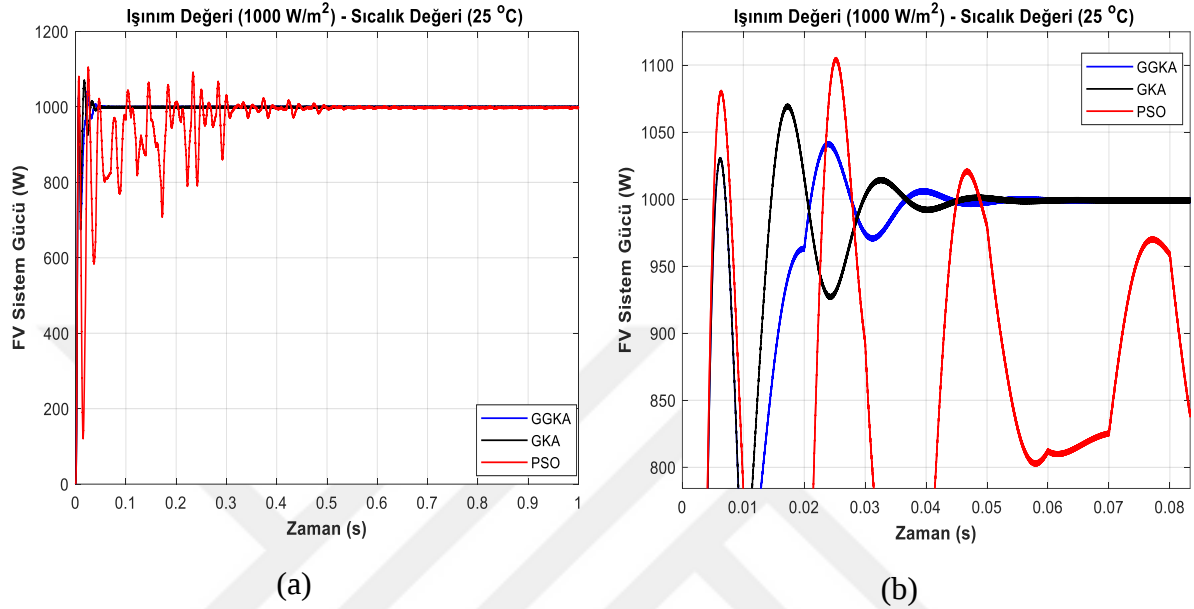
Şekil 4-2: Çalışma durumu 1: FV sistem akım grafiği



Şekil 4-3: Çalışma durumu 1: FV sistem gerilim grafiği

Şekil 4.2 (a)’da çalışma durumu 1 için FV sistemin çıkış akım grafiği gösterilmekte olup, GGKA ve GKA’ya dayalı MGNT algoritmaları PSO-MGNT algoritmasına göre MGN’deki akım değerini bulmada daha etkili olmuştur. Şekil 4.3 (a) FV sistemin çıkış gerilim grafiği, Şekil 4.3 (b)

ise sistemin çıkış geriliminin yakınlştırılmış halini göstermektedir. Bu çalışma durumu için Şekil 4.4 detaylı bir şekilde incelendiğinde, GKA'ya dayalı MGNT algoritmasının GGKA-MGNT ve PSO-MGNT algoritmalarından MGN'yi bulmada ve MGN etrafında oluşan salınımları daha aza indirmede daha etkili olduğu görülmüştür.



Şekil 4-4: Çalışma durumu 1: FV sistem güç grafiği

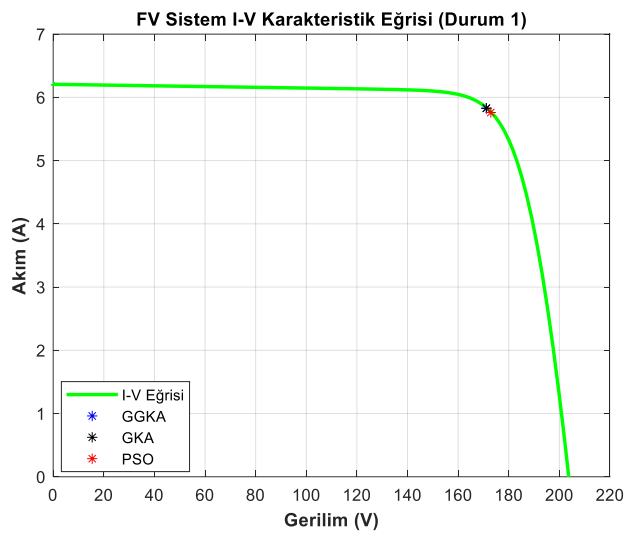
Tablo 4.3 farklı ışınlm koşulları için oluşturulan FV sistemin MGN noktasını veren akım, gerilim ve güç değerleri göstermektedir. Optimizasyon algoritmalarına dayalı MGNT algoritmalarının çalışma durumları için Tablo 4.3'de verilen akım, gerilim ve güç değerlerinde çalıştırılması benzetim çalışmalarında amaçlanmıştır. Benzetim çalışmaları sonucunda GGKA-MGNT, GKA-MGNT ve PSO-MGNT algoritmalarından elde edilen sonuçlar Tablo 4.4'de verilmektedir. Tablo 4.4'de çalışma durumu 1 için, GKA-MGNT algoritması sistemin gerçek çalışma değerlerine en yakın değerleri elde eden ve sistemi gerçek değerlerine yakın değerlerde çalıştırılmasını sağlayan algoritma olarak görülmektedir. Farklı ışınlm koşulları altında, önerilen MGNT yöntemlerinden elde edilen ve Tablo 4.4'de çalışma durumu 1 için verilen sonuçların, sistemin I-V ve P-V çalışma karakteristiğini gösteren grafikler üzerinde gösterildiği çalışma noktaları Şekil 4.5'de verilmektedir.

Tablo 4-3: Farklı ışınlm çalışma koşullarında sistem gerçek değerleri

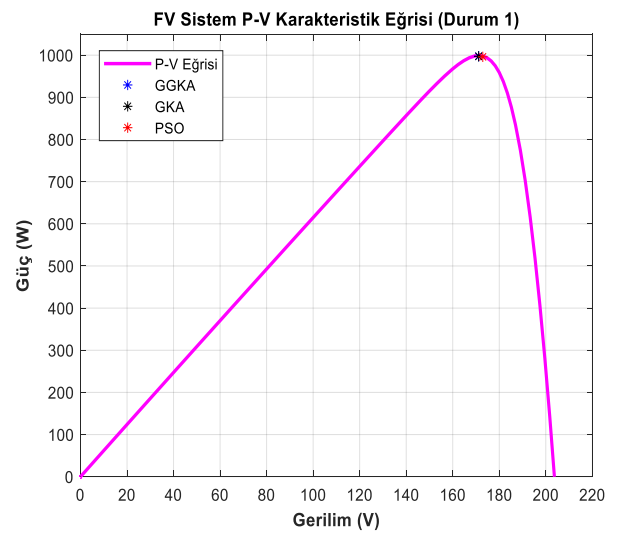
Parametreler	Sistem Gerçek Değerleri		
	Durum 1	Durum 2	Durum 3
$FV_{güç} \text{ (maks) (W)}$	999.0351	749.6301	497.3573
$FV_{gerilim} \text{ (maks) (V)}$	171.8312	170.9552	170.2617
$FV_{akım} \text{ (maks) (A)}$	5.5140	4.3849	2.9211

Tablo 4-4: Farklı ışınlm koşullarında elde edilen benzetim sonuçları

Benzetim Durumları		Optimizasyon Algoritmaları		
		GGKA	GKA	PSO
Durum 1 (1000 W/m ²)	$FV_{güç} \text{ (W)}$	997.3879	997.3877	996.1042
	$FV_{gerilim} \text{ (V)}$	171.1421	171.1420	172.9227
	$FV_{akım} \text{ (A)}$	5.8278	5.8278	5.7604
Durum 2 (750 W/m ²)	$FV_{güç} \text{ (W)}$	745.2357	747.7477	727.3036
	$FV_{gerilim} \text{ (V)}$	168.6526	170.4163	178.3081
	$FV_{akım} \text{ (A)}$	4.4188	4.3878	4.0789
Durum 3 (500 W/m ²)	$FV_{güç} \text{ (W)}$	494.3668	495.5046	494.9394
	$FV_{gerilim} \text{ (V)}$	170.9142	170.9142	166.8416
	$FV_{akım} \text{ (A)}$	2.8925	2.8991	2.9665



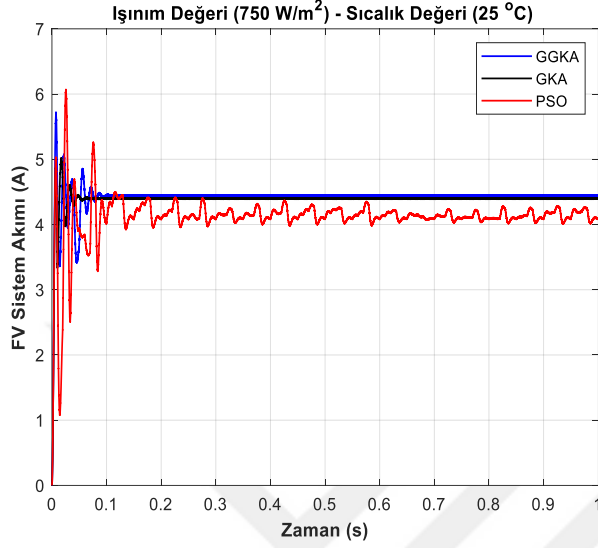
(a)



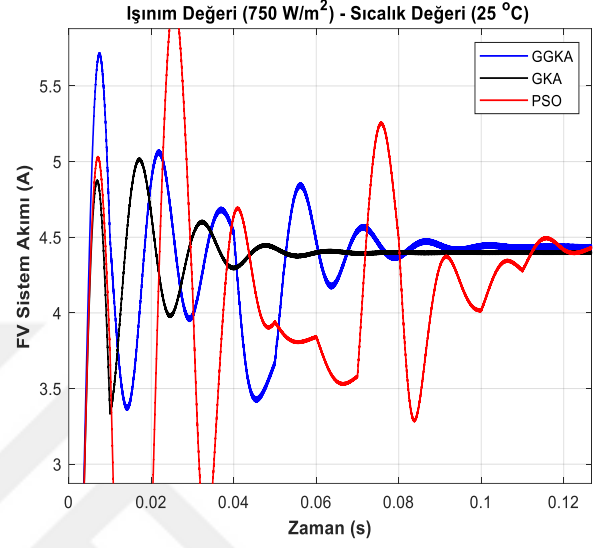
(b)

Şekil 4-5: Çalışma durumu 1: (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi

750 W/m² ışınlm ve 25 °C sıcaklık değerlerine sahip ikinci çalışma koşulunda, GGKA-MGNT, GKA-MGNT ve PSO-MGNT algoritmalarından elde edilen FV sistem çıkış akımı, gerilimi ve güç değerlerinin benzetim süresince değişimini gösteren grafikler şekil 4.6, şekil 4.7 ve şekil 4.8’de verilmiştir.

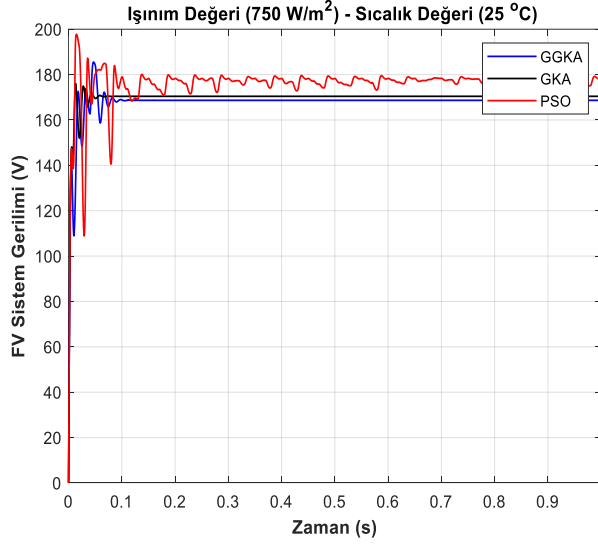


(a)

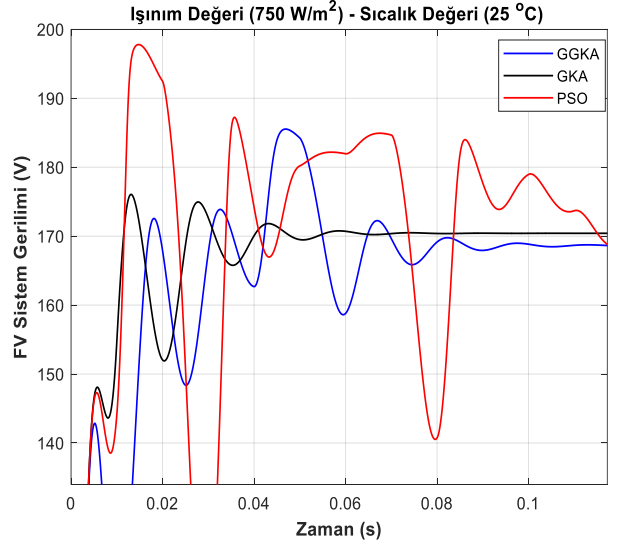


(b)

şekil 4-6: alışma durumu 2: FV sistem akım grafiği

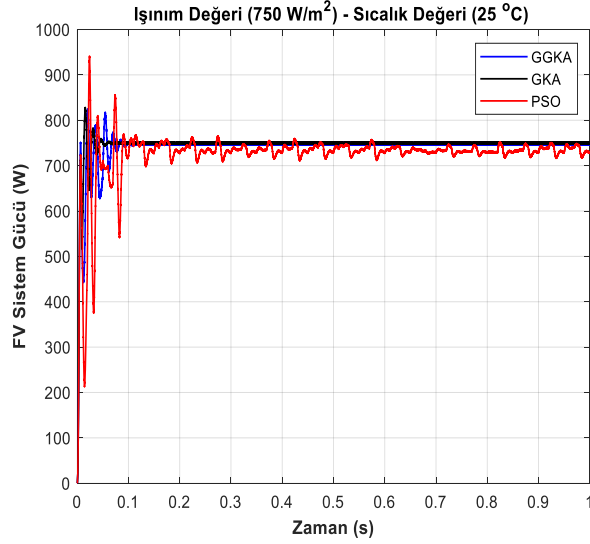


(a)

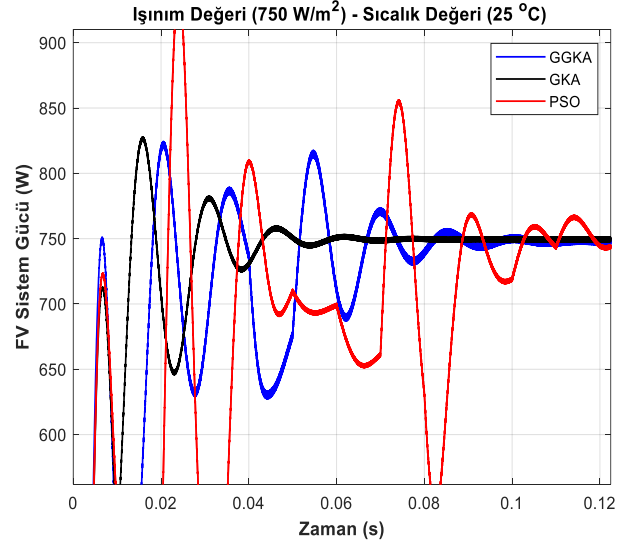


(b)

şekil 4-7: Çalışma durumu 2: FV sistem gerilim grafiği

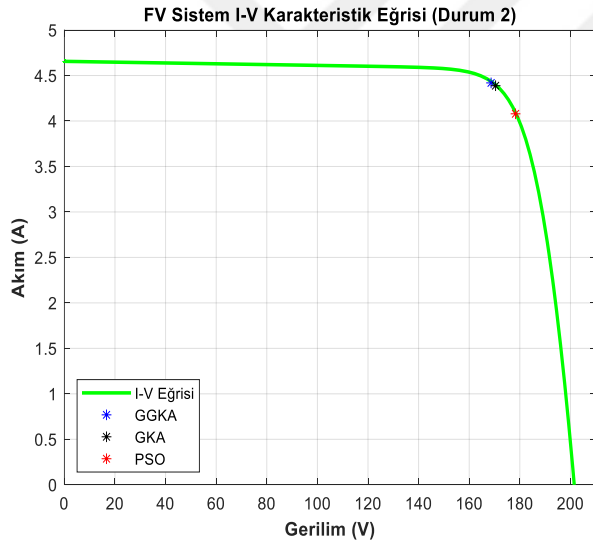


(a)

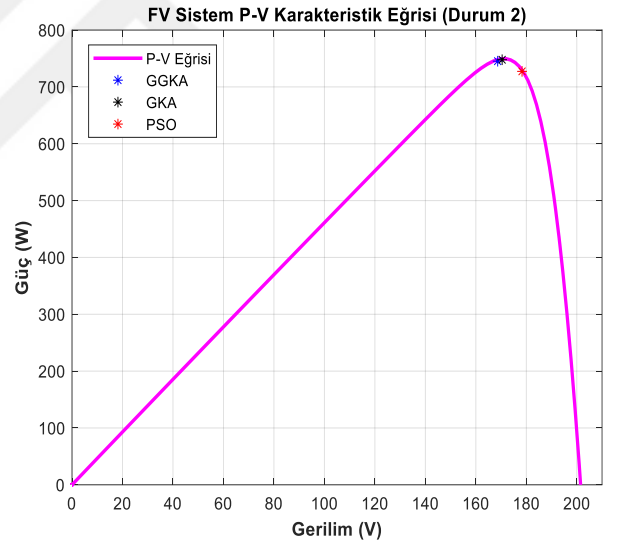


(b)

Şekil 4-8: Çalışma durumu 2: FV sistem güç grafiği



(a)



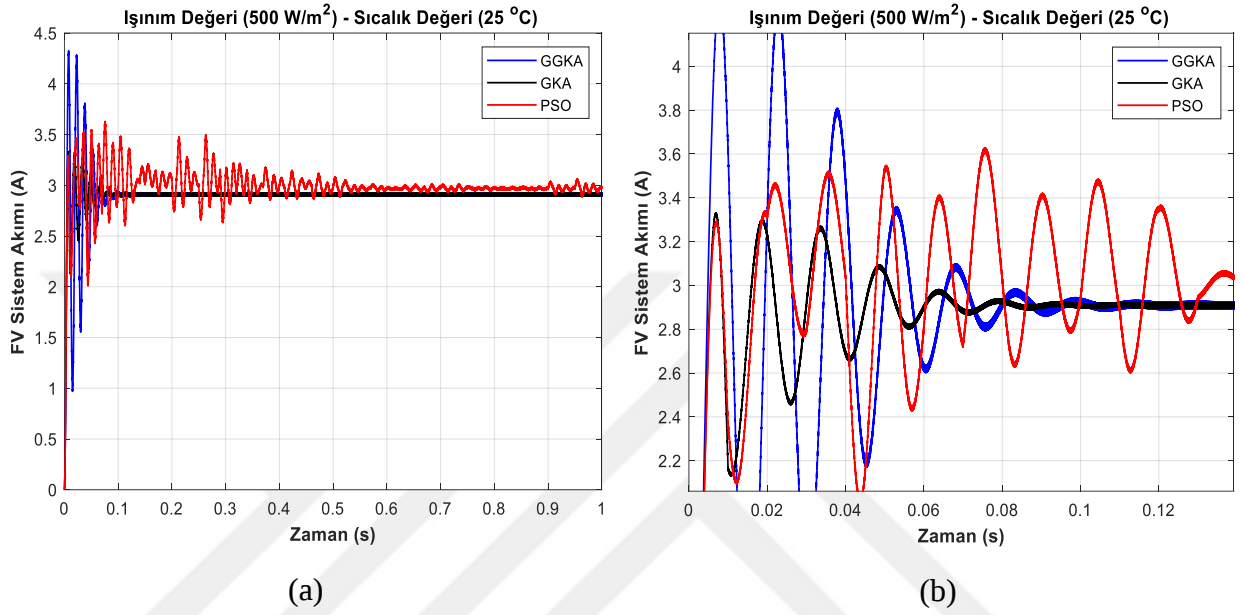
(b)

Şekil 4-9: Çalışma durumu 2: (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi

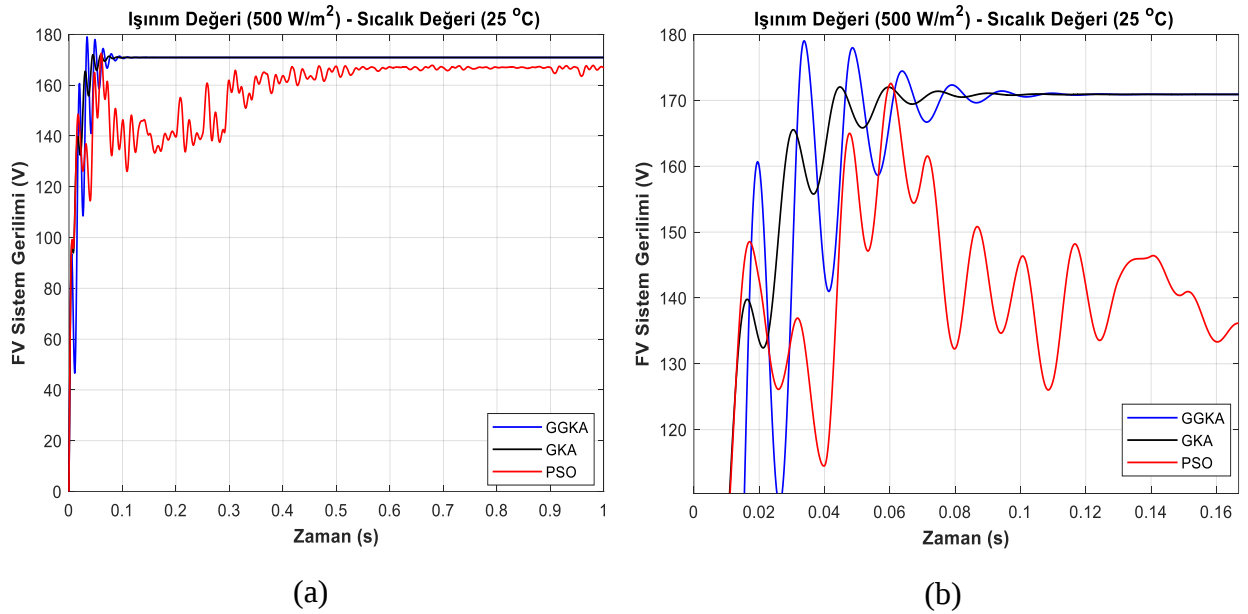
Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve Şekil 4.8’den de görüldüğü gibi, PSO-MGNT algoritmasının bu çalışma durumu için MGN’ye yakınsayamadığı ve algoritmanın MGN değerinin Tablo 4.3’de verilen 749.6301 W güç değerinden 22.3265 W daha az olduğu söylenebilir. Şekil 4.9 (a)’da sistemin I-V eğrisi, Şekil 4.9 (b)’de sistemin P-V eğrisi üzerinde çalışma durumu 2 için optimizasyon algoritmalarına dayalı MGNT algoritmalarından elde edilen çalışma değerleri gösterilmiştir. Şekil 4.9 (a) ve (b)’de GKA-MGNT algoritmasının maksimum güç noktasına

yakınsamadaki başarısı diğer GGKA-MGNT ve PSO-MGNT algoritmalarından daha iyi olduğu açıkça görülmektedir.

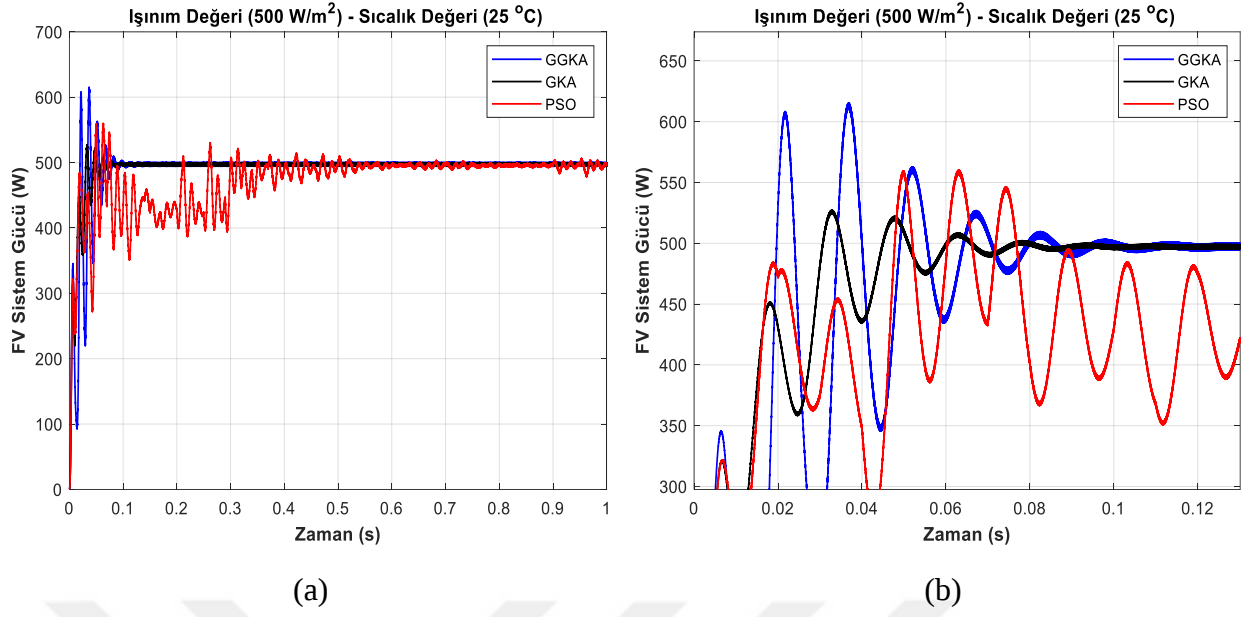
500 W/m² ışıınım ve 25 °C sıcaklık değerlerine sahip üçüncü çalışma koşulunda, önerilen MGNT algoritmalarından elde edilen FV sistem çıkış akımı, gerilimi ve güç değerlerinin grafikleri Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4-10: Çalışma durumu 3: FV sistem akım grafiği

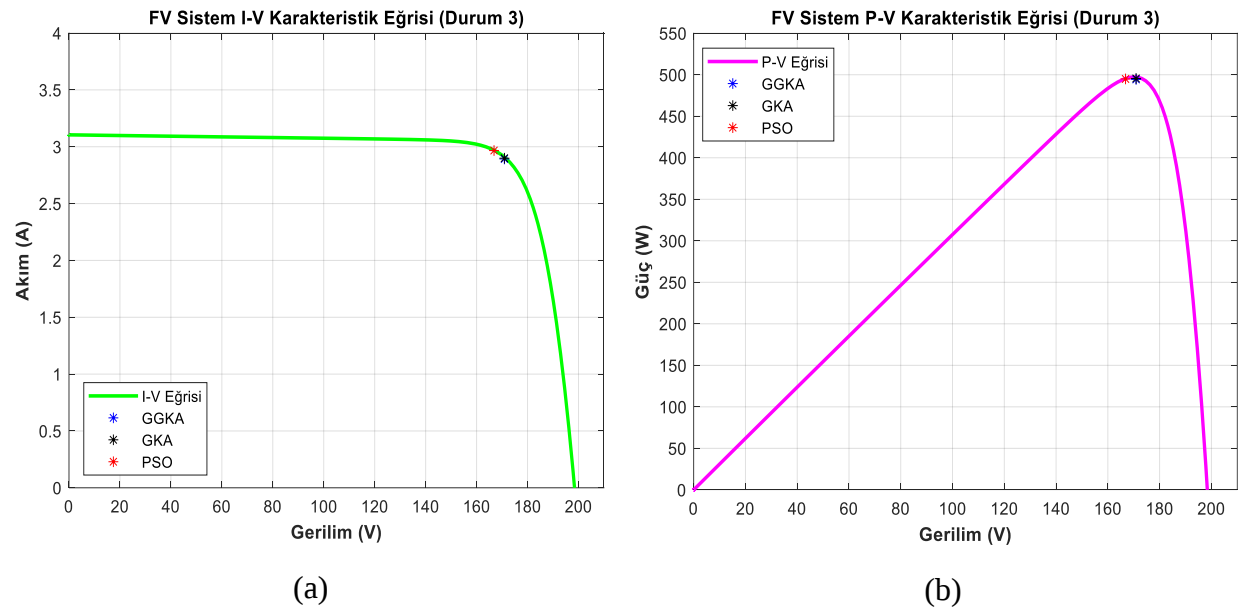


Şekil 4-11: Çalışma durumu 3: FV sistem gerilim grafiği



Şekil 4-12: Çalışma durumu 3: FV sistem güç grafiği

Bu çalışma durumunda, önerilen MGNT algoritmalarından PSO-MGNT algoritması global MGN etrafında diğer yöntemlere göre daha fazla salınımına sahip olduğu, GGKA-MGNT algoritmasının ise global MGN'ye yakınsayamadığı görülmektedir. GKA-MGNT algoritması ise global MGN'ye en çok yakınsayan algoritma olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca, bu çalışma koşulunda sistemin göstermiş olduğu çalışma karakteristikleri ve MGNT algoritmalarının çalışma noktaları Şekil 4.13'de verilmiştir.



Şekil 4-13: Çalışma durumu 3: (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi

4.1.2 Farklı Sıcaklık Koşullarında Benzetim Çalışmaları

Benzetim çalışmalarının ikincisi, üç farklı 35 °C, 50 °C ve 65 °C sabit sıcaklık değeri koşulları altında yapılmıştır. Bu çalışma koşullarında sistemin gerçek çalışma değerlerini Tablo 4.5 göstermektedir. Tablo 4.6’da ise GGKA-MGNT, GKA-MGNT ve PSO-MGNT algoritmalarından elde edilen sonuçlar verilmiştir.

Tablo 4-5: Farklı sıcaklık çalışma koşullarında sistem gerçek değerleri

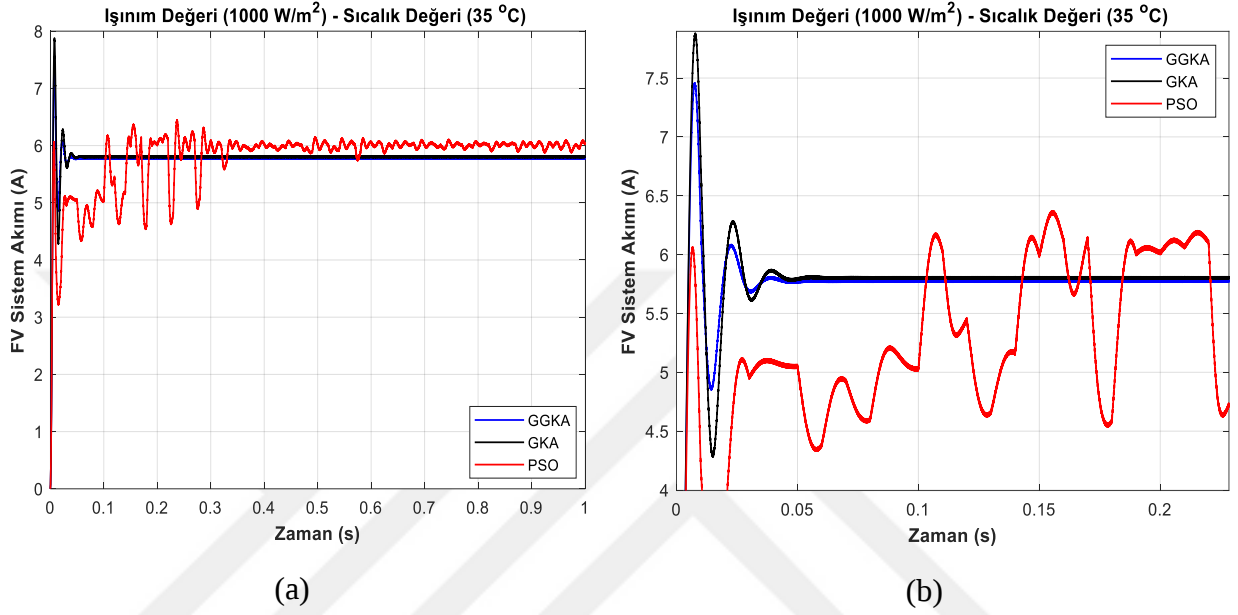
Parametreler	Sistem Gerçek Değerleri		
	Durum 4	Durum 5	Durum 6
FV _{güç} (maks) (W)	961.6477	905.6894	849.4042
FV _{gerilim} (maks) (V)	164.1914	156.4713	147.5911
FV _{akım} (maks) (A)	5.8569	5.7882	5.7551

Tablo 4-6: Farklı sıcaklık koşullarında elde edilen benzetim sonuçları

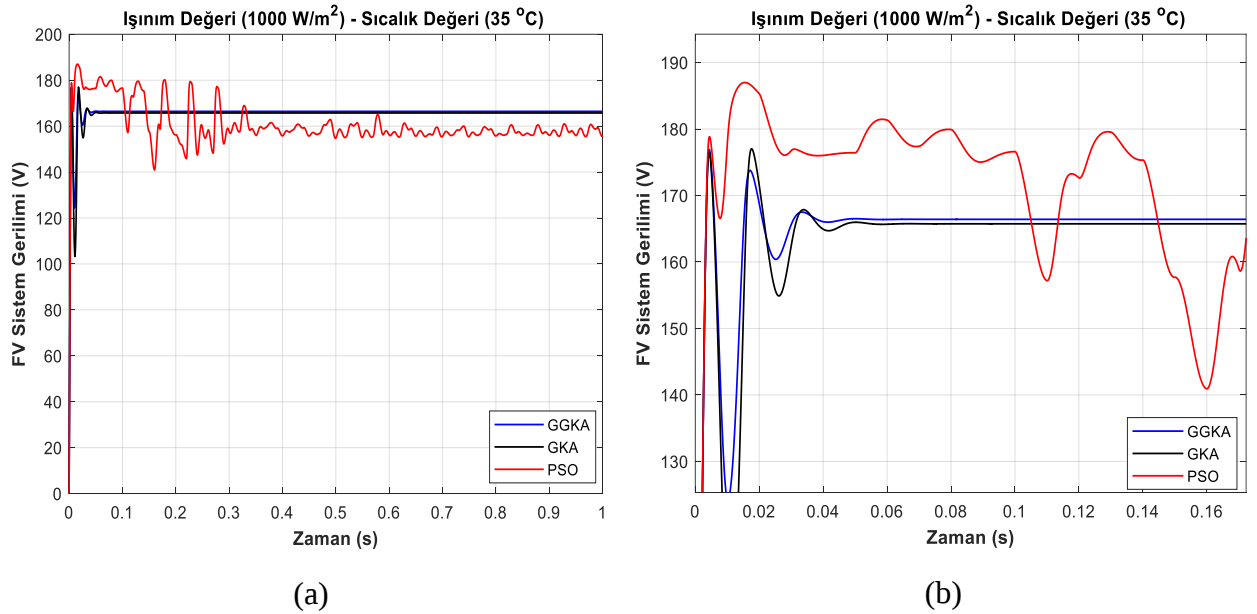
Benzetim Durumları		Optimizasyon Algoritmaları		
		GGKA	GKA	PSO
Durum 4 (35 °C)	FV _{güç} (W)	959.4364	960.0030	935.2489
	FV _{gerilim} (V)	166.4144	165.7386	155.5741
	FV _{akım} (A)	5.7653	5.7923	6.0116
Durum 5 (50 °C)	FV _{güç} (W)	903.5567	903.5568	877.7384
	FV _{gerilim} (V)	157.2292	157.2292	146.6398
	FV _{akım} (A)	5.7467	5.7467	5.9857
Durum 6 (65 °C)	FV _{güç} (W)	846.8084	847.6408	842.6471
	FV _{gerilim} (V)	148.6828	148.0397	147.3296
	FV _{akım} (A)	5.6954	5.7258	5.7195

Tablo 4.6’da farklı sıcaklık çalışma durumları için, GKA-MGNT algoritması sistemin gerçek çalışma değerlerine en yakın değerleri elde eden ve sistemi gerçek değerlerine yakın değerlerde çalıştırılmasını sağlayan algoritma olarak görülmektedir. Durum 4 için benzetim çalışmaları, 1000 W/m² ışınlım ve 35 °C sıcaklık koşullarında MGNT algoritmalarından elde edilen FV sistem çıkış akımı, gerilimi ve güç değerlerine ait grafikler Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil

4.16’da verilmiştir. Şekil 4.14 (a) ve (b)’de çalışma durumu 4 için FV sistemin çıkış akım grafiği gösterilmekte olup, PSO-MGNT algoritmasının çıkış akım sinyali diğer MGNT algoritmalarının sonuçlarına göre 6 A civarında olduğu ve bu değer sistemin gerçek çalışma değerinin üstünde olduğu görülmektedir. Şekil 4.15 (a) ve (b) FV sistemin çıkış gerilim grafiği ve yakınlaştırılmış halini göstermektedir.

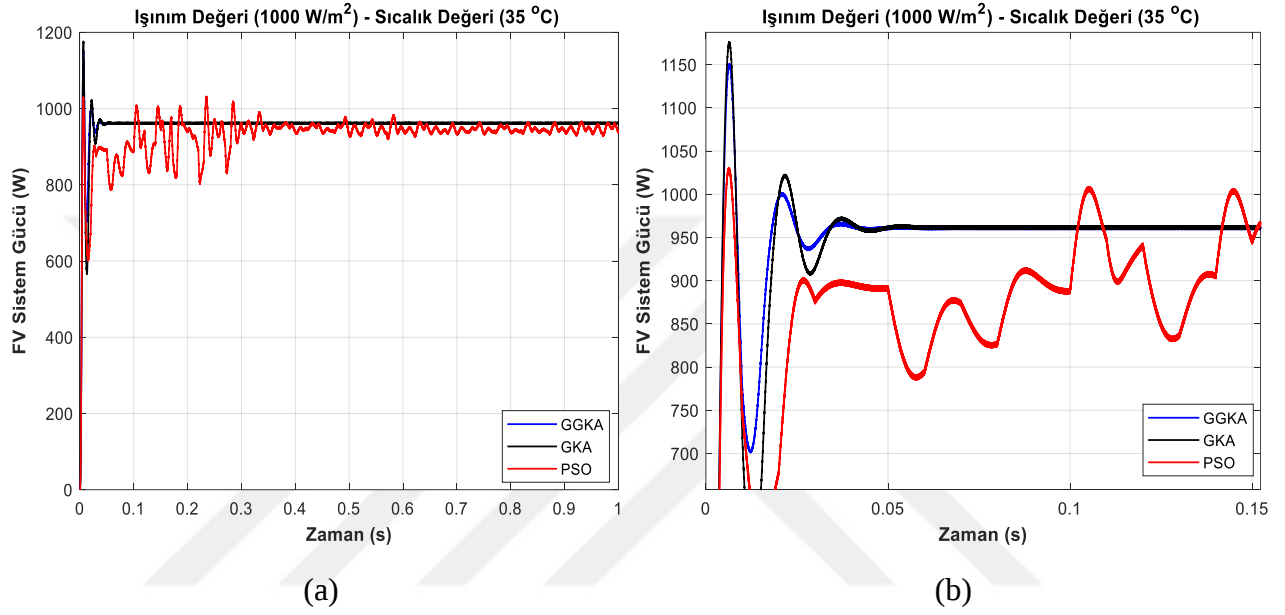


Şekil 4-14: Çalışma durumu 4: FV sistem akım grafiği

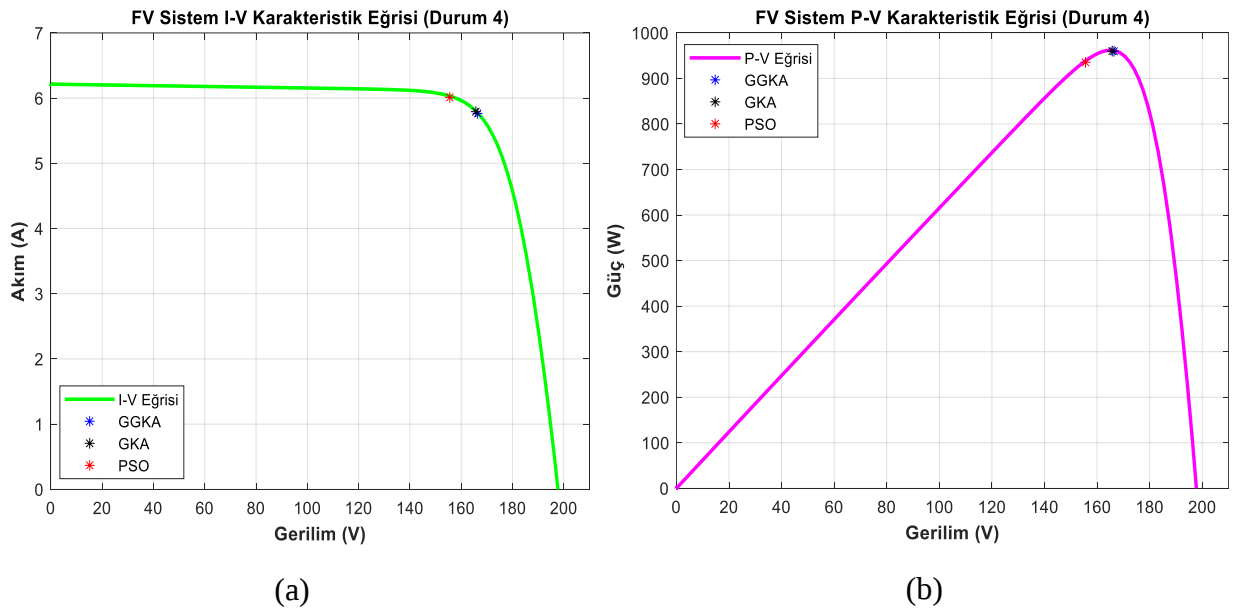


Şekil 4-15: Çalışma durumu 4: FV sistem gerilim grafiği

PSO-MGNT algoritmasının çıkış gerilim sinyali diğer MGNT algoritmalarının sonuçlarına göre 147 V civarında olduğu ve bu değer sistemin gerçek çalışma değerinin altında olduğu Şekil 4.15’de görülmektedir. PSO-MGNT algoritmasının MGN etrafında salınıma neden olduğu Şekil 4.16’daki FV sistem çıkış güç sinyali üzerinde görülmektedir. GGKA-MGNT ve GKA-MGNT algoritmaları gerçek MGN noktasına daha yakın bir değerde daha az salınım değerine sahip olduğu söylenebilir.



Şekil 4-16: Çalışma durumu 4: FV sistem güç grafiği

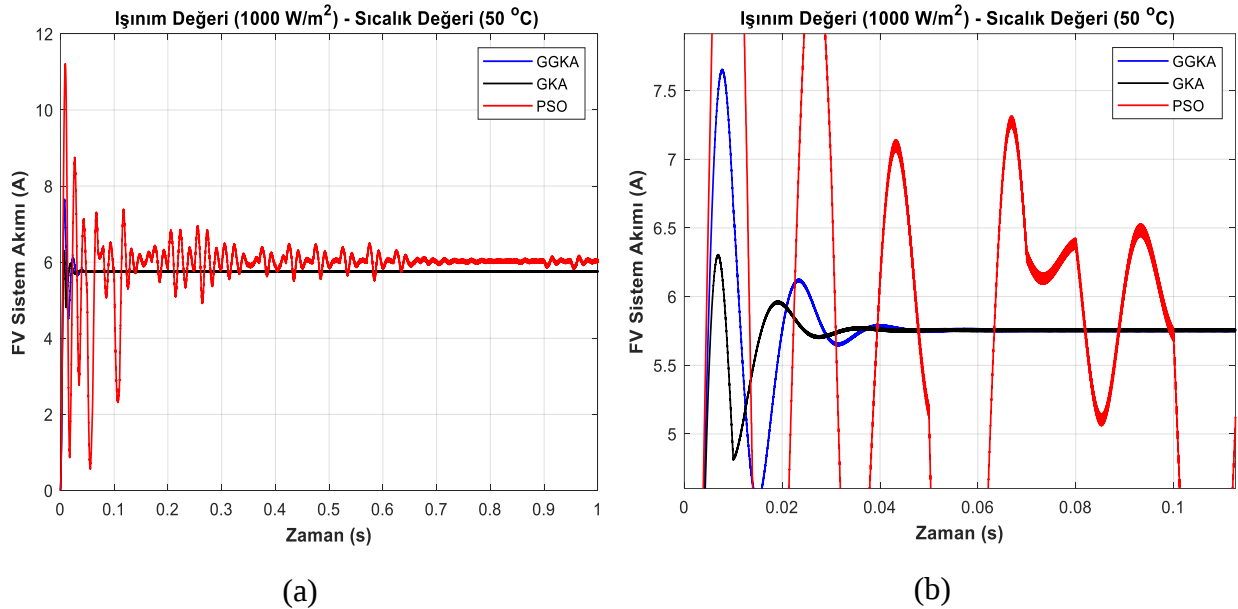


Şekil 4-17: Çalışma durumu 4: (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi

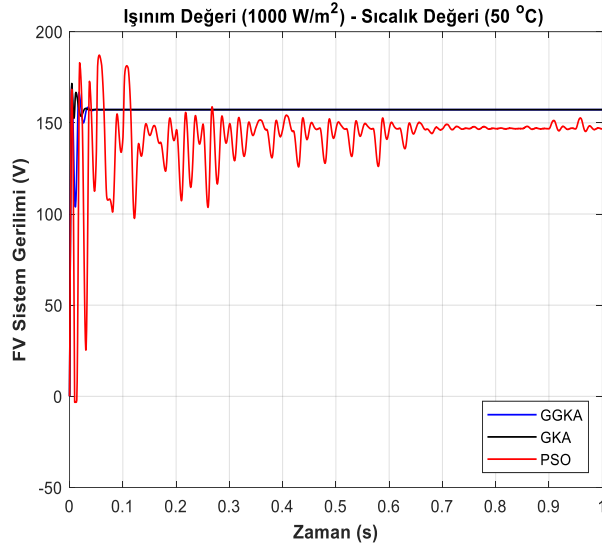
Farklı sıcaklık koşulları altında, önerilen GGKA-MGNT, GKA-MGNT ve PSO-MGNT yöntemlerinden elde edilen ve Tablo 4.6’da çalışma durumu 4 için verilen sonuçların, sistemin I-V ve P-V çalışma karakteristiğini gösteren grafikler üzerinde gösterildiği çalışma noktaları Şekil 4.17’de verilmektedir. I-V ve P-V grafikleri üzerinde gerçek MGN noktasına en yakın çalışma noktalarına GGKA-MGNT ve GKA-MGNT algoritmalarının sahip olduğu görülmektedir.

50 °C sıcaklık ve 1000 W/m² ışıınım değerlerine sahip beşinci çalışma koşulunda, MGNT algoritmalarından elde edilen FV sistem çıkış akım, gerilim ve güç değerlerinin benzetim süresince sinyallerin değişimlerini gösteren grafikler Şekil 4.18, Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de gösterilmiştir. FV sistem çıkış akımı, gerilimi ve güç eğrilerinden de görüldüğü gibi, PSO-MGNT algoritmasının bu çalışma durumu için MGN’ye yakınsayamadığı ve algoritmanın MGN değerinin Tablo 4.5’de verilen 905.6894 W, 156.4713 V ve 5.7882 A gerçek çalışma değerlerinden sırasıyla 27.951W ve 9.8315 V daha az, 0.1975 A daha fazla olduğu ifade edilebilir. GGKA-MGNT ve GKA-MGNT algoritmalarının sistemin gerçek çalışma değerine daha yakın değerler elde ettiği Tablo 4.6’da görülmektedir.

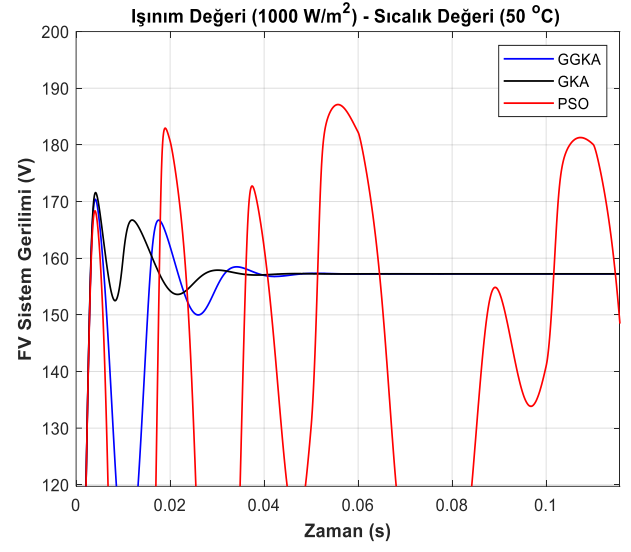
Şekil 4.21 (a) ve (b)’de sistemin I-V eğrisi ve P-V eğrisi çalışma durumu 5 için gösterilmiştir. Optimizasyon algoritmalarına dayalı MGNT algoritmalarından elde edilen çalışma değerleri Şekil 4.21’de belirtilmiştir. PSO-MGNT algoritmasının diğer MGNT algoritmalarına göre MGN’yi bulmada daha başarısız olduğu ifade edilebilir.



Şekil 4-18: Çalışma durumu 5: FV sistem akım grafiği

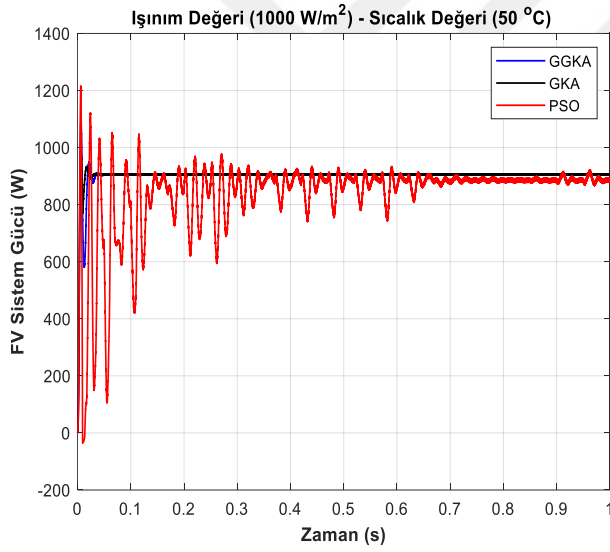


(a)

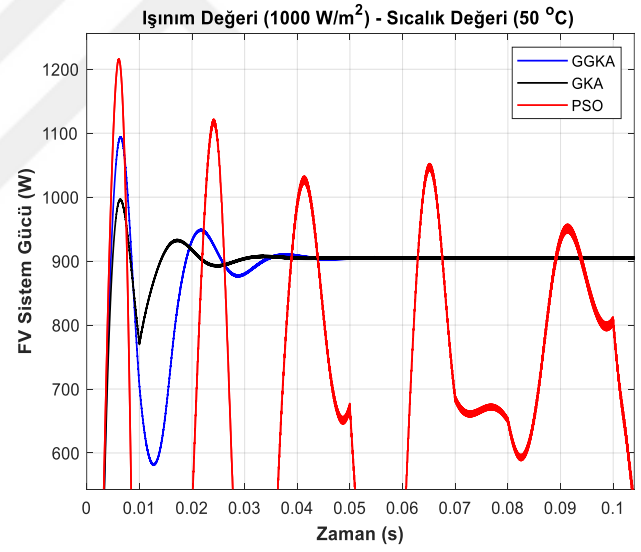


(b)

Şekil 4-19: Çalışma durumu 5: FV sistem gerilim grafiği

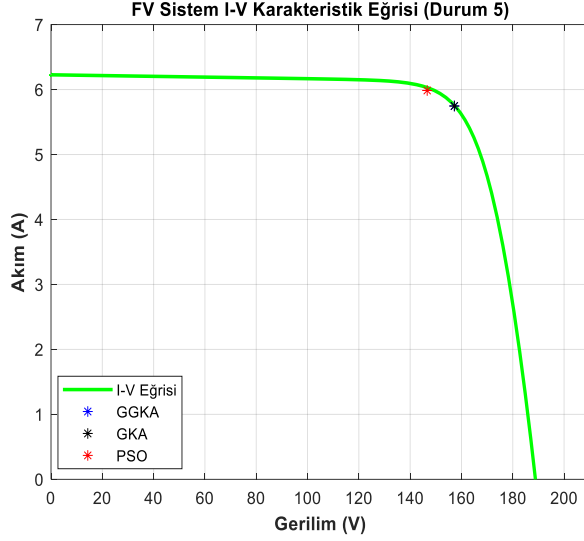


(a)

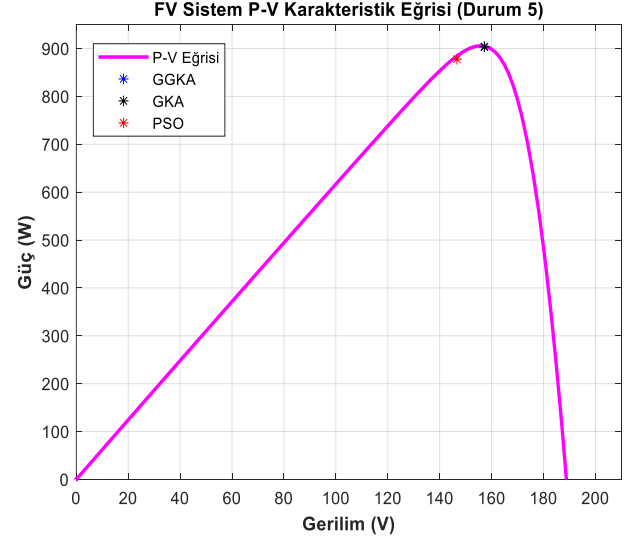


(b)

Şekil 4-20: Çalışma durumu 5: FV sistem güç grafiği



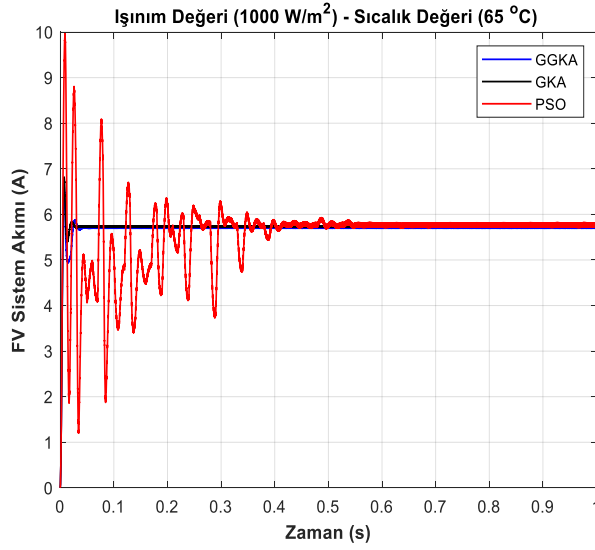
(a)



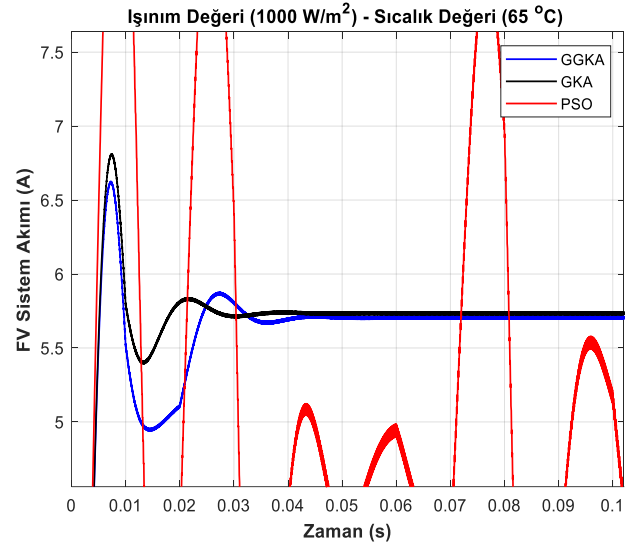
(b)

Şekil 4-21: Çalışma durumu 5: (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi

65 °C sıcaklık ve 1000 W/m² ışınım değerlerine sahip altıncı çalışma koşulunda, önerilen MGNT algoritmalarından elde edilen FV sistem çıkış akımı, gerilimi ve güç değerlerinin benzetim süreci sonucunda elde edilen sinyalleri Şekil 4.22, Şekil 4.23 ve Şekil 4.24’de verilmiştir.

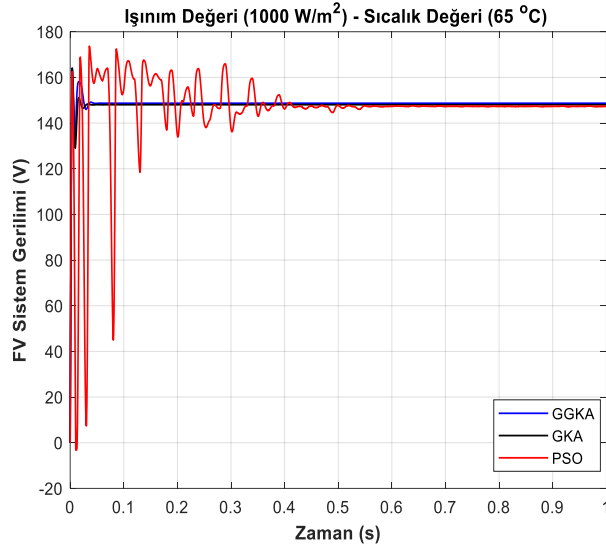


(a)

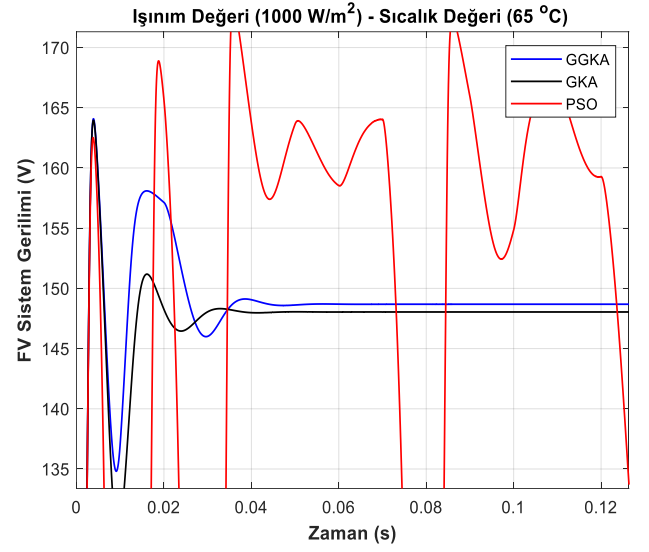


(b)

Şekil 4-22: Çalışma durumu 6: FV sistem akım grafiği

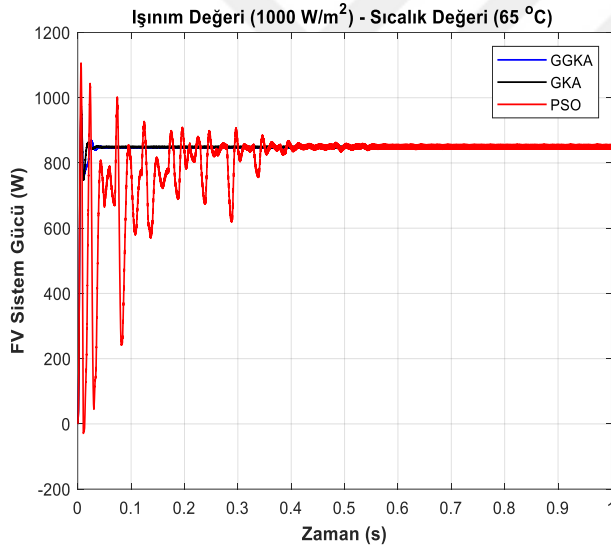


(a)

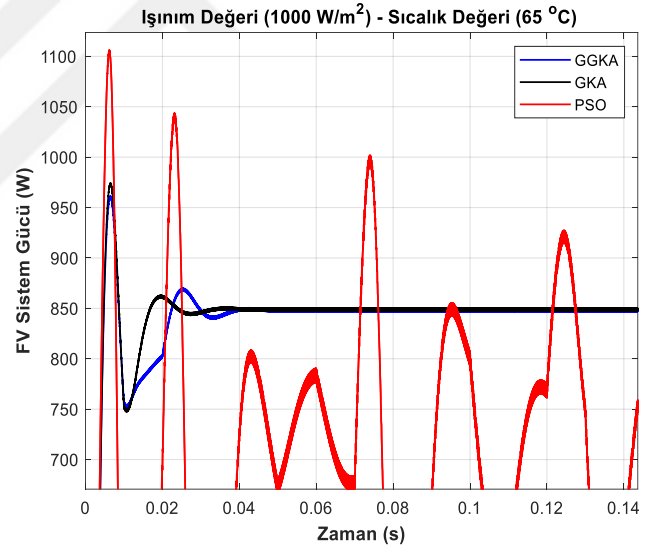


(b)

Şekil 4-23: Çalışma durumu 6: FV sistem gerilim grafiği



(a)

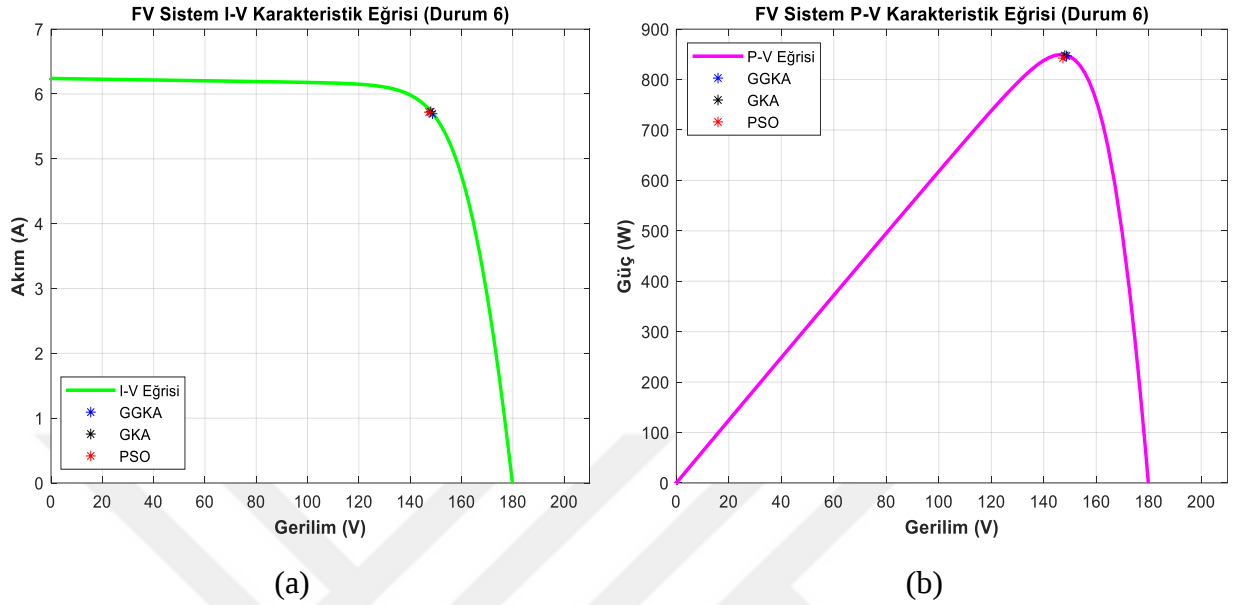


(b)

Şekil 4-24: Çalışma durumu 6: FV sistem güç grafiği

Bu çalışma durumunda, önerilen MGNT algoritmalarından PSO-MGNT algoritması global MGN etrafında diğer yöntemlere göre daha fazla salınıma sahip olduğu ve MGN değerinin sistemin gerçek MGN değerinden 6.7571 W daha az olduğu ifade edilebilir. GGKA-MGNT algoritmasının ise global MGN değerinden 2.5958W daha az 846.8084 W değerine yakınsadığı görülmektedir. GKA-MGNT algoritması ise global MGN'ye en çok yakınsayan algoritma olduğu görülmektedir. Bu çalışma koşulu için sistemin göstermiş olduğu çalışma karakteristiklerine bağlı

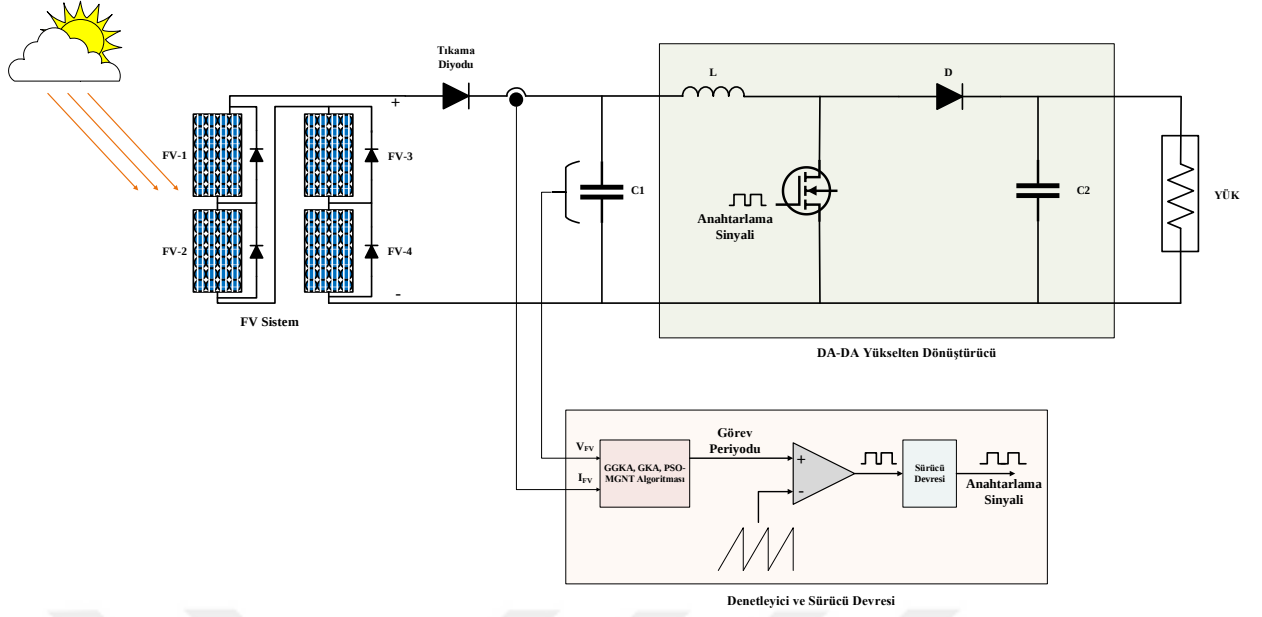
olarak elde edilen I-V ve P-V eğrileri, bu eğriler üzerinde MGNT algoritmalarının çalışma noktaları Şekil 4.25’de verilmiştir.



Şekil 4-25: Çalışma durumu 6: (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi

4.1.3 Kısmi Gölgele Koşullarda Benzetim Çalışmaları

Bu bölümde kısmi gölgele koşullar altında benzetim çalışmaları yapılarak optimizasyon algoritmalarına dayalı MGNT algoritmalarının MGN’yi bulmadaki performansları araştırılmış ve kullanılan benzetim modeline ait FV sistem Şekil 4.26’da gösterilmiştir. Kısmi gölgele koşullar için benzetim çalışmalarında kullanılan dört FV panel birbirlerine seri olarak bağlanmış ve bu FV paneller üzerine düşen ışıınım miktarları ve sistemin gerçek MGN değerleri Tablo 4.7’de gösterilmiştir. Bu bölümde, 25 °C sabit sıcaklıkta, yedinci çalışma durumunda 1000 W/m², 750 W/m², 500 W/m² ve 250 W/m², sekizinci çalışma durumunda 850 W/m², 650 W/m², 950 W/m² ve 350 W/m², dokuzuncu çalışma durumunda ise 1000 W/m², 800 W/m², 1000 W/m² ve 800 W/m² ışıınım değerleri Tablo 4.7’de görüldüğü gibi sırasıyla FV panellere uygulanarak kısmi gölgele koşullar altında benzetim çalışmaları oluşturulmuştur.



Şekil 4-26: Kısmi gölgeli FV sistem benzetim modeli

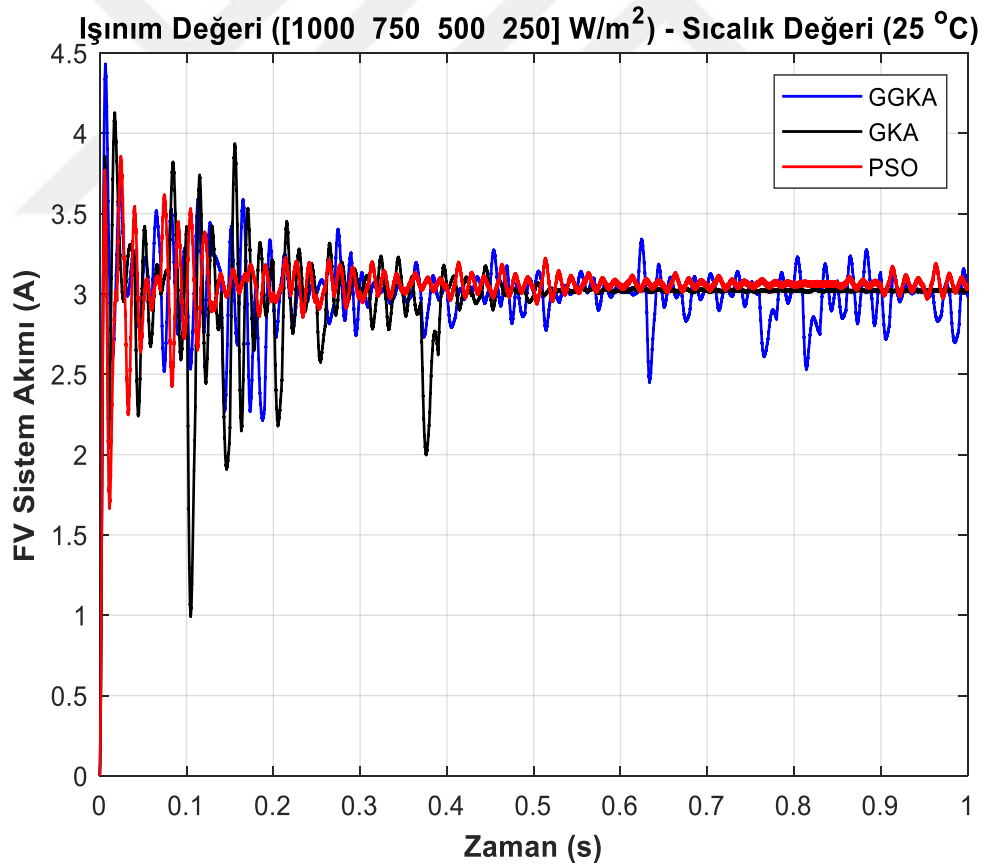
Tablo 4-7: Kısmi gölgeli koşullarda FV sistem benzetim durumları ve sistemin MGN değerleri

	Benzetim Durumları		
	Durum 7 (25 °C)	Durum 8 (25 °C)	Durum 9 (25 °C)
FV-1	1000 W/m ²	850 W/m ²	1000 W/m ²
FV-2	750 W/m ²	650 W/m ²	800 W/m ²
FV-3	500 W/m ²	950 W/m ²	1000 W/m ²
FV-4	250 W/m ²	350 W/m ²	800 W/m ²
Sistemin Gerçek MGN Değeri			
FV _{güç} (maks) (W)	407.7006	522.6047	838.1353
FV _{gerilim} (maks) (V)	135.3841	133.7354	175.2343
FV _{akım} (maks) (A)	3.0114	3.9078	4.7829

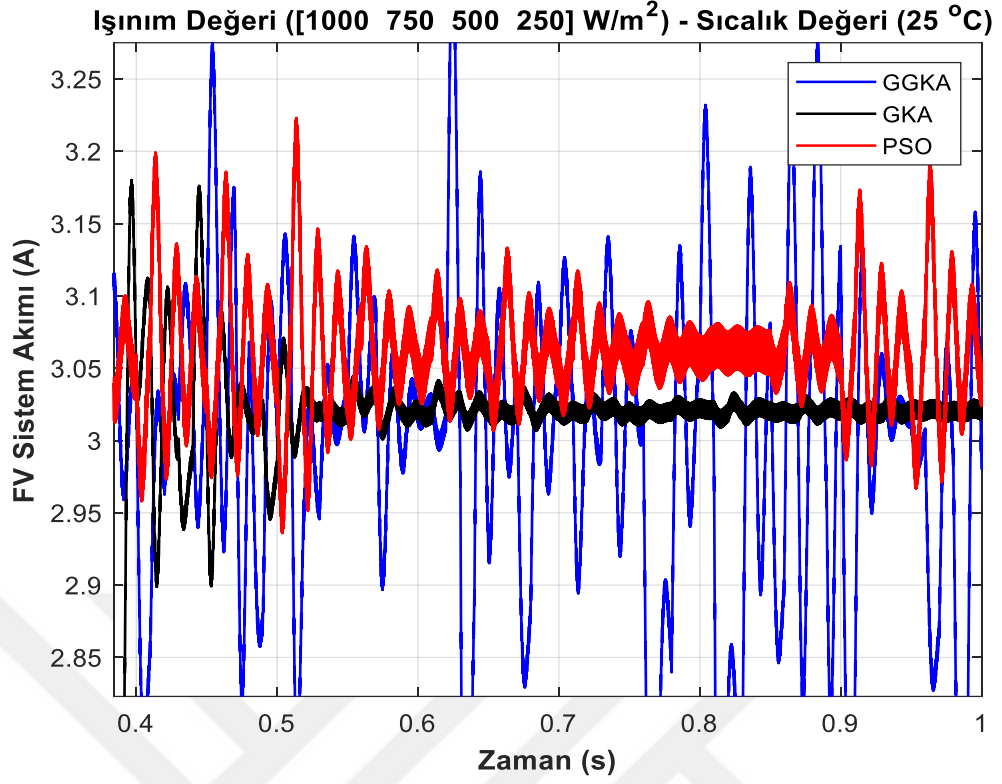
Şekil 4.26'daki FV sistem modelinde kısmi gölgeli koşullar altında yapılan benzetim çalışmaları sonucunda elde edilen FV sistem çıkış akım, gerilim ve güç değerleri Tablo 4.8'de verilmiştir. Tablo 4.7'de yedinci çalışma durum için verilen ışıınım değerleri, FV sistemdeki panellere sırasıyla uygulanmıştır. Bu çalışma durumunda GGKA-MGNT, GKA-MGNT ve PSO-MGNT algoritmalarından elde edilen FV sistem çıkış akımı, gerilimi ve güç değerlerinin benzetim süresince değişim eğrileri Şekil 4.27, Şekil 4.28 ve Sekil 4.29'da gösterilmiştir.

Tablo 4-8: Kısmi gölgeli koşullar altında elde edilen benzetim sonuçları

Benzetim Durumları		Optimizasyon Algoritmaları		
		GGKA	GKA	PSO
Durum 7	FV _{güç} (W)	394.6843	406.6983	389.6304
	FV _{gerilim} (V)	132.4470	134.9167	128.8711
	FV _{akım} (A)	2.9799	3.0144	3.0234
Durum 8	FV _{güç} (W)	498.0624	521.5691	519.2241
	FV _{gerilim} (V)	125.3445	133.8488	132.5427
	FV _{akım} (A)	3.9735	3.8967	3.9174
Durum 9	FV _{güç} (W)	823.4666	836.1519	832.5335
	FV _{gerilim} (V)	172.3442	176.4320	173.8976
	FV _{akım} (A)	4.7780	4.7392	4.7875

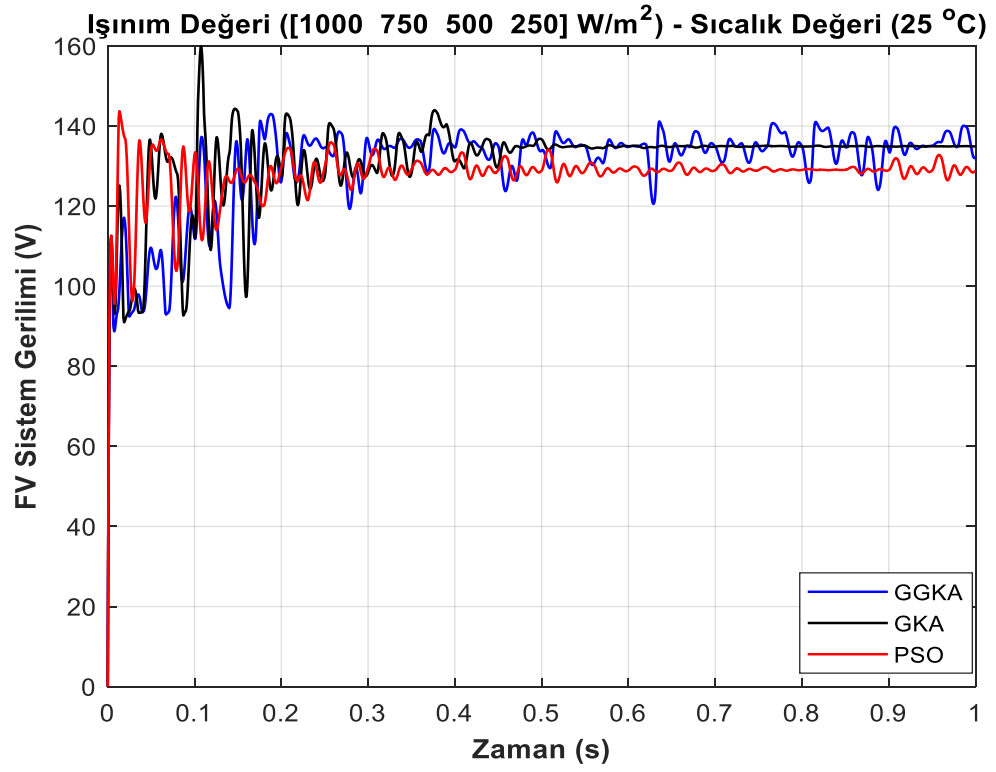


(a)

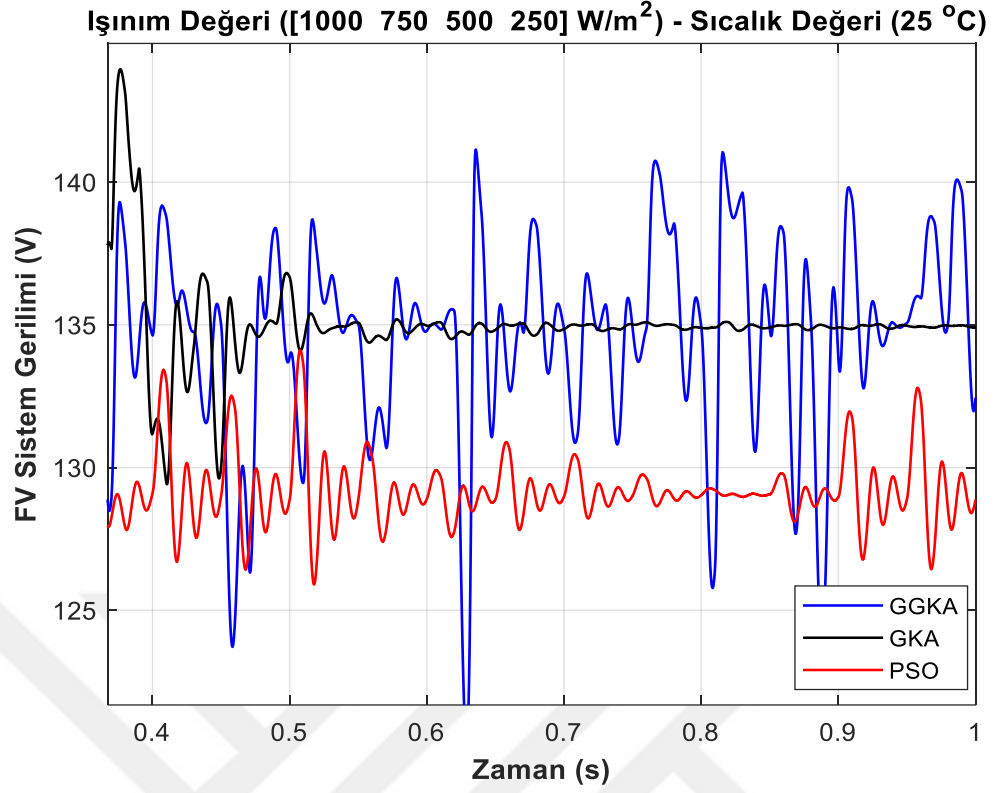


(b)

Şekil 4-27: Çalışma durumu 7: (a) FV sistem çıkış akımı, (b) yakınlaştırılmış hali

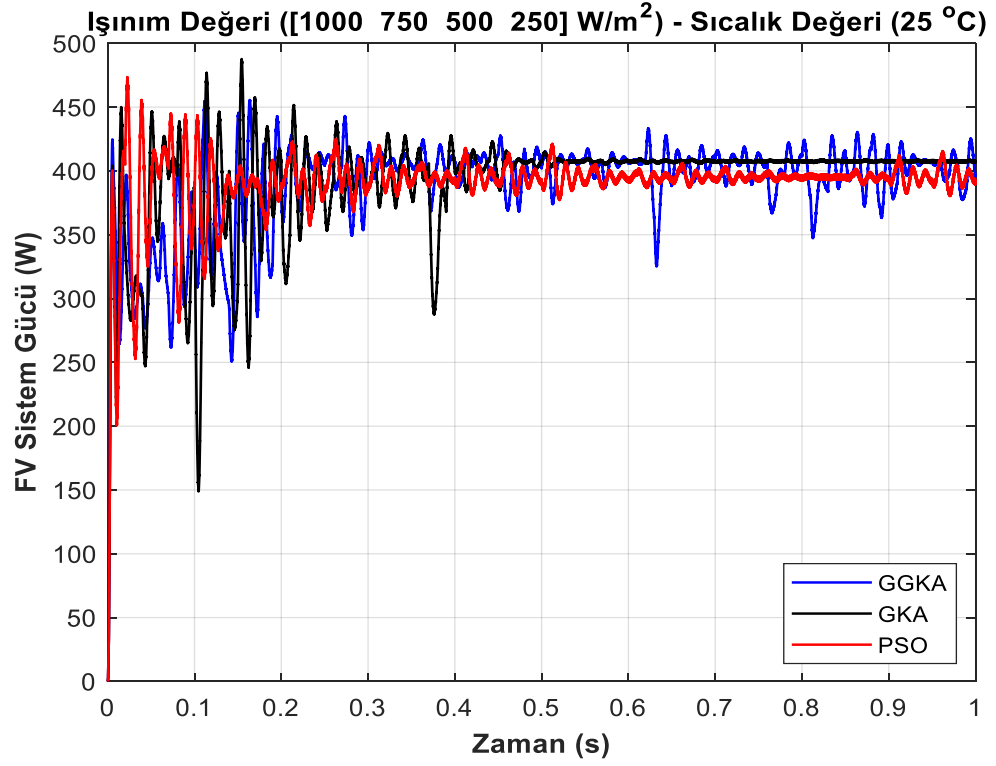


(a)

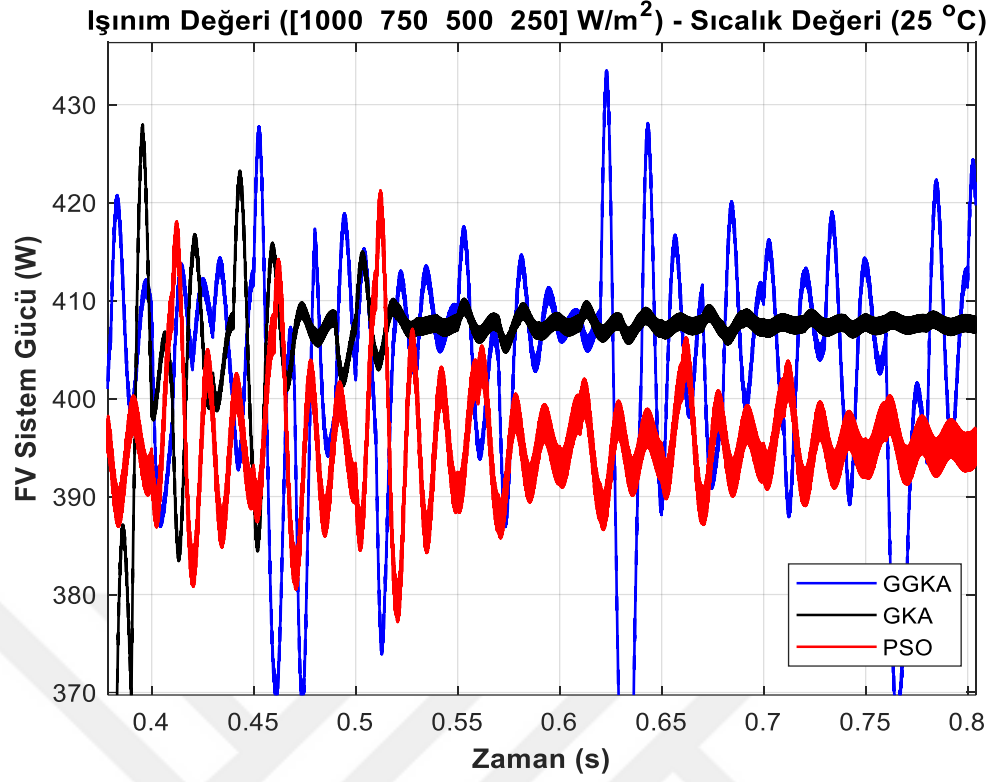


(b)

Şekil 4-28: Çalışma durumu 7: (a) FV sistem çıkış gerilimi, (b) yakınlaştırılmış hali

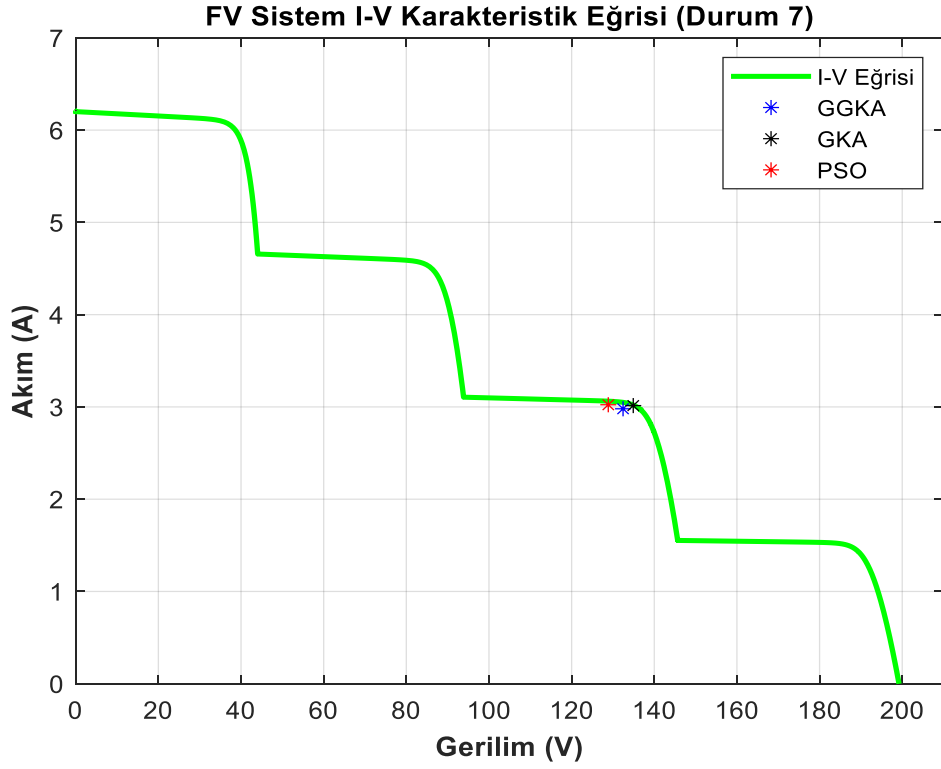


(a)

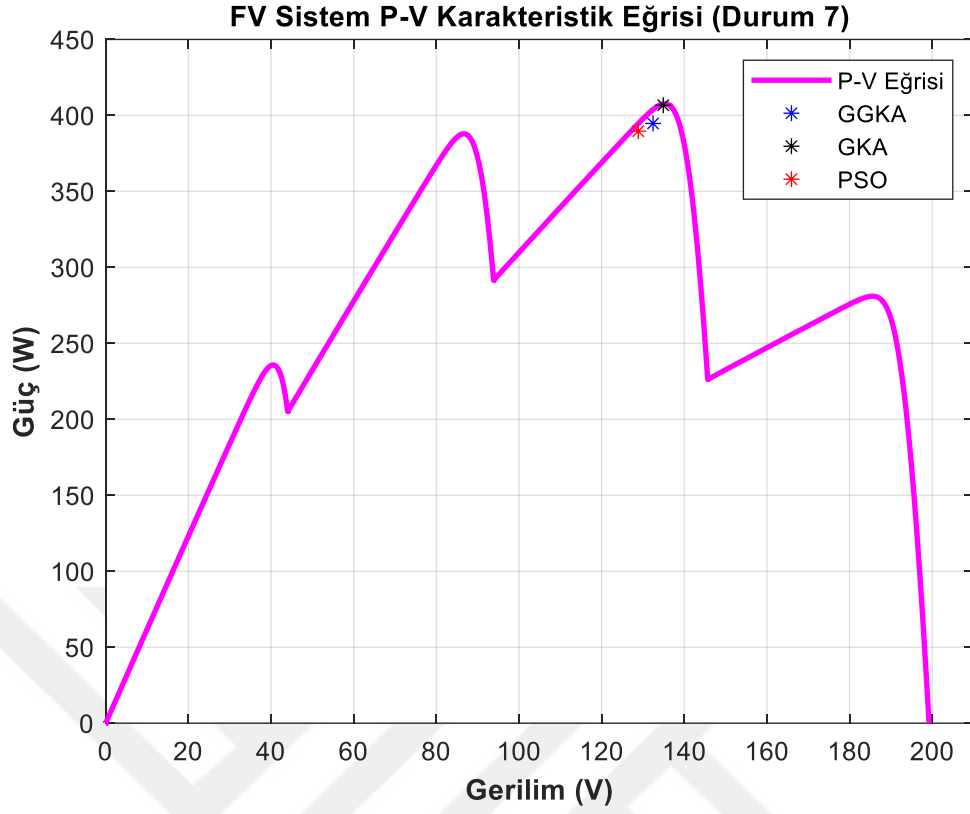


(b)

Şekil 4-29: Çalışma durumu 7: (a) FV sistem çıkış gücü, (b) yakınlaştırılmış hali



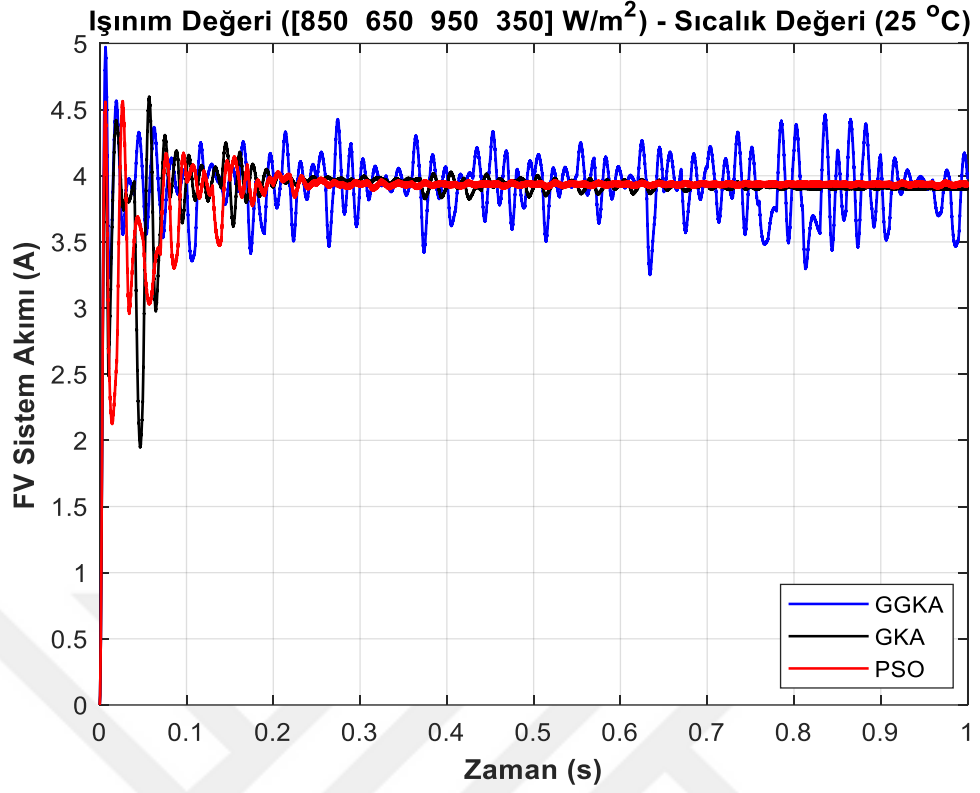
(a)



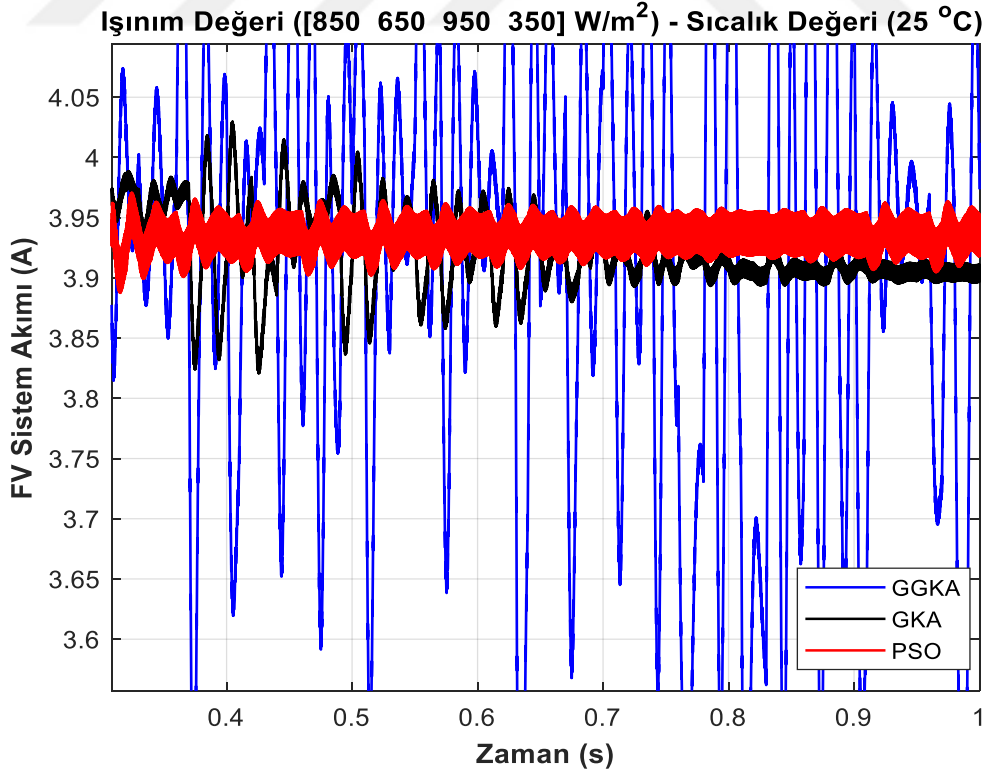
(b)

Şekil 4-30: Çalışma durumu 7: (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi

FV sistemin çıkış akımı ve yakınlştırılmış hali Şekil 4.27 (a) ve (b)'de çalışma durumu 7 için verilmekte olup, GGKA ve PSO algoritmalarına dayalı MGNT yöntemlerinin çıkış akım sinyalleri GKA'ya dayalı MGNT algoritmasının sonucuna göre MGN'de daha fazla salınıma sahip olduğu söylenebilir. FV sistemin çıkış gerilim grafiği ve yakınlştırılmış hali Şekil 4.28 (a) ve (b)'de verilmektedir. PSO-MGNT yönteminin çıkış gerilim sinyali diğer MGNT algoritmaların sonuçlardan daha az ve 129 V civarında olduğu, bu değerin sistemin gerçek çalışma değerinin 6.513 V altında olduğu Şekil 4.28'de açık bir şekilde görülmektedir. Şekil 4.29'daki FV sistemin çıkış gücü sinyalinde, PSO ve GGKA'ya dayalı MGNT algoritmalarının MGN etrafında daha fazla salınımlara sahip olduğu söylenebilir. GKA-MGNT algoritmasının gerçek MGN noktasına daha yakın bir değerde daha az salınım değerine sahip olduğu görülmektedir. Kısmı gölgeli koşullar altında, önerilen GGKA-MGNT, GKA-MGNT ve PSO-MGNT yöntemlerinden elde edilen ve Tablo 4.8'de çalışma durumu 7 için verilen sonuçların, sistemin I-V ve P-V çalışma karakteristiğini gösteren grafikler üzerinde gösterildiği çalışma noktaları Şekil 4.30'da verilmektedir. I-V ve P-V grafikleri üzerinde gerçek MGN noktasına en yakın çalışma noktalarına GKA-MGNT algoritmasının sahip olduğu görülmektedir.

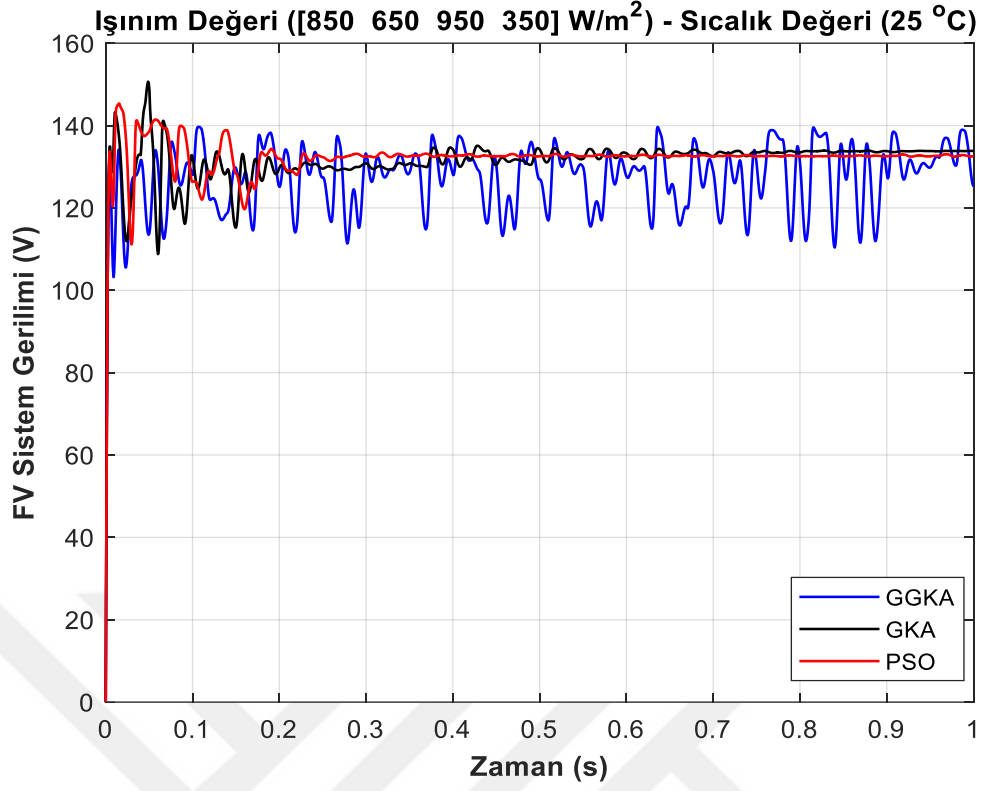


(a)

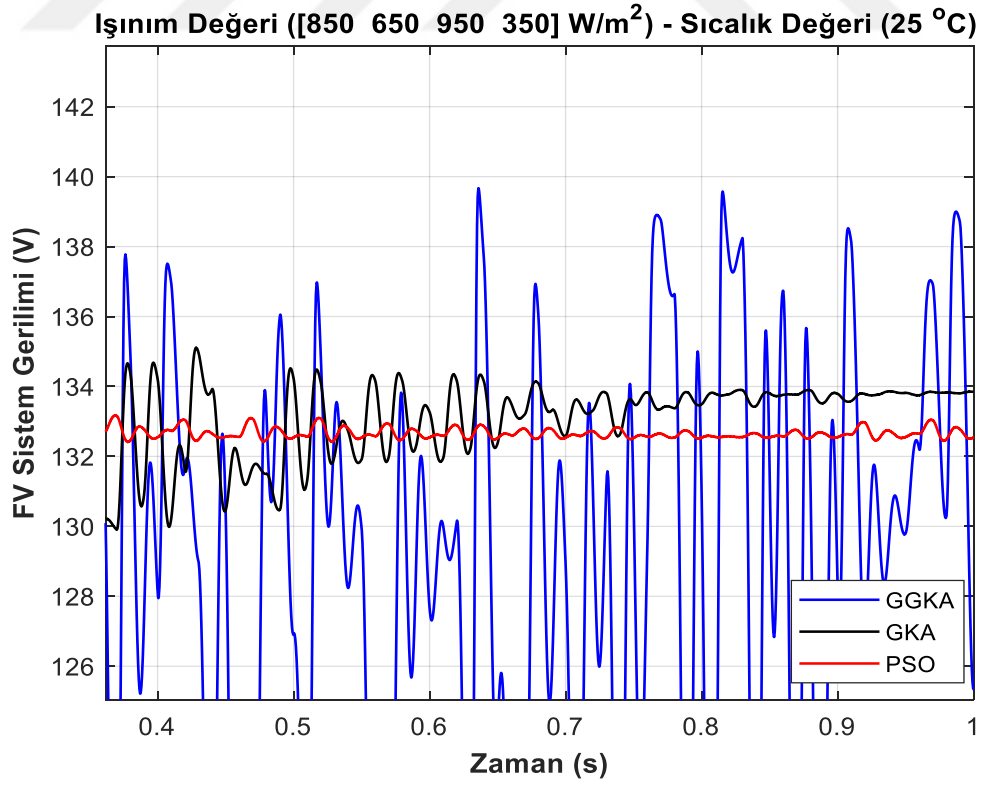


(b)

Şekil 4-31: Çalışma durumu 8: (a) FV sistem çıkış akımı, (b) yakınlaştırılmış hali

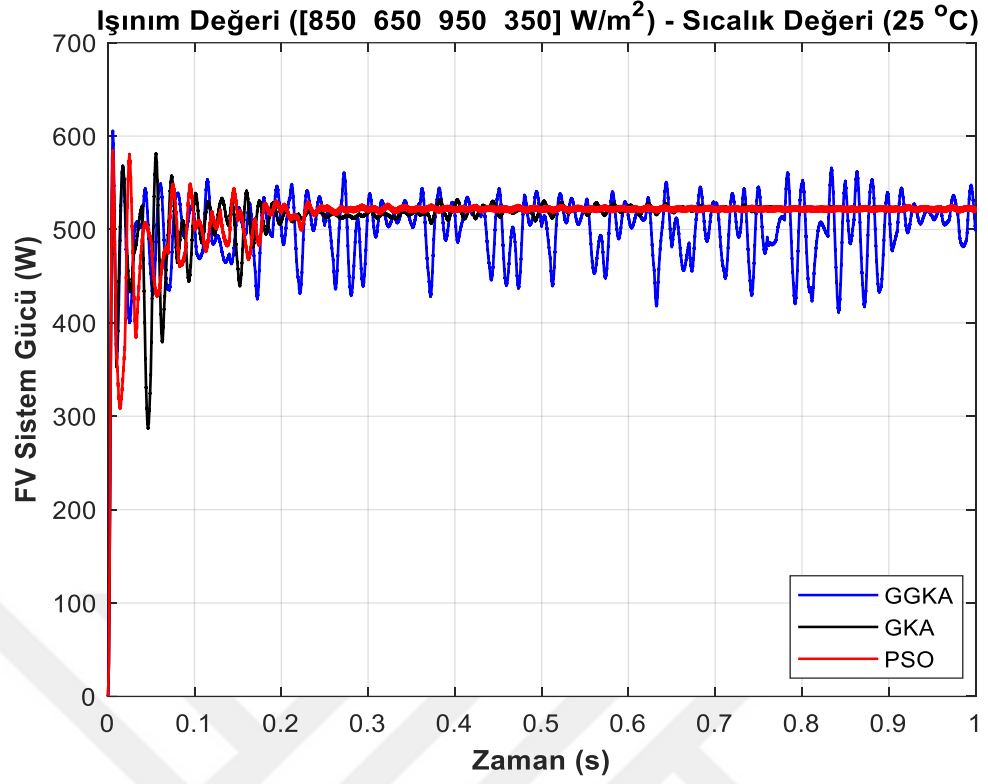


(a)

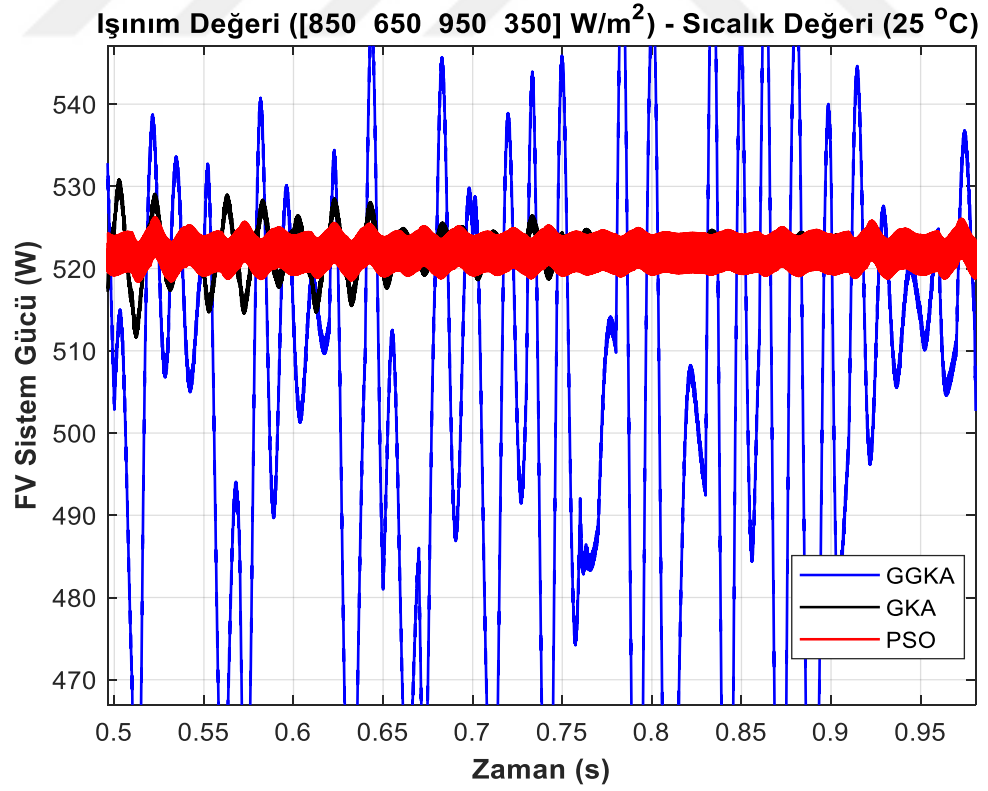


(b)

Şekil 4-32: Çalışma durumu 8: (a) FV sistem çıkış gerilimi, (b) yakınlaştırılmış hali

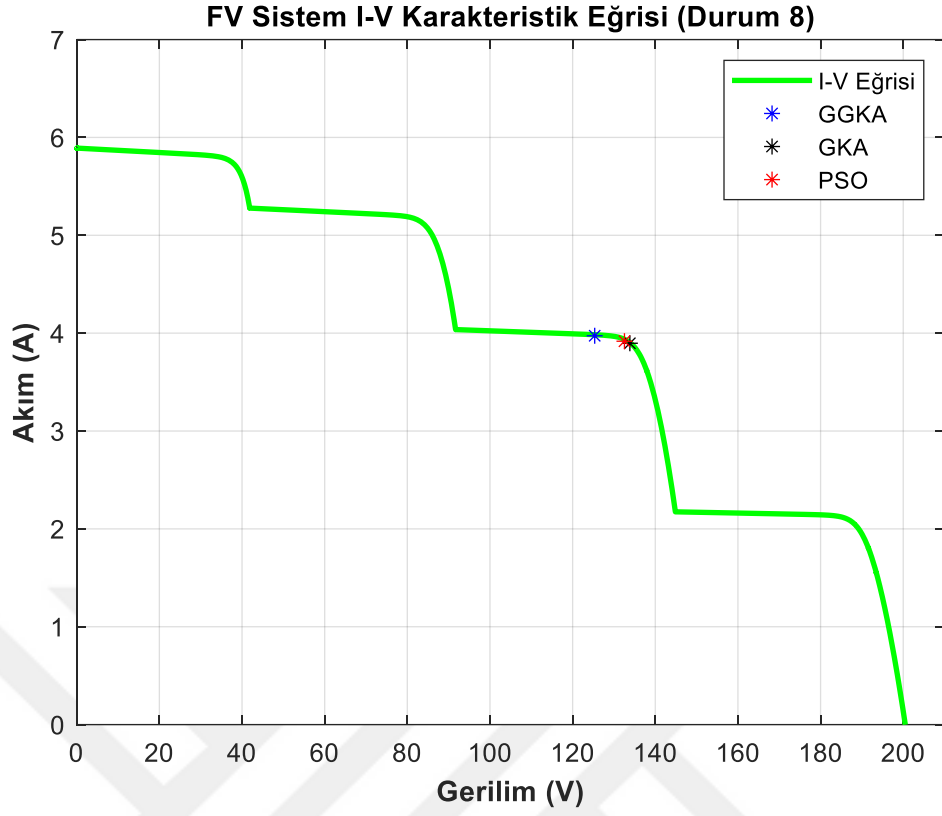


(a)

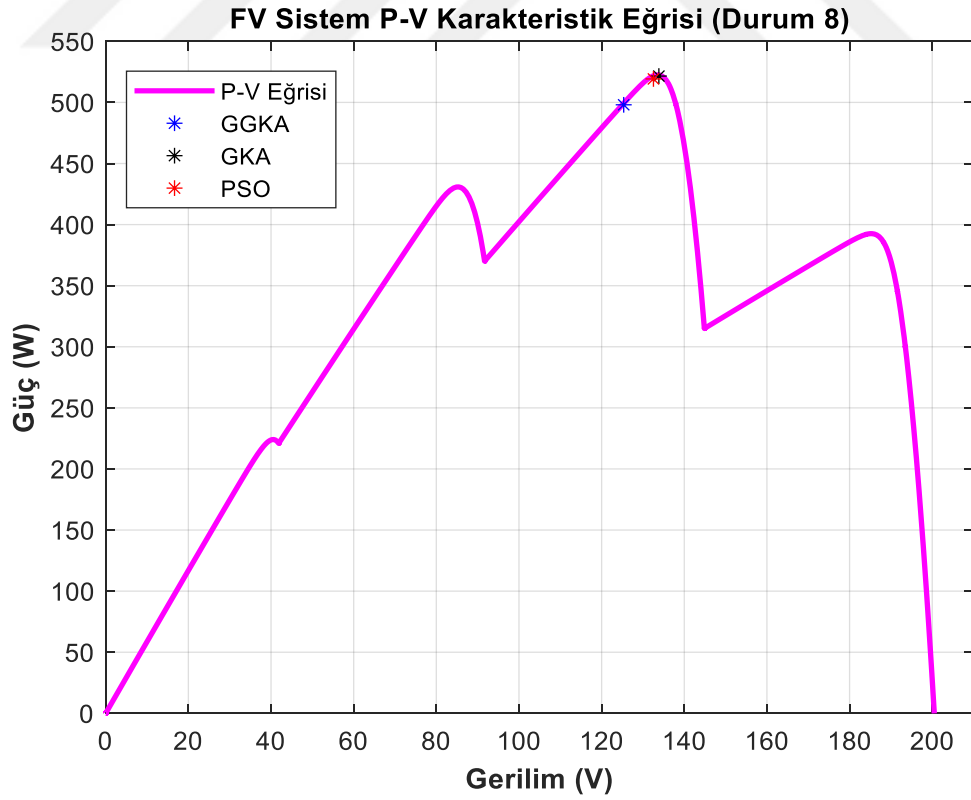


(b)

Şekil 4-33: Çalışma durumu 8: (a) FV sistem çıkış gücü, (b) yakınlaştırılmış hali



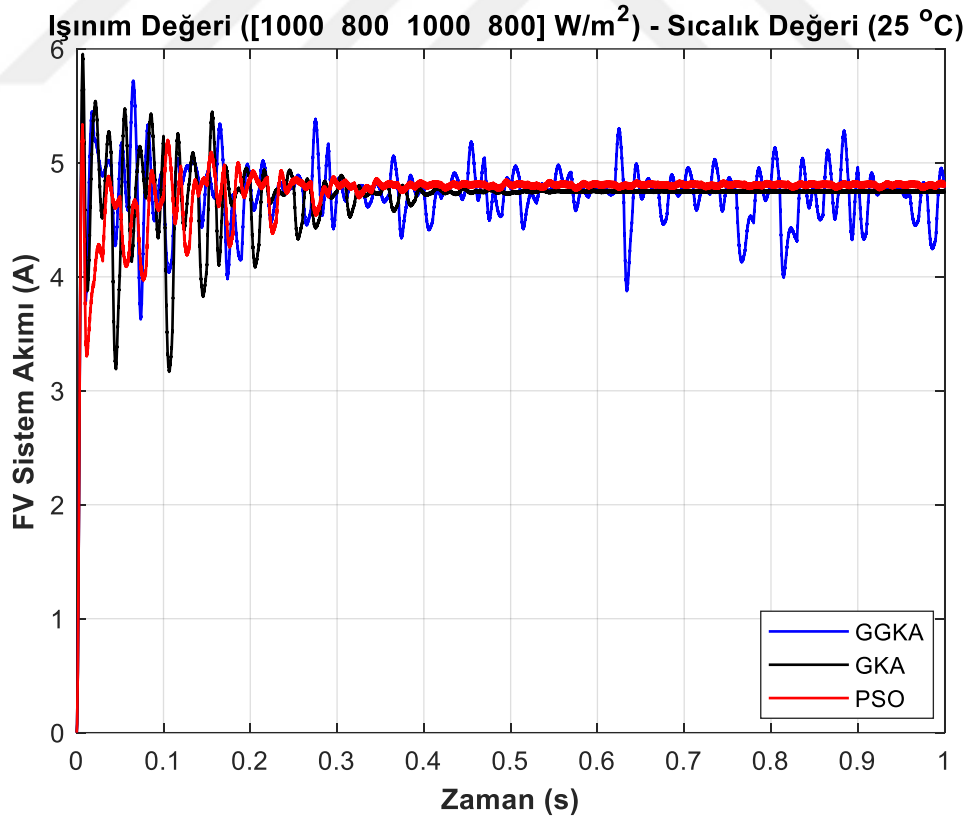
(a)



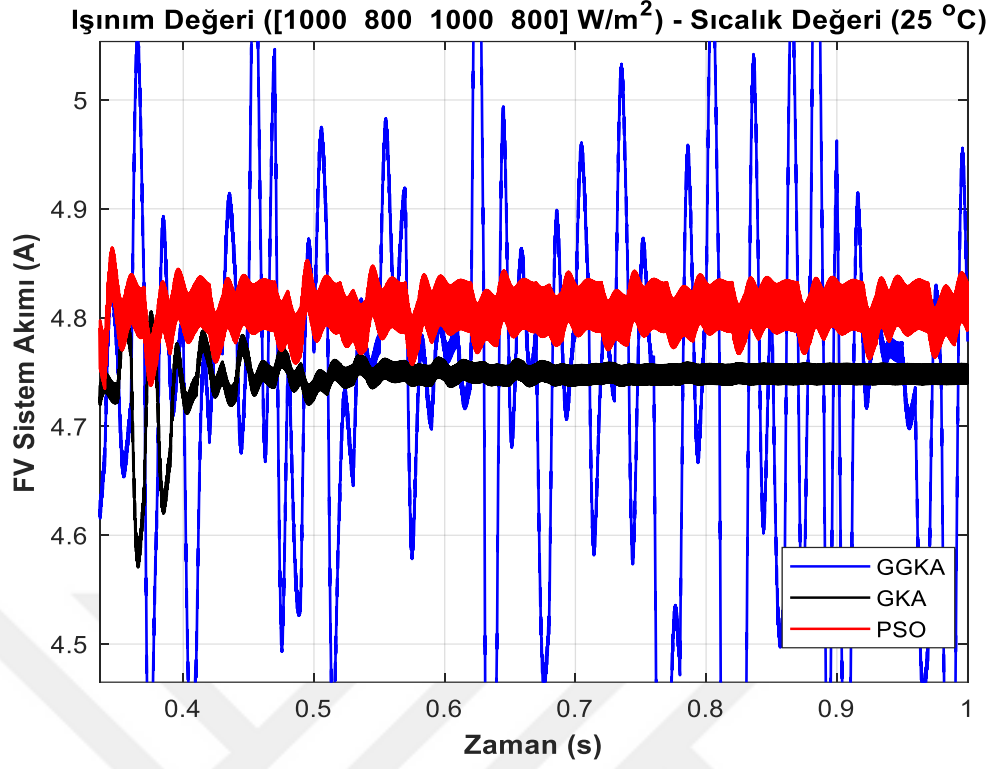
(b)

Şekil 4-34: Çalışma durumu 8: (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi

Kısmi gölgeli koşullar altında ki FV sistem modelinde sekizinci durum çalışması için yapılan benzetim çalışmaları sonucunda elde edilen FV sistem çıkış akım, gerilim ve güç değerlerine ait eğriler Şekil 4.31, Şekil 4.32 ve Şekil 4.33'te gösterilmiştir. Bu çalışma durumunda, FV panellerin üzerine düşen ışıınım değerleri 850 W/m^2 , 650 W/m^2 , 950 W/m^2 ve 350 W/m^2 değerlerinde olup, sıcaklık değeri 25°C değerindedir. FV sistem çıkış akım, gerilim ve güç eğrilerinden de görüldüğü gibi, GGKA-MGNT yönteminin diğer GKA-MGNT ve PSO-MGNT yöntemlerine göre MGN etrafında daha fazla salınıma ve güç kaybına sahip olduğu söylenebilir. Başka bir ifadeyle, GGKA-MGNT algoritması sistemin gerçek MGN değerinden %4.9275 daha az değere sahipken, PSO-MGNT algoritması %0.6511 daha az değere sahiptir. GKA-MGNT algoritmasının bulduğu MGN değeri 521.5691 W olup, bu değer gerçek MGN değerinden %0.1985 daha azdır. Çalışma durumu 8 için sistemin I-V eğrisi ve P-V eğrisi Şekil 4.34 (a) ve (b)'de gösterilmiştir. Optimizasyon algoritmalarına dayalı MGNT algoritmalarından elde edilen FV sistem çıkış akım, gerilim ve güç değerlerine karşılık gelen çalışma noktaları Şekil 4.34'te belirtilmiştir. MGN'yi bulmada GGKA-MGNT algoritmasının en başarısız olduğu, GKA-MGNT algoritmasının ise en başarılı olduğu söylenebilir.

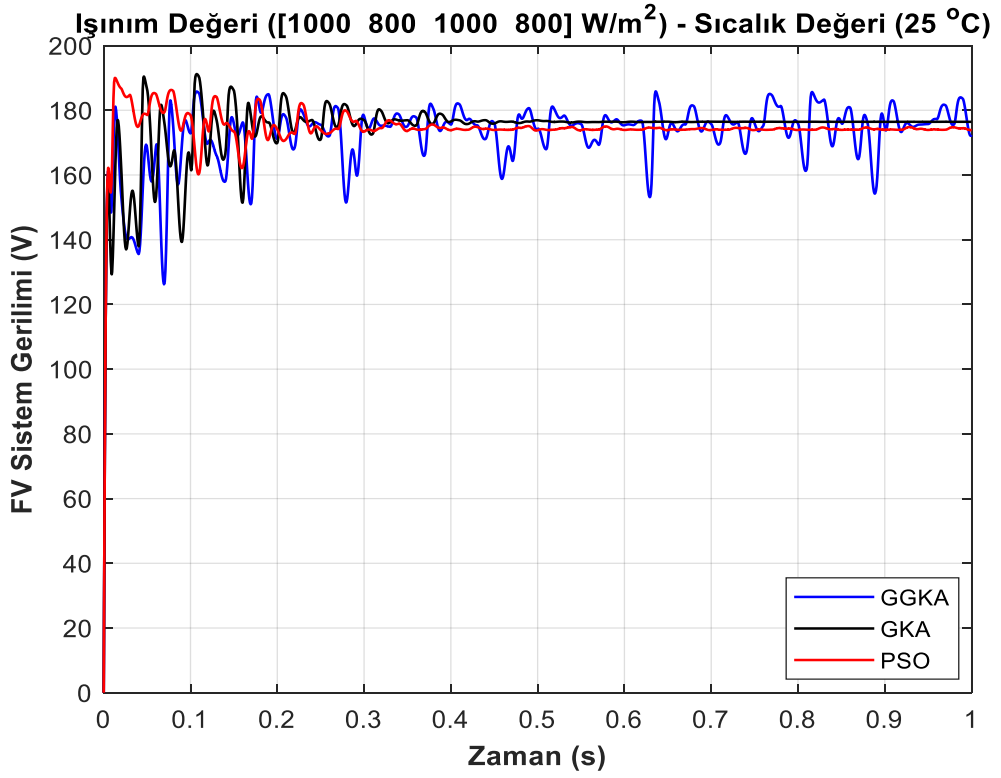


(a)

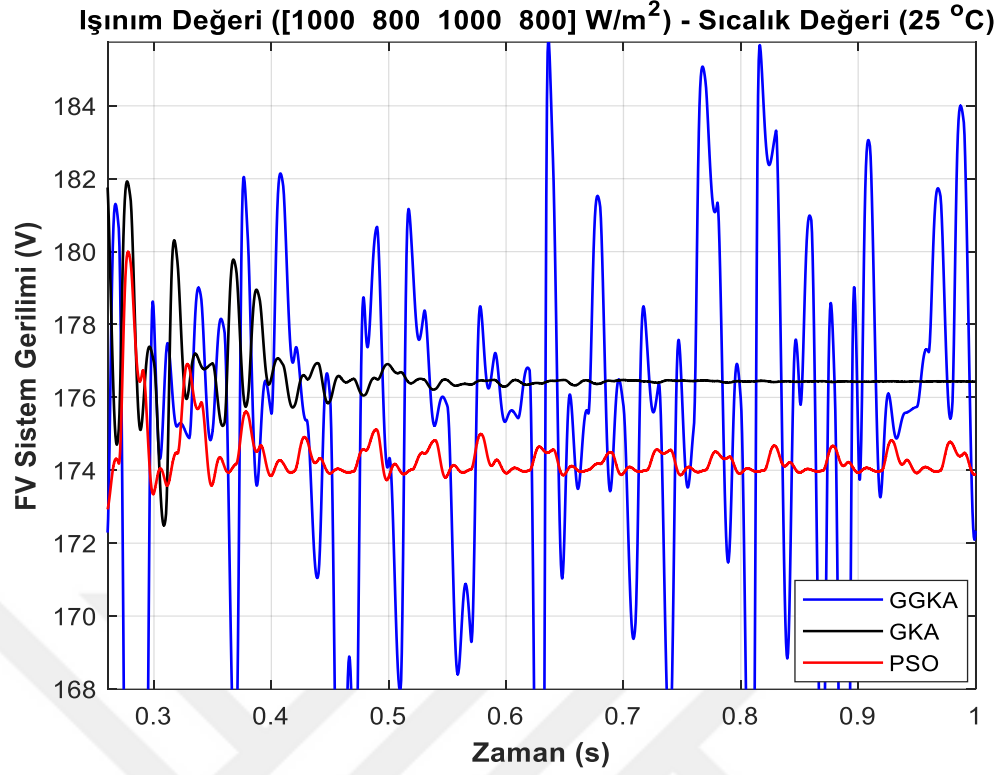


(b)

Şekil 4-35: Çalışma durumu 9: (a) FV sistem çıkış akımı, (b) yakınlaştırılmış hali

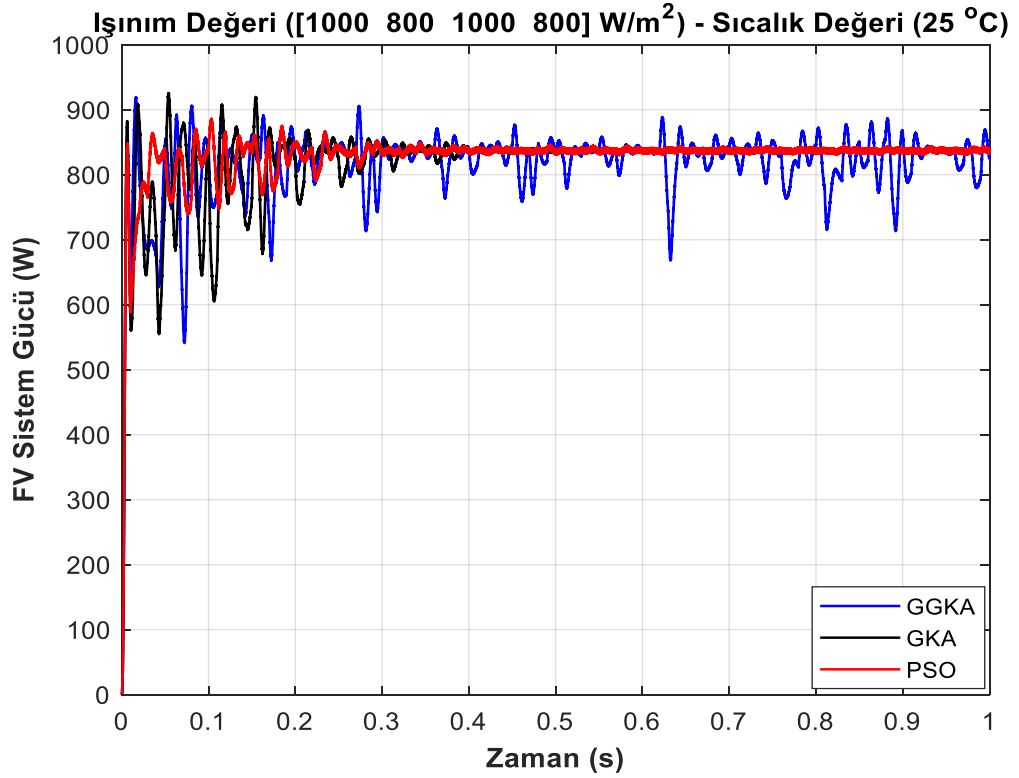


(a)

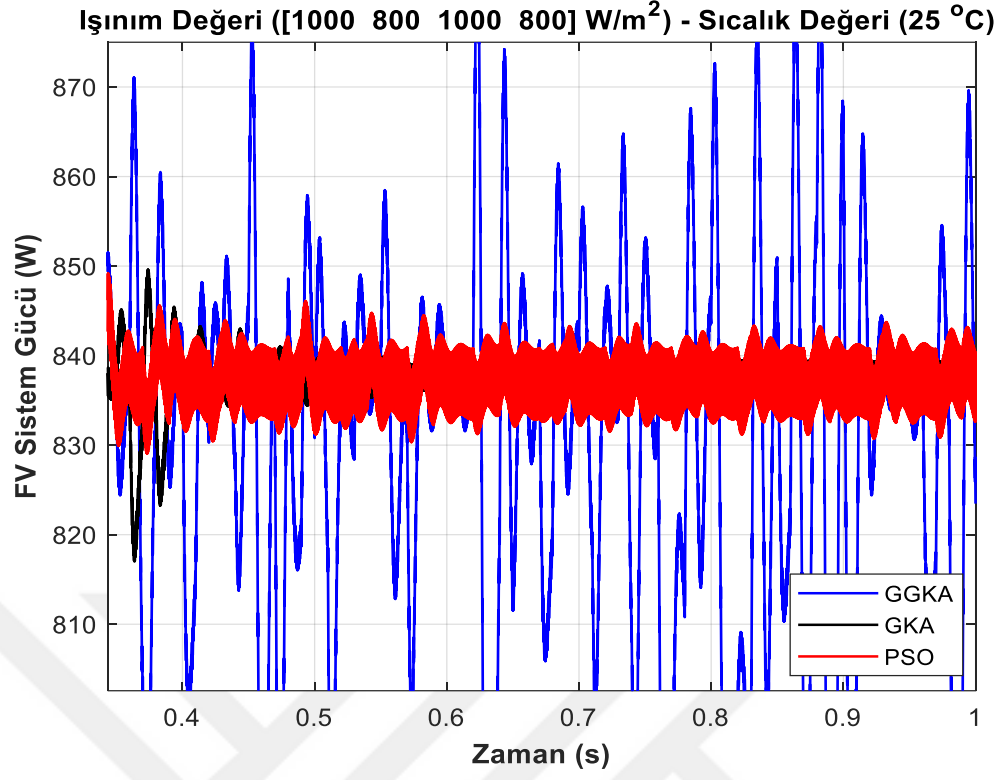


(b)

Şekil 4-36: Çalışma durumu 9: (a) FV sistem çıkış gerilimi, (b) yakınlaştırılmış hali

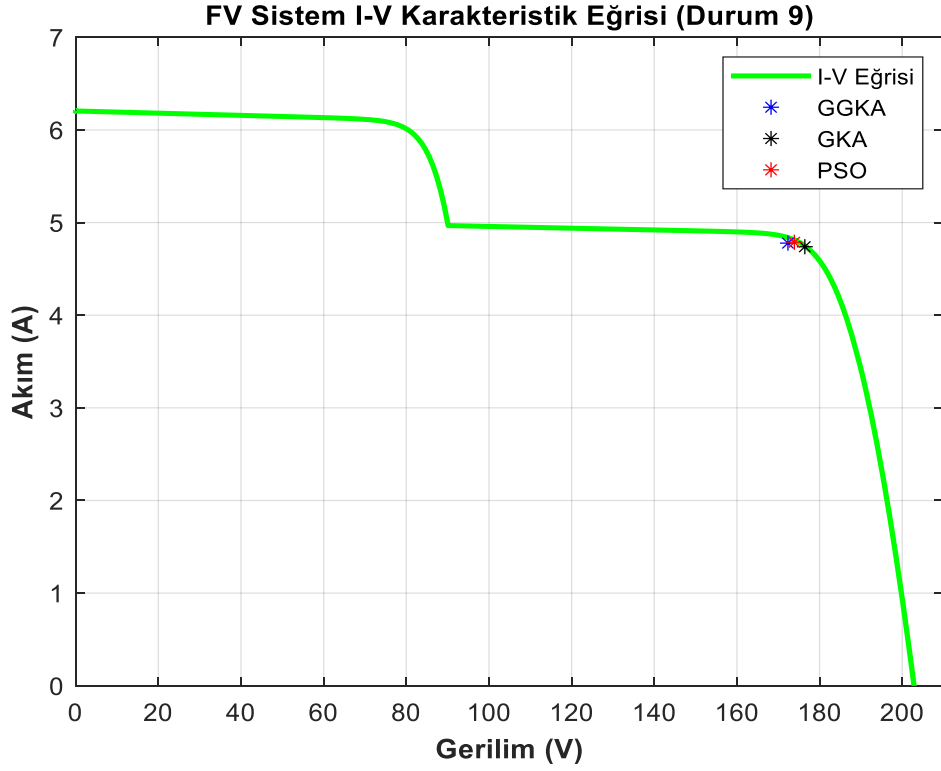


(a)

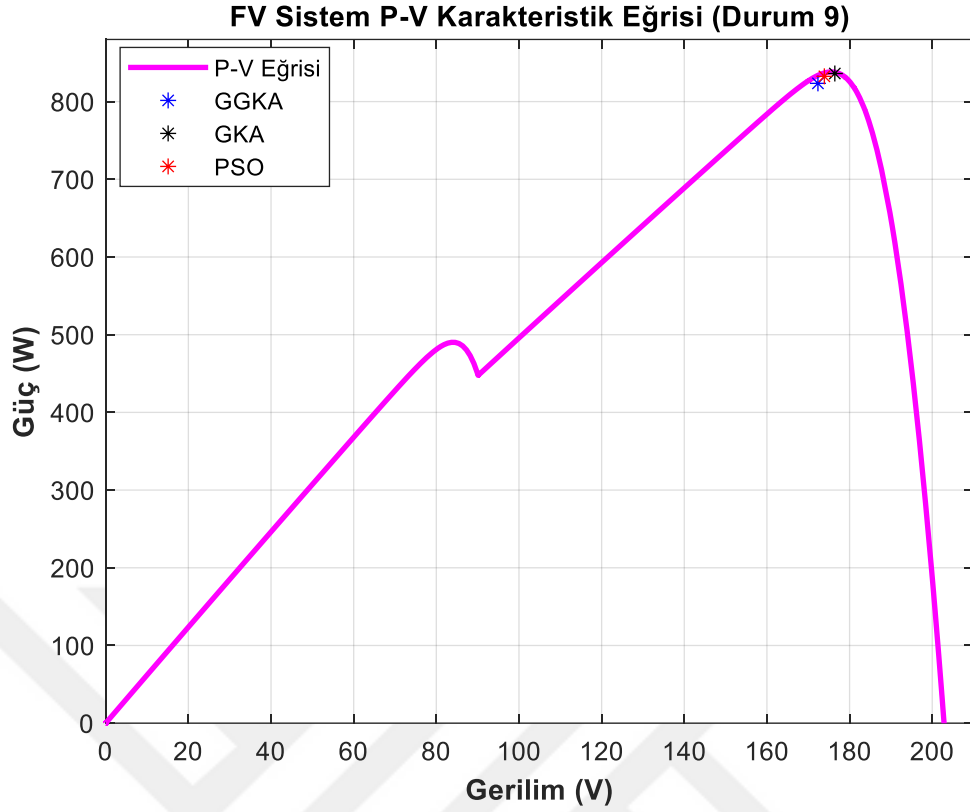


(b)

Şekil 4-37: Çalışma durumu 9: (a) FV sistem çıkış gücü, (b) yakınlaştırılmış hali



(a)



(b)

Şekil 4-38: Çalışma durumu 9: (a) I-V eğrisi, (b) P-V eğrisi

Kısmi gölgeli koşullar altında ki FV sistem modelinde dokuzuncu durum çalışması için yapılan benzetim çalışmaları sonucunda elde edilen FV sistem çıkış akım, gerilim ve güç değerlerine ait eğriler Şekil 4.35, Şekil 4.36 ve Şekil 4.37’de gösterilmiştir. Bu çalışma durumunda, FV panellerin üzerine düşen ışınlam değerleri 1000 W/m^2 , 800 W/m^2 , 1000 W/m^2 ve 800 W/m^2 değerlerinde olup, sıcaklık değeri $25 \text{ }^\circ\text{C}$ değerindedir. MGNT algoritmalarının kullanımı sonucunda elde edilen akım, gerilim ve güç eğrileri detaylı bir şekilde incelendiğinde, GGKA-MGNT yönteminin diğer GKA-MGNT ve PSO-MGNT yöntemlerine göre MGN etrafında daha fazla salınma ve güç kaybına sahip olduğu, GKA-MGNT algoritmasının daha az güç kaybına ve salınma sahip olduğu ifade edilebilir. Başka bir ifadeyle, GGKA-MGNT algoritması sistemin gerçek MGN değerinden 14.6687 W daha az değere sahipken, PSO-MGNT algoritması 5.6018 W daha az değere sahiptir. GKA-MGNT algoritmasının bulduğu MGN değeri 836.1519 W olup, bu değer gerçek MGN değerinden 1.9834 W daha azdır. Sistemin I-V eğrisi ve P-V eğrisi Şekil 4.34 (a) ve (b)’de çalışma durumu 9 için gösterilmiştir. GGKA-MGNT, GKA-MGNT ve PSO-MGNT algoritmalarından elde edilen FV sistem çıkış akım, gerilim ve güç değerlerine karşılık gelen çalışma noktaları Şekil 4.38’te işaretlenmiştir. Optimizasyon algoritmalarına dayalı MGNT

algoritmaları içerisinde MGN'yi bulmada GKA-MGNT algoritmasının en başarılı algoritma olduğu ifade edilebilir.



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, GGKA, GKA ve PSO optimizasyon algoritmalarına dayalı MGNT algoritmalarının hem değişen atmosferik koşullar hem de kısmi gölgeli koşullar altında şebekeden bağımsız FV sistemlerde MGN'yi bulmadaki performansları araştırılmıştır. MATLAB/Simulink ortamında oluşturulan FV sistem benzetim modelinde, üç farklı atmosferik koşul, 9 farklı çalışma durumunda benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Birinci benzetim çalışması için; önerilen MGNT algoritmalarının MGN'yi bulmadaki performansları farklı ışıınım ve sabit sıcaklık değerlerinde değerlendirildiğinde, PSO-MGNT algoritmasının MGN'yi bulmada en başarısız algoritma ve MGN etrafında oluşan salınımlar açısından en fazla salınıma sahip olan algoritma olduğu söylenebilir. GKA-MGNT algoritması sistemin gerçek MGN değerine en yakın değerleri bulan ve MGN etrafında en az salınıma sahip algoritma olduğu elde edilen sonuçlardan açıkça görülmektedir. GGKA-MGNT algoritması ise MGN'yi bulmada GKA-MGNT algoritmasından sonra en başarılı algoritma olduğu ifade edilebilir.

İkinci benzetim çalışması farklı sıcaklık ve sabit ışıınım değerleri için önerilen MGNT yöntemlerinin MGN'yi bulmadaki performansları araştırılmıştır. Bu benzetim çalışmasında da PSO-MGNT algoritmasının gerçek MGN değerini bulmada ve MGN etrafında oluşan salınımlar açısından en başarısız algoritma olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışma durumunda da hem sayısal veriler hem de FV sistemin akım, gerilim ve güç grafikleri, GKA-MGNT algoritmasının MGN'yi bulmada ve MGN etrafında oluşan salınımlar açısından en iyi performansa sahip algoritma olduğu kanıtlamaktadır. GGKA-MGNT algoritması MGN'yi bulmada ikinci en iyi değere sahip algoritma olarak performans göstermektedir.

Üçüncü benzetim çalışmasında FV sistemler için en zor atmosferik koşullardan olan kısmi gölgeli çalışma koşulları düşünülmüştür. Bu çalışma koşulunda üç farklı durumunun benzetim çalışmaları yapılmıştır. Kısmi gölgeli koşullar altında, gölgelenme durumuna göre FV sistemlerde bir tane global MGN noktası olurken birden fazla lokal MGN noktası oluşmaktadır. Klasik MGNT algoritmalarının global MGN'yi bulmadaki dezavantajlarını ortadan kaldırmak için optimizasyon algoritmalarına dayalı MGNT algoritmalarının performansları detaylı bir şekilde araştırılmıştır. Bu benzetim çalışmasında, global MGN'yi bulmada en başarılı performans gösteren algoritma GKA-MGNT, en kötü performans sergileyen algoritma GGKA-MGNT ve ikinci en iyi performansı gösteren algoritma PSO-MGNT olmuştur.

Sonuç olarak bu çalışmada hem değişen atmosferik hem de kısmi gölgeli koşullar altında önerilen optimizasyon algoritmalarına dayalı MGNT algoritmaları içerisinde GKA-MGNT algoritması MGN’yi bulmada ve MGN etrafında oluşan salınımları en aza indirmede en başarılı performansı göstermiştir.

GKA algoritması hem global noktaya yakınsama hızı hem de global noktayı bulma becerisi açısından bundan sonraki yapılacak bilimsel çalışmalarda daha fazla tercih edilebilir. Ayrıca, klasik algoritmalarından değiştir-gözetle ve artan iletkenlik algoritmalarında kullanıcı deneyimine göre değişen adım katsayısı parametresi optimizasyon algoritmaları veya GKA kullanılarak en iyi değeri belirlenebilir. Böylece bu klasik algoritmalarda kullanılan sabit adım katsayısı optimizasyon algoritmaları ile uyarlana bilir adım katsayısına dönüşerek MGN’yi bulmada daha etkili olacaktır.



6. KAYNAKLAR

- [1] Li, G., Jin, Y., Akram, M. W., Chen, X., & Ji, J. (2018). Application of Bio-inspired Algorithms in Maximum Power Point Tracking for PV Systems under Partial Shading Conditions – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 840–873.
- [2] Salas, F., Olías, E., Barrado, A., & Lázaro, A. (2006). Review of the Maximum Power Point Tracking Algorithms for stand-alone Photovoltaics Systems. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 90, 1555–1578.
- [3] Ishaque, K., & Salam, Z. (2013). A Review of Maximum Power Point Tracking Techniques of PV System for Uniform Insolation and Partial Shading Condition. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 475–488.
- [4] Duman, S., Yörükeren, N., & Altaş, İ. H. (2014). Fotovoltaik Enerji Sistemlerinin Modellenmesi, Benzetimi ve Uygulaması, *İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 3(1), 9–23.
- [5] Çakmak, R. (2012). Fotovoltaik Güç Üretim Sistemleri için Bulanık Mantık Tabanlı Maksimum Güç Noktası Takip Sistemi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- [6] Javed, S., & Ishaque, K. (2022). A Comprehensive Analyses with New findings Of Different PSO Variants for MPPT Problem Under Partial Shading. *Ain Shams Engineering Journal*, 13, 101680.
- [7] Sridhar, R., Subramani, C., & Pathy, S. (2021). A Grasshopper Optimization Algorithm Aided Maximum Power Point Tracking for Partially Shaded Photovoltaic Systems. *Computers and Electrical Engineering*, 92, 107124.
- [8] Fares, D., Fathi, M., Shams, I., & Mekhilef S. (2021). A Novel Global MPPT Technique Based on Squirrel Search Algorithm for PV Module Under Partial Shading Conditions. *Energy Conversion and Management*, 230, 113773.
- [9] Phanden, R. K., Sharma, L., Chhabra, J., & Demir, H. İ. (2021). A Novel Modified Ant Colony Optimization Based Maximum Power Point Tracking Controller for Photovoltaic Systems. *Materials Today: Proceedings*, 38, 89–93.
- [10] Mirza, A. F., Mansoor, M., & Ling, Q. (2020). A Novel MPPT Technique Based on Henry Gas Solubility Optimization. *Energy Conversion and Management*, 225, 113409.
- [11] Mansoor, M., Mirza, A. F., & Ling, Q. (2020). Harris Hawk Optimization-Based MPPT Control for PV Systems Under Partial Shading Conditions. *Journal of Cleaner Production*, 274, 122857.

- [12] Premkumar, M., & Sowmya, R. (2019). An Effective Maximum Power Point Tracker for Partially Shaded Solar Photovoltaic Systems. *Energy Reports*, 5, 1445–1462.
- [13] Mirza, A. F., Mansoor, M., Ling, Q., Yin, B., & Javed, M. Y. (2020). A Salp-Swarm Optimization Based MPPT Technique for Harvesting Maximum Energy from PV Systems Under Partial Shading Conditions. *Energy Conversion and Management*, 209, 112625.
- [14] Abdalla, O., Rezk, H., & Ahmed, E. M. (2019). Wind Driven Optimization Algorithm Based Global MPPT for PV System Under Non-Uniform Solar Irradiance. *Solar Energy*, 180, 429–444.
- [15] Yang, B., Zhong, L., Zhang, X., Shu, H., Yu, T., Li, H., Jiang, L., & Sun, L. (2019). Novel Bio-Inspired Memetic Salp Swarm Algorithm and Application to MPPT for PV Systems Considering Partial Shading Condition. *Journal of Cleaner Production*, 215, 1203–1222.
- [16] Pilakkat, D., & Kanthakakshmi, S. (2019). An Improved P&O Algorithm Integrated with Artificial Bee Colony for Photovoltaic Systems Under Partial Shading Conditions. *Solar Energy*, 178, 37–47.
- [17] Mohamed, M. A., Diab, A. A. Z., & Rezk, H. (2019). Partial Shading Mitigation of PV Systems via Different Meta-Heuristic Techniques. *Renewable Energy*, 130, 1159–1175.
- [18] Li, L. L., Lin, G. Q., Tseng, M. L., Tan, K., & Lim, M. K. (2018). A Maximum Power Point Tracking Method for PV System with Improved Gravitational Search Algorithm. *Applied Soft Computing*, 65, 333–348.
- [19] Guo, L., Meng, Z., Sun, Y., & Wang, L. (2018). A Modified Cat Swarm Optimization Based Maximum Power Point Tracking Method for Photovoltaic System Under Partially Shaded Condition. *Energy*, 144, 501–514.
- [20] Wu, Z., & Yu, D. (2018). Application of Improved Bat Algorithm for Solar PV Maximum Power Point Tracking Under Partially Shaded Condition. *Applied Soft Computing*, 62, 101–109.
- [21] Kaced, K., Larbes, C., Ramzan, N., Bounabi, M., & Dahmane, Z. E. (2017). Bat Algorithm Based Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic System Under Partial Shading Conditions. *Solar Energy*, 158, 490–503.
- [22] Diab, A. A. Z., & Rezk, H. (2017). Global MPPT Based On flower Pollination and Differential Evolution Algorithms to Mitigate Partial Shading in Building Integrated PV System. *Solar Energy*, 157, 171–186.

- [23] Ram, J. P., & Rajasekar, N. (2017). A New Robust, Mutated and Fast Tracking LPSO Method for Solar PV Maximum Power Point Tracking Under Partial Shaded Conditions. *Applied Energy*, 201, 45–59.
- [24] Ramli, M. A. M., Ishaque, K., Jawaaid, F., Al-Turki, Y. A., & Salam, Z. (2015). A Modified Differential Evolution Based Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic System Under Partial Shading Condition. *Energy and Buildings*, 103, 175–184.
- [25] Benyoucef, A. S., Chouder, A., Kara, Kamel, Silvestre, S., & Sahed, O. A. (2015). Artificial Bee Colony Based Algorithm for Maximum Power Point Tracking (MPPT) for PV Systems Operating Under Partial Shaded Conditions. *Applied Soft Computing*, 32, 38–48.
- [26] Pervez, I., Pervez, A., Tariq, M., Sarwar, A., Chakraborty, R. K., & Ryan, M. J. (2021). Rapid and Robust Adaptive Jaya (Ajaya) Based Maximum Power Point Tracking of a PV-Based Generation System. *IEEE Access*, 9, 48679–48703.
- [27] Yousri, D., Babu, T. S., Allam, D., Ramachandaramurthy, V. K., & Etiba, M. B. (2019). A Novel Chaotic Flower Pollination Algorithm for Global Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic System Under Partial Shading Conditions. *IEEE Access*, 7, 121432–121445.
- [28] Teshome, D. F., Lee, C. H., Lin, Y. W., & Lian, K. L. (2017). A Modified Firefly Algorithm for Photovoltaic Maximum Power Point Tracking Control Under Partial Shading. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 5(2), 661–671.
- [29] Lyden, S., & Haque, M. E. (2016). A Simulated Annealing Global Maximum Power Point Tracking Approach for PV Modules Under Partial Shading Conditions. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 31(6), 4171–4181.
- [30] Padmanaban, S., Priyadarshi, N., Holm-nielsen, J. B., Bhaskar, M. S., Azam, F., Sharma, A. K., & Hossain, E. (2019). A Novel Modified Sine-Cosine Optimized MPPT Algorithm for Grid Integrated PV System under Real Operating Conditions. *IEEE Access*, 7, 10467–10477.
- [31] Duman, S. (2015). Şebeke Bağlantısız Güneş ve Rüzgar Enerji Sistemlerinin Yönetimi, Kontrolü ve İzlenmesi için Yeni Yaklaşımlar. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [32] Becquerel A. E. (1839). On Electric Effects under the Influence of Solar Radiation. *Comptes Rendus de l'Academie des Sciences*, 9, 31–33.

- [33] Chapin D. M., Fuller C. S., & Pearson G. O. (1954). A New Silicon p-n Junction Photocell for Converting Solar Radiation into Electrical Power. *Journal of Applied Physics*, 25, 676–677.
- [34] Kangal H. (2008). Fotovoltaik Sistem Analizi ve Labview Tabanlı MPPT Simülasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [35] Ajder A. (2011). Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemleri için Optimum Eğim Açısının Hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [36] Ridha, H. M. (2020). Parameters Extraction of Single and Double Diodes Photovoltaic Models using Marine Predators Algorithm and Lambert W Function. *Solar Energy*, 209, 674–693.
- [37] Ridha, H. M., Hizam, H., Mirjalili, S., Othman, M. L., Ya'acob, M. E., Ahmadipour, M., & Ismaeel, N. Q. (2022). On the Problem Formulation for Parameter Extraction of The Photovoltaic Model: Novel Integration of Hybrid Evolutionary Algorithm and Levenberg Marquardt Based on Adaptive Damping Parameter Formula. *Energy Conversion and Management*, 256, 115403.
- [38] Yang, X. S., & Deb, S. (2009). Cuckoo Search via Lévy flights. 2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC), 210–214.
- [39] Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., & Lewis, A. (2014). Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69, 46–61.
- [40] Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization. *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, 1942–1948.
- [41] Sulaiman, M. H., Mustaffa, Z., Mohamed, M. R., & Aliman, O. (2015). Using the Gray Wolf Optimizer for Solving Optimal Reactive Power Dispatch Problem. *Applied Soft Computing*, 32, 286–292.
- [42] Sen, Z., Yongquan, Z., Zhiming, L., & Wei, P. (2016). Grey Wolf Optimizer for Unmanned Combat Aerial Vehicle Path Planning. *Advances in Engineering Software*, 99, 121–136.
- [43] Wang, M., Chen, H., Li, H., Cai, Z., Zhao, X., Tong, C., Li, J., & Xu, X. (2017). Grey Wolf Optimization Evolving Kernel Extreme Learning Machine: Application to Bankruptcy Prediction. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 63, 54–68.
- [44] Hadavandi, E., Mostafayi, S., & Soltani, P. (2018). A Grey Wolf Optimizer-based Neural Network Coupled with Response Surface Method for Modeling the Strength of Siro-Spun Yarn in Spinning Mills. *Applied Soft Computing*, 72, 1–13.

- [45] Nayak, B., Mohapatra, A., & Mohanty, K. B. (2019). Parameter Estimation of Single Diode PV Module based on GWO Algorithm. *Renewable Energy Focus*, 30, 1–12.
- [46] Maroufpoor, S., Maroufpoor, E., Bozorg-Haddad, O., Shiri, J., & Yaseen, Z. M. (2019). Soil moisture simulation using hybrid artificial intelligent model: Hybridization of adaptive neuro fuzzy inference system with grey wolf optimizer algorithm. *Journal of Hydrology*, 575, 544–556.
- [47] Guha, D., Roy, P. K., & Banerjee, S. (2016). Load Frequency Control of Large Scale Power System Using Quasi-Oppositional Grey Wolf Optimization Algorithm. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(4), 1693–1713.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler		
Adı Soyadı	Ibrahima DIALLO	
Doğum Yeri		
Doğum Tarihi		
Uyruğu		
Telefon		
E-Posta Adresi		
Web Adresi		

	Eğitim Bilgileri
	Lisans
Üniversite	
Fakülte	
Bölümü	
Mezuniyet Yılı	

	Yüksek Lisans
Üniversite	
Enstitü Adı	
Anabilim Dalı	
Programı	

Makale ve Bildiriler