



**FARKLI ORTAM KOŞULLARINDAKİ FOTOVOLTAİK SİSTEMLER
İÇİN KISMİ GÖLGELEMENİN MPPT ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN AKILLI
ALGORİTMALAR İLE UYGULANMASI**

Zeynep GÜMÜŞ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2021

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

.....
Zeynep GÜMÜŞ
11/01/2021

FARKLI ORTAM KOŞULLARINDAKİ FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN KİSMİ
GÖLGELEMENİN MPPT ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN AKILLI ALGORİTMALAR İLE
UYGULANMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Zeynep GÜMÜŞ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2021

ÖZET

Maksimum güç noktası takibi (MGNT), Fotovoltaik (FV) panellerin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlayarak FV sistemlerin verimini artırmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla literatürde MGNT için geleneksel, zeki ve hibrit olmak üzere pek çok yöntem geliştirilmiştir. Geleneksel yöntemlerden Değiştir & Gözle (D&G) eşit ışıyım koşulları altında MGNT işleminde iyi bir performans sergilemektedir. Ancak kısmi gölgeleme koşullarında birden fazla tepe noktası arasında global maksimum güç noktasını bulamayıp yerel maksimum güç noktalarına takılmaktadır ve başarısız olmaktadır. Geleneksel yöntemlere alternatif olarak Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ve Guguk Kuşu Optimizasyon (GKO) algoritması gibi metasezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Metasezgisel yöntemler yerel maksimum güç noktalarını yakalama sorunlarının üstesinden gelebilmektedir, çünkü formülasyonları yerel maksimum güç noktalarından kaçmalarına izin veren olasılıksal parametreler içermektedir. Bu sebeple bu algoritmalar geleneksel yöntemlere göre daha üstün bir performans sağlamaktadır. Bu tez çalışmasında MATLAB/SIMULINK’de FV dizi, DA-DA yükselten dönüştürücü ve MGNT algoritmalarından oluşan bir model geliştirilmiştir. Bu model üzerinde kısmi gölgeleme koşulları altında D&G, PSO ve GKO algoritmalarıyla MGNT işlemi gerçekleştirilmiştir ve bu algoritmaların takip hızı ve doğruluğu bakımından karşılaştırması yapılmıştır. Sonuç olarak, PSO ve GKO algoritmaları global maksimum güç noktasının bulunmasında başarılı olurken D&G algoritması tek bir gölgeleme konfigürasyonu hariç diğer konfigürasyonlarda yerel bir noktaya takılmıştır. Ayrıca GKO algoritmasının PSO algoritmasından daha hızlı bir şekilde global maksimum güç noktasına ulaştığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 90544

Anahtar Kelimeler : Fotovoltaik, kısmi gölgeleme, MGNT, metasezgisel algoritmalar

Sayfa Adedi : 115

Danışman : Doç. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ

APPLICATION OF PARTIAL SHADING EFFECT ON MPPT FOR PHOTOVOLTAIC
SYSTEMS IN DIFFERENT AMBIENT CONDITIONS WITH INTELLIGENT
ALGORITHMS

(M. Sc. Thesis)

Zeynep GÜMÜŞ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2021

ABSTRACT

Maximum power point tracking (MPPT) aims to increase the efficiency of Photovoltaic (PV) systems by enabling PV panels to operate at maximum power point. For this purpose, many methods have been developed for MPPT in the literature, including traditional, intelligent and hybrid. One of the traditional methods of Perturb & Observe (P&O) performs well in MPPT under equal irradiation conditions. However, in partial shading conditions, it cannot find the global maximum power point between multiple peaks, it sticks to the local maximum power points and fails. As an alternative to traditional methods, metaheuristic methods such as Particle Swarm Optimization (PSO) and Cuckoo Search Optimization (CSO) algorithms have been developed. Metaheuristic methods can overcome the problems of capturing local maximum power points because their formulations contain probabilistic parameters that allow them to escape from local maximum power points. For this reason, these algorithms provide superior performance compared to traditional methods. In this thesis, a model consisting of PV array, DC-DC boost converter and MPPT algorithms has been developed in MATLAB / SIMULINK. In this model, MPPT operation has been performed with P&O, PSO and CSO algorithms under partial shading conditions and compared in terms of tracking speed and accuracy of these algorithms. As a result, PSO and CSO algorithms were successful in finding the global maximum power point, while D&G algorithm stuck to a local point in other configurations except for a single shading configuration. In addition, it has been seen that CSO algorithm reaches global maximum power point faster than PSO algorithm.

Science Code : 90544

Key Words : Photovoltaic, partial shading, MPPT, metaheuristic algorithms

Page Number : 115

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimiyle bana rehberlik eden danışmanım Sayın Doç. Dr. Mehmet DEMİRTAŞ'a saygılarımı ve teşekkürlerimi sunarım. Eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili aileme ve tezimin her aşamasında yanımda olan, bana azim ve güç veren arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
2. ENERJİ KAYNAKLARI	5
2.1. Dönüştürülebilirliklerine Göre Enerji Kaynakları	6
2.2. Kullanışlarına Göre Enerji Kaynakları	6
3. FV SİSTEMLER	11
3.1. FV Hücre	11
3.1.1. FV hücrenin tarihçesi	12
3.1.2. FV hücrenin yapısı ve çalışma prensibi	12
3.1.3. FV hücre çeşitleri	14
3.1.4. FV hücrenin eşdeğer devresi	17
3.2. FV Modül	19
3.3. FV Dizi	20
3.4. FV Sistemler Üzerinde Çevresel Koşulların Etkisi	21
3.4.1. Işınım ve sıcaklık değişiminin etkisi	21

3.4.2. Kısmi gölgeleme etkisi.....	22
3.5. FV Sistem Çeşitleri	26
3.5.1. Şebekeden bağımsız FV sistemler	27
3.5.2. Şebekeye bağlı FV sistemler.....	28
3.5.3. Hibrit FV sistemler.....	28
3.6. FV Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları	29
3.7. FV Sistemlerin Kullanım Alanları	30
4. DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLER	31
4.1. Alçaltan Dönüştürücüler	32
4.2. Yükselten Dönüştürücüler.....	35
4.3. Alçaltan- Yükselten Dönüştürücüler.....	37
5. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP YÖNTEMLERİ.....	41
5.1. Geleneksel Yöntemler	42
5.1.1. Açık devre gerilim (ADG) yöntemi	43
5.1.2. Kısa devre akım (KDA) yöntemi	45
5.1.3. Değiştir ve gözle (D&G) yöntemi.....	46
5.1.4. Artırımsal iletkenlik (AI) yöntemi	48
5.2. Zeki Yöntemler	50
5.2.1. Bulanık mantık denetleyicileri (BMD) yöntemi	54
5.2.2. Yapay sinir ağları (YSA) yöntemi	57
5.2.3. Genetik algoritma (GA)	58
5.2.4. Yerçekimsel arama (YA) algoritması	61
5.2.5. Normal harmoni arama (NHA) algoritması	64
5.2.6. Parçacık sürü optimizasyon (PSO) algoritması.....	68

	Sayfa
5.2.7. Ateş böceği (AB) algoritması.....	72
5.2.8. Çiçek tozlaşması (ÇT) algoritması.....	75
5.2.9. Guguk kuşu optimizasyon (GKO) algoritması	79
5.2.10. Gri kurt (GK) algoritması	83
5.3. Hibrit Yöntemler	88
6. TASARIM VE BENZETİM	91
6.1. Birinci Kısmi Gölgeleme Konfigürasyonu Çalışması.....	97
6.2. İkinci Kısmi Gölgeleme Konfigürasyonu Çalışması	99
6.3. Üçüncü Kısmi Gölgeleme Konfigürasyonu Çalışması	101
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	105
KAYNAKLAR	107
ÖZGEÇMİŞ.....	115

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.1. Geleneksel yöntemlerin karşılaştırma tablosu	43
Çizelge 5.2. D&G yönteminde çalışma adımları	46
Çizelge 5.3. Görev döngüsünün giriş direnci, çıkış gücü ve bir sonraki gerilim değişim yönü üzerindeki etkisi.....	47
Çizelge 5.4. Zeki yöntemlerin karşılaştırma tablosu	54
Çizelge 6.1. Trina Solar TSM-260PA05.08 FV panelinin parametreleri	93
Çizelge 6.2. DA-DA yükselten dönüştürücünün parametreleri	94
Çizelge 6.3. D&G, PSO, GKO algoritmalarının parametreleri	97
Çizelge 6.4. Birinci gölgeleme konfigürasyonunda algoritmaların MGNT çıktıları.....	97
Çizelge 6.5. İkinci gölgeleme konfigürasyonunda algoritmaların MGNT çıktıları.....	99
Çizelge 6.6. Üçüncü gölgeleme konfigürasyonunda algoritmaların MGNT çıktıları	101
Çizelge 6.7. Algoritmaların güç, gerilim, akım ve takip zamanı bakımından karşılaştırma tablosu	103
Çizelge 6.8. PSO ve GKO algoritmalarının istatistiksel sonuçları	104

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Sınıflandırılmış enerji kaynakları tablosu.....	6
Şekil 3.1. FV hücre kesiti.....	14
Şekil 3.2. FV hücrenin elektriksel eşdeğer devresi.....	17
Şekil 3.3. FV modülün devre modeli	20
Şekil 3.4. FV dizinin devre modeli	21
Şekil 3.5. Farklı ışıınım değerleri altında FV modülün (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim karakteristik eğrileri	22
Şekil 3.6. Farklı sıcaklık değerleri altında FV modülün (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim karakteristik eğrileri	22
Şekil 3.7. FV sistemin (a) eşit dağılımlı ışıma altında ve (b) kısmi gölgeleme koşulu altında davranışı.....	25
Şekil 3.8. (a) FV modülün kısmi gölgeleme konfigürasyonu (b) Güç-gerilim karakteristik eğrisi (c) Akım-gerilim karakteristik eğrisi.....	26
Şekil 3.9. Şebekeden bağımsız bir FV sistem şeması.....	27
Şekil 3.10. Şebekeye bağlı FV sistem şeması.....	28
Şekil 3.11. Hibrit FV sistem şeması.....	29
Şekil 4.1. Temel dönüştürücü (a) devresi ve (b) çıkış eğrisi	31
Şekil 4.2. (a) Alçaltan DA-DA dönüştürücü (b) Anahtar iletimdeyken eşdeğer devre (c) Anahtar kesimdeyken eşdeğer devre	33
Şekil 4.3. (a) Yükselten DA-DA dönüştürücü (b) Anahtar iletimdeyken eşdeğer devre (c) Anahtar kesimdeyken eşdeğer devre.....	35
Şekil 4.4. (a) Alçaltan-yükselten DA-DA dönüştürücü (b) Anahtar iletimdeyken eşdeğer devre (c) Anahtar kesimdeyken eşdeğer devre	38
Şekil 5.1. MGNT yöntemlerinin sınıflandırılması	42
Şekil 5.2. ADG yöntemi akış şeması	44
Şekil 5.3. Kısa devre akım yöntemi akış şeması.....	45

Şekil	Sayfa
Şekil 5.4. D&G yöntemi akış şeması.....	48
Şekil 5.5. Aİ yöntemi akış şeması.....	50
Şekil 5.6. Bulanık mantık şeması.....	55
Şekil 5.7. Bulanık mantık anlamsal değerlerinin gösterimi.....	55
Şekil 5.8. YSA örneği.....	57
Şekil 5.9. GA akış şeması.....	60
Şekil 5.10. YA algoritması akış şeması.....	64
Şekil 5.11. NHA algoritmasının temsili.....	65
Şekil 5.12. NHA algoritması akış şeması.....	67
Şekil 5.13. PSO algoritmasındaki parçacıkların hareketi.....	69
Şekil 5.14. PSO algoritmasının akış şeması.....	71
Şekil 5.15. AB algoritması akış diyagramı.....	75
Şekil 5.16. ÇT algoritması akış diyagramı.....	78
Şekil 5.17. Lévy uçuşu.....	80
Şekil 5.18. GKO algoritması akış şeması.....	82
Şekil 5.19. Gri kurt hiyerarşisi.....	83
Şekil 5.20. Gri kurtların avlanma davranışı: (A) Avın kovalanması, yaklaşılması ve takip edilmesi (B-D) Avın kovalanması, taciz edilmesi ve kuşatılması (E) Ava saldırılması.....	84
Şekil 5.21. GK algoritması akış diyagramı.....	87
Şekil 5.22. Hibrit yöntem akış şeması.....	89
Şekil 6.1. Tasarlanan sistemin blok şeması.....	91
Şekil 6.2. Sistemin MATLAB/SIMULINK modeli.....	92
Şekil 6.3. (a) Birinci kısmi gölgeleme konfigürasyonu, (b) ikinci kısmi gölgeleme konfigürasyonu, (c) üçüncü kısmi gölgeleme konfigürasyonu.....	93

Şekil	Sayfa
Şekil 6.4. PSO Algoritması $c1 = c2 = 2$ iken w parametresinin karşılaştırılması.....	95
Şekil 6.5. PSO Algoritması $w = 0,3$ iken $c1$ ve $c2$ parametrelerinin karşılaştırılması.	95
Şekil 6.6. GKO Algoritması β parametresinin karşılaştırılması.....	96
Şekil 6.7. GKO Algoritması κ karşılaştırması.....	96
Şekil 6.8. Birinci konfigürasyonda (a) D&G, (b) PSO, (c) GKO algoritmalarının güç-zaman grafikleri.....	98
Şekil 6.9. İkinci konfigürasyonda (a) D&G, (b) PSO, (c) GKO algoritmalarının güç-zaman grafikleri.....	100
Şekil 6.10. Üçüncü konfigürasyonda (a) D&G, (b) PSO, (c) GKO algoritmalarının güç-zaman grafikleri.....	102

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim

Sayfa

Resim 3.1 Kısmi gölgeleme örnekleri a) yakın binaların sebep olduğu gölgeleme b) elektrik direklerinin sebep olduğu gölgeleme c) bitkilerin sebep olduğu gölgeleme d) kuşların sebep olduğu gölgeleme e) açı değiştiren panellerin sebep olduğu gölgeleme f) sabit açılı panellerin sebep olduğu gölgeleme	24
--	----



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
W	Watt
V	Volt
A	Amper
Khz	Kilohertz
mH	Milihenry
uF	MikroFarad
Ω	Ohm
s	Saniye
mm	Milimetre
m²	Metrekare
K	Kelvin
km	Kilometre
W/m²	Bir metrekareye düşen watt
μm	Mikrometre
I_{ph}	FV hücrenin ürettiği foton akımı
R_s	Seri direnç
R_p	Paralel direnç
G_a	Güneş ışınlımı
T	FV hücre sıcaklığı
I_d	Diyot akımı
I	FV hücrenin çıkış akımı
V	FV hücrenin çıkış gerilimi
°C	Santigrat derece
V_{oc}	Açık devre gerilimi
I_{sc}	Kısa devre akımı
P_{mp}	Maksimum güç

Simgeler

Açıklamalar

V_{mp}	Maksimum güç noktasındaki gerilim
I_{mp}	Maksimum güç noktasındaki akım
I_0	Diyot ters doyum akımı
q	Elektrik yükü
C	Coulomb
V_d	Diyot gerilimi
k	Boltzmann sabiti
N_s	Seri bağlı hücre sayısı
K_t	Akım sıcaklık katsayısı
ΔT	Sıcaklık değişimi
N_{ser}	Seri modül sayısı
N_{par}	Paralel modül sayısı
t_{on}	İletim süresi
t_{off}	Kesim süresi
T_s	Anahtarlama periyodu
D	Diyot
D	Görev oranı
L	Bobin
C	Kondansatör
V_s	Dönüştürücü kaynak gerilimi
V_o	Dönüştürücü çıkış gerilimi
k	Açık devre gerilim, kısa devre akım yöntemi sabiti
ΔP	Güç değişimi
ΔV	Gerilim değişimi
E	Hata
ΔE	Hata değişimi
$P_{best,i}$	PSO algoritmasının yerel en iyi değeri
G_{best}	PSO algoritmasının global en iyi değeri
i	PSO algoritmasının parçacık sayısı
k	PSO algoritmasının iterasyon sayısı
w	PSO algoritmasının eylemsizlik ağırlığı

Simgeler**Açıklamalar** **$r1$ ve $r2$**

PSO algoritmasının rastgele değişkenleri

 $c1$ ve $c2$

PSO algoritmasının hızlandırma katsayıları

 x_i

PSO algoritmasının i. parçacığının pozisyonu

 V_i

PSO algoritmasının i. parçacığının hızı

 I_0

Ateş böceği algoritmasının kaynak yoğunluğu

 γ

Ateş böceği algoritmasının ışığın emme katsayısı

 β_0 Ateş böceği algoritmasının $r = 0$ ' daki çekiciliği **r**

İki ateş böceği arasındaki mesafe

 α

Adım boyutu

 Ppv

FV panelin çıkış gücü

 Ipv

FV panelin çıkış akımı

 Vpv

FV panelin çıkış gerilimi

 x_i^t

t. iterasyondaki çözüm vektörü

 g_{best}

En iyi dönüştürücü görev oranı değeri

 γ

ÇT algoritması ölçeklendirme faktörü

 $\Gamma(\lambda)$

Gamma fonksiyonu

 x_j^t ve x_k^t

Farklı çiçek polenleri

 ε

Epsilon

 β

GKO algoritması güç yasası endeksi

 $\mathcal{K}$

Adım katsayısı

 F

YA algoritmasının yerçekimi kuvveti

 G

YA algoritmasının yerçekimi sabiti

 $M1$ ve $M2$

YA algoritmasının birinci ve ikinci nesne kütlesi

 R

YA algoritmasının iki nesne arasındaki mesafe

 a

YA algoritmasının ivme değeri

 ω^k

HA algoritmasının bant genişliği

 λ_{PAR}^k

HA algoritmasının adım ayarı oranı

 λ_{min} ve λ_{max}

HA algoritmasının minimum ve maksimum adım ayarı

 ω^{min}

HA algoritmasının minimum bant genişliği

 ω^{max}

HA algoritmasının maksimum bant genişliği

 K

HA algoritmasının toplam iterasyon sayısı

Simgeler**Açıklamalar**

k	HA algoritmasının iterasyon sayısı
η_{ran}	HA algoritmasının rasgeleleştirme katsayısı
η_{pitch}	HA algoritmasının adım katsayısı
σ	HA algoritmasının varyansı
τ	HA algoritmasının dağılım tahmini
t	GK algoritmasının yineleme sayısı
D, A ve C	GK algoritmasının katsayı vektörleri
Xp	GK algoritmasında avın konum vektörü
X	GK algoritmasında kurdun konum vektörü

Kısaltmalar**Açıklamalar**

AA	Alternatif akım
AB	Ateş böceği
ADG	Açık devre gerilim
Ai	Artırımsal iletkenlik
a-Si	Amorf silisyum
BMD	Bulanık mantık denetleyicileri
CdTe	Kadmiyum tellür
CuInSe2	Bakır indiyum diselenid
ÇT	Çiçek tozlaşması
DA	Doğru akım
D&G	Değiştir&gözle
DE	Diferansiyel evrim
DP	Döviz piyasası
ES	Evrin stratejisi
FLY	Futbol ligi yarışması
FV	Fotovoltaik
GA	Genetik algoritma
GaAs	Galyum arsenid
GP	Genetik programlama

Kısaltmalar**Açıklamalar**

GK	Gri kurt
GKO	Guguk kuşu optimizasyon
GTA	Galaksi tabanlı arama
HA	Harmoni arama
IGBT	Insolated gate bipolar transistör
KDA	Kısa devre akım
KKO	Karınca koloni optimizasyonu
LŞ	Lig şampiyonası
MGNT	Maksimum güç noktası takibi
MKO	Merkezi kuvvet optimizasyonu
MP	Mayın patlaması
NHA	Normal harmoni arama
PSO	Parçacık sürü optimizasyonu
OTAÖ	Olasılıksal tabanlı artan öğrenme
TA	Tabu arama
YA	Yerçekimsel arama
YAK	Yapay arı kolonisi
YKRO	Yapay kimyasal reaksiyon optimizasyon
YSA	Yapay sinir ağları

1. GİRİŞ

Enerji, insan yaşamında daima bir öncelik olmuştur ve enerjinin dağılımının refah düzeyiyle doğrudan bir ilişkisi bulunmaktadır. Geçmişten günümüze enerji üretiminde kullanılan kömür, benzin gibi fosil kaynak rezervlerinden oluşan geleneksel enerji kaynakları hızlı bir şekilde azalmaktadır ve bu kaynakların yenilenmesi milyonlarca yıl sürmektedir. Ayrıca geleneksel enerji kaynakları çevreye zarar vermektedir. Bu sebeplerle enerji üretiminde geleneksel enerji kaynaklarına alternatif olarak daha az karbon emisyonu ile çevreyi kirletmeyen ve tükenmeyen yenilenebilir enerji kaynakları ortaya çıkmıştır (Özgenç ve Altaş, 2019; Verma, Mahajan ve Garg, 2017). Son zamanlarda, yenilenebilir enerji kaynakları, maliyetlerin azaltılması ve bunların şebekeye dahil edilmesinden dolayı dünyanın enerji gereksinimini karşılama konusunda çok önemli bir rol oynamaktadır (Ramaden ve Smadi, 2019).

Yenilenebilir enerji kaynaklarına rüzgâr, hidroelektrik, güneş, biyokütle, gelgit ve jeotermal kaynaklar örnek verilebilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi, doğada serbest şekilde ulaşılabilir olması, düşük bakım maliyetine sahip olması, doğa dostu olması, tükenmemesi ve güvenilir olması nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Termal güneş enerjisi teknolojileri ve FV hücreler, güneş enerjisinden elektrik üretmek için yaygın olarak kullanılan yöntemlerdir. FV hücreler sayesinde güneş enerjisi direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürülebilmektedir (Özgenç ve Altaş, 2019). FV sistemlerin enerji dönüşüm verimlilikleri %6-20 civarındadır ve güç çıkışları hava koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Baba, Liu ve Chen, 2020). Bununla birlikte, FV sistemlerin alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanılması, önemli miktarda yatırım gerektirmektedir. Bu nedenle FV sistemlerin toplam maliyetini azaltmak ve verimliliğini artırmak için, FV hücrelerden maksimum gücün elde edilmesi, optimum sistem tasarımında hayati bir önem taşımaktadır. Bir FV hücre için uygun bir çalışma noktasında maksimum çıkış gücü; ısınım ve sıcaklığa bağlıdır. MGNT'nin amacı, FV dizinin belirli bir sıcaklık ve ısınım altında maksimum çıkış gücü ürettiği FV çıkış gerilimini veya çıkış akımını otomatik olarak belirlemektir. MGNT sadece FV modülden yüke verilen güçte bir artış sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda FV sistemin çalışma ömrünü de uzatmaktadır (Reisi, Moradi ve Jamasb, 2013).

Üretilen enerji miktarını artırmak amacıyla, FV hücreler FV modüller oluşturmak için seri-paralel bağlanmaktadır. FV modüller ise seri-paralel bağlanarak FV dizileri meydana getirmektedir (Özgenç ve Altaş, 2019). FV dizileri oluşturan FV modüller hareketli bulutlar, çevredeki binalar, ağaçlar veya diğer nesnelerin gölgeleri nedeniyle daha az güneş ışınımı almaktadır. Bu durum kısmi gölgeleme durumu olarak adlandırılmakta ve bu durum oluştuğunda modülün güç-gerilim eğrisinde bir tane tepe noktası olması gerekirken birden fazla tepe noktası meydana gelmektedir. Bu tepe noktalarından en yüksek olanı global maksimum güç noktası, diğer noktalar ise yerel maksimum güç noktası olarak adlandırılmaktadır. Bu tepe noktalarının yeri, ışınım modeli ve FV dizi konfigürasyonlarına göre değişiklik göstermektedir (Dwivedi, Mehta, Iqbal ve Shekhar, 2017).

FV modüllerin maksimum güç noktasında çalışmalarını verimli bir şekilde sürdürebilmeleri için literatürde çeşitli MGNT yöntemleri geliştirilmiş ve uygulanmıştır. (Koad, Zobaa ve El-Shahat, 2017; Reisi ve diğerleri, 2013). D&G ve artırimsal iletkenlik (Aİ) yöntemleri uygulamalarının basit, maliyetinin düşük olması ve eşit ışınım koşulları altında MGNT işlemlerinde iyi bir performans göstermeleri nedeniyle oldukça popülerdir. Ancak bu algoritmalar kısmi gölgeleme koşullarında birden fazla tepe noktası arasında global maksimum güç noktasını bulamayıp yerel maksimum güç noktalarına takılmakta ve başarısız olmaktadır. Bu probleme çözüm olarak yapay zekâ tabanlı ve metasezgisel yöntemler olarak sınıflandırılan zeki yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler geleneksel yöntemlere göre nispeten daha karmaşıktır. Ancak sağlamlıkları, esneklikleri ve güvenilirlikleri nedeniyle kısmi gölgeleme koşulları altındaki FV sistemler için son derece uygundur (Baba ve diğerleri, 2020).

Zeki tekniklerden yapay sinir ağları (YSA) ve bulanık mantık denetleyicileri (BMD) tabanlı yapay zekâ teknikleri, global maksimum güç noktasının bulunması konusunda başarılıdır. Ancak BMD tabanlı teknikler için kapsamlı hesaplama, kural belirleme ve veri tabanı; YSA tabanlı teknikler içinse büyük veri ihtiyacı olması bu yöntemlerin dezavantajlarındandır (Dwivedi ve diğerleri, 2017; Ishaque, Salam, Amjad ve Mekhilef, 2012). Bu sistemlere alternatif olarak ise metasezgisel yöntemler geliştirilmiştir. Metasezgisel yöntemler genellikle yerel maksimum güç noktalarını yakalama sorunlarının üstesinden gelebilir, çünkü formülasyonları yerel maksimum güç noktalarından kaçmalarına izin veren olasılıksal parametreler içerir (Fang ve Lian, 2017). Bu sebeple bu algoritmalar geleneksel yöntemlere göre daha üstün bir performans sağlar.

Metasezgisel yöntemlere genetik algoritma (GA), yerçekimsel arama (YA) algoritması, normal harmoni arama (NHA) algoritması, parçacık sürü optimizasyonu (PSO), guguk kuşu optimizasyonu (GKO) algoritması, ateş böceği (AB) algoritması, çiçek tozlaşması (ÇT) algoritması, gri kurt (GK) algoritması örnek olarak verilebilir.

Bu çalışmada kısmi gölgeleme koşulları altında, daha önce de MGNT’nde kullanılan PSO, D&G, GKO algoritma yaklaşımları ele alınmış ve MATLAB/SIMULINK programında tasarlanan sisteme uygulanıp birbirleriyle kıyaslanmıştır. Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde enerji kaynaklarından sınıflandırılmış bir şekilde bahsedilmiş ve güneş enerjisi hakkında bilgi verilmiştir. Tezin üçüncü bölümünde FV sistemlerin yapıları, türleri ve çalışma prensipleri anlatılmıştır. Dördüncü bölümde FV sistemlerde MGNT yapılırken kullanılan alçaltan, yükselten ve alçaltan-yükselten DA-DA dönüştürücüler hakkında bilgi verilmiştir. Beşinci bölümde literatürde MGNT için kullanılan geleneksel, zeki ve hibrit yöntemler sınıflandırılarak anlatılmıştır. Açık Devre Gerilim (ADG) tekniği, Kısa Devre Akım (KDA) tekniği, D&G, Aİ, BMD, YSA, GA, PSO, GKO, AB, ÇT ve GK algoritmaları hakkında detaylı bilgi verilmiş ve bu algoritmaların MGNT yöntemi olarak nasıl kullanıldığı anlatılmıştır.

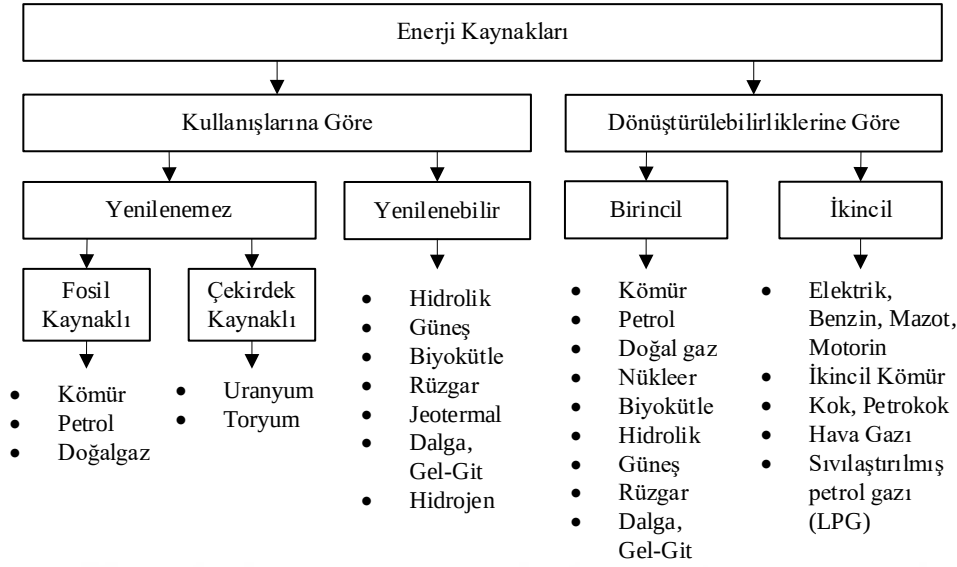
Altıncı bölümde tasarlanan sistem hakkında bilgi verilmiş, D&G, PSO ve GKO algoritmalarının benzetim çalışmaları ve karşılaştırmalı analizleri yapılmış, MATLAB/SIMULINK programından elde edilen veriler sunulmuştur. Bu tez çalışmasında kullanılan metasezgisel algoritmalar, sahip oldukları parametreler farklı değerlerde seçilip belirlenen kısmi gölgeleme koşulu altında, tasarlanan simülasyon ortamında çalıştırılarak FV güç eğrisi üzerinde takip zamanları ve doğrulukları açısından kıyaslanmış ve en uygun parametre değerleri seçilmiştir. Bu çalışmada kullanılan GKO algoritmasındaki parametre değerleri, daha önceki çalışmalarda MGNT için kullanılan GKO parametrelerinden farklıdır. Bu sebeple bu parametre değerleriyle elde edilen sonuçlar literatüre önemli bir katkı sağlamıştır. Metasezgisel algoritmalar seçilen parametre değerlerinde, diğer iki kısmi gölgeleme koşulunda da çalıştırılarak elde edilen sonuçlar literatüre kazandırılmıştır. Ayrıca bu algoritmaların performansını doğru bir şekilde ölçebilmek için istatistiksel bir çalışma da yapılmıştır. PSO ve GKO algoritmaları her gölgeleme konfigürasyonunda 30 defa çalıştırılarak ortalama değer ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Son bölümde ise altıncı bölümde kullanılan yöntemlerin karşılaştırmasından elde edilen sonuçlar verilmiştir.

2. ENERJİ KAYNAKLARI

Günlük hayatta birçok alanda kullanılan enerji, bir cismin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanır (Koç ve Şenel, 2013). İnsanların yaşamlarını sürdürebilmeleri için daima enerjiye ihtiyaçları vardır. Bu enerji ihtiyacını karşılayabilmek için ilk çağlarda beden gücünden faydalanılırken daha sonra hayvan gücü devreye girmiştir ve ateşin bulunmasıyla odun ve kömürden de faydalanılmıştır. Daha sonra buhardan elde edilen enerji kullanılmış ve teknolojinin ilerlemesiyle pek çok enerji kaynağı keşfedilmiştir (Karaaslan ve Gezen, 2017: 3).

Enerji, pek çok ülkenin kalkınması ve toplumların refah bir yaşam sürdürebilmesi için oldukça önemlidir (Karaaslan ve Gezen, 2017: 3). Özellikle elektrik enerjisi neredeyse tüm mal ve hizmetlerin üretiminde girdi şeklinde kullanılmakta, işyeri, ev ve fabrikalarda ise çıktı olarak tüketilmektedir (Savrul, 2016: 4). Politik ve ekonomik bakımdan son derece önemli olan enerji kaynaklarının doğru seçimi ve uygun fiyatlarla temin edilmesi ülkeler için önem arz etmektedir. Dünyada nüfusun ve sanayileşmenin hızlı bir şekilde artıyor olması enerji tüketimini de artırmakta dolayısıyla enerjiye olan talep de artmaktadır. Ancak enerji kaynakları kısıtlıdır ve hızlı tüketilmekte olan enerjinin nasıl karşılanacağı sorunu ortaya çıkmaktadır (Karaaslan ve Gezen, 2017: 3-4).

Doğada farklı formlarda bulunan ve çeşitli yollarla birbirine dönüştürülebilen enerji kaynakları mevcuttur. Bu kaynaklar kullanış özelliklerine göre yenilenebilir ve yenilenemez enerji kaynakları, dönüştürülebilirlik özelliklerine göre birincil enerji kaynakları ve ikincil enerji kaynakları şeklinde sınıflandırılabilir (Koç ve Şenel, 2013). Bu sınıflandırma Şekil 2.1’de verilmiştir.



Şekil 2.1. Sınıflandırılmış enerji kaynakları tablosu (Koç ve Şenel, 2013)

2.1. Dönüştürülebilirliklerine Göre Enerji Kaynakları

Enerjinin bir değişim veya dönüşüm geçirmemiş doğada bulunduğu ilk haline birincil enerji kaynakları denir ve bu kaynaklar nihai enerji kaynaklarına dönüştürülmek için kullanılmaktadır. Bu kaynaklara petrol, doğal gaz, kömür, biyokütle, nükleer, hidrolik, gelgit, rüzgâr, dalga ve güneş enerjisi kaynakları örnek verilebilir (Koç ve Şenel, 2013).

İkincil enerji kaynakları; birincil enerji kaynaklarının işlenmiş ve dönüştürülmüş formudur. Bu enerji kaynaklarına mazot, kok kömürü, benzin, ikincil kömür, petrokok, hava gazı ve elektrik örnek verilebilir (Koç ve Şenel, 2013).

2.2. Kullanışlarına Göre Enerji Kaynakları

Yenilenemez enerji kaynakları, doğada sınırlı miktarda bulunan, kendini yenileyemeyen, kısa bir gelecekte tükeneceği öngörülen, fosil kaynaklı ve çekirdek kaynaklı olmak üzere iki grupta incelenen kaynaklardır. Bu kaynaklar sıklıkla tercih edilmektedir ancak rezervleri sınırlıdır. Bu rezervler azaldıkça fiyatları artmaktadır ve bu yüzden ekonomik sorunlar ortaya çıkmaktadır. Ayrıca üretildiklerinde çevreye zarar verdikleri için çevresel sorunlara da sebep olmaktadır. Bu nedenle doğada bol miktarda bulunan, sürdürülebilirlik açısından sorun teşkil etmeyen, çevre dostu olan yenilenebilir enerji kaynaklarına ilgi artmıştır (Savrul, 2016: 7; Akdeniz, 2019).

Yenilenebilir enerji kaynakları, doğada sürekli olarak bulunan, tükenmeyen, dünyanın doğal döngü sürecinde devamlı yenilenebilen, fosil yakıtlara alternatif ve temiz enerji kaynaklarıdır (Ceylan ve Gürel, 2018: 14). Bu kaynakların ilk yatırım maliyetleri, başka kaynaklara oranla daha maliyetli olabilir. Ancak bu kaynakların uzun vadede ekonomi bakımından fazlasıyla getirisi olmaktadır (Savrul, 2016: 15). Fosil kaynakların maliyetlerinin artması, çevreye zarar vermeleri ve bir gün tükenecek olmaları nedeniyle günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi daha çok artmaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları atık üretmemekte, sera etkisine ve asit yağmurlarına sebep olmamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları rüzgâr, biyokütle, doğalgaz, jeotermal, dalga, gelgit, hidrolik enerji ve güneş enerjisidir. Bu tez çalışmasında yenilenebilir kaynaklardan güneş enerjisi daha detaylı olarak ele alınmıştır.

Samanyolu galaksisindeki 200 milyar yıldızdan dünyaya en yakın olan Güneş, dünyanın en önemli enerji kaynağıdır. Bu yıldızın yoğunluğu dünyanın $\frac{1}{4}$ 'ü kadar, büyüklüğü dünyanın yaklaşık 109 katı ve çapı 1 400 000 km'dir. Güneş yapısında %90 miktarda hidrojen gazı ve %10 miktarda helyum gazı bulunmaktadır. Güneşin ortalama 6000 K sıcaklıkta bir ışıınım yaydığı varsayılır ve bu yüksek sıcaklık nedeniyle elektronlar atom çekirdeklerinden ayrılır. Bu nedenle güneşin yapısında atom ve molekül değil serbest elektronlar ve atom çekirdekleri bulunur. Çok yüksek sıcaklıkta dört hidrojen çekirdeğinin bir araya getirilmesiyle bir helyum çekirdeği oluşur ve bu enerji süreci füzyon olarak adlandırılır. Üretilen enerji ışınlar halinde dünyaya ulaşır (Yiğit ve Atmaca, 2018: 11).

Güneş enerjisinin ışıınım şiddeti dünya atmosferinin dışında yaklaşık olarak sabittir ve bu değer 1353 W/m^2 değerindedir, ancak dünyamıza ulaşan ışıınım şiddeti $100\text{-}1000 \text{ W/m}^2$ aralığında değişmektedir. Bu ışıınımın dünyaya ulaşan az bir kısmı bile, insanlığın mevcut enerji tüketiminden oldukça yüksektir. Her yıl dünya yüzeyine ulaşan güneş enerjisi fosil ve uranyum kaynaklarının yaklaşık on katına ve yıllık enerji tüketim miktarının 15 000 katından fazlasına eşittir. Güneşin dünyaya gelen enerji yaklaşık olarak 150 milyon nükleer santralinden elde edilen enerji kadardır (Sevim, 2019: 80). Güneş enerjisi yeryüzü ve atmosferdeki fiziksel olayları etkilemektedir. Güneş enerjisindeki değişimler sonucunda rüzgâr, deniz dalgası ve biyokütle oluşumları meydana gelmektedir (Savrul, 2016: 21).

Güneş enerjisinden faydalanma hakkındaki çalışmalar 1973 enerji kriziyle birlikte artmış, güneş enerjisi sistemleri teknolojik anlamda ilerleme ve maliyet açısından azalma göstermiş,

çevresel anlamda temiz bir enerji kaynağı olarak kendini kabul ettirmiştir. Güneş enerjisi teknolojileri teknik, malzeme ve teknolojik seviye bakımından çeşitlilik göstermekte ve iki ana gruba ayrılmaktadır. Bunlar ısı güneş teknolojileri ve FV sistemlerdir. Isıl güneş teknolojilerinde öncelikle güneşten ısı elde edilir. Bu ısı direkt olarak da elektrik üretiminde de kullanılabilir. FV sistemlerde ise güneş enerjisinden, herhangi bir ısı işleme gerek kalmaksızın direkt olarak elektrik enerjisi üretilebilmektedir (Sevim, 2019: 76).

Güneş enerjisinin kullanım yöntemleri pasif ve aktif olmak üzere ikiye ayrılır. Pasif kullanım yöntemleriyle güneş enerjisinden özel araç-gereçler olmadan faydalanılır (Ceylan ve Gürel, 2018: 32-33).

- Suyun buharlaşması ve yağmurlar
- Karların erimesi
- Camlar aracılığıyla bina aydınlatması
- Dünya yüzeyinin ısıtılması

Aktif kullanım yöntemleriyle ise güneş ışınımını soğurmak için özel araç-gereçler kullanılır (Ceylan ve Gürel, 2018: 33).

- Güç santralleri
- Parabolik oluklu güç santralleri
- Kuleli güç santralleri
- Güneş bacalı güç santralleri
- Güneş kolektörleri ile su ısıtılması
- Yüzme havuzu ısıtılması
- Kullanma suyu ısıtılması
- Güneş kolektörleri ile hava ısıtılması
- Elektrik üretimi için FV sistemler

Güneş enerjisi kaynağı, çevre dostu ve yenilenebilir bir kaynak olup dünyanın her yerinde mevcut olması açısından oldukça avantajlıdır.

Güneş enerjisinden elektrik üretimi, ilk yatırım maliyeti düşünülmezse oldukça ucuz bir enerji kaynağıdır. İşletim ve bakım maliyeti diğer enerji kaynaklarına göre oldukça düşüktür. Enerji üretimi sırasında herhangi bir zehirli gaz veya üretim atığı oluşturmayıp çevreye

verdiği zarar minimum düzeydedir. Dünyanın her yerinde mevcut olup dışa bağımlılık oluşturmaz. Bu bakımdan güvenilir bir enerji kaynağıdır. Her türlü ulusal veya uluslararası krizden etkilenmez. Elektrik hattı bulunmayan bölgelerde kullanımı oldukça avantajlıdır. İletim hattı veya şebekeye ihtiyaç duymayıp enerji nakil sorunu oluşturmaz. Her evin kendi elektriğini üretmesine imkân tanır. Bu gibi birçok avantajına rağmen dezavantajları da mevcuttur. Hava şartlarına bağlı bir kaynak olup sürekli ve düzenli enerji üretimi gerçekleşmemektedir.

Çok bulutlu günlerde ve geceleri enerji üretimi söz konusu değildir. Bu da üretilen enerjinin depolanması gereksinimini ortaya koymaktadır. Enerji depolanmasını sağlayan akümülatörlerin kullanılması ise maliyeti artırmaktadır ve güneş enerji sistemlerinin kurulumu maliyetli olmaktadır. Buna rağmen güneş enerji sistemlerinin teknolojik verimliliği düşüktür (Karaaslan ve Gezen, 2017: 31).

Bu bölümde enerji kaynakları sınıflandırılarak anlatılmış ve bu kaynaklardan güneş enerjisi, bir sonraki bölümde anlatılan FV sistemlere hazırlık olması açısından daha detaylı olarak ele alınmıştır.



3. FV SİSTEMLER

‘Fotovoltaik’ kelimesi, İtalyan bilim adamı Volta’nın adından, elektrik anlamındaki ‘voltaik’ ve ışık anlamındaki Yunanca ‘phos’ sözcüğünden gelir (Yasko, 2018). FV teknolojisi, güneş ışığının FV etki ile yarı iletken malzemeler kullanılarak elektrik enerjisine dönüştürülmesidir (Shahidul, 2011; Yasko, 2018).

FV sistemler uygulamalara bağlı olarak FV modül, DA-DA dönüştürücü, şarj regülatörü, akü ve evirici gibi donanım elemanlarıyla, FV modülün gerilim ve akımını kontrol ederek MGNT yöntemi uygulayan dijital kontrolcü bir araya getirilerek oluşturulur. FV modüller aracılığıyla güneş enerjisinden DA formda elektrik enerjisi üretilir. Bu modüllerden gelen akımın yetersiz olması halinde akü devreye girer. Akü üretimin olmadığı zamanlarda elektrik ihtiyacını karşılamak ve ani enerji kesintisi gerçekleşmesi durumunda meydana gelebilecek problemleri ortadan kaldırmak için kullanılır. FV sistemde akü kullanımı zorunlu değildir ancak kullanılıyorsa şarj regülatörü de kullanılır. Şarj regülatörleri sayesinde FV modüllerden gelen akımla akülerdeki gerilim değerleri devamlı kontrol altında tutulur ve akülerin şarjının daima optimum değerlerde kalması sağlanır. Böylece fazla enerjinin akülere zarar vermesi engellenmiş olur. AA formda elektrik enerjisine ihtiyaç duyulduğu durumda ise sisteme evirici eklenerek DA elektrik enerjisi AA forma dönüştürülür (Ortaçtepe, 2011).

3.1. FV Hücre

FV sistemler FV hücrelerle tasarlanır. Bir FV hücre aynı zamanda güneş pili olarak da bilinen, yüzeylerine düşen güneş ışığından doğrudan elektrik üreten yarı iletken bir cihazdır (Shahidul, 2011). Dikdörtgen, kare veya daire biçiminde yüzeye sahip olabilen FV hücrelerin alanları genellikle 1-1,5 m² civarında, kalınlıkları ise 0,2-0,4 mm arasındadır. FV hücrelerin verimlilikleri yapısında bulunan yarı iletken malzemeye bağlı olarak %6 ile %20 arasında değişmektedir. Laboratuvar ortamında daha büyük verimlilik değerleri elde edilebilmektedir ancak maliyetler, henüz seri üretime geçilecek kadar düşmemiştir (Ortaçtepe, 2011). Tipik bir FV hücre yaklaşık 0,5 V DA gerilimde 3 Watt’tan az güç üretir. Bu yüzden yüksek güç gerektiren uygulamalarda hücreler modül olarak bir araya getirilir ve modüller de dizi olarak bağlanır (Shahidul, 2011).

3.1.1. FV hücrenin tarihçesi

FV hücreler oldukça eski bir teknolojidir ve gelişimi yüzyıllardır sürmektedir. Kullanımı yaygın olmadığı için laboratuvar ortamıyla sınırlı kalan FV hücreler yeni bir teknolojiymiş gibi lanse edilmesine rağmen ilk ortaya çıkışı 1800'lü senelere dayanmaktadır. 1839 yılında Fransız bilim adamı Becquerel, elektrolit içerisine elektrotlar koyarak bu elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağlı olduğunu gözlemleyip FV olayını keşfetmiştir. Takip eden yıllarda çalışmalar devam etmiş ve 1873'te Willoughby Smith selenyumun ısı iletkenliğini keşfederken, 1877'de W.G. Adams ve öğrencisi Richard Day selenyumun ışığa maruz kalması sonucu elektrik üretebildiğini tespit etmişlerdir. İlk ciddi FV hücre yapımı 1883 yılında Charless Fritts tarafından gerçekleştirilmiştir ve bu hücre %1 verimliliğe sahiptir. 1954 senesinde %6 verimliliğe sahip FV hücreleri ise ilk olarak Chapin, Pearson ve Fuller, silikon kristali üzerinde gerçekleştirmiştir.

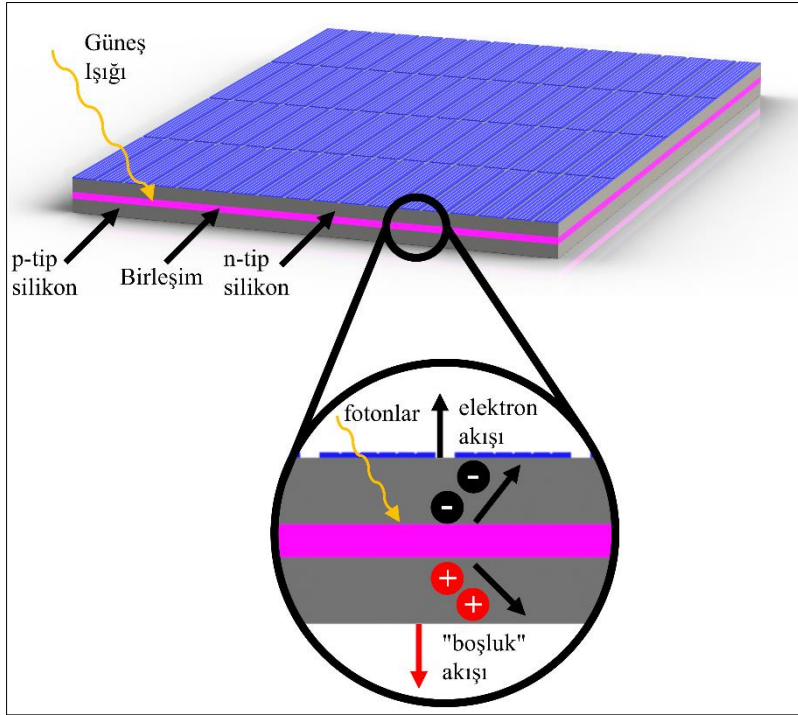
FV enerji 1953-1954 yıllarında ilk kez uzaya fırlatılan uyduların ihtiyacı olan elektriği güneşten sağlaması amacıyla uzay bilimlerinde kullanılmıştır. FV hücrelerin elektriksel sistem şeklinde kullanılması 1954'lerde başlamasına karşın, asıl ilgi 1973 yılındaki petrol krizinden sonra artmış, Avrupa, Amerika ve Japonya'da yenilenebilir enerji kaynaklarına daha fazla önem verilmiş, yüksek bütçeli ve büyük kapsamlı araştırma ve geliştirme faaliyetleri başlatılmıştır. Bu faaliyetlerin neticesinde FV hücrelerin maliyeti azaltılmış ve verimleri artırılmıştır. FV hücrelerin yapımı ve çalışmasının daha iyi anlaşılmasında yarı iletkenler fiziğinin kavranması ayrı bir önem taşımaktadır (Aydoğan, 2019; Ortaçtepe, 2011; Zan, 2006).

3.1.2. FV hücrenin yapısı ve çalışma prensibi

Silisyum, arsenik, germanyum, tellür ve kadmiyum gibi maddeler FV hücrenin ana maddesi olan yarı iletken malzemelerdir (Zan, 2006). Kristal silikon hücre, en çok kullanılan FV hücre çeşididir. Silikonun en dış katmanında 4 değerlik elektronu vardır ve komşu atomların değerlik elektronlarıyla bağ kurar. Güneş ışınımı sayesinde, kurulan bağdan bir tane elektron koparak serbest halde dolaşan kristal örgüde bir boşluk oluşturur. Ancak bu durum enerji oluşturmak için tek başına yeterli değildir. Silikona bor ve fosfor eklenip katkılama yapılarak elektron eksikliği veya fazlalığı meydana gelir.

Bu durumda elektron alıcı kısım P ve elektron verici kısım N ile ifade edilir. Bir araya getirilen P ve N tipi malzemeler ile yarı iletken eklemeler oluşturulur. N tipi yarı iletkenlerin çoğunluk taşıyıcısı elektronlar, P tipi yarı iletkenlerin çoğunluk taşıyıcısı hollerdir. Bu yarı iletkenler bir araya gelmeden önce, her ikisi de elektriksel anlamda nötrdür. Yani PN eklem meydana geldiğinde, N tipi yarıiletkenin elektronları, P tipine doğru akım oluştururlar. Bu olay her iki tarafta da yük dengesi oluşana kadar devam eder. PN tipi maddenin eklem bölgesinde, P bölgesi tarafında negatif, N bölgesi tarafında pozitif yük birikir. Bu eklem bölgesine ‘geçiş bölgesi’ denir. Yarı iletken eklemnin FV hücre şeklinde çalışması için bu bölgede FV çevrimin olması gerekir. Bu çevrim iki kademede oluşur, ilk başta, eklem bölgesine ışık düşürülerek elektron-hol çiftleri meydana getirilir, sonra bunlar bölgedeki elektrik alan vasıtasıyla birbirinden ayrılır (Sevim, 2019: 82).

Yarı iletkenler, iki tane enerji bandından oluşur. Valans ve iletkenlik bandı olarak adlandırılan bu bantlar yasak enerji aralığı tarafından ayrılmıştır. Yarı iletken, bu yasak enerji aralığındaki ya da daha yüksek enerjiye sahip bir fotonu soğurduğunda, foton, enerjisini valans bandındaki bir elektrona vererek, elektronun iletkenlik bandına çıkmasını sağlar. Böylece, elektron-hol çifti meydana gelir ve bu olay, PN eklem FV hücrenin ara yüzeyinde oluşmuşsa elektron-hol çiftleri buradaki elektrik alan tarafından birbirlerinden ayrılır. Böylece FV hücre, elektronları N bölgesine, holler de P bölgesine iten bir pompa görevi görür. Birbirlerinden ayrılmış olan elektron-hol çiftleri, FV hücrenin uçlarında faydalı bir güç çıkışı oluştururlar. Şekil 3.1’de FV hücre kesiti verilmiştir (Sevim, 2019: 83).



Şekil 3.1. FV hücre kesiti

3.1.3. FV hücre çeşitleri

Farklı maddelerden oluşun ve farklı teknolojilerde üretilen pek çok FV hücre tipi vardır. Bu hücre tiplerinden monokristal silikon, polikristal silikon, amorf silisyum, bakır indiyum diselenid, kadmiyum tellür, galyum arsenid ve yeni nesil FV hücreler aşağıda anlatılmıştır.

Monokristal silikon hücreler

Yüksek saflıktaki polikristal malzeme kuvars malzemesi içinde eritilir. Tekli kristal silikon tanecikleri erimiş, polikristal malzeme içine batırılır ve bir süre sonra monokristal malzeme eriyik içinden yavaşça çekilir ve külçeler halinde bir yapı meydana gelir. Bu yapı düzgün parçalar halinde 200-400 μm kalınlığında kesilir. Malzeme daha sonra katkılanır, kaplanır, elektriksel bağlantıları yapılır ve FV hücre meydana gelir (Başoğlu, 2013).

Bu hücrelerin verimleri laboratuvarda %25'e kadar ulaşmıştır. Ayrıca maliyetlerini geri ödeme süresi 4-6 yıl arasındadır ve 20 yıllık bir zaman diliminde %7 oranında verim kaybı gerçekleşir. Saf kristal ihtiyacına sahip olmalarından dolayı pahalıdırlar. Yapımları esnasında malzeme kaybının yüksek olması bu hücrelerin dezavantajıdır (Ardağ, 2012).

Polikristal silikon hücreler

Malzemenin dış kristal yapısı, elektron akışını aksattığından, monokristal güneş hücrelerine göre verimleri daha düşüktür (Başoğlu, 2013). Verimleri %12–15 arasındadır, kristal yapıları laboratuvar koşullarında %16,2'lik bir verime ulaşmıştır. Ayrıca maliyetini geri ödeme süresi 2–4,5 yıl arasındadır ve 20 yıllık bir zaman diliminde %14 verim kaybı oluşur (Ardağ, 2012). Bu hücrelerin üretimi monokristal hücrelere oranla daha basittir. Silikon malzeme kendiliğinden, ince şerit biçiminde eriyik malzemeden çıkarılır ve böylece kesim işlemine ihtiyaç duyulmaz. Dahası bu hücreler monokristal hücrelere kıyasla yapısal anlamda daha dayanıklıdır (Başoğlu, 2013).

Galyum Arsenid (GaAs) hücreler

GaAs, galyum ve arsenikten oluşur. Bu iki ayrı eleman birleştiğinde, birlikte pek çok ilginç özellikleri gösteren bir bileşik oluştururlar. Bu özellikleri sıcaklık karşısında değişebilir. GaAs FV hücresinin temel işlevi, elektrik için güneşin parlak ışık enerjisini dönüştürmektir. (Ardağ, 2012). GaAs FV pilleri %30 değerinde bir verime ulaşabilirler.

Amorf silisyum (a-Si) hücreler

Düşük güç gerektiren elektronik uygulamalarda tercih edilir. Silikon atomunun kristal olmayan yapısı şeklindedir. Monokristal hücre yapısına göre 40 kat daha fazla ışığı soğurma özelliğine sahiptir. Üretim aşamasında yüksek sıcaklıklara gerek duyulmaz. Üretim süreci, monokristal hücreye göre kolay ve az enerji gerektirdiğinden maliyeti düşüktür. Verimleri %5-9 mertebesinde olup, kısa ömürlüdür (Başoğlu, 2013).

Bakır indiyum diselenid (CuInSe₂)

Bu hücreler periyodik cetvelde birinci, üçüncü ve altıncı grupta bulunan bakır, indiyum ve selenyumdan elde edilir (Aydoğan, 2019). İnce film güneş hücrelerinin içinde üzerinde en çok durulan teknoloji olup, ışığı soğurma yeteneği yüksektir. Malzeme yapısı karmaşık olduğu için üretim maliyeti yüksektir.

Kadmiyum Tellür (CdTe)

Bu hücreler periyodik cetvelin ikinci ve altıncı grubunda bulunan kadmiyum ve tellürden yapılır (Aydoğan, 2019). Işığı soğurma yeteneği yüksek olmasına rağmen kadmiyumun zehirli bir malzeme olmasından dolayı, üretim sürecinde ciddi önlemler alınmalıdır. Bu yüzden üretim maliyeti yüksektir. Ayrıca enerji dönüşüm verimi ise %7'ler mertebesinde olup, uygulamada pek tercih edilmez.

Yeni nesil FV hücreler

Yeni nesil FV hücreler arasında en çok ön plana çıkan hücreler Perovskite ve çok eklemli (tandem) hücrelerdir. Perovskite, kalsiyum titanyum oksit mineralidir. Perovskite hücreler boya duyarlı FV hücreleri temel almaktadır. Bu hücrelerin 2009'da yapılan ilk deneyler sonucunda %3-4 güç dönüşüm verimliliğinde bir fotonik akım ürettiği keşfedilmiştir. 2015 yılından itibaren ise %20 verimlilikte gerçekçi ve ucuz Perovskite malzemelerin kullanımı ile FV hücreler gelecek vadede bir FV teknoloji olarak ön plana çıkmaktadır (Yiğit ve Atmaca, 2018 :179-180).

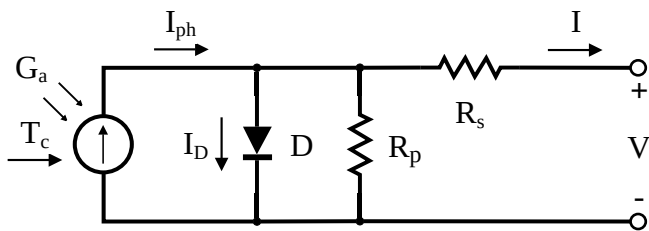
Çok eklemli hücreler birden fazla PN eklemden oluşur. Hücrenin içinde bulunan PN eklemler belirli dalga boyuna sahip ışınımı soğurup, kayıp dalga boylarını düşürerek verimin artıracak biçimde tasarlanır. Böylece tekli FV hücrelerle ulaşılması neredeyse mümkün gibi görünmeyen yüksek teorik verimler ortaya konmuştur ve bu sebeple yüksek verimlere ulaşılacağı düşünülmektedir (Yiğit ve Atmaca, 2018: 180).

3.1.4. FV hücrenin eşdeğer devresi

FV hücrelerin, elektriksel özellikleri, eşdeğer elektrik devresi ile temsil edilerek modellenebilir (Sheraz, 2013). Bir FV hücreyi modellemek için, hücrenin üzerindeki farklı faktörlerin etkisini değerlendirmek ve veri sayfasında üreticiler tarafından verilen özellikleri dikkate almak zorunludur. Bir FV modülü oluşturmak için bir dizi hücre seri veya paralel bağlanır. Bir FV dizi oluşturmak için ise, bir dizi FV modül seri ve paralel olarak bağlanır. Böylece, FV hücrelerin temel eşdeğer devresi kullanılırken FV dizisi için matematiksel modeller elde edilir (Rakotomananandro, 2011).

Literatürde tek diyot ve tek direnç, tek diyot ve iki direnç, iki diyot ve iki direnç şeklinde devre modelleri bulunmaktadır. Tek diyotlu model üstel, iki diyotlu model ise çift üstel model olarak adlandırılmaktadır. Tek diyotlu model, bir üstel ifadeye sahip olduğundan, iki diyotlu modele oranla daha basit yapıya sahiptir. Bu sebeple tek diyotlu modelin FV model ve benzetim çalışmaları için daha fazla kullanıma sahiptir. Ancak iki diyotlu model daha doğru sonuç vermesine rağmen çift üstel ifadeye sahip olmasından dolayı sıcaklık ve ışınımın etkisiyle değişiklik gösteren parametrelerin hesaplanması daha zordur (Ünlü, 2015).

Tek diyotlu eşdeğer devre modeli, basitliği nedeniyle bir FV hücre için en yaygın kullanılan modeldir (Nugraha, Lian ve Suwarno, 2019). Bu çalışmada tek diyotlu ve iki dirençli devre modeli kullanılmıştır. Şekil 3.2’de tek diyotlu iki dirençli FV hücre elektriksel eşdeğer devresi verilmiştir. Bu eşdeğer devrede I_{ph} FV hücrenin ürettiği foton akımını, R_s seri direnci, R_p paralel direnci, G_a güneş ışığından gelen ışınımı, T_c Kelvin cinsinden hücre sıcaklığını, I_d diyot akımını, I hücrenin çıkış akımını ve V hücrenin çıkış gerilimini temsil etmektedir.



Şekil 3.2. FV hücrenin elektriksel eşdeğer devresi (Rakotomananandro, 2011)

FV modül üreticileri, hücreleri modellemek için lazım olan ve veri sayfalarında belirttikleri diğer elektriksel parametreleri belirli bir sıcaklık ve güneş ışıınımlı altında hesaplarlar.

Veri sayfalarında bulunan bu parametreler; V_{oc} açık devre gerilimi, I_{sc} kısa devre akımı, P_{mp} maksimum noktadaki güç, V_{mp} maksimum güç noktasındaki gerilim, I_{mp} maksimum güç noktasındaki akımdır. FV hücrenin çıkış akımı denklemi Eş. 3.1 ile, diyot akımı denklemi Eş. 3.2 ile ifade edilmektedir. Diyot akımı denklemi yerine koyulduğunda Eş. 3.3 elde edilmiş olur. Bu eşitliklerde I_0 diyodun ters doyum akımını, q elektrik yükünü ($1,602 \times 10^{-19} C$), V_d diyot gerilimini, k Boltzmann sabitini ($1,381 \times 10^{-23} J/K$) ifade etmektedir.

$$I = I_{ph} - I_d \quad (3.1)$$

$$I_d = I_0 (e^{qV_d/kT} - 1) \quad (3.2)$$

$$I = I_{ph} - I_0 (e^{qV_d/kT} - 1) \quad (3.3)$$

Ters doyum akımı I_0 yukarıdaki eşitlikler kullanılarak elde edilebilir. Eş. 3.4'de I akımı sıfıra ayarlanır ve T_1 sıcaklığında hesaplanır. Eş. 3.5'de FV hücreler tarafından üretilen akım I_{ph} kısa devre akımı I_{sc} ile yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Üretilen akım diğer ışıınımlı değerleri için kullanılabilir. Eş. 3.6'da panelin veri sayfasındaki standart akım, sıcaklık ve ışıınımlı farklı koşullardaki akımı hesaplamak için kullanılır ve hesaplamalar sonucunda Eş. 3.7 elde edilir. Ters doyum akımı I_0 , T sıcaklığına bağlıdır ve bu Eş. 3.8 ile hesaplanır. Seri direnç değeri R_s , açık devre gerilimi noktasındaki akım-gerilim eğrisinin dV/dI eğiminden hesaplanır. Bu hesaplama ise Eş. 3.9'da verilmiştir (Rakotomananandro, 2011; Suryavanshi, Joshi ve Jangamshetti, 2012).

$$I_0(T_1) = \frac{I_{ph}(T_1)}{(e^{qV_{oc}/kT} - 1)} \quad (3.4)$$

$$I_{sc} \approx I_{ph} \quad (3.5)$$

$$I_{sc}(T_1) = \left(\frac{G}{G_{nom}}\right) I_{sc}(T_{1,nom}) \quad (3.6)$$

$$I = I_{ph} - I_0 \left[e^{q \left(\frac{V+I.R_s}{\alpha k T} \right)} \right] - \left(\frac{V+I.R_s}{R_p} \right) \quad (3.7)$$

$$I_0 = I_0(T_1) \left(\frac{T}{T_1} \right)^{\frac{3}{n}} \cdot e^{\frac{qV_q(T_1)}{\alpha k \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right)}} \quad (3.8)$$

$$R_s = -\frac{dV}{dI} - \frac{\alpha k T / q}{I_0 \cdot e^{\left(\frac{qV_{oc}}{\alpha k T} \right)}} \quad (3.9)$$

FV hücrenin verilen bu akım ifadeleri ve elde edilen denklemler incelendiğinde bir FV hücrenin veriminin panele direkt olarak gelen ışıyım miktarına, panel ve ortam sıcaklığına ve devrenin yük miktarına göre değişken olan direnç değerlerine göre değiştiği anlaşılmaktadır.

3.2. FV Modül

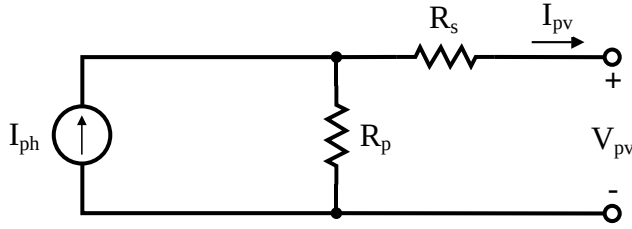
Bir FV modülün akım-gerilim eğrisini hesaplamak için kullanılan yöntem Eş. 3.10'da verilmiştir. Seri bağlı N_s hücreleri ile modülün termal gerilimi Eş. 3.11'deki gibi hesaplanır. Eş. 3.12'de ise üretilen akım I_{ph} 'nin doğrusal olarak ışıyım ve sıcaklığa bağlı olduğu görülmektedir. Bu eşitliklerde N_s seri bağlı hücre sayısını, K_i akım sıcaklık katsayısını ve ΔT sıcaklık değişimini temsil etmektedir. Eş. 3.13'de R_s seri direnci akım-gerilim eğrisinin dV/dI eğimini belirleyerek hesaplanır. Bu eğim V_{oc} de akım-gerilim eğrisinin eğimini ifade eder. Bazı durumlarda R_p ihmal edilir. R_s ve R_p iterasyonlarla hesaplanır. Amaç, matematiksel güç-gerilim eğrisinin (V_{mp}, I_{mp}) noktasındaki deneysel tepe gücü ile çakışmasını sağlayan R_s ve R_p değerlerini bulmaktır. Hesaplanan maksimum güç tahmini maksimum güce eşit olduğunda iterasyon durdurulur, R_s ve R_p değerlerine ulaşılır (Rakotomananandro, 2011). Şekil 3.3'de FV modülün devre modeli verilmiştir.

$$I = I_{ph} - I_0 \left[e^{q \left(\frac{V+I.R_s}{N_s \alpha k T} \right)} - 1 \right] - \left(\frac{V+I.R_s}{R_p} \right) \quad (3.10)$$

$$V_t = N_s k T / q \quad (3.11)$$

$$I_{ph} = I_{ph,nom} + K_i \Delta T \left(\frac{G}{G_{nom}} \right) I_{ph} \quad (3.12)$$

$$R_s = -\frac{dV}{dI} - \frac{nkT/q}{I_0 \cdot e^{q(V_{oc})/(akT)}} \quad (3.13)$$



Şekil 3.3. FV modülün devre modeli (Rakotomananandro, 2011)

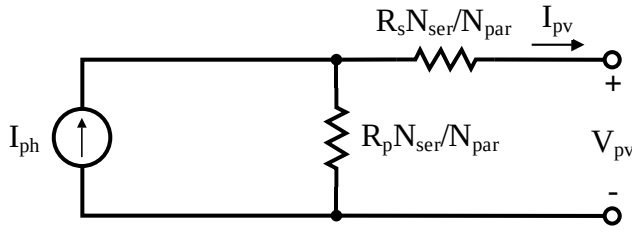
3.3. FV Dizi

FV dizi birbirine bağlı birkaç FV modülden oluşur. Modelleme işlemi, FV hücrelerinden alınan FV modülü ile aynıdır. Veri sayfasındaki aynı parametreler kullanılır. Gerekli gücü, gerilimi ve akımı elde etmek için FV modüller seri ve paralel olarak ilişkilendirilir. Dizideki toplam seri modül miktarı N_{ser} ile, dizideki paralel modül miktarı ise N_{par} ile ifade edilmektedir. Modül sayısı, paralel direnç değerini ve seri direnç değerini değiştirir. FV dizinin seri eşdeğer direnç değeri ve paralel direnç değeri Eş. 3.14 ve Eş. 3.15 ile elde edilir. FV dizi Eş. 3.16 ile simüle edilecektir. Bu denklemde kullanılan I_0 , I_{pv} , V_t gibi parametreler FV modülde kullanılanlarla aynıdır (Rakotomananandro, 2011). Şekil 3.4’de FV dizinin devre modeli gösterilmektedir.

$$R_{s,array} = \frac{R_{s,module} \cdot N_{ser}}{N_{par}} \quad (3.14)$$

$$R_{p,array} = \frac{R_{p,module} \cdot N_{ser}}{N_{par}} \quad (3.15)$$

$$I = I_{pv} N_{par} - I_0 N_{par} \left[\exp \left(\frac{V + R_s \left(\frac{N_{ser}}{N_{par}} \right) I}{V_t \alpha N_{ser}} \right) - 1 \right] - \frac{V + R_s + \left(\frac{N_{ser}}{N_{par}} \right) I}{R_p \left(\frac{N_{ser}}{N_{par}} \right)} \quad (3.16)$$



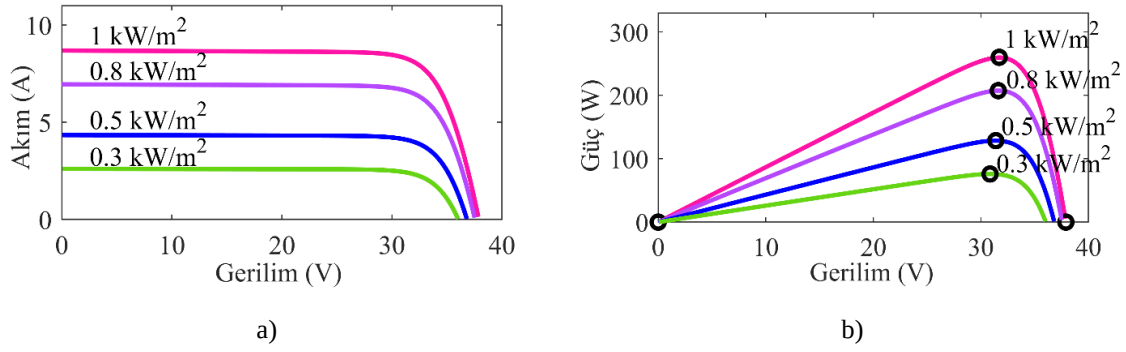
Şekil 3.4. FV dizinin devre modeli (Rakotomananandro, 2011)

3.4. FV Sistemler Üzerinde Çevresel Koşulların Etkisi

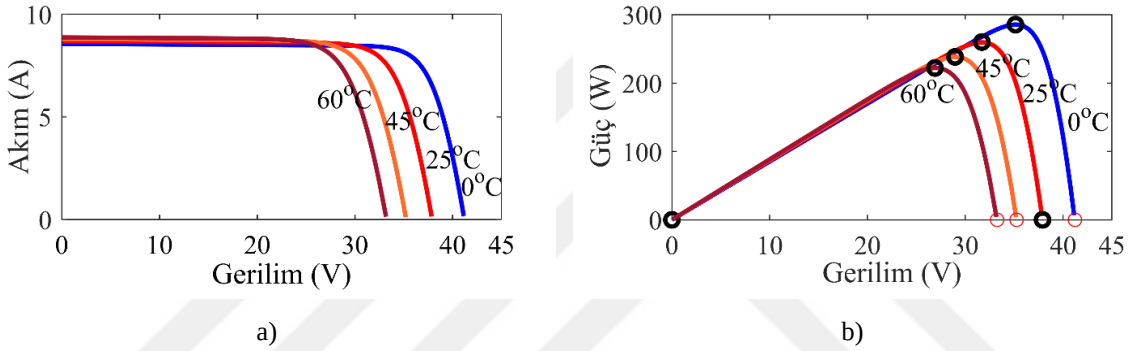
Bu kısımda ışıınım, sıcaklık ve kısmi gölgeleme gibi çevresel koşulların FV sistemler üzerindeki etkisi incelenmiştir.

3.4.1. Işıınım ve sıcaklık değişiminin etkisi

FV modülün elektriksel karakteristiğini belirleyen iki önemli faktör güneş ışıınımını ve sıcaklıktır. Bir FV modülden elde edilen güç ifadesi modül akımı ve geriliminin çarpımı şeklinde ifade edilir. Güç-gerilim karakteristik eğrisinde belirli bir akım ve gerilim değeri için sağlanan maksimum güç noktası 1000 W/m^2 ışıınım ve 25°C modül sıcaklığı standart test koşullarında tanımlanır. Ancak bu şartlar her zaman sağlanamayabilir. Işıınım ve sıcaklıkta değişimler meydana geldiğinde modülün çıkış akımı ve gerilimi de bu durumdan etkilenir (Suryavanshi ve diğerleri, 2012). Şekil 3.5 farklı ışıınım değerlerinin Trina Solar TSM-260PA05.08 FV modülün güç-gerilim ve akım-gerilim karakteristik eğrileri üzerindeki etkisini göstermektedir. Sabit sıcaklık altında ışıınımın artması FV modülün çıkış akımını artırmaktadır. Maksimum çıkış gücü, akımdaki değişimden doğrudan etkilendiği için ışıınımdaki artış, çıkış gücünü de artırmaktadır. Şekil 3.6 farklı sıcaklık değerlerinin aynı FV modülün güç-gerilim ve akım-gerilim karakteristik eğrileri üzerindeki etkisini göstermektedir. Sabit ışıınım altında sıcaklığın artması FV modülün çıkış gerilimini azaltmaktadır. Maksimum çıkış gücü, gerilimdeki azalmadan doğrudan etkilendiği için sıcaklıktaki artış, çıkıştaki gücün eksilmesine sebep olmaktadır.



Şekil 3.5. Farklı ışınlam değerleri altında FV modülün (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim karakteristik eğrileri



Şekil 3.6. Farklı sıcaklık değerleri altında FV modülün (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim karakteristik eğrileri

3.4.2. Kısmi gölgeleme etkisi

FV sistemlerde amaçlanan gerilim değerine erişmek için paneller seri olarak bağlanmaktadır. Bu durumda FV sistemler sürekli eşit dağılımlı bir ışınlam alamamakta ve bu duruma kısmi gölgeleme denilmektedir. Kısmi gölgeleme durumu; herhangi bir panelin ya da hücrenin hareket eden bulutlar, ağaç, baca, bina veya sistemdeki diğer bir panel tarafından gölgelenmesi sebebiyle oluşabilmektedir. Bu durum FV sistemler için önemli bir sorun olmaktadır (Anoop ve Nandakumar, 2018; Ünlü, 2015). Kısmi gölgeleme çeşitleri aşağıdaki gibidir (Atıcı, 2019; Sun, Chen, Xie, Hong ve Shen, 2014; Turan, 2019). Bu gölgeleme çeşitlerine ait örnekler ise Resim 3.1’de verilmiştir.

- Yakın ekipmanların sebep olduğu gölgeleme: Bazı paneller güç trafoları, dağıtım binaları, eviriciler ve santrale yakın kurulan elektrik direklerinden dolayı gölgelenebilmektedir.

- Kuş ve bitkilerin sebep olduğu gölgeleme: Kuş pisliği veya bitkiler nedeniyle güneş panellerinde küçük bir alanda oluşan gölgeleme sıcak nokta etkisiyle panellere zarar verebilmektedir. Panel güçleri, bitkiler ve kuş pisliklerinin sebep olduğu gölgeleme sebebiyle %50 oranında düşebilmektedir.
- Panel yerleşimi sebebiyle gölgeleme: Zemin ve enlem bilgileri göz ardı edilerek verilen diziler arası boşluklar tüm bir dizinin düşük bir akım üretmesine sebep olmakta ve hatta tüm tesisin düşük güç üretmesine neden olmaktadır.
- Bulutlanma.
- Üretim sırasında oluşan fark payları.
- Panelde oluşacak kirlenme.
- Taşıma ve entegrasyon sırasında oluşacak yıpranma.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

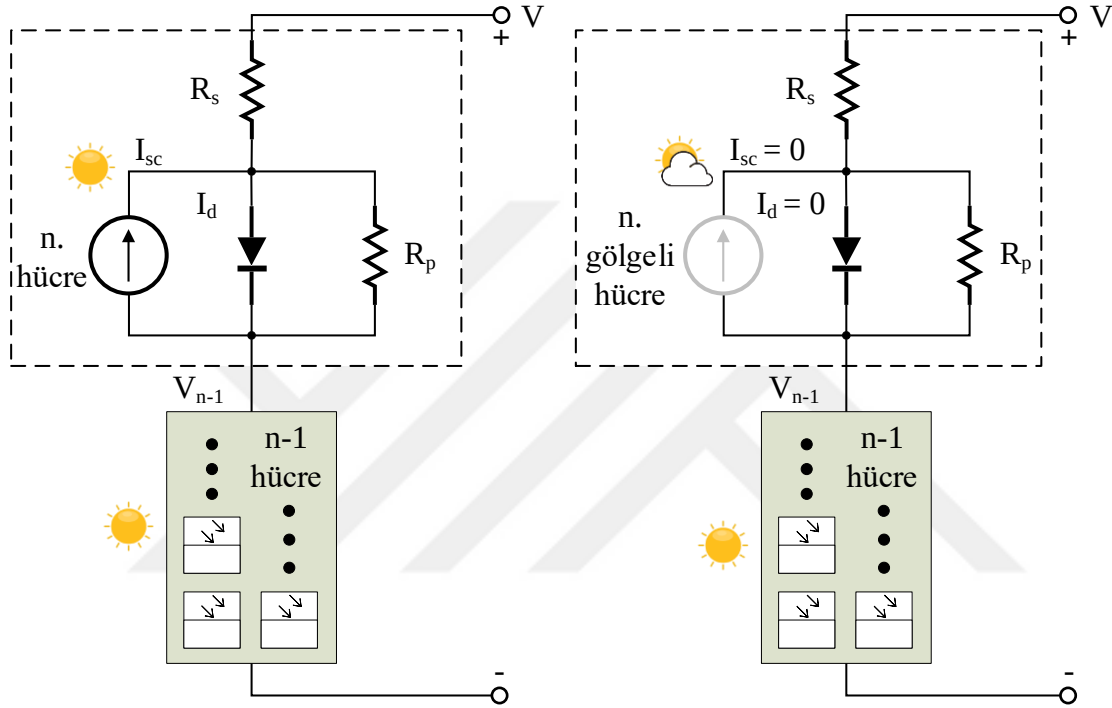


(f)

Resim 3.1 Kısmi gölgeleme örnekleri a) yakın binaların sebep olduğu gölgeleme b) elektrik direklerinin sebep olduğu gölgeleme c) bitkilerin sebep olduğu gölgeleme d) kuşların sebep olduğu gölgeleme e) açı değiştiren panellerin sebep olduğu gölgeleme f) sabit açılı panellerin sebep olduğu gölgeleme (Turan, 2019)

Bir güneş panelinin güç üretim verimi gölgelemeye çok duyarlıdır. Güç kaybı, panelin gölgeli olan alanına ve gölgeleme türüne bağlıdır (Azharuddin, 2012). Kısmi gölgeleme koşulları FV hücrede sıcak nokta olayına neden olmakta, gölgeli panel diğer gölgeli olmayan paneller tarafından üretilen gücü tüketmekte ve seri bağlantılı panellerin akımını gölgeli olanın akımıyla sınırlamaktadır.

Bu durumun üstesinden gelebilmek için her bir panele paralel olarak bypass diyotlar bağlanmaktadır. Normal çalışmada, bu diyotlar aktif değildir ve herhangi bir etkisi yoktur. Ancak kısmi gölgeleme koşulları altında aktif hale gelmekte ve gölgeli hücrenin akımını taşımaktadır. Bu durumun anlatıldığı örnek Şekil 3.7’de verilmiştir.



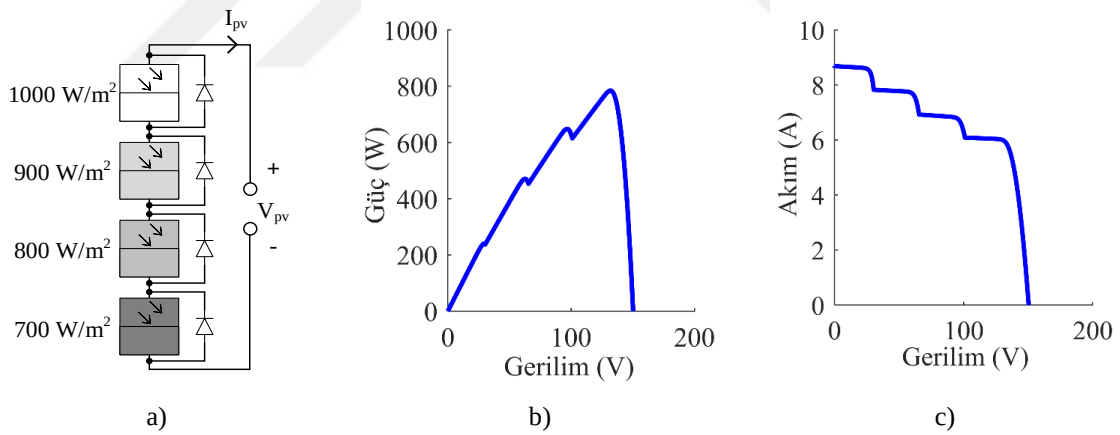
Şekil 3.7. FV sistemin (a) eşit dağılımlı ışıma altında ve (b) kısmi gölgeleme koşulu altında davranışı

Bypass diyotların varlığı ise modülün karakteristik eğrisini daha karmaşık hale getirmekte ve birden fazla tepe noktası oluşmasına neden olmaktadır (Chong, 2010; Sagonda ve Folly, 2019; Sawant ve Bhattar, 2016). Tepe noktalarının sayısı paneldeki farklı ışıma seviyesinin sayısı ile aynıdır. Kısmi gölgeleme koşullarında güç-gerilim eğrisinde birkaç tane yerel maksimum güç noktası ve bir tane global maksimum güç noktası vardır (Sagonda ve Folly, 2019). Bu durum üretilen güçte azalma ile sonuçlanabilmektedir. FV panellerden maksimum şekilde yararlanmak için FV sistemlerin maksimum güç noktasında çalıştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu amaçla kullanılacak olan MGNT yönteminin kısmi gölgeleme şartlarında da maksimum güç noktasında çalışması istenmektedir. Burada amaç, kullanılacak olan MGNT yönteminin yerel noktalara takılmadan global maksimum güç noktasına erişebilmesidir. Bu nedenle ilk önce, kısmi gölgeleme koşullarının iyi bir şekilde analiz edilmesi ve maksimum güç noktasının farklı koşullar altında nasıl bir tepki verdiğinin anlaşılması gerekmektedir (Ünlü, 2015).

Kısmi gölgeleme koşulları altında geleneksel maksimum güç noktası takipçileri global maksimum güç noktasını belirlerken başarısız olmakta ve yerel bir maksimum güç noktasına yönelebilmektedir (Anoop ve Nandakumar, 2018; Elewa, Elkholy ve El-arini, 2017; Sawant ve Bhattar, 2016).

Şekil 3.8’de bu çalışmada kullanılan FV modülün gölgeleme konfigürasyonlarından biri ve bu konfigürasyonun güç-gerilim ve akım-gerilim karakteristik eğrileri verilmiştir.



Şekil 3.8. (a) FV modülün kısmi gölgeleme konfigürasyonu (b) Güç-gerilim karakteristik eğrisi (c) Akım-gerilim karakteristik eğrisi

3.5. FV Sistem Çeşitleri

Elektrik enerjisine ihtiyacın olduğu tüm yerlerde kullanılması mümkün olan FV sistemler, kurulum bölgesindeki şartlar ve yatırımcıların tercihlerine göre genellikle şebekeden bağımsız, şebekeye bağımlı ve hibrit sistemler olmak üzere 3 türde sınıflandırılmaktadır (Kandemir, 2015; Ortaçtepe, 2011).

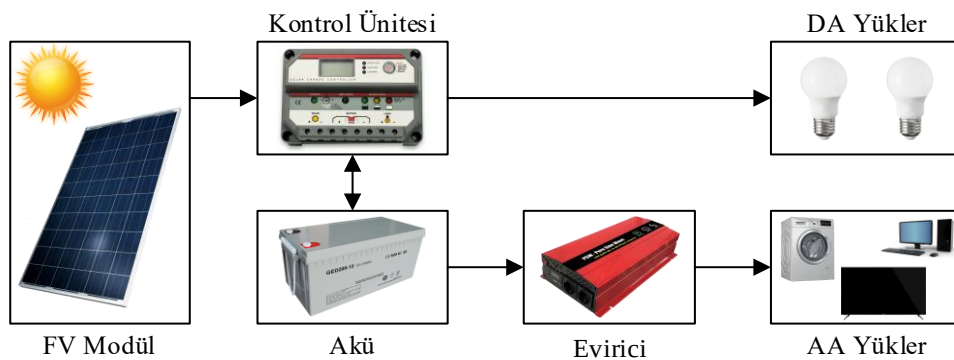
3.5.1. Şebekeden bağımsız FV sistemler

FV sistemlerin en yaygın kullanım şekli, birkaç Watt ile birkaç yüz Kilowatt arasında değişen güçlere sahip olabilen, çeşitli yüklerin enerji gereksinimini karşılayabilen şebekeden bağımsız sistemlerdir (Erdem, 2009).

Bu sistemler şebekenin olmadığı veya oldukça uzakta olduğu, şebeke hattı çekilmesinin masraflı olduğu veya şebekenin bulunup kısa ya da uzun zamanlı elektrik kesintilerinin meydana geldiği yerlerde elektrik enerjisi elde etmek amacıyla kurulan sistemlerdir (Kandemir, 2015).

Bu sistemlerden elde edilen enerji, güneşin yetersiz olduğu durumlarda veya gece kullanılmak üzere akülerde depolanır. Akünün aşırı şarj ve deşarj durumunda zarar görmesinin önüne geçmek amacıyla kullanılan şarj regülatörü duruma göre FV modüllerden gelen akımı veya yükün çektiği akımı keser. Akülerde depolanan enerji DA ile çalışan cihazları besleyecekse direkt kullanılır. Fakat cihazlar AA ile çalışıyorsa enerji bir evirici üzerinden sağlanır.

Kırsal bölgelerde elektrik aletlerinin çalıştırılması, tarımsal sulama, su pompalama sistemleri, telsiz ve telefon sistemleri, hava gözlem istasyonları, kırsal radyo istasyonları, bina içi veya dışı aydınlatma, orman gözetleme kuleleri şebekeden bağımsız sistemlerin bazı uygulama alanlarıdır (Ortaçtepe, 2011). Şekil 3.9'de şebekeden bağımsız bir sistem verilmiştir.

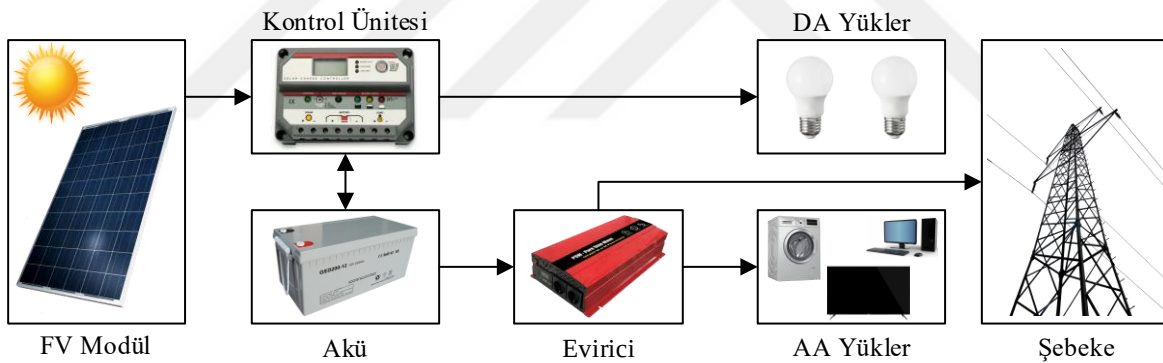


Şekil 3.9. Şebekeden bağımsız bir FV sistem şeması

3.5.2. Şebekeye bağlı FV sistemler

Şebeke elektriği ve yeterli güneş paneli alanının bulunduğu her yerde kurulabilen bu sistemler en küçük ev uygulamasından en büyük güneş enerjisi santrali uygulamasına kadar geniş bir kullanım alanına sahiptir. Bu sistemlerde üretilen fazla elektrik enerjisi akü kullanımına gerek kalmadan şebekeye aktarılabilmekte ya da ihtiyaç olması halinde şebekeden karşılanabilmektedir (Kandemir, 2015). FV sistem yeterli olmadığı durumda veya sistemde bir arıza meydana geldiğinde şebeke devreye girmektedir.

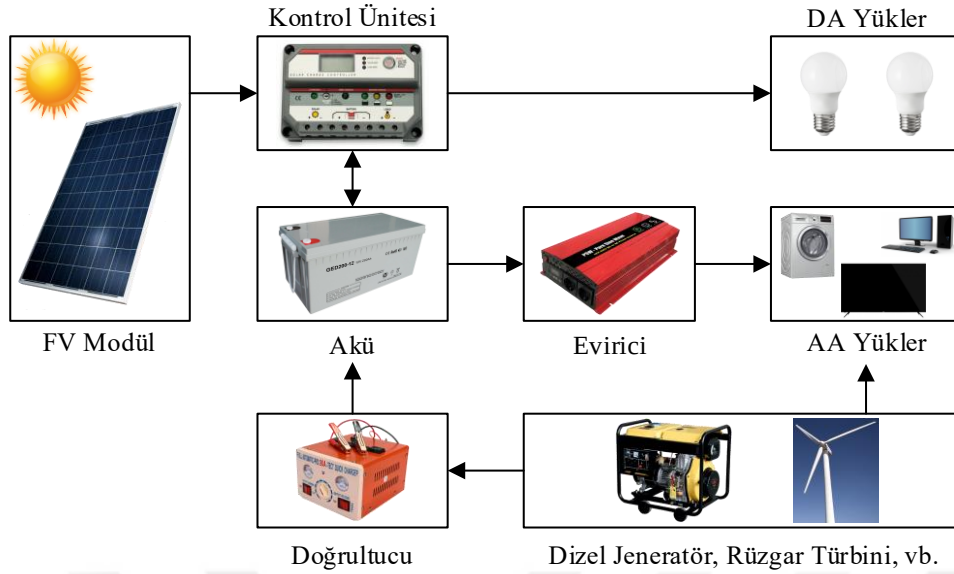
Bu sistemlerde, şebekede bir sorun meydana geldiğinde ve FV sistem bu durumda yeterli olmadığına tüketicinin enerjiden yoksun olması, frekans ve güç faktörü gibi değerleri düzenlemek amacıyla kalitesi yüksek elektronik malzemelere gereksinim duyulması ve bu durumun maliyeti yükseltmesi gibi dezavantajlar vardır (Erdem, 2009). Şekil 3.10'da şebekeye bağlı bir sistem verilmiştir.



Şekil 3.10. Şebekeye bağlı FV sistem şeması

3.5.3. Hibrit FV sistemler

Hibrit sistemlerde güneş enerjine ek olarak rüzgâr, biyokütle veya dizel jeneratör gibi birden fazla enerji kaynağı olmaktadır ve hibrit kavramı da buradan gelmektedir. Bu sistemlerin kullanımının en büyük avantajı güneş olsa da olmasa da daima enerji üretebilmesidir (Ortaçtepe, 2011). Bu sistemlerde hem DA hem de AA yükler beslenebilmektedir. Diğer kaynağın ürettiği enerji doğrudan AA yükleri besleyebilmekte veya doğrultucu üzerinden akülere aktarılabilir. Şekil 3.11'de hibrit sistem verilmiştir (Durusu, 2011).



Şekil 3.11. Hibrit FV sistem şeması

3.6. FV Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

Aşağıda FV sistemlerin avantajları listelenmiştir (Asumda, 2016; Nakir, 2007; Ortaçtepe, 2011; Yasko, 2018):

- Temiz enerji üretir.
- Ekonomide canlılık ve çevresel sürdürülebilirlik için gelecek vadeder.
- Doğrudan elektrik üretim yöntemidir.
- Çatılarda veya zeminde kolay kurulabilir.
- Hidroelektrik enerji ve rüzgâr enerjisi gibi enerji üretim yöntemlerinin aksine, FV modüller hareketli parçalara sahip değildir bu nedenle gürültü üretilmez.
- Yenilenebilirdir.
- Doğaya zarar vermez, çevre dostudur.
- Modülerdir.
- Bakım maliyetleri azdır.
- Var olan modüllere yeni modüller eklenerek güç çıkışı artırılabilir.
- Eviricilerle birlikte elektrik şebekesine bağlanabilir.

Aşağıda FV sistemlerin dezavantajları listelenmiştir (Asumda, 2016; Nakir, 2007; Zorlu, 2019):

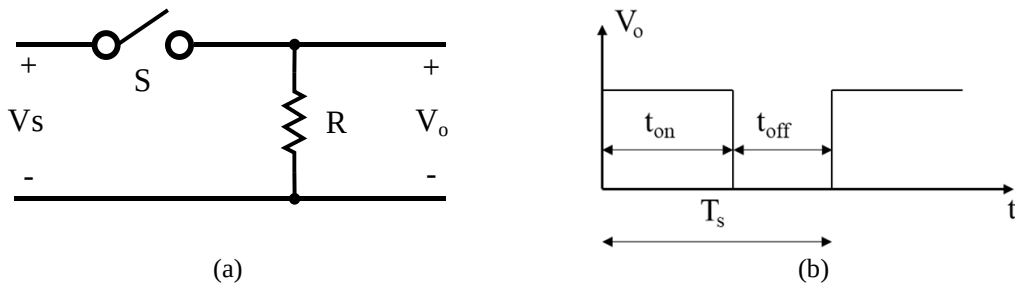
- FV enerjisinin doğrudan güneş ışınlımından üretilmesi nedeniyle, kaynağın olmaması ya da değişkenlik göstermesi durumunda üretilen enerji miktarı direkt olarak etkilenmektedir. Bu nedenle, değişken ışınlım ve sıcaklık değerleri FV sistem verimliliğinde azalmaya neden olur.
- Şebekeden bağımsız çalıştıkları zaman depolama sistemine ihtiyaç duyarlar çünkü güneş ışınlımı olmadığı zamanlarda elektrik üretemezler.
- FV hücrelerin verimleri düşük olduğu için yüksek güç gerektiren uygulamalarda çok geniş alanlara gereksinim duyulmaktadır.
- FV hücreler yüksek üretim teknolojisi gerektirdikleri için maliyetleri yüksektir.
- Yağmur, bulut, rüzgâr gibi atmosferik değişimler sistemin üretim potansiyelini olumsuz yönde etkilemektedir.

3.7. FV Sistemlerin Kullanım Alanları

FV sistemler trafik işaret lambaları, güneş kuleleri, cep telefonlarının şarj olması, tarımsal sulama alanları, hava gözlem istasyonları, yapay uydular, bahçe ve sokak aydınlatması, deniz fenerleri, güneş arabaları, uçaklar, hesap makineleri, saatler, giysi ve çantalar, seralar, alarm ve güvenlik sistemleri gibi kullanım alanlarına sahiptir (Zorlu, 2019).

4. DA-DA DÖNÜŞTÜRÜCÜLER

DA-DA dönüştürücüler ideal durumda pasif elemanlar içerip enerji çevrimini kayıp olmadan gerçekleştiren, gerçek durumda %70- %95 arasında verimliliğe sahip olan, girişine uygulanan DA gerilim seviyesini başka bir DA gerilim seviyesine ayarlayan güç elektroniği sistemleridir (Özdemir, 2007). DA-DA dönüştürücüler kesintisiz güç kaynakları, anahtarlama güç kaynakları, güç faktörünün düzeltilmesi, rüzgâr türbini, güneş paneli ve akümülatör şarjı gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar (Bakım, 2016). Bobin ve kondansatör gibi enerji depolama elemanlarının anahtarlanması ilkesiyle çalışan DA-DA dönüştürücüler MOSFET, IGBT gibi kontrollü yarı iletken güç anahtarı elemanına sahiptirler. Yarı iletken güç elemanı, darbe genişlik modülasyonu ayarı olarak adlandırılan bir metot ile bobinde depo edilecek ve çıkışa aktarılacak enerjiyi kontrol eder. Bu metot ile kontrolü sağlamak için frekans sabit tutulur ve darbe genişliği değiştirilir. Eş. 4.1, Eş. 4.2 ve Eş. 4.3’de D ile ifade edilen doluluk oranı, darbe genişliği süresinin (t_{on}), anahtarlama periyoduna ($T_s = t_{on} + t_{off}$) oranlanmasıyla elde edilir. Bu D değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Böylece yarı iletken anahtarın iletimde olduğu (t_{on}) ve kesimde olduğu (t_{off}) sürelerle bağlı olarak çıkış gerilim değeri ayarlanır. Kontrollü güç anahtarı kapalıyken, tam giriş gerilimi yük üzerinde görünür, anahtar açıldığında ise yük gerilimi veya çıkış gerilimi sıfıra eşit olur. Dönüştürücünün çıkışındaki gerilim dalgalanmalarını azaltmak için kondansatör kullanılır (Aydoğan, 2019; Kırıcıoğlu, 2017; Yasko, 2018). Şekil 4.1’de temel bir dönüştürücünün yapısı ve devrenin çıkışı verilmiştir.



Şekil 4.1. Temel dönüştürücü (a) devresi ve (b) çıkış eğrisi

$$D = \frac{t_{on}}{t_{on}+t_{off}} = \frac{t_{on}}{T_s} \quad (4.1)$$

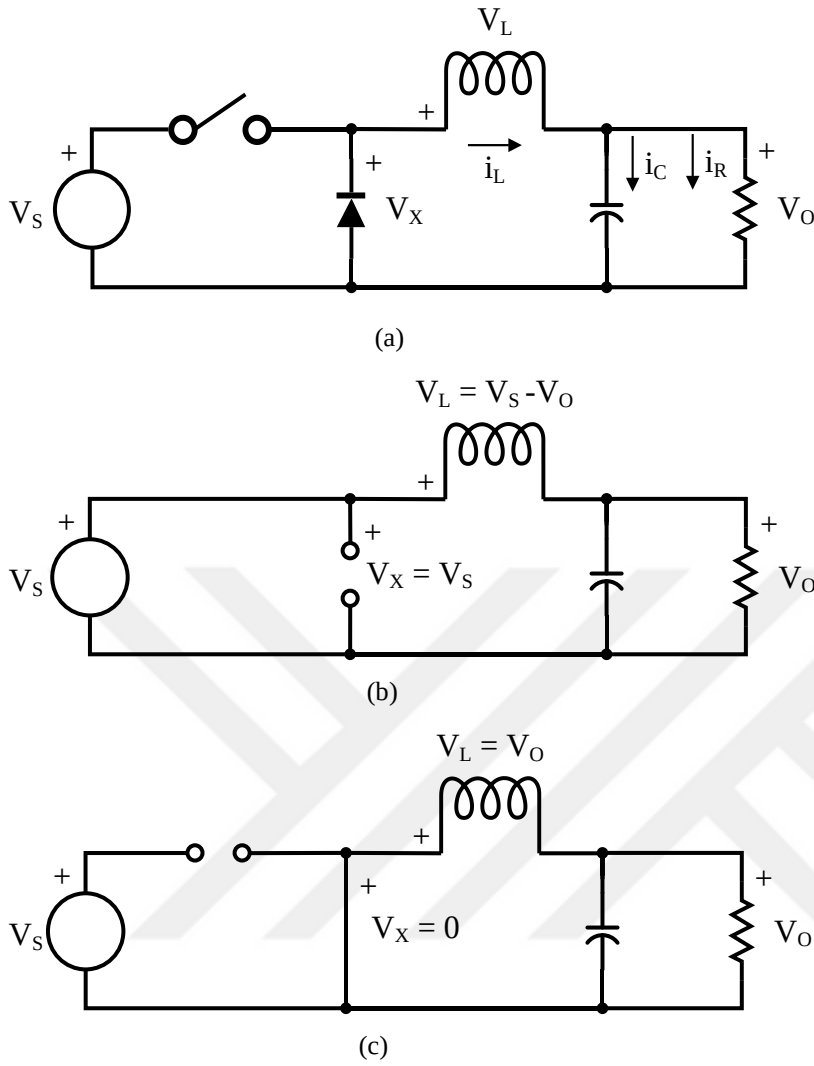
$$t_{on} = D.T_s \quad (4.2)$$

$$t_{off} = (1 - D).T_s \quad (4.3)$$

DA-DA dönüştürücüler, bobin akımına bağlı olarak kesintili ve kesintisiz iletim durumları olmak üzere iki modda çalışmaktadırlar. Anahtarlama periyodu sonunda bobin akımına göre çalışma durumu değişkenlik göstermektedir. Kesintisiz iletim modunda bobin akımı daima sıfırdan büyüktür ve anahtar kapalı olsa dahi bobinde enerji bulunmaktadır. Kesintili iletim modunda ise bobin akımı sıfıra düşmekte ve bobin üzerinde depolanan enerji yüke aktarılmaktadır. Çalışmada çeviriciler kesintisiz iletim durumunda çalışmaktadır (Okumuş, 2016). Kesintisiz iletim modu, daha yüksek verim elde edebilmek için tercih edilir. Kesintili iletim modu, özel kontrol gereksinimleri olan uygulamalarda kullanılabilir (Yasko, 2018). FV sistemlerde yaygın olarak kullanılan DA-DA dönüştürücüler, MGNT işleminde temel öge olarak kabul edilir ve o olmadan maksimum güç elde edilemez. MGNT işleminde kaynak empedansı yük empedansına eşit olduğunda yani yük eşleşmesi sağlandığında kaynaktan yüke maksimum güç aktarılır. FV panelin giriş direncini yük direncine eşit olacak şekilde değiştirmek için DA-DA dönüştürücü gereklidir (Yasko, 2018). DA-DA dönüştürücüler giriş ve çıkış gerilimi arasındaki ilişkiye ve elemanların bağlantı şekillerine göre DA-DA alçaltan dönüştürücü, yükselten dönüştürücü ve alçaltan-yükselten dönüştürücü olmak üzere üçe ayrılır. Bu tez çalışmasında DA-DA yükselten dönüştürücü kullanılmıştır.

4.1. Alçaltan Dönüştürücüler

DA-DA alçaltan dönüştürücüler giriş gerilimini azaltarak çıkışa veren sistemlerdir. Bu tip dönüştürücü için ana hedefler gerilim seviyesini düşürmek ve devreden saf DA çıkışı elde etmektir (Çelik, 2015). Temel uygulamaları ayarlı güç kaynakları ve DA motor hız denetimleridir (Erdem, 2009). DA-DA alçaltan dönüştürücünün genel topolojisi, anahtarın iletimde ve kesimde olduğu devre Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2. (a) Alçaktan DA-DA dönüştürücü (b) Anahtar iletimdeyken eşdeğer devre (c) Anahtar kesimdeyken eşdeğer devre (Hart, 2010: 199)

Anahtarlama elemanı iletimdeyken D diyotu ters polaritededir ve L bobini tarafından kaynaktan i_L akımı çekilmektedir. Bu akım bobinden geçerek çıkışa aktarılır ve bobinde enerji depolanmasına neden olur (Özdemir, 2007). Bobinde oluşan gerilim Eş. 4.4 ile verilmiştir. Akımın türevi pozitif bir sabit olduğundan, akım doğrusal olarak artar. Eş. 4.6'da anahtar iletimdeyken akımdaki değişikliği gösteren eşitlik, Eş. 4.5 değiştirilerek hesaplanır (Hart, 2010: 200).

$$V_L = V_S - V_O = L \frac{di_L}{dt} \quad (4.4)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S - V_O}{V_L} \quad (4.5)$$

$$(\Delta i_L)_{iletim} = \left(\frac{V_S - V_O}{L} \right) DT \quad (4.6)$$

Anahtarlama elemanı kesimdeyken L bobini üzerinde depolanan enerji, diyot ve yük üzerinden geçerek devresini tamamlar. Bu şekilde bobin üzerinde biriken enerji sayesinde yük beslenmeye devam eder ve çıkışta enerji sürekliliği sağlanır (Özdemir, 2007). Anahtarlama elemanı kesimdeyken bobinde oluşan gerilim Eş. 4.7’de verilmiştir. Bobindeki akımın türevi negatif bir sabittir ve akım doğrusal olarak azalır. Eş. 4.9’da anahtar açırken bobin akımındaki değişiklik Eş. 4.8 ile hesaplanır (Hart, 2010: 201-202).

$$V_L = -V_O = L \frac{di_L}{dt} \quad (4.7)$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = -\frac{V_O}{L} \quad (4.8)$$

$$(\Delta i_L)_{kesim} = -\left(\frac{V_O}{L} \right) (1-D)T \quad (4.9)$$

Kararlı durum çalışması, anahtarlama döngüsünün sonundaki bobin akımının başlangıçtaki ile aynı olmasını gerektirir, yani Eşitlik 4.10’da gösterildiği gibi bir döngü boyunca bobin akımındaki net değişiklik sıfırdır. Bu durumda Eşitlik 4.11 kullanılarak Eşitlik 4.12’deki ifade elde edilmiş olur (Hart, 2010: 202).

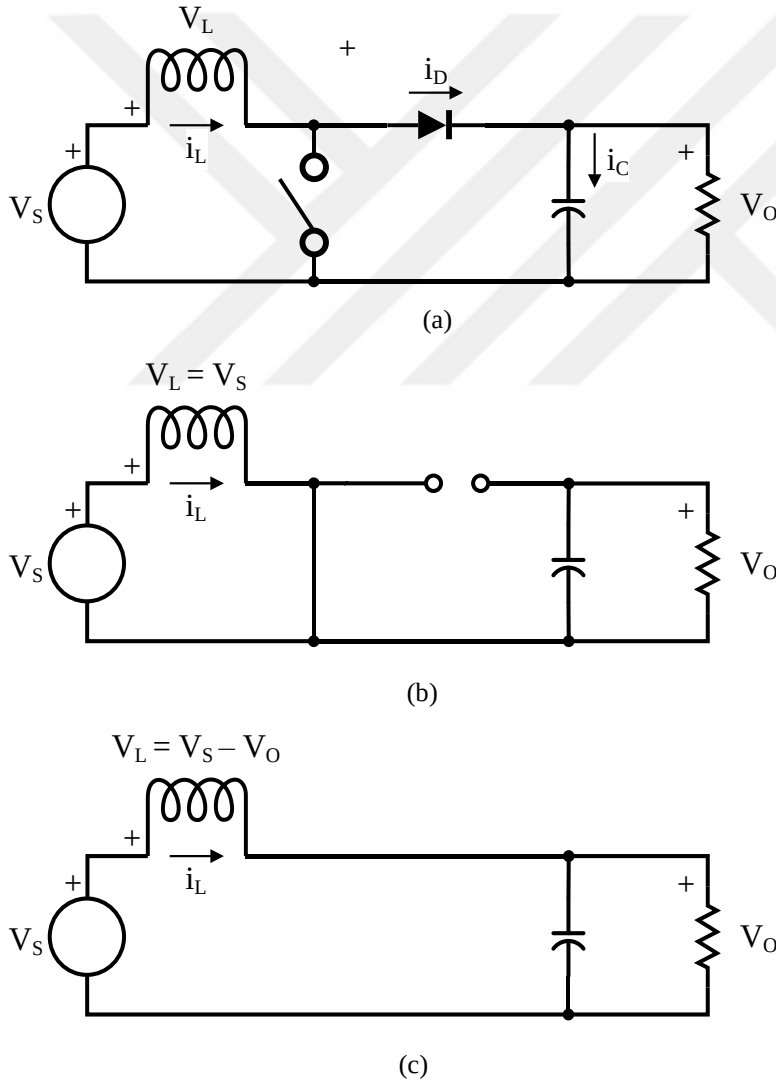
$$(\Delta i_L)_{iletim} + (\Delta i_L)_{kesim} = 0 \quad (4.10)$$

$$\left(\frac{V_S - V_O}{L} \right) DT - \left(\frac{V_O}{L} \right) (1-D)T = 0 \quad (4.11)$$

$$V_O = V_S D \quad (4.12)$$

4.2. Yükselten Dönüştürücüler

DA-DA yükselten dönüştürücü, gerilim seviyesini yükseltebilen, en çok kullanılan temel dönüştürücü topolojilerinden biridir. Yükselten dönüştürücü, ideal bir anahtar, enerji depolama bobini, diyot ve filtreleme kondansatörü içerir. Bu bileşenler gerilim seviyesini artırmak ve dalgalanmaları azaltmak için kullanılır (Çelik, 2015). Bu çeviriciler en çok çıkış gerilimi ayarlı güç kaynakları olarak ve FV sistemlerde panel gerilimini yükseltmek için kullanılırlar (Erdem, 2009). Şekil 4.3’de yükselten dönüştürücünün temel devresi, anahtar iletimdeyken ve kesimdeyken eşdeğer devreleri verilmiştir.



Şekil 4.3. (a) Yükselten DA-DA dönüştürücü (b) Anahtar iletimdeyken eşdeğer devre (c) Anahtar kesimdeyken eşdeğer devre (Hart, 2010: 212)

Anahtar iletimdeyken D diyotu ters polaritededir ve kaynaktaki gerilim, bobin ile anahtar üzerinden devresini tamamlar. Bu esnada bobin elemanında enerji depolanır ve çıkıştaki yük C kondansatörü tarafından beslenir. Kondansatörün akımı yüksek değerlerdedir (Okumuş, 2016; Özdemir, 2007). Anahtar kapalıyken bobin üzerindeki gerilim Eş. 4.13'deki gibidir. Akım değişim hızı sabittir, bu nedenle anahtar kapalıyken akım doğrusal olarak artar. Bobin akımındaki değişiklik Eş. 4.14'deki gibi hesaplanarak Eş. 4.15 elde edilir (Hart, 2010: 212). Anahtar kesimdeyken diyot iletimdedir ve bu durumda akım bobin, diyot, kondansatör ve yük üzerinden akar. Kondansatör üzerinde bir miktar enerji depolanır ve yarı iletken anahtar yeniden ilettime geçtiğinde yükün enerjisi kondansatör tarafından sağlanır. Anahtar ilettime geçtiğinde kaynaktaki gerilim ve bobindeki gerilimin toplamından oluşan bir gerilim çıkışta görülür. (Okumuş, 2016; Özdemir, 2007). Anahtar kesimdeyken çıkış voltajı V_O 'nun sabit olduğu varsayılarak bobin üzerindeki gerilim Eş. 4.16 ile gösterilir (Hart, 2010: 213).

$$V_L = V_S = L \frac{di_L}{dt} \quad (4.13)$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S}{L} \quad (4.14)$$

$$(\Delta i_L)_{iletim} = \frac{V_S DT}{L} \quad (4.15)$$

$$V_L = V_S - V_O = L \frac{di_L}{dt} \quad (4.16)$$

Bobin akımının değişim hızı sabittir, bu nedenle anahtar açıkken akım doğrusal olarak değişmelidir. Anahtar açıkken bobin akımındaki değişiklik Eş. 4.17 denklemi çözülerek Eş. 4.18 ile elde edilir. Kararlı durum çalışmasında bobin akımındaki net değişim sıfır olması gerektiği için Eş. 4.15 ve Eş. 4.18 kullanılarak Eş. 4.19 elde edilir (Hart, 2010: 213-214).

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_S - V_O}{L} \quad (4.17)$$

$$(\Delta i_L)_{kesim} = \frac{(V_S - V_O)(1-D)T}{L} \quad (4.18)$$

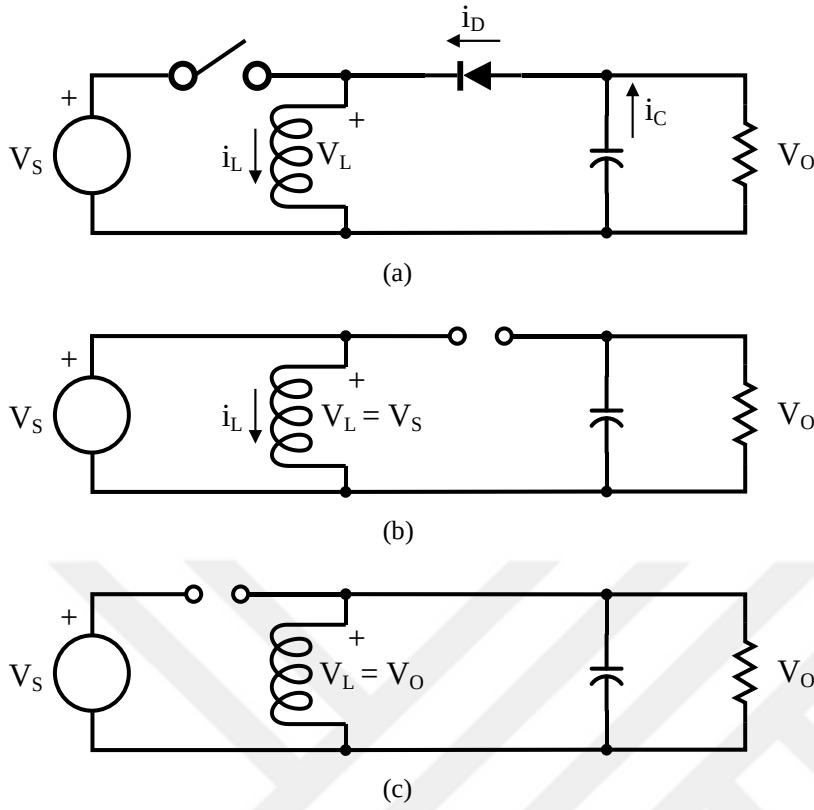
$$(\Delta i_L)_{iletim} + (\Delta i_L)_{kesim} = 0 \quad (4.19)$$

$$\frac{V_S D T}{L} + \frac{(V_S - V_O)(1-D)T}{L} = 0 \quad (4.20)$$

$$V_O = \frac{V_S}{1-D} \quad (4.21)$$

4.3. Alçaltan- Yükselten Dönüştürücüler

Alçaltan ve yükselten dönüştürücülerin işlevsel olarak birleştirilmesiyle meydana gelir. Darbe genişlik oranı periyoda oranlandığında 0,5 değerinden küçük bir değer elde ediliyorsa azaltan dönüştürücü şeklinde; 0,5’den büyük bir değer elde ediliyorsa yükselten dönüştürücü şeklinde çalışır. Alçaltan-yükselten dönüştürücüler kaynaktan kesintili akım çeker. Aynı zamanda çıkış kondansatörünün akımı yüksektir (Özdemir, 2007). Azalan-artıran çeviriciler, azalan ve artıran çevirici prensiplerinin tek bir devrede toplandığı sistemlerdir. Bu çevirici çıkışında, giriş geriliminden yüksek veya düşük seviyede gerilim üretebilmektedir. Çıkışta elde edilen gerilim değeri ters polaritelidir. Devre; bobin, diyot, kondansatör, yük ve anahtarlama elemanından (MOSFET, IGBT vs.) oluşmaktadır (Okumuş, 2016). Alçaltan-yükselten çeviricilerin başlıca uygulaması, giriş uçlarına göre ters kutuplu çıkış gereken ve çıkış gerilimlerinin giriş geriliminden fazla veya az olduğu ayarlı DA güç kaynaklarıdır. Alçaltan – yükselten çeviricilerin ardı ardına bağlanması ile Şekil 4.4’de görüldüğü gibi tek bir alçaltan – yükselten çevirici devresi elde edilir.



Şekil 4.4. (a) Alçaltan-yükselten DA-DA dönüştürücü (b) Anahtar iletimdeyken eşdeğer devre (c) Anahtar kesimdeyken eşdeğer devre (Hart, 2010: 221)

Kontrollü anahtarın ilettime geçirilmesiyle, girişten bobine enerji uygulanır ve bu esnada diyot ters kutupludur. Anahtar kesime geçince kaynak devreden ayrılır, bobinde biriken enerji çıkışa aktarılır. Bu sırada giriş tarafından enerji uygulanmaz. Burada gösterilen sürekli akım durum incelemesinde, çıkış kapasitesinin çok büyük olduğu ve dolayısıyla çıkış geriliminin sabit olduğu varsayılır (Erdem, 2009). Sürekli iletim durumunda, anahtarlama elemanı iletimde ve diyot kesimde iken bobin doğrudan kaynağa bağlı olmakta ve kaynak tarafından enerjilenmektedir. Yük ise kondansatör tarafından beslenmektedir (Okumuş, 2016). Anahtar iletimdeyken bobin üzerindeki gerilim Eş. 4.22'deki gibidir. Bobin akımının değişim hızı, lineer olarak artan bir bobin akımını gösteren bir sabittir ve Eş. 4.23 çözülerek Eş. 4.24'deki gibi elde edilir (Hart, 2010: 222). Anahtarlama elemanı kesimde ve diyot iletimde iken ise bobin, kondansatör ve yüke bağlıdır. Bobin üzerinde depolanan enerji kondansatör ve yük üzerinde harcanmaktadır (Okumuş, 2016).

$$V_L = V_S = L \frac{di_L}{dt} \quad (4.22)$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{DT} = \frac{V_S}{L} \quad (4.23)$$

$$(\Delta i_L)_{iletim} = \frac{V_S DT}{L} \quad (4.24)$$

Anahtarlama elemanı kesimdeyken bobin üzerindeki gerilim Eş. 4.25’de verilmiştir. Bobin akımındaki değişim oranı sabittir ve akımdaki değişim Eş. 4.26 çözülerek Eş. 4.27 ile ifade edilir. Kararlı durum çalışmasında bobin akımındaki net değişim bir periyot boyunca sıfır olmalıdır. Eş. 4.24 ve Eş. 4.27 kullanılarak Eş. 4.28’deki ifade elde edilir (Hart, 2010: 223).

$$V_L = V_O = L \frac{di_L}{dt} \quad (4.25)$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} = \frac{V_O}{L} \quad (4.26)$$

$$(\Delta i_L)_{kesim} = \frac{V_O(1-D)T}{L} \quad (4.27)$$

$$(\Delta i_L)_{iletim} + (\Delta i_L)_{kesim} = 0 \quad (4.28)$$

$$\frac{V_S DT}{L} + \frac{V_O(1-D)T}{L} = 0 \quad (4.29)$$

$$V_O = -V_S \left(\frac{D}{1-D} \right) \quad (4.30)$$

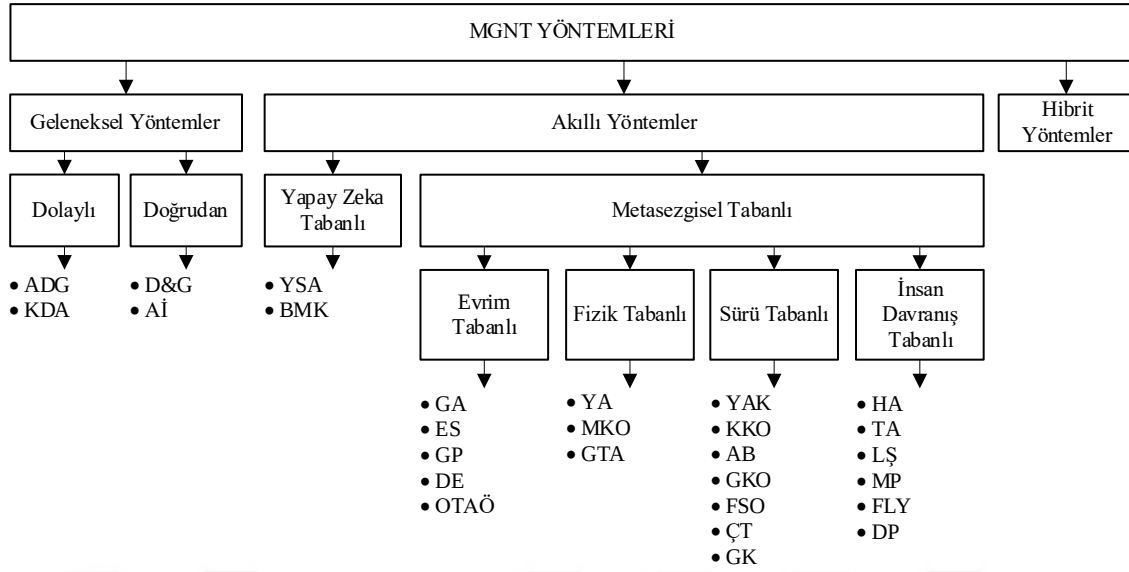


5. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP YÖNTEMLERİ

Güneş panellerinde belli bir akım ve gerilim noktasında maksimum güç elde edilebilmektedir. Maksimum gücün elde edildiği bu noktaya maksimum güç noktası denmektedir. Ancak ışıınım ve sıcaklık gibi çevresel faktörlerde değışiklik meydana geldiğinde bu nokta da değışmektedir (Nakir, 2007; Özdemir, 2007). Aynı zamanda güneş panelleri güneş ışıınının küçük bir kısmını elektrik enerjisine çevirdiği için verimleri düşüktür (Sheraz, 2013).

Panelden maksimum verimin elde edilmesi, gücün maksimum seviyede ve sürekli olarak iletilebilmesi için FV sistemin bu noktada çalıştırılması gerekmektedir (Nakir, 2007; Özdemir, 2007). Bu amaçla pek çok MGNT metodu geliştirilmiştir. Bu metotların değışken ortam koşullarında tepki sürelerinin kısa olması, maksimum güç noktasına yakın çalışmaları ve verimlerinin yüksek olması gerekmektedir (Ünlü, 2015). FV sistemlerin önemli bir ögesi olan MGNT yöntemleri güvenilirlik, hız, maliyet, verim, karmaşıklık ve uygulanabilirlik açısından değışiklik gösterir (Sheraz, 2013).

MGNT kullanılan ve kullanılmayan sistemler kıyaslandığında MGNT kullanılan sistemlerin %45 daha verimli olduğu görülmüştür (Atıcı, 2019). FV sistemlerin etkili bir şekilde çalışmasını sağlamak için FV dizilerin çıkışına DA-DA güç elektroniği dönüştürücüleri eklenmektedir. Bu dönüştürücülerin denetimi ise MGNT yöntemleri ile sağlanmaktadır (Özdemir, 2007). Literatürde çok sayıda MGNT algoritması ve tasarımı önerilmiştir. Her bir yaklaşımın kendine özgü özellikleri, sınırlamaları ve uygulamaları vardır. Bu tez çalışmasında Şekil 5.1’de gösterildiği gibi geleneksel yöntemler, zeki yöntemler ve hibrit yöntemler olmak üzere genel olarak üç ana kısımda sınıflandırılan MGNT yöntemleri ele alınmıştır.



Şekil 5.1. MGNT yöntemlerinin sınıflandırılması

5.1. Geleneksel Yöntemler

Geleneksel yöntemler dolaylı ve doğrudan yöntemler olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Dolaylı yöntemlerde FV çıkış gücünü büyük ölçüde etkileyen ısınım, sıcaklık, akım ve gerilim gibi parametrelerin değerleri sürekli olarak hesaplanmamaktadır. Bu yöntemler deneysel veriler sonucu oluşturulan tabloları, kısa devre akımı, açık devre gerilimi, ısınım, sıcaklık gibi değerleri doğrudan veya matematiksel yaklaşımlar vasıtasıyla kullanarak maksimum güç noktasını yaklaşık olarak tahmin etmektedir (Keskin, 2019; Özdemir, 2007). Ayrıca maksimum güç noktası elde edilirken çevresel koşullar göz önüne alınmaz. Sadece panel değerleri ile teorik hesaplamalar yapıldığından gerçek ve sürekli MGNT yapamazlar. Genelde bu yöntemler doğrudan MGNT teknikleri ile birlikte kullanılarak bu yöntemlerin iyileştirilmesinde kullanılırlar (Çalışkan, 2011). Bu yöntemlerin avantajı daha az matematiksel hesaplama gerektirmeleri bu yüzden de daha az karmaşıklığa sahip olmalarıdır. Dezavantajları ise maksimum güç noktasını tespit etmekte zorlanmalarıdır (Keskin, 2019). Dolaylı denetim yöntemleri, ADG ve KDA tekniğidir.

Doğrudan yöntemler FV gerilim ve/veya akım değerlerini kullanarak maksimum güç noktasını takip eder (Özdemir, 2007). Bu yöntemlerde panel çıkış gücü sürekli denetlenerek o anki güç değeri bir önceki güç değeri ile kıyaslanır.

Doğrudan denetim yöntemleri D&G yöntemi ve Aİ yöntemleridir. Yinelemelerle maksimum güç noktasına ulaşmaya çalışan doğrudan denetim teknikleri panel tipinden etkilenmez ama dış etkenlere bağlıdır.

Doğrudan denetim yöntemlerinde o anki çalışma koşullarında FV panelden maksimum gücü elde etmek için gerilim ve akım sürekli okunur, panel çıkış gücü hesaplanır ve o anki güç değeri sürekli olarak kontrol edilerek bir önceki güç değeri ile kıyaslanır (Keskin, 2019). Doğrudan denetim yöntemleri, D&G yöntemi ve Aİ yöntemleridir.

Geleneksel yöntemlerin FV panel bağımlılığı, gerçek maksimum güç noktası tespiti, analog veya sayısal olması, periyodik ayar gerekliliği, çalışma hızı, karmaşıklık ve algoritmaların çalışması için gerekli olan bilgiler bakımından karşılaştırıldığı tablo Çizelge 5.1’de ifade edilmiştir.

Çizelge 5.1. Geleneksel yöntemlerin karşılaştırma tablosu (Baba ve diğerleri, 2020)

MGNT Tekniği	FV Panel Bağımlılığı	Gerçek Maksimum Güç Noktası Tespiti	Analog & Sayısal	Periyodik Ayar Gerekliliği	İşlem Hızı	Karmaşıklık	Gerekli Bilgi
D&G	Hayır	Evet	S&A	Yok	Değişken	Düşük	Akım, Gerilim
Aİ	Hayır	Evet	S	Yok	Değişken	Orta	Akım, Gerilim
ADG Yöntemi	Evet	Hayır	S&A	Var	Orta	Düşük	Gerilim
KDA Yöntemi	Evet	Hayır	S&A	Var	Orta	Orta	Akım

5.1.1. Açık devre gerilim (ADG) yöntemi

Bu metot panelin açık devre gerilimini referans alır. FV sistemin maksimum güç noktasındaki gerilimi, açık devre geriliminin doğrusal bir fonksiyonudur ve Eş. 5.1’deki denklemde ifade edildiği gibidir (Özdemir, 2007).

$$V_{mp} = k \cdot V_{oc} \quad (5.1)$$

Eş. 5.1’de V_{mp} değeri maksimum güçteki gerilimi; V_{oc} açık devre gerilimini ifade etmektedir. k sabiti ise panelin yapısındaki malzemeye ve atmosfer koşullarına bağlı olan bir değerdir. Bu değer 0,73 ve 0,8 değerleri arasında değişkenlik göstermektedir (Keskin, 2019; Özdemir, 2007).

Bu yöntem uygulanırken ilk önce panel akım yoluna seri bir statik anahtar koyularak paneller tamamen yüksüz hale getirilir. Yüksüz durumdaki panelin çıkış gerilimi açık devre gerilimine eşit olur. Bu değer ölçülerek %76’sı bir dönüştürücüye referans olarak gönderilir. Dönüştürücünün görev döngüsü, panel gerilimi maksimum güç noktası gerilimine eşit olana dek artırılır. Bu gerilim ve panelden çekilen akım değeri çarpıldığında maksimum güç elde edilmiş olur (Çalışkan, 2011). ADG yöntemini anlatan akış şeması Şekil 5.2’de verilmiştir.

ADG metodu karmaşık olmaması, tasarım kolaylığı ve ucuz olması nedeniyle kullanışlı bir yöntemdir. Ancak bu metot gerçekleştirilirken referans işareti oluşturabilmek amacıyla FV modülün devreden çıkarılmak zorunda olması yükler için problem oluşturmaktadır. Aynı zamanda bu sırada güneş ışınımından faydalanılamaması MGNT’nin devam ettirilememesine, maksimum güç noktasının tam olarak yakalanamamasına ve sistemde enerji kayıplarına neden olmaktadır (Akdeniz, 2019; Özdemir, 2007).



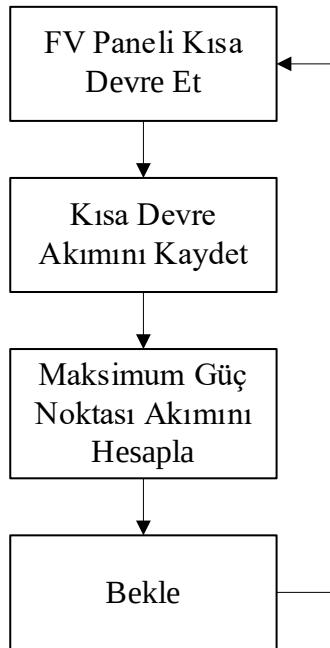
Şekil 5.2. ADG yöntemi akış şeması (Durusu, 2011)

5.1.2. Kısa devre akım (KDA) yöntemi

Bu metot ADG metoduna çok benzerdir. FV modülün maksimum güç noktasındaki akım ile kısa devre akımı birbiriyle doğru orantılıdır. Kısa devre akımıyla maksimum güç noktasındaki akım arasındaki eşitlik aşağıdaki gibidir (Özdemir, 2007). Eş. 5.2’de I_{mp} değeri maksimum güç noktasındaki akımı, I_{sc} kısa devre akım değerini ifade etmektedir.

$$I_{mp} = k \cdot I_{sc} \quad (5.2)$$

Statik bir anahtar vasıtasıyla panel kısa devre edilir ve kısa devre akımı ölçülür. Bu değer k sabitiyle çarpılır ve maksimum güç noktasındaki akım hesaplanır. Bu sabit kullanılan panelin türüne ve atmosfer koşullarına göre değişkenlik göstermektedir (Keskin, 2019). KDA yöntemini anlatan akış şeması Şekil 5.3’de verilmiştir. Bu teknik de ADG tekniği gibi basit, ucuz, kolay kontrol edilebilen ve karmaşık olmayan bir yapıya sahiptir (Çalışkan, 2011). Ancak bu yöntemin uygulanabilmesi için kısa devre akımının ölçülmesi zorunluluğu, o esnada meydana gelecek enerji kaybı, panel yüzeyinde oluşabilecek kirlilikten dolayı k sabiti sapmaları bu yöntemin dezavantajlarındandır (Keskin, 2019; Özdemir, 2007).



Şekil 5.3. Kısa devre akım yöntemi akış şeması (Durusu, 2011)

5.1.3. Değiştir ve gözle (D&G) yöntemi

D&G algoritması sadece birkaç parametre içermesi ve basit bir geri besleme yapısına sahip olması, düşük maliyeti, uygulama kolaylığı ve iyi bir performansa sahip olmasından dolayı maksimum güç noktasını takip etmek için yaygın olarak kullanılan bir MGNT yöntemidir. Bu yöntem atmosferik koşullar sabitken maksimum güç noktasına yakın salınım yapar, ancak ışıınım ve sıcaklık hızla değiştiğinde maksimum güç noktasını hızlı bir şekilde izleyemez (Dhivya ve Kumar, 2017; Kollimala ve Mishra, 2013). Bu yöntem ile ilk önce FV panelden gerilim ve akım değerleri alınır ve bu değerler çarpılarak panelin gücü elde edilir. Bir sonraki aşamada hesaplanan bu güç değeri ile panelin bir önceki güç değeri karşılaştırılır.

Karşılaştırma sonucunda yeni güç değeri bir önceki güç değerinden farklıysa bu sefer de gerilim farkı kontrol edilir. Güç farkı pozitifse algoritma gerilimi aynı yöne yönlendirecektir. Yani güç farkı pozitifken gerilim farkı da pozitifse algoritma gerilimi artırma yönünde ilerleyecektir. Güç farkı negatifse algoritma gerilimi ters yöne yönlendirecektir. Yani güç farkı negatifken gerilim farkı da negatifse algoritma gerilimi artırma yönünde ilerleyecektir. Algoritmanın değerlendirip cevap vermesi gereken durumlar Çizelge 5.2’de ifade edilmiştir (Khallaf, 2019):

Çizelge 5.2. D&G yönteminde çalışma adımları

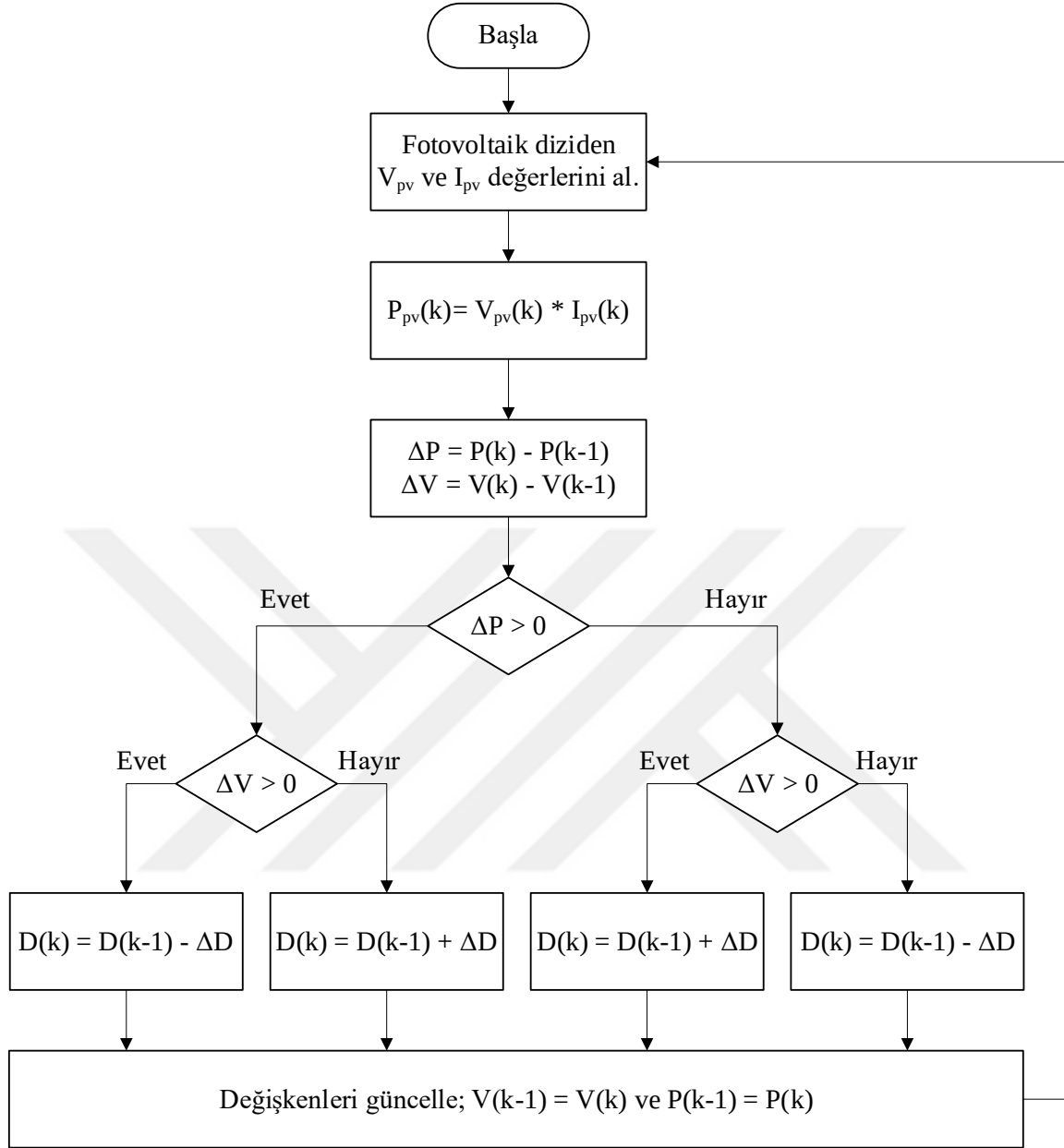
Güç Değişimi	Gerilim Değişimi	Sonraki Gerilim Değişim Yönü
$\Delta P > 0$	$\Delta V > 0$	Artır
$\Delta P > 0$	$\Delta V < 0$	Azalt
$\Delta P < 0$	$\Delta V > 0$	Azalt
$\Delta P < 0$	$\Delta V < 0$	Artır

Güç farkı ve gerilim farkının pozitiflik veya negatiflik durumuna göre algoritma gerilimi artırır veya azaltır. Bununla birlikte görev döngüsünü de değiştirir ve bu işlem maksimum güç noktasına ulaşılan kadar devam eder (Nigam ve Gupta, 2016; Riby, Sheik ve Richu, 2017). Görev döngüsündeki herhangi bir değişim DA-DA dönüştürücünün giriş direnci üzerinde ters bir etki oluşturur. Böylece yukarıda belirtilen dört durumu karşılamak için çalışma gerilimi değiştirilir.

Çizelge 5.3’de gösterildiği gibi görev döngüsü, giriş direnci, çıkış gücü ve bir sonraki döngüdeki gerilim arasındaki ilişki gösterilmektedir (Khallaf, 2019). D&G algoritmasının çalışmasını anlatan akış diyagramı ise Şekil 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.3. Görev döngüsünün giriş direnci, çıkış gücü ve bir sonraki gerilim değişim yönü üzerindeki etkisi

Görev Döngüsündeki Değişim	Giriş Direncindeki Değişim	Çıkış Gücündeki Etki	Sonraki Gerilim Değişim Yönü
Artır	Azalt	Artır	Azalt
Artır	Azalt	Azalt	Artır
Azalt	Artır	Artır	Artır
Azalt	Artır	Azalt	Azalt



Şekil 5.4. D&G yöntemi akış şeması

5.1.4. Artırımsal iletkenlik (Aİ) yöntemi

Bu yöntem ile maksimum güç takibi yapılırken FV panelden anlık olarak akım ve gerilim değerleri alınır. Alınan bu değerler bir önceki akım ve gerilim değerleri ile kıyaslanarak akım ve gerilimdeki değişim hesaplanır. Akım ve gerilim değerlerindeki artışa göre FV yapının iletkenliği gözlenir (Keskin, 2019). Bu yöntem maksimum gücün gerilime göre türevinin sıfır olduğu noktanın maksimum güç noktası olmasına dayanır (Ünlü, 2015).

Eğer FV güç değerinin gerilime göre türevi alınır ve elde edilen sonuç sıfıra eşitlenirse elde edilen denklem iletkenlik denklemidir (Keskin, 2019). Şekilde verilen eğri AI algoritmasının temelini oluşturmaktadır (Ünlü, 2015). AI yönteminin matematiksel yapısı aşağıdaki denklemlerde verildiği gibidir (Esrarn ve Chapman, 2007).

$$\frac{dP}{dV} = 0 \rightarrow \text{Çalışma noktası maksimum güç noktasında} \quad (5.3)$$

$$\frac{dP}{dV} > 0 \rightarrow \text{Çalışma noktası maksimum güç noktasının solunda} \quad (5.4)$$

$$\frac{dP}{dV} < 0 \rightarrow \text{Çalışma noktası maksimum noktanın sağında} \quad (5.5)$$

Yukarıdaki denklemlerden yola çıkılarak Eş. 5.6 elde edilebilir ve bu denklem kullanılarak aşağıdaki gibi çıkarımlar yeniden yapılabilir. Maksimum güç noktasının solunda kalınıyorsa referans gerilim, akım veya görev oranı artırılacak yönde, sağında kalınıyorsa gerilim akım veya görev oranı azaltılacak yönde hareket edilir. Maksimum güç noktasında bulunuluyorsa gerilim akım veya görev oranı sabit tutulur (Esrarn ve Chapman, 2007; Keskin, 2019).

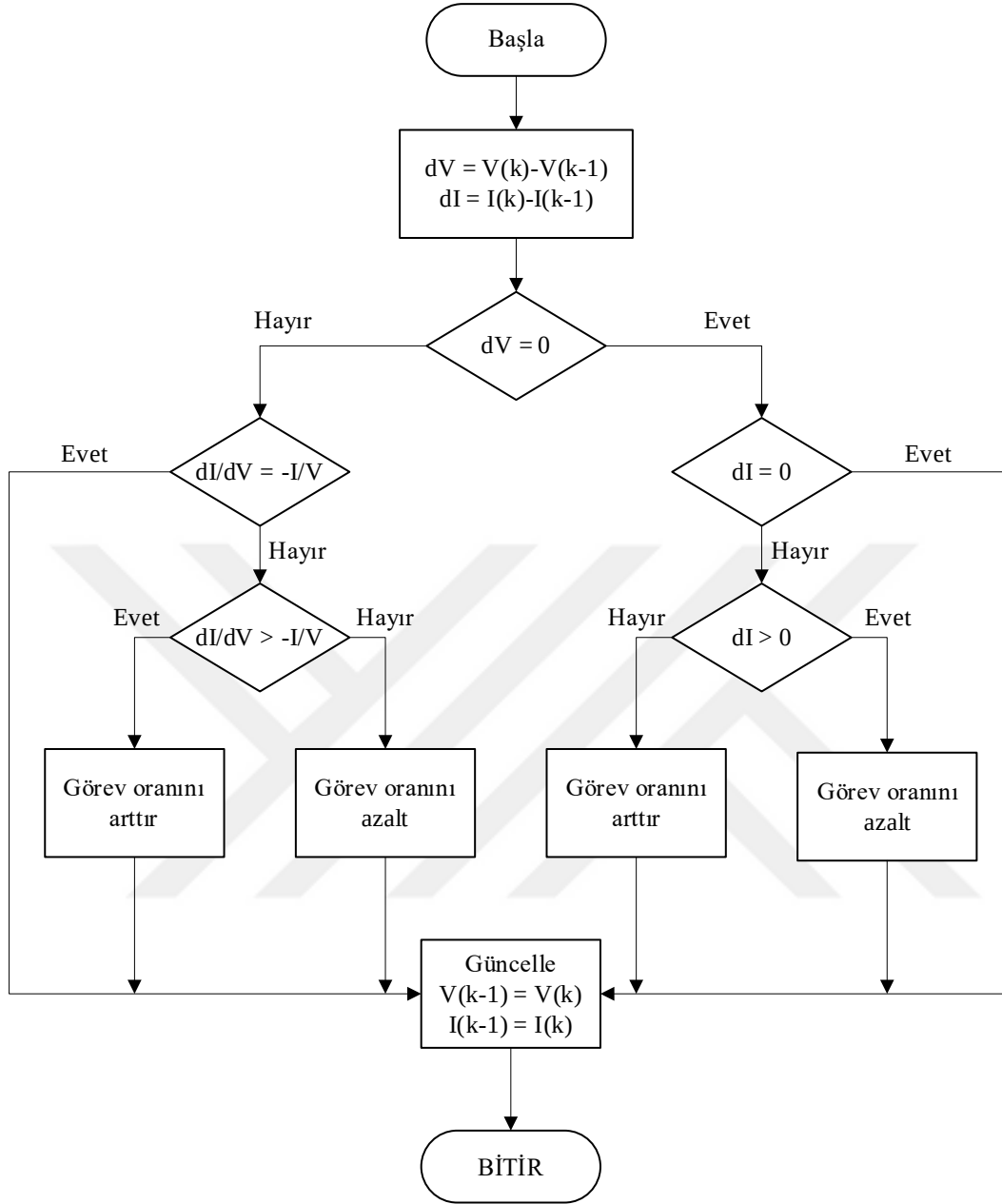
$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(IV)}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \cong I + V \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (5.6)$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V} \rightarrow \text{Çalışma noktası maksimum güç noktasında} \quad (5.7)$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V} \rightarrow \text{Çalışma noktası maksimum güç noktasının solunda} \quad (5.8)$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V} \rightarrow \text{Çalışma noktası maksimum güç noktasının sağında} \quad (5.9)$$

AI yönteminin anlatıldığı akış şeması Şekil 5.5’de verilmiştir. Bu yöntem D&G metoduna göre maksimum güç noktasını yakalama hususunda daha başarılıdır. Ancak kısmi gölgeleme koşullarında gerçek maksimum güç noktası değerini elde edemeyebilir. Hesaplama işlemleri uzun zaman aldığı için ortam değişimlerine karşı verdikleri tepki süre D&G algoritmasına göre daha uzundur. Bu yöntemin verimi D&G yöntemiyle hemen hemen aynı olmakla birlikte ADG ve KDA yöntemlerinden daha yüksektir (Ünlü, 2015).



Şekil 5.5. AI yöntemi akış şeması (Eid, 2015)

5.2. Zeki Yöntemler

Geleneksel MGNT yöntemleri, ışınlam değişiklik gösterdiği zaman ve gölgeleme koşulları meydana geldiğinde takip hızı yavaşlığı ve düşük verimlilik gibi çeşitli eksikliklere sahip olur. Gölgeleme koşulları altında arama sırasında, global maksimum güç noktası, yerel maksimum güç noktasından sonra ortaya çıkarsa, geleneksel MGNT teknikleri ilk yerel maksimum güç noktasına ulaşır ve daha sonra sadece bu noktaya yerleşir veya bu noktada salınır.

Bu nedenle, bu sorunları çözmek için zeki yöntemler önerilmiştir. Zeki yöntemleri kullanmak alternatif bir çözümdür. Bu yöntemler doğrusal olmayan amaç fonksiyonlarını idare etme yeteneğine sahiptirler. Farklı uygulamalarda, bu yöntemler düzgün güneş ışınlam koşulları ve kısmi gölgeleme altında iyi performans göstermiştir. FV sistemlerin maksimum güç noktasını izlemek için optimizasyon prensipleri altında çalışan çok sayıda zeki teknik önerilmiştir. Zeki yöntemler yapay zekâ tabanlı ve metasezgisel yöntemler olmak üzere iki alt kategoriye ayrılabilir.

Yapay zekâ tabanlı yöntemler; FV modülün lineer olmayan özellikleri göz önüne alındığında, yapay zekâ yöntemleri bu tür problemlerle başa çıkmanın en etkili yöntemleri olarak kabul edilmektedir. Bu yöntemler, basit matematiksel yaklaşımlara kıyasla gerçek hayattaki doğrusal olmayan problemleri çözmek için kullanışlıdır. Yapay zekâ yöntemleri, sistemin tam matematiksel model gereksinimini ortadan kaldırır, sadece uygun bir tasarım oluşturmak için sistemin eski bilgisine ihtiyaç duyar. Bu yöntemler MGNT problemi için hızlı, esnek ve hesaplama gerektiren bir çözüm sağlayabilir ve MGNT algoritmaları global maksimum güç noktasını optimize etmek için kullanılır. MGNT için kullanılan YSA yöntemi ve BMD yöntemi olmak üzere iki ana yapay zekâ yöntemi vardır.

YSA, geleneksel denklemlerin çözülmesinin çok zor olduğu karmaşık süreçlerde, modellemeye sistematik bir teknik sağlayabilirler. Dolayısıyla YSA yöntemi MGNT uygulamasında hızlı bir kullanıma sahip olmuştur.

BMD, sistemin bazı parametrelerinin değişikliği durumunda veya doğrusal olmayan, uyarlanabilir yapısı nedeniyle bozulmalar meydana gelse bile iyi bir performansa sahiptir. Son zamanlarda BMD, MGNT uygulamalarında uygun bir yapay zekâ yöntemi olarak daha fazla çekiciliğe sahip olmuştur. Geleneksel yöntemler ile karşılaştırıldığında daha iyi performans sağlayabilir ve karmaşık sinirsel veya tahmin algoritmalarına kıyasla daha kolay gereksinimler içerir. BMD yönteminin bu avantajları tüm sisteme, yüklere maksimum güç sağlayan mevcut MGNT kontrolörüyle birleştirilerek entegre edilir (Baba ve diğerleri, 2020).

Metasezgisel yöntemler; basit kavramlara dayanması, uygulamasının kolay olması, gradyan bilgisi gerektirmemesi, yerel optimum noktaları atlayabilmesi, farklı disiplinlerde kullanılabilmesi nedeniyle oldukça popülerdir (Mirjalili ve Lewis, 2016).

Metasezgisel yöntemler basitliği nedeniyle farklı doğal kavramların simüle edilmesine, yeni metasezgisel yöntemler önerilmesine, iki veya daha fazla metasezgisel yöntemin hibrit hale getirilmesine ve mevcut metasezgisel yöntemlerin geliştirilmesine olanak sağlar. Ayrıca metasezgisel yöntemler esneklikleri nedeniyle algoritmanın yapısında herhangi bir değişikliğe neden olmadan farklı problemlere uygulanabilme olanağı sağlar (Mirjalili, Mirjalili, S. M. ve Lewis, 2014).

Metasezgisel yöntemlerin çoğunda türevsiz mekanizmalar vardır. Metasezgisel yöntemler gradyan tabanlı yaklaşımların aksine problemleri olasılıksal biçimde optimize eder. Bu süreç rastgele çözümlerle başlar ve optimum çözümü elde etmek amacıyla arama bölgelerinin türevini almaya ihtiyaç yoktur (Mirjalili ve diğerleri, 2014).

Metasezgisel yöntemler yerel optimumlardan kaçınmak için geleneksel optimizasyon tekniklerine kıyasla üstün yeteneklere sahiptir. Yerel çözümlerde durgunluktan kaçabilmeleri ve bütün arama bölgesini kapsamlı biçimde arayabilmeleri olasılıksal doğaları gereğidir. Genellikle gerçek problemlerin arama bölgesi bilinmemektedir ve pek çok yerel optimum içerdiği için oldukça karmaşıktır. Bu sebeple metasezgisel yöntemler bu zorlu gerçek sorunları optimize etmek için iyi bir seçenektir (Mirjalili ve diğerleri, 2014).

Metasezgisel algoritmalar biyolojik veya fiziksel olayları taklit ederek optimizasyon problemlerini çözer. Bu algoritmalar aşağıdaki gibi dört kategoride gruplandırılabilir (Mirjalili and Lewis, 2016):

- Evrim tabanlı algoritmalar
- Fizik tabanlı algoritmalar
- Sürü tabanlı algoritmalar
- İnsan davranışı tabanlı algoritmalar

Evrimsel tabanlı algoritmalar doğadaki evrim kanunlarından ilham almaktadır. Arama süreci, sonraki nesiller boyunca gelişen rastgele oluşturulmuş bir nüfusla başlar. Bu algoritmaların gücü, yeni nesil bireyleri oluşturmak için en iyi bireylerin bir araya getirilmesidir. Bu, nüfusun nesiller boyunca optimize edilmesini sağlar. En popüler evrimden esinlenen yöntem Darwinci evrimi simüle eden GA'lardır.

Bu tez çalışmasında GA ilerleyen bölümlerde daha detaylı incelenecektir. Diğer evrim tabanlı popüler evrimsel algoritmalar Evrim Stratejisi (ES), Genetik Programlama (GP), Olasılık Tabanlı Artan Öğrenme (OTAÖ) ve Diferansiyel Evrim (DE) algoritmalarıdır (Mirjalili ve diğerleri, 2014).

Fizik tabanlı algoritmalar evrendeki fiziksel kuralları taklit eder. Bu algoritmaların mekanizması evrimsel algoritmalarından farklıdır. Çünkü rastgele arama ajanları kümesi fiziksel kurallara göre arama alanı boyunca iletişim kurar ve hareket eder. Bu hareket yerçekimi kuvveti, ışın, elektromanyetik kuvvet, atalet kuvveti veya ağırlıklar sayesinde olabilir. En popüler fizik tabanlı algoritmalarından bazıları YA, Merkezi Kuvvet Optimizasyonu (MKO), Yapay Kimyasal Reaksiyon Optimizasyon (YKRO), Galaksi Tabanlı Arama (GTA) algoritmalarıdır (Mirjalili ve Lewis, 2016). Bu algoritmalarından YA algoritması MGNT için ilerleyen bölümlerde detaylı olarak incelenecektir.

Sürü tabanlı algoritmalar çoğunlukla sürülerin sosyal davranışlarını taklit eder. Mekanizmaları neredeyse fizik tabanlı algoritmalarla benzer ancak arama ajanları, canlıların simüle edilmiş kolektif ve sosyal zekasını kullanarak gezinir. Sürü zekâsı kavramları ilk olarak 1993 yılında önerilmiştir. Sürü tabanlı algoritmalar doğası ne olursa olsun ortak bir özelliğe sahiptir. Arama süreci iki aşamaya ayrılmıştır: Araştırma ve sömürme. Algoritma araştırma aşamasında arama alanını küresel olarak keşfetmek için operatörler içermelidir. Bu aşamada hareketler mümkün olduğunca rastgele seçilmelidir. Sömürü aşaması, araştırma aşamasını takip eder. Bu aşama arama alanının ümit verici kısımlarını ayrıntılı olarak inceleme süreci olarak tanımlanabilir. Bu nedenle sömürü, araştırma aşamasında bulunan tasarım alanının umut veren bölgelerinde yerel arama kabiliyetiyle ilgilidir. Araştırma ve sömürü arasında uygun bir denge bulmak, optimizasyon sürecinin olasılıksal doğası nedeniyle son derece önemlidir.

Sürü tabanlı algoritmaların avantajları şunlardır:

- Sürü tabanlı algoritmalar iterasyon sırasında arama alanı hakkındaki bilgileri korurken evrimsel algoritmalar önceki nesillerin bilgilerini atar.
- Sürü algoritmalarının ayarlamak için çoğunlukla daha az parametresi vardır.

En popüler sürü tabanlı algoritma PSO algoritmasıdır (Mirjalili ve diğerleri, 2014; Mirjalili and Lewis, 2016). Diğer popüler sürü tabanlı algoritmalar yapay arı kolonisi (YAK), karınca koloni optimizasyon (KKO), ateş böceği (AB), guguk kuşu optimizasyon (GKO), ÇT, gri kurt (GK) algoritmalarıdır. Tez çalışmasında bu algoritmalarından PSO ve GKO algoritmalarının simülasyon çalışması yapılmış, PSO, GKO, AB, ÇT ve GK algoritmaları ilerleyen bölümlerde MGNT için detaylı incelenmiştir. PSO ve GKO algoritmalarının ise simülasyon çalışmaları ile karşılaştırması yapılmıştır.

Literatürde insan davranışlarından esinlenen metasezgisel yöntemler de vardır. En popüler algoritmalarından bazıları NHA, tabu arama (TA), lig şampiyonası (LŞ), mayın patlaması (MP), futbol ligi yarışması (FLY), döviz piyasası (DP) algoritmalarıdır. Bu algoritmalarından NHA algoritması MGNT yöntemi için ilerleyen bölümlerde daha detaylı incelenecektir (Mirjalili and Lewis, 2016).

Zeki yöntemlerden bazıları takip hızı, sensörler, verimlilik, karmaşıklık, periyodik ayar gerekliliği, FV panel bağımlılığı ve maliyet açısından Çizelge 5.4’de birbiriyle kıyaslanmıştır.

Çizelge 5.4. Zeki yöntemlerin karşılaştırma tablosu (Baba ve diğerleri, 2020)

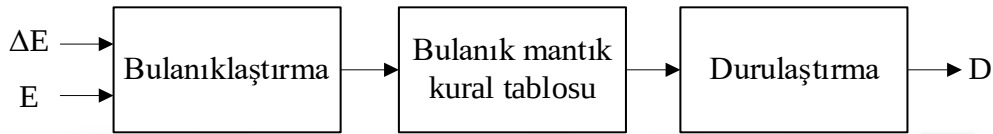
Kriter	YSA	BMD	GA	PSO	GKO	AB	GK
Takip Hızı	Orta	Orta	Hızlı	Hızlı	Çok Hızlı	Çok Hızlı	Çok Hızlı
Sensörler	V, I	V, I	V, I	V, I	V, I	V, I	V, I
Verimlilik	Düşük	Düşük	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Karmaşıklık	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Periyodik Ayar Gerekliliği	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
FV Panel Bağımlılığı	Evet	Evet	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır	Hayır
Maliyet	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek	Yüksek

5.2.1. Bulanık mantık denetleyicileri (BMD) yöntemi

BMD, doğrusal ve doğrusal olmayan sistemlerde kolay ve etkili olması sebebiyle mühendislik faaliyetlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

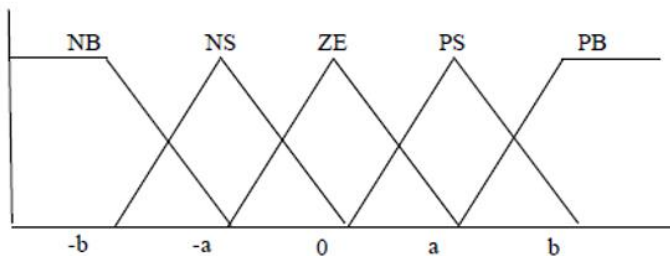
Kolay tasarımı, kesin olmayan verilerle çalışabilmesi, doğrusal olmayan koşullardaki yüksek verimi ve karmaşık bir matematiksel modele ihtiyaç duymaması gibi avantajlarından dolayı BMD, en verimli MGNT tekniklerinden biridir (Bayram, 2019).

BMD yöntemi genellikle Şekil 5.6'da verildiği gibi üç temel aşamada çalışır: Bulanıklaştırma, kural tabanlı arama tablosu ve durulaştırma (Alqarni, 2016; Moamaei, 2012).



Şekil 5.6. Bulanık mantık şeması

Bulanıklaştırma aşamasında sayısal giriş değişkenleri bir üyelik fonksiyonu sayesinde dilsel değişkenlere dönüştürülür (Alqarni, 2016). Giriş değişkenlerini bulanık mantık dilsel değişkenlerine dönüştürürken ilk olarak her giriş değerine karşılık üyelik fonksiyonları belirlenir. Bu işlemden sonra BMD, gerçek zamanlı bir girdiyi belirlenen üyelik fonksiyonuyla beraber işleme sokarak, bulanık mantık dilsel değişkenini oluşturur (Bayram, 2019). Bu dilsel değişkenler, kullanıcı tarafından beş farklı seviyede anlamlandırılan değerlerdir. Bu değerler Şekil 5.7'de verilmiştir. Bu değerler; negatif büyük (NB), negatif küçük (NS), sıfır (ZE), pozitif küçük (PS) ve pozitif büyük (PB) değerleridir (Alqarni, 2016; Çekindir, 2012). Buradaki a ve b değerleri sayısal değişkenlerin büyüklüğüne bağlıdır (Çekindir, 2012).



Şekil 5.7. Bulanık mantık anlamsal değerlerinin gösterimi

BMD yönteminde üyelik fonksiyonlarının değer aralığı 0 ile 1 aralığındadır. Bu değer aralığındaki değişimin her bir öge için değeri üyelik derecesi, üyelik derecelerinin değişimleri ise üyelik fonksiyonları şeklinde ifade edilmektedir (Bayram, 2019).

Bu yöntem ile MGNT yapılırken çoğunlukla iki tane giriş ve bir tane çıkış değeri kullanılmaktadır (Bayram, 2019). Bu yöntemin girişleri, hata (E) ve hata değişimi (ΔE)'dir. Çıktı, dönüştürücünün kontrol sinyalinde yapılan bir değişikliktir. Maksimum çalışma noktasında gücün çalışma gerilimine göre değişimi sıfır olacağından, hata (E) ve hata değişimi (ΔE) Eş. 5.10 ve Eş. 5.11 ile ifade edilir (Alqarni, 2016; Moamaei, 2012).

$$E(k) = \frac{P(k) - P(k-1)}{V(k) - V(k-1)} \quad (5.10)$$

$$\Delta E(k) = E(k) - E(k-1) \quad (5.11)$$

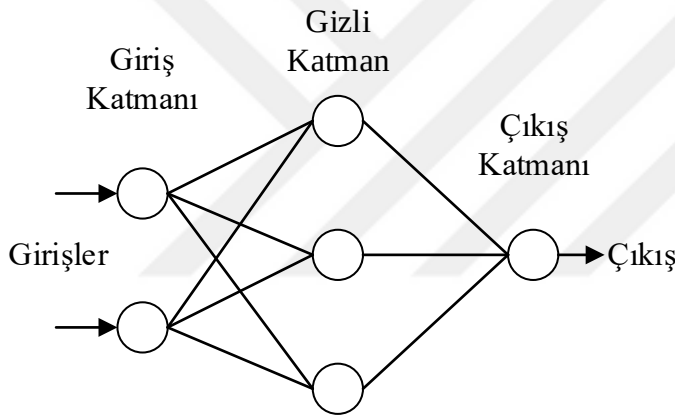
Burada ΔE ve E hesaplamadan sonra bulanıklaştırma aşamasında dilbilimsel değişkenlere dönüştürülür. İkinci aşamada, gereken işlem bir kural tabanlı tabloya göre yapılır (Alqarni, 2016; Moamaei, 2012).

Bu kurallar hangi kontrol durumunun gerçekleşeceğini belirlemektedir. (Bayram, 2019). Dilsel değişkenler seçilen DA-DA dönüştürücüye dayalı kural taban tablolarına atanır, böylece farklı dönüştürücüler farklı kural tabanlarına sahip olur (Eshtaiwi, 2019). Durulaştırma aşamasında ise dilsel değişkenlere çevrilerek belli kurallardan geçirilen değişkenler, yeniden sayısal değişkenlere dönüştürülerek sistem çıkışı olarak kullanılmaktadır (Bayram, 2019). Çıkış değişkeni ise DA-DA dönüştürücünün görev döngüsü değişikliğidir (ΔD) (Alqarni, 2016; Moamaei, 2012).

BMD'nin dezavantajı, başarısının, üyelik işlevini ve kural tabanı tablosunu ayarlayan uzmanın bilgi miktarına dayanmasıdır (Alqarni, 2016).

5.2.2. Yapay sinir ağı (YSA) yöntemi

YSA, mikrodnetleyicilere büyük avantaj sağlamak için kullanan başka bir yapay zekâ MGNT tekniğidir (Alqarni, 2016). YSA genellikle üç katmandan oluşur; giriş, çıkış ve bu katmanlar arasında işlemin gerçekleştiği gizli katmanlar. Kullanıcı her aşamadaki düğüm sayısını seçme esnekliğine sahiptir. Giriş değişkenleri V_{oc} ve I_{sc} gibi FV dizi parametreleri, ıslınım ve sıcaklık gibi atmosferik veriler veya bunların herhangi bir kombinasyonu olabilir. Bu girişler gizli aşamada işlendikten sonra, çıkış büyük olasılıkla güç dönüştürücüsünü kontrol etmek ve çalışma gerilimini maksimum güç noktasına mümkün olduğunca yakın olacak şekilde değiştirmek için bir görev döngüsü sinyalidir (Alqarni, 2016; Esmam ve Chapman, 2007; Eshtaiwi, 2019). Şekil 5.8’de YSA örneği verilmiştir.



Şekil 5.8. YSA örneği

YSA yönteminin yüksek kalitede performans göstermesi için iyi eğitilmiş olması ve maksimum güç noktasında çalışması gerekmektedir. Bu eğitim, tüm FV verilerin aylar hatta yıllar boyunca sinir ağı veri tabanına sürekli olarak kaydedildiği uzun vadede gerçekleşir. Girişler ve çıkışlar arasındaki ilişkiler elde edilir ve kaydedilir. Bu eğitimin sonucu, noktalar arasındaki her bağlantının tam olarak ağırlıklandırıldığı gizli katmandaki algoritmadır. Her FV dizisinin kendine özgü özellikleri vardır, bu nedenle sinir ağı denetleyicisi her dizi için ayrı ayrı eğitilmelidir. Dahası, FV dizisinin hava koşulları ve yaşı, dizinin karakteristiğini etkileyen değişken faktörlerdir; bu nedenle, yüksek kaliteli izlemeyi sürdürmek için sinir ağları düzenli olarak eğitilmelidir (Alqarni, 2016; Eshtaiwi, 2019).

MGNT için YSA kullanmanın dezavantajı, ağ ağırlıklarının büyük miktarda eğitim verisi kullanılarak uygun şekilde ayarlanması gerektirir (Eshtaiwi, 2019).

5.2.3. Genetik algoritma (GA)

GA'lar, doğal genetik seçime dayanan olasılıksal optimizasyon algoritmalarıdır (Hadji, Krim ve Gaubert, 2011). GA'lar, Darwin'in en uygun üreme ve hayatta kalma teorisine dayanan uygun bir arama mekanizması sağlar (Salih, Wang ve Farhan, 2015).

Algoritmanın çalışmasını anlatan adımlar aşağıdaki gibidir: (Hadji ve diğerleri, 2011; Salih ve diğerleri, 2015; Öztürk, Paksoy ve Öztürk, M., 2018; Smida ve Sakly, 2015).

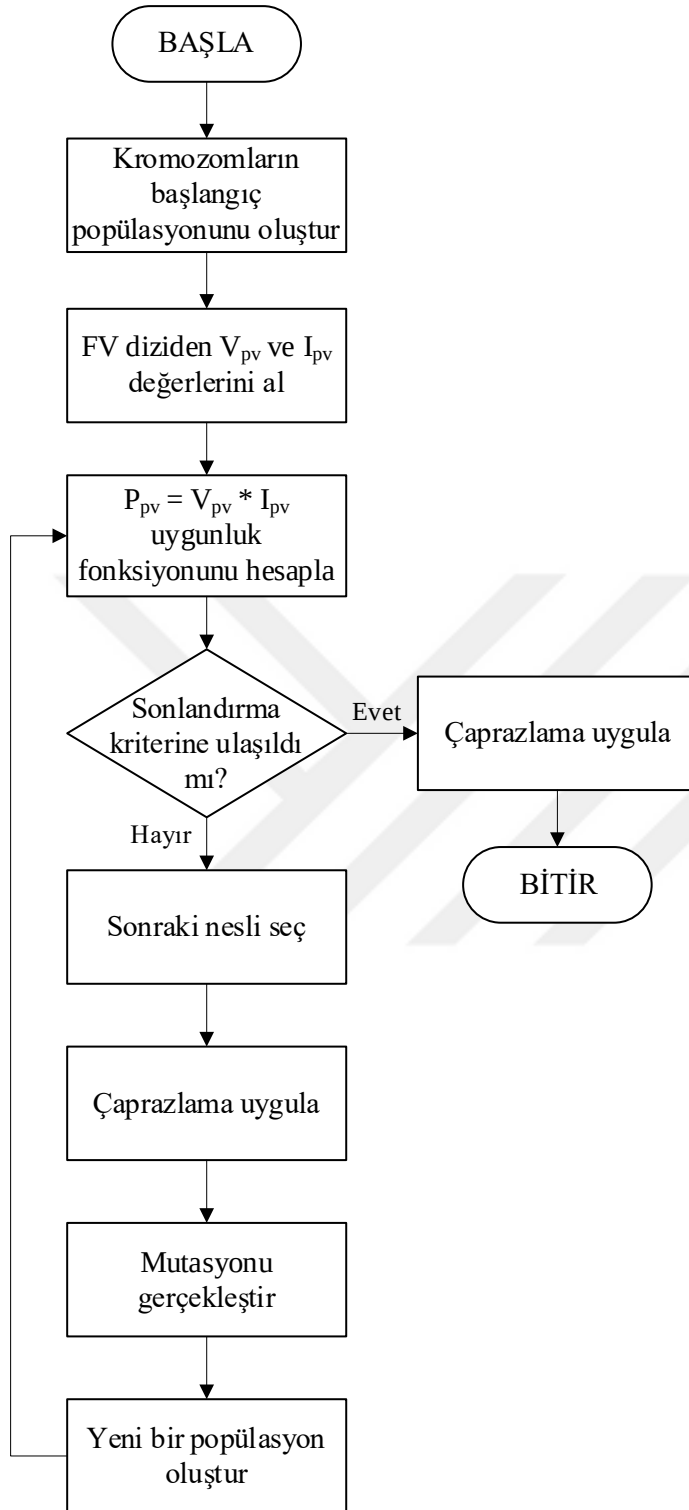
1. Başlatma: GA, çözüm adımlarına bir başlangıç popülasyonu oluşturarak başlar. Kromozom, başlangıçta verilen popülasyon miktarına göre rastgele üretilir. Popülasyondaki kromozomlar, problemin olası bir çözümünü ifade eder.
2. Değerlendirme: Popülasyondaki tüm kromozomlar için uygunluk fonksiyonu değeri hesaplanır. MGNT'nde uygunluk fonksiyonu basitçe $Ppv = Vpv * Ipv$ gücüdür.
3. Genetik operasyonlar: GA'nın temelidir. Kromozomlar, birkaç döngü alan evrimsel bir sürece tabi tutulur. Temel operasyonlar seçim, çaprazlama, mutasyon ve yerleştirmedir. Bu operasyonlar şunlardır:

- Seçim: Seçim, gelecek neslin popülasyonuna uygunluklarına göre mevcut nesil popülasyonundan olasılıksal olarak bir kromozom seçen bir süreçtir. Uygunluk değerlerine göre eşleşmek amacıyla seçilen bireylerden uygunluk değeri yüksek olanın bir sonraki nesle aktarılma olasılığı daha fazladır.
- Çaprazlama: Yeni bireyleri elde etmek için birey çiftleri çaprazlanır. Çaprazlama sırasında çoğaltılan bazı bireyler genetik özelliklerini çaprazlar ve değiştirir. Çaprazlamanın amacı, ata kromozomun yerlerini değiştirerek çocuk kromozomlar üretmek ve böylece uygunluk değeri zaten yüksek olan ata kromozomlardan daha yüksek uygunluk değerine sahip çocuk kromozomlar elde etmektir.

- Mutasyon: Çaprazlamadan sonra yeni popülasyona bir mutasyon uygulanır. Devamlı yeni nesil üretimi sonucunda, belli bir süre sonra nesildeki kromozomlar birbirlerini tekrar edebilir. Böylece farklı kromozom üretimi durur veya azalır. İşte bu nedenle nesildeki kromozom çeşitliliğini artırmak için kromozomlardan bazıları mutasyona tabi tutulur. Mutasyonlar küçük bir oranda ortaya çıkabilir ve genetik materyalde rastgele bir değişikliğe neden olarak popülasyonda çeşitliliğin ortaya çıkmasına katkıda bulunur.
- Yerleştirme: Yeni nüfus, minimum uygunluk fonksiyonuna sahip bireylerin yerini almak için eski popülasyona entegre edilecektir.

4. Program sonlandırma: Programın çalıştırılması yeni en iyi bireyleri oluşturur, program iterasyon sayısına göre sona erer, böylece sürekli bir çalışma süresi elde edilir (Hadji ve diğerleri, 2011).

Genetik algoritmalar kullanmanın avantajlarından bazıları şunlardır: Küresel bir arama tekniğidir, kötü yapılandırılmış problemlerin optimizasyonuna uygulanabilir ve problem için kesin bir matematiksel formülasyon gerektirmez. Ayrıca, genetik algoritmalar sağlamdır, birtakım problemlere uygulanabilir ve verimlidir, yani yetersiz veya makul bir sürede optimal çözüm kurulabilir (Salih ve diğerleri, 2015). Şekil 5.9, GA'nın akış şemasını göstermektedir.



Şekil 5.9. GA akış şeması (Salih ve diğerleri, 2015)

5.2.4. Yerçekimsel arama (YA) algoritması

YA algoritması, Rashedi tarafından 2009 yılında tanıtılmıştır ve optimizasyon problemlerini çözmeyi amaçlamaktadır. Bu algoritma yerçekimi yasasına ve kütle etkileşimlerine dayanmaktadır. Algoritma, yerçekimi kuvveti yoluyla birbirleriyle etkileşime giren araştırıcı ajanların toplanmasından oluşur. Ajanlar nesne olarak kabul edilir ve performansları, kütleleri tarafından ölçülür. Yerçekimi kuvveti, tüm nesnelerin daha ağır kütleli diğer nesnelere yani maksimum güç noktasına doğru hareket ettiği küresel bir harekete neden olur. Daha ağır kütlelerin yavaş hareketi, algoritmanın sömürü aşamasını garanti eder ve iyi çözümlere karşılık gelir. Kütleler aslında Eş. 5.12'de gösterildiği gibi yerçekimi yasasına ve Eş. 5.13'deki hareket yasasına uymaktadır (Sabri, Rusop ve Puteh, 2013).

$$F = G(M_1 M_2 / R^2) \quad (5.12)$$

$$a = F / M \quad (5.13)$$

Eş. 5.12'de, F , yerçekimi kuvvetinin büyüklüğünü temsil eder, G yerçekimi sabiti, M_1 ve M_2 birinci ve ikinci nesnelerin kütlesi ve R iki nesne arasındaki mesafedir. Eş. 5.12, Newton yerçekimi yasasında, iki nesne arasındaki çekim kuvvetinin kütlelerinin çarpımıyla doğru, nesneler arasındaki mesafenin karesiyle ters orantılı olduğunu göstermektedir. Eş. 5.13 için Newton'un ikinci yasası, bir kuvvet, F , bir nesneye uygulandığında, ivmesinin, a , kuvvet ve kütlesine M bağlı olduğunu gösterir (Sabri ve diğerleri, 2013).

YA'da ajanın pozisyon, ataletsel kütle, aktif yerçekimi kütlesi ve pasif yerçekimi kütlesi olmak üzere dört parametresi vardır. Kütlenin konumu, yerçekimi ve atalet kütlelerinin bir uygunluk fonksiyonu kullanılarak belirlendiği sorunun çözümünü temsil eder. Algoritma, yerçekimi ve atalet kütlelerinin ayarlanmasıyla yönlendirilirken, her kütle bir çözüm sunar. Kütleler en ağır kütleler tarafından çekilir. Bu nedenle, en ağır kütle arama alanında optimum bir çözüm sunar (Sabri ve diğerleri, 2013). Eş. 5.14'de n boyutlu bir popülasyon ve i ajanının pozisyonu temsil edilmektedir. Ajan i 'nin d boyutundaki hızını x_i^d ifade eder.

Aktif kütle j 'den pasif kütle i üzerinde etkili olan t zamanında yerçekimi kuvveti $F_{ij}^d(t)$ Eş. 5.15 ile verilir (Saha, 2015).

$$X_i = x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n \quad (5.14)$$

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_{pi}(t)x_{aj}(t)}{R_{ij}(t)} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (5.15)$$

Eş. 5.16'da d boyutundaki olasılıksal doğa kuvvetini tanıtmak için, aynı boyuttaki i ve j parçacığı arasındaki kuvvet toplamı rastgele olarak seçilir. Eş. 5.17'de d boyutundaki i ajanının ivme denklemi verilmiştir (Saha, 2015).

$$F_i^d(t) = \sum_{j=1 \neq i}^n rand F_{ij}^d(t) \quad (5.16)$$

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \quad (5.17)$$

d boyutundaki i ajanının bir sonraki hızı, mevcut hız ve ivmenin bir kısmıdır ve Eş. 5.18 ile temsil edilir. Ajan i 'nin bir sonraki pozisyonu ise Eş. 5.19 ile ifade edilir (Saha, 2015).

$$v_i^{d+1} = rand_i x v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (5.18)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (5.19)$$

Yerçekimsel sabit zamanla azaldıkça, sabit, zamanın ve sabitin başlangıç değerinin bir fonksiyonu olarak alınır ve Eş. 5.20 ile verilir (Saha, 2015).

$$G(t) = G(G_0, t) \quad (5.20)$$

Uygunluk değerlendirmesi ile yerçekimi ve atalet kütlesi hesaplanır. Daha ağır kütle daha etkili ajan, daha fazla çekim ve yavaş hareket anlamına gelir. Eş. 5.21 ve Eş. 5.22'de $fit_i(t)$ uygunluk fonksiyonunu, $best(t)$ ve $worst(t)$ uygunluk fonksiyonu terimlerini ifade eder (Saha, 2015).

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (5.21)$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^n m_j(t)} \quad (5.22)$$

Maksimum güç noktası takibi için uygunluk fonksiyonu FV dizinin çıkış gücüdür ve P_{pv} ile ifade edilir (Saha, 2015).

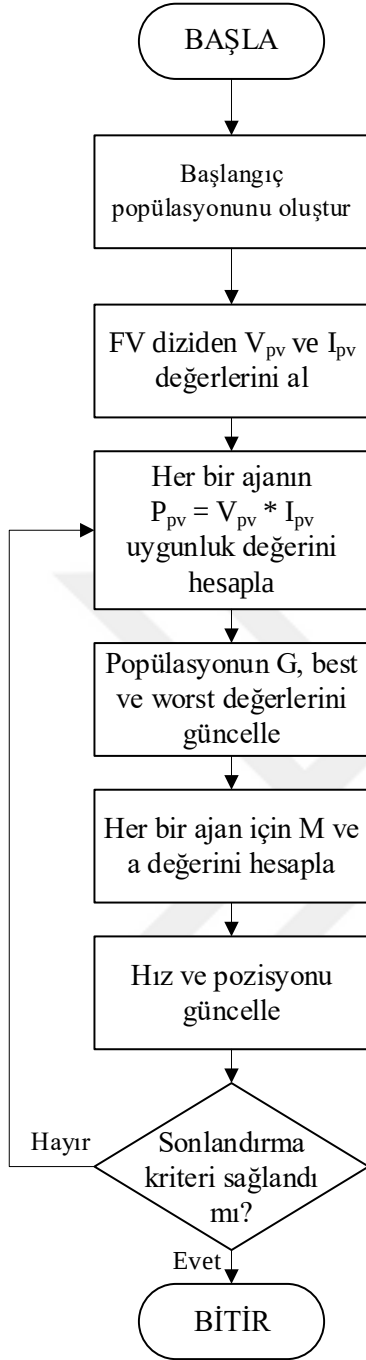
$$fit_i(t) = P_{pv} \quad (5.23)$$

$$P_{pv} = V_{pv} \times I_{pv} \quad (5.24)$$

$$best(t) = \max fit_i(t), i = 1, 2, \dots, n \quad (5.25)$$

$$worst(t) = \min fit_i(t), i = 1, 2, \dots, n \quad (5.26)$$

Şekil 5.10'da akış şemasında YA algoritmasının MGNT uygulamasını anlatan akış şeması verilmiştir (Saha, 2015).

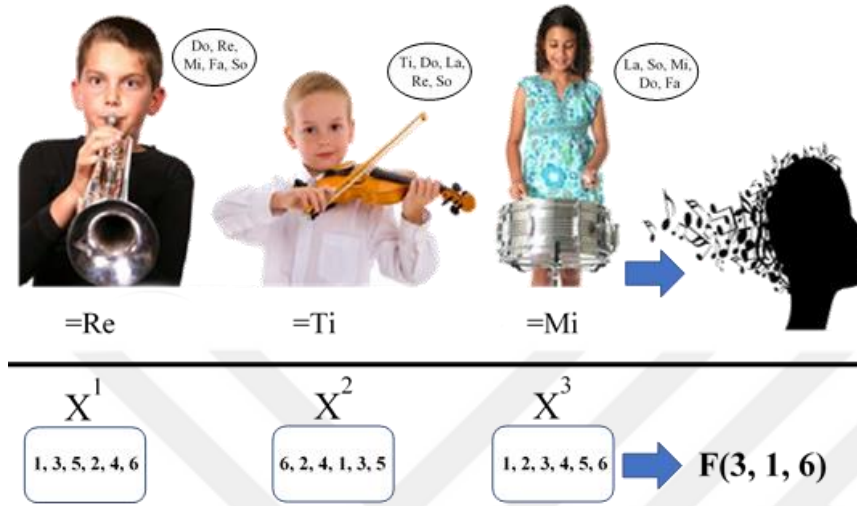


Şekil 5.10. YA algoritması akış şeması (Saha, 2015)

5.2.5. Normal harmoni arama (NHA) algoritması

NHA algoritması, normal olasılık dağılım faktörü kullanılarak HA'nın geliştirilmiş versiyonudur. Bu gelişme, arama yeteneğini geliştirir ve yakınsama oranını artırır. HA, müzik kompozisyonu tekniğinden esinlenmiştir. Bu arama tekniğinin ana ideolojisi, belirli bir şarkı için mükemmel bir uyum veya ritim aramak ya da seçmektir.

MGNT'nde ana amaç, belirli bir global maksimum güç noktası (şarkı) için mükemmel bir görev döngüsü (harmoni) bulmaktır. HA'nın resimsel temsili Şekil 5.11'de gösterilmektedir (Kumar, Hussain, Singh ve Panigrani, 2018).



Şekil 5.11. NHA algoritmasının temsili (Kumar ve diğerleri, 2018)

Çalışma sırasındaki başlıca aşamalar harmoni hafızası tahsisi, adımın ayarlanması ve randomizasyondur (Kumar ve diğerleri, 2018). Harmoni hafızaları, bireylerin gücüne göre görev döngüleri kümesidir. Burada görev döngüleri veya Harmoni hafızaları kabul oranına (ψ_{HMAR}) göre tahsis edilir. Bu $\psi_{HMAR} \in [0,1]$ 'dir. Adım ayarı iki faktöre bağlıdır: Bant genişliği (ω^k) ve adım ayarı oranı λ_{PAR}^k 'dır. Her ikisi de aşağıdaki denklemlerle ifade edilir.

$$\lambda_{PAR} = \lambda_{min} + \frac{\lambda_{max} - \lambda_{min}}{K} \times k \quad (5.27)$$

$$\omega^k = \omega^{max} \times e^{\frac{\ln(\frac{\omega^{min}}{\omega^{max}})}{K} \times k} \quad (5.28)$$

$$p^{k+1} = p^k + \omega^k \cdot \varphi \quad (5.29)$$

p^k ve p^{k+1} sırasıyla ön izleme ve yeni adımı ifade eder. φ , $[-1, +1]$ aralığında rastgele bir sayıyı ifade eder.

λ_{min} ve λ_{max} , sırasıyla minimum ve maksimum adım ayarlama aralığıdır. ω^{min} ve ω^{max} , sırasıyla minimum ve maksimum bant genişliğidir. K , toplam iterasyon sayısıdır ve k , iterasyon sayısıdır. Rasgeleleştirme, çözümün çeşitliliğini artırır. Ayrıca, rasgeleleştirme katsayısı (η_{ran}) ve adım katsayısı (η_{pitch}) olasılığını kullanarak, küresel optimallik hakkında daha fazla araştırma yapmak için sistem davranışını yönlendirir. Bunlar, aşağıdaki denklemler ile ifade edilir (Kumar ve diğerleri, 2018).

$$\eta_{ran} = 1 - \psi_{HMAR} \quad (5.30)$$

$$\eta_{pitch} = \psi_{HMAR} \lambda_{PAR}^k \quad (5.31)$$

NHA'da yakınsama verimliliğini daha da artırmak için, normal olasılık dağılım faktörü (Gauss dağılım faktörü), ϵ , HA'nın bant genişliği ile çarpılır. Bu faktör, büyük nüfus gereksinimini ve yinleme sayısını azaltır. Bu faktör varyans (σ) ve dağılımın tahmini (τ) gibi 2 parametreye dayanır (Kumar ve diğerleri, 2018).

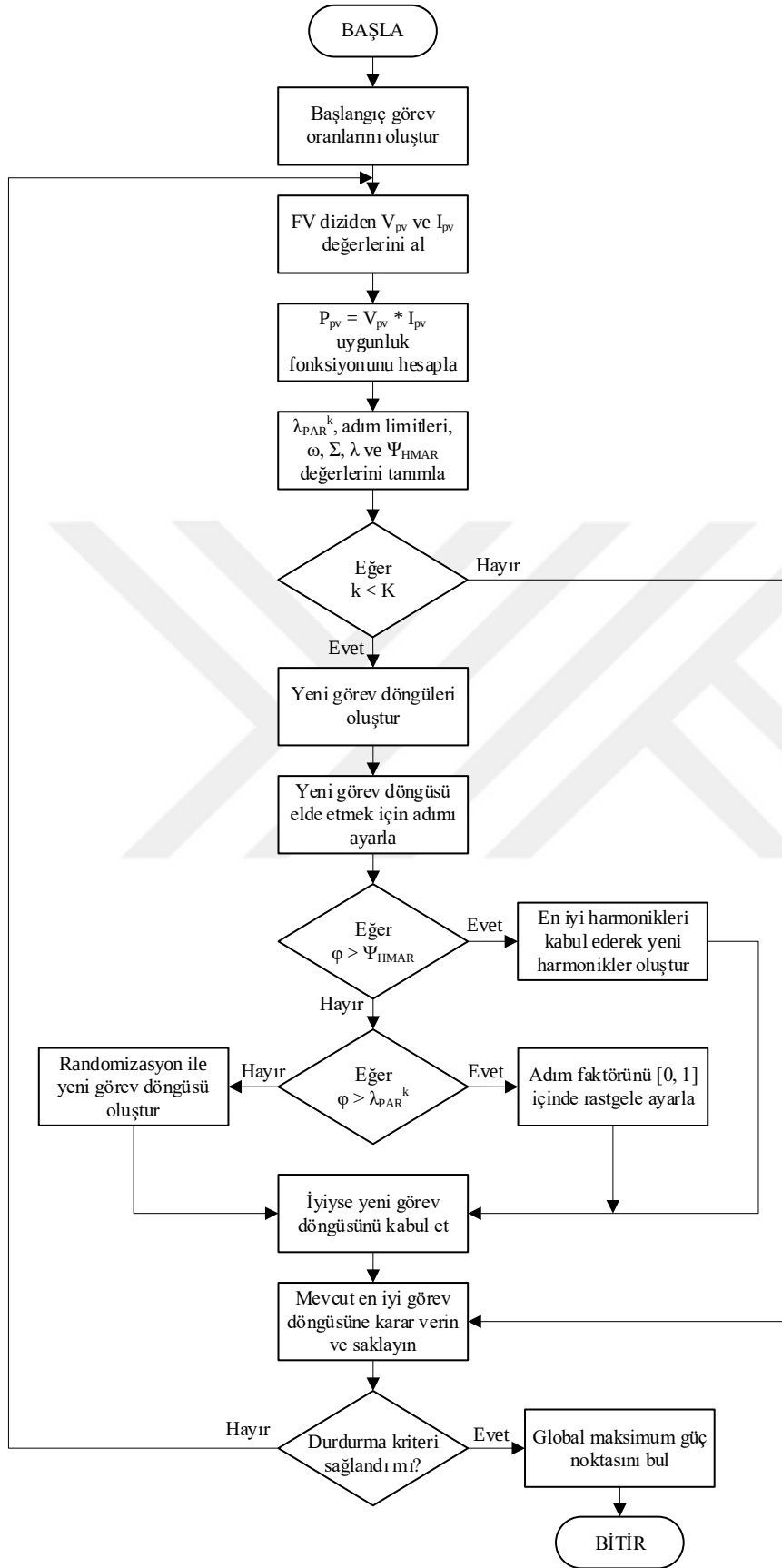
$$\epsilon = \frac{1}{\sigma x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\tau)^2}{2\sigma^2}} \quad (5.32)$$

k. iterasyonda j. eleman için süreç güncellenerek d_j^k görev oranı çözümü aşağıdaki denklemlerdeki gibi formüle edilebilir (Kumar ve diğerleri, 2018).

$$d_j^{k+1} = d_j^k \mp \epsilon \times \omega^k \text{ eğer, } \varphi_{new} < \lambda_{PAR}^k \quad (5.33)$$

$$d_j^{k+1} = d_j^k \text{ eğer, } \varphi_{new} \geq \lambda_{PAR}^k \quad (5.34)$$

Şekil 5.12'de NHA algoritmasının MGNT problemi için akış şeması aşağıdaki gibidir (Kumar ve diğerleri, 2018).



Şekil 5.12. NHA algoritması akış şeması

5.2.6. Parçacık sürü optimizasyon (PSO) algoritması

PSO kuş, balık gibi hayvanların davranışlarından ilham alarak, 1995’de Eberhart ve Kennedy’nin önerdiği, olasılıksal bir algoritmadır. PSO zeki, basit ve sürü zekasına dayalı bir metasezgisel optimizasyon yaklaşımıdır (Chaieb ve Sakly, 2015). PSO, herhangi bir optimizasyon probleminin çözümünü, n boyutlu bir alanda kuşa benzeyen, arama alanındaki konumunu önceki deneyimlerine ve komşularının deneyimine göre ayarlayan bir nokta gibi ele alır. Parçacık olarak isimlendirilen bu noktanın kütlesi, hacmi yoktur ve hızı, konumuyla tanımlanır. Sürüdeki her parçacık optimizasyon probleminin çözümünü ifade eder (Azab, 2010; Sawant ve Bhattar, 2016).

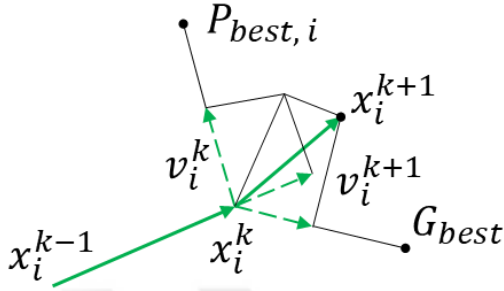
Algoritmanın başlamasıyla birlikte parçacıklar hızlarını ve konumlarını günceller ve yinelemeli bir şekilde en optimum konumu bulurlar. Her yinelemede, parçacıklar en iyi iki değerle güncellenir. İlk değer, popülasyondaki her bir parçacığın kişisel en iyi çözümüdür ve bu değer yerel en iyi ($P_{best,i}$) olarak ifade edilir. İkinci değer ise, popülasyondaki bütün parçacıkların en iyi çözümüdür ve global en iyi (G_{best}) olarak adlandırılır (Azab, 2010). Yineleme esnasında, her parçacığın bir uygunluk fonksiyonu tarafından belirlenen bir uygunluk değeri ve parçacığın uçuş yönünü ve mesafesini belirlemek için kullandığı bir hızı vardır (Liu, Zhu, Tao, Wang ve Blaabjerg, 2019). Arama sürecinde, en iyi iki değer $P_{best,i}$ ve G_{best} elde edildikten sonra, her parçacığın hızı ve konumu Eş. 5.35 ve Eş. 5.36’ya göre güncellenir (Azab, 2010).

$$x_i(k + 1) = x_i(k) + V_i(k + 1) \quad (5.35)$$

$$V_i(k + 1) = w.V_i(k) + c1.r1.(P_{best,i} - x_i(k)) + c2.r2.(G_{best} - x_i(k)) \quad (5.36)$$

Eş. 5.35 ve Eş. 5.36’da i parçacık sayısını, k yineleme sayısını, w eylemsizlik ağırlığını, $r1$ ve $r2$ 0 ile 1 aralığında dağıtılmış rastgele değişkenleri, $c1$ ve $c2$ hızlandırma katsayılarını, $P_{best,i}$ i. parçacığın kişisel en iyi pozisyonunu, G_{best} tüm popülasyon içerisindeki parçacıkların en iyi pozisyonunu, x_i i. parçacığın pozisyonunu, V_i i. parçacığın hızını ifade eder.

Parçacığın hareketi Şekil 5.13’de verilmiştir. En iyi çözümü elde etmek için ihtiyaç duyulan yineleme sayısı probleme bağlı olarak değişmektedir. Bu algoritmada yineleme sayısının çokluğu hesaplama zamanını artırır, az olması durumunda ise iyi bir çözüme ulaşamayabilir (Aydoğan, 2019).



Şekil 5.13. PSO algoritmasındaki parçacıkların hareketi

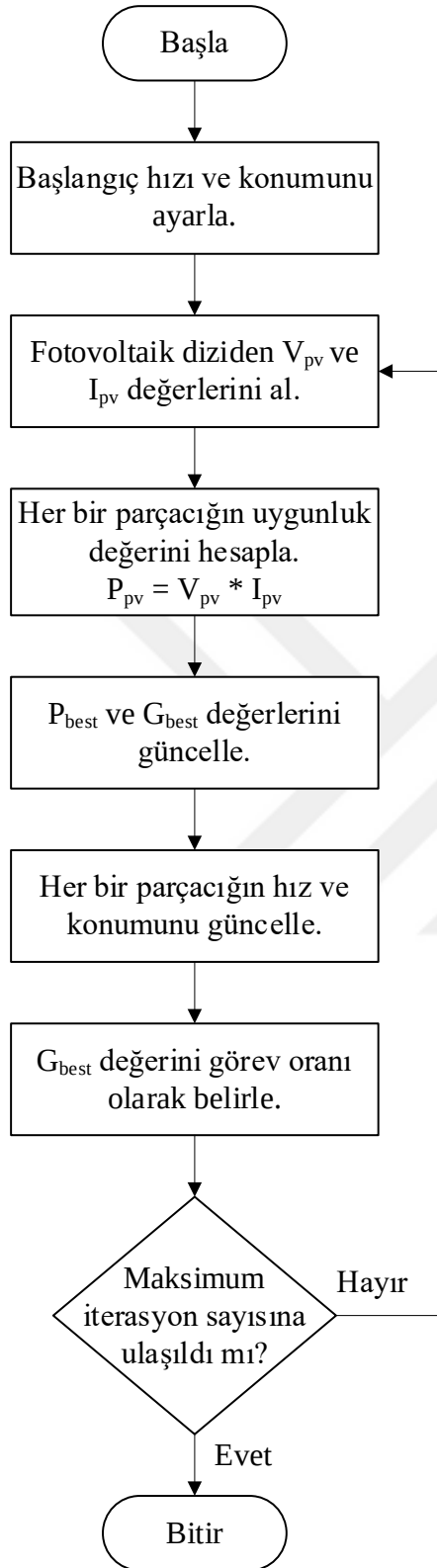
Global arama ve en iyi çözüme erişimi etkili bir şekilde sağlamak için $c1$, $c2$ ve w parametreleri kullanılır (Sagonda ve Folly, 2019). Yerel arama ile global arama faaliyetleri arasında denge kurulması için eylemsizlik ağırlığı w kullanılmaktadır. Bu ağırlık değeri w , 0 ile 1 arasında bir değere ayarlanır (Azab, 2010; Sawant ve Bhattar, 2016). Global arama kabiliyetini yükseltmek için yüksek bir eylemsizlik ağırlığı değeri, yerel arama yeteneğini yükseltmek için ise düşük bir eylemsizlik ağırlığı değeri gerekir. Eğer bu değerler uygun bir şekilde seçilirse az iterasyon sayısı ile en uygun sonuç elde edilebilir. Önceki yinelemedeki hız değerinin sonraki hız değerine olan etkisini bu ağırlık değeri belirler ve bu değer arama işlemi sırasında sabit bir değere ya da yinelemeler süresince eksilen bir değere ayarlanabilmektedir. Eş. 5.37’de k_{max} maksimum yineleme sayısını, w_{max} ve w_{min} , w ’nın maksimum ve minimum değerini gösterir ve 0 ile 1 arasında bir değer alır (Aydoğan, 2019).

$$w = \frac{w_{max} - w_{min}}{k_{max}} \cdot k \quad (5.37)$$

Hızlandırma katsayıları $c1$ ve $c2$ parçacığın bilişsel ve sosyal bileşenini etkiler. Optimum yakınsamaya yönelik araştırma süreci, bu bileşenler tarafından yönlendirilir. Bu yüzden bu iki bileşenin doğru bir şekilde kontrol edilmesi gerekir. Bilişsel bileşen, popülasyondaki parçacıkların $P_{best,i}$ değerine doğru hareket etmelerini ve sosyal bileşen global optimum çözümü bulma konusunda parçacıkların ortak etkisini ifade eder.

Sosyal bileşen, parçacıkları daima o ana kadar elde edilen en iyi global parçacığa yani G_{best} değerine doğru çeker (Sagonda ve Folly, 2019). Küçük seçilen hızlanma katsayısı, parçacıkların hedefi daha büyük bir bölgede aramasına olanak sağlar. Fakat bu sefer de hedefe ulaşma zamanı artmış olur. Değerlerin büyük seçilmesi durumunda hedefe ulaşmak için gereken zaman azalırken hedefin kaçırılması gibi istenmeyen bir sonuç ortaya çıkabilir. Literatürdeki çalışmalarda bu katsayıların çoğunlukla $c1 = c2 = 2$ şeklinde seçilerek iyi sonuçlara ulaşıldığı belirtilmektedir (Aydoğan, 2019).

Tüm parçacıkların pozisyonları bir uygunluk fonksiyonu ile değerlendirilir (Teo, Lim, Chua, Goh ve Tan, 2014). Bu çalışmada DA-DA dönüştürücünün görev oranı D ile temsil edilir ve parçacığın uygunluk değeri, bütün FV sistem tarafından üretilen FV gücü P_{pv} 'dir (Sawant ve Bhattar, 2016). Her bir parçacığın uygunluk değerini hesaplamak için çıkış gerilimi (V_{pv}) ve çıkış akımı (I_{pv}) kullanılır. Global ve yerel en iyi pozisyonlar belirli bir çalışma gerilimi ve akımından ne kadar güç üretilceğiyle tanımlanır. Üretilen en yüksek güç sürünün en iyisidir. Maksimum yinleme sayısına ulaşıldığında PSO arama işlemi sona erdirilir (Teo ve diğerleri, 2014). PSO yöntemi, uygulamasının kolay olması, hızlı hesaplama yeteneği ve çevresel koşullara bakılmaksızın maksimum güç noktasını belirleme yeteneği nedeniyle önemli bir potansiyel sergilemektedir (Koad ve diğerleri, 2017). PSO algoritmasının akış şeması Şekil 5.14'de verilmiştir.



Şekil 5.14. PSO algoritmasının akış şeması

5.2.7. Ateş böceği (AB) algoritması

AB algoritması doğadaki ateşböceklerinin sosyal davranışlarından ilham alarak Xin She Yang tarafından geliştirilen, popülasyon tabanlı, metasezgisel, olasılıksal optimizasyon algoritmasıdır. Ateş böcekleri yaydıkları çeşitli flaş desenleriyle birbirleriyle etkileşime geçerler ve bu flaşlarla tropikal ve sıcak iklimlerin yaşandığı bölgelerde yaz mevsiminde gökyüzünde harika bir görüntü oluştururlar. Flaşların yanıp sönme hızı, yoğunluğu ve ritmi erkekleri ve dişileri birbirine çeker. Ayrıca ateş böcekleri flaşlarını potansiyel avlarını kendilerine çekmek için de kullanırlar (Sundareswaran, Peddapati, Palani ve 2014; Yang, 2010: 111). Bu algoritmada özellikleri tanımlanırken aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır (Chakrabarti, Manna, Sharma, Chakrabarti ve Sarkar, 2015; Sundareswaran ve diğerleri, 2014; Yang, 2010: 112):

- Her ateş böceği cinsiyetten bağımsız olarak daha çekici olana doğru hareket edecektir.
- İki ateş böceği arasındaki çekicilik parlaklık ile orantılıdır. Daha az parlaklığa sahip olan ateş böceği daha fazla parlaklığa sahip olan ateş böceğine doğru hareket eder. Popülasyonda daha yüksek parlaklığa sahip bir ateş böceği bulunmuyorsa, tüm ateş böcekleri rastgele şekilde hareket edecektir.
- Bir ateş böceğinin flaş yoğunluğu optimize edilecek amaç fonksiyonunun uygunluk değerine bağlıdır.

Işık yoğunluğunun değişmesi ve çekiciliği formüle edilmesi ateş böceği algoritması için iki önemli faktördür. Kaynağa olan uzaklık arttıkça ışık yoğunluğu da değişim gösterir. En basit durumlarda, ışık yoğunluğu ters kare yasasına dayanarak çalışmaktadır ve bu durum Eş. 5.38’de verilmiştir. Bu eşitlikte I_0 kaynaktaki yoğunluğun değişimini ifade eder. Işık yoğunluğu ortam özelliklerine bağlı olarak değişir. Işığın emme katsayısı γ olan bir ortam için, ışık yoğunluğundaki değişiklik Eş. 5.39’daki formülle elde edilebilir. Eş. 5.40’da ters kare kanunu ve ışık emme katsayısının etkileri bir araya getirildiğinde $r = 0$ ’daki tekillik önlenir (Chakrabarti ve diğerleri, 2015; Yang, 2010: 113).

$$I(r) = \frac{I_0}{r^2} \quad (5.38)$$

$$I(r) = I_0 e^{-\gamma r} \quad (5.39)$$

$$I(r) = I_0 e^{-\gamma r^2} \quad (5.40)$$

Çekiciliği değişimi ışık yoğunluğundaki değişimle doğru orantılıdır. Çekicilik için bir β değişkeni tanımlanırsa formülü Eş. 5.41'deki gibi olacaktır. Bu denklemde β_0 , $r = 0$ 'daki çekiciliği ifade eder ve r , iki ateş böceği arasındaki mesafedir. Arama alanında aynı noktada iki ateş böceği bulunduğu durum $r = 0$ durumu ile gösterilir (Chakrabarti ve diğerleri, 2015; Yang, 2010: 113).

$$\beta = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (5.41)$$

Işığın emme katsayısı γ değeri, algoritmanın performansı ve yakınsama hızı üzerinde kritik bir rol oynamaktadır. Optimizasyon problemlerinin çoğunda, γ değerinin 0,1 ile 10 arasında olduğu varsayılmaktadır. İki ateş böceği arasındaki mesafe, Kartezyen mesafesi olarak hesaplanabilir. Örneğin, i . ve j . ateş böcekleri arasındaki mesafe şu şekilde verilebilir (Chakrabarti ve diğerleri, 2015; Yang, 2010: 114):

$$r_{ij} = |x_i - x_j| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (5.42)$$

Bir başka daha parlak ateş böceğine ilgi duyan i . ateş böceği için ana konum güncelleme formülü ise Eş. 5.43 ile verilebilir. Burada ϵ_i bir randomizasyon parametresidir ve α , adım boyutunu kontrol eden parametredir (Chakrabarti ve diğerleri, 2015; Yang, 2010: 114). Büyük miktarda α , uzak arama alanı üzerinden çözümü keşfetme hareketi yapar ve daha küçük α , yerel aramayı kolaylaştırır (Sundareswaran ve diğerleri, 2014).

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_i - x_j) + \alpha \epsilon_i \quad (5.43)$$

Ateş böceği algoritmasının MGNT'ne yönelik adımları ise aşağıda açıklanmıştır (Sundareswaran ve diğerleri, 2014).

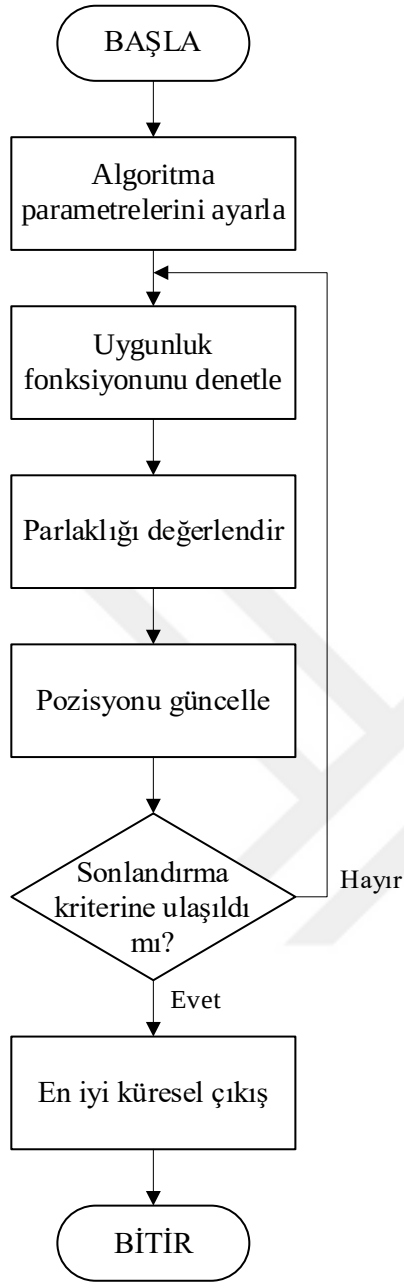
Adım 1: Parametre ayarı: Ateş böceği algoritmasında kullanılan değişkenler ayarlanır. Bu algorithmada, ateş böceğinin konumu DA-DA dönüştürücünün görev döngüsü D olarak alınır. Her ateş böceğinin parlaklığı, bu ateş böceğinin konumuna karşılık gelen FV sisteminin üretilen gücü Ppv olarak alınır.

Adım 2: Ateşböceklerinin başlatılması: Bu adımda ateşböcekleri, $Dmin$ ve $Dmax$ arasındaki izin verilen çözüm uzayına yerleştirilir; burada $Dmin$ ve $Dmax$, DA-DA dönüştürücünün görev oranının minimum ve maksimum değerlerini temsil eder. Böylece, her bir ateş böceğinin konumu DA-DA dönüştürücünün görev oranını temsil eder.

Adım 3: Parlaklık değerlendirmesi: Bu adımda DA-DA dönüştürücü her bir ateş böceğinin konumuna yani görev oranına sırayla karşılık gelecek şekilde çalıştırılır. Her görev oranı için, karşılık gelen FV çıkış gücü, Ppv , ilgili ateş böceğinin parlaklığı veya ışık yoğunluğu olarak alınır. Bu adım popülasyondaki tüm ateş böceklerinin konumu için tekrarlanır.

Adım 4: Ateşböceklerinin konumunu güncelleme: Maksimum parlaklığa sahip ateş böceği konumunda kalır ve geri kalan ateş böcekleri konumlarını günceller.

Adım 5: Sonlandırma kriterine ulaşıldığında program sonlandırılır; aksi takdirde üçüncü adıma geçilir. Program sona erdiğinde DA-DA dönüştürücü global maksimum güç noktasına karşılık gelen optimum görev döngüsünde çalışır. Ateş böceği algoritmasının akış şeması Şekil 5.15’de verilmiştir.



Şekil 5.15. AB algoritması akış diyagramı (Dhivya and Kumar, 2017)

5.2.8. Çiçek tozlaşması (ÇT) algoritması

ÇT algoritması Xin-She Yang'ın 2012 yılında geliştirdiği, popülasyon temelli, metasezgisel bir algoritmadır. ÇT algoritması, çiçeklerin tozlaşma davranışını esas almaktadır. Tozlaşma bitkilerde üremenin doğal fizyolojik bir sürecidir. Tozlaşmanın kendi kendine tozlaşma (yerel tozlaşma) ve çapraz tozlaşma (global tozlaşma) olmak üzere iki türü vardır. Kendi kendine tozlaşma bir çiçekteki polen aynı çiçeği döylediğinde meydana gelir.

Çapraz tozlaşma ise polen taneleri farklı bir bitkiden çiçeğe aktarıldığında gerçekleşir (Diab ve Rezk, 2017, Yang, 2010: 156-157). Algoritma, biyotik ve abiyotik süreç olmak üzere iki tür sürece sahip olarak karakterize edilir. Tozlayıcılar tozlaşma için sorumlu ajanlardır. Doğada tozlaşmanın çoğunlukla %90'ı tozlayıcı olarak arı, kuş ve yarasaların kullanıldığı biyotik tozlaşmadır. Tozlaşmanın %10'u ise tozlayıcı olarak rüzgârın kullanıldığı abiyotik tozlaşmadır (Yang, 2010: 156-157).

ÇT algoritmasını tasarlamak ve geliştirmek için aşağıdaki dört kural dikkate alınmalıdır (Diab ve Rezk, 2017; Ram ve diğerleri, 2016; Yang, 2010: 157):

- Biyotik ve çapraz tozlaşma küresel bir tozlaşma süreci olarak kabul edilir ve polen taşıyan tozlayıcılar Lévy uçuşlarına uyan bir mesafeden uçabilirler.
- Biyotik ve kendi kendine tozlaşma yerel tozlaşma olarak kabul edilmiştir.
- Böcekler gibi tozlayıcılar, ilgili iki çiçeğin benzerliği olan çiçek sabitliğini geliştirebilir.
- Küresel ve yerel tozlaşma arasındaki geçiş, olasılık anahtarı $P \in [0,1]$ tarafından kontrol edilir.

Birinci kural olarak küresel tozlaşma adımı ve üçüncü kural olarak çiçek sabitliği, Eş. 5.44 gibi bir matematiksel denkleme dönüştürülebilir. Böylece küresel tozlaşma denklemi elde edilmiş olur. x_i^t t. iterasyondaki çözüm vektörünü, g_{best} ise dönüştürücünün görev oranının en iyi değerini ifade eder. $L(\lambda)$, çiçeklerin farklı türlerine polenleri taşımakla ve tozlaşmanın güçlendirilmesiyle sorumlu olan bir faktördür. γ , adım boyutunu kontrol etmek için kullanılan ölçeklendirme faktörüdür (Diab ve Rezk, 2017; Ram ve diğerleri, 2016).

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \gamma L(\lambda)(g_{best} - x_i^t) \quad (5.44)$$

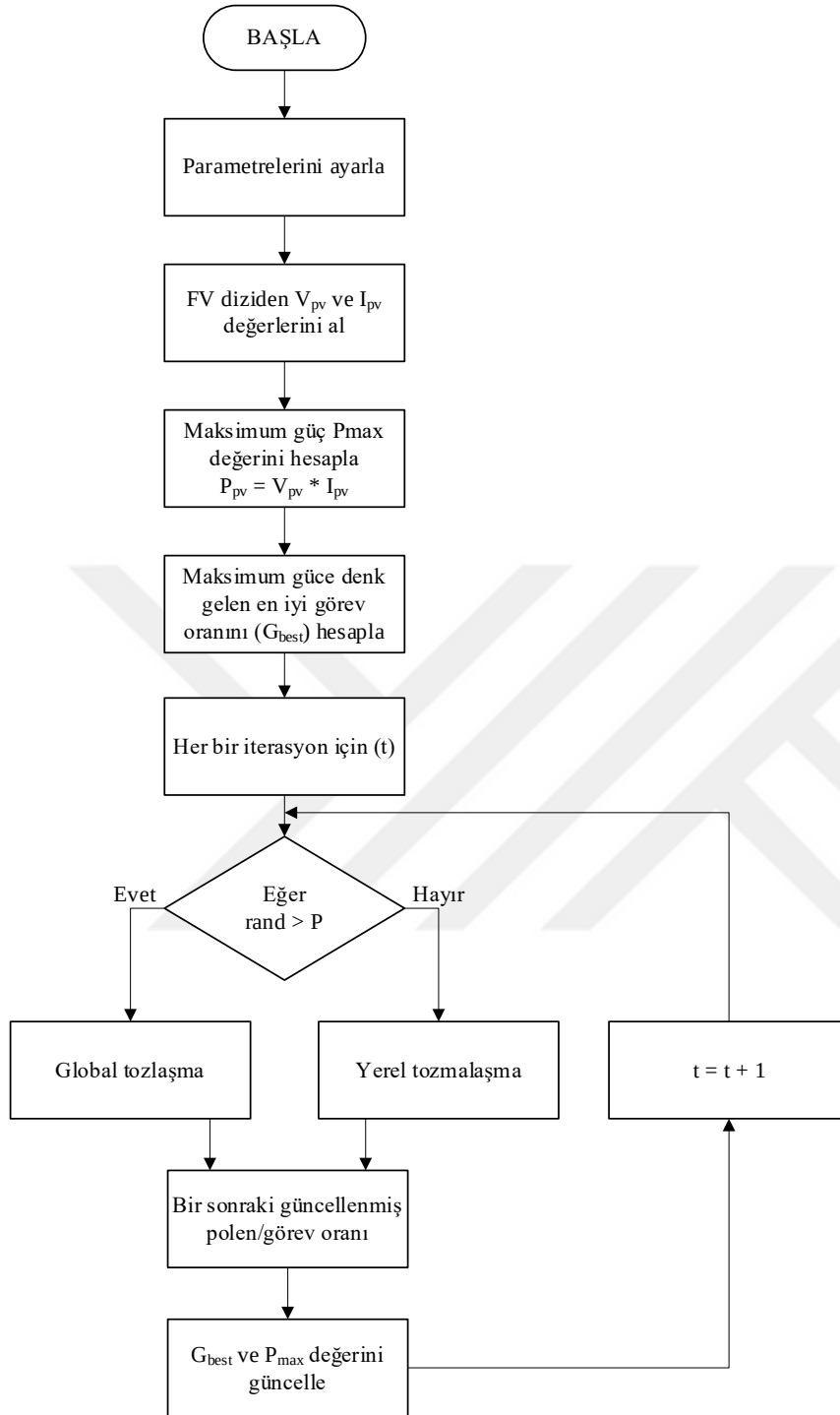
Böcekler farklı mesafe adımlarıyla uzun bir mesafe boyunca uçabilirler; Eş. 5.45 bir Lévy dağılımından alınmıştır. Burada $\Gamma(\lambda)$, gamma fonksiyonunu ifade eder (Diab ve Rezk, 2017).

$$L \approx \frac{\lambda \Gamma(\lambda) \sin\left(\frac{\pi\lambda}{2}\right)}{\pi} \frac{1}{S^{1+\lambda}} \quad (S \gg S_0 > 0) \quad (5.45)$$

Hem ikinci hem de üçüncü kurallar aşağıdaki gibi matematiksel olarak temsil edilerek yerel tozlaşma aşağıdaki Eş. 5.46 ile ifade edilir (Diab ve Rezk, 2017; Ram ve diğerleri, 2016).

Burada x_j^t ve x_k^t aynı bitki türlerinin farklı çiçeklerinden polenlerdir (Diab ve Rezk, 2017). ε sembolik olarak $\in [0, 1]$ eşit dağılımlı yerel aramayı temsil eder. Algoritmadaki olasılık anahtarı, yerel veya global tozlaşmayı ve çoğu durumda eğer 0,8 olarak bulunursa optimal değeri kontrol eder. Ayrıca, ÇT algoritmasının çok daha az parametreye sahip olduğu açıkça görülmektedir, bu nedenle hesaplama süresinin ve karmaşıklığın azalması beklenmektedir. ÇT algoritması uygulanan MGNT'nin akış şeması Şekil 5.16'da verilmiştir (Ram ve diğerleri, 2016).

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \varepsilon (x_j^t - x_k^t) \quad (5.46)$$



Şekil 5.16. ÇT algoritması akış diyagramı

5.2.9. Guguk kuşu optimizasyon (GKO) algoritması

GKO algoritması, 2009'da Xin-She Yang ve Suash Deb'in önerdiği zeki, popülasyon tabanlı, metasezgisel optimizasyon algoritmasıdır. GKO, bazı guguk kuşu türlerinin kuluçka parazitliğine dayanarak geliştirilen bir algoritmadır (Nugraha ve diğerleri; Yang, 2010: 130). GKO algoritması üç temel kurala sahiptir:

- Guguk kuşları rastgele olarak seçilen yuvaya her defa sadece tek yumurta bırakır.
- Kaliteli yumurtaların ait olduğu yuvalar gelecek nesle aktarılır.
- Konak yuva sayısı sabittir ve guguk kuşlarının bıraktığı yumurtalar $p_a \in (0,1)$ olasılığı ile konak yuvanın sahibi tarafından tanınabilmektedir. Konak yuva sahibi eğer yumurtayı tanırsa yumurtayı yuvadan atmakta veya yuvayı terk etmektedir (Nugraha ve diğerleri; Yang, 2010: 130).

Guguk kuşu üreme tekniğinin önemli bir kısmı, optimum bir ev sahibi kuş yuvası aramaktır. Genellikle hayvanlar, yiyecek ararken belli bir matematiksel fonksiyonla modellenebilecek yönleri ya da yörüngeleri tercih ederler. En sık kullanılan modellerden bir tanesi Lévy uçuşudur (Ahmed ve Salam, 2013).

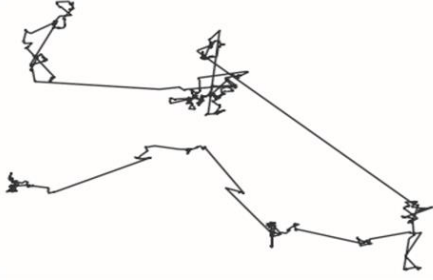
GKO algoritması Lévy uçuşunu kullanmaktadır. Çünkü Lévy uçuşu GKO algoritmalarının yerel maksimum noktaları elde etmesine olanak tanır ve ayrıca global maksimum güç noktasına erişmek amacıyla ihtiyaç duyulan takip zamanını azaltır (Pant ve Saini, 2019). Lévy uçuşu adım boyutlarının belirli bir olasılık dağılımına sahip adım uzunlukları türünden tanımlandığı rastgele bir yürüyüştür. GKO algoritmasında yuvalardaki her bir yumurta bir çözümü ifade etmekte ve potansiyeli fazla olan çözümlerin tutulması amaçlanmaktadır (Ayas, Doğan, Gedikli ve Ekinci, 2018). Yineleme sürecinde yeni bir çözüm elde etmek amacıyla Lévy uçuşu Eş. 5.47'de verilmiştir (Ho, Lin, Bagci, Wang, Liu ve Cheng, 2019; Kalaam, 2015; Peng, Ho ve Liu, 2018):

$$x_i^{t+1} = x_i^t + a \oplus Lévy(\lambda) \quad (5.47)$$

Rastgele adım uzunluğu bir Lévy dağılımından elde edilir. Rastgele adımlar için Lévy dağılımı Eş. 5.48'de formüle edilebilir (Kalaam, 2015):

$$Lévy(\lambda) \approx t^{-\lambda}, \quad 1 < \lambda \leq 3 \quad (5.48)$$

Şekil 5.17, iki boyutlu bir düzlemde Lévy uçuş örneğini göstermektedir (Ahmed ve Salam, 2013).



Şekil 5.17. Lévy uçuşu

Problemin büyüklüğüyle ilgili adım boyutu, $\alpha > 0$ ile, iterasyon sayısı t ile ifade edilir. GKO algoritması ile MGNT işlemi yapılırken kontrol değişkeni olarak D görev oranı seçilir. Adım boyutu α , mevcut en iyi örnek ile diğer örnekler arasındaki fark olarak tanımlanır. β güç yasası endeksini, u ve v değerleri standart sapmaları olan olasılıksal tasarım değişkenlerini, κ adım katsayısını ve Γ gamma fonksiyonunu ifade eder. GKO algoritmasının MGNT için çalışmasını gösteren denklemler Eş. 5.49, 5.50, 5.51 ve 5.52’de verilmiştir (Nugraha ve diğerleri, 2019):

$$d_i^{t+1} = d_i^t + \kappa * \left(\frac{u}{|v|^{1/\beta}} \right) * (d_{best} - d_i) \quad (5.49)$$

$$u \approx N(0, \sigma_u^2) \quad (5.50)$$

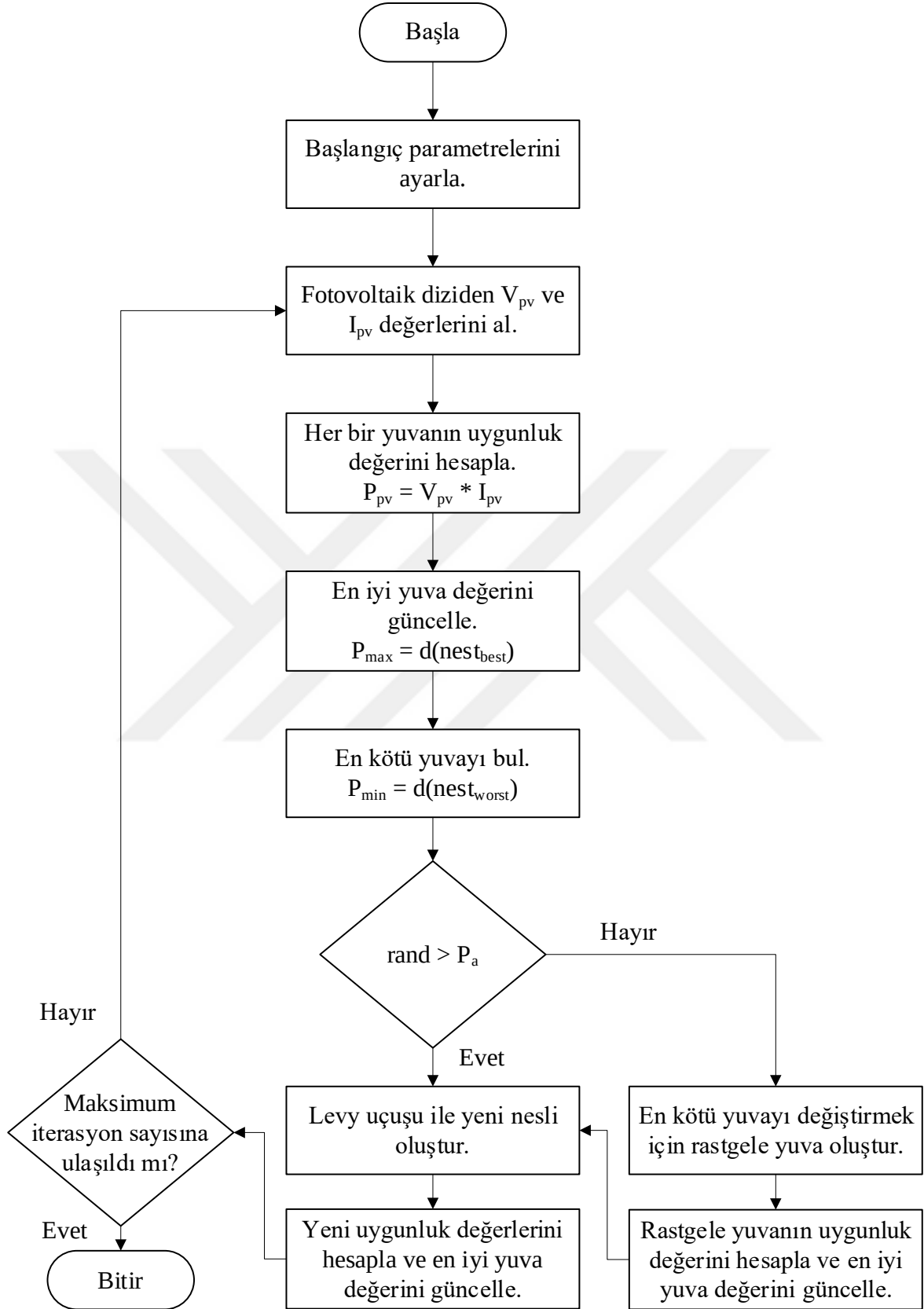
$$v \approx N(0, \sigma_v^2) \quad (5.51)$$

$$\sigma_u = \left(\frac{\Gamma(1+\beta) * \sin(\pi * (\beta)/2)}{\Gamma(1+\beta) * \beta * 2^{((\beta-1)/2)}} \right)^{1/\beta} \quad \text{ve} \quad \sigma_v = 1 \quad (5.52)$$

Bütün parçacıklar tarafından her yinelemede global maksimum güç noktasına ulaşılan kadar Lévy uçuşu gerçekleştirilir.

Optimum bir çözüme yaklaşıldığında takip süreci sona erer (Nugraha ve diğerleri, 2019). GKO algoritmasının MGNT işleminde nasıl kullanıldığını gösteren akış diyagramı Şekil 5.18’de verilmiştir.

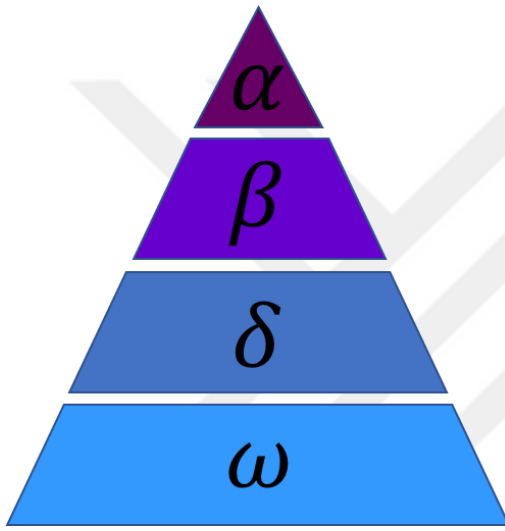




Şekil 5.18. GKO algoritması akış şeması

5.2.10. Gri kurt (GK) algoritması

GK algoritması, 2014 yılında Mirjalili tarafından geliştirilen, gri kurtların avlanma ve sosyal davranışlarını taklit eden, sürü zekasına dayalı, metasezgisel, optimizasyon algoritmasıdır. Gri kurtlar ortalama 5-12 bireyden oluşan gruplar halinde yaşarlar. Katı bir sosyal baskın hiyerarşiye sahip olan gri kurtlar alfa (α), beta (β), delta (δ) ve omega (ω) olmak üzere dört gruba ayrılır (Mirjalili, S., Mirjalili, S. M. ve Lewis, A., 2014). Bu hiyerarşik yapı şekil 5.19’da verilmiştir.



Şekil 5.19. Gri kurt hiyerarşisi (Mirjalili ve diğerleri, 2014)

Alfa grubu lider ya da baskın kurtlar olarak adlandırılır. Alfa kurtlar gruptaki diğer kurtların yönetiminden, avlanma, uyuma yeri, uyuma zamanı ve buna benzer konularda karar vermekten sorumludur. Gri kurtlar hiyerarşisinde ikinci seviye, alfaya danışman görevi gören veya diğer grup faaliyetlerinde yardımcı olan, grubun disiplininden sorumlu olan betalardır. Beta kurtlar alfa kurtlardan birinin kaybolması veya çok yaşlanması durumunda alfa olmak için en güçlü adaydır. Betalar alfalara boyun eğmek zorundadır ama kendinden alt düzeydeki kurtlara komut verebilir. Hiyerarşide betalardan sonra deltalar gelir. Delta grubu alfa ve betalara boyun eğmek zorundadır ama omegalara hakimdirler. Delta grubunun içerisinde nöbetçiler, yaşlılar, izciler, avcılar ve bakıcılar yer alır. İzciler, bölgenin sınırlarını kontrol eder, bir tehlike meydana geldiğinde tüm grubu uyarır ve nöbetçiler, grubun güvenliğini sağlar.

Yaşlılar, önceden alfa ya da beta grubunda yer alan tecrübeli kurtlardır. Yaşlılar, alfalara ve betalara yardım ederler. Bakıcılar gruptaki hasta ve yaralı kurtların bakımıyla ilgilenirler. Bu sosyal hiyerarşide en düşük dereceli grup omegalardır. Omega kurtları her zaman diğer tüm baskın kurtlara boyun eğmek zorundadır. Omega önemli bir birey değil gibi görünebilir ancak tüm paketin omega kaybetmesi durumunda içsel mücadele ve sorunlarla karşılaştığı gözlemlenmiştir. Gri kurtların avlanmalarının ana aşamaları avı takip etmek, kovalamak, yaklaşmak, av hareketi durdurduğunda kuşatmak ve ava saldırmaktır. Bu aşamalar Şekil 5.20’de verilmiştir (Mirjalili ve diğerleri, 2014).



Şekil 5.20. Gri kurtların avlanma davranışı: (A) Avın kovalanması, yaklaşılması ve takip edilmesi (B-D) Avın kovalanması, taciz edilmesi ve kuşatılması (E) Ava saldırılması (Mirjalili ve diğerleri, 2014)

GK algoritması tasarlanırken çözümler bu sosyal hiyerarşi düşünülerek matematiksel olarak formüle edilmiştir. Uygunluk değeri en yüksek olan çözümler sırayla alfa, beta, delta ve omega adındaki kurtlar şeklinde ifade edilir. GK algoritmasında avlanma (optimizasyon) alfa, beta ve delta kurtları tarafından yönlendirilirken omega kurtları bu üç kurdu takip eder.

Gri kurtların avlanma sırasında avı kuşatma davranışı Eş. 5.53 ve Eş. 5.54 ile ifade edilebilir.

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot X_p(t) - \vec{X}(t)| \quad (5.53)$$

$$\vec{X}(t + 1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (5.54)$$

Burada t , mevcut yinelemeyi, D , A ve C katsayı vektörlerini belirtir; X_p , avın konum vektörüdür ve X , gri kurdun konum vektörüdür. A ve C vektörleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\vec{A} = 2\vec{a} \cdot \vec{r}_1 - \vec{a} \quad (5.55)$$

$$\vec{C} = 2 \cdot \vec{r}_2 \quad (5.56)$$

Burada a bileşenleri, iterasyonlar süresince doğrusal şekilde 2 değerinden 0 değerine düşürülür. Bileşenlerden r_1 ve r_2 ise $[0, 1]$ aralığında rastgele vektörlerdir.

Gri kurtların avlanma davranışlarını matematiksel olarak elde etmek için, alfa, beta ve delta kutlarının avın yeri konusunda daha iyi bilgisi olduğu düşünülür. Bu yüzden, ortaya çıkan en iyi ilk üç çözüm saklanır ve öteki kurtların konumlarını en iyi arama faktörleri konumuna göre güncellenmeye zorlanır. Son konumun, arama bölgesindeki alfa, beta ve delta konumları tarafından belirtilen daire içinde herhangi bir yerde bulunacağı görülebilir. Diğer bir ifadeyle, avın konumu alfa, beta ve delta kurtları tarafından tahmin edilir ve diğer kurtlar avlarını rastgele sırayla güncellerler. Bu bağlamda aşağıdaki formüller önerilmektedir.

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C} \cdot \vec{X}_\alpha - \vec{X}|, \vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}|, \vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}| \quad (5.57)$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot (\vec{D}_\alpha), \vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot (\vec{D}_\beta), \vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot (\vec{D}_\delta) \quad (5.58)$$

$$\vec{X}(t + 1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \quad (5.59)$$

GK algoritması MGNT'ne uygulanırken FV diziden V_{pv} ve I_{pv} değerleri sürekli okunur, değerlendirilir ve bir sonraki anahtarlama sinyalinin görev oranı değeri hesaplanır. Gri kurt algoritmasının iki girişi ve iki çıkışı vardır. FV modülün akımı ve gerilimi sürekli olarak okunur.

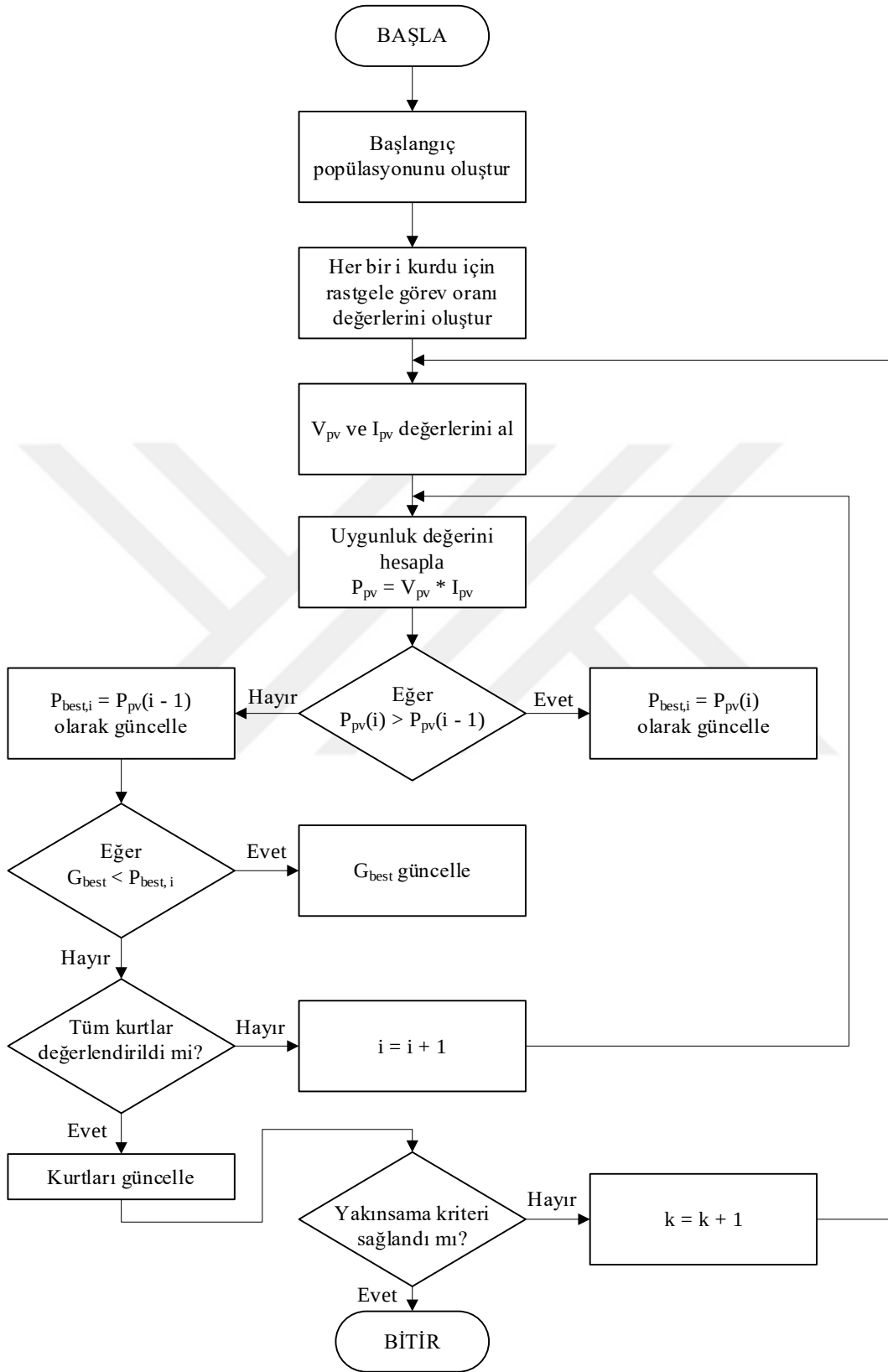
İlk çıkış, GK yöntemine göre hesaplanan alfa güç değeridir ve ikinci çıkış, sistemin maksimum güç noktasını elde etmek için darbe genlik modülasyonu sinyalinin görev oranı değeridir (Atici, Sefa ve Altin, 2019).

GK algoritması tabanlı MGNT uygulaması için, görev oranı D bir gri kurt olarak tanımlanır. Bu yüzden aşağıdaki eşitliklerdeki gibi değiştirilebilir. Aşağıdaki eşitliklerde P gücü, D görev oranını, i mevcut gri kurt sayısını ve k iterasyon sayısını temsil eder (Mohanty, Subudhi ve Ray, 2016).

$$D_i(k + 1) = D_i(k) - A \cdot D \quad (5.60)$$

$$P(d_i^k) > P(d_i^{k-1}) \quad (5.61)$$

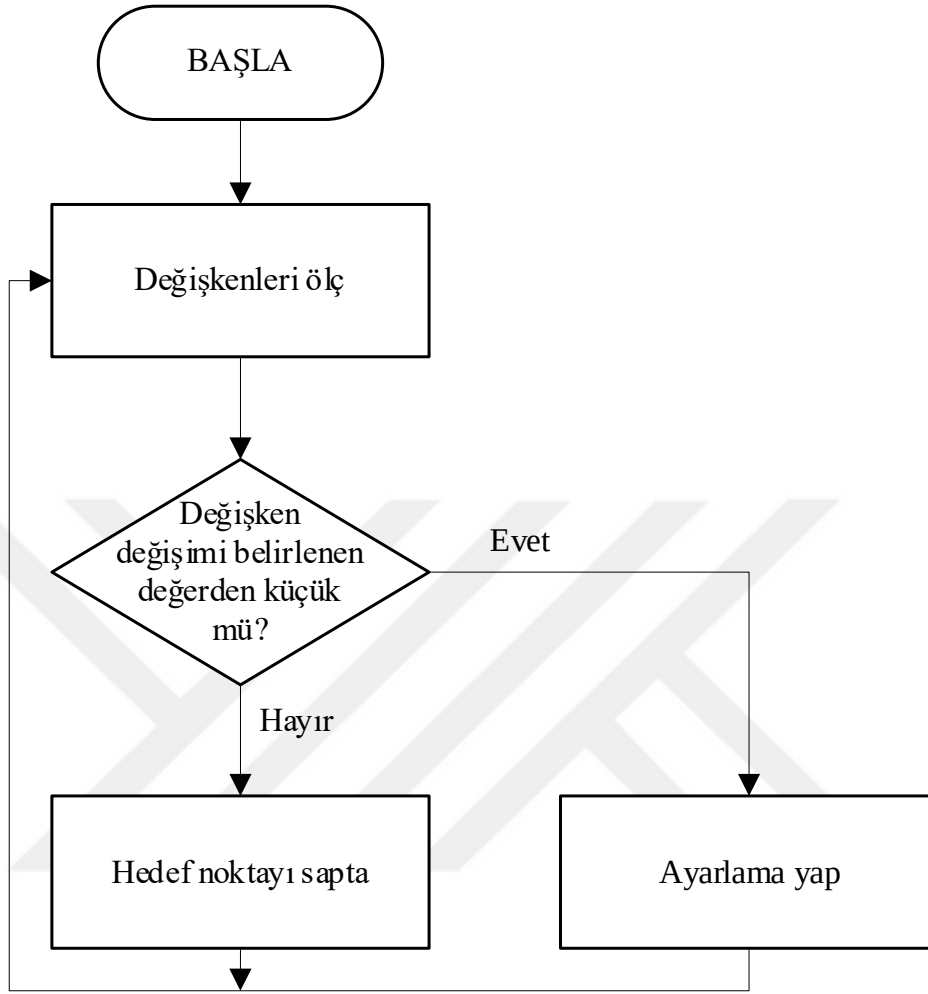
Şekil 5.21’de GK algoritmasının MGNT akış şeması verilmiştir. Burada $P_{best,i}$, iterasyonlar üzerinde en iyi çözümü, Gbest kurtlar tarafından bulunan en iyi çözümü ifade eder (Rocha, Sampaio ve Silva, 2019).



Şekil 5.21. GK algoritması akış diyagramı (Rocha ve diğerleri, 2019)

5.3. Hibrit Yöntemler

Birçok MGNT algoritması, özellikle kısmi gölgeleme koşulları altında global maksimum güç noktasını izleyemez. Buna durumda, önemli bir verim elde etmek için birçok hibrit MGNT yöntemi önerilmiştir. Bu yöntemler, genel verimliliği artırma ve kısmi gölgeleme koşulları ile başa çıkma kapasitesine sahiptir. Bu yöntemler çalışma prensibi, karmaşıklığı, doğruluğu ve takip hızına göre değişir. Literatürde en sık uygulanan hibrit MGNT yöntemleri iki geleneksel yöntem, zeki yöntemle geleneksel yöntem ve iki zeki yöntemin bir araya getirilmesiyle oluşturulur. Tüm bu yaklaşımlar, tekil algoritmalara kıyasla daha iyi izleme performansı sağlamıştır (Baba ve diğerleri, 2020). Şekil 5.22, hibrit yöntemlerin genel açıklamasını göstermektedir.

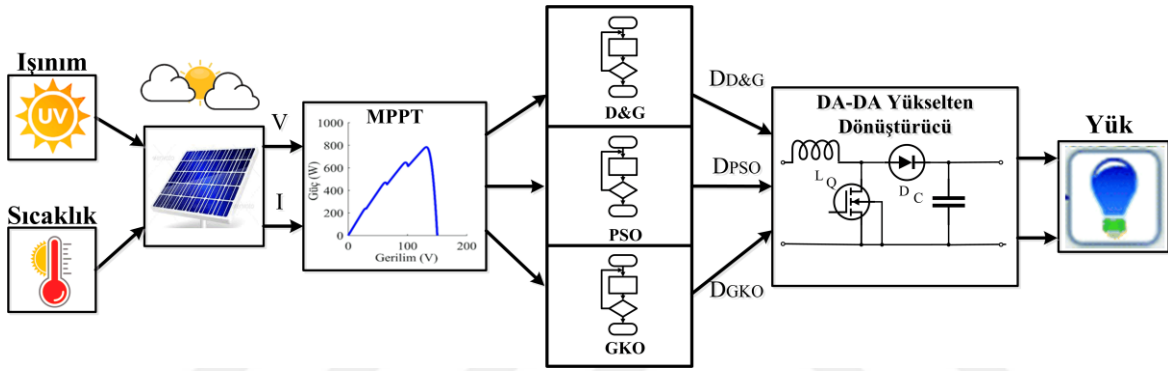


Şekil 5.22. Hibrit yöntem akış şeması (Baba ve diğerleri, 2020)



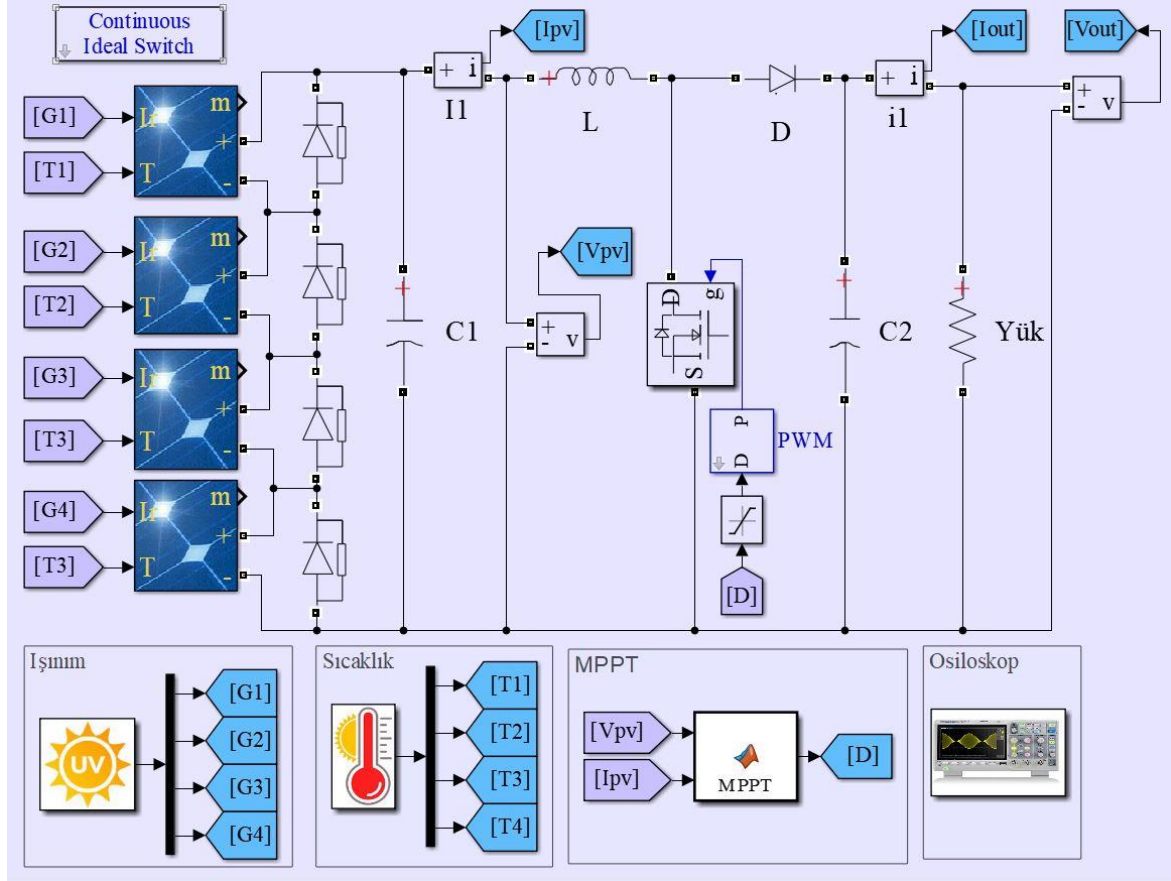
6. TASARIM VE BENZETİM

Bu çalışmada FV sistemlerin kısmi gölgeleme koşulları altında D&G, PSO ve GKO algoritmalarıyla maksimum güç takibi yapılmıştır. Bu algoritmalarla global maksimum güç noktasına ulaşabilme ve takip hızları açısından kıyaslama yapılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda MATLAB/SIMULINK programında FV dizi, DA-DA yükselten dönüştürücü devre, yük ve MGNT yönteminden oluşan bir sistem tasarlanmıştır. Şekil 6.1’de tasarlanan sistemin blok şeması verilmiştir.



Şekil 6.1. Tasarlanan sistemin blok şeması

Tasarımda kullanılacak olan FV dizi, yükselten DA-DA dönüştürücü ve D&G, PSO, GKO algoritmaları ve tasarlanan sistemin çalışacağı kısmi gölgeleme koşullarıyla ilgili teorik bilgiler önceki bölümlerde detaylı olarak anlatılmıştır. Bu bölümde ise tasarlanacak sistem elemanlarının parametreleri, konfigürasyonları ve benzetim sonuçları ile ilgili detaylar verilmiştir. Bu sistemde FV dizinin gerilim ve akım değerleri MGNT algoritmasına ve DA-DA yükselten dönüştürücüye giriş olarak verilmektedir. Kullanılan MGNT algoritması, maksimum güç noktasına karşılık gelen optimum görev döngüsü D 'yi üretmekte ve empedans eşleşmesi için DA-DA yükselten dönüştürücüye göndermektedir. Şekil 6.2’de ise tasarlanan sisteme ait MATLAB/SIMULINK modeli verilmiştir.

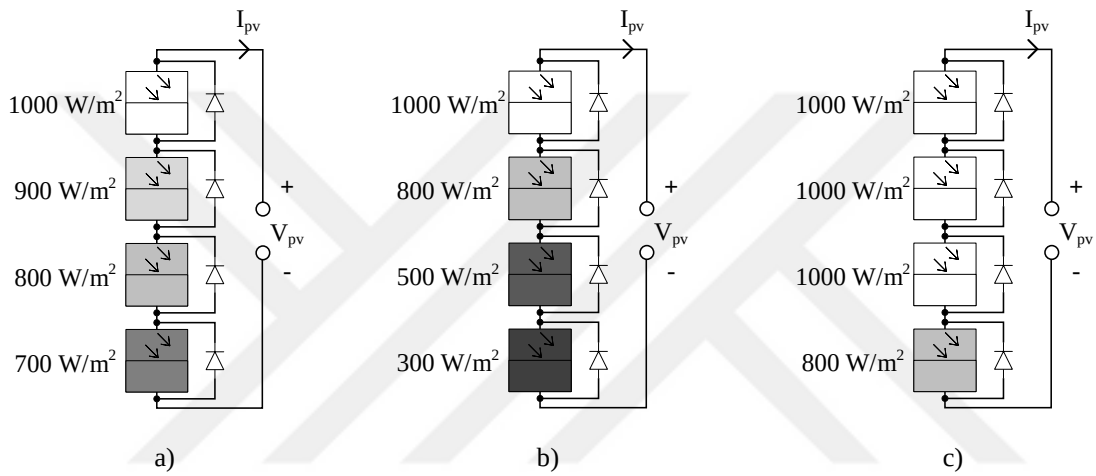


Şekil 6.2. Sistemin MATLAB/SIMULINK modeli

Sistem tasarlanırken kullanılan FV dizi dört adet FV panel birbirine seri olarak bağlanarak elde edilmiştir. Sistemde kullanılan FV panel Trina Solar TSM-260PA05.08 isimli paneldir. Bu panelin parametre değerleri Çizelge 6.1’de verilmiştir. Kullanılan FV panelin değişik ışınlım ve sıcaklık değerlerinde güç-gerilim ve akım-gerilim grafikleri Bölüm 3.8.1’de verilmiştir. Seri bağlı dört FV panel, MGNT algoritmalarının performansını daha iyi test edebilmek için üç farklı kısmi gölgeleme koşulunda konfigüre edilmiştir. Bu kısmi gölgeleme konfigürasyonları Şekil 6.3’de verilmiştir. Bu kısmi gölgeleme konfigürasyonlarında panellerin akım ve gerilim değerleri MGNT algoritmalarının giriş parametreleri olmaktadır.

Çizelge 6.1. Trina Solar TSM-260PA05.08 FV panelinin parametreleri

Parametre	Sembol	Değer	Birim
Maksimum güç	P_{max}	259,94	Watt (W)
Açık devre gerilimi	V_{oc}	37,90	Volt (V)
Maksimum güç noktasındaki gerilim	V_{mp}	31,70	Volt (V)
Kısa devre akımı	I_{sc}	8,67	Amper (A)
Maksimum güç noktasındaki akım	I_{mp}	8,20	Amper (A)



Şekil 6.3. (a) Birinci kısmi gölgeleme konfigürasyonu, (b) ikinci kısmi gölgeleme konfigürasyonu, (c) üçüncü kısmi gölgeleme konfigürasyonu

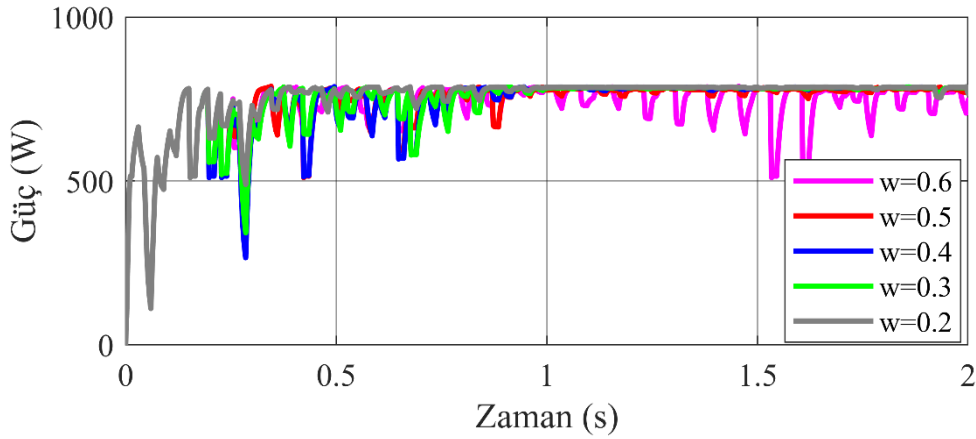
FV sistemlerde farklı DA-DA dönüştürücüler kullanılabilmektedir. Bu tez çalışmasında DA-DA yükselten dönüştürücü tercih edilmiştir. Çünkü bu dönüştürücüler FV gücün kullanım oranını artırmaktadır. D&G, PSO ve GKO algoritmaları sistemin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlamak için görev oranı değerini hesaplar ve darbe genişlik modülasyonu sayesinde elde edilen sinyali DA-DA yükselten dönüştürücüye uygular. Görev döngüsünü değiştirerek çıkışı kontrol etmek amacıyla kullanılan, güneş paneli ve yük arasında değişken empedans görevi gören DA-DA yükselten dönüştürücü devresi tasarlanırken kullanılan parametre değerleri ise Çizelge 6.2’de verilmiştir. DA-DA yükselten dönüştürücünün anahtar açık ve kapalıyken elektronik devreleri ve matematiksel denklemleri Bölüm 4.3’de detaylı olarak incelenmiştir.

Çizelge 6.2. DA-DA yükselten dönüştürücünün parametreleri

Parametre	Sembol	Değer	Birim
Frekans	f	50,0	kiloHertz (kHz)
Bobin	L	0,7	miliHenry (mH)
Kondansatör	C	300,0	mikroFarad (uF)
Yük	R	40,0	Ohm (Ω)

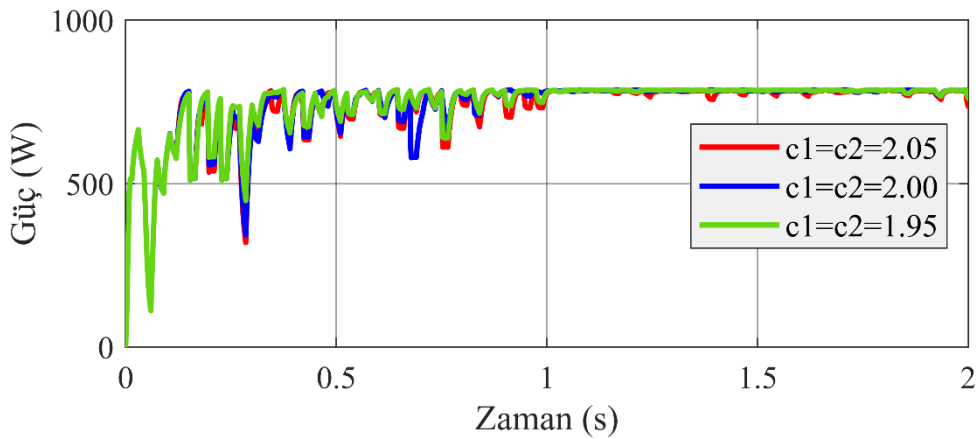
PSO ve GKO algoritmaları farklı gölgeleme koşullarında çalıştırılmadan önce, bu çalışmada kullanılacak gölgeleme koşullarından biri olan birinci kısmi gölgeleme konfigürasyonu referans olarak seçilmiştir. Algoritmalar, bu gölgeleme koşulu altında, sahip oldukları parametre değerleri değiştirilerek çalıştırılmıştır. Böylece algoritmaların en iyi sonuçları verdiği parametre değerlerinin bulunması ve diğer gölgeleme koşullarında da bu parametre değerleri ile çalışılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda PSO algoritması hızlandırma katsayıları olan ve sırasıyla parçacığın bilişsel bileşenini ve sosyal bileşenini etkileyen $c1$ ve $c2$ parametreleri, birinci kısmi gölgeleme konfigürasyonunda sabit tutulup, yerel ve global arama arasındaki dengeyi sağlamakta görev alan w eylemsizlik ağırlığı parametresi farklı değerlerde seçilerek çalıştırılmıştır. Bu koşullarda en iyi sonucu veren w değeri seçilmiştir. Daha sonra seçilen w değeri de sabit tutulup $c1$ ve $c2$ parametre değerleri değiştirilerek en iyi sonucu veren $c1$ ve $c2$ değerleri seçilmiştir. Bu karşılaştırma çalışmaları sonucu elde edilen en iyi parametre değerleri tüm gölgeleme koşullarında her üç algoritma da kıyaslanırken kullanılmıştır.

PSO algoritmasının eylemsizlik ağırlığını ifade eden w parametresi, birinci kısmi gölgeleme koşulu altında, $c1$ ve $c2$ bileşenleri 2,00 değerinde sabit tutularak; 0,2 değerinden 0,6 değerine kadar 0,1 aralıklarla değiştirilerek çalıştırılmıştır. Çeşitli w değerlerinin simülasyonundan elde edilen FV çıkış eğrisi sonuçları Şekil 6.4'deki grafikte verilmiştir. Bu değerler arasında en az dalgalanmayla en kısa sürede doğru sonuca $w = 0,3$ durumunda ulaşılmıştır.



Şekil 6.4. PSO Algoritması $c1 = c2 = 2,00$ iken w parametresinin karşılaştırılması

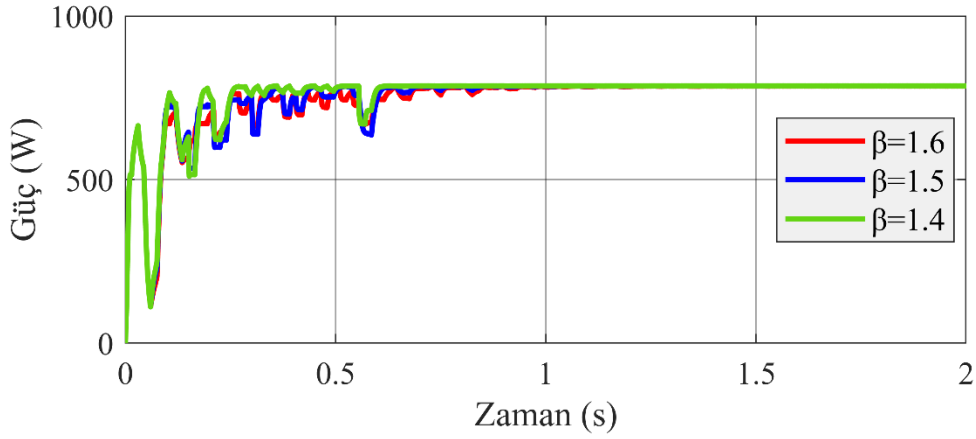
PSO algoritması yine birinci kısmi gölgeleme koşulu altında, $w = 0,3$ değerinde sabit tutularak; $c1$ ve $c2$ hızlandırma katsayıları 1,95; 2,00 ve 2,05 değerlerinde seçilip; 0,05 oranında değiştirilerek simüle edilmiş ve FV güç eğrileri Şekil 6.5’de incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda PSO algoritması en az dalgalanmayla en doğru sonuca $c1$ ve $c2$ parametreleri 2,00 olarak seçili iken ulaşmıştır. Ayrıca literatürde yer alan çalışmalarda da hızlandırma katsayılarının genellikle $c1 = c2 = 2$ seçilmesinin iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.



Şekil 6.5. PSO Algoritması $w = 0,3$ iken $c1$ ve $c2$ parametrelerinin karşılaştırılması

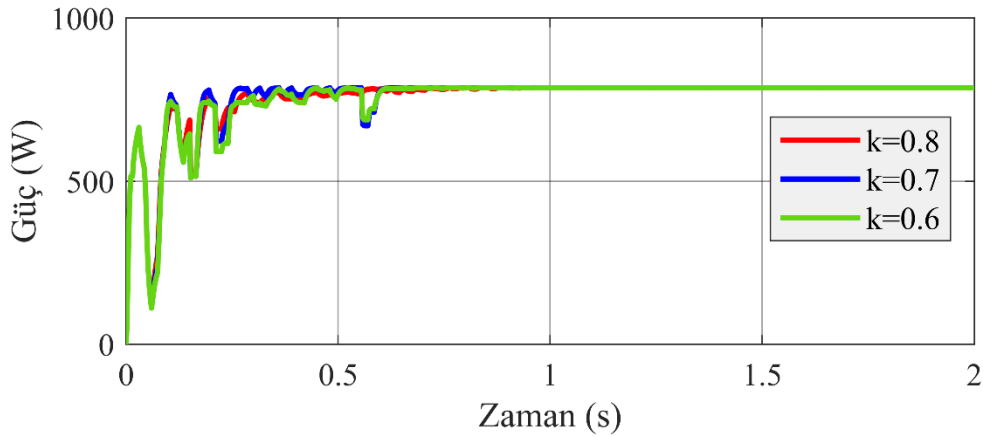
GKO algoritması için de en uygun parametre değerleri seçilirken yapılan çalışmalar birinci kısmi gölgeleme konfigürasyonunda gerçekleştirilmiştir.

GKO algoritmasının κ katsayısı 0,7 değerinde sabit tutularak; β parametresi, 1,4; 1,5 ve 1,6 değerlerinde seçilip çalıştırılarak FV güç eğrileri Şekil 6.6' da izlenmiştir. Bu çalışma sonucunda takip zamanı ve doğruluğu açısından en uygun değer olarak 1,4 değeri seçilmiştir.



Şekil 6.6. GKO Algoritması β parametresinin karşılaştırılması

GKO algoritmasının κ katsayısı seçilirken ise 1,4 olarak belirlenen β parametresi değeri sabit tutulup κ katsayısı 0,1 adım aralıklarıyla 0,6; 0,7 ve 0,8 değerlerinde değiştirilerek FV güç eğrisi Şekil 6.7'de izlenmiştir. Bu çalışma sonucunda ise en uygun değer olarak 0,7 değeri seçilmiştir.



Şekil 6.7. GKO Algoritması κ karşılaştırması

Bu çalışmada kullanılan tüm algoritmalar için seçilen parametre değerleri Çizelge 6.3'de özetlenmiştir.

Çizelge 6.3. D&G, PSO, GKO algoritmalarının parametreleri

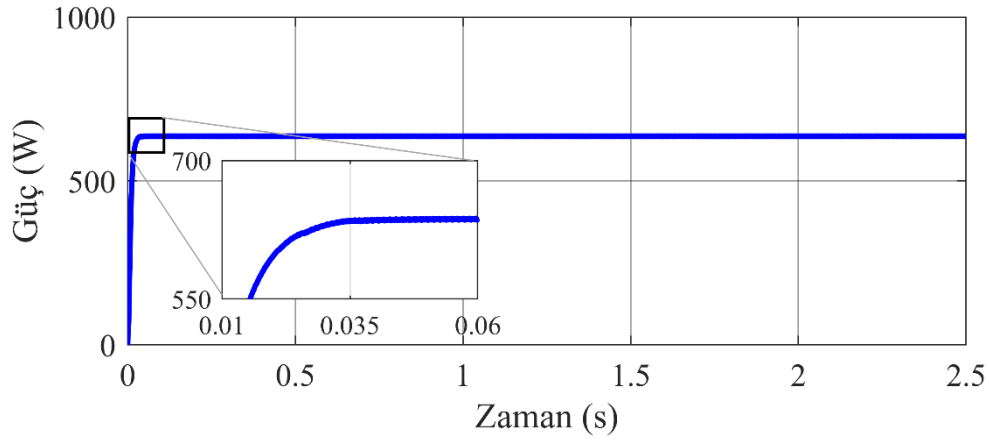
D&G	PSO	GKO
$\Delta D = 0,01$	$c1 = 2,0$	$p_a = 0,3$
—	$c2 = 2,0$	$\beta = 1,4$
—	$w = 0,3$	$\kappa = 0,7$

6.1. Birinci Kısmi Gölgeleme Konfigürasyonu Çalışması

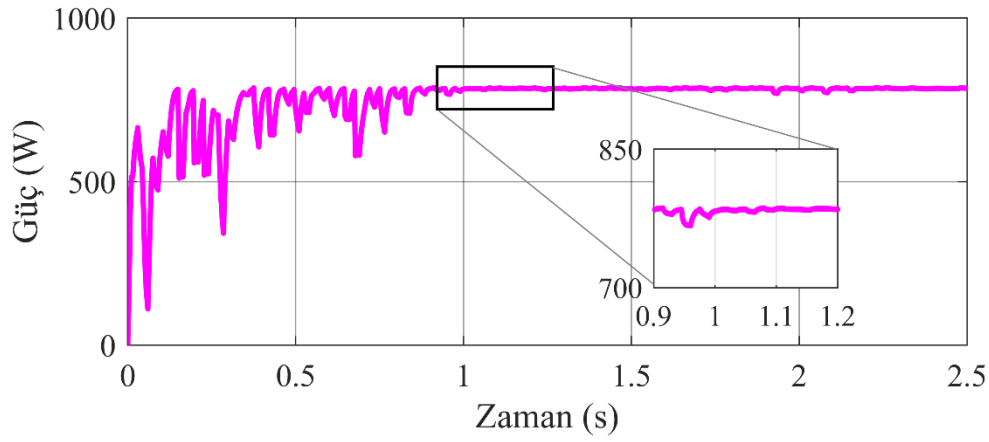
Birinci kısmi gölgeleme konfigürasyonda algoritmaların güç-zaman grafikleri karşılaştırıldığında D&G algoritmasının 0,05 saniyede yerel maksimum güç noktasına takıldığı ve global maksimum güç noktasına ulaşamadığı görülmüştür. Global maksimum güç noktasını yakalama konusunda PSO algoritması ve GKO algoritması, D&G algoritmasına göre daha iyi bir sonuç elde etmiştir. PSO algoritmasının 1,12 saniyede ve GKO algoritmasının 0,63 saniyede global maksimum güç noktasına ulaştığı tespit edilmiştir. Bu kısmi gölgeleme konfigürasyonunda GKO algoritması PSO' dan daha hızlı biçimde global maksimum güç noktasına ulaşmıştır. Çünkü GKO algoritması Lévy dağılımını kullanmaktadır bu da global maksimum güç noktasına ulaşırken takip süresini kısaltmaya yardımcı olmaktadır. D&G algoritması 637,0 W, PSO algoritması 785,2 W ve GKO algoritması 786,9 W değerlerine ulaşmıştır. Çizelge 6.4'de birinci kısmi gölgeleme konfigürasyonunda çalıştırılan D&G, PSO ve GKO algoritmalarının güç, gerilim, akım ve takip zamanı değerleri verilmiştir. Şekil 6.8'de ise birinci kısmi gölgeleme konfigürasyonunda çalıştırılan D&G, PSO ve GKO algoritmalarının güç-zaman grafikleri verilmiştir.

Çizelge 6.4. Birinci gölgeleme konfigürasyonunda algoritmaların MGNT çıktıları

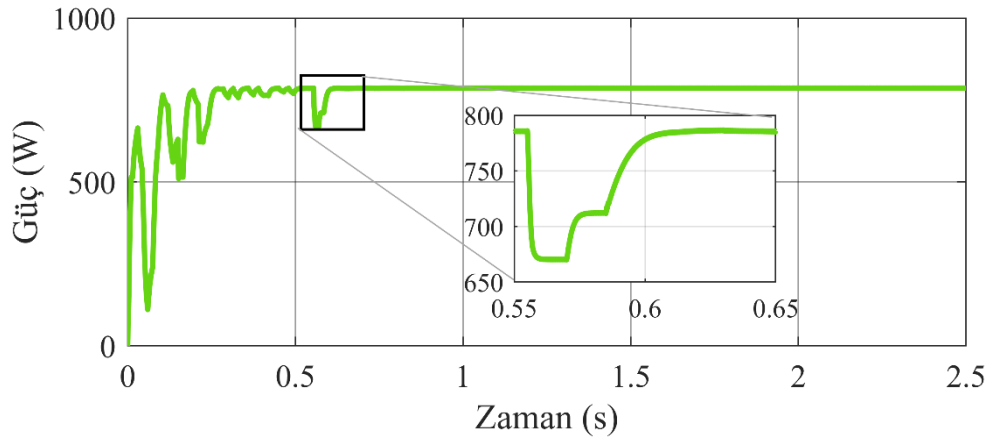
Algoritma	Güç (W)	Gerilim (V)	Akım (A)	Takip Zamanı (s)
D&G	637,0	159,6	3,990	0,05
PSO	785,2	177,2	4,431	1,12
GKO	786,9	177,4	4,435	0,63



a) D&G



b) PSO



c) GKO

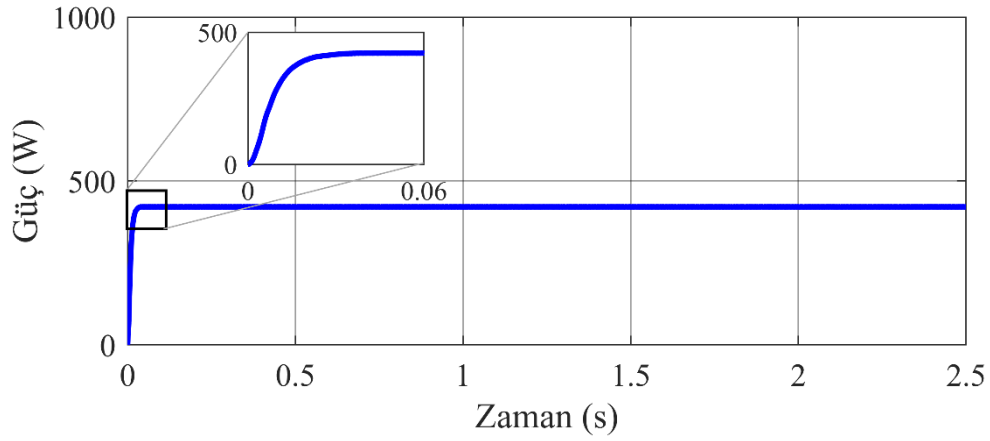
Şekil 6.8. Birinci konfigürasyonda (a) D&G, (b) PSO, (c) GKO algoritmalarının güç-zaman grafikleri

6.2. İkinci Kısmi Gölgeleme Konfigürasyonu Çalışması

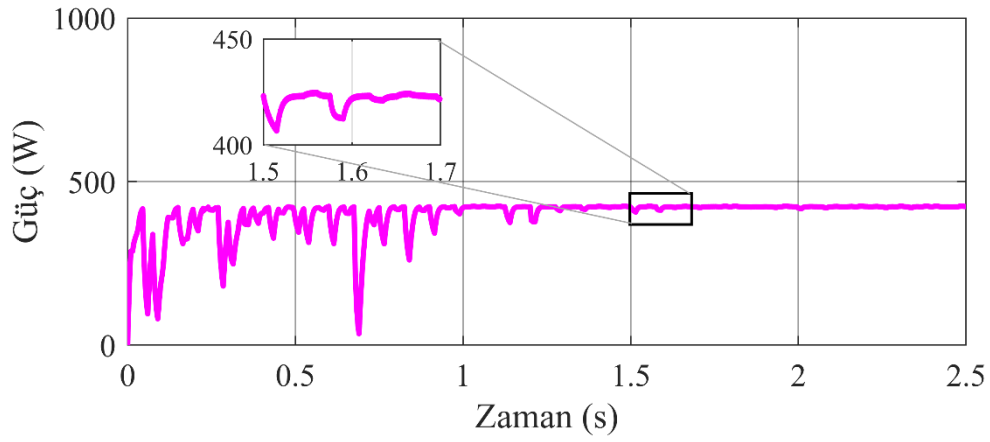
İkinci kısmi gölgeleme konfigürasyonunda algoritmalar karşılaştırıldığında D&G algoritmasının 0,04 saniyede global maksimum güç noktasına yaklaştığı ve birinci gölgeleme konfigürasyonuna göre daha iyi bir performans sergilediği görülmüştür. PSO algoritmasının 1,74 saniyede ve GKO algoritmasının 0,54 saniyede global maksimum güç noktasına ulaştığı görülmüştür. Bu gölgeleme konfigürasyonunda da GKO algoritması PSO algoritmasından daha iyi bir performans sergilemiş ve daha hızlı bir şekilde global maksimum güç noktasına ulaşmıştır. D&G algoritması 421,1 W, PSO algoritması 423,3 W ve GKO algoritması 425,4 W değerlerine ulaşmıştır. Çizelge 6.5’de ikinci kısmi gölgeleme konfigürasyonunda çalıştırılan D&G, PSO ve GKO algoritmalarının güç, gerilim, akım ve takip zamanı değerleri verilmiştir. Şekil 6.9’da ise ikinci kısmi gölgeleme konfigürasyonunda çalıştırılan D&G, PSO ve GKO algoritmalarının güç-zaman grafikleri verilmiştir.

Çizelge 6.5. İkinci gölgeleme konfigürasyonunda algoritmaların MGNT çıktıları

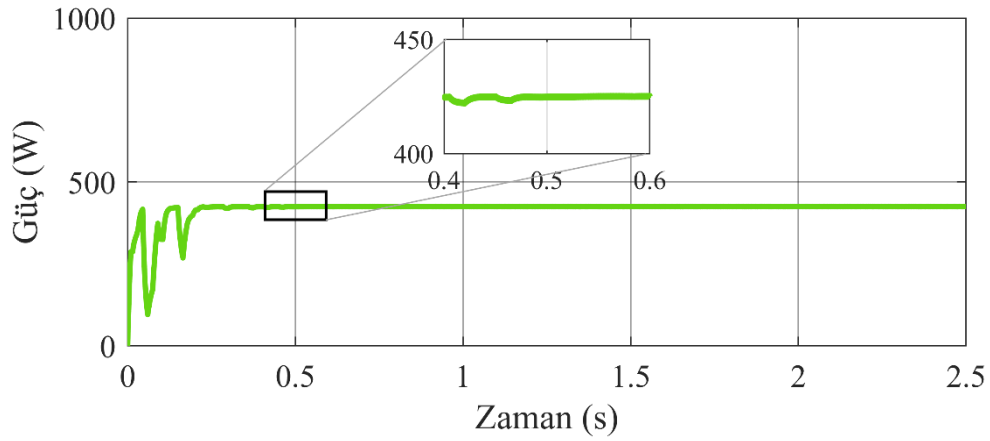
Algoritma	Güç (W)	Gerilim (V)	Akım (A)	Takip Zamanı (s)
D&G	421,1	129,8	3,245	0,04
PSO	423,3	130,1	3,253	1,74
GKO	425,4	130,4	3,261	0,54



a) D&G



b) PSO



c) GKO

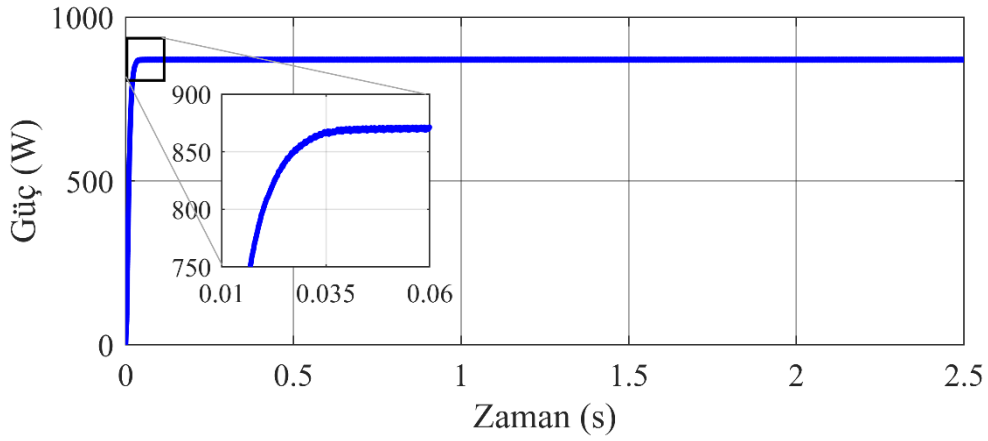
Şekil 6.9. İkinci konfigürasyonda (a) D&G, (b) PSO, (c) GKO algoritmalarının güç-zaman grafikleri

6.3. Üçüncü Kısmi Gölgeleme Konfigürasyonu Çalışması

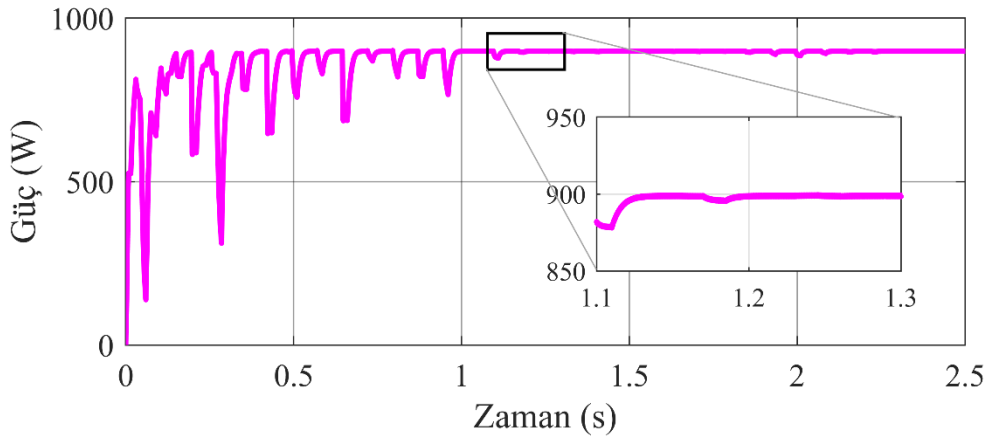
Üçüncü kısmi gölgeleme konfigürasyonunda algoritmalar karşılaştırıldığında D&G algoritmasının 0,06 saniyede yerel maksimum güç noktasına takıldığı ve global maksimum güç noktasına ulaşamadığı görülmüştür. Diğer iki konfigürasyonda olduğu gibi bu konfigürasyonda da PSO ve GKO algoritması D&G algoritmasından daha iyi bir performans sergilemiş ve yerel maksimum güç noktalarına takılmayıp global maksimum güç noktasına ulaşmayı başarmıştır. PSO algoritmasının 1,22 saniyede ve GKO algoritmasının 0,63 saniyede global maksimum güç noktasına ulaştığı görülmüştür. Bu gölgeleme konfigürasyonunda da GKO algoritması PSO' dan daha hızlı bir biçimde global maksimum güç noktasına ulaşmıştır. D&G algoritması 870,7 W, PSO algoritması 899,2 W ve GKO algoritması 899,5 W değerlerine ulaşmıştır. Çizelge 6.6'da üçüncü kısmi gölgeleme konfigürasyonunda çalıştırılan D&G, PSO ve GKO algoritmalarının güç, gerilim, akım ve takip zamanı değerleri verilmiştir. Şekil 6.10'da ise üçüncü kısmi gölgeleme konfigürasyonunda çalıştırılan D&G, PSO ve GKO algoritmalarının güç-zaman grafikleri verilmiştir.

Çizelge 6.6. Üçüncü gölgeleme konfigürasyonunda algoritmaların MGNT çıktıları

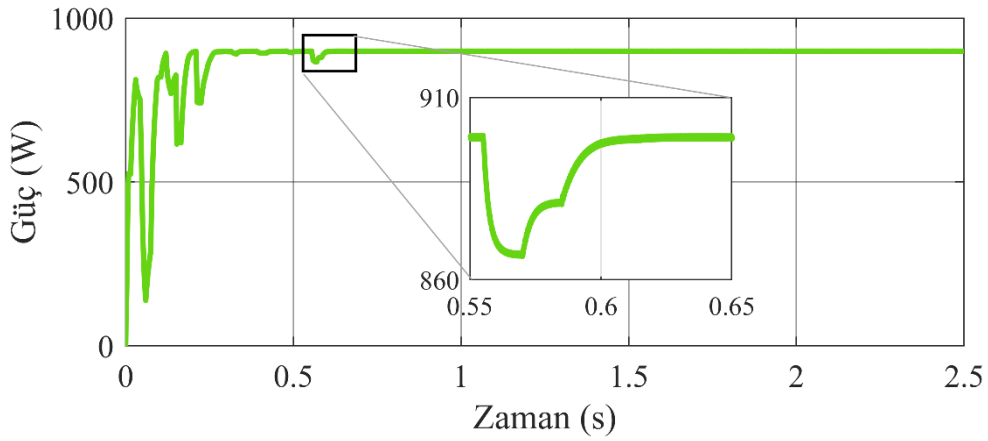
Algoritma	Güç (W)	Gerilim (V)	Akım (A)	Takip Zamanı (s)
D&G	870,7	186,6	4,665	0,06
PSO	899,2	189,7	4,741	1,22
GKO	899,5	189,7	4,742	0,63



a) D&G



b) PSO



c) GKO

Şekil 6.10. Üçüncü konfigürasyonda (a) D&G, (b) PSO, (c) GKO algoritmalarının güç-zaman grafikleri

Çizelge 6.7’de üç farklı kısmi gölgeleme konfigürasyonunda çalıştırılan D&G, PSO ve GKO algoritmalarının güç, gerilim, akım ve takip zamanı açısından kıyaslandığı tablo verilmiştir. Birinci konfigürasyonda seri bağlı dört panel arasındaki ışınlım farkı birbirinden eşit oranda farklıyken PSO algoritması diğer konfigürasyonlardaki takip süresine kıyasla daha kısa bir zamanda global maksimum güç noktasına ulaşmıştır. PSO algoritması en kötü performansını ise paneller arasındaki ışınlım farkının değişken olduğu ikinci konfigürasyonda sergilemiştir. GKO algoritması, paneller arasındaki ışınlım farkının eşit olduğu konfigürasyonda ve kısmi gölgelemenin diğer konfigürasyonlara oranla daha az olduğu üçüncü konfigürasyonda aynı sürede global maksimum güç noktasına ulaşmıştır. Ayrıca GKO algoritması ikinci konfigürasyonda diğer konfigürasyonlardaki performansına oranla daha iyi bir performans elde etmiştir. D&G algoritması ise birinci ve üçüncü gölgeleme konfigürasyonlarında diğer algoritmalarla kıyasla daha kısa sürede ama doğruluğu olmayan yerel bir maksimum güç noktasına takılmış ve başarısız olmuştur. Sadece ikinci gölgeleme konfigürasyonunda global maksimum güç noktasına yaklaşabilmiştir.

Çizelge 6.7. Algoritmaların güç, gerilim, akım ve takip zamanı bakımından karşılaştırma tablosu

Gölgeleme	Algoritma	Güç (W)	Gerilim (V)	Akım (A)	Takip Zamanı (s)
1000 W/m ²	D&G	637,0	159,6	3,990	0,05
900 W/m ²	PSO	785,2	177,2	4,431	1,12
800 W/m ²	GKO	786,9	177,4	4,435	0,63
700 W/m ²	D&G	421,1	129,8	3,425	0,04
1000 W/m ²	PSO	423,3	130,1	3,253	1,74
800 W/m ²	GKO	425,4	130,4	3,261	0,54
500 W/m ²	D&G	870,7	186,6	4,665	0,06
300 W/m ²	PSO	899,2	189,7	4,741	1,22
1000 W/m ²	GKO	899,5	189,7	4,742	0,63
1000 W/m ²					
1000 W/m ²					
1000 W/m ²					
800 W/m ²					

Anlamlı istatistiksel bir karşılaştırma yapabilmek için PSO ve GKO algoritmaları 30 defa çalıştırılmıştır. Algoritmaların performansını ölçmek için ortalama değerler ve ilgili standart sapmaları kullanılmıştır. Her bir kısmi gölgeleme konfigürasyonu için iki algoritmanın da izleme sonuçlarından elde edilen ortalama değer ve standart sapma değerleri Çizelge 6.8’de verilmiştir. Bu istatistiksel çalışma sonucunda PSO ve GKO algoritmaları sıfıra çok yakın bir standart sapma değeriyle yüksek bir doğruluğa ulaşmıştır.

Çizelge 6.8. PSO ve GKO algoritmalarının istatistiksel sonuçları

Algoritma	Gölgeleme Konfigürasyonu (W/m^2)	Ortalama Değer (W)	Standart Sapma
PSO	1000 900 800 700	785,2	$3,47 \times 10^{-13}$
	1000 800 500 300	423,3	$3,01 \times 10^{-26}$
	1000 1000 1000 800	899,2	$4,62 \times 10^{-13}$
GKO	1000 900 800 700	786,9	$2,31 \times 10^{-13}$
	1000 800 500 300	425,4	$2,31 \times 10^{-13}$
	1000 1000 1000 800	899,5	0

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında kısmi gölgelenme koşulları altında FV sistemlerin MGNT işlemini daha verimli hale getirebilmek için MATLAB/SIMULINK programında bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen sistem üzerinde geleneksel algoritmalarından D&G, metasezgisel algoritmalarından ise PSO ve GKO algoritmaları seçilerek FV güç, takip zamanı ve doğruluğu bakımından birbiriyle kıyaslanmıştır. Üç algoritma da birbirine seri bağlı dört FV panel ve DA-DA yükselten dönüştürücü ile üç değişik kısmi gölgeleme konfigürasyonunda çalıştırılmıştır.

Ayrıca bu tez çalışmasında kullanılan metasezgisel algoritmalar, sahip oldukları parametreler farklı değerlerde seçilip belirlenen kısmi gölgeleme koşulu altında, simülasyon ortamında çalıştırılmıştır. Bu algoritmalar elde edilen FV güç eğrileri üzerinde takip zamanları ve doğrulukları açısından kıyaslanmış ve en uygun parametre değerleri seçilmiştir. Özellikle GKO algoritmasında seçilen parametre değerleri, daha önce MGNT çalışmalarında kullanılan parametre değerlerinden farklıdır. Dolayısıyla bu parametre değerleriyle çalıştırılan algoritmadan elde edilen sonuçlar literatüre önemli bir katkı sağlamıştır. Algoritmalar seçilen parametre değerlerinde, belirlenen diğer kısmi gölgeleme koşullarında da çalıştırılarak elde edilen sonuçlar literatüre kazandırılmıştır.

Benzetim çalışmalarının sonucunda iki farklı kısmi gölgeleme konfigürasyonunda da D&G algoritması yerel bir maksimum güç noktasına takılmış ve global maksimum güç noktasının bulunmasında başarısız olmuştur. Bu gölgeleme konfigürasyonlarından ikincisinde ise global maksimum güç noktasına yaklaşabilmiştir. Metasezgisel algoritmalarından PSO ve GKO algoritmaları ise global maksimum güç noktasına ulaşma konusunda D&G algoritmasına göre daha başarılı olmuştur. PSO ve GKO algoritmaları birbiriyle karşılaştırıldığında ise GKO algoritmasının PSO' dan daha hızlı bir biçimde global maksimum güç noktasına ulaştığı görülmüştür.

PSO ve GKO algoritmalarının performansını daha iyi değerlendirebilmek adına her iki algoritma da tüm gölgeleme konfigürasyonlarında 30 defa çalıştırılmış ve elde edilen her sonucun ortalama değer ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır.

Bu istatistiksel çalışmalar sonucunda her iki algoritmanın da hesaplanan ortalama değerleri her bir konfigürasyonda 30 defa çalıştırıldığında elde edilen sonuçlarla aynı çıkmıştır. Böylece algoritmaların yüksek bir doğrulukta çalıştığı görülmüştür. Ayrıca PSO ve GKO algoritmaları sıfıra çok yakın bir standart sapma değeri elde ederek yüksek bir doğruluğa ulaşmıştır.

En iyi MGNT yönteminin seçilmesi konusu hala açık bir konudur. Bu tez çalışmasında yapılan literatür incelemesi ve simülasyon çalışması sonuçları, FV sistem sektöründe çalışan araştırmacılar için yararlı bir kaynak işlevi görecek ve uygun bir MGNT yönteminin seçimi için referans sağlayacaktır. İlerleyen aşamalarda tasarlanan sistemin GKO algoritması kullanılarak ve gerçek zamanlı verilerle çalıştırılarak farklı panel modelleri için verim analizlerinin gerçekleştirilmesi öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ahmed, J. and Salam Z. (2013). *A Soft Computing MPPT for PV System Based on Cuckoo Search Algorithm*. 4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives, 558-562.
- Akdeniz, H. Y. (2019). *Arduino Tabanlı MPPT Solar Şarj Kontrolörü Tasarımı ve Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 4-5, 26.
- Alqarni, M. A. (2016). *A high efficiency photovoltaic inverter system configuration with maximum power point tracking*, Doktora Tezi, Brunel University Design and Physical Science, London, 26-29.
- Anoop, K. and Nandakumar, M. (2018). *A Novel Maximum Power Point Tracking Method Based on Particle Swarm Optimization Combined with One Cycle Control*. 2018 International Conference on Power, Instrumentation, Control and Computing (PICC), 1-6.
- Ardağ, Y. (2012). *Güneş Pili Karakteristiklerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli, 4-7, 23.
- Asumda, J. A. (2016). *A Comparative Study of the Most Utilized Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Power Systems*, Yüksek Lisans Tezi, North Caroline A&T State University Electrical and Computer Engineering, Greensboro, 21-23.
- Atıcı, K. (2019). *Fotovoltaik Sistemler İçin Bozkurt Optimizasyonu Yöntemi Tabanlı En Yüksek Güç Noktası İzleme Algoritması Tasarımı ve Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 12-14, 17-18.
- Atici, K., Sefa, İ. and Altin, N. (2019). *Grey Wolf Optimization Based MPPT Algorithm for Solar PV System with SEPIC Converter*. The 4th International Conference on Power Electronics and their Applications (ICPEA), 1-6.
- Ayas, S., Doğan, H., Gedikli, E. and Ekinci, M. (2018). *Sürü Zekâsı Optimizasyon Algoritmaları Tabanlı Mikroskobik Görüntü Segmentasyonu*. *Akıllı Sistemler ve Uygulamaları Dergisi*, 1(2), 291-297.
- Aydoğan, D. (2019). *PSO Tabanlı Maksimum Güç Noktası Takip Algoritmasının Geliştirilmesi ve Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Nevşehir, 6-7, 13, 26-29, 31-32.
- Azab, M. (2010). *Optimal Power Point Tracking for Stand-alone PV System Using Particle Swarm Optimization*. 2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 969-973.

- Azharuddin, M. (2012). *Effects of Shading on the Output Power of Photovoltaic Arrays*, Yüksek Lisans Tezi, Purdue University, Hammond, Indiana, 54.
- Baba, A. O., Liu, G. and Chen, X. (2020). Classification and Evaluation Review of Maximum Power Point Tracking Methods. *Sustainable Future*, 2, 1-28.
- Bakım, S. (2016). *Yeni Bir P&O Tabanlı MPPT Algoritması Tasarımı ve Performansının Testi*, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 15-16.
- Başoğlu, M. E. (2013). *Güneş Enerji Sistemlerinde Kullanılan Maksimum Güç Noktası İzleyicili Yükseltici DA-DA Dönüştürücü Analizi ve Gerçekleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 12-14.
- Bayram, M. (2019). *Fotovoltaik Güç Sistemlerinde Maksimum Güç Noktasının Gerçek Zamanlı İzlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Bursa Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, 46-47.
- Ceylan, İ. ve Gürel, A. E. (2018). *Güneş Enerjisi Sistemleri ve Tasarımı*. (İkinci Baskı). Bursa: Dora Basım-Yayım, 14, 32-33.
- Chaieb, H. ve Sakly, A. (2015). *Comparison Between P&O and P.S.O Methods Based MPPT Algorithm for Photovoltaic Systems*. 2015 16th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA), 694-699.
- Chakrabarti, T., Manna, S., Sharma, U., Chakrabarti, T. and Sarkar, S.K. (2015). *Design and Intelligent Power Point Tracking (MPPT) Technique Based on Swarm Intelligence Based Algorithms*. 2015 International Conference on Power and Advanced Control Engineering (ICPACE), 1-5.
- Chong, B. V. P. (2010). *Modelling and Control of Integrated Photovoltaic-Module and Converter Systems for Partial Shading Operation Using Artificial Intelligence*, Doktora Tezi, The University of Leeds, Leeds, UK, 46-48.
- Çalışkan, E. (2011). *Fotovoltaik Sistemler için DSP Temelli Güneş Çeviricisi Tasarımı ve Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 13-16.
- Çekinir, S. (2012). *Fotovoltaik Güç Sistemlerinin Modellenmesi ve Benzetimi*, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir, 32-34.
- Çelik, Ö. (2015). *A Novel Hybrid MPPT Method for Grid Connected Photovoltaic Systems with Partial Shading Conditions*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova University Institute of Natural and Applied Sciences, Adana, 24-26.

- Dhivya, P. and Kumar, R. (2017). *MPPT Based Control of Sepic Converter Using Firefly Algorithm for Solar PV System under Partial Shaded Conditions*. 2017 International Conference on Innovations in Green Energy and Healthcare Technologies (IGEHT), 1-8.
- Durusu, A. (2011). *Fotovoltaik Güneş Enerji Sistemlerinde Kullanılan Maksimum Güç Noktası Takip Ediciler için Farklı Algoritmaların Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 15-16, 21-22.
- Dwivedi, M., Mehta, G., Iqbal, A. and Shekhar, H. M. (2017). *Performance Enhancement of Solar PV System Under Partial Shaded Condition Using PSO*. 2017 8th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT), 1-7.
- Eid, M. M. (2015). *Novel Intelligent Control Techniques in Solar-based Energy Harvesting Systems*, Yüksek Lisans Tezi, University of Ontario Institute of Technology, Oshawa, Ontario, Canada, 20.
- Erdem, Z. (2009). *Maksimum Güç İzleyicisi Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, 48-51, 55-63.
- Elewa, A., Elkholy, M. M. and El-arini M. (2017). *Adaptive MPPT for PV Systems under Partial Shadow Condition and Different Loads Using Advanced Optimization Techniques*. 2017 Nineteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON), 152-162.
- Esram, T. and Chapman, P. L. (2007, May). Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 22(2), 439-449.
- Eshtaiwi, S. M. M. (2019). *New Three Phase Photovoltaic Energy Harvesting System for Generation of Balanced Voltages in Presence of Partial Shading, Module Mismatch, and Unequal Maximum Power Points*, Doktora Tezi, The University of Kansas, Electrical Engineering and Computer Science, Lawrence, 23-25.
- Fang, G. J. and Lian, K.L. (2017). *A Maximum Power Point Tracking Method Based on Multiple Perturb-and-Observe Method for Overcoming Solar Partial Shaded Problems*. 2017 6th International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP), 68-73.
- Hadji, S., Krim, F. and Gaubert, J. P. (2011). Development of an Algorithm of Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Systems Using Genetic Algorithms. *International Workshop on Systems, Signal Processing and their Applications, WOSSPA*, 1-4.
- Hart, D.W. (2010), *Power Electronics* (First Edition), McGraw-Hill Science/Engineering/Math, Indiana: McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 199-202, 212-214, 221-223.

- Ho, K. C., Lin, C. C., Bagci, F. S., Wang, S. C., Liu, Y. H. and Cheng, Y. S. (2019). *Comparison of Swarm Intelligence Based Global Maximum Power Point Tracking Methods for Photovoltaic Generation System*. 2019 10th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE 2019 - ECCE Asia), 1-6.
- Ishaque, K., Salam, Z., Amjad, M. and Mekhilef, S. (2012). An Improved Particle Swarm Optimization (PSO)-based MPPT for PV with Reduced Steady-state Oscillation. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27(8), 3627-3638.
- Khallaf, M. (2019). *Enhanced MPPT Controllers for Smart Grid Applications*, Yüksek Lisans Tezi, Rochester Institute of Technology, Dubai, United Arab Emirates, 19-23.
- Kalaam, R. N. A. (2015). *Controller Parameter Optimization for Photovoltaic System Using Metaheuristic Algorithm*, Yüksek Lisans Tezi, The Petroleum Institute Electrical Engineering, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 71-74.
- Kandemir, E. (2015). *Tak-üret Modunda Tek Dönüştürücülü Maksimum Verimde Çalışan Şebeke Bağımlı PV Panel Sistemi Tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antalya, 5-6.
- Karaaslan, A. ve Gezen M. (2017). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Değerlendirilmesi Türkiye Örneği. (Birinci Baskı). Bursa: Ekin Kitabevi, 3-4, 31.
- Keskin, T. (2019). *MPPT Algoritmalarının Gerçek Zamanlı Olarak Karşılaştırılması ve PV Sisteme Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Isparta, 16-18, 21-23.
- Kırcıoğlu, O. (2017). *Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleyebilen İki Fazlı Sepic Dönüştürücü Tasarımı ve Uygulanması*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 12-13.
- Koad, R. B. A, Zobaa, A. F. and El-Shahat, A. (2017). A Novel MPPT Algorithm Based on Particle Swarm Optimization for Photovoltaic Systems. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 8(2), 468-476.
- Koç, E. ve Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makine*, 54(639), 32-44.
- Kollimala, S. K. and Mishra, M. K. (2013). *Adaptive Perturb & Observe MPPT Algorithm for Photovoltaic System*. 2013 IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI), 42-47.
- Kumar, N., Hussain, I., Singh, B. and Panigrani, B. K. (2018). Normal Harmonic Search Algorithm Based MPPT for Solar PV System and Integrated with Grid Using Reduced Sensor Approach and PNKLMs Algorithm. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 54(6), 6343-6352.
- Liu, G., Zhu, J., Tao, H., Wang, W. and Blaabjerg, F. (2019, August). *A MPPT Algorithm Based on PSO for PV Array Under Partially Shaded Condition*. 2019 22nd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 1-5.

- Mirjalili, S., Mirjalili, S.M. and Lewis, A. (2014). Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software*, 69, 46-61.
- Mirjalili, S. and Lewis, A. (2016). The Whale Optimization Algorithm. *Advances in Engineering Software*, 95, 51-67.
- Moamaei, P. (2012). *Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Applications by Using Two-level DC-DC Boost Converter*, Southern Illionis University Electrical and Computer Engineering, Illionis, 6-7.
- Mohanty, S., Subudhi, B. and Ray, P.K. (2016). A New MPPT Design Using Grey Wolf Optimization Technique for Photovoltaic System Under Partial Shading Conditions. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 7(1), 181-188.
- Nakir, İ. (2007). *Fotovoltaik Güneş Panellerinde GTS ve MGTS Kullanarak Verimliliğin Arttırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 8-9, 22-24.
- Nigam, A. and Gupta, A.K. (2016). *Performance and Simulation Between Conventional and Improved Perturb&Observe MPPT Algorithm for Solar PV cell Using MATLAB/Simulink*. 2016 International Conference on Control, Computing, Communication and Materials (ICCCCM), 1-4.
- Nugraha, D.A., Lian, K.L. and Suwarno. (2019). A Novel MPPT Method Based on Cuckoo Search Algorithm and Golden Section Search Algorithm for Partially Shaded PV System. *Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering*, 42(3), 173-182.
- Okumuş, H. (2016). *Fotovoltaik Sistemlerin Elektrik Enerjisi Üretim Modeli*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Trabzon, 5-12.
- Ortaçtepe, Y. C. (2011). *Güneş Pillerinden Elektrik Üreten Bir Sistemin Analizi ve Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 8-11, 20-22.
- Öztürk, M., Paksoy, T. and Öztürk.M. (2018, Mayıs). Genetik Algoritmalar (GA) ile Nüfus Artışı Tahmini, *Türkiye Bilişim Vakfı Bilgisayar Bilimleri ve Mühendisliği Dergisi*, 11(1), 1-12.
- Özdemir, Ş. (2007). *Fotovoltaik Sistemler için Mikrodenetleyicili En Yüksek Güç Noktasını İzleyen Bir Konvertörün Gerçekleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 18-22, 30-38.
- Özgenç, B. and Altaş, İ. H. (2019). Implementation of A New Maximum Power Point Tracking Algorithm for Partially Shaded PV Systems. *2019 7th International Istanbul Smart Grids and Cities Congress and Fair (ICSG)*, 1-5.
- Pant, S. and Saini, R.P. (2019). *Comparative Study of MPPT Techniques for Solar Photovoltaic System*, 2019 International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON), 1-6.

- Peng, B. R., Ho, K. C. and Liu, Y. H., (2018). A Novel and Fast MPPT Method Suitable for Both Fast Changing and Partially Shaded Conditions. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65(4), 3240-3251.
- Rakotomananandro, F. F. (2011). *Study of Photovoltaic System*, Yüksek Lisans Tezi, The Ohio State University Electrical and Computer Science Program, Ohio, 43-53.
- Ramaden, A. and Smadi, I. A. (2019). *Partial Shading Detection and Global MPPT Algorithm for PV System*. 2019 IEEE Jordan International Joint Conference on Electrical Engineering and Information Technology (JEEIT), 1-6.
- Reisi, A. R., Moradi, M. H. and Jamasb, S. (2013). Classification and Comparison of Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic System: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 19, 433-443.
- Riby, J., Sheik, M.S. and Richu, Z. (2017). *Variable Step Size Perturb and Observe Mppt Algorithm for Standalone Solar Photovoltaic System*. 2017 IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing (INCOS), 1-6.
- Rocha, M.V., Sampaio, L. P. and Silva, S.A.O. (2019). *Comparative Analysis of ABC, Bat, GWO and PSO Algorithms for MPPT in PV Systems*. 2019 8th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), 1-6.
- Sabri, N. M., Rusop, M. and Puteh, M. (2013). A Review of Gravitational Search Algorithm. *International Journal of Advances in Soft Computing and its Applications*, 5(3), 1-40.
- Saha, D. (2015). *A GSA Based Improved MPPT System for PV Generation*. 2015 IEEE International Conference on Research in Computational Intelligence and Communication Networks (ICRCICN), 1-6.
- Salih, H. W., Wang, S. and Farhan, B. S. (2015). *A Novel GA-PI Optimized Controller for MPPT Based PV in a Hybrid PV-diesel Power System*. 2015 5th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), 1-6.
- Savrul, B. K. (2016). Enerji Ekonomisi: Türkiye'nin Enerji Sektörü ve Alternatif Enerji Kaynakları. (Birinci Baskı). Çanakkale: Dora Basım-Yayım, 4, 7, 15, 21.
- Sagonda, A.F. and Folly, K.A. (2019). Maximum Power Point Tracking in Solar PV Under Partial Shading Conditions Using Stochastic Optimization Techniques. *2019 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, Wellington, 1967-1974.
- Sawant, P. T. and Bhattar, C. L. (2016). *Optimization of PV System Using Particle Swarm Algorithm under Dynamic Weather Conditions*. 2016 IEEE 6th International Conference on Advanced Computing (IACC), 208-213.

- Sevim, C. (2019). *Enerji Teknolojileri ve Enerji Yatırım Projeleri*. (Birinci Baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık, 76, 80-83.
- Shahidul, S. (2011). *A Generalized Model of Grid Connected Photovoltaic System with Maximum Power Point Tracking Control*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Technical University Natural and Applied Science, İstanbul, 3-5.
- Sheraz, M., (2013). *Design and Implementation of Maximum Power Point Tracking Controller for Photovoltaic Systems*, Yüksek Lisans Tezi, King Fahd University of Petroleum & Minerals, Dhahran, 16, 25.
- Smida, M. B., Sakly, A. (2015). *Genetic Based Algorithm for Maximum Power Point Tracking (MPPT) for Grid Connected PV Systems Operating under Partial Shaded Conditions*. 2015 7th International Conference on Modelling, Identification and Control (ICMIC), 1-6.
- Sun, Y., Chen S., Xie, L., Hong, R. and Shen, H. (2014) Investigating the Impact of Shading Effect on the Characteristics of a Large-scale Grid-connected PV Power Plant in Northwest China. *International Journal of Photoenergy*, 1-9.
- Sundareswaran, K., Peddapati, S., Palani, S. (2014). MPPT of PV Systems under Partial Shaded Conditions Through a Colony of Flashing Fireflies. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 29(2), 463-472.
- Suryavanshi, R., Joshi, D. R. and Jangamshetti, S. H. (2012). *PSO and P&O Based MPPT Technique for SPV Panel under Varying Atmospheric Conditions*. 2012 International Conference on Power, Signals, Controls and Computation, 1-6.
- Teo, K. T. K., Lim, P. Y., Chua, B. L., Goh, H. H. and Tan, M. K. (2014). *Maximum Power Point Tracking of Partially Shaded Photovoltaic Arrays Using Particle Swarm Optimization*. 2014 4th International Conference on Artificial Intelligence with Applications in Engineering and Technology, 247-252.
- Turan, A. (2019). *Maksimum Güç Noktası İzleme Sistemine Sahip 500 Kw Gücünde Şebeke Bağlantılı bir Güneş Enerji Santralinde Kısmi Gölgelemenin Üretim Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 66-69.
- Ünlü, M. (2015). *Fotovoltaik Sistemler için Parçalı Gölgeleme Durumlarında Maksimum Güç Noktası İzleyebilen Şebeke Bağlantılı Yeni Bir Evirici Tasarımı ve Uygulaması*, Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 10, 21-25, 33-36.
- Verma, P., Mahajan, P. and Garg, R. (2017). Comparison of Intelligent and Conventional MPPT Algorithms for Photovoltaic System under Partially Shaded Conditions. *2017 Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering (RDCAPE)*, 1-6.
- Yang, X.S. (2010). *Nature-inspired Metaheuristic Algorithms*. (Second Edition). U.K.: University of Cambridge, LuniverPress, 111-114, 156-157, 130.

- Yasko, M. A. (2018). *Fotovoltaik Sistemlerde Düşürücü Tip DA-DA Dönüştürücülü Maksimum Güç Noktası İzleyicisinin Analizi, Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 5, 17, 29.
- Yiğit, A. ve Atmaca, İ. (2018). *Güneş Enerjisi Mühendislik Uygulamaları*. (İkinci Baskı). Bursa: Dora Basım-Yayım, 11, 179-180.
- Zan, B. (2006). *Bir Fotovoltaik Sistemden Optimal Gücün Sağlanması*, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale, 12-13.
- Zorlu, K. N. (2019). *Bulanık Mantık Kontrollü Maksimum Güç Noktası İzleyici Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 27-31.





GAZİ GELECEKTİR..