



**FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN BOZKURT OPTİMİZASYONU
YÖNTEMİ TABANLI EN YÜKSEK GÜÇ NOKTASI İZLEME
ALGORİTMASI TASARIMI VE UYGULAMASI**

Koray ATICI

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2019

Koray ATICI tarafından hazırlanan “FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN BOZKURT OPTİMİZASYONU YÖNTEMİ TABANLI EN YÜKSEK GÜÇ NOKTASI İZLEME ALGORİTMASI TASARIMI VE UYGULAMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. İbrahim SEFA

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Hamit ERDEM

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Başkent Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi. Orhan KAPLAN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 10/06/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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.

Koray ATICI

10/06/2019

FOTOVOLTAİK SİSTEMLER İÇİN BOZKURT OPTİMİZASYONU YÖNTEMİ
TABANLI EN YÜKSEK GÜÇ NOKTASI İZLEME ALGORİTMASI TASARIMI VE
UYGULAMASI
(Yüksek Lisans Tezi)

Koray ATICI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

İstenilen güç değerlerinde tasarlanabilmeleri, gürültü üretmemeleri ve coğrafyadan bağımsız olması gibi özelliklerle yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde fotovoltaik sistemler yaygınlaşmaktadır. Son yıllarda maliyetlerinin de önemli oranda düşmesi ile kullanım oranı daha da artmaktadır. PV modüllerin en önemli özelliklerinden birisi olan dönüşüm verimlerinin çalışma noktasına göre değişmesi nedeniyle modüllerden her an maksimum verim elde edilmesine imkân tanıyacak yöntemler üzerine çalışmalar yoğunlaşmıştır. Bu çalışmada, PV panellerin en yüksek verimde çalışmasını sağlamaya yönelik mevcut Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT) yöntemlerine karşı yeni bir MPPT yöntemi geliştirilmiştir. Bu amaçla son yıllarda tanıtılan kuvvetli bir optimizasyon algoritması olan Bozkurt Optimizasyon (GWO) algoritması maksimum güç noktası takibinin sağlanması için uyarlanmıştır. PV sistem tarafından üretilen DA enerjinin sisteme yüksek verimle aktarılması için bir DA-DA yükseltici çevirici tasarlanmıştır. PV modüllerden üretilen akım ve gerilim anlık olarak okunarak güç değeri hesaplanmakta ve geliştirilen GWO tabanlı MPPT yöntemiyle en yüksek güç noktası takip edilebilmektedir. Algoritma ile yükselten çeviricinin anahtarlama için gereken doluluk oranı hesaplanmaktadır. Yükseltici tip devre yapısı, PV modüller, GWO ve kıyaslama amaçlı kullanılan Değiştir ve Gözle ve Parçacık Sürü Optimizasyonu MPPT yöntemlerinin MATLAB/Simulink ortamında benzetimleri yapılarak sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Yapılacak çalışmada GWO algoritmasının diğer yöntemlere kıyasla daha hızlı ve kararlı sonuçlar vermesi beklenmektedir.

Bilim Kodu : 90522
Anahtar Kelimeler : Bozkurt Optimizasyonu, Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT),
Fotovoltaik Sistemler
Sayfa Adedi : 97
Danışman : Prof. Dr. İbrahim Sefa

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF GRAY WOLF OPTIMIZATION METHOD
BASED MAXIMUM POWER POINT TRACKING ALGORITHM FOR
PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

(M. Sc. Thesis)

Koray ATICI

GAZI UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

Photovoltaic systems in renewable energy sources are being widespread due to their advantages such as being designed in desired power values, not producing noise and being independent of geography. In recent years, with a significant reduction in their costs, the utilization rate is increasing. As one of the most important features of PV modules is their transformation efficiency according to the working point, it is concentrated on the methods that will allow maximum efficiency to be obtained from the modules at any time. In this study, a new MPPT method has been applied to the existing Maximum Power Point Tracking (MPPT) methods in order to ensure the highest efficiency of PV panels. For this purpose, Grey Wolf Optimization (GWO) algorithm, which is a strong optimization algorithm introduced in recent years, is adapted to provide maximum power point tracking. The DC-DC boost converter is designed for high-efficiency transfer of DC energy generated by the PV system. The current and voltage produced from PV modules are read out instantly and the power value is calculated and the maximum power point can be followed by the developed GWO-based MPPT method. The Duty Cycle is calculated for the switching of the boost converter which is by the algorithm. MATLAB / Simulink environment, amplifier type circuit structure, PV modules, GWO and designed for comparison purposes using perturb and observe and Particle Swarm Optimization MPPT methods were compared using the results. In this study, GWO algorithm is expected to give faster and more stable results compared to other methods.

Science Code : 90522
Key Words : Grey Wolf Optimization, Maximum Power Point Tracking
(MPPT), Photovoltaic Systems
Page Number : 97
Supervisor : Prof. Dr. İbrahim SEFA

TEŞEKKÜR

Çalışma süreçlerimde sabrını, emeklerini ve desteklerini esirgemeyen, yoğun iő yüklerine rağmen tezimin her aşamasında bilgi ve deneyimleriyle bana rehberlik ederek değerli zamanlarını ayıran ve deneyimlerini aktaran, danıőmanlarım Sayın Prof. Dr. İbrahim SEFA ve Sayın Doç. Dr. Necmi ALTIN'a sonsuz teőekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Hayatım boyunca yanımda olan, desteğini bir gün bile esirgemeyen, her zaman en iyiye ulaőmamız için emek veren sevgili aileme, azmiyle, sevgisiyle ve çalıőmalarıma kattığı istikrar ile her zaman yanımda olan sevgili eőim Dr. Kübra IŐGIN ATICI'ya sonsuz teőekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
RESİMLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvi
1. GİRİŞ	1
2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER	7
2.1. PV Panellerin Fiziksel Yapıları	7
2.2. Çalışma İlkesi ve Elektriksel Modeli	8
2.3. Karakteristik Özellikleri	14
2.3.1. Akım – gerilim karakteristiği	15
2.3.2. Sıcaklığın <i>I-V</i> karakteristiğine etkisi	15
2.4. Maksimum Güç İzleme Yöntemleri	17
2.4.1. Açık devre gerilimi	20
2.4.2. Kısa devre gerilimi	21
2.4.3. Look-up table metodu	22
2.4.4. Değiştir – gözle metodu	22
2.4.5. Artan iletkenlik metodu (IC)	23
2.4.6. Bulanık mantık metodu	26
2.4.7. Yapay sinir ağları	28

	Sayfa
2.4.8. Parçacık sürü optimizasyonu metodu	29
2.5. PV Panel Kullanım Alanları ve Maliyetleri	33
3. BOZKURT OPTİMİZASYON YÖNTEMİ VE MAKSİMUM GÜÇ TAKİBİNDE KULLANIMI	35
3.1. Bozkurt Optimizasyon Yöntemi Hakkında	35
3.2. Bozkurt Optimizasyon Modeli ve Algoritması	42
3.2.1. Hiyerarşik yapı	43
3.2.2. Avın sarılması	44
3.2.3. Avlanma	45
3.2.4. Saldırı ve av arayışı	46
3.2.5. Algoritma	46
4. BOZKURT OPTİMİZASYONU TABANLI MPPT YÖNTEMİ	49
5. SİSTEMİN MODELLENMESİ	57
5.1. Alt Sistemler	57
5.1.1. PV panel türü ve özellikleri	57
5.1.2. DA – DA yükseltici çevirici modeli ve tasarımı	58
5.1.3. Frekans ve doluluk oranı hesapları	60
5.2. Simülasyon Çıktıları	62
5.2.1. Bozkurt optimizasyonu tabanlı mppt çıktıları	62
5.2.2. Parçacık sürü optimizasyonu tabanlı mppt çıktıları	72
5.2.3. Değiştir ve gözle tabanlı mppt çıktıları	83
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	97

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. MPPT yöntemlerinin karşılaştırılması	19
Çizelge 2.2. Bir pv panelde kullanılan MPPT teknikleri karşılaştırılması	20
Çizelge 2.3. P&O algoritması referans değişimi	23
Çizelge 2.4. PV panel üzerinde ayrılan çalışma bölgelerinde bulanık mantık ile yapılan çıkarımlar	27
Çizelge 5.1. Değişken ışınım şartlarında MPPT tekniklerinin karşılaştırma sonuçları .	88
Çizelge 5.2. Değişken sıcaklık şartlarında MPPT tekniklerinin karşılaştırma sonuçları	88

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. <i>P</i> tipi yarıiletken yapısı	8
Şekil 2.2. <i>N</i> tipi yarıiletken yapısı	8
Şekil 2.3. Tek diyot modeli pv panel eşdeğer devre modeli	10
Şekil 2.4. Çift diyot modeli pv panel eşdeğer devre modeli	12
Şekil 2.5. PV çıkışını etkileyen faktörler	12
Şekil 2.6. Paralel bağlı pv modülleri için <i>P-V</i> eğrisi üzerindeki kısmi gölgeleme etkisi	13
Şekil 2.7. Seri bağlı pv modülleri için <i>P-V</i> eğrisi üzerindeki kısmi gölgeleme etkisi ...	13
Şekil 2.8. Seri paralel karışık bağlı pv modülleri için <i>P-V</i> eğrisi üzerindeki kısmi gölgeleme etkisi	13
Şekil 2.9. Bypass diyotu içeren bir pv panelin kısmi gölgeleme durumu	14
Şekil 2.10. PV panelin akım- gerilim ve güç gerilim karakteristikleri	15
Şekil 2.11. Sıcaklığın akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristiğine etkisi	16
Şekil 2.12. Işımanın akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristiğine etkisi	17
Şekil 2.13. MPPT kullanılan ve kullanılmayan çıkış güçlerinin karşılaştırılması	18
Şekil 2.14. MPPT blok şeması	19
Şekil 2.15. Sabit gerilim metodu akış diyagramı	21
Şekil 2.16. PV panel gücünün gerilime göre türev değişimi	24
Şekil 2.17. Artan iletkenlik algoritması akış diyagramı	25
Şekil 2.18. PV dizinin güç-gerilim eğrisi P&O yöntemi	26
Şekil 2.19. PV dizinin güç-gerilim eğrisi Bulanık Mantık yöntemi	27
Şekil 2.20. Yapay sinir ağı modeli	28
Şekil 2.21. Optimizasyon yöntem ve teknikleri	33
Şekil 3.1. Sabit duran av çerçevesinde avlanma	39
Şekil 3.2. Saat yönünün tersine azalan hızda avlanma	40

Şekil	Sayfa
Şekil 3.3. Saat yönünün tersine azalan hızda daha agresif olarak avlanma	40
Şekil 3.4. Bozkurt sürüsünden kaçmaya çalışan hareket halindeki av	41
Şekil 3.5. 2 boyutta bozkurtların konum güncellemesi	45
Şekil 3.6. GWO pseudocode	48
Şekil 3.7. Bozkurt optimizasyonu tabanlı MPPT algoritması	48
Şekil 4.1. Bozkurt optimizasyon tabanlı MPPT blok diyagramı	50
Şekil 4.2. Bozkurt optimizasyon yöntemi ile MPPT tasarım model	51
Şekil 4.3. GWO toolbox sabit iterasyon sayısı değişken bozkurt sayısının değerlendirilmesi	53
Şekil 4.4. GWO toolbox sabit bozkurt sayısı değişken iterasyon sayısının değerlendirilmesi	54
Şekil 5.1. Yükseltici tip dönüştürücü devre şeması	59
Şekil 5.2. Yükseltici tip çeviricide anahtarlama elemanının aktif olma durumu	59
Şekil 5.3. Yükseltici tip çeviricide anahtarlama elemanının pasif olma durumu	59
Şekil 5.4. Bobin gerilim ve akım değişimi	61
Şekil 5.5. Bozkurt optimizasyonu tabanlı mppt ortamı	64
Şekil 5.6. Bozkurt optimizasyon tabanlı sabit sıcaklık, değişken ışıнімda mppt için doluluk oranı, güç ve pwm çıktıları	65
Şekil 5.7. GWO ışıнім değişimi ile dengeye gelen sistemde A1 ve A2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü	66
Şekil 5.8. GWO ışıнім değişimi ile dengeye gelen sistemde B1 ve B2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü	67
Şekil 5.9. GWO ışıнім değişimi ile dengeye gelen sistemde C1 ve C2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü	68
Şekil 5.10. Bozkurt optimizasyon tabanlı sabit ışıнім, değişken sıcaklıkta mppt için doluluk oranı, güç ve pwm çıktıları	70
Şekil 5.11. GWO sıcaklık değişimi ile dengeye gelen sistemde A1 ve A2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü	71

Şekil	Sayfa
Şekil 5.12. GWO sıcaklık değişimi ile dengeye gelen sistemde B1 ve B2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü	72
Şekil 5.13. Parçacık sürü optimizasyonu tabanlı mppt ortamı	74
Şekil 5.14. Parçacık sürü optimizasyonu tabanlı sabit sıcaklık, değişken ışınımında mppt için doluluk oranı, güç ve pwm çıktıları	75
Şekil 5.15. PSO'da ışınım değişimi ile dengeye gelen sistemde A1 ve A2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü	76
Şekil 5.16. PSO'da ışınım değişimi ile dengeye gelen sistemde B1 ve B2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü	77
Şekil 5.17. PSO'da ışınım değişimi ile dengeye gelen sistemde C1 ve C2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü	78
Şekil 5.18. Parçacık sürü optimizasyonu tabanlı sabit ışınım, değişken sıcaklıkta mppt için doluluk oranı, güç ve pwm çıktıları	80
Şekil 5.19. PSO sıcaklık değişimi ile dengeye gelen sistemde A1 ve A2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü	81
Şekil 5.20. PSO sıcaklık değişimi ile dengeye gelen sistemde B1 ve B2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü	82
Şekil 5.21. Değiştir ve gözle optimizasyonu tabanlı mppt ortamı	85
Şekil 5.22. Değiştir ve gözle yöntemi tabanlı sabit sıcaklık, değişken ışınımında mppt için doluluk oranı, güç ve pwm çıktıları	86
Şekil 5.23. Değiştir ve Gözle optimizasyonu tabanlı sabit ışınım, değişken sıcaklıkta mppt için doluluk oranı, güç ve pwm çıktıları	87

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 1.1. Türkiye güneşlenme haritası potansiyeli	1
Resim 1.2. Avrupa güneşlenme haritası potansiyeli	2
Resim 2.1. Fotovoltaik hücre yapısı	9
Resim 2.2. PSO parametrelerinin vektörel olarak gösterimi	30
Resim 3.1. Bozkurt sosyal hiyerarşik yapısı	35
Resim 3.2. Bir bozkurt paketi içerisinde alfa sosyal davranış örneği	36
Resim 3.3. İletişim halindeki bozkurtların kuyruk pozisyonları	37
Resim 3.4. Bozkurt avlanma sistemi; A) Avın takibi ve mesafe; B – C) Kuşatma; D) Taciz; E) Saldırı	43
Resim 2.5. 2 boyut (a) ve 3 boyut (b) konum vektörleri ve sonraki olası konumları	44
Resim 3.6. Saldırı (a) ve av arayış (b) modeli	46
Resim 5.1. TSM-250PA05.08 isimli pv panelin parametre değerleri	58

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler

Açıklamalar

A	Amper
CO₂	Karbondiyoksit
D	Doluluk Oranı
f_s	Anahtarlama Frekansı
T	Time
Hz	Hertz
V	Volt
W	Watt

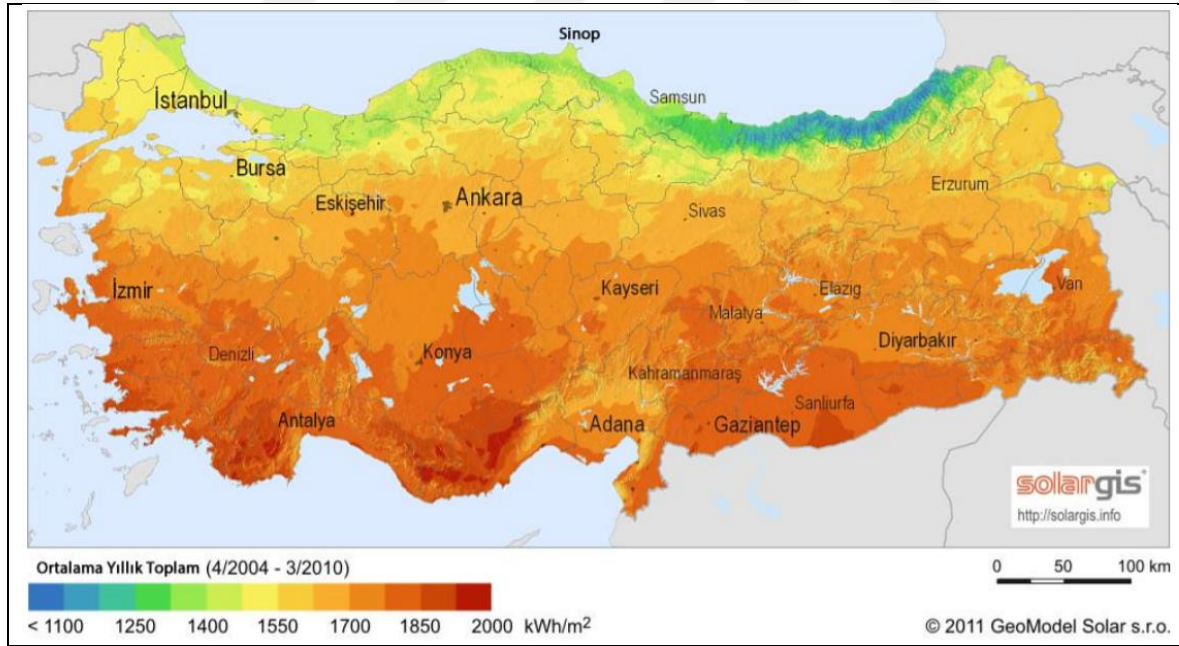
Kısaltmalar

Açıklamalar

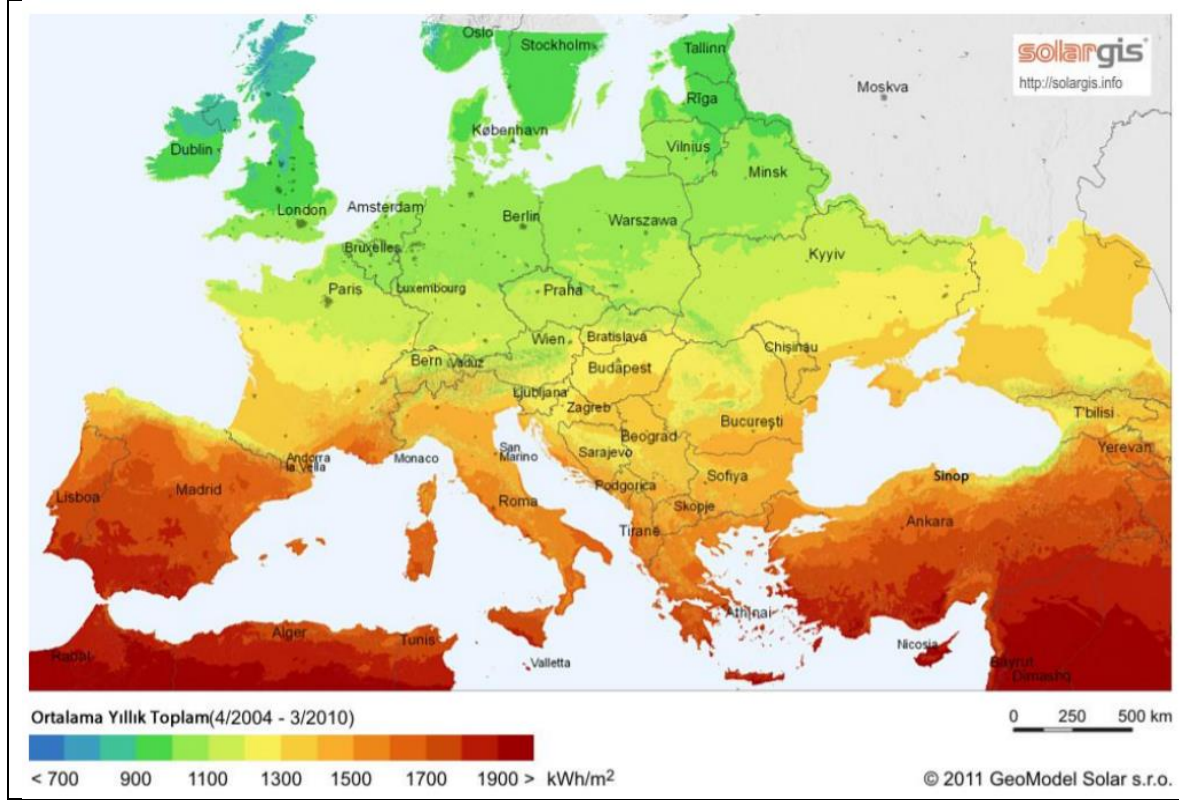
DA	Doğru Akım
PV	Fotovoltaik
MPPT	Maximum Power Point Tracking
GWO	Grey Wolf Optimization (Bozkurt Optimizasyonu)
P&O	Perturb & Observe Optimization (Değiştir&Gözle)
PSO	Particle Swarm Optimization
IC	Incremental Conductance (Artan İletkenlik)
Voc	Sabit Gerilim
Isc	Sabit Akım
PWM	Pulse Width Modulation
STD	Standart Test Durumu
NOHS	Normal Operasyonel Hücre Sıcaklığı

1. GİRİŞ

İnsan popülasyonunda ve enerjiye duyulan gereksinimde oluşan lineer olmayan artış sebebiyle fosil yakıtların yeterli kalmaması ve temiz enerji konusunda artan hassasiyet nedeniyle alternatif enerji kaynakları arayışı büyük önem kazanmıştır [1]. Fosil yakıtların yaydığı CO₂ yayılımı sebebiyle küresel ısınmanın artması neticesi ile birçok Avrupa ülkesi bu yakıtların kullanımını azaltmaya ve hatta kullanımından vazgeçmeye başlamıştır. Almanya yenilenebilir enerji kaynaklarının (YEK) kullanımında en önemli aktör olarak bulunmaktadır ve PV panellerden üretilen toplam gücün kişi başına düşen değerinde dünya birincisidir [2]. Türkiye'nin güneşlenme potansiyel haritası Resim 1.1'de yer almaktadır. Resim 1.2'de Avrupa ülkelerinin güneşlenme potansiyel haritası verilmiştir [3]. İlgili iki bilgi arasında Türkiye'nin, Avrupa ülkeleri arasında en fazla güneşlenme potansiyeline sahip ülke olduğu görülebilir. Ülkemiz YEK sistemleri için çok uygun olmasına karşın bu alana yapılan yatırım ve uygulamaların çok az olduğu görülebilir.



Resim 1.1. Türkiye güneşlenme haritası potansiyeli [3]



Resim 1.2. Avrupa güneşlenme haritası potansiyeli [3]

Bu veriler ışığında son yıllarda yoğun olarak çalışılan YEK sistemlerinde güneş, rüzgâr, hidrolik, jeotermal, hidrojen, dalga enerji yöntemleri kullanılmıştır. Bu kaynaklardan üretilen DA ve AA gücün alıcılara veya şebekeye aktarılması için gerekli olan dönüştürücü topolojileri ve bunlar için gerekli kontrol yöntemleri üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır. İlaveten bu kaynaklara olan ilginin ve bu kaynakların şebekeye entegrasyonunun artması şebeke yapısında Akıllı Şebeke (Smart Grid) denilen bir dönüşümün yaşanmasını tetiklemiştir [4].

Yenilenebilir enerji kaynaklarında ülkemizin konumu ve doğa şartları göz önüne alındığında rüzgâr ve güneş enerji sistemleri ön plana çıkmaktadır. Güneş enerji sistemlerinde kullanılan PV panellerin kolay entegre edilebilir, bakıma ihtiyaç duymayan, bağımsız ve herhangi bir ara eleman gerektirmeden DA elektrik enerjisi üretmeleri nedeniyle en çok tercih edilen YEK sistemlerinden biri olmuştur [5].

PV panellerin negatif yönlerinde ilk olarak maliyet ön plana çıkmaktadır. Fosil enerji dönüşümüne göre daha pahalı sistemlerdir. Ayrıca PV panellerin verimleri göz önüne

alındığında güneşten aldığı enerjinin %15-23 arası bir kısmının dönüşümü gerçekleştirilebilir. Bu iki verinin yanında tozlanma, ışıınım, sıcaklık gibi değerler ile verimlerinde değişimler meydana gelir [6,7].

PV panellerin temiz bir enerji kaynağı olarak son yıllarda önem kazanması ile bu kaynakları en uygun şekilde kullanmak da aynı oranda önemli hale gelmiştir. PV panellerden elde edilen güç, sıcaklık ve ışıınım arasında doğrusal olmayan bir ilişki bulunmaktadır. Yüke aktarılacak güç, PV panelin çıkış akımı ve gerilimine bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu değişim geniş bir aralıktadır ve sadece bir noktada en yüksek gücü verir. Çıkış gücünün en yüksek verimde olduğu bu nokta maksimum güç noktası (Maximum Power Point- MPP) adı ile anılır. PV panellerin en yüksek gücü sağlaması için değişken çalışma koşullarında sistemin MPP'de çalışmasını sağlamak amacıyla Maksimum Güç Noktası Takibi (Maximum Power Point Tracking- MPPT) olarak anılan yöntemler geliştirilmiştir. Bu amaçla en çok kullanılan yöntem bir güç elektroniği çeviricisi yardımıyla güç noktasının ayarlanmasıdır. Bu işlem için de MPPT algoritmaları denilen yöntemler kullanılır. MPPT algoritmaları güç elektroniği çevirici devresine bağlı PV panelden anlık olarak akım ve gerilim okur ve sistemin çalışma noktasını kontrol ederek her an MPP'de çalışmasını sağlar. MPP'nin çevresel etkilere bağlı olarak değişken ve dinamik bir yapıya sahip olması sebebiyle bu işlemin her an yapılması başka bir deyişle MPP'nin izlenmesi gerekmektedir [8].

MPPT için oluşturulan yöntemlerde temel amaç olarak MPP'nin en hızlı şekilde ucuz ve karmaşıklığın az olması düşünülerek takip edilebilmesi esas alınmıştır. Bu yöntemler Dolaylı ve Doğrudan şeklinde iki ayrı grupta incelenebilir. Dolaylı MPPT yöntemlerinde sıcaklık, ışıınım, kısa devre akımı, açık devre gerilimi ve/veya panel ile ilgili diğer parametreler kullanılarak oluşturulan matematiksel formlar sayesinde MPPT yapılmıştır. Bu yöntemi uygulamak Doğrudan MPPT tekniklerine göre kolay olmasına karşın PV panellerin değişen karakteristik yapıları, önceden ölçülen değerlerin uygulamada farklılıklar göstermesi gibi nedenlerden ötürü performansları sınırlı olmuştur [9].

Doğrudan MPPT yöntemlerinde ise devreye bağlı PV panelin akımı, gerilimi veya gücü her an ölçülerek MPPT yapılır. PV panele bağımlılık ortadan kalktığı için panelde oluşacak karakteristik değişimleri ya da çevresel etkilerin ölçümlerini alma zorunluluğu ortadan kalkmıştır. Doğrudan MPPT tekniklerinde MPP noktasını yakalamak için akım, gerilim ve

güç değerlerini hızlı şekilde ölçüp, seçilen MPPT tekniğinde yüksek çalışma frekansında uygulamak gerekir. Şimdiye kadar birçok MPPT tekniği geliştirilmiş ve başarıyla uygulanmıştır. Bunlar arasında en çok kullanılanlar; Değiştir-Gözle (P&O), Artan İletkenlik (IC), Bulanık Mantık, Yapay Sinir Ağları, Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) vb. yöntemleridir [10].

Optimizasyon yöntemleri birçok disiplinde ihtiyaç duyulan ve maksimum verimi elde etmek için kullandığımız algoritmalarlardır. Bu yöntemlerden birisi olan bozkurt optimizasyonu yöntemi Seyedali Mirjalili ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yayınlanmıştır. Bu yöntem bozkurtların yaşam süreçlerinden esinlenerek çıkarılmış matematiksel formlardan oluşur [11]. GWO üzerine kısa sürede birçok çalışma yapılmış ve optimizasyon noktasındaki başarısından ötürü farklı disiplinler için en çok tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir. Kullanım alanları incelendiğinde farklı disiplinlerde çalışma yapıldığı görülmektedir. Örnek çalışmalar için; görüntü işleme alanlarında 'Binary grey wolf optimization approaches for feature selection' [12], güç elektroniği alanında 'Load frequency control of interconnected power system using grey wolf optimization' [13], ekonomi çalışmaları üzerine 'Economic dispatch using hybrid grey wolf optimizer' [14] gibi birçok disiplinde tercih sebebi olduğu görülebilir.

Bu tez çalışmasında bozkurt optimizasyonu yöntemi tabanlı bir MPPT algoritması geliştirilmiş ve yükseltici devresi ile test edilmiştir. Bozkurt optimizasyonu yöntemi kullanılarak yükseltici çevirici MATLAB/Simulink ortamında tasarlanmıştır. Optimizasyon yöntemi ise MPPT tekniğine göre kodlanarak Simulink ortamına gömülmüş ve benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Ayrıca karşılaştırma imkânı sağlanabilmesi amacıyla P&O ve PSO MPPT yöntemleri de tasarlanarak üç yöntemden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Benzetim sonuçları bozkurt optimizasyonu yöntemi tabanlı bir MPPT geleneksel P&O ve yine bir popülasyon tabanlı optimizasyon algoritması olan PSO'ya göre daha hızlı ve kararlı bir MPPT yöntemi olduğunu göstermiştir.

Tezin ilk bölümünde yenilenebilir enerji sistemleri ve PV panellerin YEK sistemlerindeki konumundan bahsedilmiştir. PV panellerin kullanımı hakkında bilgiler verilmiştir.

Tezin ikinci bölümünde fotovoltaik sistemlerin çalışma prensipleri ve bu sistemlerin karakteristik yapılarından bahsedilmiştir. Yine ikinci bölümde PV sistemlerde kullanılan

MPPT teknikleri hakkında bilgi verilmiş ve literatür taraması yapılmıştır.

Tezin üçüncü bölümünde kullandığımız GWO hakkında detaylı bilgi verilmiş, bozkurt optimizasyonu yönteminin algoritması çıkarılmış ve açıklanmıştır.

Tezin dördüncü bölümünde Bozkurt optimizasyonu yönteminin MPPT tekniği üzerinde nasıl uygulandığı hakkında detaylı bilgi verilmiştir.

Tezin beşinci bölümünde tasarlanan sistem hakkında detaylı bilgi verilmiş ve Simulink ortamındaki veriler paylaşılmıştır. Tasarım sürecinde uygulanan matematiksel formlar ve çevirici parametreleri hakkında detaylı bilgiler yer almaktadır. Bozkurt optimizasyon yönteminin kullanılan diğer yöntemlerle karşılaştırmalı olarak çıktıları paylaşılmıştır.

Tezin son bölümü olan altıncı bölümünde ise kullandığımız yöntem ve diğer yöntemlerin karşılaştırmaları hakkında detaylı bilgi verilmiş ve elde edilen sonuçlar açıklanmıştır.

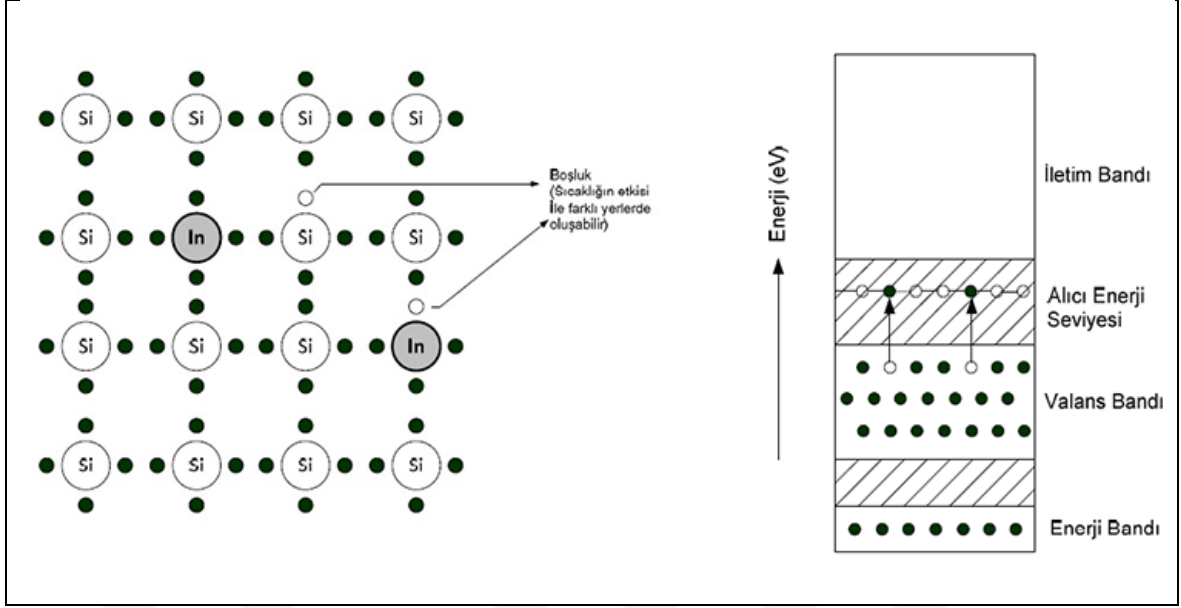
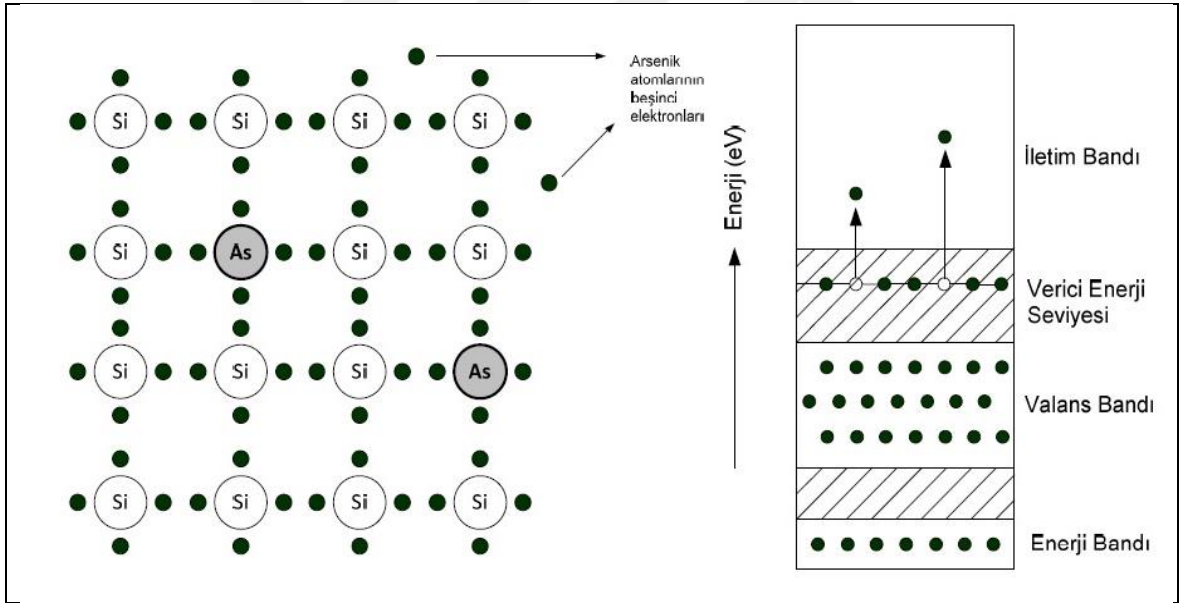


2. FOTOVOLTAİK SİSTEMLER

Fotovoltaik sistemler temel olarak güneşten gelen ışınları (foton) elektrik enerjisine çeviren yarı iletkenler bütünüdür. İlk olarak 1839 yılında Becquerel tarafından fotovoltaik etki keşfedilmiştir. Silisyumdan üretilen ve %6 civarında verimi olan ilk güneş pilinin patenti Bell laboratuvarında 1954 yılında alınmıştır. Uzay çalışmasında ilk olarak 'Vanguard 1' uydusunda güç temini için kullanılmıştır. Bu anlamda çalışmalar halen günümüzde birincil enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. 1973 yılına kadar araştırma olarak çalışılmış olsa da bu yıllarda yaşanan petrol krizinden ötürü endüstri alanında ciddi çalışmalar yapılmıştır. Amerika ve Avrupa'da büyük bütçeli güneş paneli tarlaları kurulmuştur. Bu yıllardan sonra fosil yakıtların çevreye verdiği zararlardan ötürü yenilebilir enerji kaynakları ön plana çıkmıştır. Fotovoltaik yapılarda YEK sistemlerinde en önemli aktörlerden birisi olmuştur. Günümüzde çalışmalar daha yüksek verimli ve düşük maliyetli panel tasarımları üzerine yoğunlaşmıştır [15,16].

2.1. PV Panellerin Fiziksel Yapıları

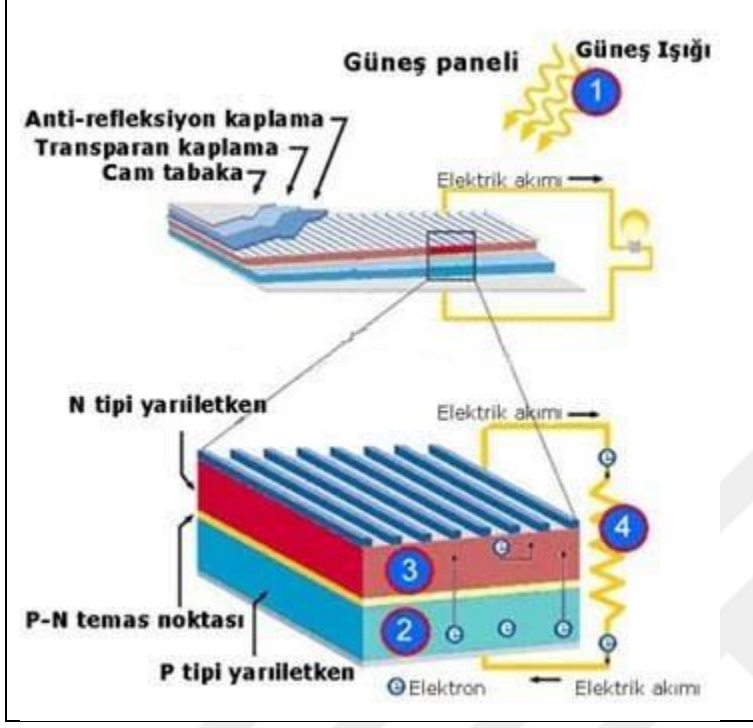
PV panel hücresi çift katmanlı silisyum yapıdan oluşur. *P* jonksiyonlu kademe üstüne *N* tipi kademe yerleştirilir. Ölçüleri genellikle 100cm^2 ve kalınlıkları 0,2 – 0,4mm arasındadır [17]. Yapılarında en çok kullanılan materyaller Silisyum (Si), Galyum Arsenik (GaAs), Kadmiyum Sülfür (Cds)'dür. PV panel üretimi için kullanılan elementler saf halde kullanılmaz. Bu maddelere katkılar yapılarak bu değerlik bantlarını yukarıya (*P*-tipi) veya iletkenlik bant seviyesi (*N*-tipi) aşağı çekilir. Örnek bir *P*- tipi yarıiletken yapısı Şekil 2.1'de *N*- tipi yarıiletken yapısı Şekil 2.2'de gösterilmektedir [18].

Şekil 2.1. *P* tipi yarıiletken yapısıŞekil 2.2. *N* tipi yarıiletken yapısı

2.2. Çalışma İlkesi ve Elektriksel Modeli

Resim 2.1'de detaylı gösterildiği gibi foton bu iki malzeme eklemine düştüğü zaman oluşan gerilim ile *P* tipi katmanda bulunan elektronların enerji seviyeleri artar ve bir üst katmana geçerek *N* tipi birimde yer alır. Bu olay döngüsünden ötürü *P* tipi katmanda boşluklar oluşur ve iki katman arasına iletken bir yapı yerleştirildiğinde elektronlar

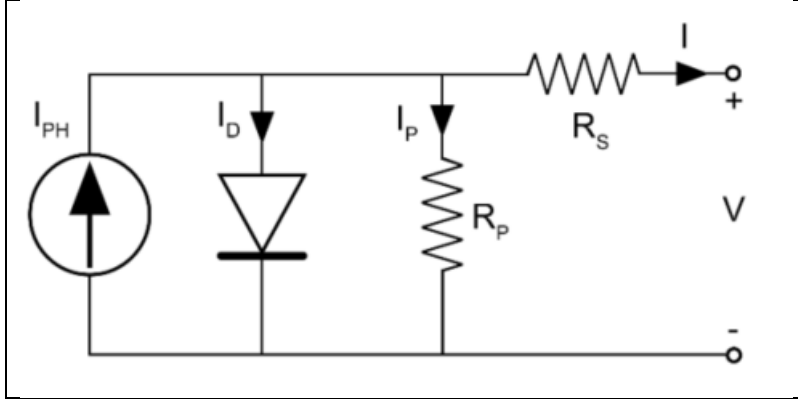
boşluklara doğru hareket etmek isteyerek akımı oluşturur. Gerilim ve akım değişimi, ışık şiddetine göre ve hücrelerin seri-paralel bağlanmasına göre değişiklik gösterir [19].



Resim 2.1. Fotovoltaik hücre yapısı

PV panellerin elektriksel eşdeğer yapısı akım kaynağı ve diyottan oluşmaktadır. Akım kaynağındaki değişken durum, güneş ışınlarından gelen foton miktarı ile farklılaşır. Foton olmadığı durumlarda akım kaynağı akım üretmez ve devrede sadece diyot etkisi kalır. Literatürde genellikle çift diyot modeli ve tek diyot modeli kullanılır. Çift diyot modelinin azaltılması ile tek diyot modeli oluşur. Şekil 2.3'te belirtildiği gibi eşdeğer devrede bulunan diyot PV hücrelerin Akım – Gerilim karakteristiğini belirler ve tek diyot modeline örnek olarak verilmiştir. Burada gösterilen R_p direnci sızıntı akımını, R_s direnci ise çıkıştaki gerilim düşümünü gösterir. R_p direnci ideal durumlar da sonsuz, R_s direnci ise sıfır olmak ister [22,23].

Şekil 2.3' te verilen devre esas alınarak denklem 2.1 ifadesi çıkmıştır. Denklem 2.1'de verilen değerler aşağıda tanımlanmıştır [23].



Şekil 2.3. Tek diyot modeli pv panel eşdeğer devre modeli

$$I = I_{PH} - I_D \left[\exp\left(\frac{V+I \cdot R_s}{a \cdot V_{th}}\right) - 1 \right] - \frac{V+I \cdot R_s}{R_p} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’de yer alan, I_{PH} PV hücrenin ürettiği akımını, I PV hücrenin çıkış akımını, V PV hücrenin çıkış gerilimini, I_D diyotun ters doyum akımını, a ideal diyot faktörünü, R_s PV hücrenin seri direncini, R_p PV hücrenin paralel direncini, V_{th} hücrenin termal gerilimini vermektedir.

V_{th} gerilim hesaplanması denklem 2.2’de verilmiştir. Denklemde verilen değerler aşağıda tanımlanmıştır [23].

$$V_{th} = \frac{k \cdot T_c}{q} \quad (2.2)$$

Denklem 2.2’de yer alan, k Boltzmann sabitini, T_c hücre sıcaklığını, q elektron yükünü vermektedir.

Hücre sıcaklığı (T_c) ışınım oranı ve ortam sıcaklık değerine göre değişkenlik gösterir. Bu denklem 2.3’te verilmiştir. NOHS (Normal Operasyonel Hücre Sıcaklığı) olarak verilen değerler ışınım 800 W/m^2 , ortam sıcaklığı 20°C ve rüzgar hızı 1 m/s olan koşullardır [23].

$$T_c = T_{Ortam} + (T_{NOHS} - 20) * \frac{G}{G_{NOHS}} \quad (2.3)$$

Denklem 2.3'te yer alan, T_{Ortam} ortam sıcaklığını, T_{NOHS} NOHS şartlarındaki hücre sıcaklığını (K), G_{NOHS} NOHS şartlarındaki ışınımı vermektedir.

PV hücrenin akımının (I_{PH}) ışınım ile doğrusal olarak değişken olduğunu gösterir denklem 2.4'de verilmiştir. Burada STD (Standart Test Durumu) olarak belirtilen ortam şartları; ışınım $1000 W/m^2$, ortam sıcaklığı $25^{\circ}C$ ve hava kütlesi 1.5 olan koşullardır [23].

$$I_{PH} = \left(I_{SC_STD} + K_I(T_C - T_{STD}) \right) \cdot \frac{G}{G_{STD}} \quad (2.4)$$

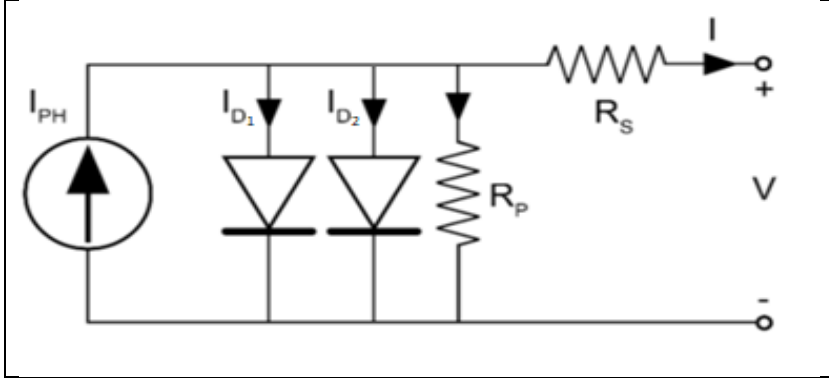
Denklem 2.4'te yer alan, I_{SC_STD} STD şartlarında PV hücrenin sağladığı kısa devre akımını, T_{STD} STD şartlarındaki hücrenin sıcaklığını, G ışınım miktarını, G_{STC} STD şartlarında bulunan ışınım miktarını, K_I kısa devre akımı sıcaklık katsayısını vermektedir.

Son olarak diyot doyum akımının (I_D) sıcaklığa bağlı değişimini gösterir denklem 2.5'te gösterilmiştir [23].

$$I_D = \frac{I_{SC_STD} + K_I(T_C - T_{STD})}{\exp\left[\frac{V_{OC_STD} + K_V(T_C - T_{STD})}{a \cdot V_{th}}\right] - 1} \quad (2.5)$$

Denklem 2.5'de yer alan, V_{OC_STD} STD şartlarındaki açık devre gerilimini, K_V açık devre gerilim sıcaklık katsayısını vermektedir.

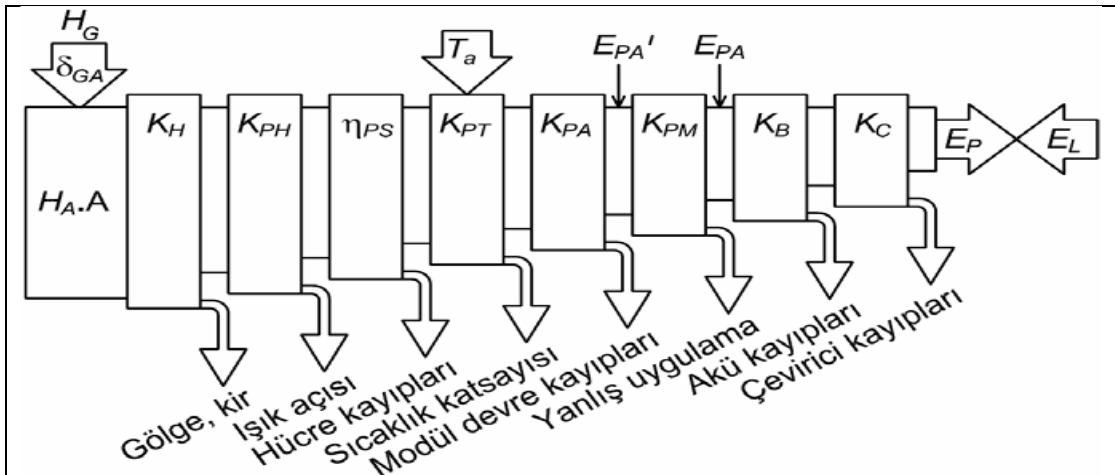
PV hücrelerin iki diyotlu modeli eşdeğer devresi Şekil 2.4' te verilmiştir. Denklem 2.6' da ise çift diyot modeli denklemi verilmiştir [24]. Çift diyot modele paralel bir diyot daha eklenmesi ile sağlanır. Çift diyot modeli tek diyot modeline göre daha kararlı gerilim akım eğrisi sağlar [21,22].



Şekil 2.4. Çift diyot modeli pv panel eşdeğer devre modeli

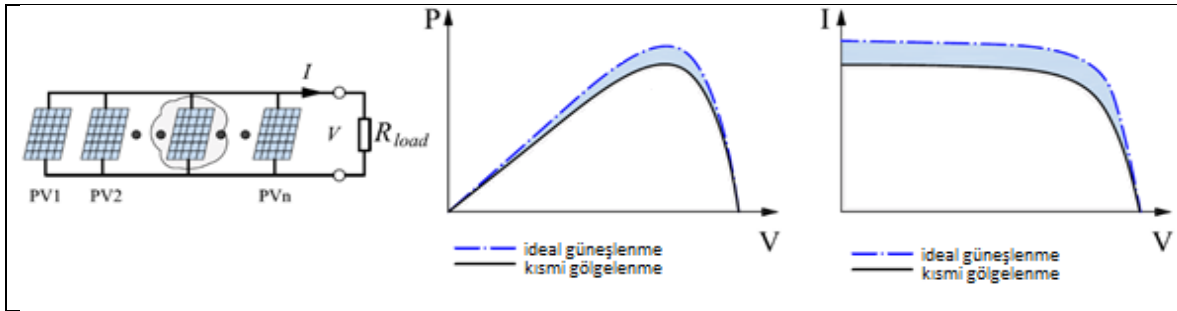
$$I = I_{PH} - I_{D1} \left[\exp \left(\frac{V+I \cdot R_s}{a_1 \cdot V_{th}} \right) - 1 \right] - I_{D2} \left[\exp \left(\frac{V+I \cdot R_s}{a_2 \cdot V_{th}} \right) - 1 \right] - \frac{V+I \cdot R_s}{R_p} \quad (2.6)$$

Yukarıda verilen PV hücre eşdeğer devre modeli ve denklemleri ideal durum göz önüne alınarak hesaplanmıştır. Bu durum ideal PV panel çıkış gücünü verir ancak denklemlere çevresel ve üretim şartları da göz önüne alınarak eklemeler yapılmalıdır. PV panellerin çıkış güçleri bulutlanma, üretim sırasında oluşan fark payları, panelde oluşacak kirlenme, taşıma ve entegrasyon durumlarında oluşabilecek yıpranmalara bağlı olarak değişim gösterir. PV hücreler ifade edilen etkilerden ötürü çalışmadığında enerji üretimi yerine diğer hücrelerin ürettiği enerjileri harcama noktasına götürür ve bu hücreler çevresinde lokal olarak sıcaklık artışına ve ciddi verim düşümüne sebebiyet verir. Bu etkilerden korunmak için modüle paralel bypass diyot bağlanması yönünde yöntemler geliştirilmiştir. Eklenen bu diyotlarda denklemlere dâhil edilerek nihai çıkış güçleri bulunabilir [26,27]. PV çıkışı etkileyebilecek kayıplar Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

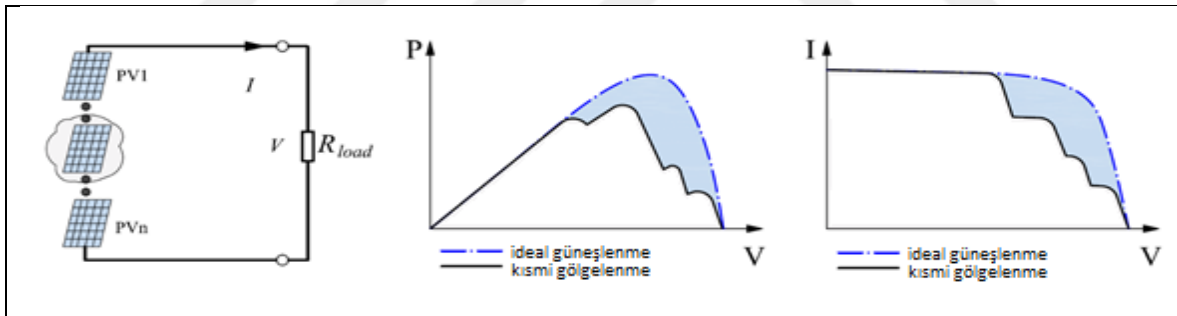


Şekil 2.5. PV çıkışını etkileyen faktörler [27]

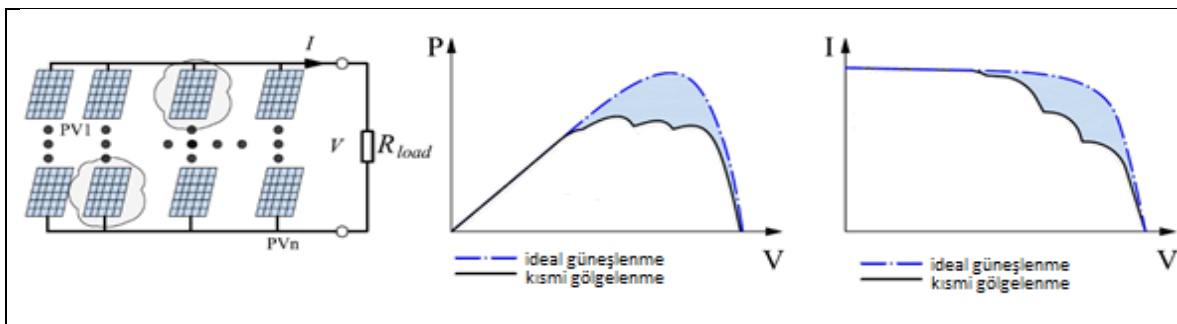
Gerçek uygulamalara bakıldığında PV paneller her noktasına aynı oranda ışınım almazlar. Çevresel etkilerden ötürü panelin çıkış güç değerleri büyük oranlarda düşüş gösterebilir. PV sistemlerde kurulu güçleri yükseltmek için paralel ve seri bağlı modüller bir araya getirilirler. Paralel, seri ve paralel/seri bağlantı çeşitlerine göre Şekil 2.6, Şekil 2.7 ve Şekil 2.8'de gölgeleme altında çıkış P - V ve I - V eğrileri verilmiştir [22]. Panelin çıkış karakteristiklerindeki değişimler gölgeleme ve bağlantı çeşidine göre açıkça görülmektedir.



Şekil 2.6. Paralel bağlı pv modülleri için P - V eğrisi üzerindeki kısmi gölgeleme etkisi

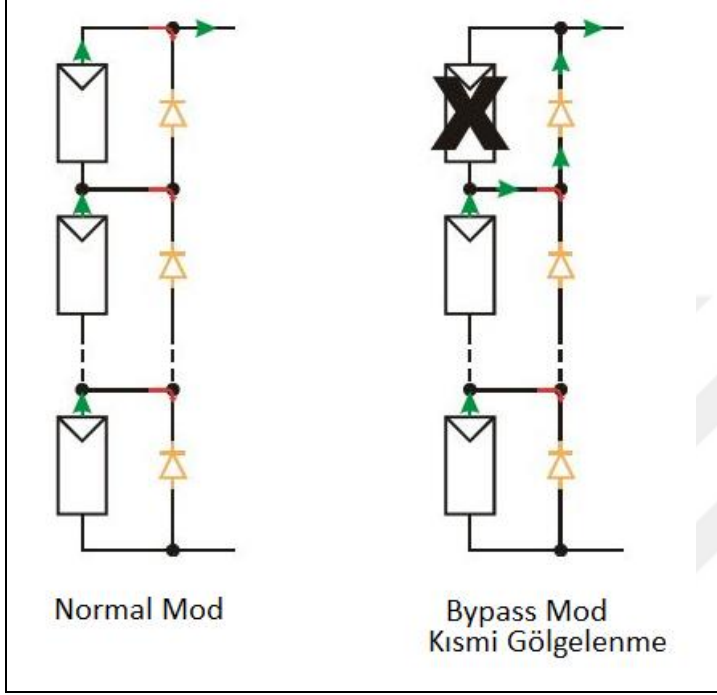


Şekil 2.7. Seri bağlı pv modülleri için P - V eğrisi üzerindeki kısmi gölgeleme etkisi



Şekil 2.8. Seri paralel karışık bağlı pv modülleri için P - V eğrisi üzerindeki kısmi gölgeleme etkisi

Şekil 2.9’da kısmi gölgelenme durumunda yüksek verim kaybını önlemek için konumlandırılmış örnek bypass diyotları görülmektedir. Modül üzerinde gölgelenme oluştuğunda akım bypass diyotu üzerinden dolanır ve büyük gerilim kayıplarından kaçınılmış olur [28,29].



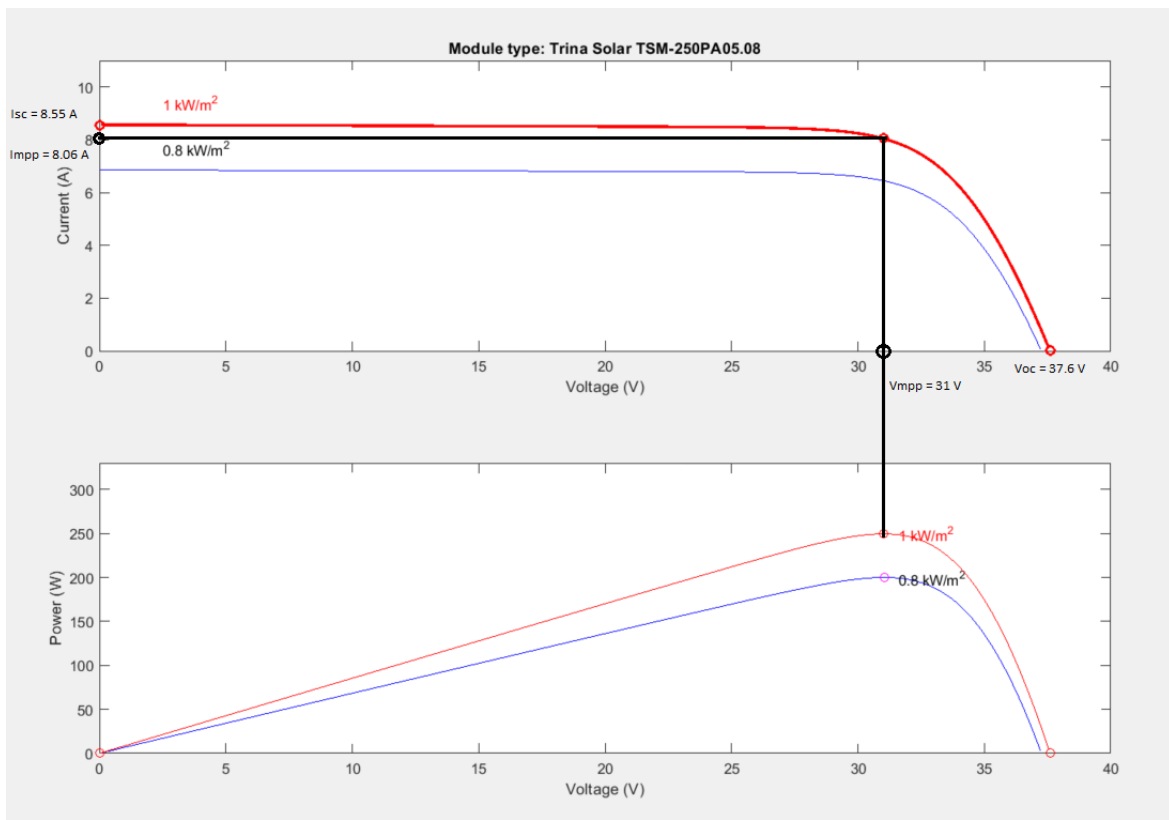
Şekil 2.9. Bypass diyotu içeren bir pv panelin kısmi gölgelenme durumu

2.3. Karakteristik Özellikleri

PV panellere ait değerler 1000 W/m^2 ışınımında, 25°C sıcaklıkta yapılan testler ile belirlenir. Burada kritik değerler olarak V_{OC} açık devre gerilimi, I_{SC} kısa devre akımı, V_{MPP} MPP gerilimi ve I_{MPP} MPP akımı değerleri belirlenir. İlgili veriler ışınım, sıcaklık, yük durumu gibi değerlere göre etkilenir [30]. Simülasyonda kullanılan Trina TMS-250PA05.08 isimli panelin kısa devre akımı sıcaklık katsayısı için $K_I = 0.06$ ($\% / (\text{deg. C})$) ve açık devre gerilim sıcaklık katsayısı için $K_V = -0.35$ ($\% / (\text{deg. C})$) değerleri üretici tarafından verilmektedir. Değerlerden de görüleceği üzere hücrelerin sıcaklık artışı akım üzerinde küçük oranda pozitif etki etse de gerilim üzerinde daha büyük bir kayıp oluşturur. Bu durum çıkış gücünde verim kaybına sebebiyet verir. Denklem 2.4’te kısa devre sıcaklık katsayısının PV çıkış akımına etkisi görülebilir. Denklem 2.5’te ise K_I ve K_V değerlerinin diyot doyum akımı üzerindeki etkisi gösterir [31].

2.3.1. Akım – gerilim karakteristiği

PV panellerin karakteristik eğrileri aynı yapıya sahiptir. Simülasyonda kullanılan Trina TMS-250PA05.08 isimli panelin akım-gerilim (ilk kısım) ve güç-gerilim (ikinci kısım) karakteristikleri Şekil 2.10'te verilmiştir. Değerler 25°C 'de 1000 W/m^2 ve 800 W/m^2 olarak verilmiştir. Çıkış gücü akım ve gerilimin bir değerinde maksimumda olduğu görülmektedir. MPP noktasını bulmak ve bu değerinde tutmak maksimum verim için temel amaçtır [32].



Şekil 2.10. PV panelin akım- gerilim ve güç gerilim karakteristikleri

2.3.2. Sıcaklığın I - V karakteristiğine etkisi

Simülasyonda kullanılan Trina TMS-250PA05.08 isimli panelin sıcaklık değişimine göre akım-gerilim ve güç-gerilim arası değişimi Şekil 2.11'de görülmektedir. Işıma değeri 1000 W/m^2 de sabit tutularak sıcaklık değerleri 0°C , 25°C , 50°C , 100°C olarak değiştirilmiştir. Şekil 2.11'de görüldüğü gibi sıcaklık değişimindeki artış akım tarafında küçük bir pozitif etki yaratırken, gerilimde negatif yönde daha büyük etki meydana

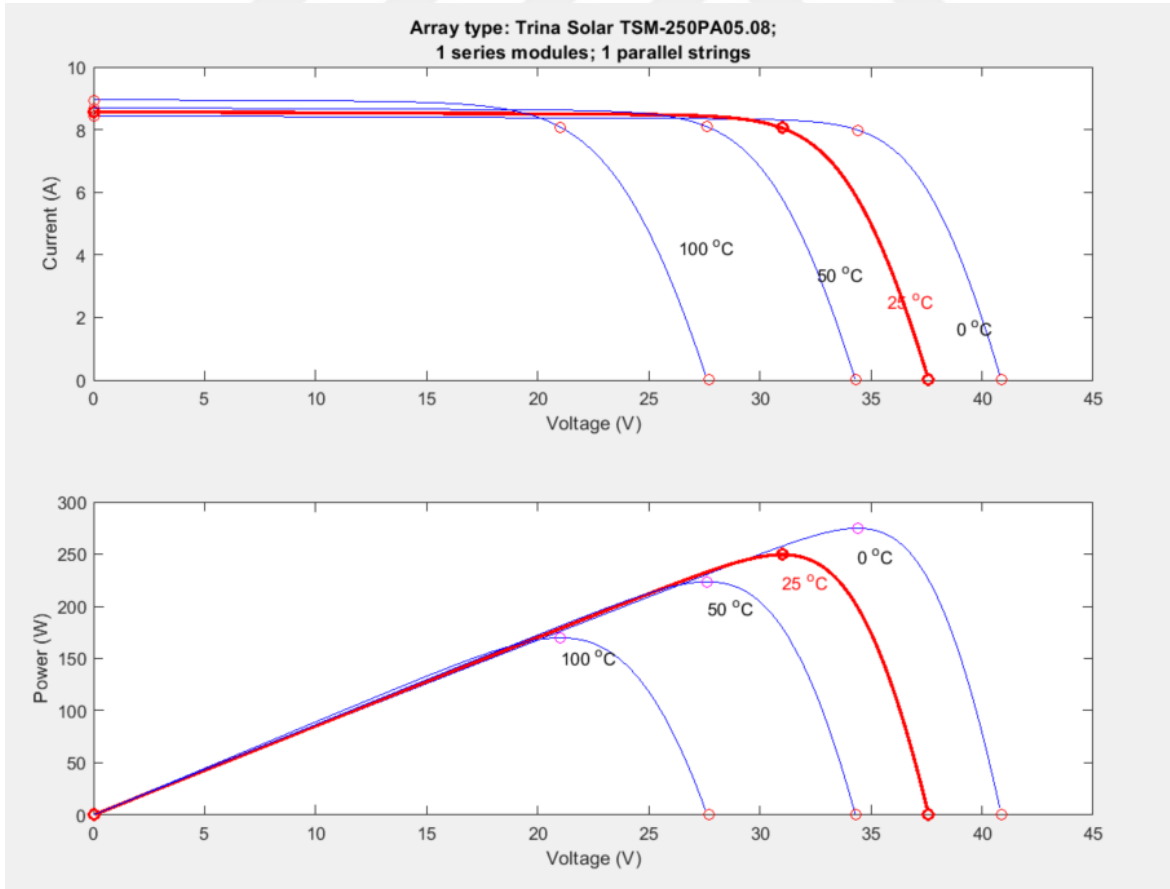
getirmektedir. Sıcaklığın artması gerilimde büyük düşümlere sebebiyet verdiği için çıkış gücünün düştüğü gözlemlenebilir. PV paneller için ideal sıcaklık ortamı 25°C olarak esas alınır [32]. Sıcaklığın etkisini açık devre gerilimi ve kısa devre akımının bulunduğu denklem 2.7 ve denklem 2.8 de görülebilir.

$$V_{OC,T} = V_{OC} * (1 + K_V(T - 25)) \quad (2.7)$$

V_{OC} 25°C 'deki açık devre gerilimi, $V_{OC,T}$ T sıcaklığındaki açık devre voltajıdır. K_V açık devre gerilimi sıcaklık katsayısıdır. T şimdiki sıcaklık değeridir.

$$I_{SC,T} = I_{SC} * (1 + K_I(T - 25)) \quad (2.8)$$

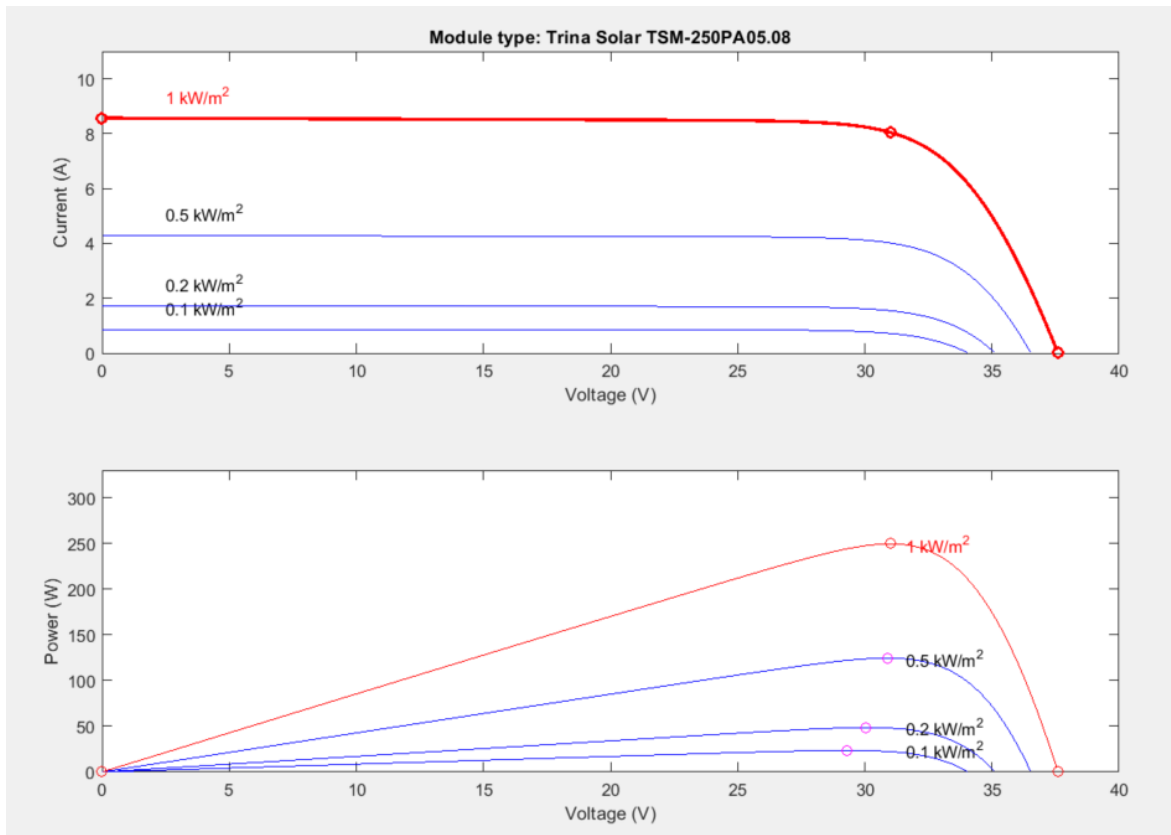
I_{SC} 25°C 'deki kısa devre akımı, $I_{SC,T}$ T sıcaklığındaki kısa devre akımıdır. K_I kısa devre akımı sıcaklık katsayısıdır. T şimdiki sıcaklık değeridir.



Şekil 2.11. Sıcaklığın akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristiğine etkisi

2.3.3. Işımanın I - V karakteristiğine etkisi

Simülasyonda kullanılan Trina TMS-250PA05.08 isimli panelin ışığa şiddetine göre akım-gerilim ve güç-gerilim arası değişimi Şekil 2.12’de görülmektedir. Sıcaklık $25^{\circ}C$ ve ışığa değerleri $100 W/m^2$, $200 W/m^2$, $500 W/m^2$ ve $1000 W/m^2$ olarak etkisi net şekilde görülmektedir. Şekil 2.12’de görüldüğü gibi ışığa şiddeti arttığında akım ve gerilimde de artma meydana gelmektedir. Işımanın gerilime oranla akım üzerindeki etkisi daha yüksektir. Özetle ışığa şiddetinin artması panelin çıkış gücünü artırmaktadır [32].



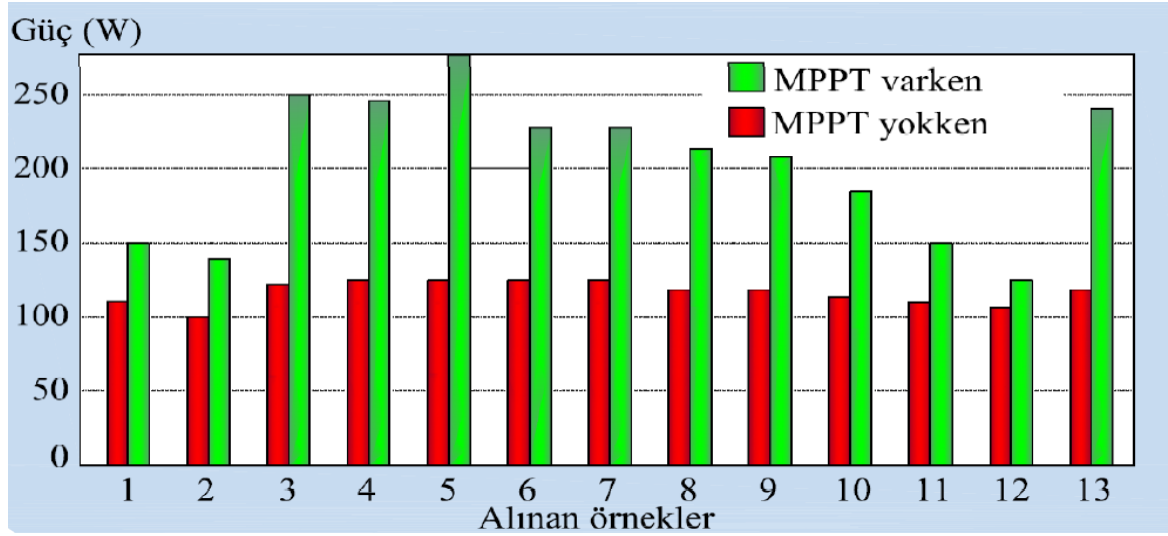
Şekil 2.12. Işımanın akım-gerilim ve güç-gerilim karakteristiğine etkisi

2.4. Maksimum Güç İzleme Yöntemleri

MPPT, güneş panellerinin yüke verdiği gücü en ideal değerde aktarabilmesini sağlayan algoritmik yapılardır. Kaynağın değişen güç değerlerinde mevcut en yüksek noktalarını tespit ederek yüke aktarmak temel ilkeleridir. PV paneller güneş enerjisinden aldığı enerjiyi, elektrik enerjisine çevirirken %15-%23 arası bir verim ile çeviriler. PV hücrelerin karakteristik yapılarından ötürü akım-gerilim oranı dengelenmediğinden verimleri düşer.

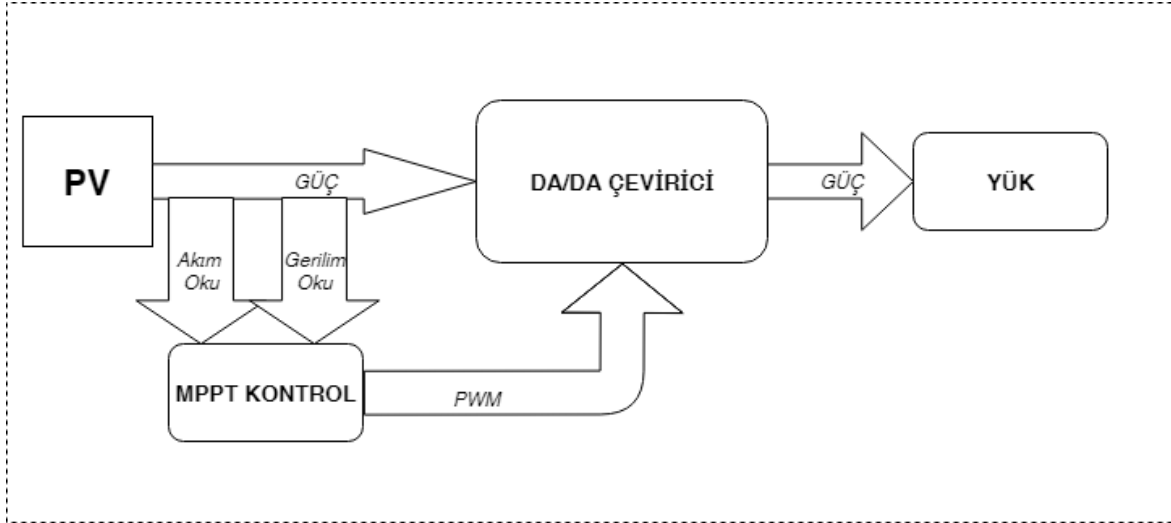
Kaynak kayıplara ek olarak gölgede kalan hücre sayısı, sıcaklık, toz vb. etkilerden ötürü de verimde kayıplar yaşanır. Kayıpların anlık tespiti ve analizi için maksimum güç noktası izleme algoritmaları geliştirilmiştir [6,7].

MPPT denetimi yapılan ve bu denetim gerçekleştirilmeyen sistemler arasında %45'e varan verim farkı vardır. Şekil 2.13'de verilen grafikte farklı zamanlarda alınmış bir PV panelin çıkış güç değerleri görülmektedir [27].



Şekil 2.13. MPPT kullanılan ve kullanılmayan çıkış güçlerinin karşılaştırılması [21]

MPPT yöntemleri yoğun olarak DA-DA dönüştürücülerde kullanılmıştır. DA-DA sistemlerde Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) doluluk oranı (Duty Cycle) değişimi ile çıkışta yüklenme oranı değişebilmektedir. Doluluk oranında ki bu değişim neticesinde, PV panelin akım-gerilim değerleri okunarak PV panelin en ideal çalışma noktası tayin edilir. MPPT için örnek bir şema Şekil 2.14'da verilmiştir.



Şekil 2.14. MPPT blok şeması [22]

PV panellerin verimlerini artırmak için birçok MPPT tekniği geliştirilmiştir. Çizelge 2.1 de en yaygın tekniklerin özelliklerine ilişkin bir karşılaştırma sunulmuştur. Görüldüğü gibi MPPT teknikleri PV Panel bağımlılığı, Periyodik ayarlar, Hız vb. gibi birçok özellikleri mevcuttur. Geleneksel MPPT yöntemlerinde P&O ve IC yöntemleri yaygın biçimde kullanılmış olsa da yapay zekâ tabanlı Bulanık Mantık ve PSO gibi metotlar da ilgi çekmişlerdir [10]. Bu konuda PV panel üzerine yapılmış çalışmalardan test sonuçları için Çizelge 2.2 incelenebilir.

Çizelge 2.1. MPPT yöntemlerinin karşılaştırılması [10]

MPPT Tekniği	PV Panel Bağımlılığı	Gerçek MPPT	Analog & Sayısal	Periyodik Ayar	İzleme Hızı	Karmaşıklık	Gerekli Bilgi
PSO	Hayır	Evet	A&S	Hayır	Değişken	Yüksek	Akım, Gerilim
P&O	Hayır	Evet	A&S	Hayır	Değişken	Düşük	Akım, Gerilim
Artan İletkenlik (IC)	Hayır	Evet	S	Hayır	Değişken	Orta	Akım, Gerilim

Çizelge 2.1. (devam) MPPT yöntemlerinin karşılaştırılması [10]

Sabit Gerilim (VOC)	Evet	Hayır	A&S	Evet	Orta	Düşük	Gerilim
Sabit Akım (ISC)	Evet	Hayır	A&S	Evet	Orta	Orta	Akım
Bulanık Mantık	Evet	Evet	S	Evet	Evet	Yüksek	Değişken
Yapay Sinir ağları	Evet	Evet	S	Evet	Evet	Yüksek	Değişken
Tablodan Okuma	Evet	Hayır	S	Evet	Evet	Düşük	Değişken

Çizelge 2.2. Bir pv panelde kullanılan MPPT teknikleri karşılaştırılması [23]

<i>P-V</i> eğrisinde Maksimum Güç (watts)	MPPT Tekniği	Max. Güç (watts)	Max. Voltaj (Volt)	Max. Akım (Amper)	(%) İzleme Verimliliği
320 W	P&O	100.23	24.16	4.149	31.7
	PSO	319.11	110.49	2.888	99.7
	GWO	319.37	110.55	2.889	99.8

2.4.1. Açık devre gerilimi

Sabit gerilim olarak bilinen yöntemdir. Dolaylı bir yöntem olan sabit gerilim metodu PV panel açık devre gerilimi esaslı çalışır. Bu yöntemde V_{oc} değeri PV paneli yükten ayırarak okunur. V_{mppt} , V_{oc} geriliminin %70 ile %80 arasında olduğu ve doğrusal şekilde bir fonksiyonu ifade ettiği çalışmalarda gözlenmiştir. V_{oc} değeri kullanılarak maksimum gerilim V_{mppt} bulunur. Doğrusal fonksiyon denklem 2.9'te verilmiştir [33].

$$V_{mppt} = k * V_{oc} \quad (2.9)$$

Burada k sabit değer olduğundan V_{mppt} değeri V_{oc} ile bulunabilir. k değeri bilgi sayfalarından bulunabileceği gibi yapılacak test çalışmaları ile de tespit edilebilir. Diğer yöntemlere göre basit ve ucuz bir yol olan bu yöntemin, PV modüllerde yükten ayırarak okuma yapılması, yük için problem oluşturması, zamanla değişken V_{oc} gerilimi dolayısıyla PV modülün bakımlara bağımlılığı olması gibi dezavantajları bulunmaktadır [27]. Şekil 2.15’da sabit gerilim metodu akış diyagramı yer almaktadır.



Şekil 2.15. Sabit gerilim metodu akış diyagramı

2.4.2. Kısa devre gerilimi

Sabit akım metodu mantıksal olarak açık devre gerilimi metoduna paraleldir. Burada PV modülün MPPT değeri (I_{mppt}), kısa devre akımı (I_{sc}) değeri ile doğrusal bir ilişki içerisinde. Yaklaşık olarak 0.8– 0.9 arası bir değer olan k sabit oranı mevcuttur. Doğrusal fonksiyon bağıntısı denklem 2.10’da gösterilmiştir [10,34].

$$I_{mppt} \approx k * I_{sc} \quad (2.10)$$

Bu yöntemde, panel kısa devre akımı ışınımına bağlı olarak değişir. Işınımına bağımlılık olmasından ötürü belirli periyotlar ile çıkış kısa devre edilerek (I_{sc}) akımı ölçülür ve buradan denklem 2.10 ile I_{mppt} değeri bulunur. Bu yapının gerçekte uygulanabilir olması

için panel çıkışına bir anahtarlama elemanı takılmalıdır. I_{sc} değerinin ölçüldüğü periyot süreçlerinde sisteme güç verilemez ve güç kaybı yaşanır [10,34]. Yine zaman içinde modül karakteristiğinde yaşanan değişimler ve kirlenme gerçek MPP'nin tespit edilememesine yol açabilir.

2.4.3. Look-up table metodu

Bu yöntemde, yapılan ölçümler ve/veya bilgi sayfalarındaki verilere göre çalışma özelliklerini tanımlayan bir Look-up Table hazırlanır. PV panelden okunan akım ve gerilim değerleri ve bu tablo kullanılarak MPP'nin takibi sağlanır. Açık devre gerilimi ve kısa devre akımı gibi dolaylı bir yöntem olan Look-up Table metodunun da zaman içinde modül karakteristiğinde yaşanan değişimler ve kirlenme nedeniyle gerçek MPP'nin tespit edilememesi gibi dezavantajları vardır.

2.4.4. Değiştir – gözle metodu

Değiştir ve Gözle algoritması PV panel tipi ve üreticisinden bağımsız olarak kullanılır. MPPT tekniklerinde kolay uygulanabilir olması nedeniyle en yaygın kullanılan yöntemlerden birisidir. PV panelin güç değişimi, panelin gerilim ya da akım referansına göre değiştirilmesi ile gerçekleştirilir. Aşağıda adım adım anlatılan sistem de referans olarak gerilim yazılmıştır. Referans olarak akım da seçilebilir. Sistemin işleyişi şu şekilde açıklanabilir [35,36];

1. PV panelin gücü hesaplanır ve kaydedilir.
2. Panelin çıkış gerilimi ya da çıkış akımı değiştirilerek panelin gücü tekrar hesaplanır.
3. Gerilim değiştirildiğinde panelin gücü artmış ise çalışma noktası MPP değerine yaklaşmış demektir ve çıkış gerilimi bir miktar daha aynı yönde değiştirilir.
4. Panelin gücü azalmış ise MPP değerinden uzaklaşmış demektir. Bu durumda gerilim değişimi tersi yönde gerçekleştirilir.
5. Genel olarak panelin gücü maksimum güç değerine eşit olana kadar yani grafikte eğimin türevi sıfır olana kadar çıkış gerilimi değiştirilmeye devam eder.

Yöntem sürekli olarak çalışma noktasının değiştirilmesi prensibine sahip olduğundan, bu algoritmada panelin gücü asla MPP noktasında sabitlenemez. Bunun yerine sistem gücü

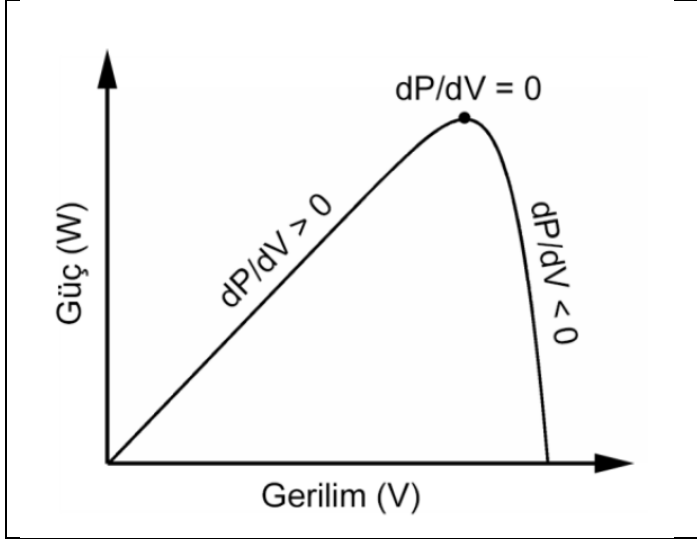
MPP etrafında adım büyüklüğü ile orantılı bir büyüklükte salınır. Bu salınımlar güç kayıpları oluşmasına ve MPPT veriminin düşmesine sebebiyet verir. Algoritmada kullanılan adım aralıkları büyük seçilirse MPP'ye yaklaşma hızı artar. Ancak buna paralel şekilde MPP etrafındaki güç salınımları da büyür. Adım aralığının küçültülmesi salınımların genliğini azaltırken MPPT hızını da yavaşlatır. Seçilen adım büyüklüğünün performans üzerinde çok belirleyici bir etkisi vardır. P&O referans durumuna göre değişimi Çizelge 2.3'te gösterilmiştir [10]. Algoritmanın çalışma noktasına göre değişen adım aralıkları ile çalışacak şekilde uyarlanması da mümkündür [37].

Çizelge 2.3. P&O algoritması referans değişimi [10]

Referans Değişim	Güç Değişimi	Sonraki Referans Değişimi
Pozitif	Pozitif	Pozitif
Pozitif	Negatif	Negatif
Negatif	Pozitif	Negatif
Negatif	Negatif	Pozitif

2.4.5. Artan iletkenlik metodu (IC)

Artan iletkenlik (IC) metodu PV panel gücünün, panel gerilimine göre türevi esasına dayanır. Eğimin türevinin sıfır (0) olması MP noktasını, negatif olması MP noktasının sağını, pozitif olması ise MP noktasının solunu ifade eder. Şekil 2.16 *P-V* eğrisinin değişimini göstermektedir [10,38].



Şekil 2.16. PV panel gücünün gerilime göre türev değişimi [32]

IC yönteminde kullanılan eğri denklemi 2.11’de gösterilmiştir. Burada $\frac{dP}{dV}$ türevinden $I + V * \frac{\Delta I}{\Delta V}$ ifadesi türetilebilir. Denklem 2.12’de yer alan $\frac{I}{V}$ anlık iletkenlik değerini, $\frac{\Delta I}{\Delta V}$ ise artırılmış iletkenlik değerini vermektedir [38].

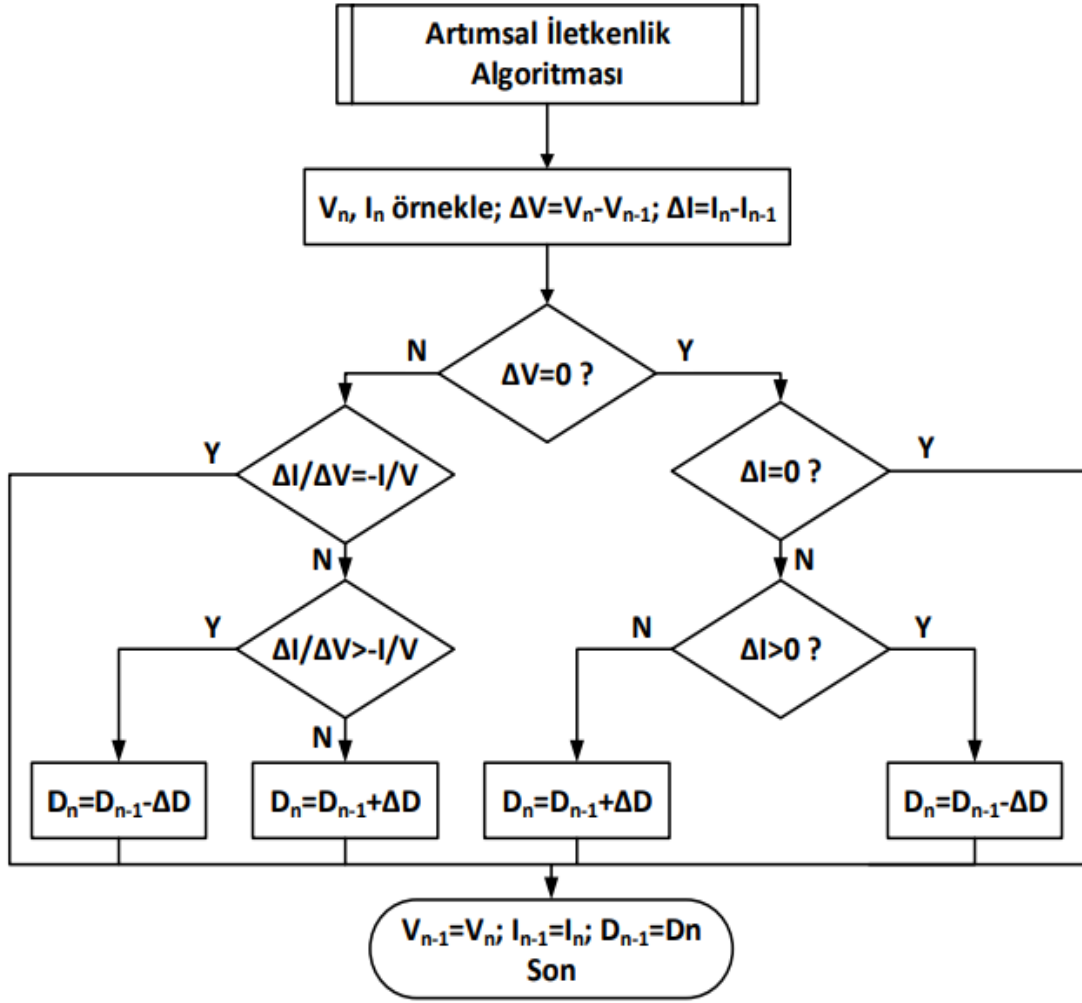
$$\frac{dP}{dV} = \frac{d(V*I)}{dV} = I + V * \frac{\Delta I}{\Delta V} \quad (2.11)$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V} \quad (2.12)$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V} \quad (2.13)$$

$$\frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V} \quad (2.14)$$

Sistemin çalışma noktası denklem 2.14 verilen değerde ise PV panel gerilimi artırılır. Çalışma noktası denklem 2.13’da verilen değerde ise PV panel gerilimi azaltılır. Çalışma noktası denklem 2.12’de verilen değeri sağlayıncaya kadar bu şekilde değiştirilmeye devam eder. IC metodu diğer P&O metodu sonuçları ile paralellik göstermektedir. Artan iletkenlik metoduna ait akış diyagramı Şekil 2.17’de gösterilmektedir. Sayısal İşaret İşlemcileri (DSP) ve mikrodenetleyiciler yardımıyla hızlı sonuçlar alındığında doğa olaylarının etkilerine karşı daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir [38].



Şekil 2.17. Artan iletkenlik algoritması akış diyagramı

Akış diyagramında gözlenebildiği gibi PV panelin devreye verdiği akım ve gerilim sürekli okunur. 'n' anında okunan 'V,I' değerleri ile 'n-1' anında okunan 'V,I' değerleri farkı alınarak ΔI ve ΔV değerleri hesaplanır. ΔV Değeri sıfıra eşit değilse $\frac{\Delta I}{\Delta V} = -\frac{I}{V}$ oranına bakılır. Bu oran eşit ise 'n' anındaki değerler 'n-1' anındaki değerlere eşitlenir. Oran eşit değilse $\frac{\Delta I}{\Delta V} > -\frac{I}{V}$ değerini sağladığında duty cycle değeri belirlenen ΔD oranı kadar azaltılır. $\frac{\Delta I}{\Delta V} < -\frac{I}{V}$ Değerini sağladığında duty cycle değeri belirlenen ΔD oranı kadar artırılır. ΔV Değeri sıfıra eşit ise $\Delta I = 0$ durumu incelenir. Eşit ise 'n-1' anındaki değerlere 'n' anında okunan değerler yazılır. Eşit değil ise $\Delta I > 0$ durumunda duty cycle, ΔD oranında azaltılır. $\Delta I < 0$ Durumunda ise duty cycle, ΔD oranında artırılır.

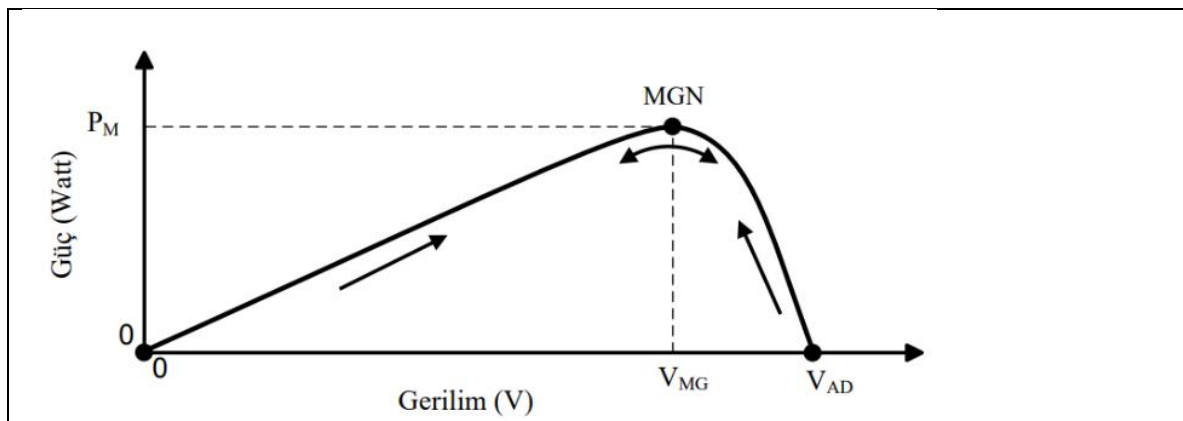
Yine ΔD değeri MPPT hızı ve kararsızlığını belirleyici özelliğindedir. ΔD değerinin küçük seçilmesi MPPT hızının düşmesine neden olurken, büyük ΔD değerleri MPP etrafında osilasyon oluşmasına neden olabilir. P&O yöntemindeki gibi çalışma noktasına göre ΔD değerinin değiştirilmesi suretiyle takip hızının artması sağlanırken osilasyon oluşması da engellenebilir [37].

2.4.6. Bulanık mantık metodu

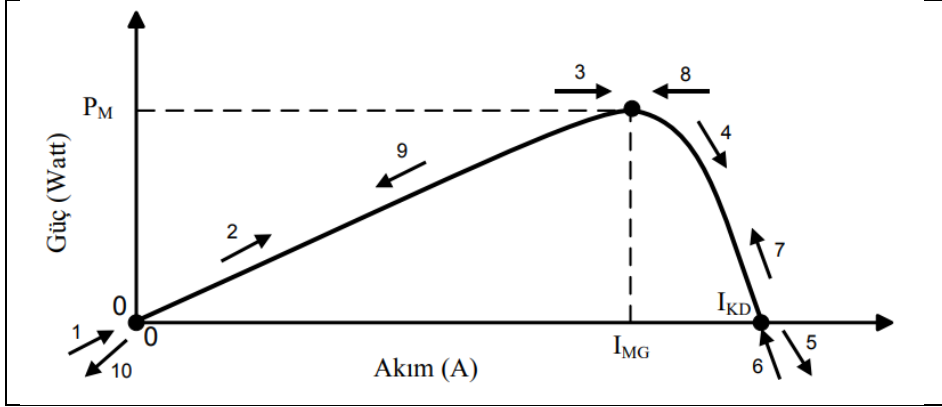
Bulanık Mantık temel olarak zor ve karmaşık matematiksel yollar yerine kullanılmıştır. Yaklaşım tekniği ile hareket edilen bu sistemlerde belirsiz kavramları *az*, *çok*, *çok fazla*, *çok az*, *orta* vb. gibi sınıflandırmalar ile uygun çıktılar oluşturur [39]. Bu yaklaşım yöntemi ile MPP noktası yakalanmaya çalışılır.

Bulanık Mantık yöntemleri kullanıcının uygun değeri üyelik fonksiyonları ile belirlediği varsayıldığında hafif hesaplama teknikleri ile yükte veya doğa olaylarında meydana gelen değişimlere karşı daha hızlı reaksiyon gösterirler [40,41].

Temel olarak P&O algoritmasına göre karşılaştırma yapılırsa Şekil 2.18 ve Şekil 2.19 karşılaştırılması yapılabilir. Şekil 2.18 P&O yöntemine göre türev hesabından 3 bölge olarak esas alınmıştır. Şekil 2.19'de bulanık mantık sisteminde 10 parçaya bölünerek daha ideal bir çözüm amaçlanmıştır. Bulanık mantık yönteminde 10 ayrı bölgeden veriler ve hata payları alınarak çizelge oluşturulur ve bu çizelgeye göre çıkarımlar yapılarak MPP noktasına yaklaştırılır. Bu konuda örnek Çizelge 2.4'te gösterilmiştir [42].



Şekil 2.18. PV dizinin güç-gerilim eğrisi P&O yöntemi



Şekil 2.19. PV dizinin güç-gerilim eğrisi Bulanık Mantık yöntemi

Çizelge 2.4. PV panel üzerinde ayrılan çalışma bölgelerinde bulanık mantık ile yapılan çıkarımlar

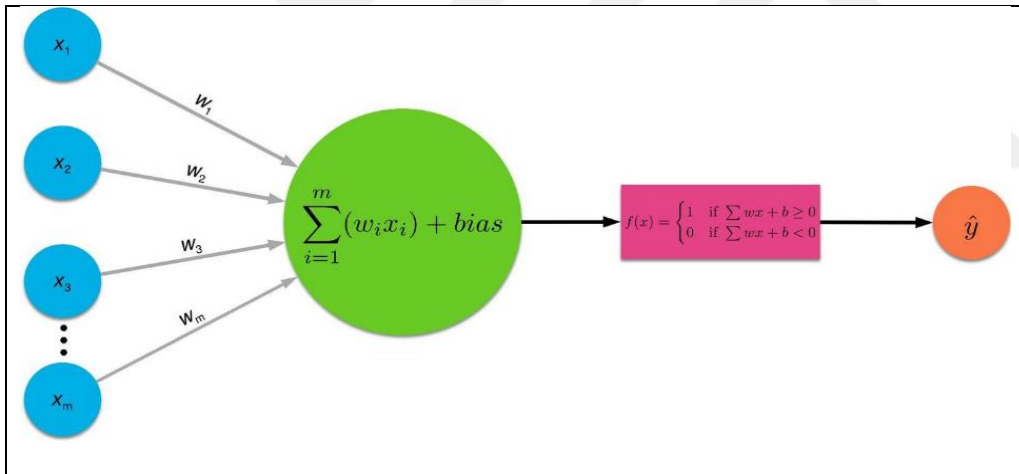
		Çalışma Bölgeleri →									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ΔP		+	+	0	-	-	+	+	0	-	-
ΔI		+	+	+	+	+	-	-	-	-	-
$e = \frac{\Delta P}{\Delta I}$		+	+	0	-	-	-	-	0	+	+
de		+	+	0	-	-	-	-	0	+	+
V_{ref}		Çok azaltılmalı	Az azaltılmalı	Sabit kalmalı	Az arttırılmalı	Çok arttırılmalı	Çok azaltılmalı	Az azaltılmalı	Sabit kalmalı	Az arttırılmalı	Çok arttırılmalı
du		Çok artmalı	Az artmalı	Sabit kalmalı	Az azalmalı	Çok azalmalı	Çok artmalı	Az artmalı	Sabit kalmalı	Az azalmalı	Çok azalmalı

Bu yöntem P&O veya IC metoduna göre daha fazla aritmetik işlem ve hesaplama yükü gerektirir. Üyelik fonksiyonları ve kural tablosunun doğru belirlenmesi durumunda yüksek performans elde edilebilirken bunların optimum belirlenememesi durumunda sistemin performansı düşer. Kural tabanının belirlenmesi ve üyelik fonksiyonlarının seçimi için kullanılabilir analitik bir yöntem bulunmaması, bunun tamamen tasarımcının deneyimine bağlı olması sistemin performansı üzerinde sınırlandırıcı etki oluşturmaktadır.

2.4.7. Yapay sinir ağları

Yapay sinir ağları (YSA) temel olarak insan sinir sistemini esas almaktadır. Bu benzetim metodolojisi ile belirli giriş değerleri (x), bağlantı ağırlıkları (w) ile çarpılarak çıkışta toplanırlar ve sonuç olarak ideal çözüme yaklaşım beklenir. Yapay sinir ağlarının en önemli özelliklerinden birisi eldeki veriler kullanılarak eğitilebilir bir sistem olmasıdır. Bağlantı ağırlıkları uygun değerler sağlanana kadar tekrar tekrar ayarlanır yani eğitilmiş olur. Çıkış sinyali olarak üretilen Y değeri bir sonraki katmanda girdi olarak kullanılacaktır. ' $f(x)$ ' Fonksiyonu Y değerini üretmek için kullanılır. YSA da yoğun olarak Doğrusal, Sigmoid ve Tan-sigmoid fonksiyonları yer almaktadır. Şekil 2.20'de bir yapay sinir ağı modeli ve denklem 2.15'de matematiksel modeli verilmiştir [43,44].

$$Y = w_1^*x_1 + w_2^*x_2 + \dots + w_n^*x_n = \sum_{j=1}^n w_j * x_j \quad (2.15)$$



Şekil 2.20. Yapay sinir ağı modeli

Yapay sinir ağı modeli MPPT tekniklerinde kullanılmış ve doğru eğitildiğinde faydalı çözümler vermiştir. Genel olarak çalışmalarda giriş verisi olarak akım ya da gerilim ön görülmüştür. Çıkış verisi olarak yine girişe uygulanan tipte V_{mppt} ya da I_{mppt} alınabilir. Yapılan bazı çalışmalarda farklı sıcaklık ve radyasyon altında iyi eğitilmiş bir YSA, P&O ve sabit akım yöntemlerine göre daha etkili sonuçlar verdiği gözlenmiştir [45]. Ancak, belirli bir panel verileri kullanılarak eğitimin yapılıyor olması sistemin panel tipine bağlı olması sonucunu doğurmaktadır. Panel tipi değiştikçe veya zaman içinde yaşlanma,

kirlenme gibi nedenler ile panel karakteristiği değiştiğinde yeniden eğitim yapılması gerekir.

2.4.8. Parçacık sürü optimizasyonu metodu

Parçacık sürü optimizasyon yöntemi balık ve kuş sürüleri esas alınarak geliştirilmiş bir yöntemdir. Kennedy ve Eberhart tarafından 1995 yılında açıklanmıştır. PSO temel olarak parçacıklar arasındaki bilgi paylaşımına dayanmaktadır. Her bir parçacık bütün olarak sürü yapısını oluşturur. Parçacıklar optimize edilmiş çözümlerden oluşur. Bu yöntem ile sürüdeki en iyi aday belirlenir. Sürü mantığına gelindiğinde diğer bireyler eski konumlarını en iyi aday konumuna göre günceller [46].

PSO'da popülasyon konumları ilk etapta rastgele konumlardadırlar. İterasyonlar boyunca parçacıklar güncellenir ve optimum çözüm bulunur. Parçacığın ideal çözümüne P_{best} adı verilir. Sürüdeki bütün parçacıkların en iyi pozisyonuna G_{best} adı verilir. Sonuç kriteri uygun ise, PSO algoritması sonuçlanır ve en iyi çözüm olan G_{best} parçacığı seçilir [47].

PSO algoritmasına göre her parçacık değişken hızlarla ideal çözüme doğru hareket ederek konumlarını günceller. Sistemde bir uygunluk fonksiyonu vardır ve sürünün bütün parçaları bu fonksiyona göre değerlendirilir. Parçacıkların en iyi çözüme doğru hızları ve konumları aşağıdaki denkleme göre güncellenir [48].

$$v_i^{(k+1)} = w * v_i^{(k)} + C_1 * r_1 * (x_{i,best}^{(k)} - x_i^{(k)}) + C_2 * r_2 * (x_{gbest}^{(k)} - x_i^{(k)}) \quad (2.16)$$

$$x_i^{(k+1)} = x_i^{(k)} + v_i^{(k+1)} \quad (2.17)$$

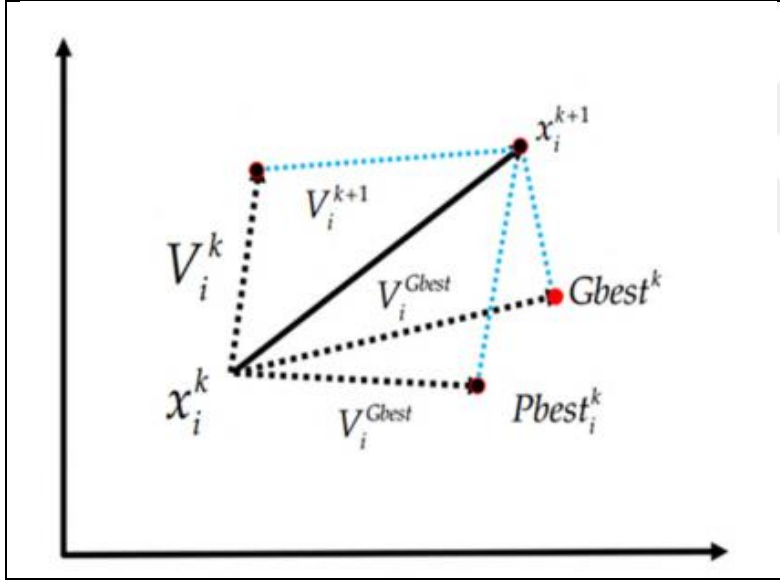
2.16 denkleminde belirtilen C_1 ve C_2 pozitif hızlanma katsayılarıdır ve genellikle değerleri sabit $C_1 = C_2 = 2$ olacak şekilde belirlenir. r_1 ve r_2 katsayıları değişken sayılardır ve her yineleme de yenilenir. r_1 ve r_2 0 ile 1 arası değişken değişkenlerdir. P_{best} ve G_{best} değerlerinin denklemleri 2.18 ve 2.19 te gösterilmiştir [48].

$$Pbest_i^{(k)} = x_{i,best}^{(k)} = \begin{cases} x_{i,best}^{(k-1)} & \text{if } f(x_i^{(k)}) \geq f(x_{i,best}^{(k-1)}) \\ x_i^{(k)} & \text{if } f(x_i^{(k)}) < f(x_{i,best}^{(k-1)}) \end{cases} \quad (2.18)$$

$$Gbest^{(k)} = x_{gbest}^{(k)} = \min \{f(x_{1,best}^{(k)}), f(x_{2,best}^{(k)}), \dots, f(x_{n,best}^{(k)})\} \quad (2.19)$$

Denklem (2.18) ve (2.19) da verilen, $x_i^{(k)}$ Parçacığın anlık konumunu, $x_i^{(k+1)}$ Parçacığın sonraki konumunu, $v_i^{(k)}$ Parçacığın anlık hızını, $v_i^{(k+1)}$ Parçacığın bir sonraki hızını, $v_i^{(Pbest)}$ Pbest parçacığın hızını, $v_i^{(gbest)}$ gbest parçacığın hızını vermektedir.

Resim 2.2'de PSO da parçacıkların arama alanındaki vektörel konumları gösterilmiştir.



Resim 2.2. PSO parametrelerinin vektörel olarak gösterimi

PSO algoritmasının çalışması aşağıdaki gibi adım adım özetlenebilir;

Kademe1: Her parçacığın (x_i) başlangıç konumları rastgele şekilde atanır.

Kademe2: Sürüdeki tüm parçacıkları değerlendirmek için uygunluk fonksiyonu ile değerlendirmeler yapılır.

Kademe3: Parçacıkların konumlarının uygunluk değerleri lokal en iyi konumlarından iyi ise parçacık konumu P_{best} olarak güncellenir.

Kademe4: Parçacık vektörlerinde en iyi uygunluk değerine sahip parçacık global en iyi parçacık G_{best} olarak güncellenir.

Kademe5: Parçacıkların konum ve hızları, denklem 2.16 ve 2.17'ye göre güncellenir.

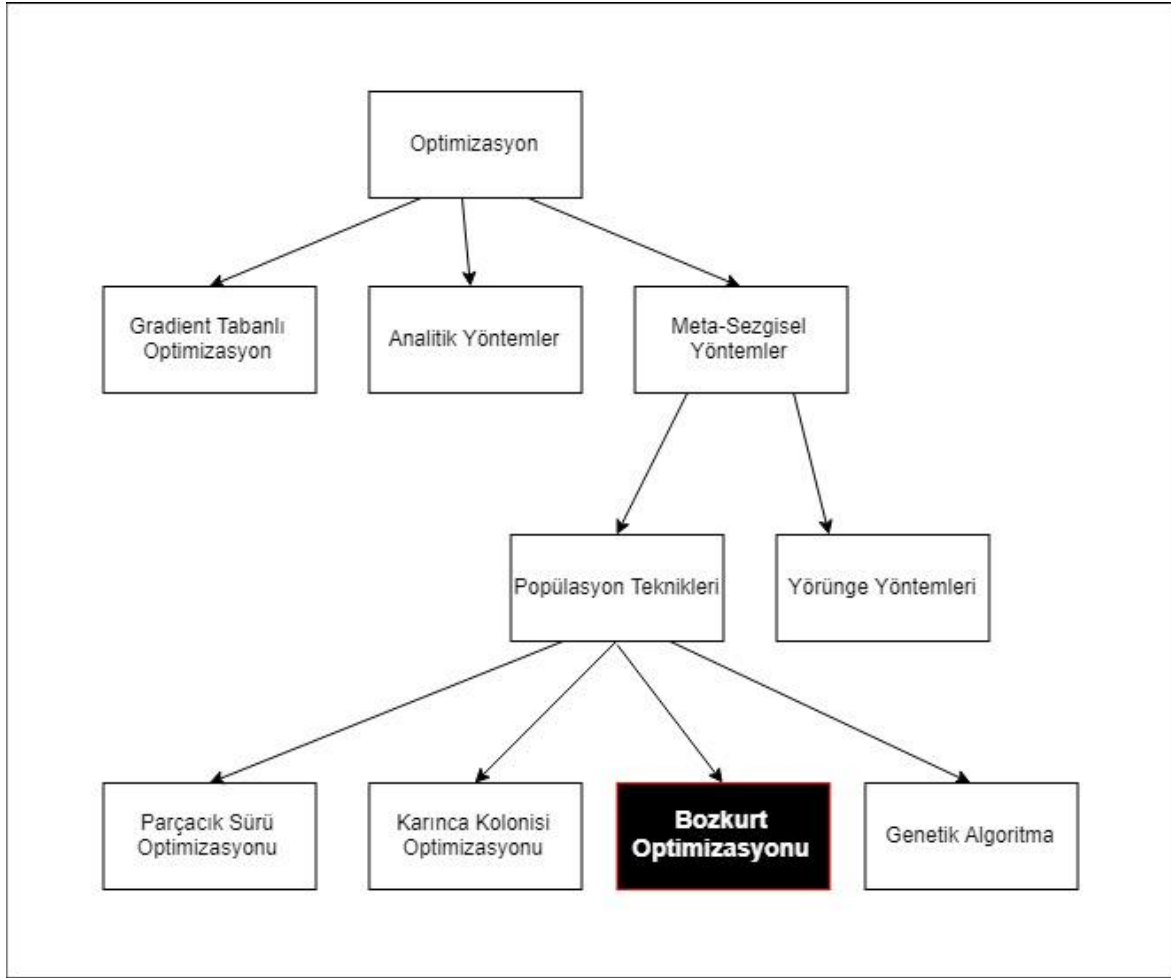
Kademe6: Algoritma, tamamlama kriterine ulaşıncaya kadar kademe 3'ten itibaren tekrarlanır.

Parçacık sürü optimizasyonu yöntemi mantık olarak Bozkurt optimizasyonu yöntemi ile benzerlik göstermektedir. GWO yönteminde olduğu gibi sürüdeki parçacıkların sayısı büyük önem taşımaktadır. Parçacıkların sayılarının artması hız açısından negatif bir durum oluştursa da daha doğru sonuçlar verecektir. Parçacıkların yanında iterasyonlar da kontrolü sıklaştıracak ve daha hızlı sonuçlar oluşturacaktır. PSO'nun MPPT yöntemlerinde uygulama adımları aşağıda verilmiştir;

1. Algoritma için gerekli sınır sabitleri belirlenmelidir. Sürü boyutunu (parçacık sayısı), arama alanını ve sınırlarını, maksimum iterasyon sayısını (yineleme ve durdurma kriteri), C_1 ve C_2 hızlanma katsayısı sabitleri belirlenmelidir. Bu değerler son bölümde anlatılacağı üzere GWO algoritması ile aynı ve farklı sabitlerde değerlendirilmiş sonuçlar gösterilmiştir.
2. Tasarlanan devrede uygun anahtarlama frekansının doluluk oranı için devrede kullanılan komponent değerleri ve güç isterlerine göre ilk değer ataması yapılır. Doluluk oranının (D) güç değişimine göre hesaplanması için uygun bir ΔD değeri ataması yapılır.
3. Popülasyondaki her parçacığın ilk konum ve hızları rastgele olarak atanır.
4. PV panellerle beraber kurulmuş olan devreden akım ve gerilim değerleri sürekli olarak okunur. Bu değerler PSO algoritmasının iki önemli girdisi konumundadır. Uygunluk fonksiyonu olarak belirlenen güç = gerilim * akım denklemine göre parçacıkların konumları ve hızları çıkarılmış olur. Her parçacığın konumu P_{best} ve sürünün en iyi konumu G_{best} bulunur.
5. Her iterasyon sonucunda bulunan G_{best} değeri o iterasyondaki en iyi güç değerini vermektedir. Bir sonraki iterasyon da bulunan en iyi güç değeri ile karşılaştırılarak doluluk oranı (D), ΔD değerinde artırılır ya da azaltılır. Bu durum PV sistemi en yüksek güç noktasında çalıştırmamıza olanak verir.

6. P_{best} değeri sonraki iterasyon da bulunan daha iyi konumdaki P_{best} değerine göre hızları ve konumları güncellenir. En iyi P_{best} değeri G_{best} olarak güncellenir.
7. Sonlandırma kriterine kadar iterasyonlar dört numaralı maddeden tekrarlanır.

Optimizasyon yöntemleri birçok disiplinde farklı yöntemler ve tekniklerde uygulanmıştır. Temel olarak 3 ana başlık altında toplanan optimizasyon yöntemlerinde gradient tabanlı yöntemler türev esaslı metotlardır. Burada uygulama alanına göre belirlenecek fonksiyonda eğimin sıfır noktaları yani fonksiyonun türevi esasına dayanır. Analitik yöntemler matematiksel modelleme esasına dayanır. Bu iki yöntem tabanlı yapılan optimizasyon yöntemlerinde belirli değişkenler ile fonksiyonlar çözülür ve sonuçlar kesindir. Meta-Sezgisel yöntemlerde problemlerin çözümü için doğal fenomenlerden esinlenilir. Temel olarak yakınsama esasına dayanır. Bu yöntemler ile bulunan sonuçlar kesin olmamakla beraber kesin çözümün yakınlarında doğru sonuç vermektedir. Bu yöntemler kesin sonuç vermemesine rağmen mevcut sisteme bilinmeyen değişkenler dahil olduğunda bile doğru sonuca yakın değerler verir. Bilinmeyen bir değişken sisteme dahil olduğu durumlar göz önüne alındığında meta sezgisel yöntemlerin önemi açığa çıkar. Şekil 2.5'te pv panelin dış etkenlerden gelen tanımlaması zor değişkenleri gösterilmiştir. Bu sebeplerden ötürü mppt tekniklerinde Meta-sezgisel yöntem tercih edilir. Bozkurt optimizasyonu popülasyon tabanlı kullanılan bir yöntemdir. Şekil 2.21'de kullandığımız yöntemin bağlı olduğu grup gösterilmektedir.



Şekil 2.21. Optimizasyon yöntem ve teknikleri

2.5. PV Panel Kullanım Alanları ve Maliyetleri

PV paneller günümüzde birçok disiplin altında yoğun olarak kullanılmaya başlanmıştır. Verimlerinin artması ile fosil yakıtlar yerine tercih edilir hale gelmiştir. Bol güneşlenme süresi olan ülkemizde kullanım alanları da zamanla genişlemiştir. Önceleri daha çok elektrik hattının çekilmesi zor, pahalı veya imkânsız olduğu bölgelerde kullanılmaya başlanan PV paneller zamanla en önemli YEK'lerden biri haline gelmiştir. Basit bir ev esas alındığında buzdolabı, aydınlatma, TV gibi ev aletlerinde kullanılabildiği gibi, endüstriyel ürünlerde de tercih edilir. Günümüzde şebekeye bağlantılı enerji üretim tesislerinin yanında trafik sinyalizasyon sistemlerinde, hava alanı aydınlatmalarında, haberleşme sistemlerinde, petrol boru hattı güvenlik sistemlerinde, telemetri sistemlerinde, tarım uygulama alanlarında, gözetleme ve ilk yardım sistemlerinde de kullanılmaktadır.

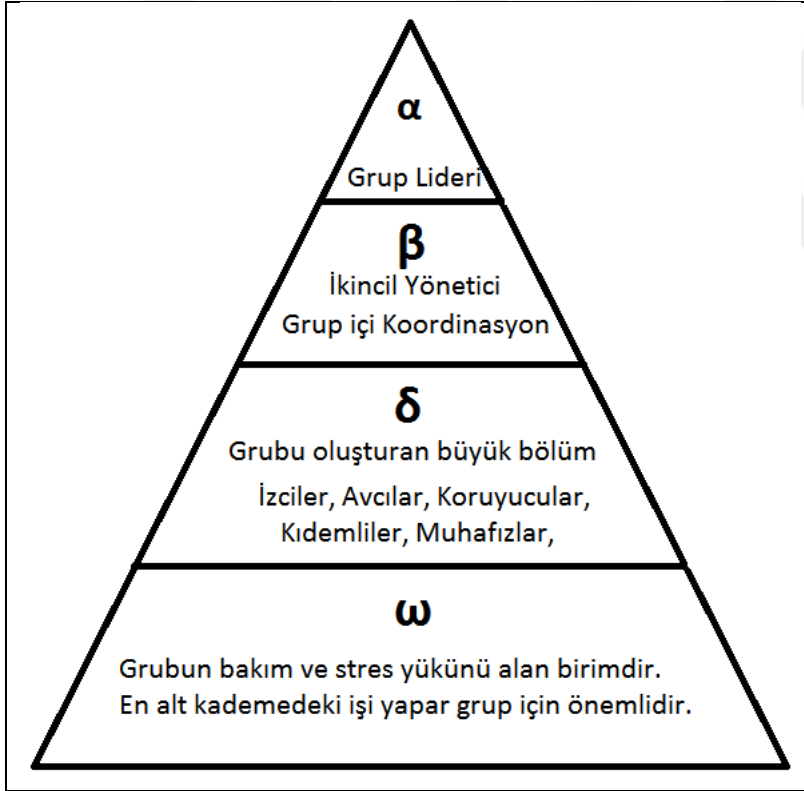
[49]. Ayrıca, askeri alanlarda ve uzay (özellikle uydu) projelerinde güç kaynağı olarak kullanılmaktadır.

PV panel kurulumunda kullanım alanlarına göre birçok değişken maliyet analizleri yapılabilmektedir. Bunlardan en önemlisi olarak güç ihtiyacı miktarıdır. Orta düzeyden başlayacak olursak ortalama bir evin güç ihtiyacı 5kW civarındadır. Depolama sistemleri, hat kurulumu, bakım ve onarım maliyetleri de hesaplandığında bu güçteki bir PV sistemin yaklaşık maliyeti 2018 yılı rakamlarına göre 8000 USD civarındadır [49]. Verilen rakamlar normal bir PV panelin fiyatlandırma sistemidir. Kullanım alanları askeri ya da uzay standartlarına geçildiğinde kullanılan PV panelin türü ve özellikleri de değişmektedir. Bu kapsamda beklenen fiyatların çok üzerine çıkılabilir.

3. BOZKURT OPTİMİZASYON YÖNTEMİ VE MAKSİMUM GÜÇ TAKİBİNDE KULLANIMI

3.1. Bozkurt Optimizasyon Yöntemi Hakkında

Bozkurtlar (*Canis lupus*) Canidae soyundan gelmektedir. Sürü halinde yaşayan bozkurtlar uç yırtıcılar olarak bilinirler ve besin zincirinin tepesinde yer alırlar. Sürüler 5 ile 12 arası değişen bireylere sahiptirler. Hiyerarşik düzenleri baskın bir yapıdadır [50]. Bozkurtların sosyal hiyerarşik yapısı Resim 3.1’de gösterilmiştir [11]. Bir kurt paketinin sosyal yapısı emir altındaki kurtların çalışmalarından anlaşılır. Paket içindeki davranışsal etkileşim, baskınlık ilişkileri ve sosyal hiyerarşi içinde gerçekleşir.



Resim 3.1. Bozkurt sosyal hiyerarşik yapısı

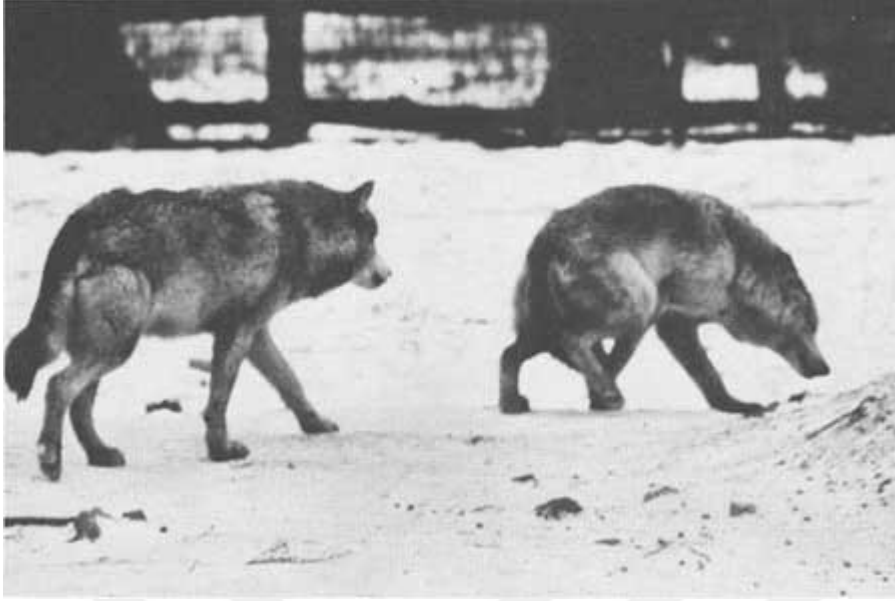
Bozkurtlar yılda bir kez ocak ve mart ayları arasında ürerler (Alfa erkek ve dişiden). 63 günlük gebelik dönemleri vardır ve tek seferde 4-6 yavru doğururlar. Beslenme ve sıcaklık dengesi için yavrular anneye ihtiyaç duyarlar. Anne sürüdeki diğer üyelerin getirdiği gıdalar ile beslenir [51].

Bozkurt hiyerarşisinde Alfa olarak tanımlanan bozkurtlar erkek ve dişi olarak bulunur ve grubun lideri olarak bilinmektedir. Alfa esas olarak grubun yönetilmesinden sorumludur. Sorumlulukları arasında avın seçimi, ava yaklaşım modeli, grubun hareket yönelimleri, konaklama yeri gibi birçok konu yer alır. Grupta alfanın kararları baskıcı şekilde kabul edilmektedir. Alfa grubun en güçlü olanı değildir. Yönetimsel anlamda en iyi aday alfa kurdunu belirler. Alfa altındaki kurtlar kendi yöntemleri ile mevcut konumları hakkında sürekli bilgi vererek mevcut konumunu teyit eder [11]. Resim 3.2 de görüldüğü gibi bir paket içerisinde alfa liderlik ifadesini, kuyruk pozisyonu ve grupta bulunduğu konum olarak göstermektedir. Bozkurt paketlerinde ruh hali ve arzular, kuyruk konumu, yüz ifadesi, kulak, göz, burun ve ağız hareketleri birleştirilerek ince bir davranışsal yapı ile gösterilmektedir. Bu bozkurtların kendi içerisinde gelişmiş bir vücut dili olduğunun göstergesidir [52,53].



Resim 3.2. Bir bozkurt paketi içerisinde alfa sosyal davranış örneği

Kuyruğun iletişimdeki uygulama şekli arka taraf ve anogenital bölgenin koku alma ve görsel anlatımda önemli bir fonksiyona sahip olduğunu gösterir. Diğer kurtlarla iletişim sırasında anal bölgenin yükseltilmiş bir kuyruk ile gösterilmesi baskınlık pozisyonunu gösterirken, anal bölgeyi kapsayan indirgenmiş bir kuyruk itaatkâr bir davranışı göstermektedir. Resim 3.3 bu ifadeyi destekler niteliktedir [52,53].



Resim 3.3. İletişim halindeki bozkurtların kuyruk pozisyonları

Hiyerarşide ikinci sırada Beta yer almaktadır. Beta sınıfında bozkurtlar, Alfaya her konuda yardımcı olmak ile görevlidirler. Genel olarak alfanın emir ve komutasıyla grubu organize ederler. Beta kesin şekilde alfanın emri altındadır. Sürü ile iletişimi beta kurdu sağlar. Beta, grubun diğer üyeleri ile Alfa arasında çift yönlü iletişimden sorumludur. Beta grubu kurtlar erkek ya da dişi olabilirler. Alfa yaşlandığında yeni Alfa için en iyi aday olarak Beta kurtlar gösterilir [11].

Hiyerarşide son sırada Omega yer almaktadır. Grubun bakım ve gözlem sınıfında yer alırlar. Omega kurtlar sürüde en son yemek izni verilen gruptur. Omega son sırada yer alması ve önemsiz bir konumda olduğu düşünülse de Omega kaybedildiğinde sürünün iç çatışmalar yaşadığı ve dağıldığı gözlenmiştir. Omega grubun sinir, hüzün gibi negatif duyguları alan ve grubun deşarj olmasını sağlayan birimdir. Omega kurtlar gruba dâhil olan çocukların bakımı ile de ilgilenen birimdir [11].

Grupta bu sınıflandırmaların dışında kalan kurtlar “ast” yani Delta olarak anılır. Delta grubu geniş görev alanlarına sahip sayıca çok olan kısımdır. Hiyerarşik yapıda Alfa ve Betanın altında bulunurlar. Omeganın üzerinde hâkimiyet kurarlar. Delta sınıfındaki kurtlar izciler, muhafızlar, kıdemliler, avcılar, koruyucular ve gözetleyiciler olarak ayrılırlar. İzcilerin görevi buldukları bölgeyi izlemek ve tehlikelere karşı uyaraktır. Muhafızlar sürüyü tehditlere karşı korumakla görevlidir. Kıdemliler, asiller eskiden Alfa

veya Beta görevi yapmış kurtlardır. Avcılar av sırasında Alfa ve Beta'ya yardım ederler ve sürü için gıda temini yaparlar. Son olarak ta bakıcı kurtlar hasta ve zayıf düşmüş kurtların korunmasından sorumludur [11].

Bozkurtların avlanma mekanizmalarını incelemek üzere C. Muro ve ark. tarafından deneysel çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar farklı bozkurt sayıları, farklı bozkurt davranışları, farklı av davranışları, bozkurtların başlangıç dağılımları, bozkurtların ava güvenli uzaklıkları, yakınlıkları ve bozkurtların bağlı hızlarına göre yapılmıştır. Dört farklı durumda bozkurt avlanma durumu sunmuştur [50].

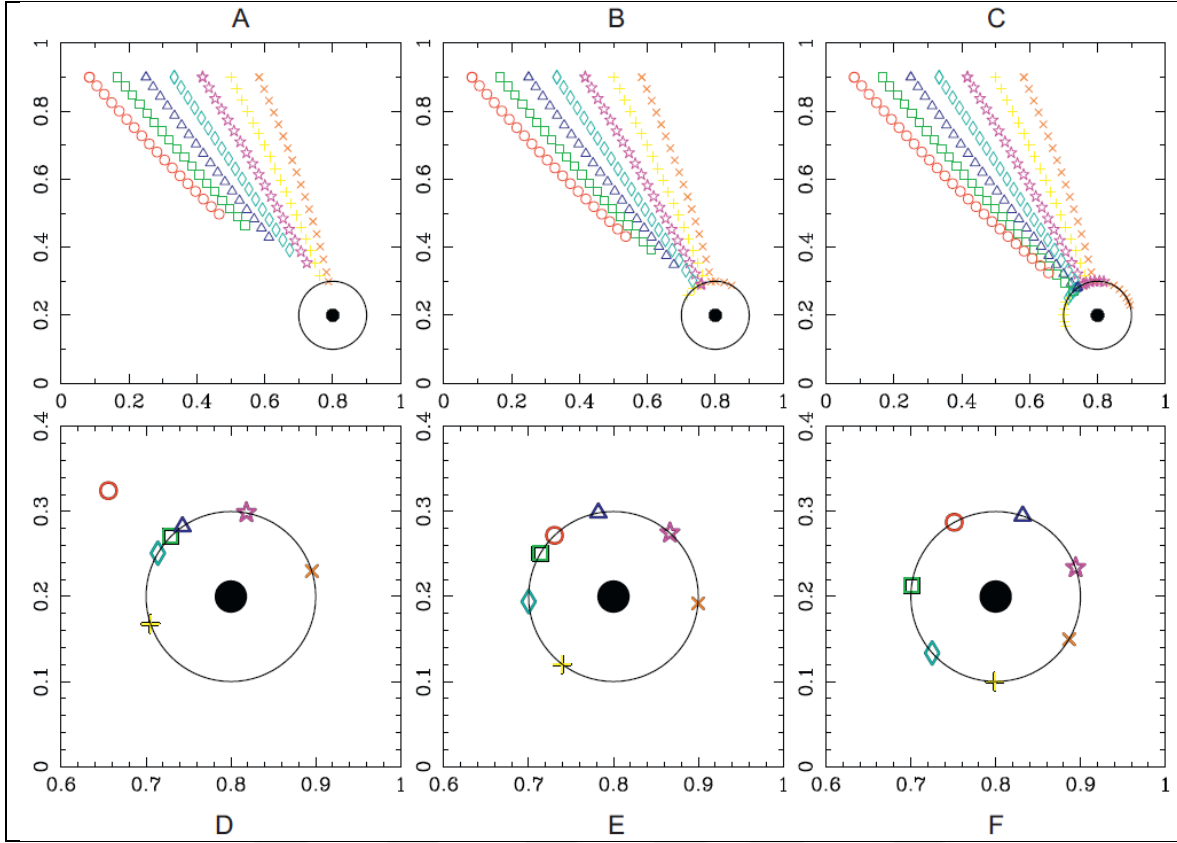
Durum 1: Sabit duran av çerçevesinde avlanma

Durum 2: Saat yönünün tersine azalan hızda avlanma

Durum 3: Durum 2 ile aynı özelliklerde ama bozkurt davranışları daha agresif halde

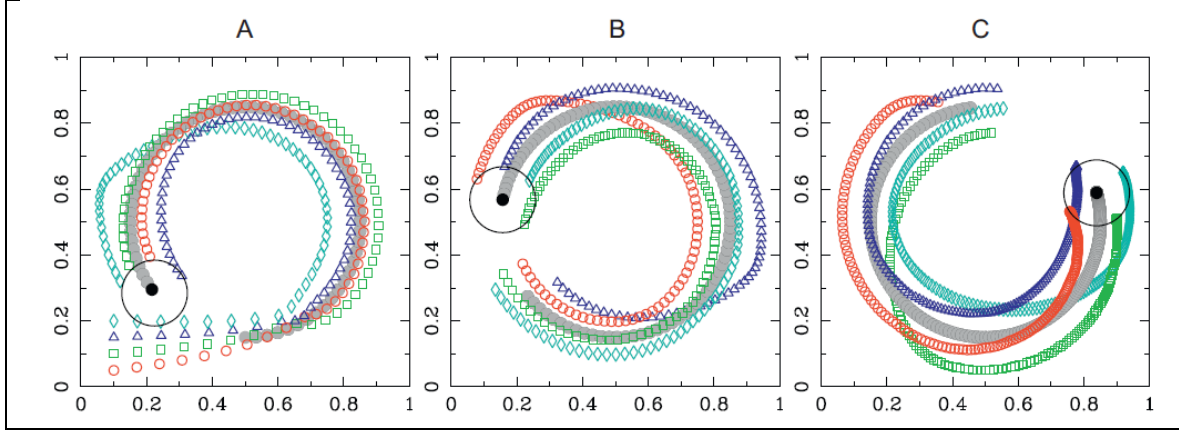
Durum 4: Av reaktif olarak hareket halinde ve bozkurtlardan kaçmaya çalışır durumda.

Durum 1 için yapılan çalışmalarda Şekil 3.1'de görüldüğü gibi bir simülasyon açığa çıkmıştır. A ve C arası grafiklerde görüldüğü gibi 7 adet bozkurt güvenli mesafeye ulaşana kadar düz bir çizgi şeklinde avını takip etmiştir. Bozkurtların C grafiğinde görüldüğü gibi güvenli mesafeye ulaştığında birbirinden uzaklaşmaya başladığı açıkça görünmektedir. Birbirinden uzaklaşmaya başlama süreci ilk yetişen iki bozkurt olarak başlar. İki bozkurt birbirinden uzaklaşarak avı bir çember içinde tutmaya başlar. Daha sonra bütün kurtların avı tamamen sarmaladığı görülebilir. Renkli sembollerin her birisi bir bozkurtu temsil etmektedir. Siyah nokta sabit duran avı temsil etmektedir [50].



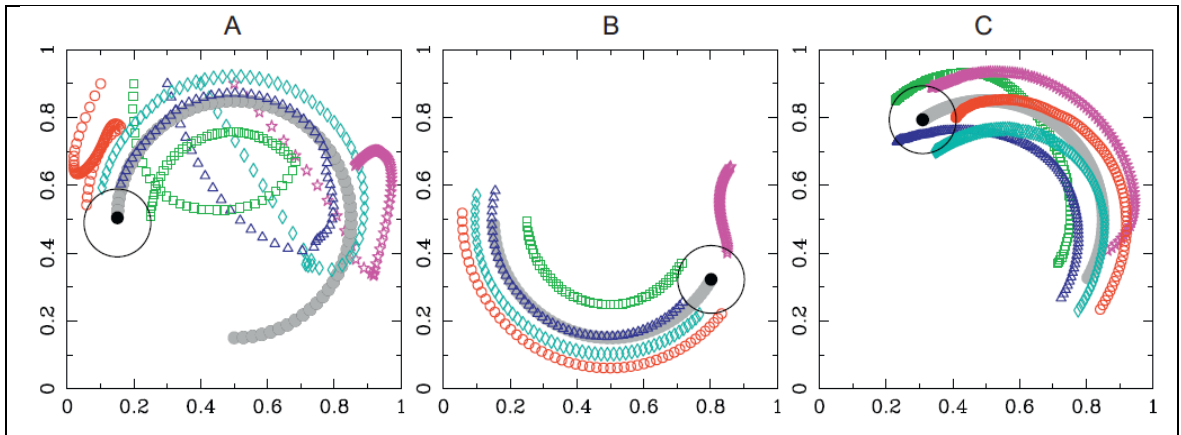
Şekil 3.1. Sabit duran av çerçevesinde avlanma

Durum 2 için av saat yönünün tersine azalan hızda bir yol izler. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi avı 4 bozkurt izler. A grafiğinde bozkurtlar grafiğin sol alt köşesinde avı takip etmeye başlar. Av takibi süresinde bozkurtlar güvenli mesafeye ulaşıncaya kadar avı çevreleyerek takip eder. Grafiklerde her bozkurt ayrı olarak renklendirilmiştir ve av siyah renklidir. Renklerin birbirine yaklaşması azalan hızda olduğunu göstermektedir. B ve C grafiklerinde sıklaşan takip süreçleri av çevrelenmeye başlayana ve yavaşlayarak durmasına kadar devam eder. A grafiğinde bozkurtların vektörel konum olarak $0,5 - 0,15$ durumunda başlayan av süreci C grafiğinde $0,82 - 0,6$ civarında avın tamamen sarılmasıyla son bulur. Avın konumunun artık nihai konfigürasyonda olduğu belirlenmiş olur ve saldırı başlar [50].



Şekil 3.2. Saat yönünün tersine azalan hızda avlanma

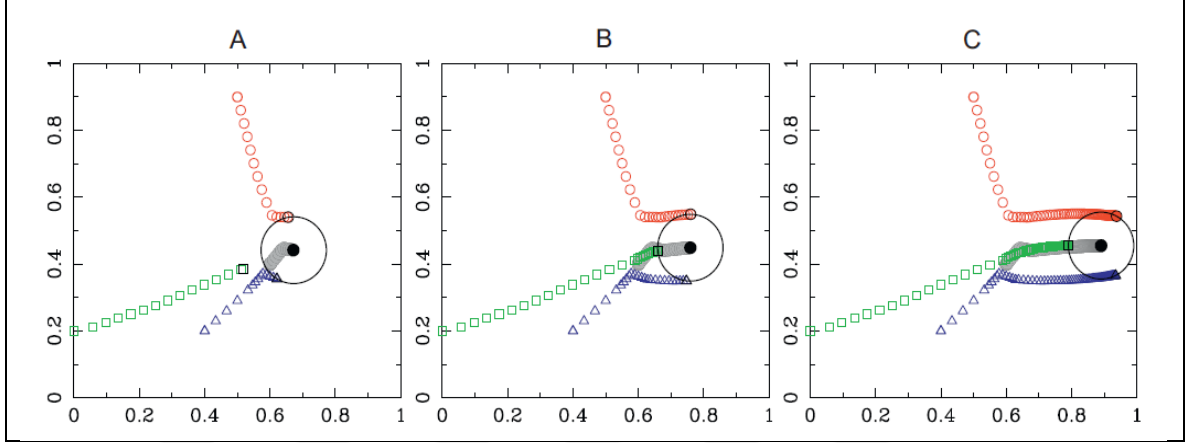
Durum 3 saat yönünün tersine yavaşlayan hızda ancak daha agresif durumda bozkurtların avlanma yapılarını Şekil 3.3'te göstermektedir. Şekil 3.3'te gösterilen avlanmada Şekil 3.2'ye benzerlik göstermektedir. Beş kişilik bir grubun avlanma süreci olarak belirtilebilir. Bozkurt sayısında ki artışın avı daha kısa sürede ve etkili bir biçimde durdurduğu görülebilir. A grafiğinde rastgele konumlandırma mantığına uygun olarak pembe renkle sınıflandırılmış bozkurt pusuda beklemektedir. B'de avın yaklaşımı ile önünü keserek çembere daha kısa sürede almış ve avı çevrelemişlerdir. C grafiğinde avı tamamen çevreledikleri görünmektedir [50].



Şekil 3.3. Saat yönünün tersine azalan hızda daha agresif olarak avlanma

Durum 4'te av reaktif olarak hareket halindedir ve bozkurtlardan kaçmaya çalışır. Şekil 3.4'te bu durum gösterilmiştir. Bozkurt sürü sayısı 3 ile sınırlıdır. A grafiğinde yaklaşma ve takip başlangıcı görünmektedir. B grafiğinde takip ve çevreleme aşamaları görünmektedir. C grafiğinde takip, çevreleme ve yakalama aşamaları gerçekleşmektedir.

Sürü sayısı az olsa bile temel mantık da yine avı çevrelemek vardır. Sürü sayısının az olması avın istenilen konuma gelme süresini uzatan bir durum olduğu açıkça görülmektedir [50].



Şekil 3.4. Bozkurt sürüsünden kaçmaya çalışan hareket halindeki av

Bozkurtların avlanma düzenleri ve modelleri güçlü sosyal bir düzene sahip olduğunu gösterir. Optimizasyon temeli aşağıdaki 3 adımda toplanmıştır. Bu durum izleme ve takip etme sistemlerinde çok kullanışlı ve etkili bir yöntem olmuştur.

a. Av takibi (İzleme, takip etme, yaklaşma)

Bozkurtların avlandıkları türler toynaklı gruba dâhil olan geyik, bizon gibi gruptardır. Grup halinde olan avlar için uygun olan zayıf haldeki avı gruptan ayırırlar. Uygun aday seçimini vücut duruşu, bozuk hareketler veya yara ya da iltihap kokusundan tespit edebilirler. Bozkurtlar avlarını uzun süre takip edebilirler. Enerjilerini korumak için av ile mümkün olduğu kadar aynı yolu izler ve bu süreçte avın görüş alanından uzakta dururlar. Av istenilen konuma geldiğinde kovalama ve yaklaşma işlemi başlar [54].

b. Avı sarmak (Av hareketsiz kalana kadar takip, taciz ve kuşatma)

Av kovalanarak gruptan ayrı konuma getirilir. Ayrı durumda bulunan av sürü üyeleri tarafından sarılmaya başlar. Burada esas alınan nokta avın hareketsiz konumda kalmasını sağlamaktır. Av hareketsiz konumda kalması için ava taciz girişimlerinde bulunulur [54].

c. Ava saldırmak

Saldırı aşamasında kurtlar avın arka ayakları ve boyun noktalarından saldırır. Avlar bu yoğun saldırılarda kan kaybından ya da şoktan kaynaklı ölürlür.

Bozkurtlar zayıf, hasta, yaşlı ve yaralıları avlarlar. Zayıfları hedef almaları ekolojik dengeyi korumalarını sağlar. Av gruplarındaki zayıf bireyleri avlayarak avlanan grubun daha iyi durumda hayatta kalmasını ve gelişmesine katkı sağlarlar. Bazı durumlarda avların hepsini yemezler. Avın kalan parçaları ile akbaba, tilki, çakal ve kartallar beslenir. Ekolojik dengeyi bu noktada korumuş olurlar [54].

3.2. Bozkurt Optimizasyon Modeli ve Algoritması

Bozkurt optimizasyonu yöntemi 2014 yılında Seyedali Mirjalili tarafından duyurulmuştur. Bu yöntem bozkurtların sosyal yaşamlarından ve avlanma sistemlerinden esinlenerek oluşturulmuştur [11].

Bozkurt optimizasyon modeli olarak popülasyonun sayısı kullanıcı tarafından belirlenir. Alfa sürünün en iyi çözümü olarak değerlendirilir. Alfa, Beta, Delta en iyi çözümlerin ilk ataması optimizasyon da belirlenen fonksiyona göre yapılır. Algoritmanın iterasyon sayısı daha iyi çözüme gidilmesini sağlar ancak iterasyon sayısının artması algoritmayı yavaşlatır. Kullanım alanına göre en iyi iterasyon sayısı belirlenerek çözüme gidilir. Her iterasyon da Alfa, Beta, Delta çözümleri hesaplanır ve iterasyon sonunda değer Alfaya eşitlenir. Bütün iterasyonlar boyunca bu işlem bu şekilde devam eder. GWO modelinde temel alınan fonksiyon değeri ile en iyi çözüm, ikinci bölümde sunulan optimizasyon yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği farklı disiplinler tarafından gösterilmiştir [11].

Bozkurtların grup olarak avlanma yeteneklerinden ve sosyal hiyerarşi yapılarından türetilerek oluşturulan Bozkurt Optimizasyon Algoritması genetik, mühendislik, matematik gibi farklı disiplinlerde kullanılarak önemini göstermiştir. Yeni bir yöntem olmasına rağmen farklı disiplinlerden GWO merkezli çalışmalar mevcuttur. Bilgisayar mühendisliği alanında sinir ağları, makine öğrenmesi, planlama ve hata analizlerinde yoğun olarak tercih edilmektedir. Biyomühendislik ve Genetik biliminde gen hesaplamaları çalışmalarında tercih edilmektedir [55,56]. Elektrik Elektronik Mühendisliği alanlarında motor kontrol, PI, PID ve hibrit enerji sistemleri gibi güç elektroniği alanlarında tercih edilmektedir [13,57,58]. Ekonomi problemlerinde ideal bir çözüm olarak kullanılmaktadır [14]. Bir çok

optimizasyon yöntemine kıyasla daha başarılı ve hızlı reaksiyon gösteren GWO algoritması farklı disiplinlerde tercih sebebi olmuştur [11].



Resim 3.4. Bozkurt avlanma sistemi; A) Avın takibi ve mesafe; B – C) Kuşatma; D) Taciz; E) Saldırı

3.2.1. Hiyerarşik yapı

Bozkurt Optimizasyonu yönteminde Alfa (α) en ideal matematiksel model olarak düşünülür. Beta (β) ve Delta (δ) sonraki en iyi çözümlerdir. Bozkurt optimizasyonunda α , β ve δ esaslı çözümler yapılır. Omega (ω) kurtları avlanma sürecinde onları takip eder [11].

Alfa gruba liderlik yapan bir figür olarak bulunmaktadır. Bu mantıkla fonksiyon denklemlerinde en iyi çözüm olarak Alfa gösterilir. Yinelemeler boyunca en ideal çözümde olan Alfanın konumuna göre diğer en iyi çözümler olan Beta ve Delta bozkurtlarının konumları Alfaya göre yeniden düzenlenir. Ava saldırı veya avdan vazgeçmek Alfanın konumuna göre belirlenir.

3.2.2. Avın sarılması

Bozkurtların avını sarması için çıkarılmış matematiksel model aşağıda belirlenmiştir:

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

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

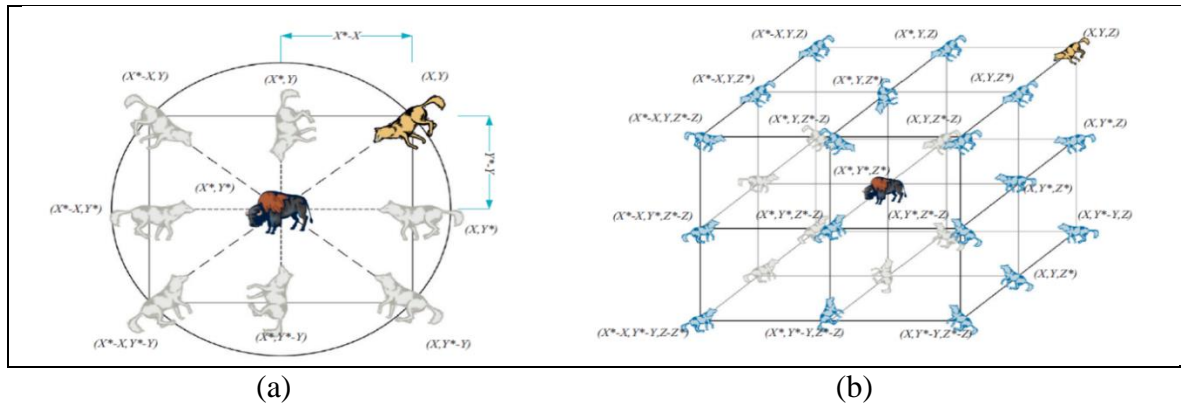
Avlar arası mesafe \vec{D} , Avın pozisyon vektörü \vec{X}_p , t ise şu an ki yinelemeyi ifade eder. \vec{A} ve \vec{C} değerleri X bozkurdunun vektörel olarak yerini verir.

\vec{A} ve \vec{C} değerleri için hesaplamalar aşağıda mevcuttur:

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

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

Denklem (3.1) ve (3.2) ifade edilen konum vektörü ve olası komşuları Resim 3.5 (a)'da gösterilmiştir. Bozkurdun (X,Y) pozisyon vektörü avın konumuna göre kendini (X^*,Y^*) güncelleyebilir. Bu güncellemede \vec{A} ve \vec{C} vektör değerlerini ayarlayarak en iyi avcı konumuna göre kendi pozisyonunu güncelleyebilir. İki ve üç boyutlu konum vektörleri ve muhtemel en iyi çözüm yakınsamaları için Resim 3.5 verilmiştir. İki boyuta istinaden n boyutlu bir çevrelemede bozkurtlar elde edilen en iyi çözüm etrafında hiper-küp içinde hareket ederler [11].



Resim 2.5. 2 boyut (a) ve 3 boyut (b) konum vektörleri ve sonraki olası konumları

3.2.3. Avlanma

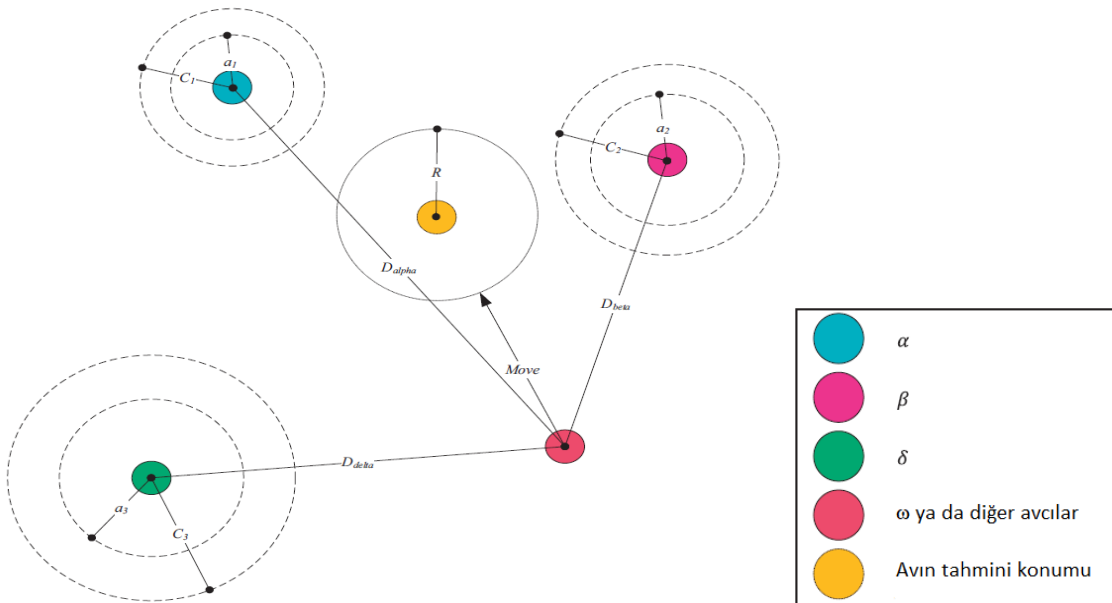
Bozkurt avlanma tekniğinde Alfa avı yönetir. Teorik uzayda avın optimum yeri hakkında bir bilgi yoktur. Avlanma tekniğinde en iyi çözüm olarak Alfa sonraki en iyi çözümler ise Beta ve Delta olarak esas alınır. Bu nedenle alınan ilk 3 ölçüm saklanır ve Omega dâhil diğer kurtların konumları en iyi çözüme göre güncellenir [11]. Bu konuda aşağıdaki denklemler kullanılabilir;

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

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

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

Şekil 3.5’de bir avcının 2 boyut avlanma bölgesinde Alfa, Beta ve Delta pozisyonuna göre konumunu güncellemesi gösterilmiştir. Avcının son konumunun Alfa, Beta ve Delta’nın konumuna göre tanımlanmış bir daire içerisinde olacağı görülebilir. Özetle avın Alfa, Beta ve Delta’nın konumlarına göre diğer kurtlar konumlarını günceller [11].

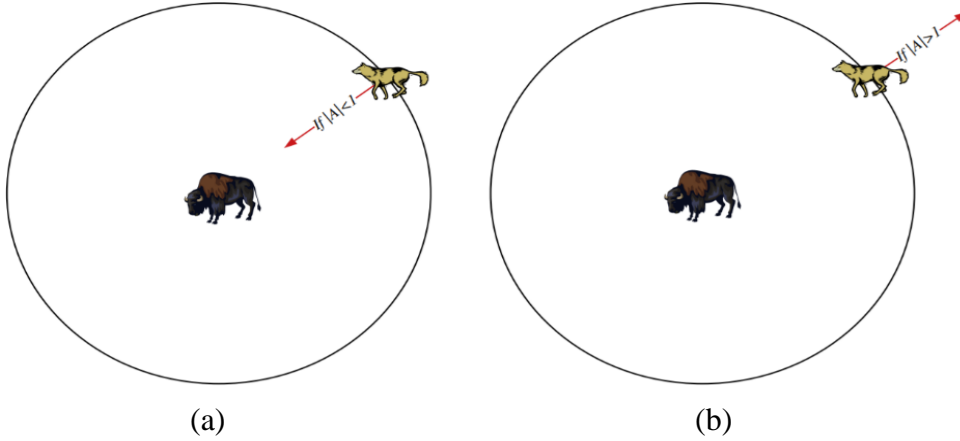


Şekil 3.5. 2 boyutta bozkurtların konum güncellemesi [11]

3.2.4. Saldırı ve av arayışı

Bozkurtlar konum olarak durma noktasına geldiğinde ava saldırırlar ve av tamamlanmış olur. Ava yaklaşım için matematiksel model olarak \vec{a} vektör değeri düşürülür. A genliği, $[2\vec{a}, -2\vec{a}]$ arasında rastgele bir değerdir. \vec{a} vektörel değeri tekrarlamalar boyunca 2'den 0'a düşer. \vec{A} gelişigüzel değerleri $[-1,1]$ sınırlarında konumlanmışken, herhangi bir arayış konumunun sonraki konumu, mevcut konum ile avın konumu arasında rastgele bir yerde olabilir [11].

Bozkurtların matematiksel modelinde $|A| < 1$ değeri için Resim 3.6 (a) saldırı uygun hale gelmiştir ve kurtlar avına saldırır. $|A| > 1$ değeri için Resim 3.6 (b) bozkurtlar avdan uzaklaşmaya başlar ve yeni av arayışı için çalışırlar [11].



Resim 3.6. Saldırı (a) ve av arayışı (b) modeli

3.2.5. Algoritma

Bozkurt optimizasyonu pseudocode bilgisi Şekil 3.6'da, algoritması Şekil 3.7'da gösterilmiştir. Çalışılacak alana göre uygunluk fonksiyonu ile ilk değer yüklemeleri yapılır ve GWO sisteminde denklem 3.4 ve 3.5'e göre her iterasyon da güncellemeler gerçekleştirilerek en iyi çözümler bulunur.

Sistemimizde tasarladığımız algoritma aşağıdaki sırada yazılabilir;

1. PV sistemler için gerekli olan ilk değerler yazılıma entegre edilir. Bizim sistemimiz için geçerli uygunluk fonksiyonu $Güç = Akım \times Gerilim$ şeklinde belirlenmiştir.

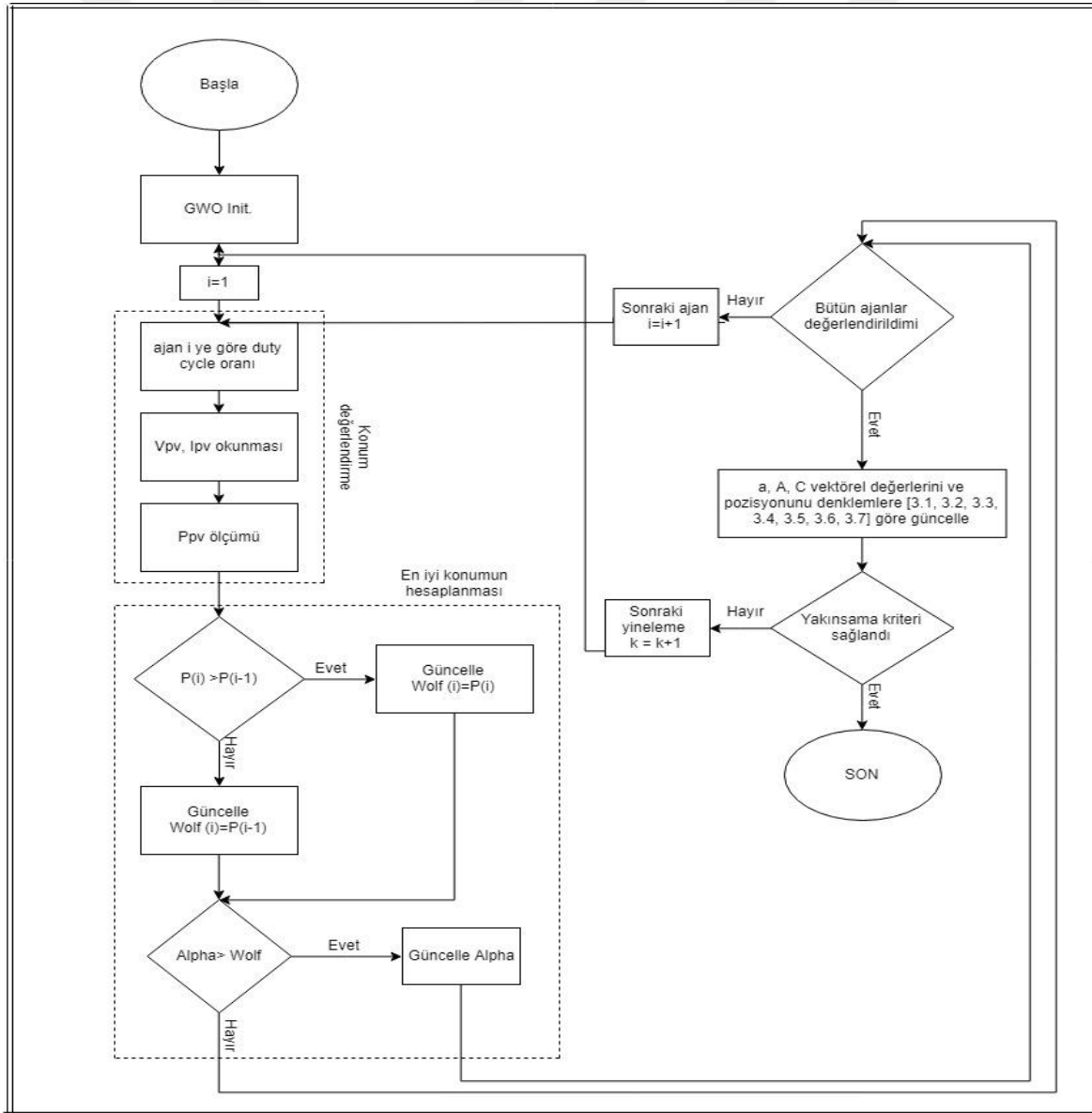
2. Sistemimizde kullandığımız arama ajanları yani sürüde bulunan bozkurt sayısı yazılımda eklenir.
3. Maksimum iterasyon sayısı yine yazılıma eklenen ilk değerlerdendir.
4. Uygunluk fonksiyonuna göre bulunacak değerlerin üst sınır ve alt sınır olarak değerleri girilir.
5. Simülasyonumuzda PV sisteme bağlı güç değerinin ilk başlangıç değerleri ve doluluk oranı ilk değeri yazılıma entegre edilir. Karşılaştırma yapmak için gereklidir.
6. Doluluk oranı değerinin her iterasyon da değişim miktarı için doluluk oranı değişim miktarı (ΔD) belirlenir ve bu değer yazılıma entegre edilir.

İlk 6 madde algoritmada GWO Init birimini anlatmaktadır. Simülasyon ortam yazılımı için hazırladığımız ve ilk değerlerin girildiği kısımdır. Farklı disiplinler için farklı uygunluk fonksiyonları ve ilk değer atamaları yapılacaktır.

7. $I=1$ ajan (bozkurt sınıflandırması) ile başlar ve bu safhada okunan akım ve gerilim değerlerinden o ajandaki güç değeri tespit edilir.
8. I ajanında hesaplanan güç değeri bir önceki ajan da hesaplanan güç değerinden küçükse $P_{best,i}$ değeri $P(i-1)$ değerine eşitlenir.
9. I ajanında hesaplanan güç değeri bir önceki ajan da hesaplanan güç değerinden büyükse $P_{best,i}$ değeri $P(i)$ değerine eşitlenir.
10. $P_{best,i}$ değeri bu hesaplamalar ile belirlendikten sonra en iyi çözüm olarak değer alan $G_{best,i}$ değeri ile karşılaştırılır. $G_{best,i}$ değeri $P_{best,i}$ değerinden büyükse G_{best} değeri güncellenir veya $G_{best,i}$ değeri $P_{best,i}$ değerinden küçükse, diğer bütün ajanların değerlendirilip değerlendirilmediğine bakılır.
11. Bütün ajanlar değerlendirilmediyse “ i ” değeri bir artırılır ve sistem 8. maddeden tekrarlanır.
12. Bütün ajanlar değerlendirildiyse yakınsama kriteri için bütün arama ajanlarının vektörel konum (a, A, C) değerleri denklem 3.1, denklem 3.2, denklem 3.3, denklem 3.4, denklem 3.5, denklem 3.6’ya göre güncellenir.
13. Beklenen yakınsama kriteri sağlanamadı ise sonraki iterasyon için k değeri bir artırılır ve algoritma 7. maddeden tekrarlanır.
14. Yakınsama değeri sağlandı ise sistem sonlandırılır.

Sistem parametrelerini yükle \vec{X}_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)
 \vec{a} , \vec{A} ve \vec{C} vektörel konum atamalarını yap
Her bozkurt için konum hesaplamaları yap
 \vec{X}_α = En iyi konumdaki bozkurt (alfa)
 \vec{X}_β = İkinci en iyi konumdaki bozkurt (beta)
 \vec{X}_δ = Üçüncü en iyi konumdaki bozkurt (delta)
while ($k <$ maksimum iterasyon sayısı)
 for (Bozkurt popülasyonu)
 Eşitlik 3.7'ye göre şimdiki bozkurt konumunu güncelle
 end for
 \vec{a} , \vec{A} ve \vec{C} değerlerini güncelle
 Bütün bozkurtların konumlarını hesapla
 \vec{X}_α , \vec{X}_β ve \vec{X}_δ değerlerini güncelle
 $k = k + 1$
end while
return \vec{X}_α

Şekil 3.6. GWO pseudocode



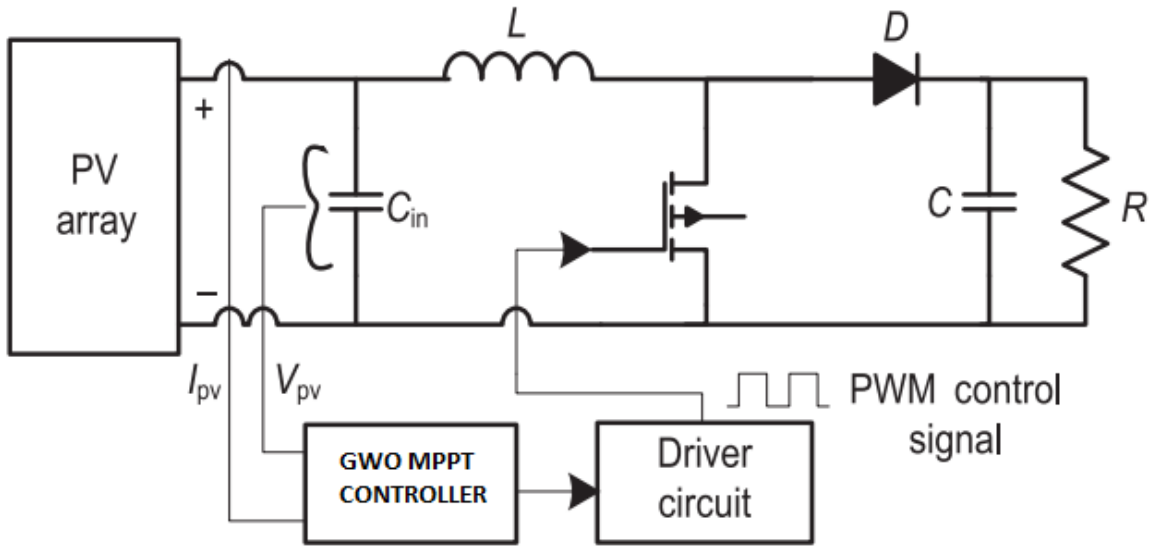
Şekil 3.7. Bozkurt optimizasyonu tabanlı MPPT algoritması

4. BOZKURT OPTİMİZASYONU TABANLI MPPT YÖNTEMİ

Optimizasyon metotları hali hazırda aktif sistemleri en ideal çözümde ve en yüksek performansta çalıştırmayı amaçlamaktadır. Doğada bulunan farklı türler üzerine yapılan çalışmaların optimizasyon yöntemlerindeki başarısı araştırmacıları bu alanda çalışmalar yapmaya itmiştir. Bu mantık ile Parçacık Sürü Optimizasyonu, Yapay Sinir ağları (YSA), Bulanık Mantık, Karınca Sürü Kolonisi (ALO), Çekirge Optimizasyonu (GOA), Balina Optimizasyonu (WOA) vb. gibi farklı yöntemler üzerinde çalışmalar artmıştır [11]. Bozkurt optimizasyonu yöntemi bu çalışmalardan çıkmış ve yüksek oranda etkisi olduğu için tercih edilmiştir. 2014 yılında Seyedali Mirjalili tarafından ortaya atılmıştır [11]. Temel olarak bozkurtların hayatlarından esinlenerek matematiksel formlar oluşturulmuştur. Bozkurtların ava yaklaşım modeli ve avlanma sürecindeki mekanizmalarından fonksiyonlar oluşturulması ile meydana gelmiştir. Bozkurt optimizasyonu yöntemi kullanılan çalışmalarda elde edilen başarılı sonuçlar birçok farklı disiplinde çalışan birimlerin en çok tercih ettiği yöntemlerden biri olmuştur.

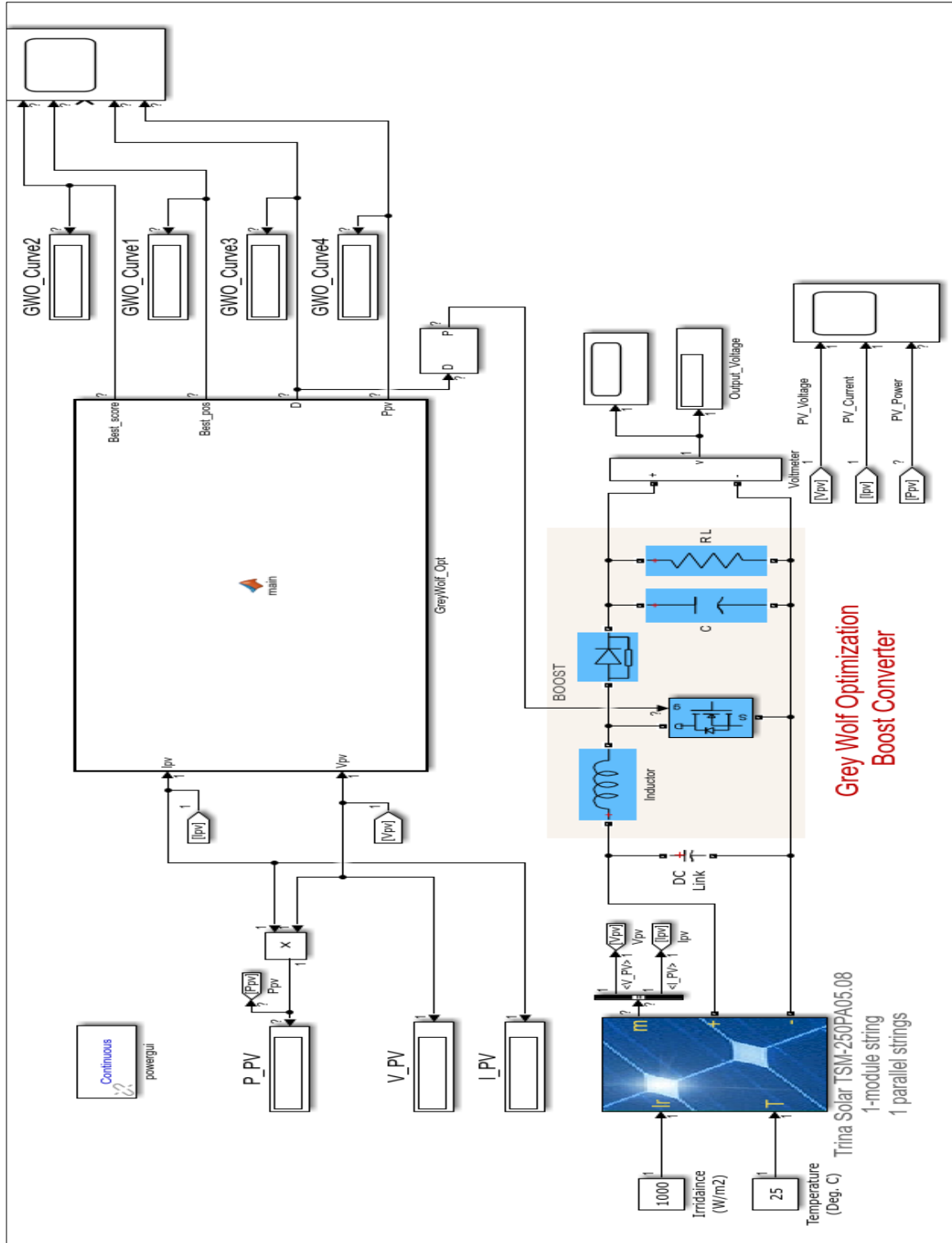
MPPT yöntemleri PV panellerden üretilen enerjinin en yüksek performansta aktarılması için uygulanmaktadır. PV panellerden üretilen enerjinin optimal değerleri için ikinci bölümde anlatıldığı gibi birçok yöntem uygulanmıştır. Bozkurt optimizasyonu yöntemi bu uygulama alanlarından birisidir. İkinci bölümde anlatılan yöntemlere kıyasla çok daha etkin ve doğru sonuçlar verdiğini beşinci bölümde gösterilen benzetim sonuçları ile görülebilmektedir. Beşinci bölümde GWO algoritması esasına göre oluşturulmuş yükseltici tip çevirici ile yine aynı tip çevirici PSO ve P&O yöntemleri ile oluşturulmuştur. Yöntemler arası farklılıklar avantaj ve dezavantajlar sunulmuştur.

Şekil 4.1’de tasarlanan sistemin blok diyagramı görülmektedir. Güneş panelinden alınan akım ve gerilim değerleri okunarak GWO yazılım bloğuna gönderilir. GWO yazılım bloğundan çıktı olarak üretilen doluluk oranı ile belirlenen frekansta anahtarlama elemanı çalıştırılır ve PV sistemin maksimum güç noktasında çalışması sağlanmış olur.



Şekil 4.1. Bozkurt optimizasyon tabanlı MPPT blok diyagramı

Şekil 4.2’de sistemin benzetim modeli görülmektedir. Benzetim çalışmalarında 250 W gücünde bir PV panel ile yükseltici tip DA-DA çevirici modellenmiş ve kullanılmıştır. İlgili tasarımda PV panelin çıkış akım ve gerilim değerlerini okuyan sensörler yerleştirilmiştir. Benzetimde uygun bir anahtarlama elemanı seçilmiştir. Beşinci bölümde anlatıldığı gibi uygun değerlerde bobin ve kondansatör seçilmiştir. Bobinin kesimde ve iletimde olduğu durumlar ve kondansatörün dolma boşalma sürelerinin denklemleri verilmiştir. Bozkurt optimizasyonu algoritmasının oluşturulduğu bir yazılım bloğu mevcuttur. Bu yazılım bloğunda giriş parametreleri olarak akım ve gerilim değerleri alınmıştır. Çıkış olarak en iyi skor olan alfa bozkurdun konumu yani ideal güç değeri ve anahtarlama elemanı için doluluk oranı sürelerinin anlık değişimi verilmiştir. Çıkış parametreleri (Alfa değeri, Güç değeri, Doluluk oranı) anlık olarak göstergelerde görünmektedir. Giriş ve çıkış parametrelerinin analizi için scope yerleştirilmiştir. Benzetim farklı ışınım ve sıcaklık değerlerinde çalıştırılmıştır. Sıcaklık $25^{\circ}C$ sabit tutularak ışınım değerleri, $1000 W/m^2$, $500 W/m^2$ ve $300 W/m^2$ olarak değerlendirilmiştir. Bu ışınım değerlerinde simülasyonun dengeye gelme süreçleri ve denge halinde dalgalanma durumları incelenerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Işınım değeri $1000 W/m^2$ de sabit tutularak sıcaklık değerleri $25^{\circ}C$, $50^{\circ}C$ ve $60^{\circ}C$ olarak değerlendirilmiştir. Burada da simülasyon ortamının dengeye gelme ve dalgalanma durumları incelenerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu uygulama PSO ve P&O yöntemlerinde de gerçekleştirilerek karşılaştırmalar gösterilmiştir.



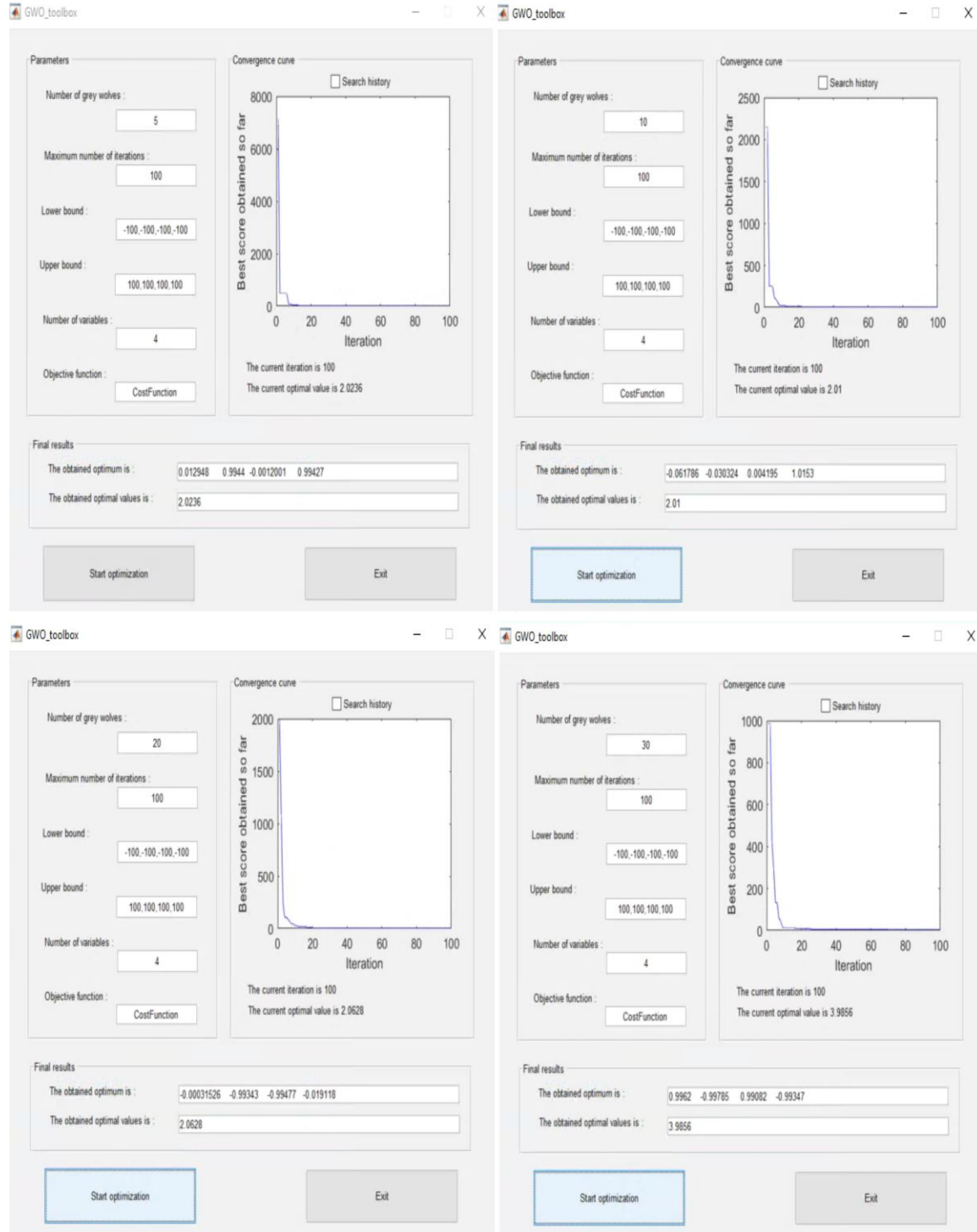
Şekil 4.2. Bokurt optimizasyon yöntemi ile MPPT tasarım

Bozkurt optimizasyonu için oluşturulan yazılım bloğu açıklamaları maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır;

1. Oluşturulan yazılım bloğunda iki önemli girdi ve iki önemli çıktı mevcuttur. Giriş olarak PV panelden okunan akım ve gerilim değerleri anlık olarak alınır. Çıkış olarak bozkurt optimizasyon metoduna göre hesaplanan alfa güç değeri ve sistemin en yüksek güç noktasındaki doluluk oranı yer almaktadır.
2. PV sistemler için gerekli olan ilk değerler yazılıma entegre edilir. Tasarladığımız sistem için geçerli uygunluk fonksiyonu $Güç = Akım \times Gerilim$ şeklinde belirlenmiştir. Uygunluk fonksiyonu için çözümler sürekli halde optimizasyonda değerlendirmeye alınmaktadır.
3. Sistemimizde kullandığımız arama ajanları yani sürüde bulunan bozkurt sayısı yazılımda eklenir. Bozkurt sayısında ideal faktör olarak 30 değeri belirlenmiştir. Bu değer arttığında her iterasyonda bozkurtların konumu, yani en yüksek güç değeri daha ideal olacaktır ancak dengeye gelme süresinde artma meydana gelecektir. Bozkurt sayısının artması demek rastgele atanan konum değerlerinin her birisi için en iyi konum karşılaştırması yapılarak güncellemek demektir. Bozkurt optimizasyonu, PSO gibi yöntemlerde ilgilenilen disipline göre bu sayılarda değişiklikler olabilir. GWO sisteminde verilen bozkurt sayısı ile PSO sisteminde parçacık sürü sayıları simülasyonun doğru sonuçlar vermesi açısından eşit tutulmuştur. İterasyon sayısı ve bozkurt sürü sayısının etkisinin daha iyi görülebilmesi açısından Seyedali Mirjalili tarafından sunulan GWO tabanlı toolbox üzerinde iterasyon ve bozkurtların sayısı değiştirilerek çıktılar alınmıştır. Bu çıktılar üzerinde bozkurt sürüsünün sayısı ve tekrarlama sayısının önemi görülmektedir [11].
4. Maksimum iterasyon sayısı yine yazılıma eklenen ilk değerlerdendir. İterasyon sayısı 100 olarak belirlenmiştir. PSO ile aynı oranda tutularak sonuçların doğru noktayı vermesi amaçlanmıştır.

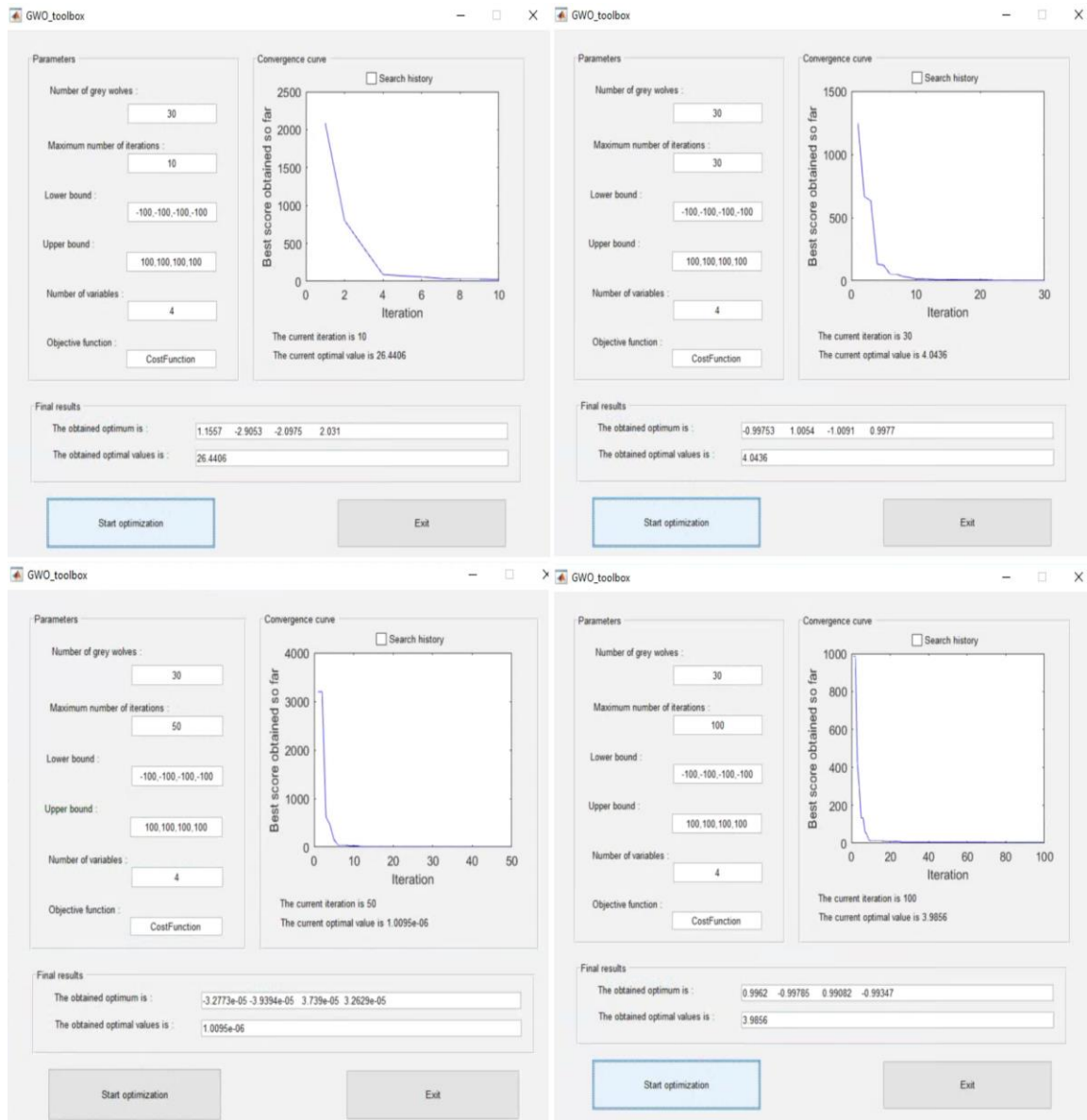
Şekil 4.3'te iterasyon sayısı aynı tutulan GWO toolbox 'da bozkurtların sayısı değiştirilerek sistemin dengeye gelme ve en iyi çözümü bulma durumları gösterilmiştir. Toolbox fonksiyonu dört değişkenli bir denkleme göre çözülerek ekrana yansıtılmıştır. Beş adet bir sürü ile yapılan çözümde elde edilen en iyi sonuca olan uzaklık 7000 değerindeyken, on adet sürü ile yapıldığında 2200, yirmi adetlik sürüde 1800 ve son olarak

30 adetlik sürüde 1000 civarı değer almıştır. Final sonuçları olarak geçen kısımda ise değişkenlerin son durumda yakaladıkları en iyi çözüm görülmektedir.



Şekil 4.3. GWO toolbox sabit iterasyon sayısı değişken bozkurt sayısının değerlendirilmesi

Şekil 4.4'te bozkurt sayısı aynı tutulan GWO toolbox 'da iterasyon sayısı değiştirilerek sistemin dengeye gelme ve en iyi çözümü bulma durumları gösterilmiştir. Toolbox fonksiyonu dört değişkenli bir denkleme göre çözülerek ekrana yansıtılmıştır. Burada otuz adetlik sabit bir sürü ile 10, 30, 50 ve 100 iterasyonluk çözümler sunulmuştur. Burada final sonuçlarında iterasyon sayısı arttıkça sistemin daha doğru şekilde dengeye geldiği görülmektedir. En iyi çözümün 30 değişkenli sürü ve 100 iterasyonlu bir yapı olduğu görülür. Farklı disiplinlerde ya da çalışmalarda uygunluk fonksiyonu değerlendirilerek en iyi çözüm için iterasyon ve bozkurt sürü sayısı belirlenebilir.



Şekil 4.4. GWO toolbox sabit bozkurt sayısı değişken iterasyon sayısının değerlendirmesi

5. Uygunluk fonksiyonuna göre bulunacak değerlerin üst sınır ve alt sınır olarak değerleri girilir. Bu değer fonksiyonumuzun değer aralığını belirtmektedir.
6. Simülasyonumuzda PV sisteme bağlı güç değerinin ilk başlangıç değerleri ve doluluk oranı ilk değeri yazılıma entegre edilir. Yazılım başladığında ilk güç karşılaştırma değerleri için güç ifadesinin ilk değeri belirlenir.
7. Yükseltici tip çeviricinin çalışmaya başlayacağı doluluk oranı değeri (D) ve her iterasyon da doluluk oranı değişim miktarı (ΔD) belirlenir ve bu değer yazılıma entegre edilir.

İlk 7 madde simülasyon ortam yazılımı için hazırladığımız ve ilk değerlerin girildiği kısımdır.

8. Alfa, beta ve delta için rastgele değer atamaları yapılır.
9. İlk pozisyon bilgileri için yazılan “Position=initialization (SearchAgent_no,dim,ub,lb)” isimli kod satırı kullanılarak bütün bozkurtların pozisyon değerleri hazırlanır.

Her iterasyon da aşağıdaki adımlar izlenir.;

10. Üst sınır ve alt sınır aralığı dışına çıkan bozkurtların geri çevrilmesi için;


```
‘Flag4ub=Positions(i,:)>ub;’
```

```
‘Flag4lb=Positions(i,:)<lb; ’
```

```
‘Positions(i,:)=(Positions(i,:).*(~(Flag4ub+Flag4lb)))+ub.*Flag4ub+lb.*Flag4lb; ’
```

 pozisyon fonksiyonları kullanılır. Avı çevreleme için gerekli bu fonksiyon ile av daha kolay sarılacaktır. Güç faktörü tespiti için optimal değere yaklaşmayı sağlayacaktır.
11. “fitness=fobj(Positions(i,:));” fonksiyonu ile bozkurtların uygunluk fonksiyonuna göre pozisyon hesaplamaları yapılır.
12. Alfa, beta ve delta için fitness pozisyon karşılaştırması yapılarak en iyi pozisyon alfa değerine, ikinci en iyi pozisyon beta değerine ve üçüncü en iyi pozisyon delta değerine eşitlenir.
13. Her iterasyon da \vec{a} vektörel değeri 2’den 0’a doğru düşürülür. \vec{a} vektörel değeri avlanma olarak yakınsamayı ifade eder ve her iterasyonda güncellenir.
14. Genlik değeri \vec{A} ise $[-2\vec{a}, 2\vec{a}]$ arası değerlerdir. \vec{A} ve \vec{C} her iterasyonda güncellenir. Ava yakınlık derecesi ile bozkurtların çemberi daraltmasını ifade eder. Denklem 3.3 ve 3.4’e göre güncelleme gerçekleşir.

15. Awin merkezi konusunda bir bilgi olmadığından rastgele yarıçap atamaları ile 14. maddede belirtilen aşamalar gerçekleştirilerek ölçümler alınır ve ilk 3 ölçüm saklanır. Denklem 3.7’de ifade edildiği gibi en iyi 3 ölçüm ortalaması alfa olarak, ikinci en iyi 3 ölçüm ortalaması beta ve üçüncü en iyi 3 ölçüm delta olarak güncellemeler yapılır.
16. Yakınsama kriteri gerçekleşene kadar iterasyonlar 10. Maddeden itibaren tekrarlayarak devam eder. İterasyonlar sonucu elde edilen alfa konumu, en yüksek güç değeri olarak çıkış güç parametresine yazılır.
17. ‘ t ’ anında elde edilen en yüksek güç değeri P_t ile ‘ $t+1$ ’ anında elde edilen en yüksek güç değeri P_{t+1} karşılaştırması yapılır.
18. $P_t < P_{t+1}$ durumu oluştuğunda ilk değer ataması ile belirlediğimiz doluluk oranı (D_{ilk}) ve doluluk oranı değişim miktarı (ΔD) için $D = D_{ilk} + \Delta D$ şeklinde güncellenmiştir.
19. $P_t > P_{t+1}$ durumu oluştuğunda ilk değer ataması ile belirlediğimiz doluluk oranı (D_{ilk}) ve doluluk oranı değişim miktarı (ΔD) için $D = D_{ilk} - \Delta D$ şeklinde güncellenmiştir.
20. Güncel durumdaki doluluk oranı ‘ D ’ anahtarlama elemanı için çıktı olarak verilir.

En yüksek güç noktası yakalandığı andaki doluluk oranı değerinde anahtarlama yaparak PV panelin anlık olarak en yüksek gücü sisteme aktarılmıştır. Genel olarak bozkurt avlanma hiyerarşisindeki ava yaklaşım modeli ile en iyi konum bulunmuş oldu. Kıyaslama için oluşturulan PSO ve P&O yazılım ve donanım simülasyonları aynı değer ve modellerde yapılmıştır. Beşinci bölümde çıktılar verilmiştir. Her bir uygulama için yazılım kodları Ekler de sunulmuştur.

5. SİSTEMİN MODELLENMESİ

MPPT teknikleri birçok çeşit ve yapıda modellenerek tasarlanmıştır. Burada sistemin temel amacı bozkurt optimizasyon yöntemi kullanılarak yeni ve daha etkin bir MPPT yöntemi tasarlamaktır. Bu çalışma da sistem MATLAB/Simulink ortamında benzetim yapılarak tasarlanmıştır. Bozkurt optimizasyonu yönteminin daha verimli ve hızlı çalıştığını göstermek amacıyla aynı devre tasarımı P&O yöntemi ve PSO yöntemi kullanılarak tasarlanmış ve test edilmiştir. Sonuçlar GWO yönteminin diğer yöntemlere kıyasla çok daha faydalı olduğunu göstermektedir. GWO, PSO ve P&O yöntemlerinin kıyaslaması ve simülasyon çıktıları bu bölümde verilmiştir.

5.1. Alt Sistemler

GWO tabanlı MPPT tasarımı Şekil 4.2’de gösterilmiştir. Devrede Trina Solar firmasının TSM-250PA05.08 isimli fotovoltaik panelin MATLAB/Simulink modeli bulunmaktadır. Panelin akım ve gerilimi okunarak, yazılım modülü olarak eklenen GWO bloğuna, giriş parametrelerini oluşturmuştur. GWO sistemin MPP’de çalışmasına sağlamak için gerekli doluluk oranı (D) değerini hesaplamış ve darbe genişlik modülasyonu kullanılarak üretilen anahtarlama sinyali yükseltici tip çevirici birimine uygulanmıştır. Simulink modelinin alt bileşenleri detaylı olarak bu bölüm başlığı altında verilmiştir.

PV panellerin çıkış gerilimleri ışınım şiddeti, ortam sıcaklığı gibi çevresel şartlar ve yük çalışma özellikleri nedeniyle değişim göstermektedir. Bu değişimin yüke faydalı ve doğru şekilde aktarılması için yükseltici tip çevirici ile kullanılan MPPT yöntemi maksimum uyum ile çalışmalıdır. PV uygulamalarında değişik DA-DA çevirici devre yapıları kullanılabilir de bu çalışmada anahtarın her iki konumunda da kaynaktan akım çekebilen dolayısıyla PV gücünün kullanım oranını artıran yükseltici tip çevirici tercih edilmiştir.

5.1.1. PV panel türü ve özellikleri

Simülasyonda kullanılan PV panel Trina Solar firmasının TSM-250PA05.08 isimli 250W’lık ürün modelidir. PV panelin parametre değerleri Resim 5.1’de yer almaktadır. Kullanılan PV panelin sıcaklık ve ışınım ile değişimini gösterir karakteristik Şekiller

bölüm 2.3'te gösterilmiştir. PV panel datasheet bilgileri bölüm sonunda verilmiştir. Resim 5.1'de gösterildiği gibi panelin STD şartlarında açık devre çıkış gerilimi $V_{oc} = 37.6 V$, kısa devre akımı $I_{sc} = 8.85 A$, maksimum güç voltajı $V_{MP} = 30.3 V$, $I_{MP} = 8.27 A$, maksimum güç değeri $W_p = 250 W$ şeklindedir.

ELECTRICAL DATA @ STC	TSM-240 PA05.08	TSM-245 PA05.08	TSM-250 PA05.08	TSM-255 PA05.08	TSM-260 PA05.08
Peak Power Watts- P_{MAX} (Wp)	240	245	250	255	260
Power Output Tolerance- P_{MAX} (%)	0/+3	0/+3	0/+3	0/+3	0/+3
Maximum Power Voltage- V_{MP} (V)	29.7	30.2	30.3	30.5	30.7
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	8.10	8.13	8.27	8.36	8.47
Open Circuit Voltage- V_{oc} (V)	37.3	37.5	37.6	37.7	37.9
Short Circuit Current- I_{sc} (A)	8.62	8.68	8.85	8.92	9.00
Module Efficiency η_m (%)	14.7	15.0	15.3	15.6	15.9

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.
Average efficiency reduction of 4.5% at 200 W/m² according to EN 60904-1.

ELECTRICAL DATA @ NOCT	TSM-240 PA05.08	TSM-245 PA05.08	TSM-250 PA05.08	TSM-255 PA05.08	TSM-260 PA05.08
Maximum Power- P_{MAX} (Wp)	174	178	181	184	188
Maximum Power Voltage- V_{MP} (V)	26.6	26.8	27.0	27.2	27.4
Maximum Power Current- I_{MPP} (A)	6.55	6.64	6.70	6.77	6.86
Open Circuit Voltage (V)- V_{oc} (V)	34.1	34.2	34.3	34.4	34.6
Short Circuit Current (A)- I_{sc} (A)	7.04	7.10	7.25	7.31	7.37

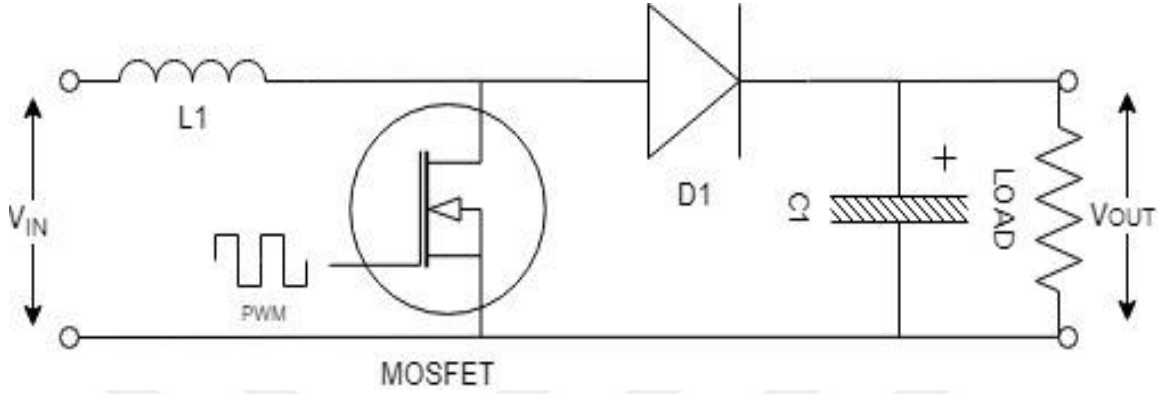
NOCT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

Resim 5.1. TSM-250PA05.08 isimli pv panelin parametre değerleri

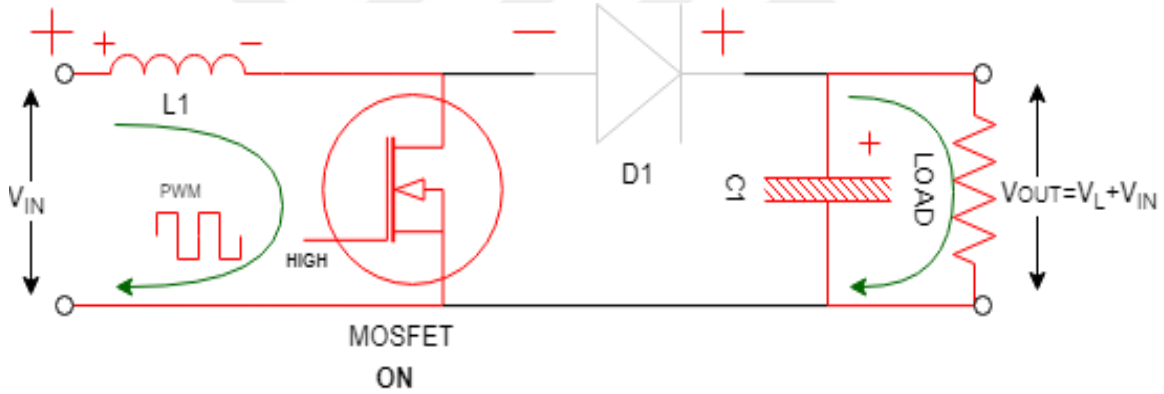
5.1.2. DA – DA yükseltici çevirici modeli ve tasarımı

Yükseltici tip dönüştürücülerde giriş geriliminin kontrollü şekilde yükseltilmesi amaçlanmaktadır. Yükseltme işlemi anahtarlama elemanına uygulanan anahtarlama sinyalinin doluluk oranına göre belirlenir [59]. Şekil 5.1'de yükselten tip devre şeması gösterilmiştir. Devrede kullanılan anahtarlama elemanı (Mosfet) iletimde olduğu durumda, bobin (L_1) şarj edilirken, akım değeri doğrusal olarak artar. Diyot bu durumda kapalı olmasından dolayı yük kapasiteden beslenir. Bu durum Şekil 5.2'te gösterilmiştir. Anahtarlama elemanının kesimde olduğu durumda bobin üzerindeki enerji ters

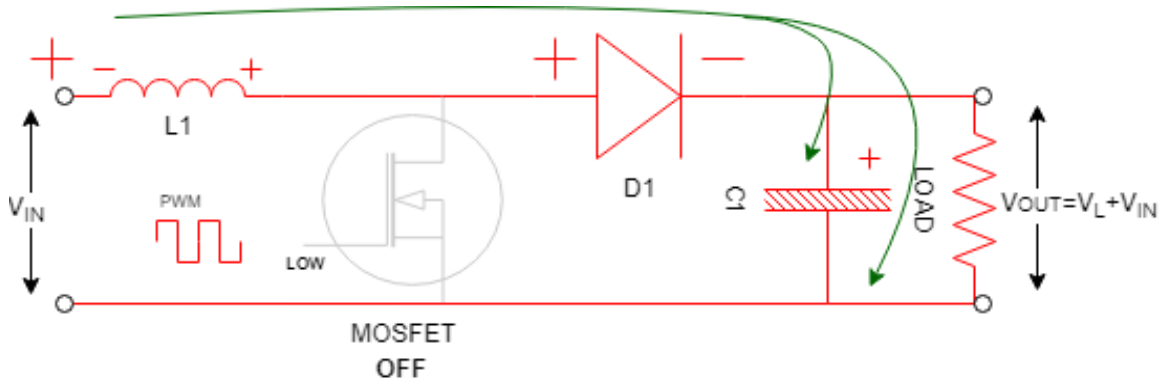
kutulanarak diyot üzerinden kapasite ve yüke aktarılır. Anahtarın kesimde olduğu durum Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Bobin üzerindeki bu enerjinin aktarılması sonucu yük üzerinde girişe göre daha yüksek bir enerji oluşur [59].



Şekil 5.1. Yükseltici tip dönüştürücü devre şeması



Şekil 5.2. Yükseltici tip çeviricide anahtarlama elemanın aktif olma durumu



Şekil 5.3. Yükseltici tip çeviricide anahtarlama elemanın pasif olma durumu

Anahtarlama elemanının iletimde olduğu sürede bobin akımının yükselme durumu besleme kaynağına ve L değerine bağlı olarak değişir. İlk durumda bobin gerilimi, giriş gerilimine eşit olur. Bu durum denklem 5.1’de ifade edilmiştir. Denklem 5.1 düzenleme yapılırsa sırasıyla denklem 5.2 ve denklem 5.3’te ki gibi olur. Anahtarlama elemanının iletim süresi, doluluk oranı (D) çarpanı ile DT şeklinde hesaplanır. Bu çarpan Δt değerine eşit olur. Denklem 5.4’de bu düzenleme yapılmıştır [59].

$$V_L = V_{IN} \quad (5.1)$$

$$L \frac{di_L}{dt} = V_{IN}(t) \quad (5.2)$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{V_{IN}}{L} \quad (5.2)$$

$$\Delta I_L = \frac{V_{IN}}{L} (DT) \quad (5.4)$$

Anahtarlama elemanının kesimde olduğu durumda bobin üzerindeki gerilimin denklemi denklem 5.5’te gösterilmiştir;

$$V_L = V_{IN} - V_{OUT} \quad (5.5)$$

$V_{IN} < V_{OUT}$ olduğu durumda bobin üzerindeki gerilim ve akımın polarite değiştirilerek negatif değer alması denklem 5.6’da gösterilmiştir. Anahtarlama elemanı kesime gittiğinde Δt çarpanı $(1-D)T$ şeklinde ifade edilir. Bu durumunda bobin üzerindeki akım denklem 5.7’de gösterilmiştir [59].

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_{IN}-V_{OUT}}{L} \quad (5.6)$$

$$\Delta I_L = \frac{V_{IN}-V_{OUT}}{L} (1 - D)T \quad (5.7)$$

5.1.3. Frekans ve doluluk oranı hesapları

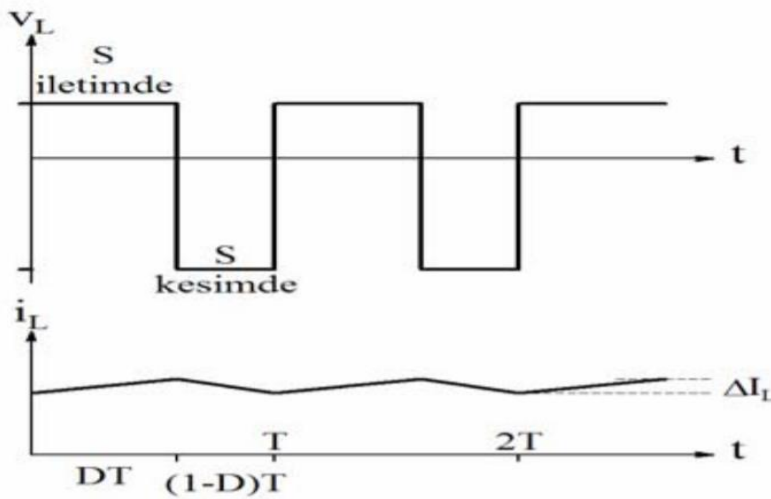
Anahtarlama elemanının iletim ve kesim durumu sabit frekansta yapılmaktadır. Anahtarın iletimde ve kesimde olduğu durumlar göz önüne alınarak toplam periyot süresinde akım

değişimi sıfır olmalıdır. Denklem 5.4 ve denklem 5.7 toplamı sıfır olur. Bu ifadenin sadeleşmesi ile denklem 5.8 de gösterildiği gibi çıkış geriliminin giriş geriliminden yüksek olduğu ortaya çıkar.

$$V_{OUT} = \frac{V_{IN}}{1-D} \quad (5.8)$$

Doluluk oranı $0 < D < 1$ aralığında değişim göstermektedir. Çıkış geriliminin en düşük olduğu nokta $D=0$ değerini aldığı durumdur. Bu durumda giriş gerilimi çıkış gerilimine eşittir. En yüksek olduğu nokta ise $D=1$ durumudur. Çıkış gerilimi teorik olarak sonsuz olmak ister ancak uygulamalarda D değerleri $D < 0,9$ aralığında değişim gösterir. Şekil 5.4'te bobin geriliminin periyot ve doluluk noktalarındaki değişimi gösterilmiştir.

Güneş pilinden üretilen giriş gerilimi en düşük değer olarak $0V$ seviyesinde olabilir. Uygulamada D değerini hesaplayabilmek için $10V$ seçilmiştir. En yüksek değeri ise V_{mp} olarak $30,3V$ değeri esas alınarak değişken çıkış gerilimi ile ideal gerilim sağlamaya çalışıldı. Denklem 5.8 kullanılarak sistemin başlangıç doluluk oranı (D) 0,5 olarak belirlendi. Güçteki değişim miktarına göre her döngüde doluluk oranında $\Delta D = 0.001$ değerinde değişim yazılıma entegre edilmiştir. Frekans seçimi gerçek hayatta uygulanabilirliği düşünülerek DSP işlemcilerde kullanılabilmesi ve seçilen devre elemanlarının küçük boyutlarda kalabilmesi açısından $f=100$ kHz olarak seçilmiştir.



Şekil 5.4. Bobin gerilim ve akım değişimi

5.2. Simülasyon Çıktıları

Bozkurt optimizasyonu tabanlı simülasyon çıktıları bu bölümde yer almaktadır. Optimizasyon yönteminin diğer yöntemlere göre karşılaştırmasını yapmak amacı ile parçacık sürü optimizasyonu ve değiştir-gözle metotları için aynı simülasyon oluşturulmuş ve yazılımları gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçları yine bu bölümde verilmiştir. Üç ayrı optimizasyon yöntemi içinde $25^{\circ}C$ sabit sıcaklıkta $1000 W/m^2$, $500 W/m^2$, $300 W/m^2$ ve son olarak tekrar $1000 W/m^2$ şeklinde değişken ışınım değerleri verilmiştir ve simülasyon çıktıları kaydedilmiştir. Sonrasında ışınım miktarı $1000 W/m^2$ de sabit tutularak $25^{\circ}C$, $50^{\circ}C$, $60^{\circ}C$ değerinde değişken sıcaklık farklılıkları uygulanmış ve simülasyon çıktıları kaydedilmiştir.

5.2.1. Bozkurt optimizasyonu tabanlı mppt çıktıları

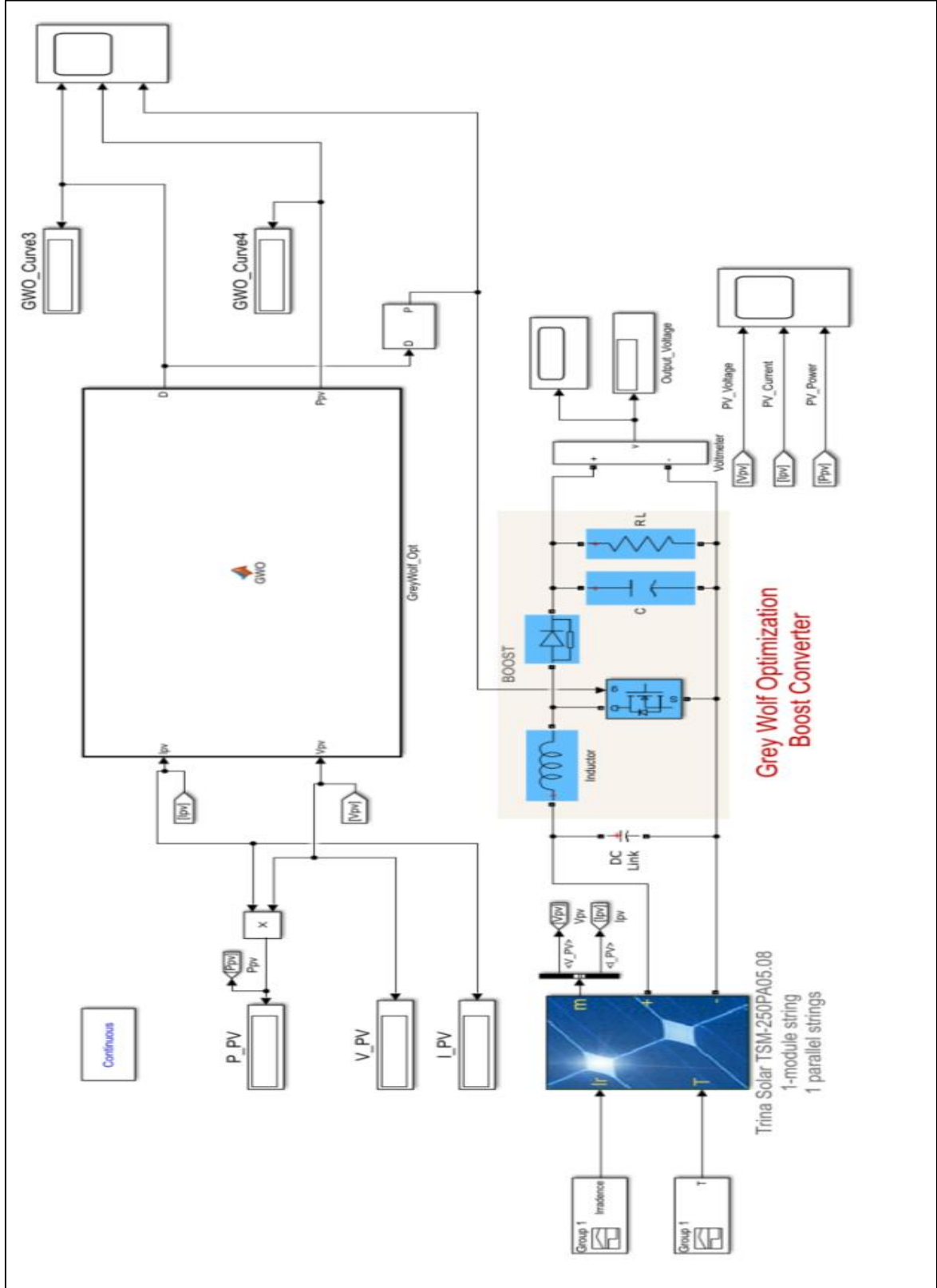
Şekil 5.5'te bozkurt optimizasyonu tabanlı tasarlanan mppt Simülink modeli bulunmaktadır. Şekil 5.6'da $25^{\circ}C$ sabit sıcaklıkta değişken ışınım oranlarında gerçekleştirilen simülasyon çıktısı verilmiştir. 0-0.1 saniye sürecinde çalışan simülasyonda; 0-0.02 saniye aralığında $1000 W/m^2$, 0.02-0.04 saniye aralığında $500 W/m^2$, 0.04-0.06 saniye aralığında $300 W/m^2$, 0.06-0.1 saniye aralığında $1000 W/m^2$ ışınım ile çalıştırılmış ve değişimler scope ile gözlenmiştir.

Şekil 5.6'da scope sonuçları verilen tasarımda ilk birim doluluk oranı değişimini vermektedir. İkinci birim PV panel çıkış gücündeki değişim miktarını vermektedir. Üçüncü birim ise PWM'in doluluk oranı ile değişimini göstermektedir.

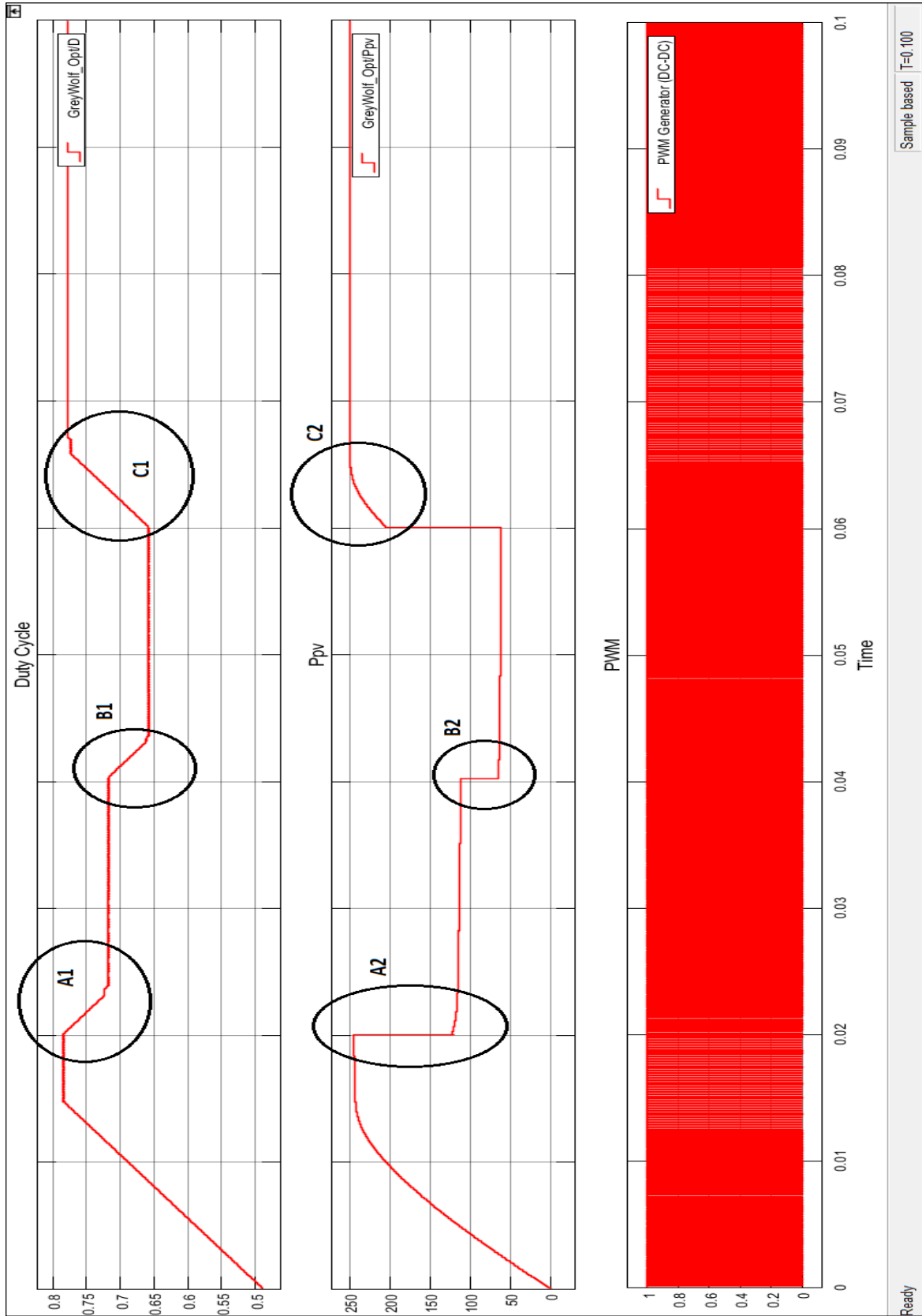
0-0.02 saniye aralığında $1000 W/m^2$ ışınım ile beslenen sistem 0.014. saniyede $245 W$ civarında dengeye geldiği görülmektedir. 0.02. saniyede ışınım miktarının $500 W/m^2$ 'ye düşmesi ile çıkış gücü $113 W$ civarında dengeye gelmektedir. Sistem kendisini 0.024. saniyede toparlamaktadır. 0.04. saniyede ışınım miktarının $300 W/m^2$ 'ye düşmesi ile çıkış gücü $63 W$ civarında dengeye oturduğu görülmektedir. Sistem kendisini 0.042. saniyede toparlamaktadır. 0.06. saniyede ışınım miktarı tekrar $1000 W/m^2$ 'ye yükselmesi ile çıkış gücünün $245 W$ civarında dengeye oturduğu görülmektedir. Sistem kendisini 0.065. saniyede toparlamaktadır. Bütün ışınım değişimlerinde doluluk oranı güçteki

değişim oranına göre güncellenmektedir. Yakın perspektif görüntülerinde PWM ve doluluk oranı değişimleri açıkça görünmektedir. Şekil 5.6'da verilen çıktıda yer alan A1, B1, C1 ve A2, B2, C2 bölgelerinin yakın perspektif görüntüleri sırasıyla Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9'da verilmiştir.

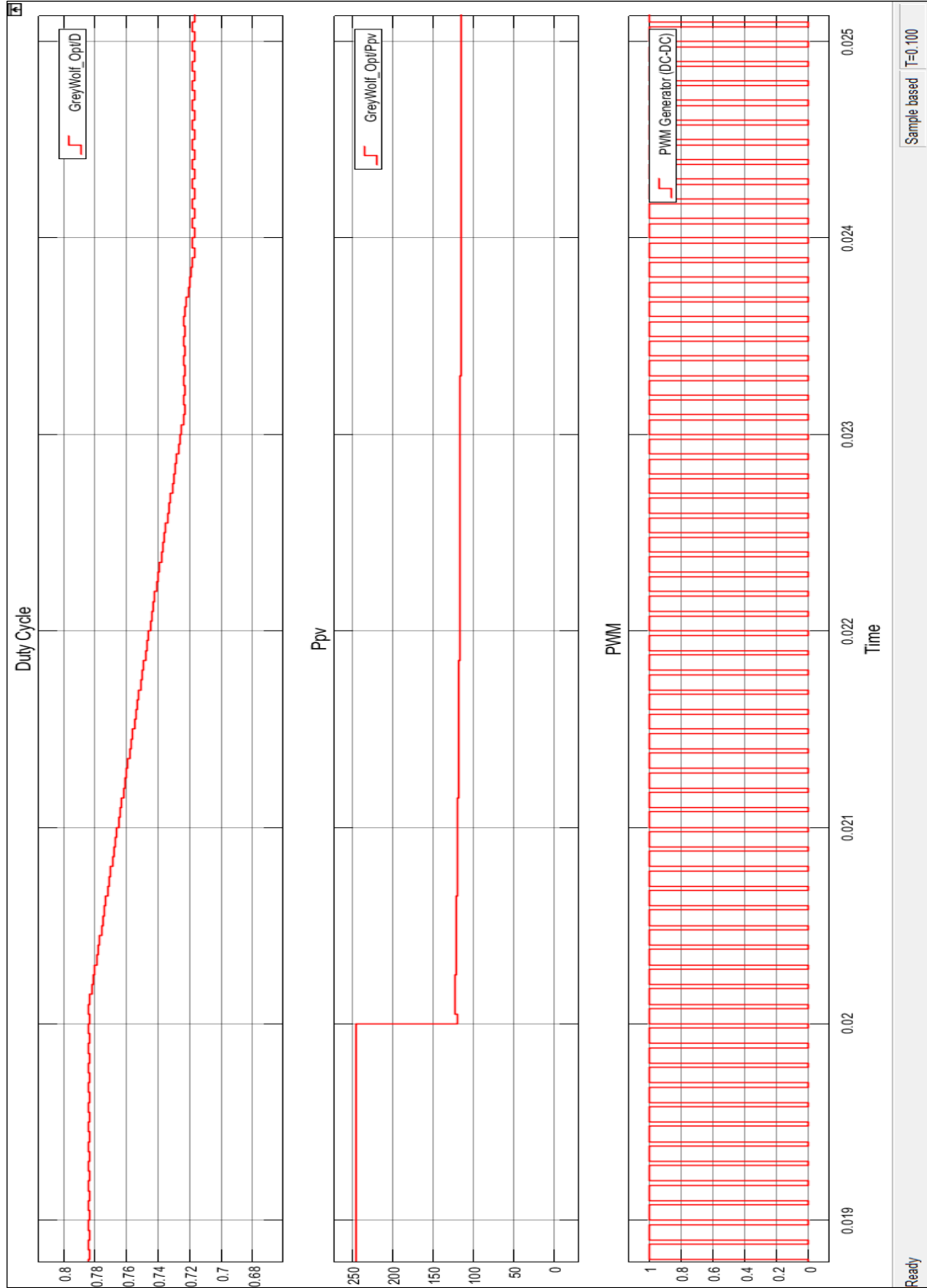




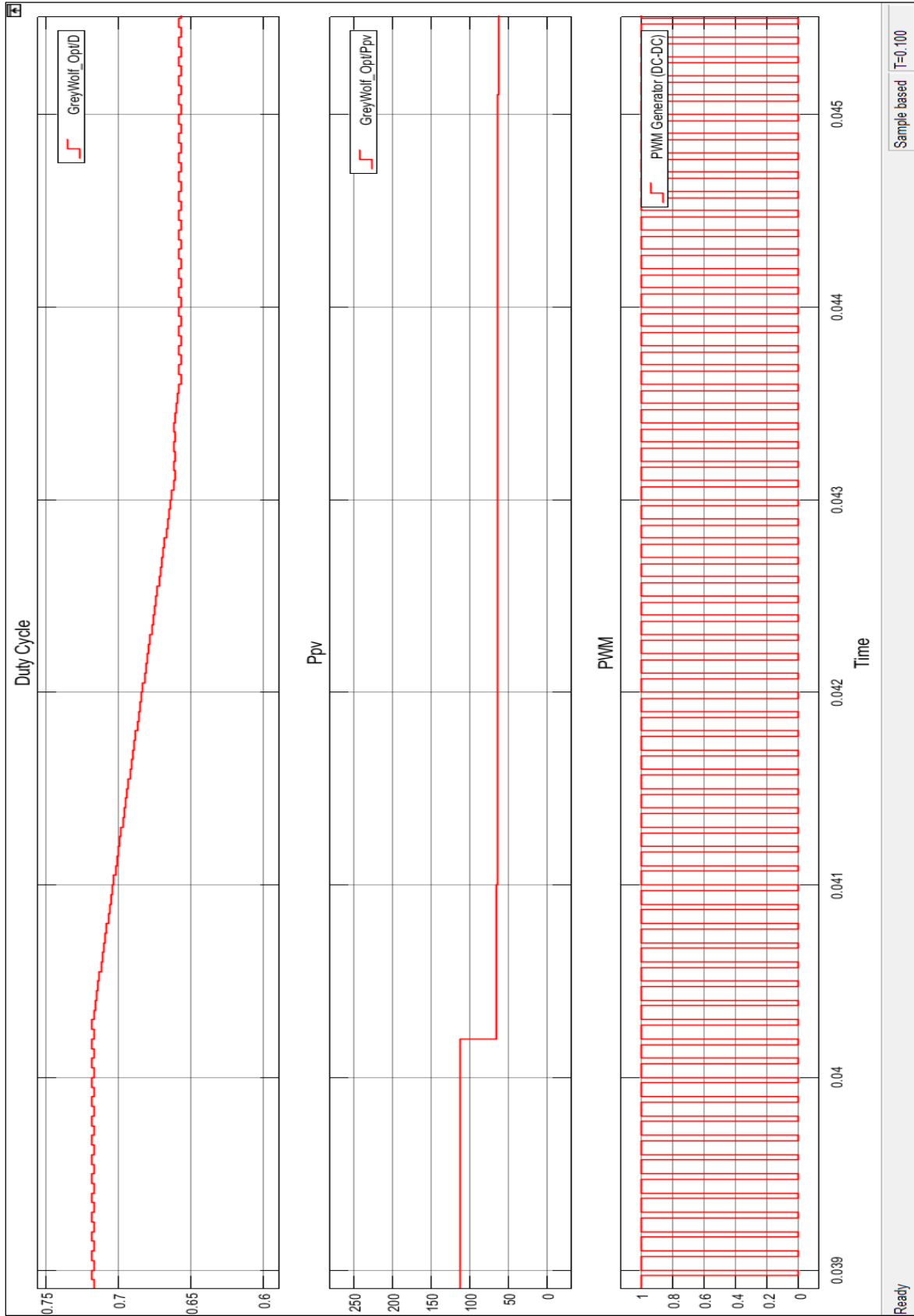
Şekil 5.5. Bozkurt optimizasyonu tabanlı mppt ortamı



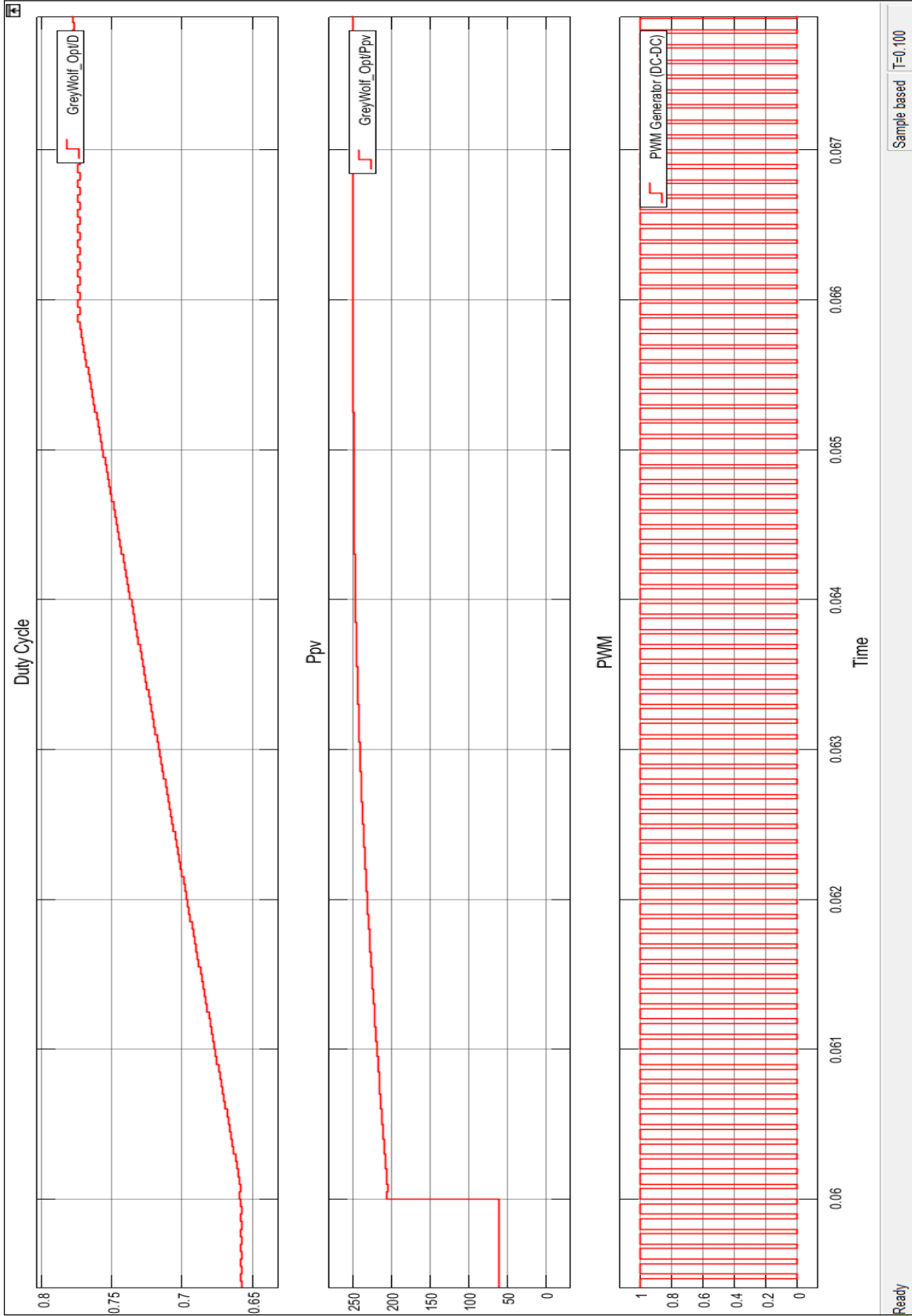
Şekil 5.6. Bozkurt optimizasyon tabanlı sabit sıcaklık, değişken ışınmında mppt için doluluk oranı, güç ve pwm çıktıları



Şekil 5.7. GWO ışınım değişimi ile dengeye gelen sistemde A1 ve A2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü



Şekil 5.8. GWO ışınım değişimi ile dengeye gelen sistemde B1 ve B2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü

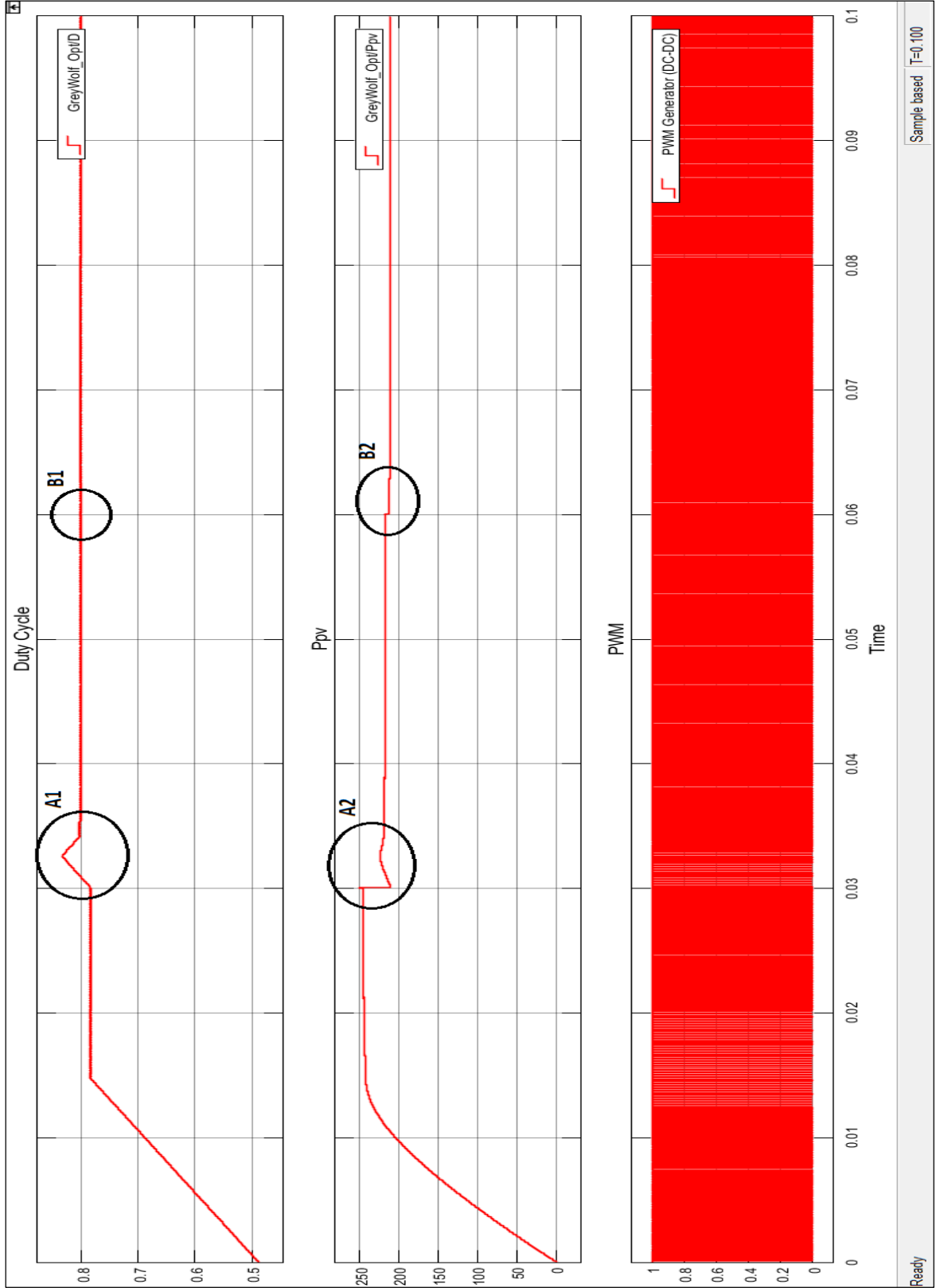


Şekil 5.9. GWO ışınım değişimi ile dengeye gelen sistemde C1 ve C2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü

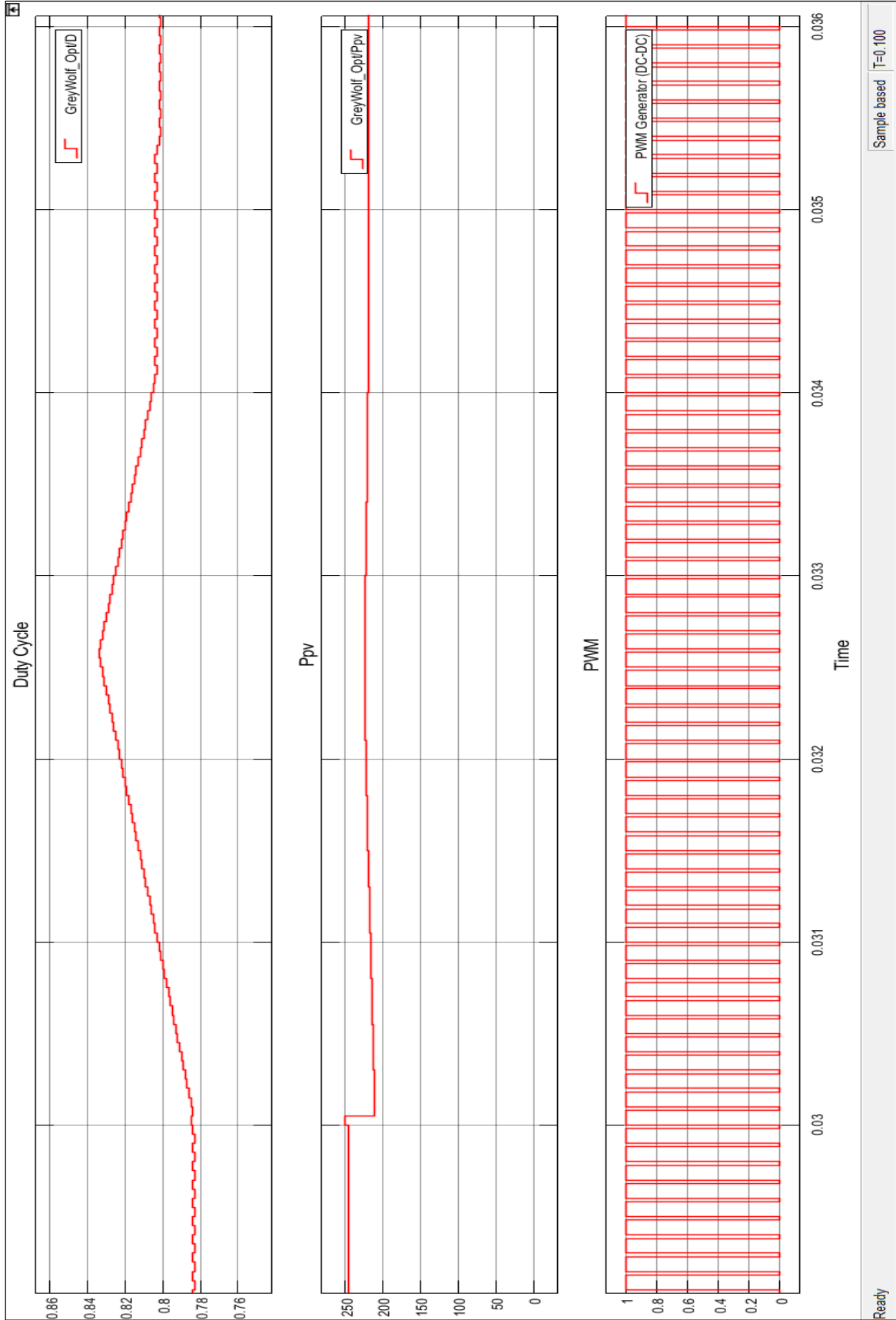
Şekil 5.10'da $1000 W/m^2$ sabit ışınlam ortamında değişken sıcaklık oranlarında gerçekleştirilen simülasyon çıktısı verilmiştir. 0-0.1 saniye süresinde çalışan simülasyonda; 0-0.03 saniye aralığında $25^{\circ}C$, 0.03-0.06 saniye aralığında $50^{\circ}C$, 0.06-0.1 saniye aralığında $60^{\circ}C$ ışınlam ile çalıştırılmış ve değişimler scope ile gözlenmiştir.

Şekil 5.10'da scope sonuçları verilen tasarımda ilk birim doluluk oranı değişimini vermektedir. İkinci birim PV panel çıkış gücündeki değişim miktarını vermektedir. Üçüncü birim ise PWM'in doluluk oranı ile değişimini göstermektedir.

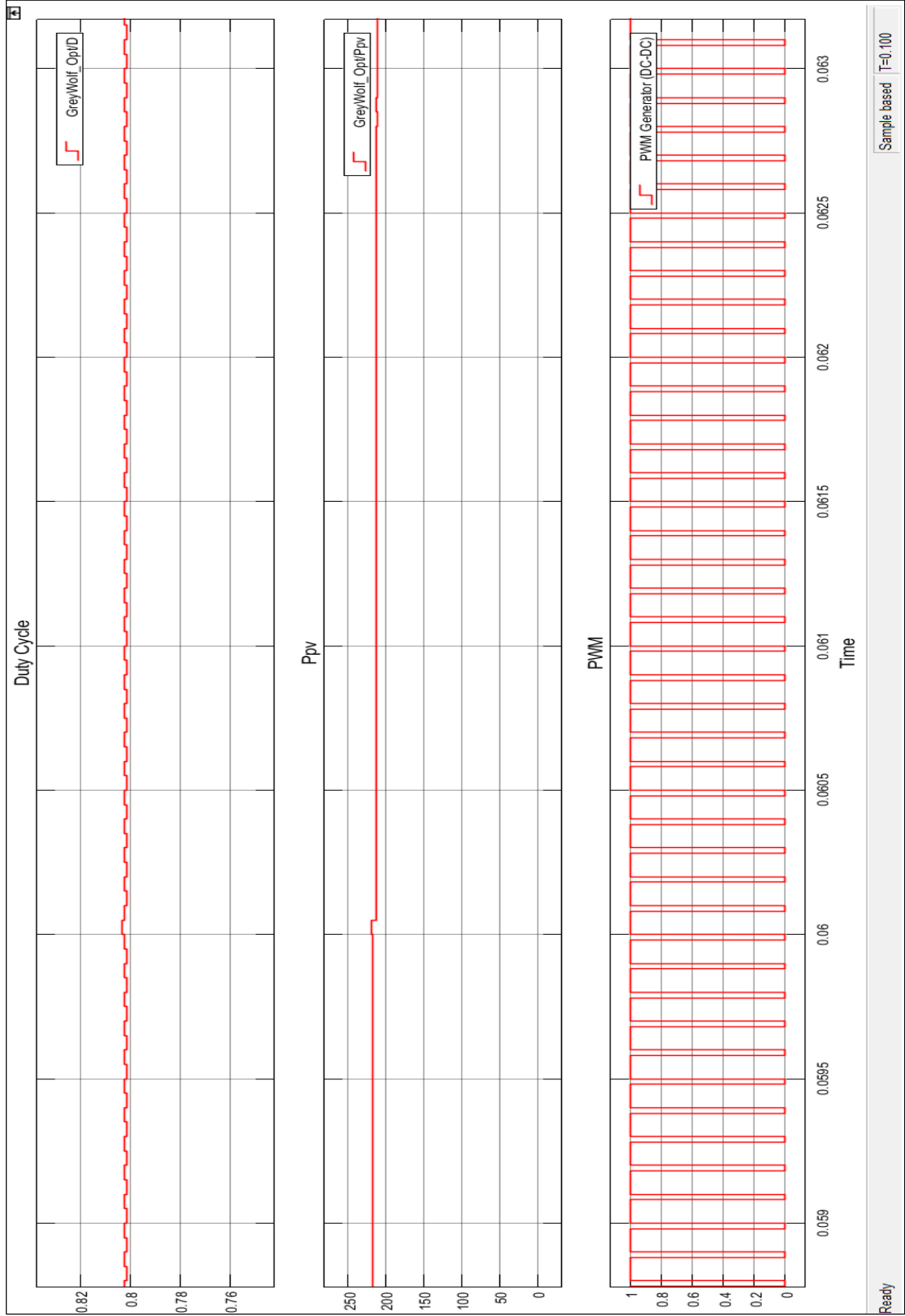
0-0.03 saniye aralığında $25^{\circ}C$ sıcaklıkta sistem 0.014. saniyede $245 W$ civarında dengeye geldiği görülmektedir. 0.03. saniyede sıcaklığın $50^{\circ}C$ 'ye yükselmesi ile çıkış gücü $219 W$ civarında dengeye gelmektedir. Sistem kendisini 0.034. saniyede toparlamaktadır. 0.06. saniyede sıcaklığın $60^{\circ}C$ 'ye yükselmesi ile çıkış gücü $212 W$ civarında dengeye oturduğu görülmektedir. Sistem 0.062. saniyede kalıcı duruma ulaşmaktadır. Yakın perspektif görüntülerinde PWM ve doluluk oranı değişimleri açıkça görünmektedir. Şekil 5.10'da verilen çıktıda yer alan A1, B1 ve A2, B2 bölgelerinin yakın perspektif görüntüleri sırasıyla Şekil 5.11, Şekil 5.12'de verilmiştir.



Şekil 5.10. Bozkurt optimizasyon tabanlı sabit ışınım, değişken sıcaklıkta mppt için doluluk oranı, güç ve pwm çıktıları



Şekil 5.11. GWO sıcaklık değişimi ile dengeye gelen sistemde A1 ve A2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü



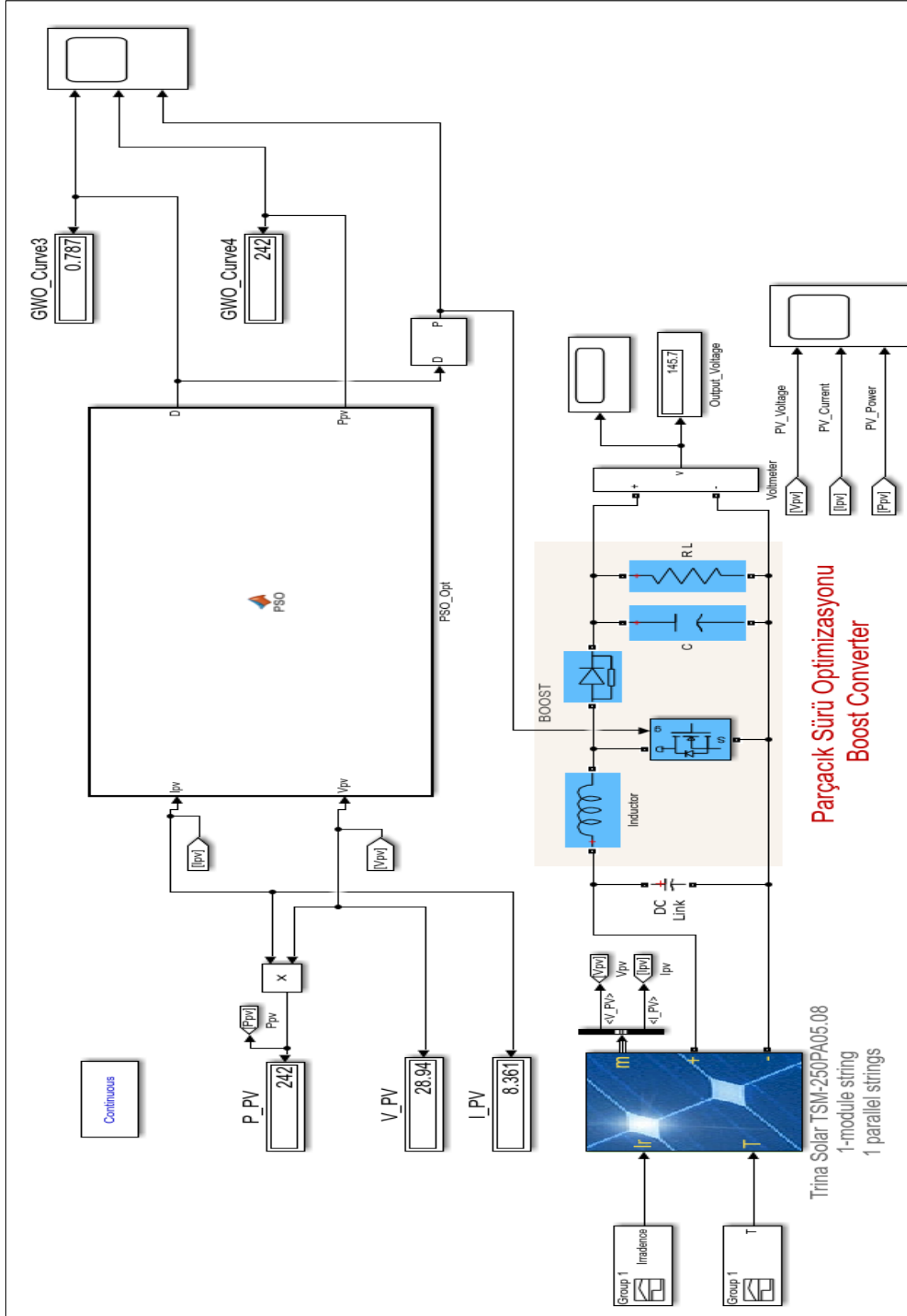
Şekil 5.12. GWO sıcaklık değişimi ile dengeye gelen sistemde B1 ve B2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü

5.2.2. Parçacık sürü optimizasyonu tabanlı mppt çıktıları

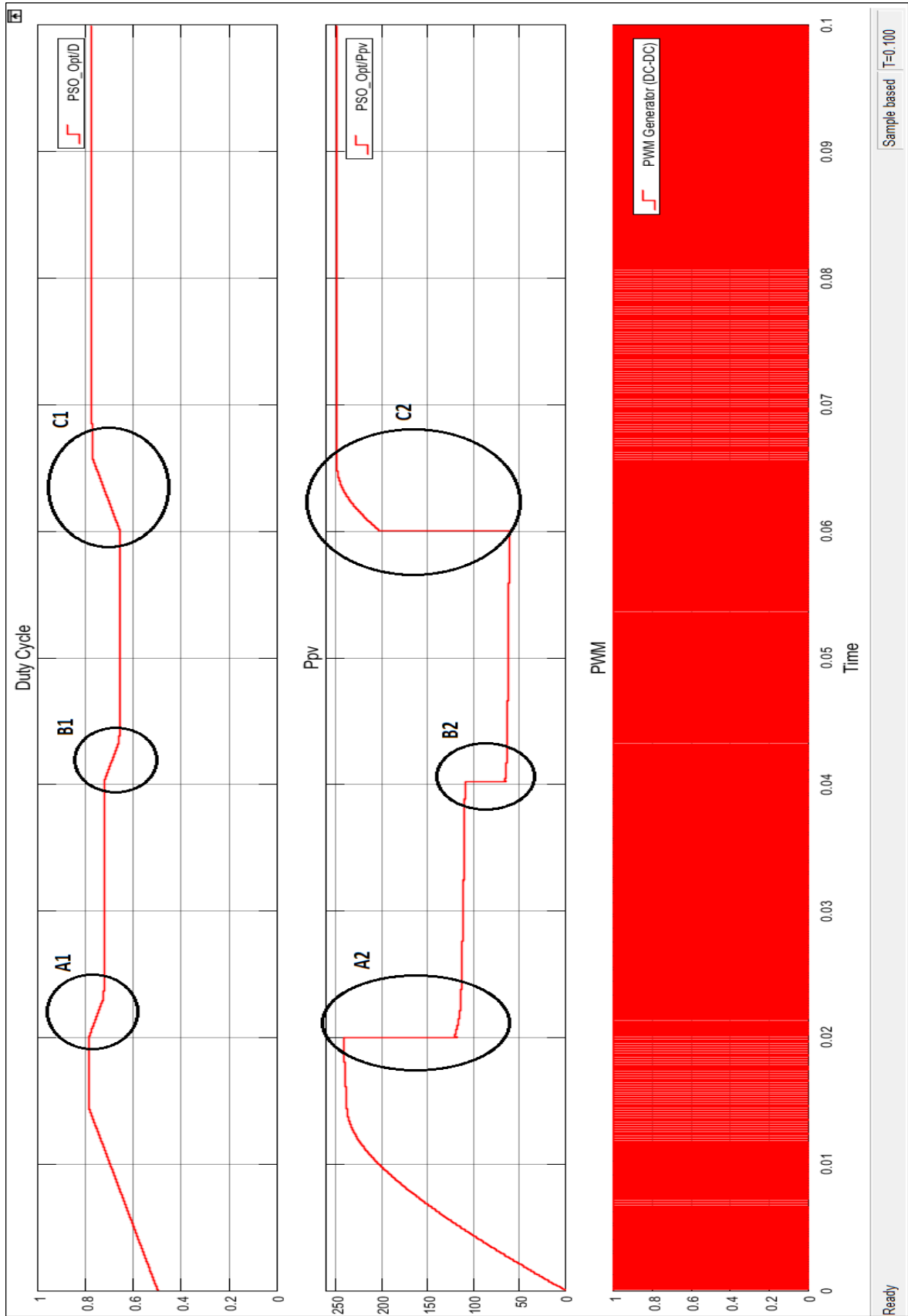
Şekil 5.13'te parçacık sürü optimizasyonu tabanlı tasarlanan mppt Simülink modeli bulunmaktadır. Şekil 5.14'de $25^{\circ}C$ sabit sıcaklıkta değişken ışınım oranlarında gerçekleştirilen simülasyon çıktısı verilmiştir. 0-0.1 saniye sürecinde çalışan simülasyonda; 0-0.02 saniye aralığında $1000 W/m^2$, 0.02-0.04 saniye aralığında $500 W/m^2$, 0.04-0.06 saniye aralığında $300 W/m^2$, 0.06-0.1 saniye aralığında $1000 W/m^2$ ışınım ile çalıştırılmış ve değişimler scope ile gözlenmiştir.

Şekil 5.14'de scope sonuçları verilen tasarımda ilk birim doluluk oranı değişimini vermektedir. İkinci birim PV panel çıkış gücündeki değişim miktarını vermektedir. Üçüncü birim ise PWM'in doluluk oranı ile değişimini göstermektedir.

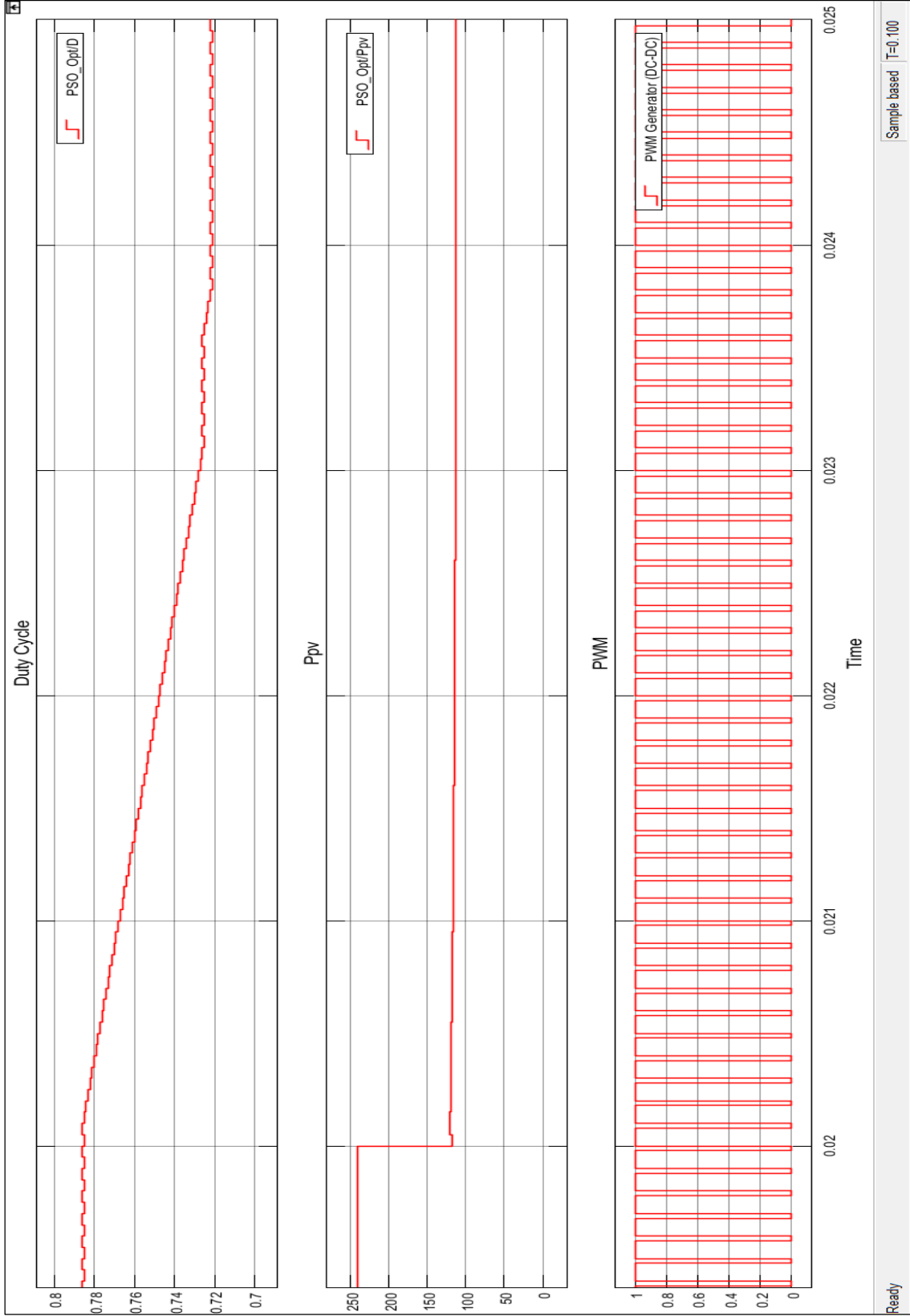
0-0.02 saniye aralığında $1000 W/m^2$ ışınım ile beslenen sistem 0.018. saniyede $242 W$ civarında dengeye geldiği görülmektedir. Bu değerlerde de ufak salınımlar mevcuttur. 0.02. saniyede ışınım miktarının $500 W/m^2$ 'ye düşmesi ile çıkış gücü $110 W$ civarında dengeye gelmektedir. Sistem 0.031. saniyede kalıcı duruma ulaşmaktadır. 0.04. saniyede ışınım miktarının $300 W/m^2$ 'ye düşmesi ile çıkış gücü $62 W$ civarında olduğu görülmektedir. Sistem kendisini 0.049. saniyede kalıcı duruma ulaşmaktadır. 0.06. saniyede ışınım miktarı tekrar $1000 W/m^2$ 'ye yükselmesi ile çıkış gücünün $242 W$ civarında dengeye oturduğu görülmektedir. Sistem kendisini 0.069. saniyede kalıcı duruma ulaşmaktadır. Bütün ışınım değişimlerinde doluluk oranı güçteki değişim oranına göre güncellenmektedir. Bozkurt optimizasyon yöntemine göre doluluk oranı değişimleri daha geçtir. Güç taramasının bozkurt optimizasyon yönteminde daha etkin olduğu yakın perspektif görüntülerinde görülmektedir. Şekil 5.14'de verilen çıktıda yer alan A1, B1, C1 ve A2, B2, C2 bölgelerinin yakın perspektif görüntüleri sırasıyla Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17'de verilmiştir.



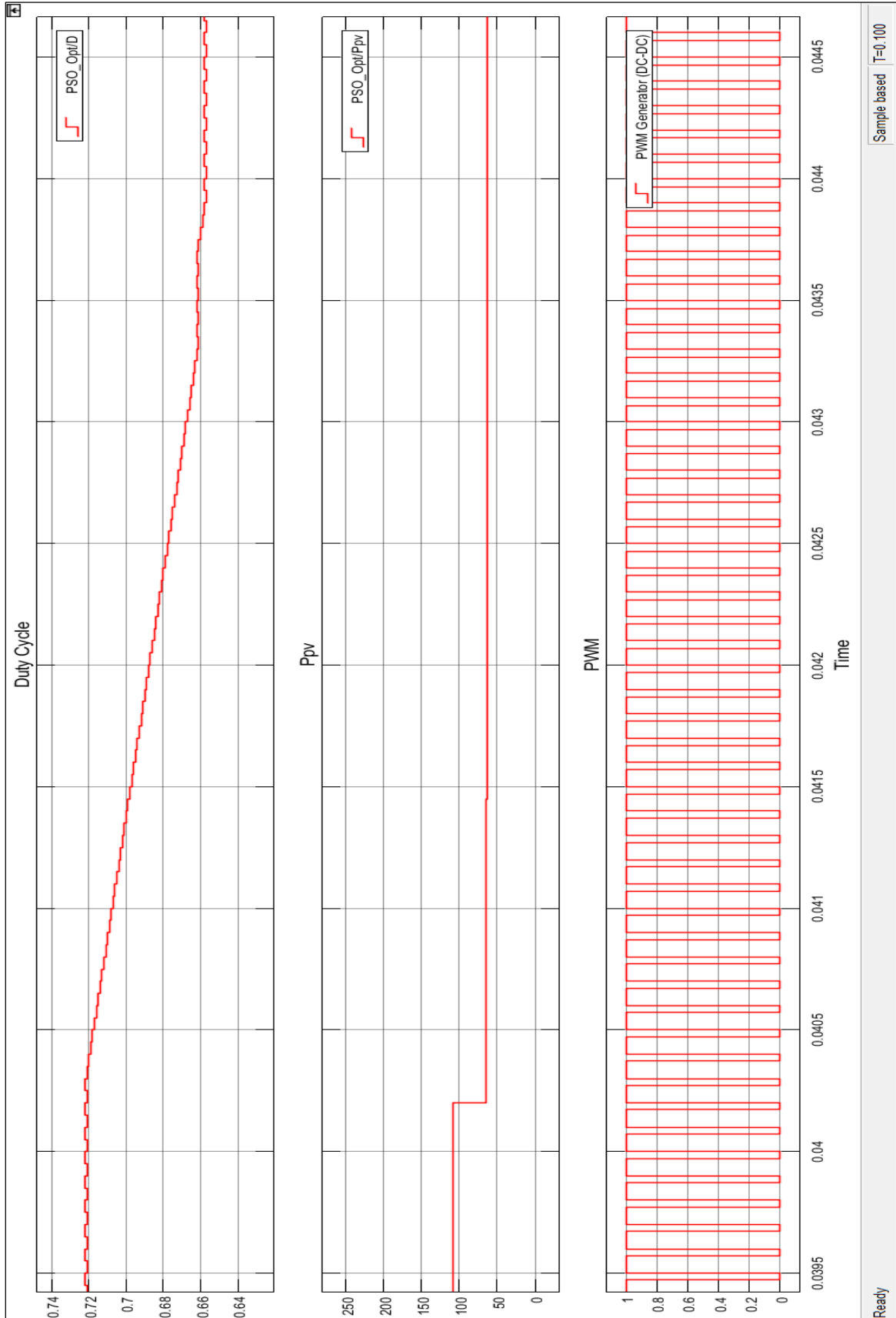
Şekil 5.13. Parçacık sürü optimizasyonu tabanlı mppt ortamı



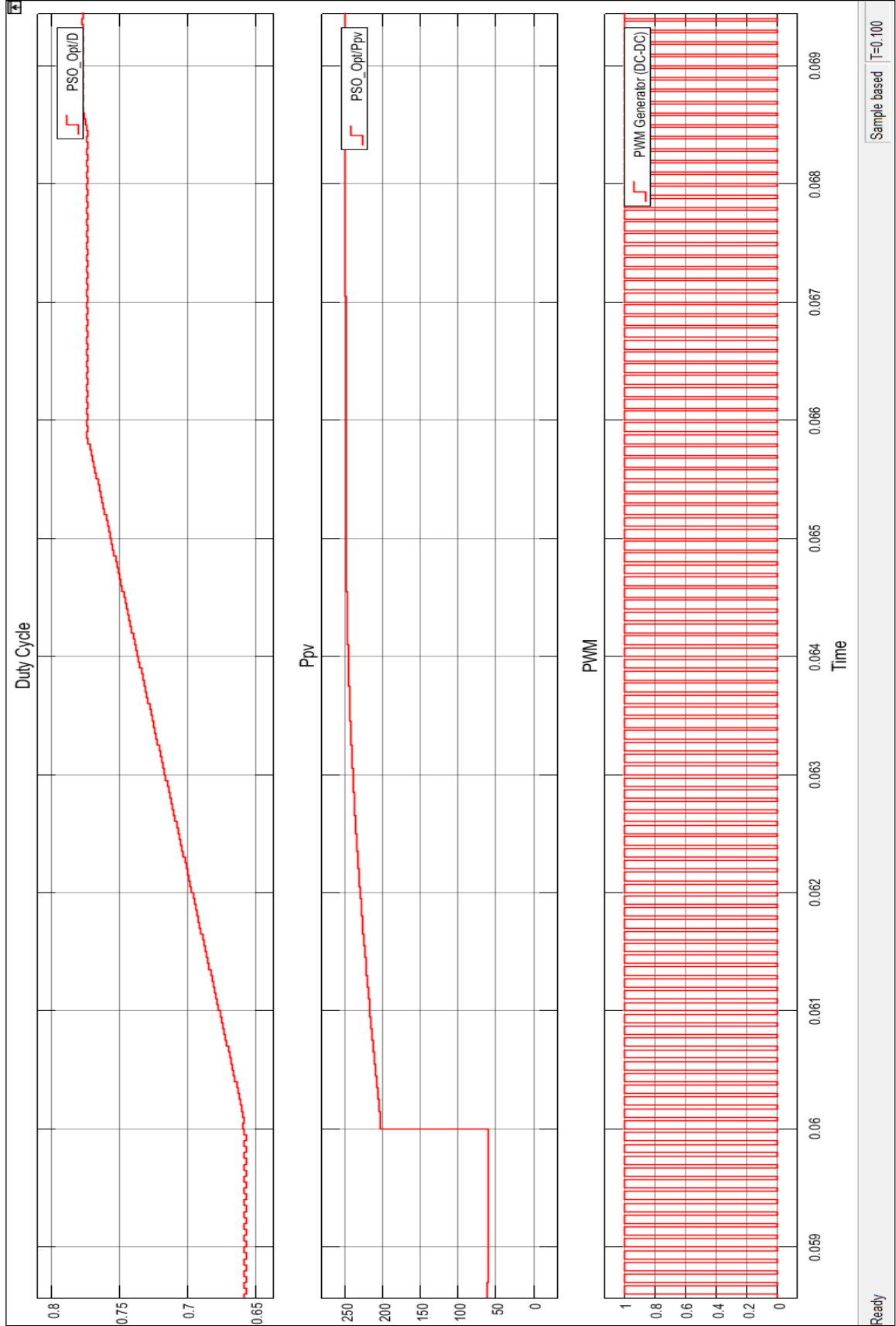
Şekil 5.14. Parçacık sürü optimizasyonu tabanlı sabit sıcaklık, değişken ışıнімda mppt için doluluk oranı, güç ve pwm çıktıları



Şekil 5.15. PSO'da ışınım değişimi ile dengeye gelen sistemde A1 ve A2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü



Şekil 5.16. PSO'da ışınım değişimi ile dengeye gelen sistemde B1 ve B2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü

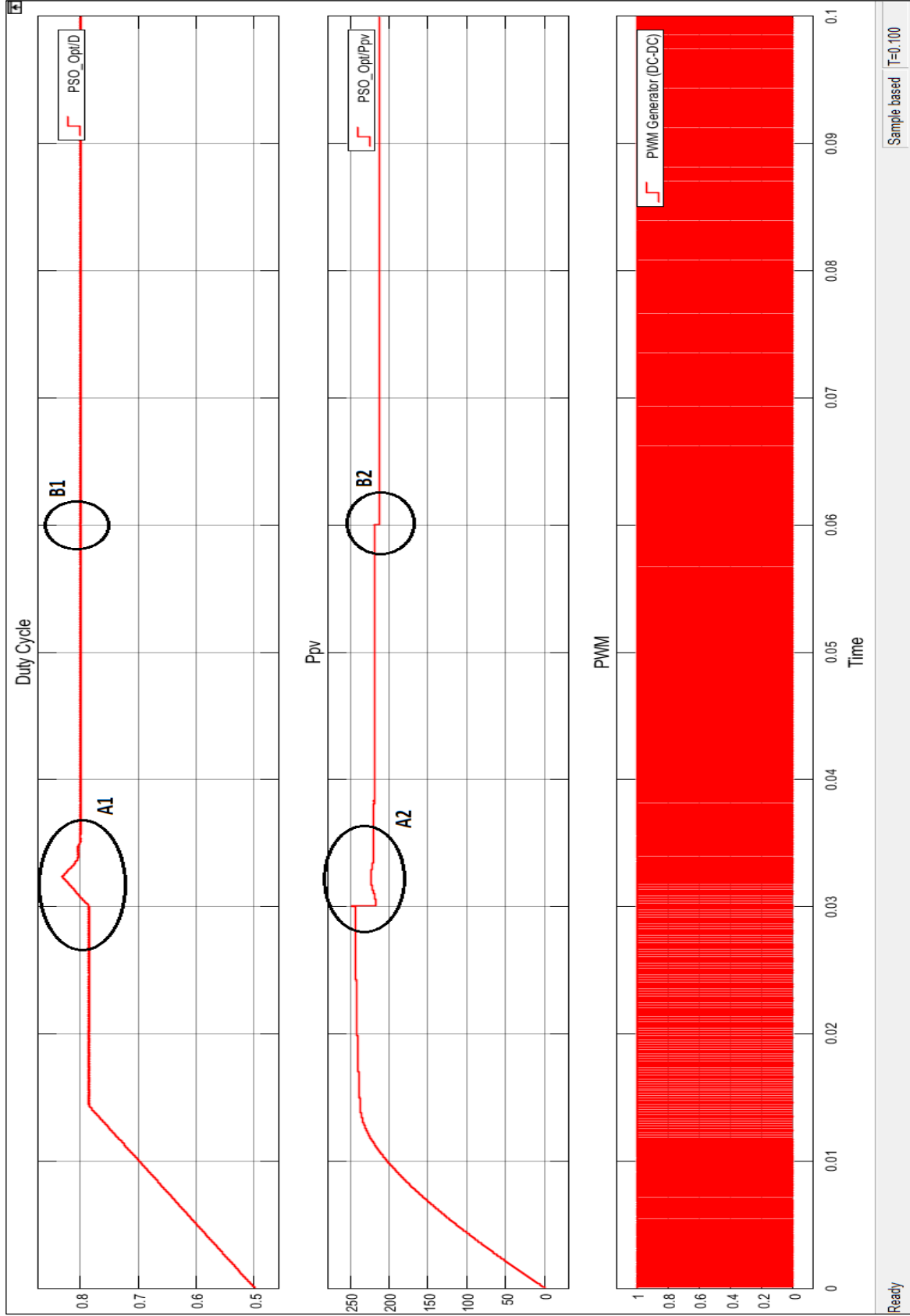


Şekil 5.17. PSO'da ışınım değişimi ile dengeye gelen sistemde C1 ve C2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü

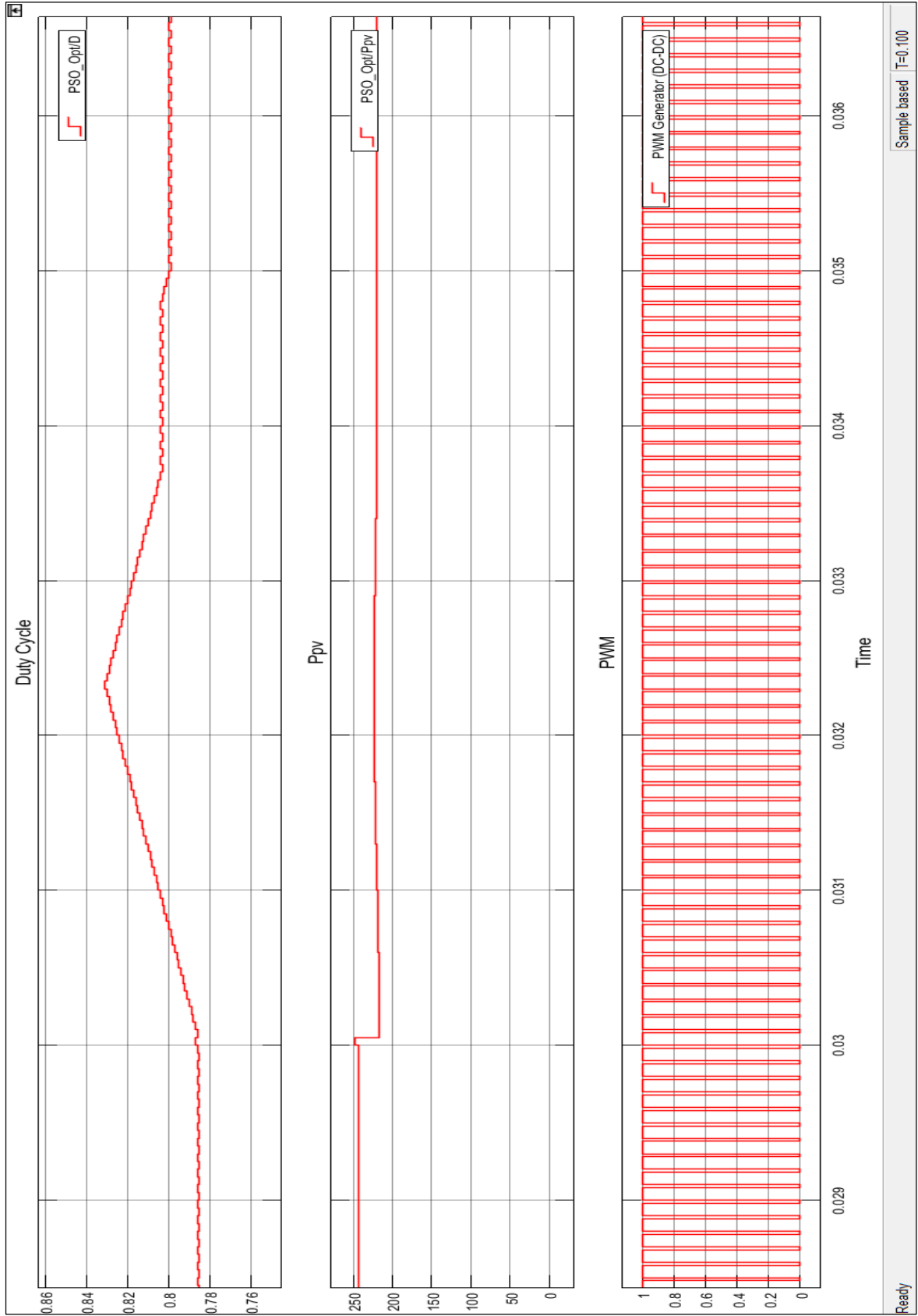
Şekil 5.18'de $1000 W/m^2$ sabit ışınlam ortamında değişken sıcaklık oranlarında gerçekleştirilen simülasyon çıktısı verilmiştir. 0-0.1 saniye süresinde çalışan simülasyonda; 0-0.03 saniye aralığında $25^{\circ}C$, 0.03-0.06 saniye aralığında $50^{\circ}C$, 0.06-0.1 saniye aralığında $60^{\circ}C$ ışınlam ile çalıştırılmış ve değişimler scope ile gözlenmiştir.

Şekil 5.18'de scope sonuçları verilen tasarımda ilk birim doluluk oranı değişimini vermektedir. İkinci birim PV panel çıkış gücündeki değişim miktarını vermektedir. Üçüncü birim ise PWM'in doluluk oranı ile değişimini göstermektedir.

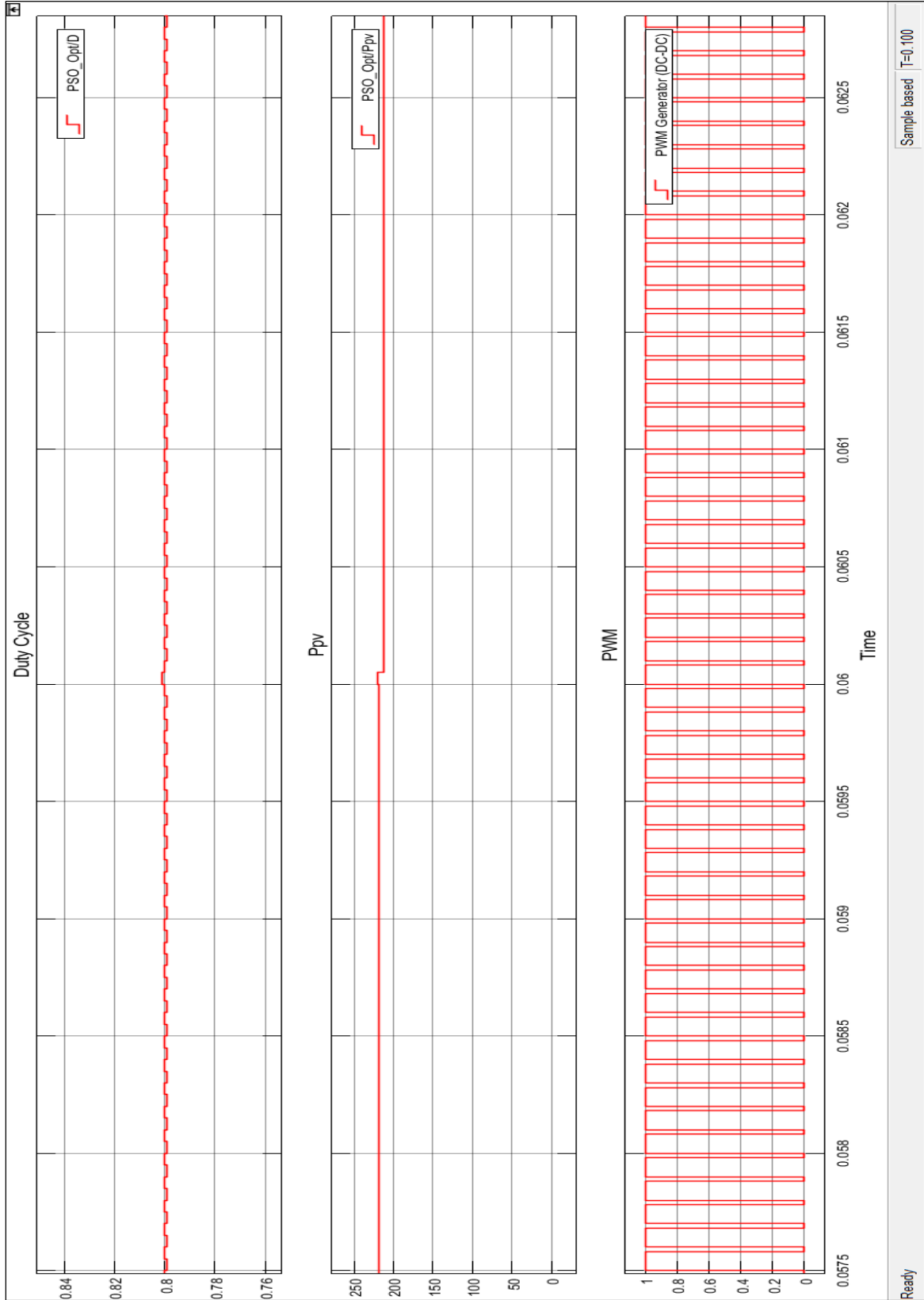
0-0.03 saniye aralığında $25^{\circ}C$ sıcaklıkta sistem 0.018. saniyede $242 W$ civarında olduğu görülmektedir. 0.03. saniyede sıcaklığın $50^{\circ}C$ 'ye yükselmesi ile çıkış gücü $219 W$ civarında dengeye gelmektedir. Sistem kendisini 0.038. saniyede toparlamaktadır. 0.06. saniyede sıcaklığın $60^{\circ}C$ 'ye yükselmesi ile çıkış gücü $212 W$ civarında olduğu görülmektedir. Sistem kendisini 0.063. saniyede kalıcı duruma ulaşmaktadır. Yakın perspektif görüntülerinde PWM ve doluluk oranı değişimleri açıkça görünmektedir. Sıcaklığın $60^{\circ}C$ 'ye yükseldiği noktada güç faktörü dengeye GWO'dan sonra gelir. Şekil 5.18'de verilen çıktıda yer alan A1, B1 ve A2, B2 bölgelerinin yakın perspektif görüntüleri sırasıyla Şekil 5.19, Şekil 5.20'de verilmiştir



Şekil 5.18. Parçacık sürü optimizasyonu tabanlı sabit ışınım, değişen sıcaklıkta mppt için doluluk oranı, güç ve pwm çıktıları



Şekil 5.19. PSO sıcaklık değişimi ile dengeye gelen sistemde A1 ve A2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü



Şekil 5.20. PSO sıcaklık değişimi ile dengeye gelen sistemde B1 ve B2 bölgesi yakın perspektif görüntüsü

5.2.3. Değiştir ve Gözle tabanlı mppt çıktıları

Şekil 5.21’de değiştir ve gözle optimizasyonu tabanlı tasarlanan mppt Simülink modeli bulunmaktadır. Şekil 5.22’de $25^{\circ}C$ sabit sıcaklıkta değişken ışınlım oranlarında gerçekleştirilen simülasyon çıktısı verilmiştir. Simülasyon hızı açısından dengeye gelebilmesi ve ışınlım değişikliklerini doğru yakalaması için 0-1 saniye aralığında çalıştırılmıştır. 0-1 saniye sürecinde çalışan simülasyonda; 0-0.4 saniye aralığında $1000 W/m^2$, 0.4-0.6 saniye aralığında $500 W/m^2$, 0.6-0.8 saniye aralığında $300 W/m^2$, 0.8-1 saniye aralığında $1000 W/m^2$ ışınlım ile çalıştırılmış ve değişimler scope ile gözlenmiştir.

Şekil 5.22’de scope sonuçları verilen tasarımda ilk birim doluluk oranı değişimini vermektedir. İkinci birim PV panel çıkış gücündeki değişim miktarını vermektedir. Üçüncü birim ise PWM’in doluluk oranı ile değişimini göstermektedir.

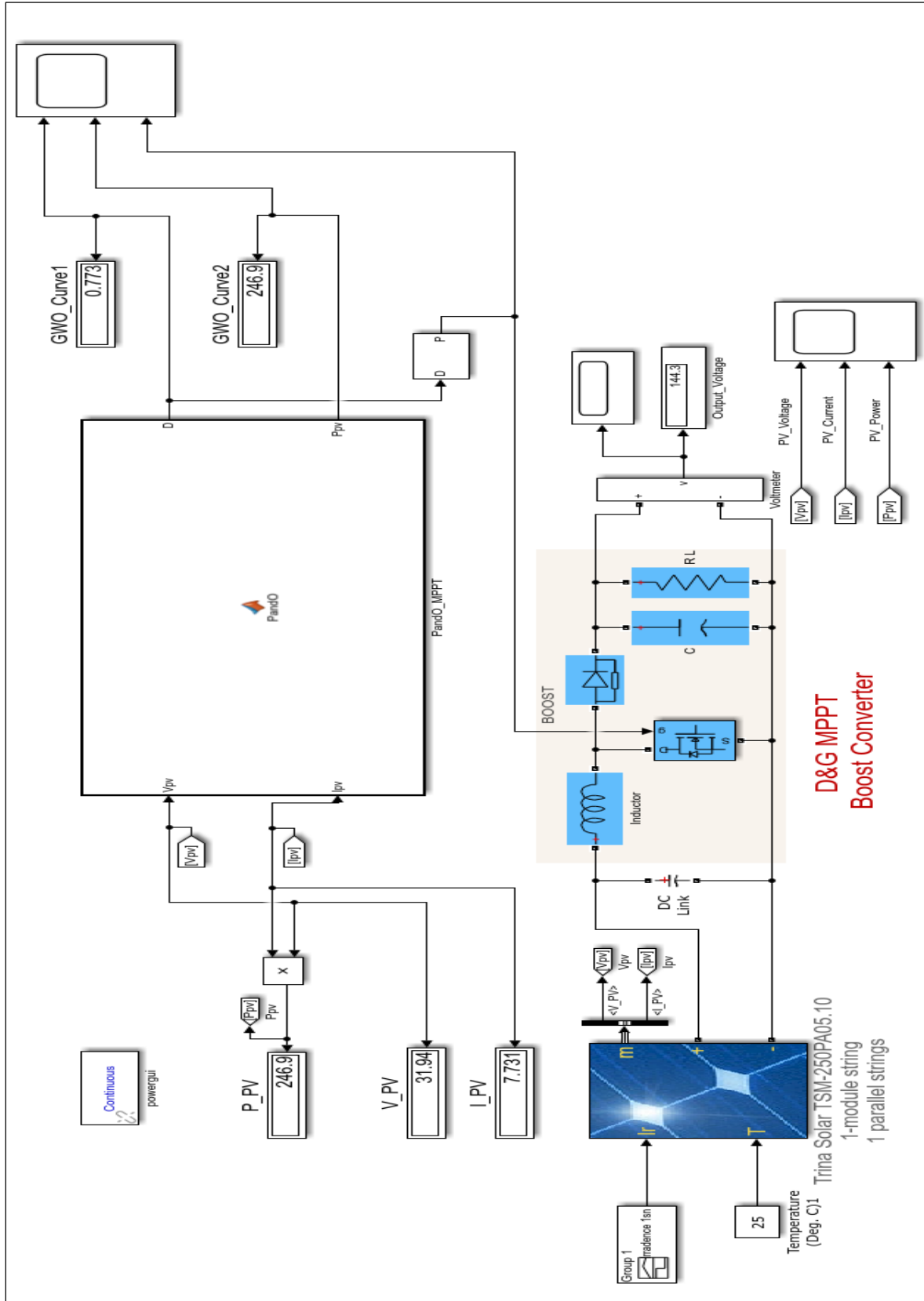
0-0.4 saniye aralığında $1000 W/m^2$ ışınlım ile beslenen sistem 0.04. saniyede kalıcı duruma ulaşmaktadır. Bu sürede 238 W ile 246 W arasında büyük salınımlar yapmaktadır. 0.4. saniyede ışınlım miktarının $1000 W/m^2$ ’ye düşmesi ile çıkış gücü 123 W civarında dengeye gelmektedir. 0.42. saniyede sistem dengeye gelse de 0.50. saniyede osilasyon meydana gelmiştir. 0.6. saniyede ışınlım miktarının $1000 W/m^2$ ’ye düşmesi ile çıkış gücü 69 W civarında olduğu görülmektedir. Sistem kendisini 0.79. saniyede kalıcı duruma ulaşmaktadır. 0.6. saniye ile 0.76. saniyeler arasında 50 W ile 76 W arası dalgalanmalar görülmektedir. 0.8. saniyede ışınlım miktarı tekrar $1000 W/m^2$ ’ye yükselmesi ile çıkış gücünün 245 W civarında olduğu görülmektedir. Sistem 0.83. saniyede kalıcı duruma ulaşmaktadır. Bu denge sürecinden sonra simülasyon sonlanana kadar güçte büyük dalgalanmalar görülmektedir. Simülasyon çalıştığı süre zarfında doluluk oranındaki kararsız dalgalanmalarda Şekil 5.22’de görülmektedir. P&O metodu, GWO ve PSO yöntemlerine göre çok daha kararsız yapıdadır.

Şekil 5.23’te $1000 W/m^2$ sabit ışınlım ortamında değişken sıcaklık oranlarında gerçekleştirilen simülasyon çıktısı verilmiştir. Simülasyon hızı açısından dengeye gelebilmesi ve sıcaklık değişikliklerini doğru yakalaması için 0-1 saniye aralığında çalıştırılmıştır. 0-1 saniye süresinde çalışan simülasyonda; 0-0.3 saniye aralığında $25^{\circ}C$,

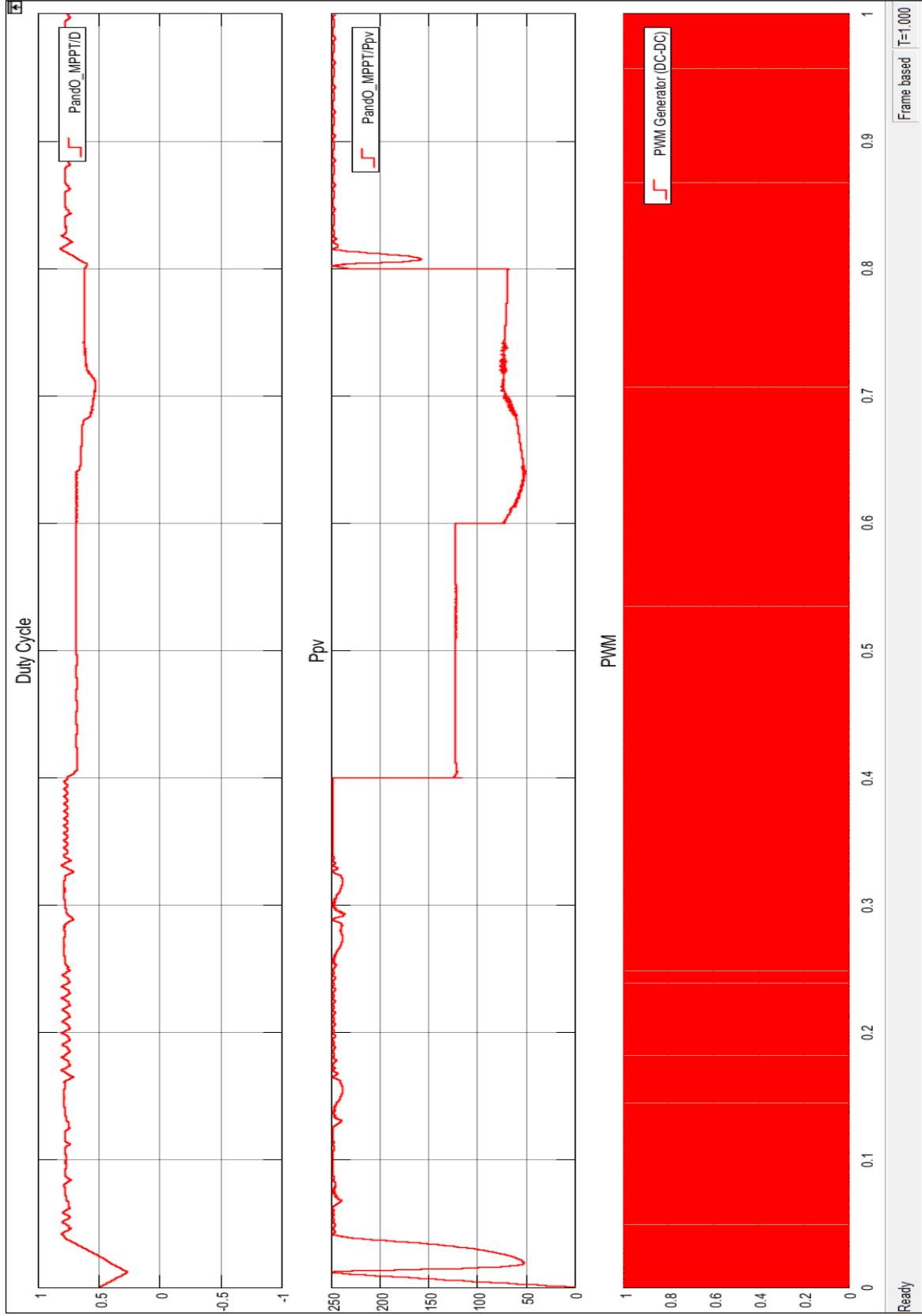
0.3-0.6 saniye aralığında $50^{\circ}C$, 0.6-1 saniye aralığında $60^{\circ}C$ ışınlam ile çalıştırılmış ve değişimler scope ile gözlenmiştir.

Şekil 5.23'te scope sonuçları verilen tasarımda ilk birim doluluk oranı değişimini vermektedir. İkinci birim PV panel çıkış gücündeki değişim miktarını vermektedir. Üçüncü birim ise PWM'in doluluk oranı ile değişimini göstermektedir.

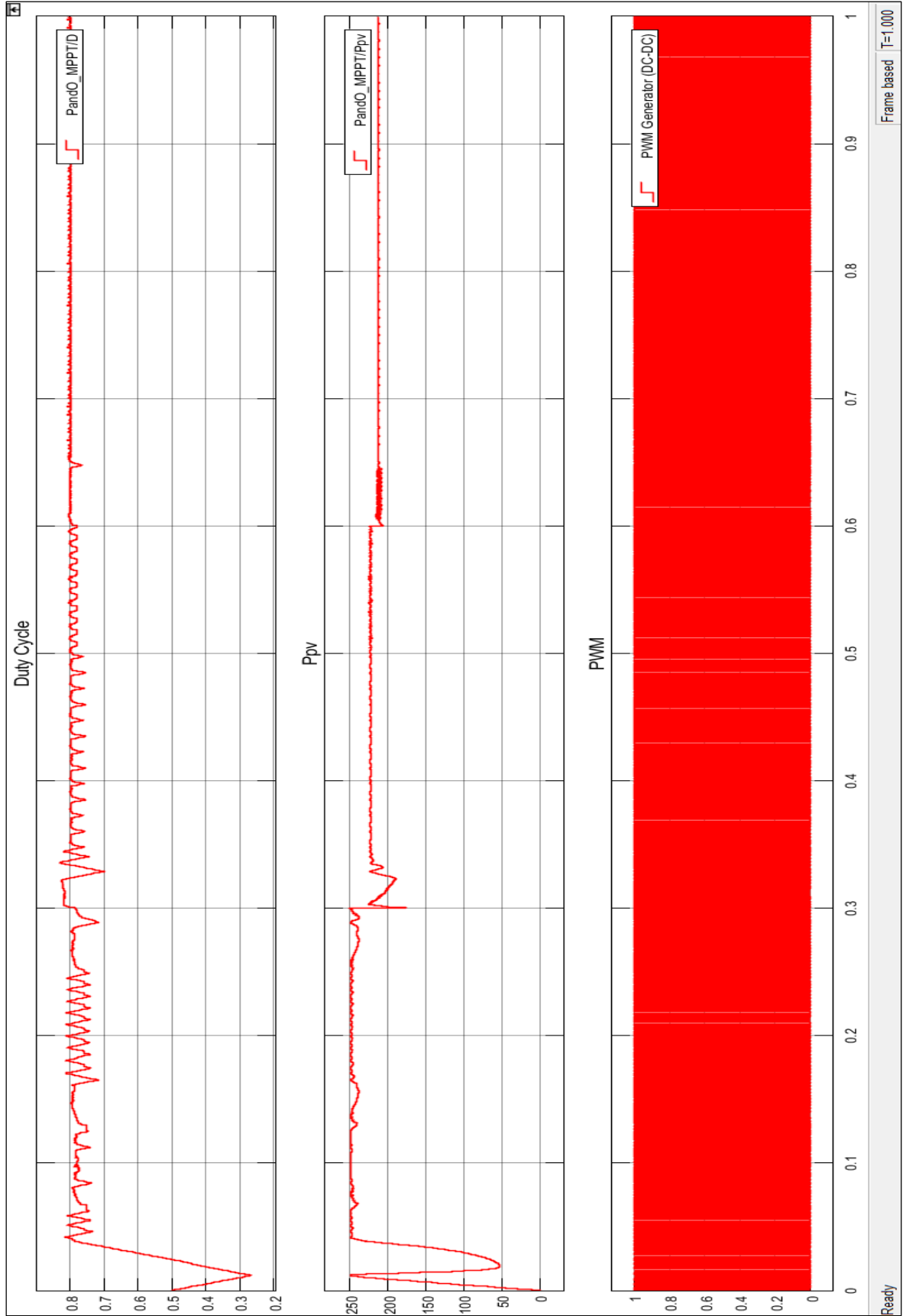
0-0.3 saniye aralığında $25^{\circ}C$ sıcaklıkta sistem 0.22. saniye civarında dengeye gelmiş gibi görölse de 238 W ile 246 W arası büyük dalgalanmalar gerçekleşmiştir. 0.3. saniyede sıcaklığın $50^{\circ}C$ 'ye yükselmesi ile P&O algoritması sıcaklık artışında güç kaybını düşük bir miktar yakalayabilmektedir. Sistem 0.35. saniyede 220 W civarındadır. Yine bu aralıktaki güç ve doluluk oranı salınımları görölmektedir. 0.6. saniyede sıcaklığın $60^{\circ}C$ 'ye yükselmesi ile çıkış gücü 211 W civarında olduğu görölmektedir. Sistem 0.65. saniyede kalıcı duruma ulaşmaktadır. P&O algoritma tabanlı sistemde doluluk oranında ve güç biriminde büyük salınımlar olduğu rahatlıkla görölebilmektedir. Tasarlanan sistemlerin doğru çalışmasını engelleyecek nitelikte bir algoritmadır.



Şekil 5.21. Değiştir ve gözle optimizasyonu tabanlı mppt ortamı



Şekil 5.22. Değişir ve gözle yöntemi tabanlı sabit sıcaklık, değişken ışınmada mppt için doluluk oranı, güç ve pwm çıktıları



Şekil 5.23. Değişir ve Gözle optimizasyonu tabanlı sabit ışınım, değişken sıcaklıkta mppt için doluluk oranı, güç ve pwm çıktıları

Tasarlanan 3 tip MPPT'nin sonuçlarının değişken ışınım ve değişken sıcaklık durumlarında ki karşılaştırmaları Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'de yer almaktadır. Çizelgelerde verilerin gösterdiği gibi Bozkurt tabanlı MPPT tekniğinin diğer tekniklere göre kararlı, yüksek verimde ve daha hızlı olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.1. Değişken ışınım şartlarında MPPT tekniklerinin karşılaştırma sonuçları

Zaman (s) Işınım (W/m ²)	0 - 0.02 1000	0.02 - 0.04 500	0.04 - 0.06 300	0.06 - 1 1000
GWO (s - W) (0s - 0.1s)	0.014s -245W	0.024s -113W	0.042s -63W	0.065s -245W
PSO (s - W) (0s -0.1s)	0.018s -242W	0.031s -110W	0.049s -62W	0.069s -242W
Zaman (s) Işınım (W/m ²)	0 - 0.4 1000	0.4 - 0.6 500	0.6 - 0.8 300	0.8 - 1 1000
P&O (s - W) (0s -1s)	0.04s -238,246W	0.42s -123W	0.79s -50W,76W	0.83s -245W

Çizelge 5.2. Değişken sıcaklık şartlarında MPPT tekniklerinin karşılaştırma sonuçları

Zaman (s) Sıcaklık (°C)	0 - 0.03 25 °C	0.03 - 0.06 50 °C	0.06 - 1 60 °C
GWO (s - W) (0s -0.1s)	0.014s -245W	0.034s -219W	0.062s -212W
PSO (s - W) (0s -0.1s)	0.018s -242W	0.038s -219W	0.063s -212W
Zaman (s) Sıcaklık (°C)	0 - 0.3 25 °C	0.3 - 0.6 50 °C	0.6 - 1 60 °C
P&O (s - W) (0s -1s)	0.22s -238,246W	0.35s -220W	0.65s -211W

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Gerçekleştirilen bu tez çalışması ile PV panellerde uygulanan en yüksek güç noktası takibi yöntemlerine yeni bir bakış açısı kazandırılmıştır. Bozkurtların avlanma yeteneklerinden esinlenerek geliştirilmiş olan GWO, PV panellerde en yüksek güç noktası takibinde kullanılmak üzere yükseltici tip çevirici ile bir PV sisteme entegre edilmiş ve MATLAB/Simulink ortamında benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bozkurt optimizasyonu tabanlı en yüksek güç izleme yöntemi ile karşılaştırma yapmak amacıyla PSO tabanlı ve P&O tabanlı yükseltici tip çevirici tasarımları ve yazılımları da MATLAB/Simulink ortamında yapılmıştır. Diğer en yüksek güç takibi yöntemlerine göre çok daha verimli ve hızlı sonuçlar verdiği beşinci bölümde verilen simülasyon sonuçları ile görülmektedir.

GWO yönteminde tasarlanan sistemin PSO ve P&O tabanlı tasarlanan sistemlere göre PV sistemin maksimum güç noktasını daha hızlı takip ettiği gözlenmiştir. Bunun yanında denge durumunda güç salınımlarının diğer iki yöntemle göre daha düşük olduğu görülmüştür. Işınım ve sıcaklık olarak farklı şartlar altında çalıştırılan sistemlerde GWO tabanlı tasarlanan sistemin dengeye gelme süresi ve salınımlarının düşük olduğu yine beşinci bölümde verilen simülasyon çıktılarında görülebilmektedir.

Bozkurt optimizasyonu algoritmasını daha kararlı ve daha hızlı hale getirmek mümkündür. Daha kararlı yada daha hızlı çözümlenmeler için tercih durumuna göre omega algoritmaya dahil edilebilir. Tasarladığımız sistem için alfa, beta ve delta çözümlenmeleri optimal konum için yeterlidir. Omega çözümlenmelerini kaldırarak simülasyonun hızlanması sağlanabilir. PV sistemin daha hızlı sonuç alması için optimal değerden uzak sonuçlar arşivlenerek en iyi birinci, ikinci ve üçüncü çözümlenmelerinin daha kolay optimal değere ulaşması sağlanabilir.

Sonuç olarak bozkurt optimizasyon tabanlı tasarlanan MPPT yöntemi diğer yöntemlere göre hem hız hem de kararlılık anlamında daha iyi sonuçlar vermiştir. Böylece PV sistemden değişken şartlar altında daha yüksek verim elde edilebilmesi sağlanmıştır.



KAYNAKLAR

1. Sefa, I., and Altin, N., (2009). Grid interactive photovoltaic inverters-a review. *Journal of The Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 24(3), 409-424.
2. İnternet: From character to personality. *Solar resource map*, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fsolargis.com%2Fproducts%2Fmaps-and-gis-data%2Ffree%2Fdownload%2Fturkey&date=2019-05-02>. Son Erişim tarihi: 02.05.2019.
3. Cakmak R., ve Altas İ. H., (2016). *Erzincan'da güneş enerjisinden elektrik üretimi potansiyeli: Almanya ile karşılaştırılması*. Uluslararası Erzincan Sempozyumu, Cilt 2: 408-419.
4. Altin, N., and Eyimaya, S. E. (2018). A Combined Energy Management Algorithm for Wind Turbine/Battery Hybrid System. *Journal of Electronic Materials*, 47(8), 4430-4436.
5. DPT. (2001) *Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu*. Resmi Gazete. DPT: 2569 – ÖİK: 585 2001.
6. Sefa, I., and Özdemir, Ş. (2009, November). *Experimental study of interleaved MPPT converter for PV systems*. In 2009 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics (pp. 456-461). IEEE.
7. Santos, J. L., Antunes, F., Chehab, A., and Cruz, C. (2006). A maximum power point tracker for PV systems using a high performance boost converter. *Solar Energy*, 80(7), 772-778.
8. Koutroulis, E., Kalaitzakis, K., and Voulgaris, N. C. (2001). Development of a microcontroller-based, photovoltaic maximum power point tracking control system. *IEEE Transactions on power electronics*, 16(1), 46-54.
9. D'Souza, N. S., Lopes, L. A., and Liu, X. (2005, June). *An intelligent maximum power point tracker using peak current control*. In 2005 IEEE 36th Power Electronics Specialists Conference (p. 172). IEEE.
10. ESRAM, T., and Chapman, P. L. (2007). Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *IEEE Transactions on energy conversion*, 22(2), 439-449.
11. Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., and Lewis, A. (2014). Grey wolf optimizer. *Advances in engineering software*, 69, 46-61.
12. Emary, E., Zawbaa, H. M., and Hassanien, A. E. (2016). Binary grey wolf optimization approaches for feature selection. *Neurocomputing*, 172, 371-381.

13. Guha, D., Roy, P. K., and Banerjee, S. (2016). Load frequency control of interconnected power system using grey wolf optimization. *Swarm and Evolutionary Computation*, 27, 97-115.
14. Jayabarathi, T., Raghunathan, T., Adarsh, B. R., and Suganthan, P. N. (2016). Economic dispatch using hybrid grey wolf optimizer. *Energy*, 111, 630-641.
15. Oktik, Ş. (2001). Güneş-Elektrik Dönüşümleri Fotovoltaik Güneş Gözeleri ve Güç Sistemleri. *Temiz Enerji Vakfı Yayınları*, Ankara.
16. Mukund, R. P. (1999). *Wind and solar power systems*. CRC press, Boca Raton, Fla.
17. Carstensen, J., Popkirov, G., Bahr, J., and Föll, H. (2003). CELLO: an advanced LBIC measurement technique for solar cell local characterization. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 76(4), 599-611.
18. Altın, V. (2006). Güneş Pillerinin Yapısı ve Çalışması. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 464, 41.
19. E, Arıkan. (2015) Mono Kristal Fotovoltaik Modüllerin Sıcaklık Katsayılarına Genel Bakış. *Solarex Fuarı*, P1-10.
20. González-Longatt, F. M. (2005). Model of photovoltaic module in Matlab. *ii Cibelec*, 2005, 1-5.
21. Fathy, A. (2015). Reliable and efficient approach for mitigating the shading effect on photovoltaic module based on Modified Artificial Bee Colony algorithm. *Renewable energy*, 81, 78-88.
22. Belhachat, F., and Larbes, C. (2015). Modeling, analysis and comparison of solar photovoltaic array configurations under partial shading conditions. *Solar Energy*, 120, 399-418.
23. Villalva, M. G., Gazoli, J. R., and Ruppert Filho, E. (2009). Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays. *IEEE Transactions on power electronics*, 24(5), 1198-1208.
24. Sefa, I., Altın, N., and Ozdemir, S. (2017). Maximum Power Point Tracking Algorithms for Partial Shaded PV Systems. *In Energy Harvesting and Energy Efficiency* (pp. 261-292). Springer, Cham.
25. Bastidas-Rodriguez, J. D., Franco, E., Petrone, G., Ramos-Paja, C. A., and Spagnuolo, G. (2014). Maximum power point tracking architectures for photovoltaic systems in mismatching conditions: a review. *IET Power Electronics*, 7(6), 1396-1413.
26. Koutroulis, E., & Blaabjerg, F. (2012). A new technique for tracking the global maximum power point of PV arrays operating under partial-shading conditions. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 2(2), 184-190.

27. Ozdemir, S. (2013). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçin Tek Aşamalı MPPT Denetimli Çok Seviyeli Eviricinin Gerçekleştirilmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 24 - 75.
28. Batzelis, E. I., Georgilakis, P. S., and Papathanassiou, S. A. (2014). Energy models for photovoltaic systems under partial shading conditions: a comprehensive review. *IET Renewable Power Generation*, 9(4), 340-349.
29. Ishaque, K., Salam, Z., and Taheri, H. (2011). Modeling and simulation of photovoltaic (PV) system during partial shading based on a two-diode model. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 19(7), 1613-1626.
30. Walker, G. (2001). Evaluating MPPT converter topologies using a MATLAB PV model. *Journal of Electrical & Electronics Engineering*, Australia, 21(1), 49.
31. Eltawil, M. A., and Zhao, Z. (2013). MPPT techniques for photovoltaic applications. *Renewable and sustainable energy reviews*, 25, 793-813.
32. Wang, X., & Liang, H. (2012, March). *Output characteristics of PV array under different insolation and temperature*. In 2012 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (pp. 1-4). IEEE.
33. Enslin, J. H., Wolf, M. S., Snyman, D. B., and Swiegers, W. (1997). Integrated photovoltaic maximum power point tracking converter. *IEEE Transactions on industrial electronics*, 44(6), 769-773.
34. Noguchi, T., Togashi, S., and Nakamoto, R. (2002). Short-current pulse-based maximum-power-point tracking method for multiple photovoltaic-and-converter module system. *IEEE Transactions on Industrial electronics*, 49(1), 217-223.
35. ALTIN, N., ve YILDIRIMOĞLU, T. (2011). Labview/Matlab tabanlı maksimum güç noktasını takip edebilen fotovoltaik sistem simülatörü. *Politeknik Dergisi*, 14(4), 271-280.
36. Femia, N., Petrone, G., Spagnuolo, G., and Vitelli, M. (2005). Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method. *IEEE transactions on power electronics*, 20(4), 963-973.
37. Altin, N., Ozdemir, S., Komurcugil, H., Sefa, I., and Biricik, S. (2018, April). *Two-stage grid-connected inverter for PV systems*. In 2018 IEEE 12th International Conference on Compatibility, Power Electronics and Power Engineering (CPE-POWERENG 2018) (pp. 1-6). IEEE.
38. Safari, A., and Mekhilef, S. (2011, May). *Incremental conductance MPPT method for PV systems*. In 2011 24th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE) (pp. 000345-000347). IEEE.
39. Mandal, A. K. (2006). *Introduction to control engineering: Modeling, analysis and design*. New Age International. 371.

40. Altin, N. (2012, November). *Single phase grid interactive PV system with MPPT capability based on type-2 fuzzy logic systems*. In 2012 International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA) (pp. 1-6). IEEE.
41. Altin, N. (2018). The Type-2 Fuzzy Logic Controller-Based Maximum Power Point Tracking Algorithm and the Quadratic Boost Converter for Pv System. *Journal of Electronic Materials*. Volume 47, Issue 8, pp 4475–4485.
42. Isık, R. (2015). *Fotovoltaik Dizilerin Kısmi Gölgeleme Durumunda Maksimum Güç Noktası Takibi Yapabilen Bir Algoritmanın Geliştirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 25-27.
43. Vas, P. (1999). Artificial-intelligence-based electrical machines and drives: application of fuzzy, neural, fuzzy-neural, and genetic-algorithm-based techniques. *Oxford university press*. Vol. 45.
44. Jain, A. K., Mao, J., and Mohiuddin, K. M. (1996). Artificial neural networks: A tutorial. *Computer*, (3), 31-44.
45. Hussiani, M. (2018). *Fotovoltaik Sistemler İçin Maksimum Güç İzleme Algoritması Tasarımı* Sakarya Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 40-50.
46. Kennedy, R. (1995, November). J. and Eberhart, *Particle swarm optimization*. In Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks IV, pages (Vol. 1000, p. 33).
47. Shi, Y. (2001). *Particle swarm optimization: developments, applications and resources*. In Proceedings of the 2001 congress on evolutionary computation (*IEEE Cat. No. 01TH8546*) (Vol. 1, pp. 81-86). IEEE.
48. Xin, J., Chen, G., and Hai, Y. (2009, April). *A particle swarm optimizer with multi-stage linearly-decreasing inertia weight*. In 2009 International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization (Vol. 1, pp. 505-508). IEEE.
49. Koç, E., and Şenel, M. C. (2013). Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54(639), 32-44.
50. Muro, C., Escobedo, R., Spector, L., and Coppinger, R. P. (2011). Wolf-pack (*Canis lupus*) hunting strategies emerge from simple rules in computational simulations. *Behavioural processes*, 88(3), 192-197.
51. İnternet: From character to personality. *Gray Wolf Outreach Project*. URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fhttp%3A%2F%2Fwesternwildlife.org%2Fgray-wolf-outreach-project%2F.&date=2019-05-02>. 02.05.2019 tarihinde alınmıştır.
52. Kleiman, D. G. (1967). Some aspects of social behavior in the Canidae. *American Zoologist*, 7(2), 365-372..

53. Schenkel, R. (1967). Submission: its features and function in the wolf and dog. *American Zoologist*, 7(2), 319-329.
54. İnternet: From character to personality. *Pack Of Wolves Hunt a Bison* URL: <http://www.webcitation.org/query?url=http%3A%2F%2Fwww.bbc.com%2Fearth%2Fstoryoflife%2Fplayer%3FclipID%3D20160713-pack-of-wolves-hunts-a-bison.&date=2019-05-02>. 02.05.2019 tarihinde alınmıştır.
55. Sujatha, K., and Punithavathani, D. S. (2018). Optimized ensemble decision-based multi-focus imagefusion using binary genetic Grey-Wolf optimizer in camera sensor networks. *Multimedia Tools and Applications*, 77(2), 1735-1759.
56. Daniel, E. (2018). Optimum Wavelet-Based Homomorphic Medical Image Fusion Using Hybrid Genetic–Grey Wolf Optimization Algorithm. *IEEE Sensors Journal*, 18(16), 6804-6811.
57. Ahmed, A., Gupta, R., and Parmar, G. (2018, February). *GWO/PID Approach for Optimal Control of DC Motor*. In 2018 5th International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN) (pp. 181-186). IEEE.
58. Yahiaoui, A., Fodhil, F., Benmansour, K., Tadjine, M., and Cheggaga, N. (2017). Grey wolf optimizer for optimal design of hybrid renewable energy system PV-Diesel Generator-Battery: Application to the case of Djanet city of Algeria. *Solar Energy*, 158, 941-951.
59. Rashid, M. H. (2011). *Power electronic handbook: devices circuits and applications handbook*. In ch. 12. Butterworth-Heinemann.275.



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ATICI Koray
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 19.06.1989, Niğde/BOR
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (537) 499 31 40
 e-mail : korayatici@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Uludağ Üniversitesi Elektronik Mühendisliği	2013
Lise	Turhal Cumhuriyet Lisesi	2007

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2019 – Halen	Havelsan A.Ş.	Uzman Sistem Mühendisi
2016-2019	ANOVA Proje ve Bilgisayar A.Ş.	Uzman AR-GE Müh.
2015-2016	ATEL Teknoloji ve Savunma A.Ş.	ARGE Müh.
2013-2015	ORTEM Elektronik	ARGE Müh.

Yabancı Dil

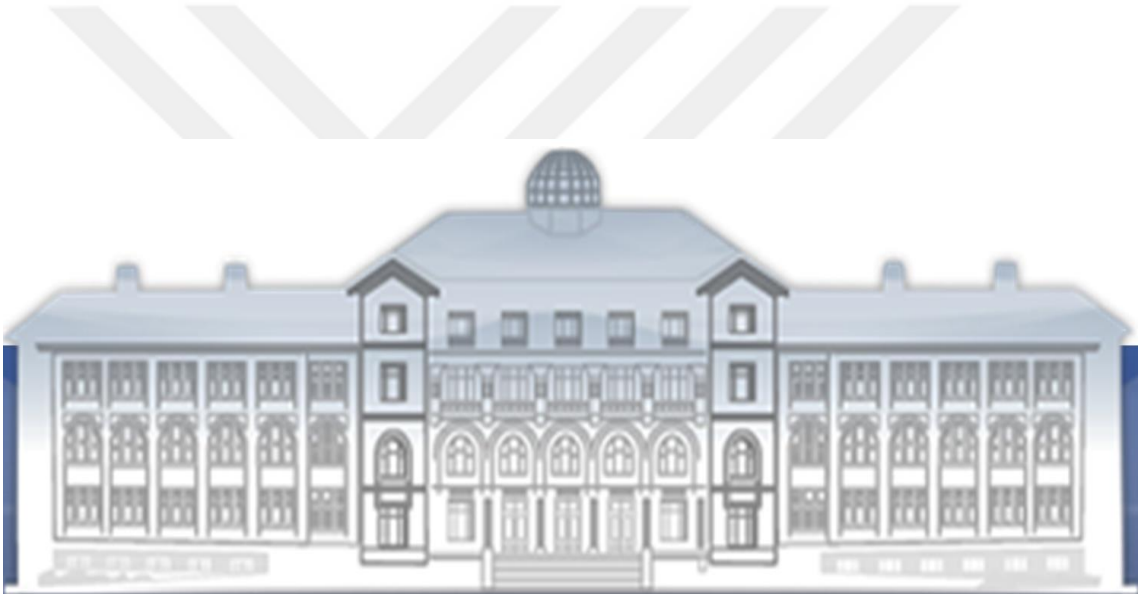
İngilizce

Yayınlar

- Atıcı, K. Altın, N. Sefa,İ. (2019, 19 – 21 Nisan). *Fotovoltaik Sistemler için Bozkurt Optimizasyonu Tabanlı MPPT Yöntemi Tasarımı*. 3. Uluslararası Bilimsel Çalışmalarda Yenilikçi Yaklaşımlar Sempozyumu, Ankara.

Hobiler

Whing Chun, Elektronik



GAZİ GELECEKTİR..