



**T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE SEZGİSEL  
ALGORİTMA TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP  
SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ**

Yüksek Lisans Tezi

**Semih ÇAM**

Danışman  
**Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ**

II. Danışman  
**Doç. Dr. Haluk GÖZDE**

SAMSUN  
2021

T.C.  
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI



FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE SEZGİSEL  
ALGORİTMA TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP  
SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Yüksek Lisans Tezi

**Semih ÇAM**

Danışman

**Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ**

II. Danışman

**Doç. Dr. Haluk GÖZDE**

SAMSUN  
2021

## TEZ KABUL VE ONAYI

Semih ÇAM tarafından, Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ danışmanlığında hazırlanan “*Fotovoltaik Enerji Sistemlerinde Sezgisel Algoritma Tabanlı Maksimum Güç Noktası Takip Sistemi Geliştirilmesi*” başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından 23.2.2021 tarihinde yapılan sınav sonucunda oy birliği ile başarılı bulunarak Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

	Unvanı Adı Soyadı Üniversitesi Ana Bilim/Ana Sanat Dalı	İmza	Sonuç
<b>Başkan</b>	Dr. Öğr. Üyesi Mustafa GÖKDAĞ Karabük Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
	Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ Ondokuz Mayıs Üniversitesi (Danışman) Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret
<b>Üye</b>	Dr. Öğr. Üyesi. Cenk GEZEGİN Ondokuz Mayıs Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı		<input checked="" type="checkbox"/> Kabul <input type="checkbox"/> Ret

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen ve yukarıda adları yazılı jüri üyeleri tarafından uygun görülmüştür.

ONAY

... / ... / ...

Prof. Dr. Ali BOLAT  
Enstitü Müdürü

## **BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK BEYANI**

Hazırladığım yüksek lisans tezinin bütün aşamalarında bilimsel etiğe ve akademik kurallara riayet ettiğimi, çalışmada doğrudan veya dolaylı olarak kullandığım her alıntıya kaynak gösterdiğimi ve yararlandığım eserlerin Kaynaklarda gösterilenlerden oluştuğunu, enstitü yazım kılavuzuna uygun yazıldığını ve TÜBİTAK Araştırma ve Yayın Etiği Kurulu Yönetmeliği'nin 3. bölüm 9. maddesinde belirtilen durumlara aykırı davranılmadığımı taahhüt ve beyan ederim.

İmza

23/02/2021

Semih ÇAM

## **TEZ ÇALIŞMASI ÖZGÜNLÜK RAPORU BEYANI**

**TEZ BAŞLIĞI : FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE SEZGİSEL  
ALGORİTMA TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP SİSTEMİ  
GELİŞTİRİLMESİ**

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışması için şahsım tarafından 18.01.2021 tarihinde intihal tespit programından alınmış olan özgünlük raporu sonucunda;

Benzerlik oranı : % 6

Tek kaynak oranı : % 1 çıkmıştır.

İmza

23/02/2021

Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ

## ÖZET

### FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMLERİNDE SEZGİSEL ALGORİTMA TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP SİSTEMİ GELİŞTİRİLMESİ

Semih ÇAM

Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yüksek Lisans, Şubat/2021

Danışman: Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ

Fotovoltaik Sistemler, güneşten gelen sınırsız ışın kaynağı nedeniyle yenilenebilir enerji üretimi içinde önemli bir konuma sahiptir. Fotovoltaik sistemlerin verimini düşüren en önemli sorunlardan biri panellerde oluşan gölgelenme durumudur. Gölgelemeden dolayı panellerin Maksimum Güç Noktası Takibi güç eğrisinde birden fazla tepe meydana gelmesinden dolayı zorlaşır. Bu çalışmada klasik yöntemlerden P&O algoritması ve sezgisel yöntemlerden Parçacık Sürüsü Optimizasyonu algoritmaları sabit ışınım, değişken ışınım ve kısmi gölgeleme şartları altında karşılaştırılmış ve analiz edilmiştir. Çalışmada özellikle kısmi gölgeleme için röle anahtarlama ile elektriksel yer değiştirme düzeneğinin olmadığı durumda sadece klasik P&O ve sezgisel PSO algoritmalarının yazılımsal olarak geliştirilerek sistemden maksimum güç elde edilip edilmediğine bakılmıştır. Sabit ışınım için üç, değişken ışınım için üç ve kısmi gölgeleme için altı farklı durum incelenmiştir. Gerek klasik P&O ve gerekse sezgisel PSO algoritması ile yapılan MPPT'nin yazılımsal olarak geliştirilmesi ile röle anahtarlama ile elektriksel yer değiştirmeye gerek kalmaksızın kısmi gölgeleme durumlarında da maksimum güç elde edilebileceği görülmüştür.

**Anahtar Sözcükler:** P&O, Parçacık Sürüsü Optimizasyonu, Kısmi Gölgeleme Durumu ve Maksimum Güç Noktası Takibi

## ABSTRACT

### DEVELOPMENT OF HEURISTIC ALGORITHM BASED MAXIMUM POWER POINT TRACKING SYSTEM IN PHOTOVOLTAIC ENERGY SYSTEMS

Semih ÇAM

Ondokuz Mayıs University

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical Electronics Engineering

Master, February/2021

Supervisor: Assoc. Prof. Mustafa AKTAŞ

Photovoltaic Systems have an important position in renewable energy generation due to the unlimited source of radiation from the sun. One of the most important problems that reduce the efficiency of photovoltaic systems is the shading that occurs in the panels. Panels' Maximum Power Point Tracking due to ghosting becomes difficult due to multiple peaks in the power curve. In this study, P&O algorithm from classical methods and Particle Swarm Optimization algorithms from heuristic methods were compared and analyzed under constant irradiance, variable irradiance and partial shading conditions. In the study, it was investigated whether the maximum power was obtained from the system by software development of only classical P&O and heuristic PSO algorithms, especially in the absence of electrical displacement mechanism with relay switching for partial shadowing. Three different cases for constant irradiance, three for variable irradiance and six for partial shading were investigated. It has been observed that with the software development of MPPT made with both classical P&O and heuristic PSO algorithms, maximum power can be obtained in partial shadowing situations without the need for relay-switched electrical displacement.

**Keywords:** P&O, Particle Swarm Optimization, Partial Shading Condition and Maximum Power Point Tracking

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Başta tez çalışmamda çok büyük emeği geçen, bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösteren ve desteklerini esirgemeyen değerli danışman hocalarım Doç. Dr. Mustafa AKTAŞ ve Doç. Dr. Haluk GÖZDE'ye, yardımlarını esirgemeyen Dr. Öğ. Üyesi Semih ÖZDEN'e ve mesai arkadaşlarıma teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Eğitim hayatımın her aşamasında maddi ve manevi destekleriyle bu günlere gelmemdeki en büyük katkıları olan aileme sonsuz teşekkür ederim.

Semih ÇAM

## İÇİNDEKİLER

<b>SİMGELER VE KISALTMALAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>	<b>x</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ .....</b>	<b>xiv</b>
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KAYNAK TARAMASI.....</b>	<b>3</b>
<b>3. GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ.....</b>	<b>11</b>
3.1. Fotovoltaik Hücre Yapısı ve Enerji Dönüşümü .....	12
3.1.1. Fotovoltaik Etki .....	12
3.1.2. Fotovoltaik Yapı .....	15
3.1.3. Fotovoltaik Hücrenin Sınıflandırılması.....	17
3.1.4. Fotovoltaik Hücre Modeli .....	18
3.1.5. Pratikte PV Hücre Modeli .....	19
3.1.6. Doldurma Faktörü ve Maksimum Güç .....	20
3.1.7. Standart Test Koşulu.....	21
3.2. Fotovoltaik Hücreye Etki Eden Faktörler .....	21
3.2.1. Güneş Işınımı .....	21
3.2.2. Sıcaklık .....	23
3.2.3. Zenit Açısı .....	24
3.3. Sistem Bileşenleri.....	24
3.3.1. Fotovoltaik Sistem .....	25
3.3.2. DA-DA Dönüştürücü .....	26
3.3.3. Maksimum Güç Noktası Takibi .....	30
3.3.3.1. Geleneksel Yöntemler .....	31
3.3.3.2. Sezgisel Algoritmalar .....	33
3.4. Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Enerji Sistemler.....	36
3.5. Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Enerji Sistemler. ....	37
<b>4. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE GÜNEŞLENME ŞARTLARI .....</b>	<b>40</b>
4.1. Sabit Işıma Durumu.....	40
4.2. Değişken Işıma Durumu .....	41
4.3. Kısmi Gölgeleme Durumu .....	42
<b>5. MODELLEME ÇALIŞMALARI .....</b>	<b>44</b>
5.1. Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Modellenmesi .....	44
5.2. Güneşlenme Durumlarının Tasarımı ve Modellenmesi .....	48
5.3. P&O Algoritması ile MPPT Tasarımı .....	49
5.4. PSO Algoritması ile MPPT Tasarımı. ....	51
<b>6. ANALİZ VE GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI .....</b>	<b>56</b>

6.1. Sabit Güneş Işınımı Durumunda Sistem Analizi.....	56
6.1.1. Durum 1 Analizi .....	56
6.1.2. Durum 2 Analizi .....	57
6.1.3. Durum 3 Analizi .....	59
6.1.4. Durum 1-2-3 için Genel Değerlendirme .....	60
6.2. Değişken Güneşlenme Durumunda Sistem Analizi .....	61
6.2.1. Durum 4 Analizi .....	61
6.2.2. Durum 5 Analizi .....	66
6.2.3. Durum 6 Analizi .....	71
6.2.4. Durum 4-5-6 için Genel Değerlendirme .....	76
6.3. Kısmi Gölgeleme Durumunda Sistem Analizi ve Geliştirme .....	76
6.3.1. Düzeltme 1 $PSO_{ORT}$ .....	78
6.3.2. Düzeltme 2 $PSO_{4,DER}$ .....	79
6.3.3. Durum 7 Analizi .....	80
6.3.4. Durum 8 Analizi .....	82
6.3.5. Durum 9 Analizi .....	85
6.3.6. Durum 10 Analizi .....	87
6.3.7. Durum 11 Analizi .....	89
6.3.8. Durum 12 Analizi .....	92
6.3.9. Durum 7-8-9-10-11-12 için Genel Değerlendirme .....	94
<b>7. SONUÇ VE TARTIŞMA .....</b>	<b>96</b>
<b>REFERANSLAR.....</b>	<b>98</b>
<b>EKLER.....</b>	<b>101</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>114</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

### SİMGELER

$V_{max}$	Maksimum Güç Noktasını Sağlayan Gerilim Değeri
$I_{max}$	Maksimum Güç Noktasını Sağlayan Akım Değeri
$V_{oc}$	Açık Devre Gerilimi
$I_{sc}$	Kısa Devre Akımı
$P_{ir}$	Yerküre Yüzeyindeki Solar Güç Yoğunluğu ( $kW/m^2$ )
$P_0$	Uzaydaki Güç Yoğunluğu ( $1351 W/m^2$ )
$\theta$	Zenit Açısı
$\alpha_{dt}$	Gazlar Tarafından Emilmeyen, Yansıyan Enerjisinin Bir Bölümü Olan Su Buharı Dışındaki Gazların Doğrudan Geçirgenliği
$\alpha_p$	Aerosol'ün Geçirgenliği
$\beta_{wa}$	Su Buharının Işınımı Emme Katsayısı
$\eta_s$	Güneş Işınımının Verimi
$P_{max}$	$t_0$ Anındaki Günün En Yüksek Solar Güç Yoğunluğu
$\sigma$	Standart Sapma
$I_c$	Işık Aldığında Diyotun Ters Polarlama Akımı
$I_0$	Diyotun Ters Doyma Akımı
$V_d$	Diyotun Üzerindeki Gerilim Düşümü
$k$	Boltzman Sabiti ( $1,381.10^{-23} J/K_0$ )
$T$	PV Hücrenin İşletme Sıcaklığı ( $K_0$ )
$q$	$1e^-$ Yüğü ( $1,602.10^{-19} C$ )
$A$	İdeallik Faktörü
$R_s$	Harici Kablo ve Kolektör Bağlantılarını Temsil Eden Seri Direnç
$R_p$	Kristal İç Direnç
$V_d$	Diyot Gerilimi
$FF$	Fill Factor
$\Delta T$	İşletme Sıcaklığının Artış miktarı

## KISALTMALAR

<b>P&amp;O</b>	Perturb&Observe
<b>INC</b>	Incremental Conductance-Artırımlı İletkenlik
<b>PSO</b>	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
<b>MPPT</b>	Maximum Power Point Tracking-Maksimum Güç Noktası Takibi
<b>HC</b>	Hill Climbing-Tepe Tırmanma
<b>FIB</b>	Fıbonacci Arama
<b>MPSO</b>	Modifiye Edilmiş Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
<b>DPSO</b>	Dinamik Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
<b>MPP</b>	Maximum Power Point-Maksimum Güç Noktası
<b>YSA</b>	Yapay Sinir Ağı
<b>ANFIS</b>	Adaptive Network Based Fuzzy Inference
<b>KKO</b>	Karıncı Kolonisi Optimizasyonu
<b>DA</b>	Doğru Akım
<b>GA</b>	Genetik Algoritma
<b>CS</b>	Cuckoo Search-Guguk Kuşu Algoritması
<b>GMPPT</b>	Global Maximum Power Point-Global Maksimum Güç Noktası

### Takibi

<b>SAS</b>	Solar Array Simulator-Güneş Paneli Simulatörü
<b>SMC</b>	Sliding Mode Control
<b>MABC</b>	Modified Artificial Bee Colony-Geliştirilmiş Yapay Arı Algoritması
<b>ABC</b>	Artificial Bee Colony-Yapay Arı Kolonisi
<b>B</b>	Bor Atomu
<b>As</b>	Arsenik Atomu
<b>GaAs</b>	GadyumArsenid
<b>CdTe</b>	KadmiyumTellür
<b>ABA</b>	Ateş Böceği Algoritması
<b>ÇTA</b>	Çiçek Tozlaşması Algoritması
<b>DPWM</b>	P&O Algoritmasında PWM'deki Artış ve Azalış
<b>PV</b>	Fotovoltaik

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Dünyada 2019 yılı Enerji Tüketimi.....	11
Şekil 3.2. 2020 için Türkiye Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü.....	11
Şekil 3.3. Güneş Enerjisinin Dünyaya Gelişi.....	12
Şekil 3.4. Güneş Enerjisinin Dünya Yüzeyine Gelme Durumu Kayıpları.....	13
Şekil 3.5. Güneş Enerjisinin Dünyaya Gelme Durumu Faktörleri.....	14
Şekil 3.6. Güneşin Güç Yoğunluğu Gauss Dağılımı.....	14
Şekil 3.7. Güneş Enerjisinin Dönüşümü.....	15
Şekil 3.8. p-tipi doping (soldaki) ve n-tipi doping (sağdaki).....	16
Şekil 3.9. p-n Eklemine Oluşması.....	16
Şekil 3.10. p-n Eklemine Silikon Taban ile Gösterimi.....	16
Şekil 3.11. PV Hücrenin Yapısı.....	17
Şekil 3.12. Fotovoltaik Hücrenin Sınıflandırılması.....	17
Şekil 3.13. PV Hücrenin Gösterimi.....	18
Şekil 3.14 PV Hücrenin Diyot ve Akım Kaynağı ile Gösterimi.....	18
Şekil 3.15. PV Hücreye Seri Bağlı Direnç ile Gösterimi.....	19
Şekil 3.16. PV Hücreye Paralel Bağlı Direnç ile Gösterimi.....	20
Şekil 3.17. Güneş Işınımı Akım-Gerilim Grafiği.....	21
Şekil 3.18. Farklı Güneş Işınımında Akım-Gerilim Eğrisi.....	22
Şekil 3.19. Farklı Güneş Işınımında Güç-Gerilim Eğrisi.....	22
Şekil 3.20. Farklı Sıcaklıklarda Akım-Gerilim Eğrisi.....	23
Şekil 3.21. Farklı Sıcaklıklardaki Güç-Gerilim Eğrisi.....	23
Şekil 3.22. Yer Düzlemine Göre $\theta$ .....	24
Şekil 3.23. Örnek Fotovoltaik Sistem Şeması.....	24
Şekil 3.24. Fotovoltaik Sistemlerdeki Hücre, Modül ve Panel Yapısı.....	25
Şekil 3.25. Fotovoltaik Hücrelerin Bir Araya Gelmesi.....	25
Şekil 3.26. Hücrelerin Seri Bağlanması.....	26
Şekil 3.27. Hücrelerin Paralel Bağlantısı.....	26
Şekil 3.28. DA-DA Yükselten Dönüştürücü Devre Şeması.....	27
Şekil 3.29. DA-DA Yükselten Dönüştürücü Anahtar Gösterimi.....	27
Şekil 3.30. Anahtarın 1 Numaralı Durumu.....	27
Şekil 3.31. Anahtarın 2 Numaralı Durumu.....	28
Şekil 3.32. Farklı Güneş Işınımında Maksimum Güç Noktaları.....	30

Şekil 3.33. Fotovoltaik Panelde Güç-Gerilim İlişkisi.....	32
Şekil 3.34. P&O Algoritması Akış Diyagramı.....	32
Şekil 3.35. Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Enerji Sistemi Bileşenleri.....	37
Şekil 3.36. Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Enerji Sistemi Kurulumu.....	39
Şekil 4.1. Güneş Paneline Sabit Güneş Işınımı Gelmesi.....	40
Şekil 4.2. Değişen Güneş Işınımının Panele Gelme Durumu.....	41
Şekil 4.3. Bypass Diyotların Bağlanması.....	42
Şekil 4.4. (a) Güç-Gerilim Eğrisi (b) Akım-Gerilim Eğrisi.....	43
Şekil 5.1. 72 W'lık Yükselten Dönüştürücü Devresi.....	44
Şekil 5.2. Yükselten Dönüştürücü Giriş Akımı Grafiği.....	45
Şekil 5.3. Yükselten Dönüştürücü Çıkış Gerilimi Grafiği.....	46
Şekil 5.4. PV Panel ile Yükselten Dönüştürücü Devresi.....	47
Şekil 5.5 Yükselten Dönüştürücü Devresinin Giriş Akımı Dalgalanması.....	47
Şekil 5.6. PV Panel ile Yükselten Dönüştürücü Çıkış Gerilimi Grafiği.....	47
Şekil 5.7. Güneş Işınımının Sabit Gelmesi.....	48
Şekil 5.8. Güneş Işınımının Değişken Olması.....	49
Şekil 5.9. PV Panelin Kısmi Gölgelemesi.....	49
Şekil 5.10. Geliştirilmiş P&O Algoritması Akış Şeması.....	50
Şekil 5.11. Geliştirilmiş P&O Algoritması MPPT Denetleyici.....	51
Şekil 5.12. PSO Algoritması Akış Şeması.....	52
Şekil 5.13. PSO Algoritması MPPT Denetleyici.....	52
Şekil 6.1. Durum 1 P&O Algoritması için Güç Eğrisi.....	57
Şekil 6.2. Durum 1 PSO Algoritması için Güç Eğrisi.....	57
Şekil 6.3. Durum 2 P&O Algoritması İçin Güç Eğrisi.....	58
Şekil 6.4. Durum 2 PSO Algoritması İçin Güç Eğrisi.....	58
Şekil 6.5. Durum 3 P&O Algoritması İçin Güç Eğrisi.....	59
Şekil 6.6. Durum 3 PSO Algoritması İçin Güç Eğrisi.....	60
Şekil 6.7. Durum 1-2-3 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri.....	60
Şekil 6.8. Durum 1-2-3 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi.....	61
Şekil 6.9. Durum 4 İçin Değişken Güneş Işınımı.....	62
Şekil 6.10. Durum 4 (a) P&O Çıkış Güç Eğrisi (b) Referans Gerilimi Eğrisi.....	62
Şekil 6.11. Durum 4 (a) P&O Giriş Gerilimi Eğrisi (b) P&O Çıkış Gerilimi Eğrisi...62	62
Şekil 6.12. Durum 4 P&O Algoritması İçin Güç Eğrisi.....	63
Şekil 6.13. Durum 4 için (a) PSO Çıkış Güç Eğrisi (b) Referans Gerilimi Eğrisi.....	63

Şekil 6.14. Durum 4 için (a) PSO Giriş Gerilimi Eğrisi (b) PSO Çıkış Gerilimi Eğrisi.....	63
Şekil 6.15. Durum 4 PSO Algoritması İçin Güç Eğrisi.....	64
Şekil 6.16. Durum 4 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri.....	65
Şekil 6.17. Durum 4 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri..	65
Şekil 6.18. Durum 5 İçin Değişken Güneş Işınımı.....	66
Şekil 6.19. Durum 5 (a) P&O Çıkış Güç Eğrisi (b) Referans Gerilimi Eğrisi.....	67
Şekil 6.20. Durum 5 (a) P&O Giriş Gerilimi Eğrisi (b) P&O Çıkış Gerilimi Eğrisi..	67
Şekil 6.21. Durum 5 P&O Algoritması İçin Güç Eğrisi.....	67
Şekil 6.22. Durum 5 için (a) PSO Çıkış Güç Eğrisi (b) Referans Gerilimi Eğrisi.....	68
Şekil 6.23. Durum 5 için (a) PSO Giriş Gerilimi Eğrisi (b) PSO Çıkış Gerilimi Eğrisi.....	68
Şekil 6.24. Durum 5 PSO Algoritması İçin Güç Eğrisi.....	68
Şekil 6.25. Durum 5 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri.....	70
Şekil 6.26. Durum 5 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri...	70
Şekil 6.27. Durum 6 İçin Değişken Güneş Işınımı.....	71
Şekil 6.28. Durum 6 (a) P&O Çıkış Güç Eğrisi (b) Referans Gerilimi Eğrisi.....	71
Şekil 6.29. Durum 6 (a) P&O Giriş Gerilimi Eğrisi (b) P&O Çıkış Gerilimi Eğrisi...	72
Şekil 6.30. Durum 6 P&O Algoritması İçin Güç Eğrisi.....	72
Şekil 6.31. Durum 6 için (a) PSO Çıkış Güç Eğrisi (b) Referans Gerilimi Eğrisi.....	73
Şekil 6.32. Durum 6 için (a) PSO Giriş Gerilimi Eğrisi (b) PSO Çıkış Gerilimi Eğrisi.....	73
Şekil 6.33. Durum 6 PSO Algoritması İçin Güç Eğrisi.....	74
Şekil 6.34. Durum 6 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri.....	75
Şekil 6.35. Durum 6 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri...	75
Şekil 6.36. PV Panelin TCT Bağlantısı.....	77
Şekil 6.37. MATLAB Simulinkte kullanılan TCT Panel Bağlantısı.....	78
Şekil 6.38. PSO <sub>ORT</sub> . Akış Diyagramı.....	79
Şekil 6.39.. PSO <sub>4,DER</sub> . Akış Diyagramı.....	80
Şekil 6.40. Durum 7 Panelde Oluşan Gölgeleme ve Güç Eğrisi.....	80
Şekil 6.41. Durum 7 (a) P&O Algoritması (b) PSO Algoritması.....	80
Şekil 6.42. Durum 7 (a) PSO <sub>ORT</sub> . Algoritması (b) PSO <sub>4,DER</sub> . Algoritması.....	81
Şekil 6.43. Durum 7 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri.....	81
Şekil 6.44. Durum 7 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri...	81

Şekil 6.45. Durum 8 Panelde Oluşan Gölgeleme ve Güç Eğrisi.....	83
Şekil 6.46. Durum 8 (a) P&O Algoritması (b) PSO Algoritması.....	83
Şekil 6.47. Durum 8 (a) PSO <sub>ORT.</sub> Algoritması (b) PSO <sub>4.DER.</sub> Algoritması.....	83
Şekil 6.48. Durum 8 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri.....	84
Şekil 6.49. Durum 8 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri....	84
Şekil 6.50. Durum 9 Panelde Oluşan Gölgeleme ve Güç Eğrisi.....	85
Şekil 6.51. Durum 9 (a) P&O Algoritması (b) PSO Algoritması.....	85
Şekil 6.52. Durum 9 (a) PSO <sub>ORT.</sub> Algoritması (b) PSO <sub>4.DER.</sub> Algoritması.....	86
Şekil 6.53. Durum 9 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri.....	86
Şekil 6.54. Durum 9 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri...86	
Şekil 6.55. Durum 10 Panelde Oluşan Gölgeleme ve Güç Eğrisi.....	87
Şekil 6.56. Durum 10 (a) P&O Algoritması (b) PSO Algoritması.....	88
Şekil 6.57. Durum 10 (a) PSO <sub>ORT.</sub> Algoritması (b) PSO <sub>4.DER.</sub> Algoritması.....	88
Şekil 6.58. Durum 10 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri.....	89
Şekil 6.59. Durum 10 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri...89	
Şekil 6.60. Durum 11 Panelde Oluşan Gölgeleme ve Güç Eğrisi.....	90
Şekil 6.61. Durum 11 (a) P&O Algoritması (b) PSO Algoritması.....	90
Şekil 6.62. Durum 11 (a) PSO <sub>ORT.</sub> Algoritması (b) PSO <sub>4.DER.</sub> Algoritması.....	90
Şekil 6.63. Durum 11 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri.....	91
Şekil 6.64. Durum 11 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri..91	
Şekil 6.65. Durum 12 Panelde Oluşan Gölgeleme ve Güç Eğrisi.....	92
Şekil 6.66. Durum 12 (a) P&O Algoritması (b) PSO Algoritması.....	92
Şekil 6.67. Durum 12 (a) PSO <sub>ORT.</sub> Algoritması (b) PSO <sub>4.DER.</sub> Algoritması.....	93
Şekil 6.68. Durum 12 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri.....	93
Şekil 6.69. Durum 12 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri..93	
Şekil 6.70. Durum 7-8-9-10-11-12 için Oturma Zamanı Grafiği.....	95

## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 5.1. 83 W'lık PV Panelin Değerleri .....	44
Tablo 5.2. Yükselten Dönüştürücü Devresi Parametre Değerleri.....	45
Tablo 5.3. (a) Tek panel 900W/m <sup>2</sup> için D-V (b) 1000W/m <sup>2</sup> için P-V değerleri.....	53
Tablo 5.4. Güneş Işınımının 300-1000 W/m <sup>2</sup> değerleri için D-V Katsayıları .....	54
Tablo 5.5. Güneş Işınımının 600-900 W/m <sup>2</sup> değerleri için P-V Katsayıları .....	54
Tablo 5.6. Güneş Işınımının 200-500 W/m <sup>2</sup> değerleri için P-V Katsayıları .....	54
Tablo 6.1. Sabit Güneş Işınımında Sezgisel PSO ve Geliştirilmiş P&O Değerleri....	60
Tablo 6.2. Durum 4 İçin Sezgisel PSO ve P&O Değerleri.....	65
Tablo 6.3. Durum 5 İçin Sezgisel PSO ve P&O Değerleri.....	69
Tablo 6.4. Durum 6 İçin Sezgisel PSO ve P&O Değerleri.....	75
Tablo 6.5. 4x4 Güneş panelinde P <sub>fark</sub> ve D <sub>fark</sub> değerleri.....	79
Tablo 6.6. Durum 7 İçin P&O, PSO, PSO <sub>ORT</sub> , PSO <sub>4.DER.</sub> Değerleri.....	81
Tablo 6.7. Durum 8 için P&O, PSO, PSO <sub>ORT</sub> , PSO <sub>4.DER.</sub> Değerleri.....	84
Tablo 6.8. Durum 9 İçin P&O, PSO, PSO <sub>ORT</sub> , PSO <sub>4.DER.</sub> Değerleri.....	86
Tablo 6.9. Durum 10 için P&O, PSO, PSO <sub>ORT</sub> , PSO <sub>4.DER.</sub> Değerleri.....	88
Tablo 6.10. Durum 11 İçin P&O, PSO, PSO <sub>ORT</sub> , PSO <sub>4.DER.</sub> Değerleri.....	91
Tablo 6.11. Durum 11 İçin P&O, PSO, PSO <sub>ORT</sub> , PSO <sub>4.DER.</sub> Değerleri.....	93

# 1. GİRİŞ

Son yıllarda, temiz, yenilenebilir, verimli ve çevre dostu kaynaklardan üretilen enerji, bilim adamları ve mühendisler için en önemli araştırma alanlarından biri haline gelmiştir. Gerek fosil kaynakların oluşturduğu karbon salınımı gerekse bu kaynakların her geçen gün daha da azalması yenilenebilir enerjiye olan ihtiyacı artırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisi kolay kullanılabilirliği bakımından daha fazla uygulama alanı bulmaktadır.

Güneş enerjisinden elde edilen Fotovoltaik (PV) panelin verimliliği önemlidir. Güneş enerjisinin güneş ışınımı değişimi, sıcaklık değişimi, PV panel üzerinde kısmi gölgelenme durumu, bulutlanma durumu ve nem değişimi gibi sorunlar PV panelin verimini düşürmektedir.

Bu sorunların çözümünde literatürde geleneksel algoritmalar, akıllı algoritmalar ve sezgisel algoritmalar önerilmiştir. Geleneksel yöntemler P&O (Perturb&Observe), Artırımlı İletkenlik (Incremental Conductance – INC), Açık Devre Gerilimi Tekniği, Kısa Devre Akımı Tekniği ve Tepe Tırmanma (Hill Climbing-HC) teknikleridir. Akıllı algoritmalar Bulanık Mantık, Yapay Sinir Ağı (YSA) ve Genetik Algoritma (GA) gibi yöntemlerdir. Sezgisel algoritmalar ise Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO), Guguk Kuşu Algoritması (Cuckoo Search-CS), Yapay Arı Kolonisi Algoritması (Artificial Bee Colony-ABC), Ateş Böceği Algoritması (ABA), Çiçek Tozlaşması Algoritması (ÇTA) ve Karışık Kurbağa Sıçraması Algoritması gibi doğada meydana gelen olayları taklit eden yöntemlerdir.

Maksimum güç takibinde sabit güneş ışınımı şartları altında klasik algoritmalar verimlilik açısından iyi sonuç vermektedir. Ancak ani değişen güneş ışınımı şartlarında, MPPT'nin tepki hızı, kısmi gölgeleme şartlarında birden fazla tepe değeri oluşmasında dolayı yerel maksimum noktalarına takılma gibi sorunlar meydana gelmektedir. Bu yüzden de hızlı değişen ışımaya ve kısmi gölgeleme şartları altında akıllı yöntemler ve sezgisel yöntemlerin kullanılması önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada 80 W'lık bir güneş enerjisi sisteminde, klasik P&O ve sezgisel PSO algoritmalarının sabit güneş ışınımı (tek panel), değişen güneş ışınımı (tek panel), kısmi gölgeleme durumu (4×4=16 panel) için Maksimum Güç Noktası Takibi (Maximum Power Point Tracking – MPPT) performansları analiz edilmiş ve özellikle kısmi gölgeleme şartları durumu için algoritmalarda yazılımsal geliştirmeler yapılarak sonuçlar karşılaştırılmıştır.

İkinci bölümde daha önceki yıllarda yapılmış olan çalışmaların literatür taraması yapılmıştır. Üçüncü bölümde Güneş enerjisinden elektrik enerjisi üretimi, PV sistem bileşenlerinden bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde PV Sistemlerde güneş ışınımının gelme durumu sabit güneş ışınımı, değişken güneş ışınımı ve kısmi gölgelenme durumu incelenmiştir. Beşinci bölümde Matlab/Simulink sistem ve ışınım modellemeleri yapılmıştır. Altıncı bölümde sabit güneş ışınımı için üç, değişken güneş ışınımı için üç, kısmi gölgelenme şartları için 6 durumun analizi yapılmış, sonuç değerleri verilmiş ve yorumlanmıştır. Yedinci bölümde ise yapılan tez çalışmasının sonucundan bahsedilmiş olup çalışmanın genel değerlendirilmesi yapılmıştır.

## 2. KAYNAK TARAMASI

Tez konusu için yapılan kaynaklara ait kısa bilgiler aşağıda verilmektedir;

Miyatake ve diğ. PSO, INC, HC ve Fibonacci Arama (FIB) yöntemlerini 4 farklı günde benzer güneş ışınımalarında kısmi gölgelenme şartlarında karşılaştırılmasını yapmışlardır. Ayrıca PSO tekniği bir çift akım ve gerilim sensörüyle birkaç PV dizini kontrol etmek için kullanılmıştır. INC, HC ve FIB yöntemlerinin çalışma noktasındaki dalgalanmaları, güneş ışınımının her panele eşit dağılmadığı durumlardaki zayıflıkları ve küresel optimum noktayı belirleyememesinden dolayı PSO yönteminin daha başarılı sonuç verdiği görülmüştür (Miyatake, Veerachary, Toriumi, Fujii & Ko, 2011).

Ishaque ve diğ. Modifiye Edilmiş Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (MPSO) algoritmasının güneş ışınımının ani değiştiği durumlar ve kısmi gölgeli şartlar altında HC yöntemiyle MPPT karşılaştırmasını yapmışlardır. Yapılan çalışmada MPSO yönteminin en belirgin özelliğinin Maksimum Güç Noktası'nın (Maximum Power Point-MPP) kararlı hale ulaştıktan sonra salınımının neredeyse sıfır olmasıdır. Ayrıca MPSO yönteminin HC'e göre daha hızlı izleme hızına sahip olduğu, kısmi gölgelenme ve güneş ışınımının ani değiştiği durumlarda MPP daha çok yakınsadığı, algoritmasının düşük maliyetli mikrodenetleyeciler kullanarak kolayca geliştirmesi gibi üstünlüklere sahip olduğundan bahsedilmiştir (Ishaque, Salam, Amjad & Mekhilef, 2012).

Nguyen ve diğ. kısmi gölgelenme şartları altında Dinamik Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (DPSO) üzerinde çalışmış ve bu algoritmanın P&O ve standart PSO yöntemleri ile verimliliğini karşılaştırmışlardır. 6 farklı kısmi gölgelenme şartı altında yapılan çalışmada DPSO yöntemi en düşük %97.32 verimle ile çalışırken P&O %85-%94 arasında standart PSO %82.11-%89.36 verimlilik ile çalışmıştır. Standart PSO yöntemi yerel MPP noktalarında takılırken, P&O'nun hızlı atmosferik değişim koşullarında yavaş tepki hızına sahip olduğu ve kısmi gölgeleme şartlarında güvenilemeyen davranışlar gösterdiğinden bahsedilmiştir (Nguyen, Dunnigan & Mueller, 2013).

Telbany, Youssef ve Zekry, MPPT üzerine geleneksel kontrol teknikleri, akıllı kontrol teknikleri ve hibrit akıllı kontrol algoritmalarının karşılaştırmasını yapmıştır. Geleneksel tekniklerde INC ve P&O kullanılmıştır. Akıllı kontrol tekniklerinde ise Bulanık Mantık ve YSA tercih edilmiştir. Hibrit akıllı kontrol algoritmalarında

Adaptive Network Based Fuzzy Inference (ANFIS), akıllı P&O, Hibrit GA, Bulanık PID, Karınca Kolonisi Optimizasyonu (KKO), Bulanık-Sinir Ağı ve diğer yapay zeka yöntemleri kullanılmıştır. Yapılan karşılaştırmada Akıllı denetleyici tekniklerin maksimum gücü izlemeye daha yüksek performansa sahip olduğu, optimal çözümlere yakın çözümler üreten verimli, ayarlanabilir ve sağlam arama yöntemleri olduğu tespit edilmiştir. Bu yöntemlerin dezavantajı çok sayıda kontrol parametresi, karmaşıklığı ve yüksek hesaplamaları olduğu görülmüştür (Telbany, Yousef & Zekry, 2014).

Chaeib ve Salky yaptıkları MPPT çalışmasında geleneksel yöntemlerden P&O ve geleneksel olmayan yöntemlerden PSO algoritmalarının karşılaştırmasını yapmışlardır. Çalışmaları Arduino destek blok seti ile Matlab/Simulink ortamında gerçekleştirilmiş olup Buck Converter tercih edilmiştir. PSO'nun daha kısa sürede daha yüksek verimde çalıştığı ayrıca kararlı duruma ulaştığında güçteki dalgalanmanın neredeyse sıfır olduğu görülmüştür (Chaeib & Salky, 2015).

Yishuang ve diğ. değişken güneş ışınımı şartları altında Doğal Seleksiyon ve PSO'yu birleştirerek geleneksel PSO yöntemi ile MPPT karşılaştırmasını Matlab/Simulink ortamında yapmışlardır. Yapılan çalışmada Doğal Seleksiyonla beraber kullanılan PSO'nun geleneksel PSO'ya göre MPPT'ye daha kısa sürede daha çok yakınsadığı ve daha başarılı sonuç verdiği görülmüştür. Aynı çalışmada bu durumun sadece değişken güneş ışınımında değil sabit güneş ışınımı şartlarında benzer sonuç verdiği bahsedilmiştir (Hu, Lu, Deng & Zhang, 2015).

Gupta ve Saxena P&O, INC ve Oransal Açık Devre Gerilimi olmak üzere üç MPPT algoritmasının karşılaştırmalı analizini yapmıştır. P&O ve INC'de akım ve gerilim değerlerine bakılırken Oransal Açık Devre Gerilimi'nde sadece gerilim değerine bakılmıştır. P&O ve Oransal Açık Devre Gerilimi uygulamasının daha basit olduğu ancak INC'nin ani değişim şartları altında bile maksimum noktayı daha verimli izlediği ve daha az salınım yaptığı tespit edilmiştir (Gupta & Saxena, 2016) .

Belghith ve diğ. sabit 25°C sıcaklığında güneş ışınımının 200, 400, 600, 800 ve 1000 W/m<sup>2</sup> değerleri için P&O, Takagi-Sugeno tipli Bulanık Mantık ve PSO algoritmalarının MPPT karşılaştırmasını yapmışlardır. Yapılan karşılaştırmada üç yöntemin verim ve ISE kriterlerine bakılmıştır. Elde edilen sonuçlarda PSO'nun en verimli çalıştığı ISE değerinin en düşük olduğu ve en yüksek verimde çalışan algoritma olduğu görülmüştür. PSO algoritmasının yakınsama hızı, yüksek hassasiyet gibi avantajlara sahip olduğu geleneksel yöntemlerle karşılaştırıldığında gerçek maksimum gücü doğru bir şekilde izleyebildiği tespit edilmiştir (Belghith, Sbita &

Bettaher, 2016) .

Chao ve diğ. Dağıtılmış PV sistemiyle ilişkili merkezi bir MPPT denetleyicisi tasarımı üzerine yaptıkları çalışmada çok değişkenli iki MPPT yöntemi; çok çekirdekli PSO ve en dik iniş algoritmasına bakılmıştır. Önerilen PSO algoritmasının amacı büyük bir PV sistemi birkaç küçük gruba bölmek, her grubu bir PSO çekirdeği tarafından kontrol edip toplam maksimum güç izleme süresini azaltmak amaçlanmıştır. Akü bataryalarına ve elektrik şebekesine bağlı çeşitli formatlarda ince film ve poli-Si PV panel tipleri incelenmiştir (Chao, Wang, Yang & Hsu, 2017).

Efendi ve diğ. Doğru Akım (DA) mikroşebeke sisteminde kısmi gölgelenmenin üstesinden gelmek için MPSO'nun Sepic dönüştürücü ile MPPT modellemesi ve simülasyonu yapmış ve bunu P&O algoritması ile karşılaştırmıştır. Yapılan çalışmada MPSO'nun verimi %95'in üzerinde iken P&O yönteminin verimi %47-%85 arasında kalmıştır. Her iki yöntemin de yakınsama süresi 0.5-0.1 arasında çıkmıştır (Efendi, Murdianto & Setiawan, 2017).

Yang ve diğ. PSO, Karışık Kurbağa Sıçrama Algoritması ve P&O algoritmasını bir arada kullanmışlar ve standart PSO yöntemi ile kısmi gölgelenme şartları altında MPPT karşılaştırılması yapılmıştır. Hibrit yöntemin sayısal simülasyon deneylerinde standart PSO yöntemi ile aynı parametre değerleri altında daha iyi performans gösterdiği belirtilmiştir (Yang, Duan, Zhong, Mao & Xun, 2017).

Anoop ve Nandakumar kısmi gölgeli koşullar altında PV sistemler için bir çevrim kontrolü ile birlikte PSO'ya dayanan MPPT sunmuştur. Çevrim kontrollü PSO ile geleneksel PSO karşılaştırılmıştır. Çevrim kontrollü PSO'nun geleneksel PSO'ya göre daha kısa sürede oturduğu ve daha hızlı çalıştığı , MPP'e daha iyi yakınsadığı görülmüştür (Anoop & Nandakumar, 2018).

Singh ve diğ. MPPT tekniklerinden P&O, geliştirilmiş P&O, YSA, bulanık mantık, INC, sabit gerilim, açık devre gerilimi, GA, PSO ve hibrit MPPT tekniklerini incelemiştir. INC, HC, bulanık mantık ve P&O PSIM ve Simulink yazılımında yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda en iyi MPPT tekniğini bulmanın zorluğundan bahsedilmiş olup akıllı teknikler uygulayan hibrit MPPT algoritmalarının geliştirilmesi gerekliliğinden bahsedilmiştir (Singh ve Gupta, 2018).

Choutapalli ve diğ. geleneksel MPPT yöntemlerinden P&O, INC, Kısmi Açık Devre Gerilimi ve Kısmi Kısa Devre Gerilimi'nin kısmi gölgeleme şartlarında lokal ve global noktaları bulmakta yaşadığı sorunlardan bahsetmiştir. Yapay zeka tabanlı; PSO, ABC, CS, ABA, ÇTA algoritmalarından bahsedilmiştir. Yapay zeka tabanlı

algoritmaların geleneksel yöntemlere göre çok daha iyi çalıştığı, PSO'nun bu algoritmaların temeli olduğu ve PSO'nun diğer algoritmalarla karşılaştırması yapılmıştır. Algoritmaların yetersiz kaldığı durumlarda PSO yöntemi ile beraber kullanılabilirdiğinden bahsedilmiştir (Choutapalli, Bharath & Kanakasabapathy, 2018).

Li ve diğ. kısmi gölgeleme şartları altında Geliştirilmiş Yapay Arı Algoritması Modified Artificial Bee Colony-MABC) türetilmiş, ABC, PSO ve P&O algoritmaları ile MPPT karşılaştırmasını yapmışlardır. Karşılaştırmada algoritmaların maksimum gücü izleme hızı ve verimleri dikkate alınmıştır. Modifiye edilmiş ABC yönteminin PSO ve ABC yöntemine göre takip hızının daha iyi olduğu, verim açısından diğer 3 yöntemden de başarılı sonuç verdiği görülmüştür (Li, Mingxuan, Yihao, Lichuang, Lin & Qianjin, 2019).

Pant ve Saini standart test koşulları, ani değişen güneş ışınımı ve kısmi gölgeleme şartları altında P&O, PSO ve CS'nin MPPT karşılaştırmasını yapmışlardır. Sabit güneş ışınımında 3 yöntemin de verimliliği birbirine yakın olsa da P&O yöntemi diğer yöntemlerden daha hızlı güç takibi yaptığı için diğerlerinden daha üstündür. Kısmi gölgeleme şartları altında P&O yöntemi yerel maksimum noktaya yakalandığı için CS ve PSO yöntemi daha iyi sonuçlar vermiştir. Hızla değişen güneş ışınımı şartlarında ise CS yönteminin diğer 2 algoritmadan daha üstün olduğu görülmüştür (Pant & Saini, 2019).

Kırcioğlu ve diğ. düzgün olmayan güneş ışınımı ve kısmi gölgeleme şartları altında PSO'nun MPPT özelliğine bakmışlardır. PSO yönteminin PV sisteminin çıkışının gücünü artırabildiği mevcut algoritmalara göre daha düşük güç dalgalanması yaptığından bahsedilmiştir. Hem simülasyon hem de deneysel sonuçlar, PSO tabanlı - Global Maksimum Güç Noktası Takibi (Global Maksimum Power Point Tracking-GMPPT) algoritmasının etkinliğini doğrulamıştır (Kırcioğlu, Ünlü & Çamur, 2019).

Liu ve diğ. kısmi gölgeleme şartları altında sırasıyla gerilim penceresi arama algoritması, PSO ve P&O yöntemlerini kullanan geliştirilmiş PSO yöntemi önermişler ve geleneksel PSO ile karşılaştırmasını yapmışlardır. Yapılan karşılaştırmada geliştirilmiş PSO yöntemi 0.07 sn gibi kısa bir sürede MPPT noktasına ulaşırken klasik PSO yöntemi 0.5 sn de ulaşmıştır. Geliştirilmiş PSO yönteminin daha kararlı olduğu sonucu verilmiştir (Liu, Zhu, Tao, Wang & Blaabjerg, 2019).

Andrade ve diğ. kısmi gölgeleme şartları altında 4 farklı durumda doğrusal ve üssel varyasyonlu PSO için  $k_{max}=10$  ve  $k_{max}=18$  olacak şekilde 4 farklı algoritma, P&O ve PSO'nun beraber kullanıldığı DPSO ve PSO için 2 farklı algoritma toplamda 6

farklı algoritma için karşılaştırılması yapılmıştır. 1. 2. ve 3. durumda en verimli çalışan algoritmanın PSO daha sonra DPSO olduğu ve PSO'nun diğer 4 durumdan çok daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. PSO'nun 4. durumda yerel maksimuma takıldığı global maksimum değere ulaşmadığı bu yüzden de diğer 4 durumun daha iyi sonuç verdiği görülmüştür. Genel olarak durum değerlendirmesi yapıldığında en iyi sonucu PSO'nun verdiği sonucuna varılmıştır (Andrade, Vicente, Tofoli & Eduardo, 2019).

Motamari ve Nagu kısmi gölgeleme şartları altında PSO ve Levy uçuş hızına dayalı VPSO-LF önermişler, PSO ve HC ile karşılaştırmışlardır. VPSO-LF yöntemi yüksek hız, düşük izleme süresi ve daha düşük iterasyon sayısı ve hız parametrelerinin ayarlanmasına ihtiyaç duymadan işlemlerini yapabilmıştır. VPSO-LF yöntemi geleneksel PSO ve HC yöntemlerinden göre daha yüksek verimle çalışmış daha kararlı sonuç vermiş, çıkış gücündeki dalgalanmayı azaltmış ve herhangi bir PV dizisinde global maksimum değeri bulabilmiştir (Motamarri & Nagu, 2019).

Li ve diğ. PV hücrelerinin karakteristik bir direncini tanımlamış, yük direnci hücre modeli modeli ve PV sisteminin topolojisi arasındaki ilişkileri gösteren MPPT yöntemini sunmuştur. Yapılan çalışmada MPPT hızında P&O'ya göre yaklaşık %82.176 iyileşme olduğu ve MPPT doğruluğunun yaklaşık %1,876 iyileşme gösterdiği tespit edilmiştir (Li, Ping, Liu, Ma & Li, 2020).

Faye ve diğ. yumuşak hesaplama ile ANFIS ve PSO'nun MPPT karşılaştırması yapmışlardır. Yapılan Matlab/Simulink çalışmasında ANFIS yönteminin değişken güneş ışınımı ve sıcaklık değerlerinde daha kısa sürede MPPT değerine daha iyi yakınsadığı bu yüzden de PSO'ya göre daha sağlam olduğu görülmüştür (Ndiaye, Ndiaye & Faye, 2020).

Zou ve diğ. kısmi gölgeli koşullar altında diferansiyel düzlük kontrol teorisi ile bulanık mantığı birlikte kullanarak MPPT yapmış ve PSO algoritması ile karşılaştırması yapılmıştır. Yapılan çalışmada PV çıkış gerilimi diferansiyel düzlük kontrolünde doğrusal olarak artırılıp MPP bulunduktan sonra bulanık mantık ile çıkış gerilimi stabilize edilmiştir. Yapılan yöntemin PSO algoritmasına göre GMMP'yi daha hızlı bulduğu, daha verimli ve kararlı olduğu görülmüştür (Zou, Yan, Wang & Zhang, 2020).

Kariem ve diğ. PV enerjiyle beslenen elektrikli araçların güneş enerjisinin değişimi sorunu ve bunun şehir içindeki araç üzerindeki verimliliği üzerindeki etkisini ele almışlardır. Güneş enerjisinden maksimum gücü elde edebilmek adına Matlab/Simulink'te PSO algoritması ve INC yöntemlerinin karşılaştırması yapılmıştır.

Birçok gölge bölgesi olan ve aracın güneşli ve gölgeli yeri hızla geçtiği bölgelerde sürülen elektrikli araçlarda maksimum güce ulaşmanın büyük bir zorluk olduğu, PSO-MPPT yönteminin INC-MPPT yöntemine göre daha verimli çalıştığı tespit edilmiştir ( Kariem, Touti & Fetouh, 2020).

Neethu ve Senthilkumar CUK dönüştürü aracılığıyla yüke bağlı PV panelin kısmi gölgeli şartlar altında PSO ve Diferansiyel Evrim Algoritmalarının MPPT karşılaştırılmasını yapmışlardır. Yapılan çalışmada Diferansiyel Evrim algoritmasının daha az sayıda iterasyonla daha kısa sürede MPP'e yakınsadığı, maksimum güç değerinin PSO'ya göre 2 kat daha iyi olduğu görülmüştür (Neethu & Senthilkumar, 2020).

Rezk ve diğ. kısmi gölgeli şartlar altında PV panelin MPPT'sini PSO ve INC yöntemleriyle yapmışlardır. 2 farklı kısmi gölgeleme ile yapılan çalışmada PSO yönteminin INC' göre sırasıyla %10.62 ve %24.7 daha verimli olduğu tespit edilmiştir (Rezk, Mera & Tolba, 2020).

Loukil ve diğ. INC ile Bulanık Mantığı beraber kullanarak oluşturdukları hibrit yöntemi klasik algoritma ile MPPT karşılaştırması yapmışlardır. Hibrit yöntem klasik algoritmaya göre daha hızlı, daha kararlı ve daha verimli olduğu görülmüştür. Yapılan çalışmada FPGA'da uygulanan hibrit yöntemin klasik yazılım işlemcileri(Arduino-Uno, Arduino-Mega, Nios (Stratiks III), Arduino-Due (Arm)'ne göre 300 kat daha hızlı olduğu ve 4400'den fazla kanalı kontrol edebildiği tespit edilmiştir. Kullanılan hibrit yöntemin dezavantajının daha karmaşık olduğundan bahsedilmiştir (Loukil, Abbes, Abid, Abid & Toumi, 2020).

Prabhu ve diğ. kısmi gölgeleme şartları altında yaptıkları MPPT çalışmasında tavuk sürüsü optimizasyonu ve P&O algoritmasını beraber kullanarak hibrit yöntem üzerinde çalışmışlardır. Önerilen hibrit yöntem 3S ve 3S2P konfigürasyonlarında deneysel olarak yapılmıştır. Deneysel kurulum 11 Güneş Paneli Simulatörü (Solar Array Simulator-SAS) ile yapılmıştır. Yapılan hibrit yönteminde daha yüksek izleme hızı ve global tepe değerine daha hızlı yakınsamalar gösterdiği görülmüştür (Prabhu, Muruganantham, Pavithran & Kumar, 2020).

Ahmed ve diğ. kısmi gölgeleme şartları altında PSO ve Sliding Mode Control (SMC) yöntemlerini bir arada kullanarak hibrit yöntem ile MPPT çalışması yapmışlardır. Yapılan hibrit yöntem, Backstepping Control ve SMC'yi P&O ve INC ile birleştirilerek toplamda 4 yöntem ile karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemin diğer yöntemlerden çok daha kısa sürede GMPP'i bulduğu ve yaklaşık 63ms'de GMPP

bulmuştur. Ayrıca diğer 4 yöntemin (P&O-SMC, P&O-BSC, INC-SMC, INC-BSC) GMPP'yi ayırt edemediği ancak PSO-SMC yönteminin ayırt edebildiği, daha doğru ve daha hızlı sonuç verdiği görülmüştür (Ahmed, Cherkaoui & Mokhlis, 2020).

Mirza ve diğ. sabit ışınım, kısmi gölgeleme ve karmaşık gölgeleme şartları altında Salp Sürüsü Optimizasyonu, ABC, PSO, PSO-yerçekimsel arama, Yusufçuk Optimizasyonu, CS ve geleneksel yöntem olan P&O algoritmasının MPPT karşılaştırmasını yapmışlardır. Salp Sürüsü Optimizasyonu tekniğinin diğer yöntemlere göre analitik analiz, istatistiksel veriler, izleme süresi, güç dönüştürme verimliliği ve sağlamlık açısından daha iyi sonuç verdiği görülmüştür (Mirza, Mansoor, Ling, Yin & Javed, 2020).

Iqbal ve diğ. kısmi gölgeleme şartları altında PSO'nun  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  ve  $w$  katsayılarını farklı değerleri ile PSO-TVAC, PSO-TVIW, PSO-DIW ve standart PSO olmak üzere 4 farklı yöntemin incelemesini yapmışlardır. Yapılan incelemede farklı kısmi gölgeleme şartları altında en iyi sonuç veren yöntemin farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. Bazı durumlarda PSO-DIW'in geleneksel PSO'dan iyi sonuç vermesine rağmen PSO'nun standart durumunun çoğu durumda diğerlerine kıyasla daha az iterasyonla en iyi uygunluğa yaklaşabildiğinden en iyi performansa sahip olduğu görülmektedir (Iqbal, Ahmed, Pervez, Malick, Sarwar & Tariq, 2020).

Hayder ve diğ. güneş ışınımının ani değişimi ve kısmi gölgeleme şartları altında geliştirilmiş PSO gerilim, akım ve güç gibi çeşitli sistem yanıtları göz önünde bulundurularak çeşitli simülasyon ortamlarında test etmişlerdir. Önerilen yöntem güneş ışınımının ani değişimi şartlarında YSA-PSO ve PSO-P&O, kısmi gölgeleme şartlarında GA ve standart PSO yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemin iki durumda da diğer yöntemlerden daha verimli çalıştığı minimum parçacık sayısında bile %99 verimle çalıştığından bahsedilmiştir (Hayder, Ogliairi, Dolara, Abid, Hamed & Sbata, 2020).

Xu ve Cheng sabit güneş ışınımında ve kısmi gölgeleme koşulları altında yaptıkları çalışmada parçacıkların başlangıç konumunu rastgele bir değerde değil belirli bir değerde tutarak sistemin ilk değerini global maksimumda ya da kısmi gölgeleme koşullarında çeşitli tepe değerlerinde tutarak PSO'nun yakınsama hızını artırmayı amaçlamışlardır. Geliştirilmiş PSO yöntemini INC ve standart PSO ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada önerilen yöntemin INC'ye göre yaklaşık %4,45, geleneksel PSO'ya göre yaklaşık %2.29 daha verimli çalıştığı görülmüştür (Xu, Xia, Cheng & Shen, 2020).

Rani ve diğ. kısmi gölgeleme şartları altında P&O yönteminin Yükselten Dönüştürücü ile MPPT çalışması yapmışlardır. Sistemin analizi matematiksel olarak kanıtlanmış doğrulamak için 1kW için Matlab/Simulink yazılımı kullanılarak modellenmiştir (Rani, Dash & Dwibedi, 2020).

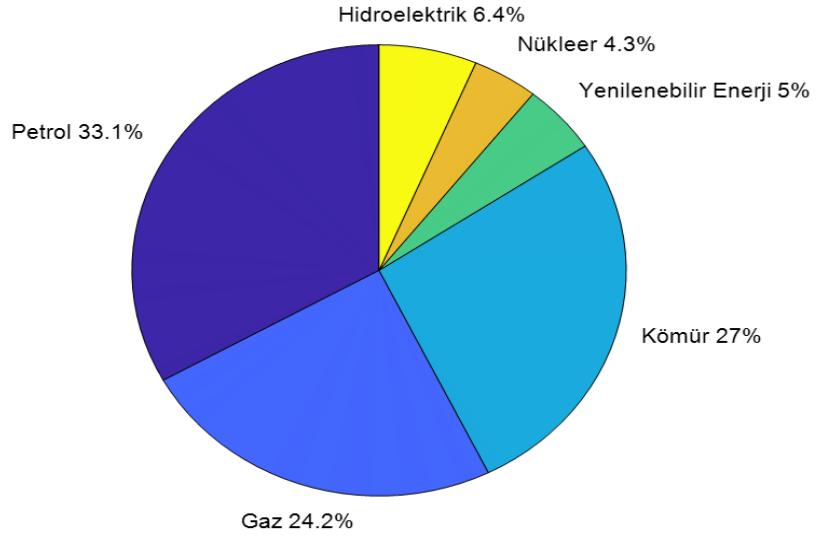
Sai ve diğ. kısmi gölgeleme şartları altında güneş ışınımı ve sıcaklığa göre global maksimumu arayan ve buna göre ilk Duty Cycle değerini ayarlayan bir P&O yöntemi önermişlerdir. Önerilen yöntemi CS ve PSO ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmada PSO ve CS yöntemlerinin önerilen P&O ya göre daha karmaşık olduğu, büyük hesaplama yükü nedeniyle bu tür algoritmaların kısmi gölgeleme koşulları için sınırlamalar olduğundan bahsedilmiştir. P&O yönteminin oturma zamanı, karmaşık azlığı, hızlı izleme özelliği ve donanımsal uygulamasının daha basit olduğundan bahsedilmiştir (Sai, Khadtare & Chatterjee, 2020).

Gümüş ve Demirtaş kısmi gölgeleme koşulları altında P&O, PSO ve CS algoritmalarının Matlab/Simulink ortamında MPPT karşılaştırmalarını yapmışlardır. Her algoritma birbirine seri bağlı 4 PV panel ve DA-DA yükselten güç dönüştürücü ile üç farklı kısmi gölgeleme konfigurasyonunda çalıştırılmıştır. 3 gölgeleme konfigurasyonunda da P&O algoritmasının yerel maksimum noktasından kurtulamadığı global maksimum değere ulaşamadığı görülmüştür. PSO ve CS algoritmaları kıyaslandığında ise CS algoritmasının PSO'ya göre daha hızlı bir şekilde global maksimum noktaya ulaştığı görülmüştür (Gümüş ve Demirtaş, 2020).

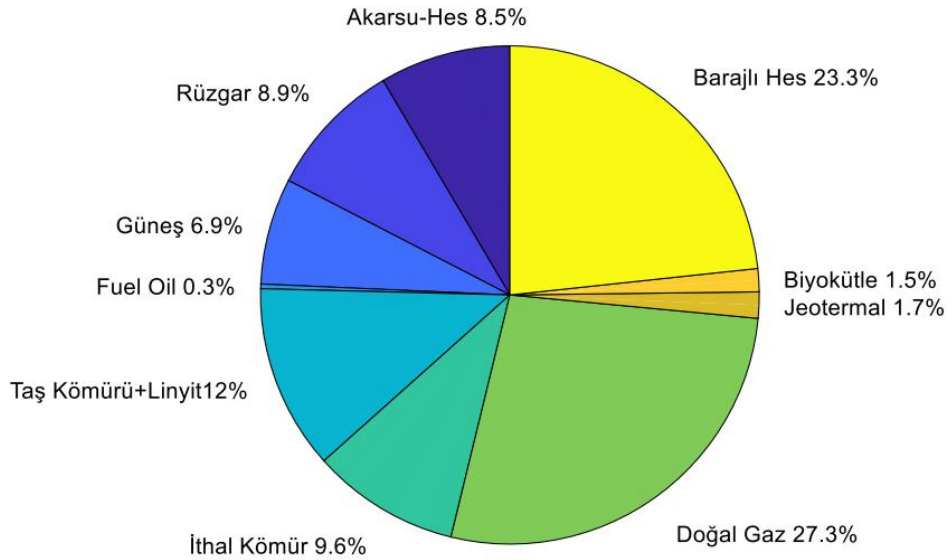
Liu ve diğ. 500 W'lık PV panel sistemini kısmi gölgeleme şartları altında standart PSO ile geliştirilmiş PSO karşılaştırmışlardır. Geliştirilmiş PSO'da  $w$ ,  $c_1$  ve  $c_2$  değerlerini değişken olarak ve başlangıç değerleri  $V_{max}$  değerini  $V_{oc}$  değerinin %80'i olacak şekilde ayarlanmıştır. Geliştirilmiş PSO'nun 27 iterasyondan daha az sayıda iterasyonda ortalama verimliliği %99.9 çıkmıştır ve sabit değeri olan standart PSO'dan daha başarılı sonuç vermiştir (Zhao, Cheng, Yan, Zhang, Zhang, Zhang & Lai, 2020).

### 3. GÜNEŞ ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ

Dünyada ihtiyaç duyulan enerjinin %88,6'ı fosil yakıtlardan ve nükleer enerji tarafından karşılanmaktadır. Ancak, günümüzde fosil yakıtların kullanımından dolayı atmosferde meydana gelen zararlı gaz miktarı büyük artış göstermiş, fosil yakıtların meydana getirdiği zararlardan ve zaman içerisinde tükenen olmasından dolayı bilim adamları daha çevreci olması ve kaynaklarının tükenme durumu gibi bir sıkıntı göstermemesinden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir.



Şekil 3.1. Dünyada 2019 yılı Enerji Tüketimi



Şekil 3.2. 2020 için Türkiye Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü

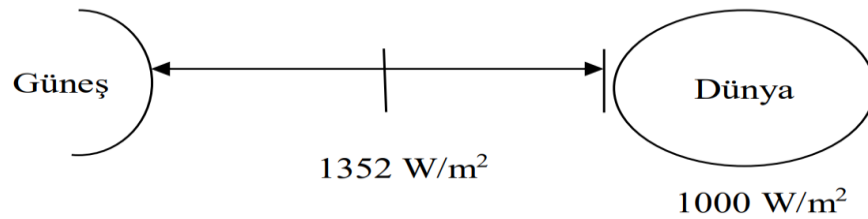
Dünyada 2019 yılı için Enerji tüketimi Şekil 3.1'de verilmiştir (BP, 2020). Aynı zamanda Türkiye'nin 2020 yılı için kurulu gücü Şekil 3.2'de verilmiştir (EMO, 2020).

Görüldüğü gibi, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin son yıllarda elektrik üretimi artarak devam etmektedir.

### 3.1. Fotovoltaik Hücre Yapısı ve Enerji Dönüşümü

#### 3.1.1. Fotovoltaik Etki

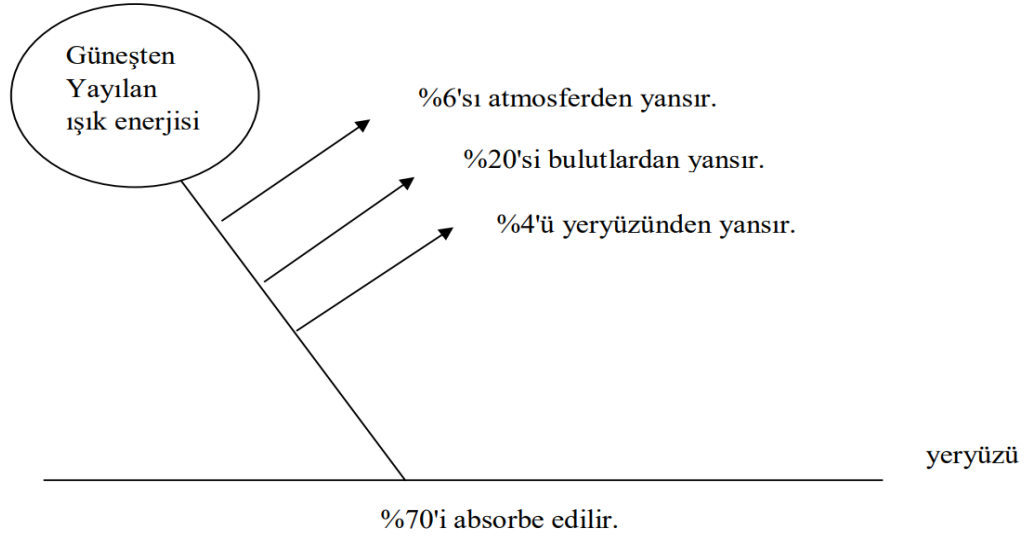
Fotovoltaik etki ilk olarak 1839 yılında Fransız fizikçi Alexandre Edmond Becquerel tarafından keşfedilmiş olmasına rağmen, teknolojinin gelişmesiyle birlikte 1950 yılında yarıiletken fotovoltaik hücre gerçekleştirilmiştir. Temel olarak güneşin içinde hidrojenin helyuma dönüştüğü füzyon reaksiyonları gerçekleşmekte ve oluşan kütle farkı, ısı enerjisine dönüşerek uzaya yayılmaktadır. Fotovoltaik sistemlerin temeli, güneşten dünyaya gelen fotonların güneş panelleri sayesinde toplanması ile fotonların taşıdığı enerjinin elektrik ve ısı enerjisine çevrilmesi ilkesine dayanır. Fotovoltaik olayı foton enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesidir (Uzunoğlu ve Erdinç, 2013).



Şekil 3.3. Güneş Enerjisinin Dünyaya Gelişi

Güneşten  $1352\text{W/m}^2$  olarak çıkan güneş ışınımı dünyaya ulaştığında  $1000\text{W/m}^2$  olur. Dünya yüzeyinde cisimlere ulaşan güneş ışınımı ise  $0-1000\text{W/m}^2$  aralığında bir değere sahiptir (Şekil 3.3).

Güneş ışınlarının bir kısmı dünya yüzeyine ulaşır, bir kısmı ise kayıp olarak uzaya geri yansır. Ayrıca, atmosferdeki bazı gazlar ve su buharının, foton enerjisinin bir kısmını emmesi, güneş ışınlarının zenit açısı olarak bilinen yansıtma açısı ve güneş ışınlarının bazı yansımaları ve saçılmaları nedeniyle toplamda %30'luk bir kayıp meydana gelir. Sonuç olarak yeryüzü tarafından emilebilen foton (ışık) enerjisi ise yaklaşık %70 olacaktır (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Güneş Enerjisinin Dünya Yüzeyine Gelme Durumu Kayıpları

Güneş ışınımı olarak da bilinen yeryüzünün PV enerji yoğunluğu  $P_{ir}$ , eşitlik 3.1'de Atwater ve Ball tarafından modellenmiştir.

$$P_{ir} = P_0 \cdot \cos \theta \cdot (\alpha_{dt} - \beta_{wa}) \cdot \alpha_p \quad (3.1)$$

$P_{ir}$  = Yerküre yüzeyindeki solar güç yoğunluğu ( $\text{kW/m}^2$ )

$P_0$  = Uzaydaki güç yoğunluğu ( $1351 \text{ W/m}^2$ )

$\theta$  = Zenit açısı

$\alpha_{dt}$  = Gazlar tarafından emilmeyen, yansıyan enerjinin bir bölümü olan su buharı dışındaki gazların doğrudan geçirgenliği

$\alpha_p$  = Aerosol'ün geçirgenliği

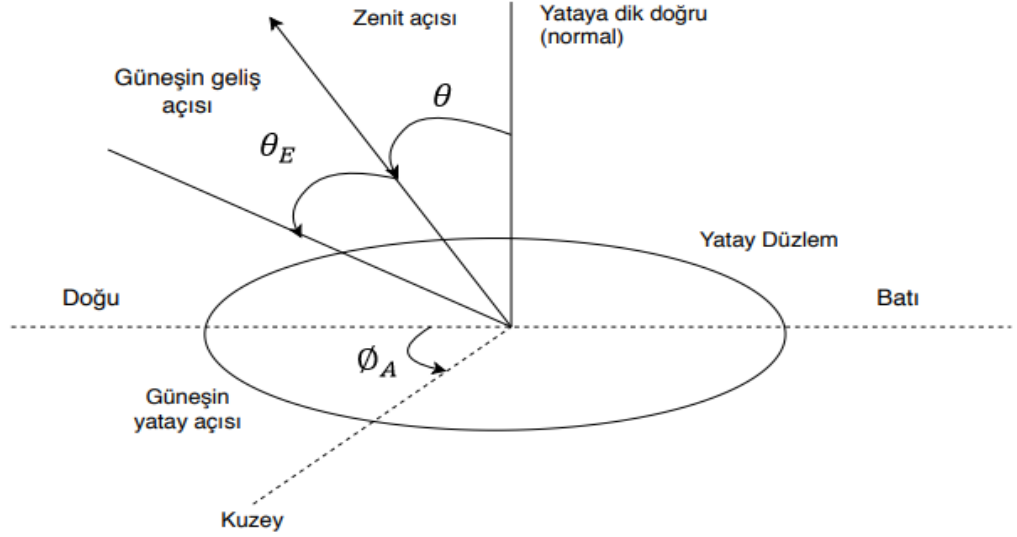
$\beta_{wa}$  = Su buharının ışınımı emme katsayısı

Aerosol: Yerkürenin atmosferinde sülfat, nitrat, amonyum klorür ve siyah karbon gibi havada asılı bulunan atmosferik parçacıklardır. Boyutları  $10^{-3}$  ile  $10^3 \mu\text{m}$  arasındadır.

$\eta_s$  = Güneş ışınımının verimi

$$\eta_0 = \frac{P_{ir}}{P_0} = \cos \theta \cdot (\alpha_{dt} - \beta_{wa}) \alpha_p \quad (3.2)$$

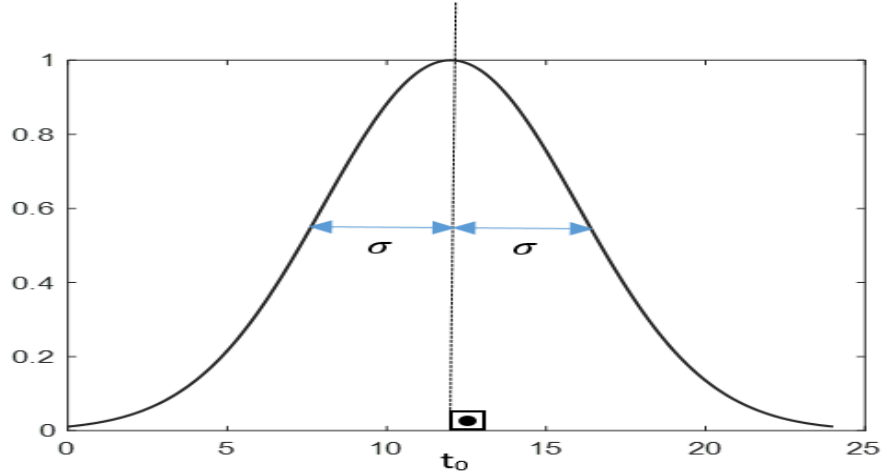
Güneş enerjisi verimliliği bir bölgeden diğerine %5 ile %70 arasında değişir. Güneş enerjisi verimliliği aynı zamanda mevsimin ve günün zamanının da bir fonksiyonudur. Maksimum verim, ekvator da öğle zamanı güneş ile yüzey arasında bir engel olmaması durumunda  $\theta=0^\circ$ 'de oluşmaktadır.



Şekil 3.5. Güneş Enerjisinin Dünyaya Gelme Durumu Faktörleri

Ekvatorunda tropik iklimde öğle zamanı  $\theta=0$ 'da maksimum verimde dünya yüzeyindeki güç yoğunluğu  $1000\text{W}/\text{m}^2$  kabul edilir. Güç yoğunlukları, “Güneş Enerji Potansiyel Atlası (GEPA)” adı altında Türkiye için Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü web sayfasında bulunmaktadır.

Kararlı hava şartlarında güneşin güç yoğunluğu normal dağılım (Gauss Dağılımı) fonksiyonu ile ifade edilir.



Şekil 3.6. Güneşin Güç Yoğunluğu (Gauss Dağılımı)

$$P_{ir} = P_{max} e^{\frac{-(t-t_0)}{2\sigma^2}} \quad (3.3)$$

$t_0=12$ 'dir.

$t$ : 24 saatlik zaman dilimi

$P_{max}$ :  $t_0$  anındaki (ekvatorunda öğle zamanı) günün en yüksek güneş güç yoğunluğu

$\sigma$ : standart sapma

$t = 12 \pm \sigma$  durumunda  $\frac{P_{ir}}{P_{max}} = 0.607$  olur.

$\sigma$ 'nin büyük olması gün boyunca daha uzun zaman güneş enerjisi alındığını gösterir. Yüksek enlemlerde  $\sigma$  yaz mevsimindeki değerine göre kışın daha küçüktür. Bu durum kuzeye gidildikçe gün ışığının, kışın yazdan daha kısa olmasından kaynaklanır.

### 3.1.2. Fotovoltaik Yapı

Fotovoltaik malzemeler foton enerjisini elektrik enerjisine çeviren yarıiletken malzemelerdir. Fotovoltaik kelimesi Yunanca foto ve Alessandro Volta ile ilişkili volt kelimesinden oluşur. Bu dönüşümü ilk kez 1839'da Fransız fizikçi Edmond Becquerel keşfetmiştir (Uzunoğlu ve Erdiç, 2013).



Şekil 3.7. Güneş Enerjisinin Dönüşümü

Fotovoltaik etki, birbirinden farklı iki yarıiletken malzemenin ortak temas bölgesinin foton radyasyonu ile aydınlatılması durumunda bu iki malzeme arasında oluşan potansiyel fark olarak tanımlanır. Fotonların güneş piline çarpması ile elektronlar panel yüzeyine gelir. Bu durumda güneş panelinin üst ve alt katmanları arasında gerilim meydana gelir.

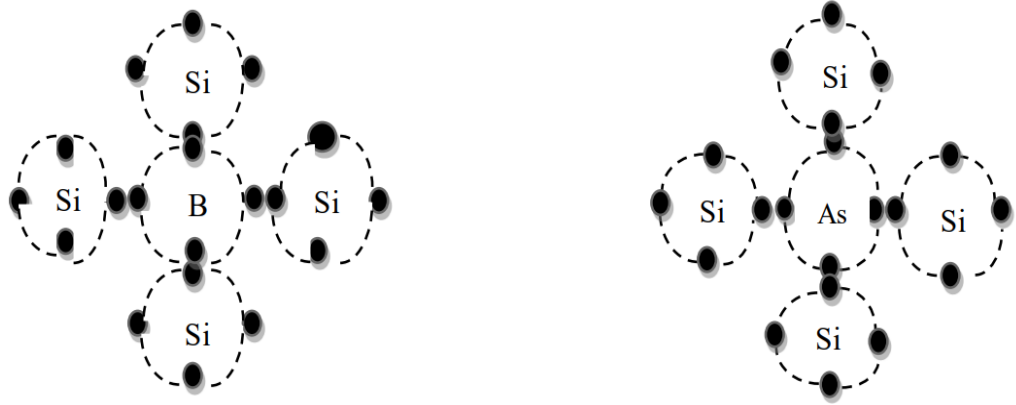
Temel olarak, bir fotovoltaik hücre 0,2-0,3 mm kalınlığında tek kristalli ya da çok kristalli bir silikon taban üzerinde iki katmandan oluşur. Bu katmanların elektriksel özelliklerinin değiştirilmesi için (p-n eklem oluşturmak için) doping işlemine tabi tutulur. Doping işleminde, p-tipi katman elde etmek için ilave delik (hole) katkısı sağlayacak Bor atomu (B) (atom no:5) kullanılır. n-tipi katman elde etmek için ise ilave elektron katkısı sağlayacak Arsenik atomu (As) (atom no:33) kullanılır.

Bor'un son enerji yörüngesinde  $3 e^-$  (elektron), Arsenik'in son yörüngesinde  $5 e^-$  bulunur. Arsenik yerine fosfor atomu da (atom no:15) (en dış yörüngede  $5 e^-$ ) kullanılabilir.

n-tipi katkı maddesi olarak 5. grup (dış yörüngede  $5 e^-$ ) elementler kullanılır. Bu elementler “verici” adını alır ve Fosfor atomu bu gruptadır.

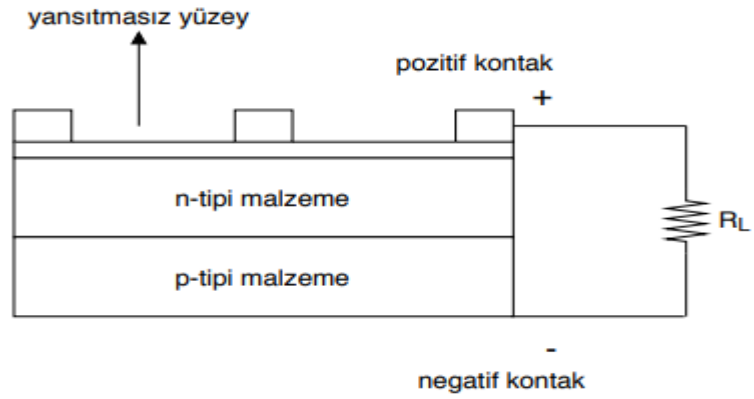
p-tipi katkı maddesi olarak 3. grup (dış yörüngesinde  $3 e^-$ ) elementler kullanılır.

Bu durumda kristal yapıda  $1e^-$  boşluğu (hole) oluşur. Bu elementler “alıcı” adını alır ve alüminyum, indiyum, bor bu gruptandır.

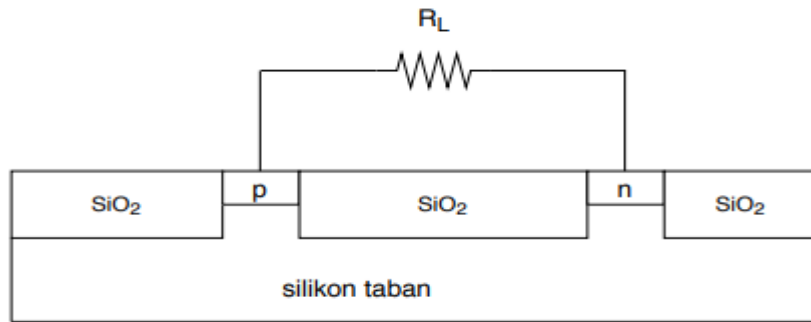


Şekil 3.8. p-tipi doping (soldaki) ve n-tipi doping (sağdaki)

Doping işlemi sonucunda silikon kristal yapı içinde bir “p-n eklemi” oluşturulur.



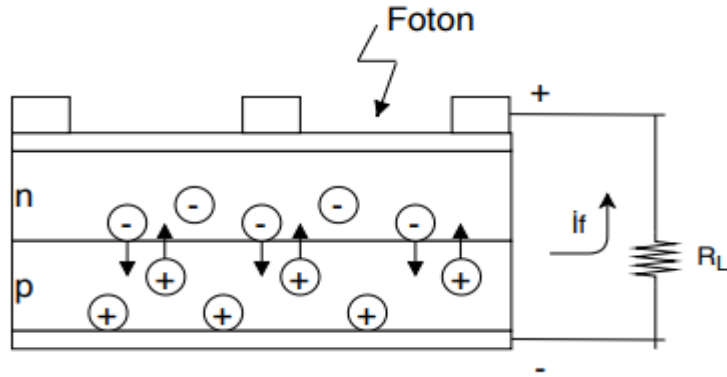
Şekil 3.9. p-n Eklemine Oluşması



Şekil 3.10. p-n Eklemine Silikon Taban ile Gösterimi

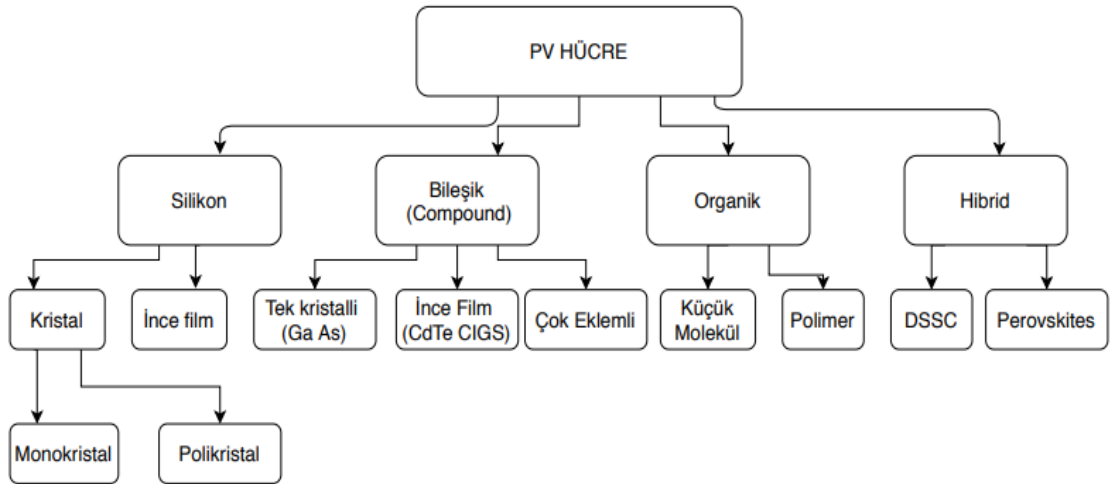
p-tipi ve n-tipi malzemelerin yalıtımı için  $SiO_2$  kullanılır.  $SiO_2$ , p-n eklem arasında  $e^-$  geçişini sağlamak için zayıf dielektrik yapıdadır. Işığın p-n eklem tarafından absorbe edilmesi için foton enerjisi malzemenin elektron yapısına aktarılır

ve eklem bölgesinde ayrışan yük taşıyıcıların oluşmasına neden olur. Eklem bölgesindeki elektron yük taşıyıcıları bir potansiyel fark oluşturur ve harici bir devre üzerinden akım akmasını sağlar. Devre üzerinde  $I_f^2 \cdot R_L$  ile elektrik enerjisine dönüşen güç elde edilir. Geriye kalan ve elektrik enerjisine dönüşmeyen foton enerjisi PV hücrenin sıcaklığını artırır.



Şekil 3.11. PV Hücrenin Yapısı

### 3.1.3. Fotovoltaik Hücrenin Sınıflandırılması



Şekil 3.12. Fotovoltaik Hücrenin Sınıflandırılması

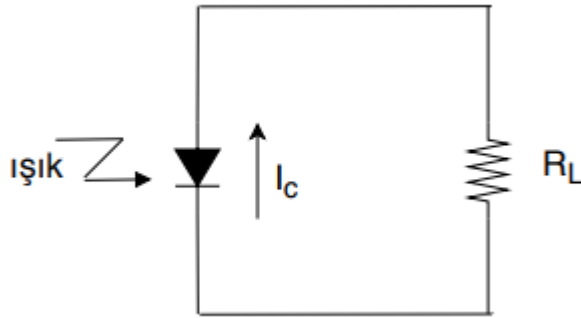
Güneş pili yapımında taban olarak en çok silisyum, GadyumArsenid (GaAs) ve KadmiyumTellür (CdTe) kullanılır. Silisyumun dış yörüngesinde  $4e^-$  vardır.

PV hücrelerde Silikon yapıları paneller piyasada en çok kullanılan güneş panelleridir. Bu panellerde silikonun saflığı verimlilik açısından son derece önemlidir. Bu konuda ise monokristal paneller verimli iken, polikristal panellerin ise saflık derecesi oranı düşüktür.

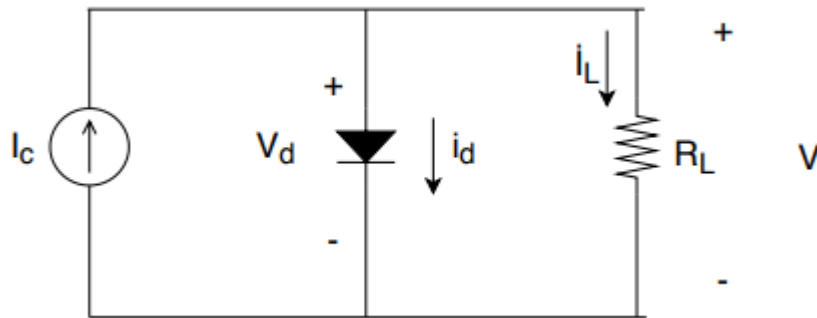
Monokristal, panel çeşitleri arasındaki en verimli güneş enerjisi panelidir. Monokristal güneş hücrelerin verimlilik oranı ortalama %24 civarındadır. Maliyetleri ise diğer güneş panellerine göre daha fazladır. Polikristal piyasalarda düşük maliyetinden dolayı en çok tercih edilen olsa da verimliliği en düşük güneş panellerinden biridir ve verimi %14-19 arasındadır (Gözde, 2018).

### 3.1.4. Fotovoltaik Hücre Modeli

Fotovoltaik hücrede enerji kazanımı foton emilimi ile oluşur. Hücre akımı n-ekleminden p-eklemine doğru olur. Bu şekilde bir PV hücre diyot ile gösterilir (Şekil 3.13).  $I_c$  akımı fotovoltaik hücrenin ürettiği akım olup aldığı güneş ışınımı ile doğru orantılı olarak artar ve fotovoltaik hücre ışık ile uyarıldığı zaman da bir diyot gibi davranır. İdeal durumlar göz önüne alındığında bir diyot ve ona paralel bağlı akım kaynağı ile gösterilmektedir (Şekil 3.14). Buna bağlı eşitlik 3.4 ve 3.5’de verilmektedir.



Şekil 3.13. PV Hücresinin Gösterimi



Şekil 3.14. PV Hücresinin Diyot ve Akım Kaynağı ile Gösterimi

$$i_L = I_c - i_d \quad (3.4)$$

$$i_L = I_c - I_0 \left( e^{\frac{V_d}{A k T / q}} - 1 \right) - \frac{(V + I R_S)}{R_{SH}} \quad (3.5)$$

$I_c$ : Işık aldığı anda diyotun ters polarlama akımıdır. Bu nedenle PV hücre bir akım

kaynağı ve bir diyot ile modellenebilir. Foton enerjisi ile doğru orantılıdır.

$I_0$ : Diyotun ters doyma akımı

$V_d$ : Diyotun üzerindeki gerilim düşümü

$k$ : Boltzman sabiti. ( $1,381 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}^\circ$ )

$T$ : PV hücrenin işletme sıcaklığı ( $\text{K}^\circ$ )

$q$ :  $1e^-$  yükü ( $1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ )

$A$ : ideallik faktörü

Tam difüzyonlu yayılım durumunda  $A=1$ , yeniden kazanım varsa  $A=2$ 'dir.

Kelvin = Derece + 273,15

25°C için;

$$V_T = \frac{kT}{q} = \frac{1,381 \cdot 10^{-23} \cdot (25 + 273,15)}{1,602 \cdot 10^{-19}} = 27,5 \text{ mV} \quad (3.6)$$

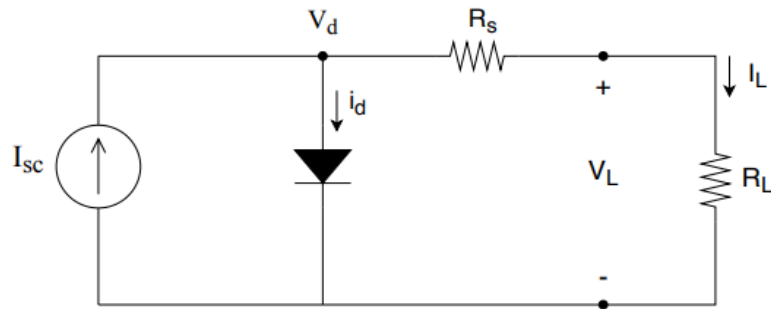
### 3.1.5. Pratikte PV Hücre Modeli

Gerçek durumda PV hücrenin iç dirençlerinin de modellenmesi gerekir. Bu modelde “elektrik kayıpları”, harici kablolar ve kollektör bağlantılarını temsil eden seri bir  $R_s$  direnci ile gösterilir ve değeri yaklaşık birkaç  $\text{m}\Omega$ 'dur.

$$V_d = V_L + R_s \cdot I_L$$

Fotovoltaik hücre  $R_s$ 'den dolayı %1'den daha küçük bir kayıp içerir.  $R_s$  direncinin değeri;

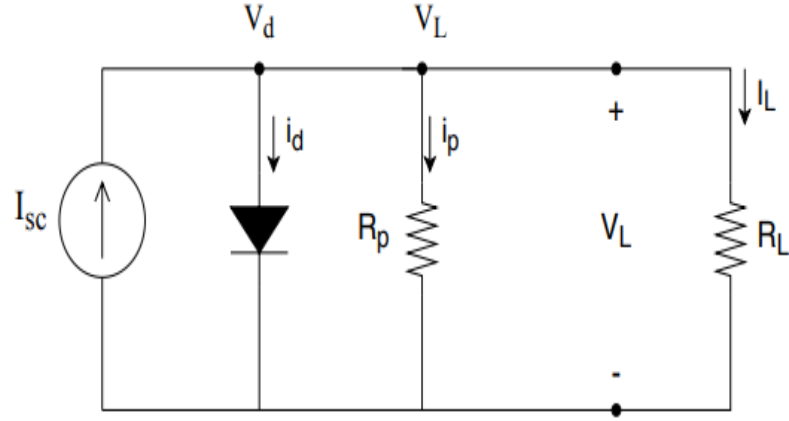
$$R_s > 0,01 \times \frac{V_{oc}}{I_{sc}} \text{ olmalıdır.} \quad (3.7)$$



Şekil 3.15. PV Hücreye Seri Bağlı Direnç ile Gösterimi

Seri  $R_s$  direnci arttıkça I-V eğrisinin eğimi artar. Bunun sebebi,  $I_L$  akımının artması ile birlikte  $R_s$  direnci üzerindeki gerilim düşümünün artmasıdır.

Kristal iç direnci ise  $R_p$  paralel direnci ile gösterilir. Değeri birkaç  $\text{k}\Omega$  kadardır.



Şekil 3.16. PV Hücreye Paralel Bağlı Direnç ile Gösterimi

$$i_L = (I_{sc} - i_d) - \frac{V_L}{R_p} \quad (3.8)$$

Şekilde verilen devrede yük üzerinden akan akım düğüm noktasına giren  $I_{sc}$  akımının düğüm noktasından çıkan  $i_d$  ve  $I_L$  akımlarının farkına eşittir. Fotovoltaik hücre, paralel  $R_p$  direncinden dolayı %1'den az bir kayıp yaşar ve  $R_p$  direncinin değeri;

$$R_p > 100 \times \frac{V_{oc}}{I_{sc}} \text{ olmalıdır.} \quad (3.9)$$

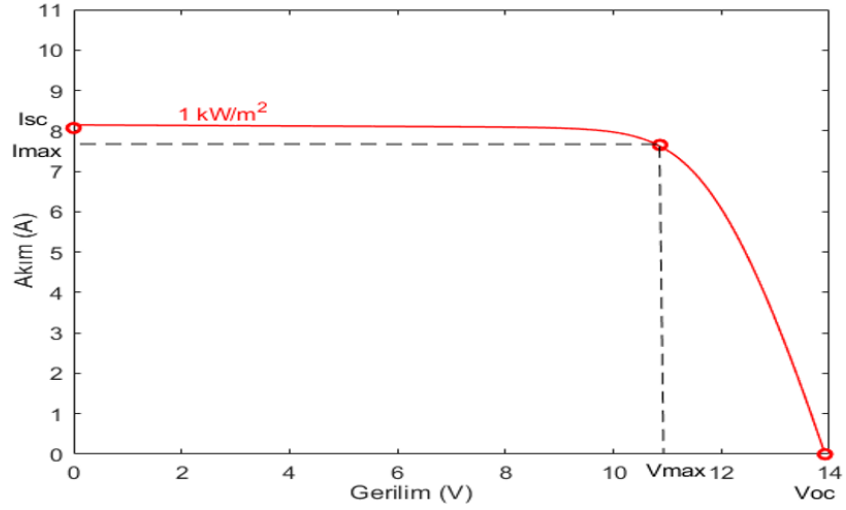
### 3.1.6. Doldurma Faktörü ve Maksimum Güç

Doldurma faktörü güneş modülünün kalitesini belirler. Doldurma faktörü, kısa devre akımı ve açık devre geriliminin çarpımının, maksimum gücüne bölümüne eşittir. Sistem tasarımında iyi bir modül seçimi için bu değer 0,7 veya daha büyük değerde bulunması gerekmektedir. Doldurma Faktörü, 1'e ne kadar yakın ise modülün kalitesi o kadar yüksektir. Doldurma Faktörü eşitliği 3.10'da verilmektedir.

$$FF = \frac{V_{max} \cdot I_{max}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (3.10)$$

Doldurma Faktörüne bağlı verim ise eşitlik 3.11'de verilmiştir.

$$\eta_s = \frac{P_{max}}{P_{in}} = \frac{FF \cdot V_{max} \cdot I_{max}}{A \cdot G_A} \quad (3.11)$$



Şekil 3.17. Güneş Işınımı Akım-Gerilim Grafiği

### 3.1.7. Standart Test Koşulu

Bir PV hücreyi ya da modülü test etmek için referans test şartları mevcuttur. Bunlar IEC60904 standartları altında,

- 1000W/m<sup>2</sup> Güneş ışınımı yoğunluğu
- 25°C hücre sıcaklığı
- 1,5 Air Mass (AM) hava kütesidir.

Ölçüm standartları ise;

IEC 61215: Kristalin silikon karasal (PV) fotovoltaik modüller-tasarım değerlendirilmesi ve tip kabul standardıdır.

IEC 61646: İnce filmlili düz alanlı fotovoltaik modüller-tasarım nitelikleri ve tip onay standardıdır.

IEC61730-1 ve 2: PV modül güvenlik niteliği, yapım özellikleri ve deney özellikleri standardıdır.

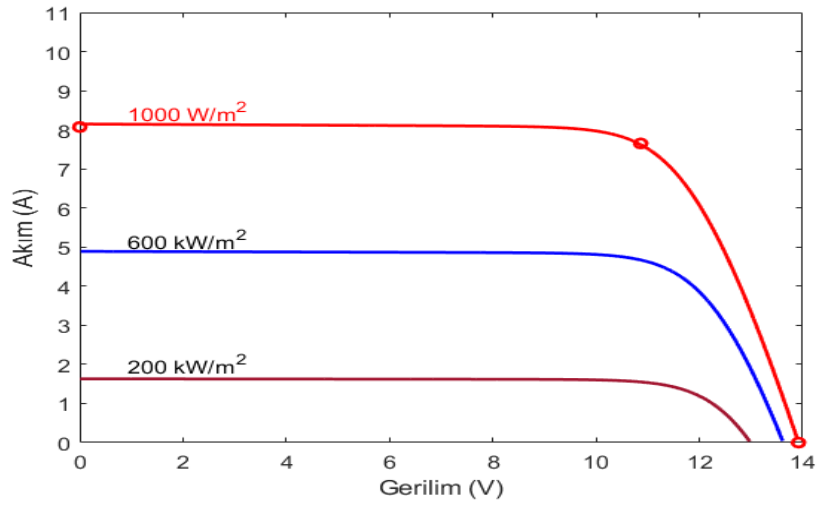
Bu şartlarda sertifikalanan modüllerin parametre değişim toleransı %10'u geçemez.

## 3.2. Fotovoltaik Hücreye Etki Eden Faktörler

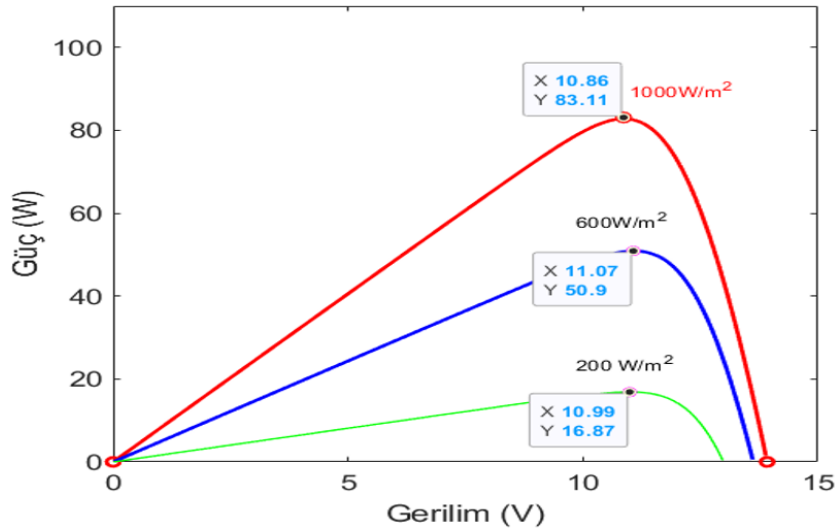
### 3.2.1. Güneş Işınımı

Tamamen açık havada herhangi bir bulutlanma ya da gölge etkisinin bulunmadığı ortamda fotonik akımın genliği maksimum olur. Bu maksimum değer ise 1000W/m<sup>2</sup>'dir. Kısmi güneşli ortamlarda ise foto-akım genliği güneş ışınımı ile doğru orantılı olarak değişim göstermektedir. Bu durumlarda panelin MPP'e karşılık gelen

$V_{max}$  değeri değişecek ve  $V_{oc}$  açık devre geriliminde ufakta olsa bir değişim meydana gelecektir.



Şekil 3.18. Farklı Güneş Işınımlarında Akım-Gerilim Eğrisi



Şekil 3.19. Farklı Güneş Işınımlarında Güç-Gerilim Eğrisi

Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'da yapılan çalışmada kullanılan panelin  $1000 W/m^2$ ,  $600 W/m^2$  ve  $200 W/m^2$  güneş ışınımı değerlerinde güç-gerilim ve akım-gerilim eğrileri verilmiştir. Eğrilerde  $1000 W/m^2$  değerinde  $V_{max}$  değeri  $10,86 V$ ,  $600 W/m^2$  değerinde  $V_{max}$  değeri  $11,07 V$ ,  $200 W/m^2$  değerinde  $V_{max}$  değeri  $10,99$  olduğu görülmektedir.  $V_{max}$  değeri her güneş ışınımı için farklı değerdedir. Güç dönüştürücülerin Duty Cycle değeri sabit bir değer olduğu zaman  $V_{max}$  değerinin de sabit olması gerekmektedir. Ancak güneş ışınımı sabit bir değer olmayacağından  $V_{max}$  değeri sabit değer olmayacaktır. Bu yüzden de Duty Cycle değerinin de değişmesi gerekmektedir.

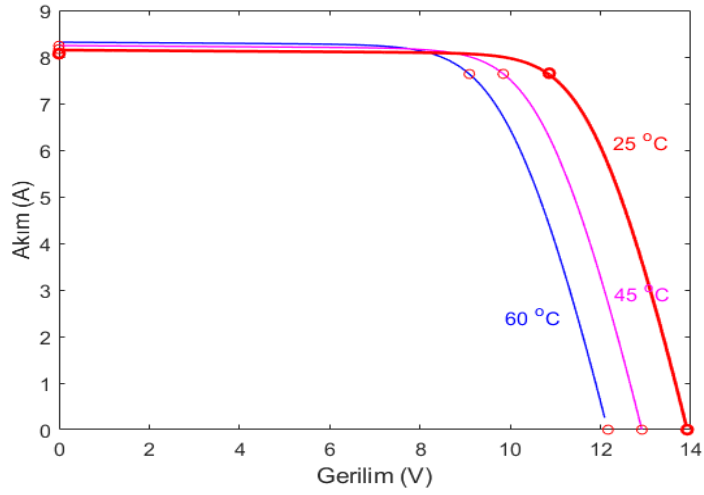
### 3.2.2. Sıcaklık

Sıcaklığın artması ile PV hücrenin kısa devre akımı artarken, açık devre gerilimi azalır.  $I_0$  ve  $V_0$  referans sıcaklıktaki kısa devre akımı ve açık devre gerilimi olarak alınır ve  $\alpha$  ve  $\beta$  ise akım ve gerilim sıcaklık katsayıları ise, işletme sıcaklığının  $\Delta T$  kadar artması durumunda yeni akım ve gerilim aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\frac{I_0+I}{I_0} = \alpha \cdot \Delta T \rightarrow I = I_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad (3.12)$$

$$\frac{V_0-V}{V_0} = \beta \cdot \Delta T \rightarrow V = V_0 \cdot (1 - \beta \cdot \Delta T) \quad (3.13)$$

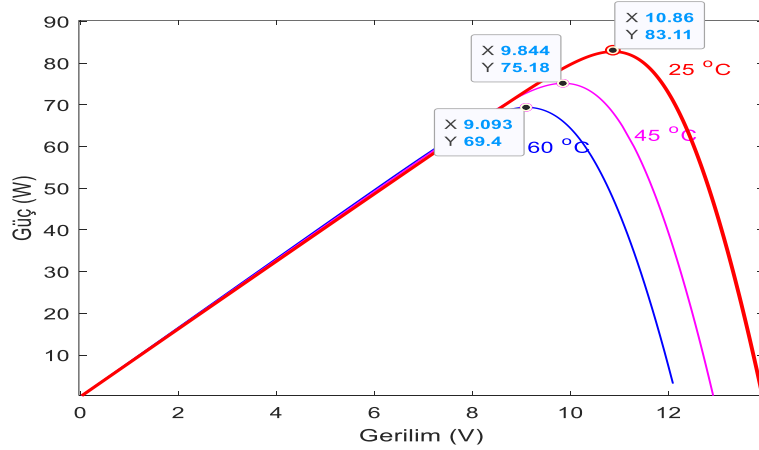
Sıcaklık arttıkça akım artar ve gerilim azalır.



Şekil 3.20. Farklı Sıcaklıklarda Akım-Gerilim Eğrisi

Değişen sıcaklık şartlarındaki güç Şekil 3.21'deki gibi olmaktadır, eşitlik 3.14'de verilmiştir.

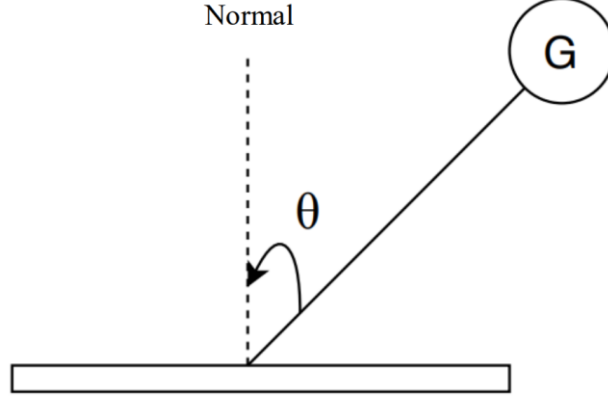
$$P = V \cdot I = I_0(I + \alpha \Delta T) \cdot V_0(1 - \beta \Delta T) = P_0[1 + (\alpha - \beta) \cdot \Delta T] \quad (3.14)$$



Şekil 3.21. Farklı Sıcaklıklardaki Güç-Gerilim Eğrisi

### 3.2.3. Zenit Açısı

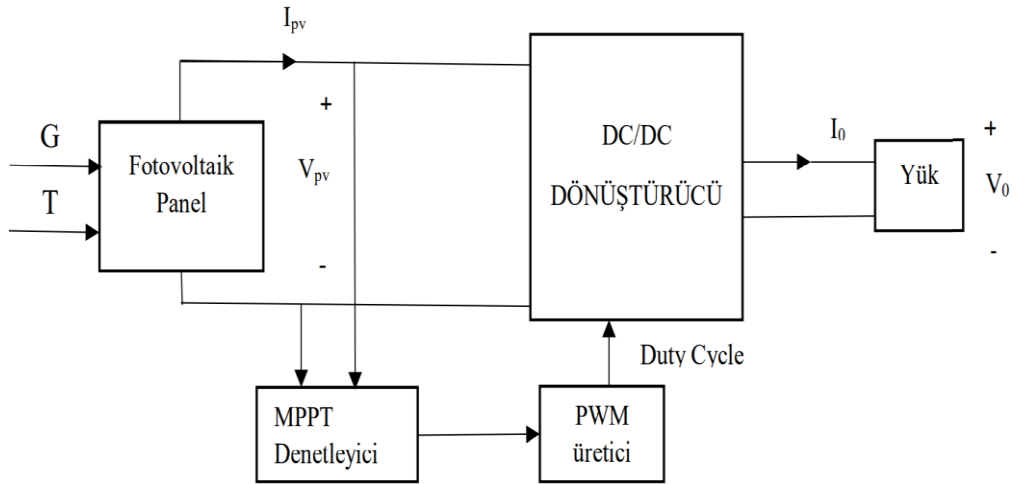
PV hücrenin çıkış akımı  $I = I_0 \cdot \cos \theta$ 'dır. Burada  $I_0$  güneşin hücreye dik geldiği durumdaki maksimum çıkış akımı,  $\theta$  ise güneş ışınlarının PV panelin normali ile yaptığı açıdır. Elektriksel çıkış akımı,  $\theta$  açısı  $0^\circ$ - $50^\circ$  arasında ise kullanışlı hal alır.  $\theta \geq 85^\circ$  ise hücre neredeyse hiç güç üretemez. Güneşin belirli bir açıda gelişi Şekil 3.22'de verilmiştir.



Şekil 3.22. Yer Düzlemine Göre  $\theta$

### 3.3. Sistem Bileşenleri

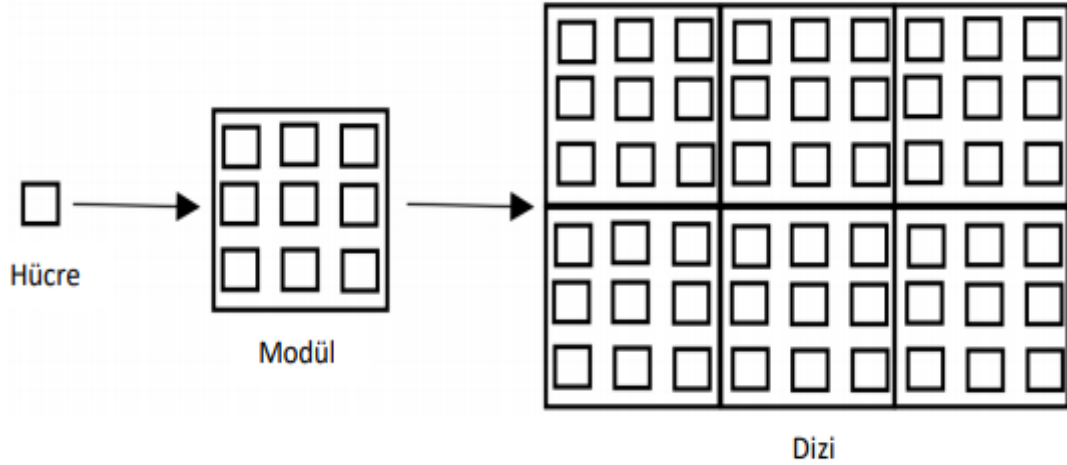
Fotovoltaik Sistemler kurulurken sistemde temel olarak fotovoltaik dizi, MPPT Denetleyici, DA/DA yükselten ya da DA/DA düşüren dönüştürücü ve yük gibi elemanların olması gerekmektedir. Bu sistemlerin kurulumu için örnek devre şeması Şekil 3.23'de verilmiştir.



Şekil 3.23. Örnek Fotovoltaik Sistem Şeması

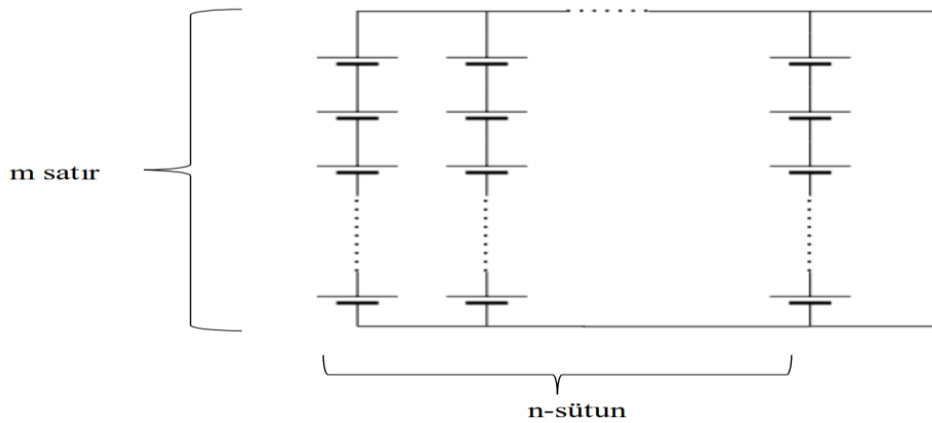
### 3.3.1. Fotovoltaik Sistem

Güneş dizileri hücrelerden meydana gelir. Hücrelerin bir araya gelmesiyle modül, modüllerin bir araya gelmesiyle dizi oluşur (Uzunoğlu & Erdiñç, 2013). Tek bir PV hücre genellikle 1-2 W güç üretir. PV hücre temelde bir diyot olduğundan terminal gerilimi, yani ileri yön kutuplanma gerilimi 0,7 V olur, akımı ise yaklaşık 1-2 A civarındadır.



Şekil 3.24. Fotovoltaik Sistemlerdeki Hücre, Modül ve Panel Yapısı

Çıkış gücünün artırılması için PV modüller kendi aralarında seri ve paralel bağlanarak dizileri oluşturur. Böyle bir dizi için;

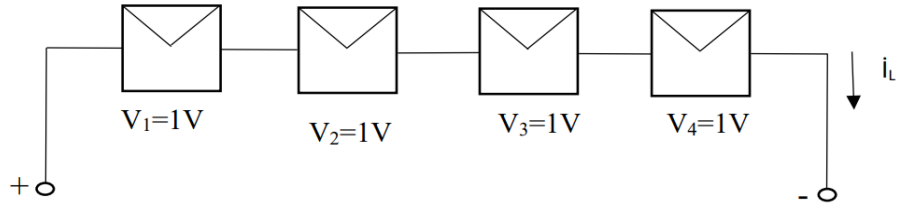


Şekil 3.25. Fotovoltaik Hücrelerin Bir Araya Gelmesi

$$P_{dizi} = m \times n \times V \times I$$

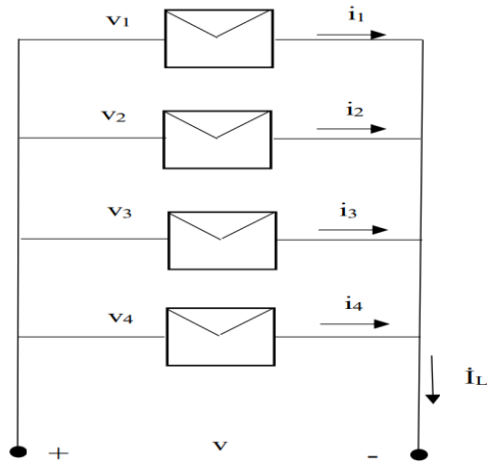
Dizinin gücü bir modülün gücünün  $m \times n$  katı olur.

Hücreler seri bağlanarak çıkış gerilimi artırılırken paralel bağlantı ile çıkış akımı artırılır. (Şekil 3.25)



Şekil 3.26. Hücrelerin Seri Bağlanması

Verilen şekilde 4 adet hücrenin seri bağlantısı yapılarak çıkış gerilimi 4 kat arttırılmıştır ve  $V_{\text{toplam}}$  değeri 4 V olmaktadır. Bu bağlantı ile akım sabit tutulmak ve güç ise 4 kat artış göstermektedir. Bu bağlantı ile sistemin geriliminin artması ile beraber  $P_{\text{max}}$  sağlayan  $V_{\text{max}}$  değeri de 4 kat artış göstermektedir.



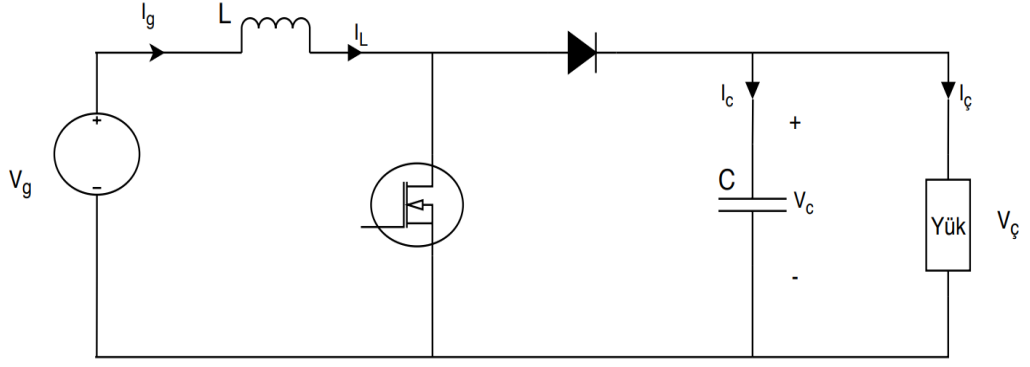
Şekil 3.27. Hücrelerin Paralel Bağlantısı

Şekil 3.27’de hücreler birbirine paralel bağlanmış olup  $v = v_1 = v_2 = v_3 = v_4$ ’dir. Hücrelerin toplam akımı olan  $i_L = i_1 + i_2 + i_3 + i_4$ ’tür.

### 3.3.2. DA-DA Dönüştürücü

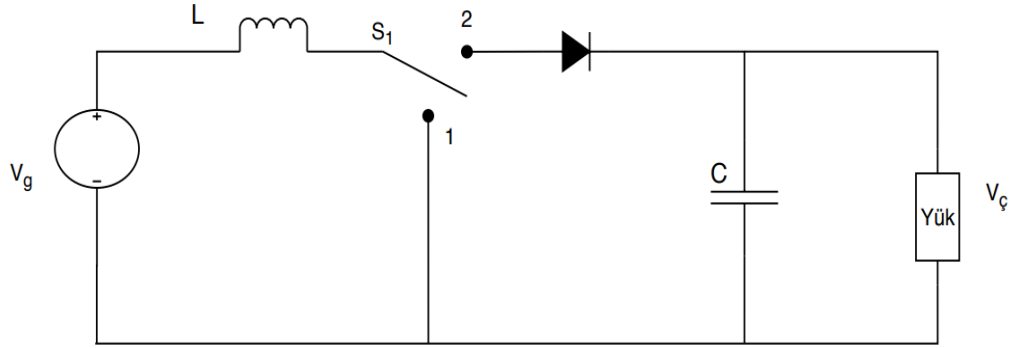
DA gerilimini DA gerilimine yükseltmek için çeşitli güç elektroniği devreleri önerilmiştir. Bunlardan Düşüren Dönüştürücü, Yükselten Dönüştürücü ve Düşüren-Yükselten Dönüştürücü devreler giriş gerilimini alçaltan ya da yükseltmeye yarayan güç elektroniği devreleridir.

Bu devrelerden Yükselten dönüştürücü devresi Şekil 3.28’de görüldüğü gibi yarı-iletken anahtar, diyot, endüktans ve kondansatör devre elemanlarından oluşmaktadır.

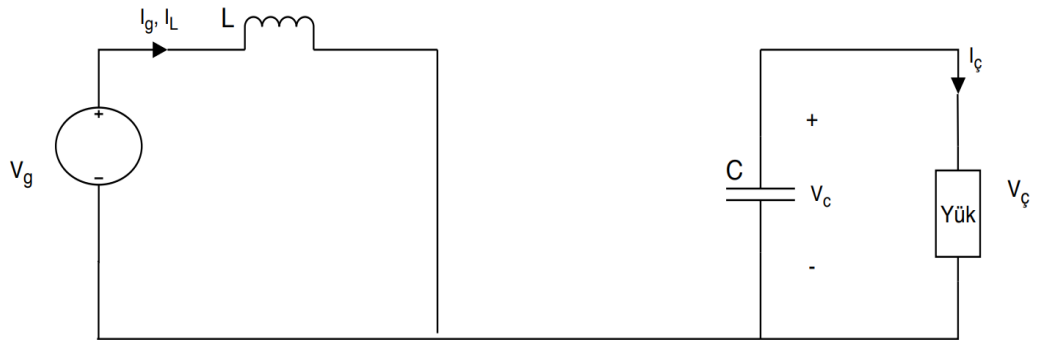


Şekil 3.28. DA-DA Yükselten Dönüştürücü Devre Şeması

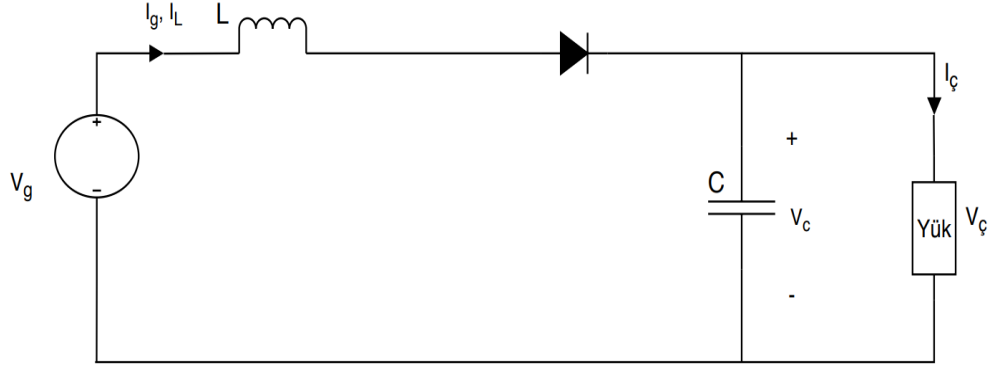
Bu devrelerin çalışması 2 durumda gerçekleşir. Şekil 3.30'da verilen 1. durumda anahtar kısa devre olacak ve endüktansta akım artışı meydana gelecektir. Endüktans, anahtarın kısa devre olması durumunda enerji depolayacaktır ve bu durumda yükün beslenme ihtiyacı kondansatör üzerinde biriken gerilimle sağlanacaktır. Şekil 3.31'de verilen 2. durumda ise anahtar açık devre olup endüktansta depolanan enerji diyot üzerinden çıkıştaki yüke aktarılacak enerji düşmesine akımın azalmasına sebep olacaktır. Yükselten dönüştürücü devrelerde güç kaybı olmadığı ve giriş gücü çıkış gücüne eşit kabul edilmektedir (Rashid, 2016: 222-225), (Bodur, 2012: 217-220).



Şekil 3.29. DA-DA Yükselten Dönüştürücü Anahtar Gösterimi



Şekil 3.30. Anahtarın 1 Numaralı Durumu



Şekil 3.31. Anahtarın 2 Numaralı Durumu

Dönüştürücü çalıştırıldığında devre 1. durumda çalışır ve devrenin giriş gerilimi sadece endüktans üzerinde oluşur. Endüktans akımının,  $I_1$ 'den  $I_2$ 'ye doğru  $t_1$  süresince yükseldiği varsayılırsa giriş gerilimi;

$$V_g = L \frac{I_2 - I_1}{t_1} = L \frac{\Delta I}{t_1} \quad (3.15)$$

veya

$$t_1 = \frac{\Delta I L}{V_g} \quad (3.16)$$

olacaktır. Endüktans akımı  $I_2$ 'den  $I_1$ 'e doğru  $t_2$  süresince azaldığında ifade eksi duruma dönecektir.

$$V_g - V_{\ç} = -L \frac{\Delta I}{t_2} \quad (3.17)$$

veya

$$t_2 = \frac{\Delta I L}{V_{\ç} - V_g} \quad (3.18)$$

olacaktır. Burada  $\Delta I$  değeri endüktansın dalgalanma değeri olacaktır.

Eşitlik 3.15 ve 3.17'den

$$\Delta I = L \frac{V_g t_1}{L} = \frac{(V_{\ç} - V_g) t_2}{L} \quad (3.19)$$

$t_1 = D \cdot T$  ve  $t_2 = (1 - D)T$  olarak yerlerine konursa, ortalama çıkış gerilimi;

$$V_{\ç} = V_g \frac{T}{t_2} = \frac{V_g}{1 - D} \quad (3.20)$$

olacaktır.

Büyük yüklü bir C kondansatörü Şekil 3.29'daki gibi yüke paralel bağlanırsa, çıkış gerilimi sürekli olur. Çıkıştaki yük üzerindeki gerilimin ( $V_{\ç}$ ) ortalama gerilimi ile kondansatör üzerindeki gerilim eşit olmaktadır. Eşitlik 3.20'de görüldüğü üzere yük üzerindeki gerilimin doluluk oranı  $D$ 'yi değiştirerek artırılabilir. En düşük çıkış

gerilimi  $D=0$  içindir.  $D$  değeri 0'dan 1'e arttıkça çıkış gerilimi daha da artar ve artık 1'e yakın bir değerde ise çok yüksek değerler alır. Eşitlik 3.20'de  $D$  değeri 1 olduğunda  $V_c$  sonsuz bir değere ulaşır ve transistör sürekli olarak anahtarlanamaz.

Eşitlik 3.20' e  $D = \frac{t_1}{T} = t_1 f$  yerleştirilirse

$$t_1 = \frac{V_c - V_g}{V_c f} \quad (3.21)$$

Devre kayıpsız olduğu varsayılırsa  $V_g I_g = V_c I_c = D \cdot V_g I_c$  ve ortalama giriş akımı;

$$I_g = \frac{I_c}{1-D} \quad (3.22)$$

olacaktır.

### **DA-DA Yükselten Dönüştürücünün Kondansatör Değerini Bulma:**

Transistör iletimde iken  $0 < t < t_1$  durumunda kondansatör yük akımını sağlar ve bu süredeki ortalama kondansatör akımı  $I_c = I_c$  olacaktır ve tepeden tepeye dalgalanma gerilimi;

$$\Delta V_C = v_c - v_c(t = 0) = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} I_c dt = \frac{1}{C} \int_0^{t_1} I_c dt = \frac{I_c t_1}{C} \quad (3.23)$$

ve eşitlik 3.21 yerine konulursa;

$$\Delta V_C = \frac{I_c (V_c - V_g)}{V_c f C} \quad (3.24)$$

Buradan da Kondansatör değeri

$$C = \frac{I_c}{f \Delta V_C} D \quad (3.25)$$

olarak bulunur.

### **DA-DA Yükselten Dönüştürücünün Endüktans Değerini Bulma:**

Anahtarlama periyodu  $T$  aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$T = \frac{1}{f} = t_1 + t_2 = \frac{\Delta I L}{V_g} + \frac{\Delta I L}{V_c - V_g} = \frac{\Delta I L V_c}{V_g (V_c - V_g)} \quad (3.26)$$

Bu ifadeden de tepeden tepeye dalgalanma akımı bulunur,

$$\Delta I = \frac{V_g (V_c - V_g)}{f L V_c} \quad (3.27)$$

Buradan da endüktansın değeri,

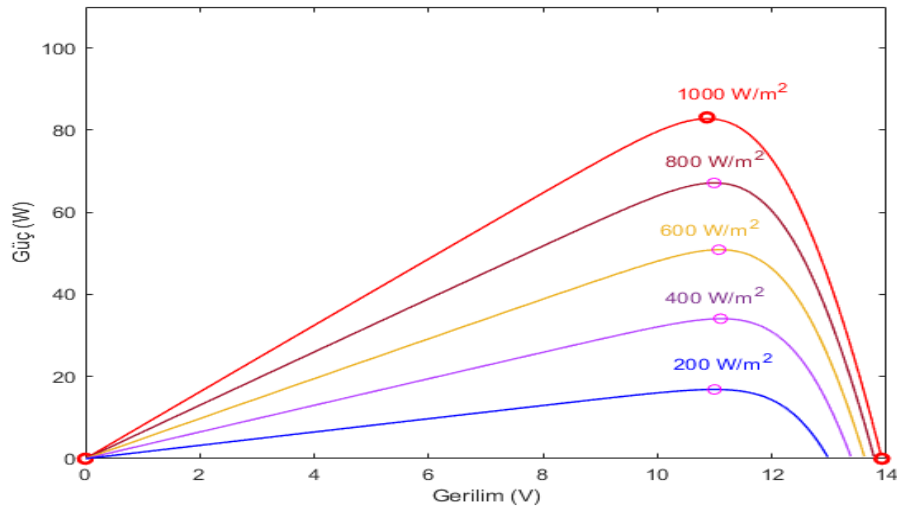
$$L = \frac{V_g}{\Delta I \cdot f} D \quad (3.28)$$

olarak bulunacaktır. Bu tez çalışmasında kullanılan DA-DA yükselten devresinde, bu

bölümdeki eşitlikler kullanılarak tasarım gerçekleştirilmiştir.

### 3.3.3. Maksimum Güç Noktası Takibi

Fotovoltaik sistemlerden güç üretimi güneş enerjisini kullanmanın en önemli yollarından biridir. Fotovoltaik sistemlerde maksimum verimle ve maksimum çıkış gücü sağlanarak çalıştığı MPP'si, güneş ışınlarının panel yüzeyine yaptığı açıya ve panel sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Bu durumda da yükün çalışma noktası fotovoltaik panelin MPP'si olmayacaktır. Yükün talep ettiği gücü devamlı olarak sağlayabilmek için fotovoltaik sistemler de fazlasıyla modül içerecek şekilde tasarlanmak zorundadır. Bu durumda da sistemin maliyetinde artış meydana gelecek ve büyük miktarda enerji kaybı yaşayacaktır. Ayrıca fotovoltaik panelin çıkış gerilimi ve akımı arasında doğrusal olmayan bir ilişki vardır (Onat & Ersöz, 2009). Bu problemlerin teoride ve uygulamada çözümünde ise MPPT adı verilen anahtarlamalı güç dönüştürücü kullanılabilir. Tüm fotovoltaik sistemlerin maksimum verimlilikte ve maksimum güçte çalıştığı Şekil 3.32'de görüldüğü gibi P-V eğrisinde tek bir nokta mevcuttur. Bu nokta MPP noktasıdır ve çalışma esnasında bu nokta bilinemez. Ancak hesaplama yöntemleri veya tarama algoritmaları ile bulunabilir. Bu sayede fotovoltaik panellerin MPP'sinde devamlı olarak çalışma sağlanmaktadır. MPPT Fotovoltaik panelin MPP'de çalışmasını sağlamak için kullanılmaktadır. MPP, güneş ışınımı miktarı ve az da olsa sıcaklık ile değişmektedir.



Şekil 3.32. Farklı Güneş Işınımında Maksimum Güç Noktaları

Maksimum Güç Noktası Takibi yöntemleri bu tez çalışmasında geleneksel yöntemler ve sezgisel algoritmalar olarak 2 başlık altında incelenmiştir.

### 3.3.3.1. Geleneksel Yöntemler:

Geleneksel yöntemler sabit bir arama yöntemi olup yazılımsal karmaşası az olan ve maliyeti az olan yöntemlerdir. Bu yöntemler;

- Açık Devre Gerilim Tekniği
- Kısa Devre Akımı Tekniği
- INC Algoritması
- HC Algoritması
- P&O Algoritması'dır.

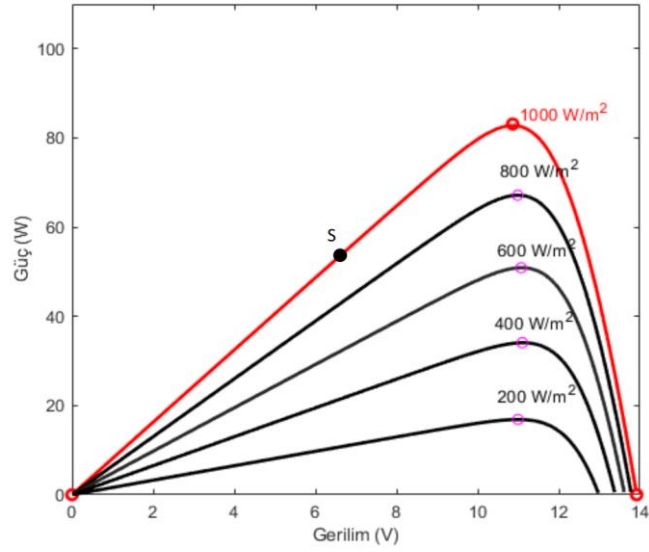
Bu çalışmada geleneksel yöntemlerden P&O kullanılmıştır.

#### ***P&O Algoritması:***

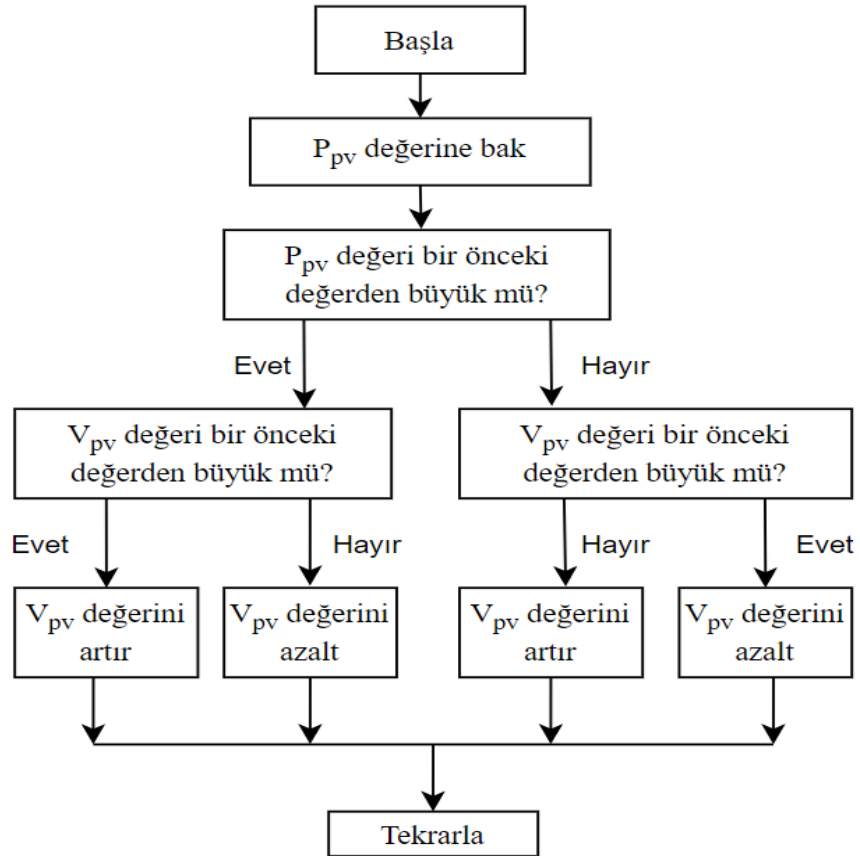
P&O algoritmasında çok az miktarda parametre içermesi, basit bir geri besleme yapısı olması, maliyetinin düşük olması, uygulamadaki kolaylığı ve performansının iyi olmasından dolayı pratikte en çok kullanılan yaklaşımdır. P&O yöntemi PV panelin çıkış ucundaki geriliminin artış ve azalışına göre çalışmaktadır. Bu algoritmada fotovoltaik panelin güç-gerilim eğrisinin özelliğinden faydalanılmaktadır. Fotovoltaik panellerde üretilen güç gerilimin bir fonksiyonu olarak değişmektedir. P&O algoritmasında fotovoltaik panelin çalışma noktasındaki geriliminde küçük bir artış gerçekleştirilerek, güçteki değişim miktarı ( $\Delta P$ ) ölçülür.  $\Delta P$  değerinin pozitif çıkması durumunda çalışma gerilimi tekrar artırılarak fotovoltaik panel çalışma noktası MPP'e yaklaştırılır. Böylece gerilimde küçük artışlar gerçekleştirilerek güçte meydana gelen hatanın işareti (pozitif veya negatif) izlenir. Şekil 3.33'de P-V eğrisine sahip bir fotovoltaik panelde S noktasında çalıştığı varsayılırsa, gerilimin artış işlemi tekrarlanarak çalışma noktası yukarı doğru taşınacaktır. MPP'ye ulaşıldıktan sonra ise gerilimin artması durumunda  $\Delta P$  değişimi 0'dan küçük bir değer olduğundan gerilim artışı yönü değiştirilip eğrinin sağında kalan nokta sola kaydırılmaya çalışılır.

P&O algoritmasının avantajı, basit ve uygulamasının kolay olmasıdır. Ancak en önemli problemi ise MPPT verimini azaltan sınırlamalara sahip olmasıdır. Güneş ışınımının azaldığı durumlarda eğrilerde bir yataylaşma meydana geldiğinden MPP'nin yerini tespit etmek güç olmaktadır. Bunun sebebi ise gerilimdeki değişmelerin çok küçük güç hataları oluşturmasıdır ve taramanın bu küçük değişimleri algılayamamasıdır. Bu yöntemde ancak çalışma noktasının MPP'ye yakın bir bölgede salınım yapması sağlanabilmektedir. Ayrıca bu yöntemde atmosferik şartlar sabitken MPP'e yakın salınım yapar, ancak ışınım ve sıcaklık hızlı değiştiğinde MPP'yi hızlı

bir şekilde izleyemez. Şekil 3.34’de P&O algoritmasının güç ve gerilim değerinin değişimine göre olan akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 3.33. Fotovoltaik Panelde Güç-Gerilim İlişkisi



Şekil 3.34. P&O Algoritması Akış Diyagramı

### 3.3.3.2. Sezgisel Algoritmalar:

Doğrusal olmayan hesaplamaların optimizasyonunda değişik hesaplama tekniklerinin türevsel tabanlı cebirsel optimizasyon tekniklerine göre üstünlüklerini gösteren bir çok çalışma yapılmıştır. Bu yöntemler günümüzde, klasik algoritmalar ile karşılaştırıldıklarında türevsel hesaplamalara gerek duymadan, yazılımsal ve donanımsal uygulama kolaylıkları nedeni ile bir çok alanda başarıyla kullanılmaktadır.

Bu yöntemlerde, doğada meydana gelen olaylardan esinlenerek geliştirilen yöntemlerdir. Problemin muhtemel çözümlerini tanımlayan, bireylerin oluşturduğu populasyon, doğada en uygun bireyin yaşaması prensibine göre mutasyon, çaprazlama ve yeniden üreme gibi genetik operatörler ile sonuca yakınsamaktadır. Değişim sonunda seçilen birey problemin çözümü olarak alınır. Sonuç her zaman sıfır hata ile çözüm vermeyebilir, ancak kesinlikle optimal yani en uygun bir çözümdür. Sezgisel algoritmalar büyük boyutlu optimizasyon problemleri için kabul edilebilir sürede optimuma yakın çözümler veren algoritmalarlardır.

Sezgisel algoritmalara GA, KKO, PSO, ABC, Yer Çekimi Arama Algoritması, Yarasa Algoritması, ABA, Aslan Algoritması, Gri Kurt Algoritması ve Örümcek Sosyal Örümcek Algoritması örnek olarak verilebilir. Bu yöntemlerden PSO, kolay uygulanabilirliği, kısa sürede optimumu bulma ve yüksek verim gibi avantajlarından dolayı en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Bu tez çalışmasında sezgisel algoritmalarından PSO kullanılmıştır.

#### *Parçacık Sürüsü Optimizasyonu*

Doğal seçim prensibine dayanan teknikte, Eberhart ve Kennedy 1995 yılında, canlıların sosyal davranışlarından esinlenerek geliştirdikleri yeni bir optimizasyon algoritması önermişler ve algoritmaya, uçan kuş sürülerinin davranışlarına benzemesi nedeniyle “Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization – PSO)” adını vermişlerdir (Ebhart ve Kennedy, 1995).

PSO’da bireyler, her nesilde yarışma ve yardımlaşma ile değişime uğrarlar. Her birey uçuş doğrultusunu, kuş sürülerinde olduğu gibi kendi uçuş doğrultusuna ve tüm sürünün uçuş doğrultusuna göre ayarlar. Yani, doğal seçim ile sonuca ulaşan genetik optimizasyon tekniklerinden farklı olarak PSO’da, bireyler kendilerinin ve tüm sürünün geçmiş deneyimlerinden faydalanır.

Parçacıklar, problemin olası çözümlerini belirten ve boyutu, çözümde bulunması istenen parametrelerin sayısı ile belirlenen D-boyutlu arama uzayında dolaşan birer

noktadır. K adet parçacığın her biri bu D-boyutlu arama uzayında D-boyutlu birer diziyle gösterilir.

$$x_i = (x_{i1} \ x_{i2} \ x_{i3} \ \dots \ x_{iD}) \quad i=1, 2, 3, \dots, K \quad (3.29)$$

Parçacıkların konum değiştirme ivmelenmeleri ise hız olarak tanımlanır ve yine D-boyutlu arama uzayında D-boyutlu birer diziyle belirtilir.

$$v_i = (v_{i1} \ v_{i2} \ v_{i3} \ \dots \ v_{iD}) \quad i=1, 2, 3, \dots, K \quad (3.30)$$

Buna göre, D-boyutlu arama uzayında dolaşan K adet parçacığın konumları ve hızları aşağıdaki matrislerle ifade edilebilir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1D} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{K1} & \dots & x_{KD} \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & \dots & v_{1D} \\ \dots & \dots & \dots \\ v_{K1} & \dots & v_{KD} \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

Parçacıklar, arama uzayında o ana kadar elde ettikleri en iyi konuma doğru giden bir koordinat izleme eğilimindedirler. Her bir parçacığın bu en iyi konum bilgisi, parçacığın lokal en iyi konumu ( $p_i$ ) adını alır ve aslında parçacığın önceki deneyimini ifade eder. Lokal en iyi konum, her parçacık için D-boyutlu bir dizi ile belirtilirken, tüm parçacıklar için  $K \times D$  boyutlu bir matris ile gösterilebilir.

$$p_i = (p_{i1} \ p_{i2} \ p_{i3} \ \dots \ p_{iD}) \quad i=1, 2, 3, \dots, K \quad (3.33)$$

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & \dots & p_{1D} \\ \dots & \dots & \dots \\ p_{K1} & \dots & p_{KD} \end{bmatrix} \quad (3.34)$$

Parçacıkların o ana kadar elde ettikleri en iyi konum bilgilerini içeren P matrisindeki en iyi konum bilgisi ise tüm sürünün global en iyi konumu ( $g_i$ ) olarak tanımlanır ve sürünün önceki deneyimini ifade eder. Global en iyi konum D-boyutlu bir dizi ile gösterilir.

$$g_i = (g_1 \ g_2 \ g_3 \ \dots \ g_D) \quad i=1, 2, 3, \dots, K \quad (3.35)$$

PSO, kavramsal olarak, parçacıkların hızının her bir nesilde kendi lokal en iyi konumlarına ve sürünün global en iyi konumuna doğru yönlendirilmesine dayanır. Hızlar, bu değişim sırasında en iyi konuma ulaşabilmek için farklı rastgele terimler ile ağırlıklandırılır.

Gelişim sürecinde her bir parçacığın hızı ve konumu aşağıdaki eşitlikler ile güncellenir.

$$v_{iD}^{t+1} = v_{iD}^t + c_1 r_1 (p_{iD}^t - x_{iD}^t) + c_2 r_2 (g_i^t - x_{iD}^t) \quad (3.36)$$

$$x_{iD}^{t+1} = x_{iD}^t + v_{iD}^{t+1} \quad (3.37)$$

Eşitlik 3.36 parçacığın, önceki hızına ve mevcut konumunun lokal ve global en iyi konumlara olan mesafesine göre yeni hızını hesaplar. Parçacık yeni konumuna, hesaplanan yeni hızı kullanarak Eşitlik 3.37 ile ulaştırılır. İlk terim parçacığın kendi güncel hızını içeren terimdir. İkinci terim parçacığın kendi deneyimini içerirken, son terim sosyal terimdir ve tüm sürünün deneyimini içerir.  $c_1$  ve  $c_2$  sayıları pozitif değerli ivmelenme sabitleridir. Parçacığın lokal en iyi konuma ve global en iyi konuma doğru adım boyunu belirler.  $r_1$  ve  $r_2$  sayıları ise  $[0,1]$  aralığında normal dağılımlı rastgele sayılardır ve her iterasyonda rastgele atanır.

Global ve lokal arama hızlarını dengelemek amacıyla, belirli bir aralıkta doğrusal olarak azalan  $w$  atalet ağırlığı terimi eşitlik 3.38'de kullanılmıştır. Performansın en iyi,  $w$  teriminin ortalama olarak  $[0.9, 1.2]$  arasında alındığı durumlarda olmaktadır.

$$v_{iD}^{t+1} = w \cdot v_{iD}^t + c_1 r_1 (p_{iD}^t - x_{iD}^t) + c_2 r_2 (g_i^t - x_{iD}^t) \quad (3.38)$$

$w$ 'nın değerindeki artış global arama kabiliyetini arttırırken, azalması lokal arama yeteneğini azaltmaktadır. İterasyonun başlangıç aşamasında global arama kabiliyetinin, sonlarına doğru ise lokal arama kabiliyetinin daha iyi olması gerekir.  $w$  atalet ağırlığının en uygun şekilde ayarlanması gerekmektedir. Eşitlik 3.39 ile  $w$  değeri her iterasyonda doğrusal olarak azaltılabilmektedir. Eşitlikte  $T$ , iterasyon sayısını göstermektedir.

$$w = w_{maks.} - T \cdot \frac{w_{maks.} - w_{min.}}{T_{maks.}} \quad (3.39)$$

Parçacıkların arama uzayından çıkmasını önlemek için konumlarının ve hızlarının sınırlandırılması gerekir. Hız değeri, parçacığın konumunun  $[x_{min.}, x_{maks.}]$  aralığında belirlenen değerine göre  $[v_{min.}, v_{maks.}]$  aralığında Eşitlik 3.40 ve Eşitlik 3.41 ile sınırlandırılır. Bununla beraber parçacıkların sınırlarının uygun belirlenmesi, algoritmanın doğru sonuca yakınsamasında önem taşımaktadır.

$$v^{maks.} = (x^{maks.} - x^{min.}) \cdot (\%10 \sim \%20) \quad (3.40)$$

$$v^{min.} = -v^{maks.} \quad (3.41)$$

Parçacıkların konum ve hızlarının sınırlandırılması, arama uzayının dışına çıkmalarını önler.

Parçacıkların sınırlarının belirlenmesi için aşağıdaki yöntem önerilmiştir,

$$v^{\text{maks.}} = k \cdot x^{\text{maks.}} \quad , \quad 0.1 \leq k \leq 0.5 \quad (3.42)$$

Buna göre parçacıkların hızı ve konumu aşağıdaki gibi sınırlandırılır.

Eğer  $(v^{k+1} > v^{\text{maks.}})$  ise  $(v^{k+1} = v^{\text{maks.}})$

Eğer  $(v^{k+1} < v^{\text{min.}})$  ise  $(v^{k+1} = v^{\text{min.}})$

Eğer  $(x^{k+1} > x^{\text{maks.}})$  ise  $(x^{k+1} = x^{\text{maks.}})$

Eğer  $(x^{k+1} < x^{\text{min.}})$  ise  $(x^{k+1} = x^{\text{min.}})$

### 3.4. Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Enerji Sistemleri

Şebekeden bağımsız güneş enerjisi sistemlerinde şebekeye bağlantı olmadan PV panellerde enerji üretimi meydana gelir. Şebeke elektriğinin olmadığı, şebeke hattına ulaşım imkanının zor veya maliyetinin uygun olmadığı, şebeke elektriğinin sürekli olarak arıza verdiği yerlerde kullanılır. Yayla evleri, çiftlikler, sinyalizasyon sistemleri, uzaktan bilgi sistemleri, baz istasyonları, petrol boru hatlarının katodik koruması, bina içi ya da dışı aydınlatması, ilkyardım, alarm ve güvenlik sistemleri, tekne ve karavan gibi özel uygulamalarda da sıkça kullanılmaktadır.

Şebekeden bağımsız sistemlerin en önemli avantajları;

- Şebekenin olmaması durumunda ekonomik bir çözüm yöntemidir.
- Fotovoltaik sistem olmasından dolayı yakıt masrafı yoktur.
- Kurulum süresi oldukça kısa zaman almaktadır.
- Sistemler enerji ihtiyacına göre artırılabilir.

Şebekeden bağımsız yerlere, fotovoltaik panelin kurulum yapılacak yerde ön bir çalışmanın yapıp sistemin güç ihtiyacının ne kadar olduğu öğrenilmelidir. Sistemin kurulduğu yerde gölge oluşturabilecek maddeler önemle incelenmelidir. Paneller arasındaki mesafeler uygun olarak seçilmeli ve gölge oluşturabilecek durumların önüne geçilmelidir. Yılın her zamanında kullanılma durumu var ise panelin kurulumunda en kötü şartlarda bile en iyi gücü vermesine dikkat edilmelidir. Şekil 3.4.1'de şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemin bileşenleri gösterilmiştir.

Şebekeden bağımsız sistemlerin kurulumunda olması gerekenler;

- Güneş panelleri
- Güneş paneli için metal iskelet
- Güneş paneli şarj kontrol cihazları
- Batarya grubu tasarımı
- Aküler

- İverterler
- MPPT gereklidir.

Güneş panelleri; güneş panelinin kurulacağı bölgede toplam günlük enerji tüketimi, kış aylarına göre ortalama günlük güneşlenme süresi, akü grubunun çıkış gerilimi, kullanılacak inverter gücü ve kullanılacak işletme gerilimi, güneş paneli gücünün ve sayısının belirlenmesinde önemlidir.



Şekil 3.35. Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Enerji Sistemi Bileşenleri (Mühendistan, 2020)

Güneş paneli şarj kontrol cihazları; güneş panelinin toplam gerilim değeri ve akım değeri, batarya grubunun toplam gerilim değeri cihazın kapasitesini belirlemede önemlidir. Ayrıca panelleri ters akımdan, aküleri ise aşırı şarjdan korumaktadır.

Batarya grubu tasarımı, batarya şebekeden bağımsız sistemler için oldukça önemlidir. Bataryalar kesinlikle uzun ömürlü, yüksek sıcaklığa dayanıklı, yüksek verimliliğe sahip ve gaz sızıntısı minimum seviyede olmalıdır.

İnverterler; cihazların toplam olarak anlık çektiği güce göre belirlenir. Genel olarak anlık çekilen gücün 1,5 katına sahip inverter kullanılmalıdır. İnverter seçiminde tam sinüs veya geliştirilmiş inverter seçimi önemlidir.

### 3.5. Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Enerji Sistemleri

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler, üretilen elektriğin depolanması yerine üretim yerinde tüketilmesi prensibine dayalı çalışmaktadır. Tüketimin üretimden fazla

olduğu durumlarda kullanıcı tüketim fazlası enerjiyi şebekeden alır. Buna karşılık, kullanıcının tüketimi üretimden az olduğu durumlarda ise üretim fazlası enerji ile şebeke beslenebilir. Şebekeye bağlı sistemler güneş enerjisi santralleri, yedek enerjinin ihtiyaç duyulduğu yapılar, fabrika, atölye, endüstri vb. gibi işletmelerde, kapalı alan aydınlatmalarında, otel vb. yapılarda kullanılır. Şekil 3.36'da şebekeye bağlı fotovoltaik sistemin bileşenleri gösterilmiştir.

Şebekeye bağlı sistemlerin en önemli avantajları;

- Sistemde akü gibi depolama elemanları kullanılmayacağı için ek bir maliyet oluşturmaz.
- Üretilen enerji şebekeye bağlı olduğundan üretilen enerji yetersizliğinde şebeke devreye girerek enerji yükü eksiksiz olarak beslemeye devam edecektir.
- Sistem tasarımı yapılırken yükün tamamını karşılama zorunluluğu yoktur.

Şebekeye bağlı sistemlerde olması gereken önemli bileşenler;

- Fotovoltaik panel
- İnverter
- Çift yönlü sayaçlar.

Şebekeye bağlı sistemler yüksek güçlü santrallerde kurulabileceği gibi konut ihtiyacı için küçük güçlü kurulumlar da olabilir. Bir konutun elektrik ihtiyacı karşılanabilirken, üretilen fazla enerji elektrik şebekesine verilir. Yeterli enerjinin üretilmediği durumlarda ise şebekeden enerji alır ve kendi ihtiyacını karşılar. Bu sistemler elektriği depolamaya gerek kalmadığı için üretilen DA elektriğin AA elektriğe çevrilmesi ve şebeke uyumlu olması yeterli olacaktır.



Şekil 3.36. Şebekeye Bağlı Fotovoltaik Enerji Sistemi Kurulumu (Elektrikde, 2020)

Güneş paneli; şebeke bağlantılı sistemlerde şebeke düşünülerek çalışıldığı için gerilim değerleri oldukça önemlidir. İnverterlerin çalışabileceği gerilim aralığına göre paneller bağlanmalıdır.

Çift yönlü sayaçlar; tek yönlü sayaçlar gibi şebekeden gelen elektriği konuta iletir. Tek yönlü sayaçtan farkı ise harici bir yerden üretilen elektriği de elektrik şebekesine iletmesidir.

İnverterler; güneş panelinden gelen güç ve şebekeden gelen güç ile beraber çalışır. Güneş panelinde, güç düşümü meydana geldiğinde şebeke elektriğiyle tüketim yüküne destek olmak amaçlanır. Yeni yapılan sistemlerde şebeke bağlantısı için 250 W ve üstü paneller tercih edilmektedir.

## 4. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE GÜNEŞLENME ŞARTLARI

Fotovoltaik sistemlerde güneş panellerinin aldığı güneş ışınımı değeri günün her zamanında değişim göstermektedir. Genel olarak ışınımın geliş açısı öğlen 12:00'a kadar artmaktadır, ancak bu saatten sonra tekrar azalmaktadır. Ayrıca panel üzerine bir cismin gelmesinden ve güneş ile panel arasında bulutlanma gibi havada oluşabilecek kesintilerden dolayı bütün panellere aynı ışınım değeri gelemeyebilir. Bu tez çalışmasında bütün bu durumları modellemek için aşağıdaki hususlar ele alınmıştır:

- Sabit güneş ışınımı
- Değişken güneş ışınımı
- Kısmi gölgeleme durumlarında inceleme yapılmaktadır.

### 4.1. Sabit Işıma Durumu

Fotovoltaik sistemler için standart test şartlarında, güneş ışınımı değeri 1000 W/m<sup>2</sup> iken sıcaklık değeri 25°C alınır (Şekil 4.1). Sabit güneş ışınımında güneş paneline gelen güneş ışınımının değerinin değişmediği varsayılır.



Şekil 4.1. Güneş Paneline Sabit Güneş Işınımı Gelmesi

Sabit güneş ışınımı şartları altında incelemeler yapılırken, güneş ışınımı değerinin 1000, 900, 800, 700, 600, 500, 400, 300, 200 ve 100 W/m<sup>2</sup> değerlerine bakılmıştır. İncelemelerde güneş ışınımının farklı değerlerine bakılırken sıcaklık değeri değiştirilmemiş ve 25°C'de sabit tutulmuştur.

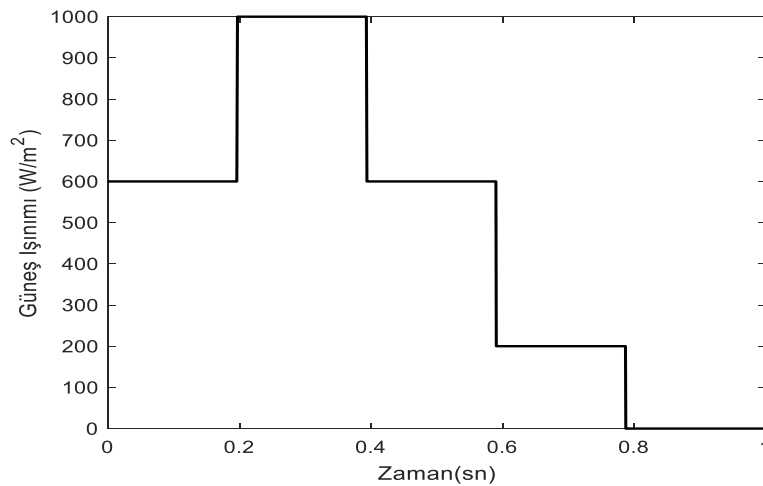
Klasik algoritmaların, akıllı algoritmaların ve sezgisel algoritmaların bu şartlar altında verim oranı oldukça yüksektir. Literatürde yapılan çalışmalarda farklı sonuçlar bulunmaktadır. Bazı çalışmalarda klasik yöntemlerden P&O algoritmasının en iyi

sonucu verdiği (Chaeib & Salky, 2015) görülürken bazı çalışmalarda sezgisel PSO yönteminin daha iyi sonuç verdiği (Sai, Khadtare & Chatterjee) görülmektedir. Bunun sebebi ise her yapılan araştırmada klasik P&O ve sezgisel PSO algoritmalarının maksimum verime ulaştırmak amaçlandığından bu algoritmalarda farklı geliştirmeler yapılmıştır (Ishaque, Salam, Amjad & Mekhilef, 2012) (Efendi, Murdianto & Setiawan, 2017). Bu yapılan geliştirmelerden dolayı da farklı sonuçlar ortaya çıkabildiği, bu yüzden de birbirlerine büyük üstünlük kuramadığı görülmüştür.

#### 4.2. Değişken Işıma Durumu

Gerçekte, günün her saatinde güneş ışınımın değerleri aynı olmamaktadır. Gün doğumundan öğle 12:00'a kadar güneş ışınımının değerleri artarken öğlen 12:00'dan gün batımına kadar düşmektedir. Bu durum da gün içerisinde güneş ışınımı değerine göre sürekli olarak Duty Cycle değerinin değişmesine sebep olacaktır (Şekil 4.2).

Klasik algoritmaların sabit güneş ışınımı şartları altında iyi performans verdiği, değişken güneş ışınım şartları altında ise PWM'deki artış ve azalış (DPWM) arama sıklığının her güneş ışınımında değişmesi gereksinimini karşılayabilme durumu incelenmiştir. Değişken güneş ışınımında güneş ışınımı değerinin ani değişimi mevcuttur. Ani güneş ışınımı değişimlerinde algoritmaların  $P_{max}$  değerine karşılık gelen Duty Cycle değerini en hızlı bulması amaçlanır. Maksimum güç değerini bulunurken maksimum güç etrafındaki dalgalanmalar ise klasik algoritmaların sorunlarından biridir.

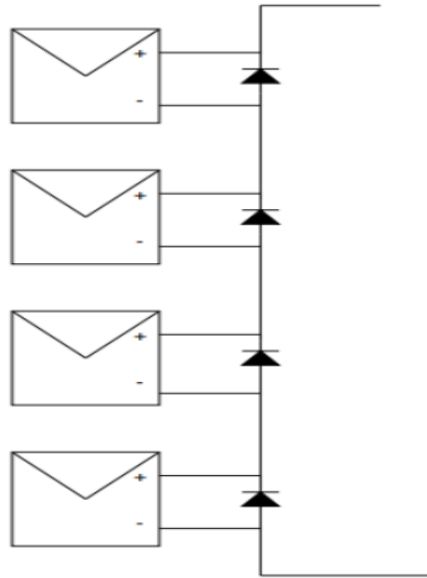


Şekil 4.2. Değişem Güneş Işınımının Panele Gelme Durumu

### 4.3. Kısmi Gölgeleme Durumu

Fotovoltaik paneller istenilen gerilimi ve gücü elde edebilmek için seri ya da paralel şekilde bağlanarak dizi oluşturulur. Atmosferde meydana gelen olaylardan dolayı ya da panel ile güneş arasına bir cismin girmesinden dolayı bazı paneller üzerinde gölgelenmeler meydana gelecektir. Dizi içindeki bir panel üzerindeki güneş ışınımı değeri  $1000 \text{ W/m}^2$  iken bir başka panel üzerindeki güneş ışınımı değeri  $200 \text{ W/m}^2$  olabilmektedir. Panellerde oluşan gölgelenme durumu veya her bir paneldeki güneş ışınımını değerinin farklı olmasına kısmi gölgelenme durumu denilmektedir.

Mesela,  $4 \times 4$  bir fotovoltaik panelde 4 seri ve 4 paralel panelden meydana geldiği varsayalım. Bütün ışınım değerlerinin aynı olması durumunda birbirine seri bağlı 4 PV panelin gücü, birbirine seri olarak bağlı diğer panellerin güçleri ile aynı olacaktır. Ancak güneş ışınımı değerlerinin farklı olması durumunda gölgelenmeden dolayı, gölgelenme olan panellerin ışınım değeri düşeceğinden, gölgelenmenin meydana geldiği seri bağlı panellerin gücünde azalma meydana gelecektir. Gölgelenmenin meydana geldiği seri bağlı paneller diğer seri bağlı panellerin de gücünü harcamaya başlayacak, yani yük gibi davranacaktır.

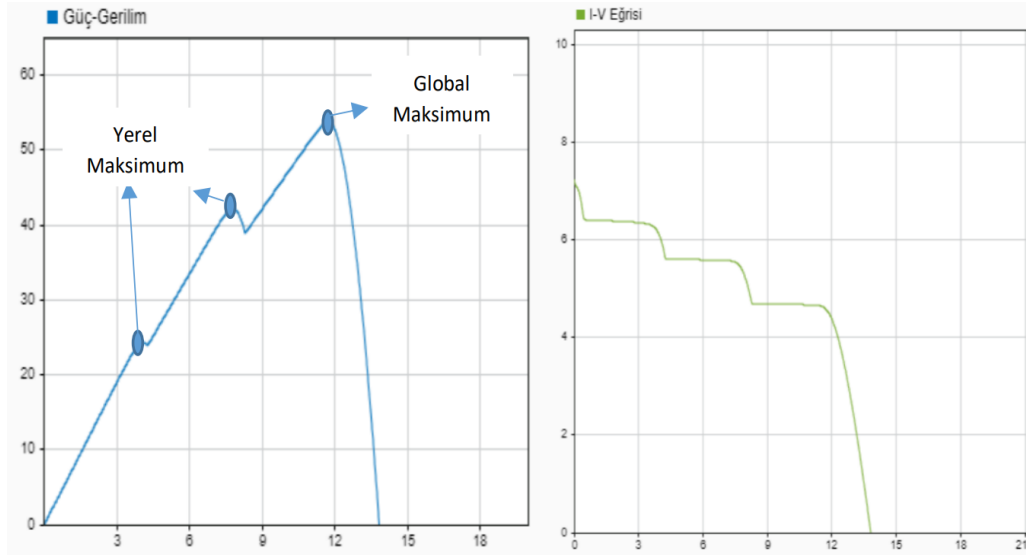


Şekil 4.3. Bypass Diyotların Bağlanması

Kısmi gölgelenmede oluşan bu durumlar, panel gücünde düşmeye sebep olacaktır. Bu durumun üstesinden gelebilmek için her bir panele paralel bağlı bypass diyotlar kullanılır (Şekil 4.3). Güneş panellerinin normal çalışma durumunda bu diyotların herhangi bir etkisi yoktur. Ancak tam gölgelenme ya da kısmi gölgelenme

durumu meydana geldiğinde bu diyotlar aktifleşerek iletme geçer. Akım, diyotlar üzerinden akarak paneli devreden çıkarır. Ancak bu durumda dizinin karakteristik eğrisinin karmaşıklığı artmakta ve birden fazla tepe değeri oluşmasına neden olmaktadır (Gümüş & Demirtaş, 2020).

Tepe noktalarının seviyesindeki artış güneş ışınlarının değişkenliği ve gölgelenmenin karmaşıklığı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Burada panelin çıkışındaki güç eğrisindeki birden fazla eğriden, en yüksek güç değerinin olduğu tepe değeri global tepe değeri iken diğer tepeler lokal tepe değeri olarak tanımlanabilir. Kısmi gölgelenme çalışmalarında yapılan MPPT çalışmalarının en büyük problemi, algoritmaların yerel maksimum değerinde takılmasından dolayı global maksimum değeri bulamamasıdır.



Şekil 4.4. (a) Güç-Gerilim Eğrisi

Şekil 4.4. (b) Akım-Gerilim Eğrisi

Sabit güneş ışınımı değerleri altında bütün algoritmalar yüksek verimde çalışabilirken, kısmi gölgeleme şartları altında çalışan algoritmaların daha akıllı ve bu tepe noktalarını ayırt etmesi gerekmektedir. Bu yüzden de literatürde klasik algoritmaların bu ışınım şartları altında çok başarılı sonuçlar vermediği görülmüştür.

## 5. MODELLEME ÇALIŞMALARI

Çalışmalar Matlab/Simulink ortamında simülasyon olarak yapılmıştır. PV panelin MPPT tasarımı için yapılan çalışmada 83 W'lık PV panel, 72 W'lık yükselten dönüştürücü, 8Ω'luk yük ve MPPT denetleyeci devresi kurulmuştur. 83W'lık PV panel 72W'lık yükselten dönüştürücü ile sürülmüştür. Dönüştürücü ise yük ile bağlanıp, MPPT denetleyici ile Duty Cycle kontrolü yapılmıştır.

### 5.1. Şebekeden Bağımsız Fotovoltaik Sistem Tasarımı ve Modellenmesi

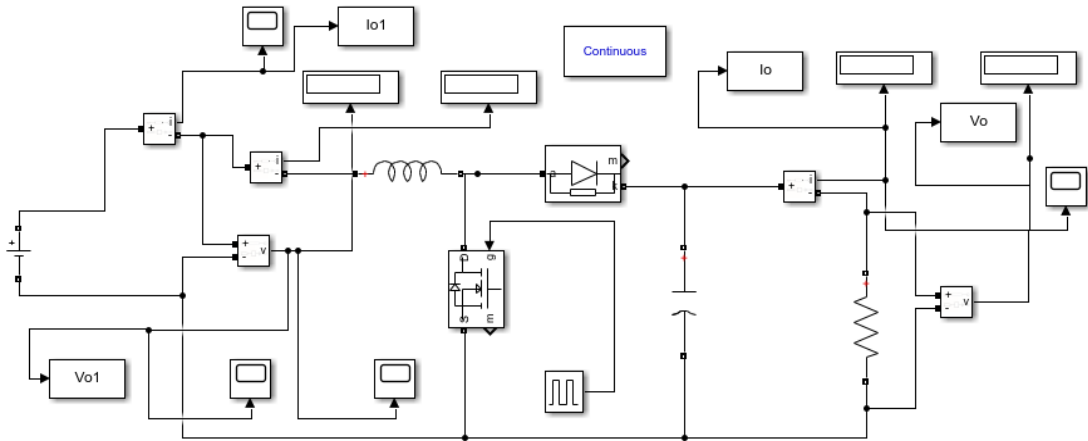
Fotovoltaik panel olarak, Matlab R2019b kütüphanesinden, parametreleri Tablo 5.1'de verilen CertainTeed Apollo seçilmiştir. Tablo 5.1 güneş ışınımının 1000 W/m<sup>2</sup> değeri içindir.

Tablo 5.1. 83 W'lık Fotovoltaik Panelin Değerleri

Açık Devre Gerilimi ( $V_{oc}$ )	13,92 V
Kısa Devre Akımı ( $I_{sc}$ )	8,07 A
Modül Başına Hücre	14
Maksimum Güç Noktası Gerilimi ( $V_{max}$ )	10,86 V
Maksimum Güç Noktası Akımı ( $I_{max}$ )	7,65 A
Paralel Direnç ( $R_{sh}$ )	98,9408
Seri Direnç ( $R_s$ )	0,11486
Diyot Doyma Akımı ( $I_0$ )	$2,7581 \times 10^{-9}$
Diyot İdeallik Faktörü	1,0037

Çalışmada kullanılan 72 W'lık yükselten devrenin parametre değerleri bulunurken aşağıdaki hesaplamalar kullanılmıştır.

$$\frac{V_0}{V_{in}} = \frac{1}{1-D} \quad (5.1)$$



Şekil 5.1. 72 W'lık Yükselten Dönüştürücü Devresi

Eşitlik 5.1’de verildiği gibi çıkış gerilimi Duty Cycle değeri ile ters orantılı olarak çalışmaktadır.

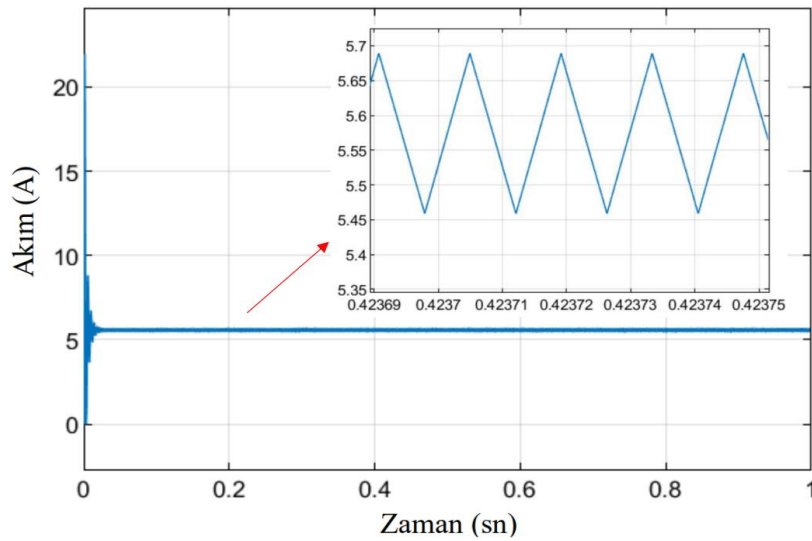
Tablo 5.2. Yükselten Dönüştürücü Devresi Parametre Değerleri

$V_{in}$	12 V
$I_{in}$	5,616 A
C	$330 \times 10^{-6}$ F
L	$339 \times 10^{-6}$ H
$f_s$	70 kHz
D	0,495
$V_{out}$	22,46 V
$I_{out}$	2,802 A

Yükselten dönüştürücüde kullanılacak olan L hesaplanırken Eşitlik 5.2 kullanılır (Mohammed, vd., 2014). L değeri giriş gerilimi ile doğru orantılı çalışırken frekans ve giriş akımının dalgalanması ile ters orantılı olarak çalışmaktadır.

$$L = \frac{V_{in} \cdot D}{f_s \cdot \Delta I_L} \quad (5.2)$$

Şekil 5.2 giriş akımının dalganma grafiğidir.  $\Delta I_L$  akımın dalganma değeri, giriş akımının maksimum değeri ile minimum değeri arasındaki farktır. Akımın dalgalanma oranı 0,25 A olmaktadır. Bobinin hesaplanması için gerekli veriler Tablo 5.2’de verilmiştir. Bu değerler ile hesaplanan endüktansın değeri  $339 \times 10^{-6}$  H gelecektir.

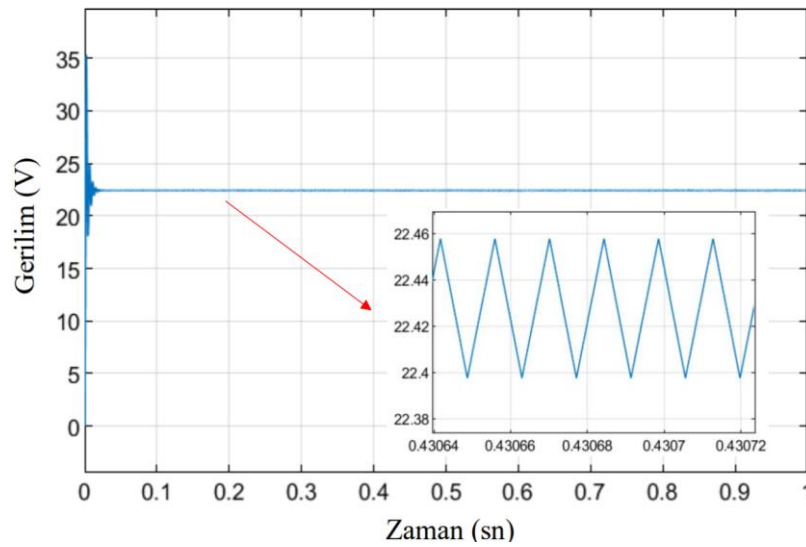


Şekil 5.2. Yükselten Dönüştürücü Giriş Akımı Grafiği

Yükselten dönüştürücü devresinin çıkış tarafındaki kondansatör hesaplaması eşitlik 5.3'te verilmiştir (Mohammed, vd., 2014). Bu hesaplamada kondansatör değeri çıkış akımı, frekans ve giriş akımının dalgalanma değeri büyüklüğüne göre değişmektedir.

$$C = \frac{I_{out}}{f_s \Delta V_0} D \quad (5.3)$$

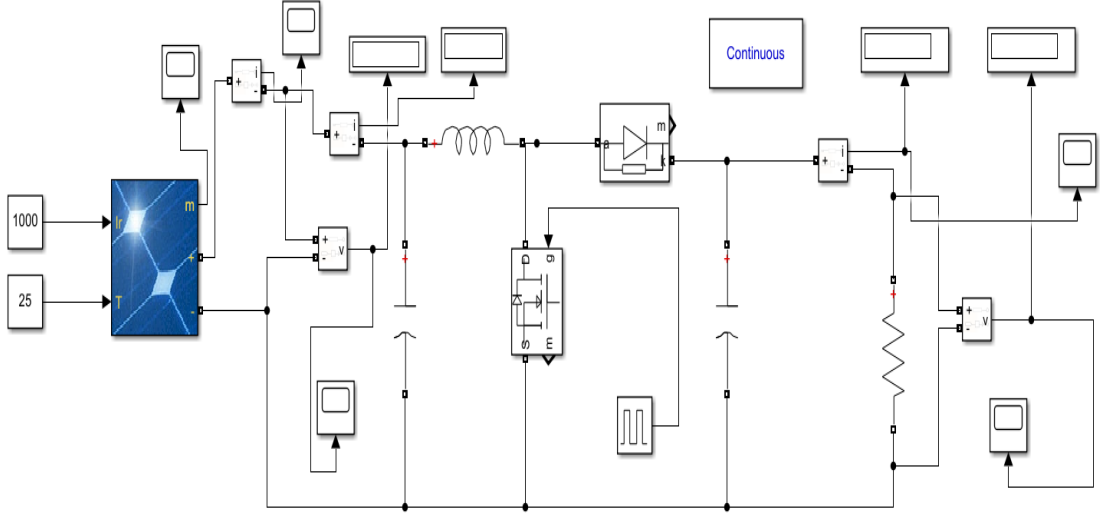
$\Delta V_0$  değeri çıkış gerilimi üzerindeki dalgalanma değeridir. Şekil 5.3'e göre  $\Delta V_0$  değeri çıkıştaki maksimum gerilim olan 22,46 V ile minimum değeri olan 22,40 V arasındaki fark olan 0,06 V'tur.



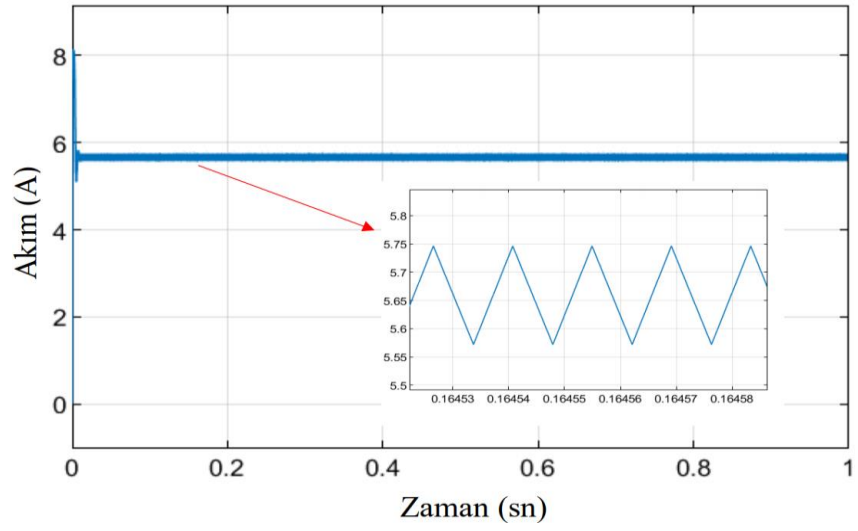
Şekil 5.3. Yükselten Dönüştürücü Çıkış Gerilimi Grafiği

Yapılan kondansatör ve bobin hesaplamaları, giriş geriliminin sabit bir değeri için yapılan hesaplamalardır. Çalışmada giriş gerilimi fotovoltaik paneldir ve Yükselten dönüştürücü ile beraber kullanıldığında gerilimin değeri sabit olmamaktadır. Bu yüzden de yükselten devresinin girişine PV panelden dolayı oluşabilecek gerilim dalgalanmasını önlemek için kondansatör bağlanmıştır.

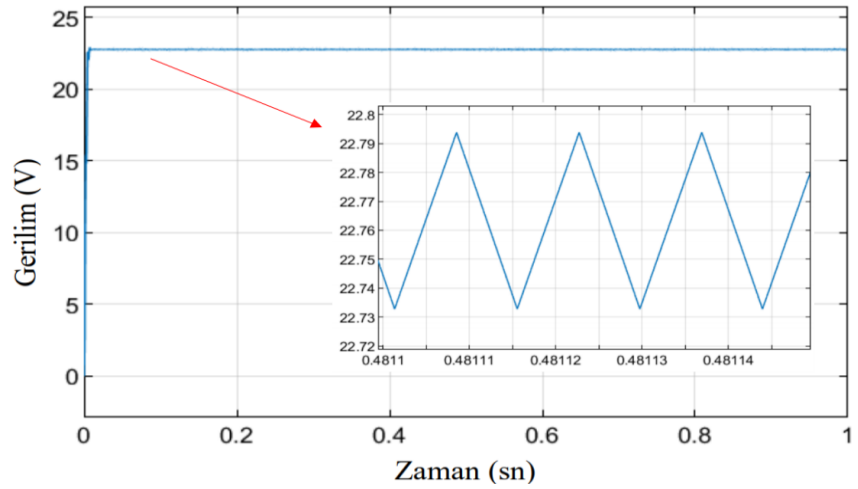
PV panelin çıkışına kondansatörün bağlanmasından sonra L ve C değerlerinin Eşitlik 5.2 ve 5.3'teki hesaplama değerlerine uygunluğu Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'te görülmüştür. PV panelin çıkışına kondansatörün bağlanması, PV panel ve Yükselten Dönüştürücü devresi Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4. PV Panel ile Yükselten Dönüştürücü Devresi



Şekil 5.5. Yükselten Dönüştürücü Devresinin Giriş Akımı Dalgalanması



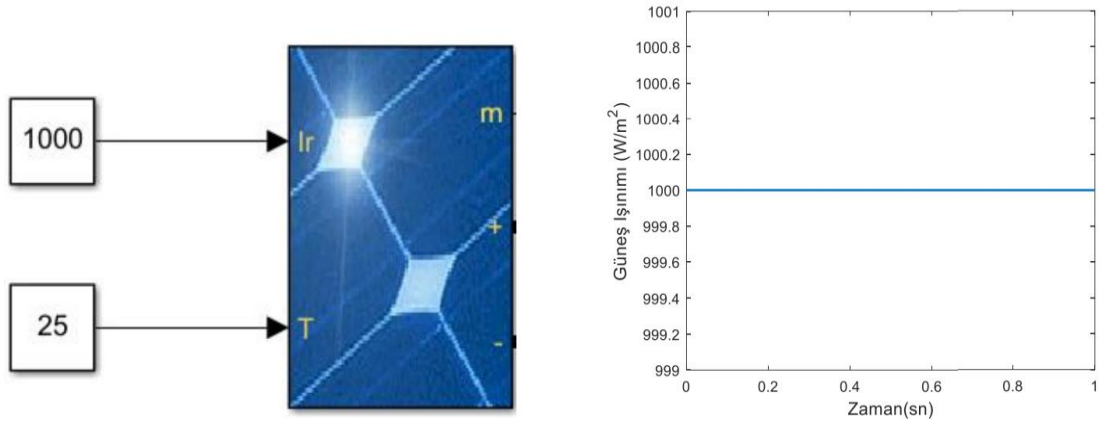
Şekil 5.6. PV Panel ile Yükselten Dönüştürücü Çıkış Gerilimi Grafiği

83 W'lık fotovoltaik panele gelen ışınım değerlerinin değişmesi durumunda Yükselten Dönüştürücü devresinin Duty Cycle değerinin değişmesi ve  $P_{max}$  değerini yakalaması için MPPT denetleyici eklenmiştir. Eklenen MPPT denetleyici devresi klasik P&O ve sezgisel PSO algoritmaları ile gerçekleştirilmiş ve bu algoritmaların MPP'ye ulaşamadığı durumlar olduğu görülmüş ve bu yüzden de yazılımsal geliştirmeler yapılmıştır.

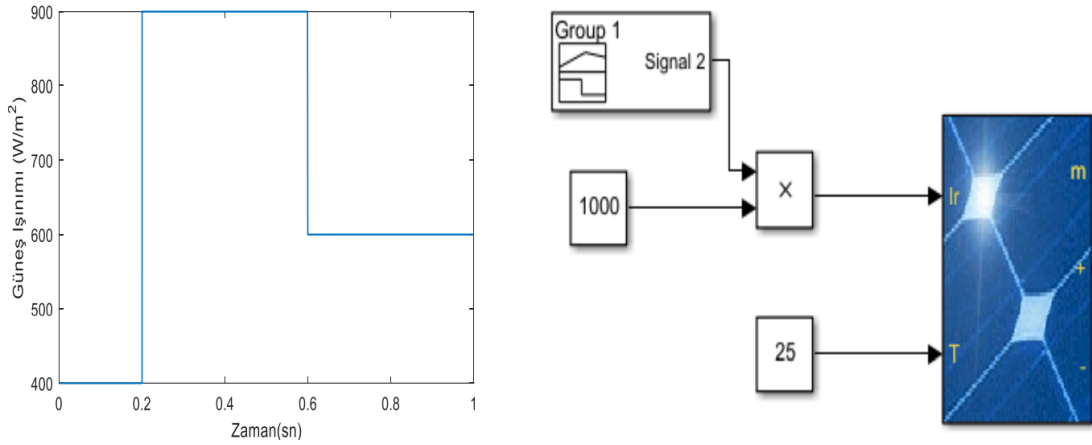
## 5.2. Güneşlenme Durumlarının Tasarımı ve Modellenmesi

Çalışma, Şekil 5.7'de verilen sabit güneş ışınımı, Şekil 5.8'deki değişken güneş ışınımı ve Şekil 5.9'de gösterilmiş olan kısmi gölgelenme için toplamda 3 duruma göre yapılmıştır. Sabit güneş ışınımı için tüm zaman aralıklarında güneş ışınımı değeri sabit bir değerdedir. Değişken güneş ışınımında ise güneş ışınımı farklı zamanlarda farklı değerler almıştır. Kısmi gölgelenme durumunda ise 4x4 güneş panelinde, seçilen panellere gölge gelme durumuna bakılmış ve güneş ışınımı değerleri farklı verilmiştir.

Şekil 5.7'de sabit güneş ışınımı için Matlab/Simulink'te yapılan çalışma verilmiştir. Şekil 5.8'de ise değişken güneş ışınımı için yapılan çalışma verilmiştir. Burada  $1000 \text{ W/m}^2$ 'lik sabit güneş ışınımı "Signal 2" olarak verilen Signal Builder ile çarpılarak Şekil 5.8 oluşturulmuştur. Oluşturulan güneş ışınımı devreye verilmiştir. Şekil 5.9'da ise kısmi gölgelenme durumu için yapılan bir model verilmiştir.



Şekil 5.7. Güneş Işınımının Sabit Gelmesi



Şekil 5.8. Güneş Işınımının Değişken Olması

800	850	900	1000
600	800	850	900
500	600	800	850
400	500	600	800

Şekil 5.9. PV Panelin Kısmi Gölgelemesi

### 5.3. P&O Algoritması ile MPPT Tasarımı

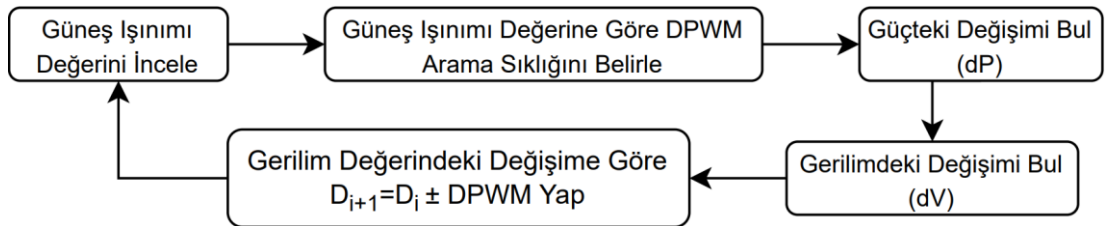
Sabit  $1000 \text{ W/m}^2$  güneş ışınımı şartları altında çalışan klasik P&O algoritması için en ideal DPWM değeri ayarlandığında panelin MPP'sinin bulunması çok kısa bir süre almış ve kararlı bir durum sergilemiştir. PWM değeri P&O algoritmasının arama sıklığını belirlemekte olup, DPWM değerinin büyüklüğüne göre Duty Cycle arama alanını genişletmektedir.

Önerilen sistemde güneş ışınımının  $1000 \text{ W/m}^2$  durumu için MPP'deki Duty Cycle değeri 0,605'dir. Klasik P&O algoritmasının DPWM arama sıklığının 0,000086 olması durumunda klasik P&O algoritması çok kısa sürede MPP'e ulaşabilmektedir. Duty Cycle'm  $0,605 \pm 0,000086$  değerlerinde maksimum güç değerinde büyük farklılıklar meydana gelmemektedir. Bu yüzden de P&O algoritması bu değerler etrafında arama yaptığında maksimum güç değerinde bir değişim meydana gelmemektedir. Güneş ışınımının  $900 \text{ W/m}^2$  değeri için MPP'deki Duty Cycle değeri 0,576'dir. Duty Cycle'm  $0,576 \pm 0,000086$  değerlerinde maksimum güç değerinde

büyük farklılıklar meydana gelmemektedir ancak MPP'yi bulma süresi uzamaktadır. Güneş ışınımının  $600 \text{ W/m}^2$  değeri için MPP'deki Duty Cycle değeri 0,474'tür. Duty Cycle'ın  $0,474 \pm 0,000086$  değerlerinde maksimum güç değerinde farklılıklar meydana gelmekte ve klasik P&O algoritması MPP'yi bulma sorunları yaşamaktadır. Güneş ışınımının azalmasıyla beraber MPP'nin bulunma süresi çok daha uzun zaman almaktadır. Güneş ışınımının daha da düşmesiyle beraber klasik P&O algoritmasının MPPT yapamadığı ve MPPT yaptığı ışınımlarda takip hızının çok büyük değerler aldığı görülmüştür.

Duty Cycle değerinin aranması için gerekli DPWM değerinin 0,000001 olması durumunda ise güneş ışınımının çok küçük değerlerinde ( $100\text{-}300 \text{ W/m}^2$ ) MPP'yi çok hızlı bir şekilde bulduğu görülmüştür. Ancak bu durumda da güneş ışınımının üst değerlerinde ( $700\text{-}800 \text{ W/m}^2$ ) arama sıklığı değerlerinin küçük olmasından taramayı küçük Duty Cycle değerleri etrafında yaptığından dolayı tepe değerine ulaşamamaktadır.

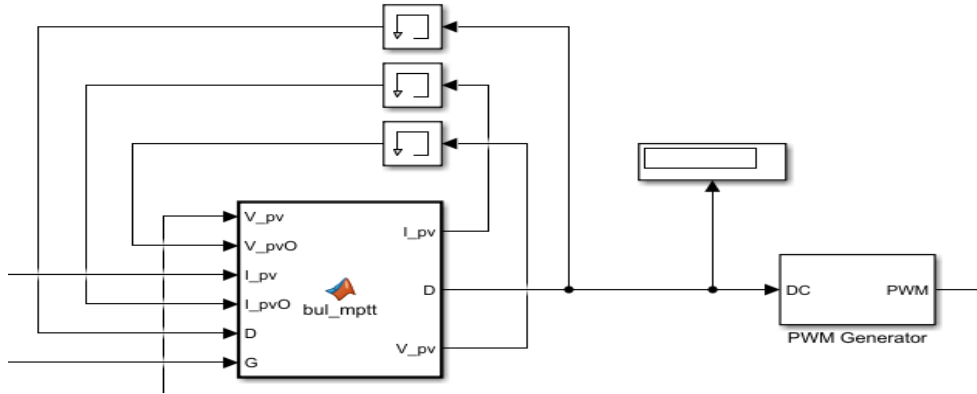
Bölüm 3.3.5.1'de bahsedilen hatalardan dolayı P&O algoritmasında DPWM ve güneş ışınımı değerlerine göre fotovoltaik panelin optimum çalışma noktalarının değiştiği gözlemlenmiştir. Bu yüzden de klasik P&O algoritmasının geliştirilmesi önerilmiştir. Önerilen yöntemde fotovoltaik panele gelen güneş ışınımı tespit edilip bu güneş ışınımına göre DPWM arama sıklığı belirlenmiştir. Geliştirilen yöntemin akış diyagramı Şekil 5.10'da verilmiştir.



Şekil 5.10. Geliştirilmiş P&O Algoritması Akış Şeması

Şekil 5.11' de klasik P&O'nun algoritması için yapılan devre şeması verilmiştir. Verilen devre şemasında G güneş ışınımının o anki güneş ışınımı değeri belirlenir, bu değer MPPT denetleyicinin girişine verilir. Belirlenen güneş ışınımına göre DPWM arama sıklığı bulunur. Fotovoltaik panelden gelen akım ve gerilim değerleri MPPT denetleyicine giriş değeri olarak verilir ve güç değeri bulunur. Bulunan güç değeri  $V_{pv}$  ve  $I_{pv}$  ile Duty Cycle değeri geri besleme yapılarak bir önceki güç değeri ile karşılaştırılır ve en uygun Duty Cycle değerini arar. Karşılaştırılan gücün sıfırdan

büyük ya da küçük olma durumuna göre  $D_{yeni} = D_{önceki} \pm DPWM$  bulunur. Bu yöntem sürekli devam ederek küresel maksimum değeri bulunur. MPPT denetleyicisinin çıkışından elde edilen Duty Cycle değeri PWM'e dönüştürülerek yükselten dönüştürücünün anahtarlama elemanına uygulanır.



Şekil 5.11. Geliştirilmiş P&O Algoritması MPPT Denetleyici

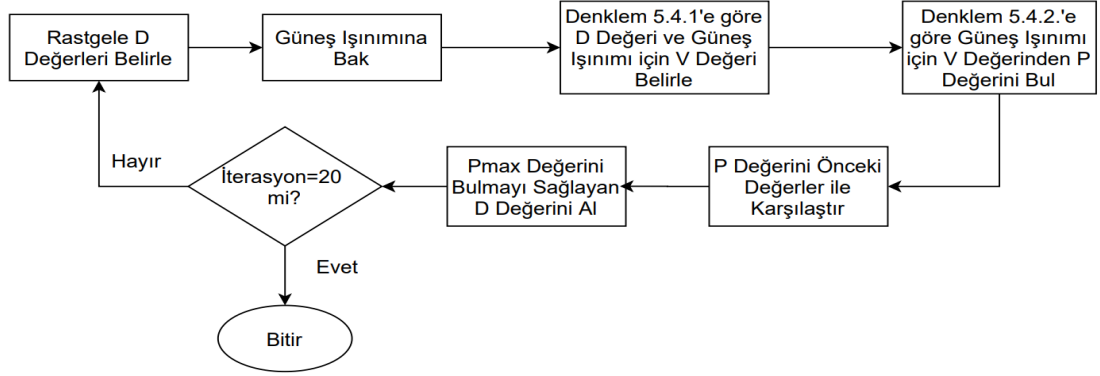
Yapılan çalışmada P&O geliştirilmesi ile P&O'nun bütün güneş ışınımı değerleri için maksimum güce ulaştığı, oturma zamanının daha hızlı olduğu ancak yazılımsal olarak geliştirilmesinden dolayı çalışma süresinin uzadığı görülmüştür.

#### 5.4. PSO Algoritması ile MPPT Tasarımı

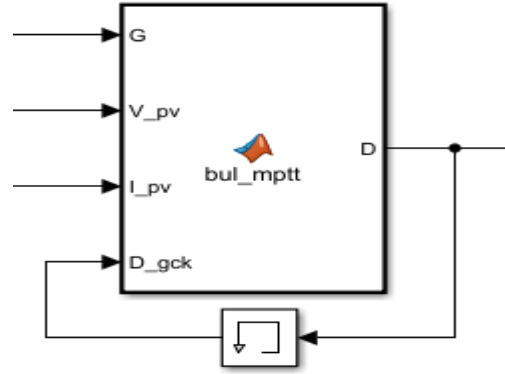
Bu çalışmada, sezgisel PSO algoritmasının yazılımında Duty Cycle değerleri belirlenirken rastgele değerler atanıp buna göre sistemin çalışması gerekirken çalışmanın performans düşüklüğünden dolayı Şekil 5.12'de belirtilen akış şemasına göre düzenlenmiştir. Buna göre, algoritma ilk çalıştığında Duty Cycle değerleri rastgele belirlenmiştir. Bu değerler her bir güneş ışınımı için ayrı ayrı bulunmuş olan Eşitlik 5.4'de Duty Cycle-Gerilim değerine atanarak uygulanan değer için V değeri hesaplanır ve hulan V değerine göre P değeri bulunur (Eşitlik 5.5). Bulunan P değeri bir önceki rastgele atanmış olan Duty Cycle değerleri ile karşılaştırılarak bir önceki tüm P değerlerinden daha iyi bir sonuç var mı diye karşılaştırılır. Daha iyi bir sonuç veren Duty Cycle değeri varsa alınır ve hafızada tutulur. Bu işlemler her çalışmada 20 iterasyon tekrarı ile yapılmaktadır.

Sistem şeması Şekil 5.13'de gösterilen sezgisel PSO yönteminde Güneş Işınımı değeri denetleyiciye gelir ve çalışma bölgesi belirlenir. Duty Cycle değeri geri besleme yapılarak bir önceki değerini hafızada tutar ve bir sonraki değer ile karşılaştırır, böylece hangi değer daha iyi olduğuna karar verir. Bu işlemler devam ederek 20

iterasyon sonra işlemini sonlandırır.



Şekil 5.12. PSO Algoritması Akış Şeması



Şekil 5.13. PSO Algoritması MPPT Denetleyici

Örnek olarak,  $900 \text{ W/m}^2$  ve  $1000 \text{ W/m}^2$  için yapılan geliştirme çalışması aşağıda verilmiştir. Bunun için ilk olarak Tablo 5.3'de güneş ışınımının  $900 \text{ W/m}^2$ 'de Duty Cycle değerine karşılık gelen  $V_{pv}$  değerine göre Matlab'ta bir eğri uydurma (Curve Fitting) uygulanmış ve elde edilen denklem eşitlik 5.4'de verilmiştir. Bu eşitlik ile artık istenen D değeri için gerilim elde edilebilmektedir.

$$V = -1560D^7 + 4721D^6 - 5211D^5 + 2553D^4 - 556,4D^3 + 41,64D^2 - 1,082D + 13,42 \quad (5.4)$$

Güneş ışınımının diğer değerleri (1000, 800, 700, 600, 500, 400, 300 ) için de Tablo 5.4'de görüldüğü gibi matematiksel modeller çıkarılmış ve sezgisel PSO algoritmasına eklenmiştir.

Tablo 5.3. (a) Tek panel 900 W/m<sup>2</sup> için D-V (b) 1000 W/m<sup>2</sup> için P-V değerleri

Duty Cycle	Gerilim (V)
0,001	13,43
0,01	13,42
0,05	13,38
0,1	13,32
0,15	13,26
0,20	13,18
0,25	13,09
0,30	12,97
0,35	12,82
0,40	12,63
0,45	12,37
0,50	11,98
0,52	11,77
0,54	11,51
0,56	11,15
0,58	10,66
0,60	9,968
0,62	9,15
0,64	8,31
0,65	7,902
0,70	6,014
0,75	4,404
0,80	3,088
0,85	2,062
0,90	1,323
0,95	0,8833
0,99	0,733

Güç (W)	Gerilim (V)
4,136	0,508
8,445	1,037
12,52	1,539
22,26	2,738
32,65	4,02
36,03	4,438
40,54	4,995
48,64	6,000
53,36	6,584
60,99	7,532
69,23	8,565
72,72	9,013
77,3	9,634
79,72	10,01
82,03	10,48
83,11	10,86
82,61	11,03
80,6	11,43
75,84	11,83
70,3	12,12
62,59	12,43
60,16	12,51
52,44	12,75
42,57	13,02
35,05	13,2
20,32	13,52
0	13,92

Tablo 5.4. Güneş Işınımının 300-1000 W/m<sup>2</sup> değerleri için D-V Katsayıları

D/G	1000	800	700	600	500	400	300
D <sup>7</sup>	-2242	-803	264,9	1061	1696	1154	-440,3
D <sup>6</sup>	7246	2001	-1695	-4340	-6143	-3796	1889
D <sup>5</sup>	8868	-1427	3512	6840	8596	4648	3228
D <sup>4</sup>	5152	0,92	-3188	5145	5741	-2515	2750
D <sup>3</sup>	-1490	301,5	1322	1859	1834	535,4	-1158
D <sup>2</sup>	199,2	-91,58	-242,6	304,7	-265,6	-36,39	188,2
D <sup>1</sup>	-11,06	6,343	14,37	16,37	12,08	-2,285	-12,88
D <sup>0</sup>	13,59	13,28	13,14	13	12,89	12,78	12,5

1000 W/m<sup>2</sup> için de V<sub>pv</sub> karşılık gelen P<sub>pv</sub> değerine göre Matlab'ta bir eğri uydurma (Curve Fitting) uygulanmış ve elde edilen denklem Eşitlik 5.5'de verilmiştir. Bu eşitlik ile artık istenen V değeri için güç değeri elde edilebilmektedir.

$$P = -0,002603V^5 + 0,006034V^4 - 0,04774V^3 + 1,489V^2 + 6,536V + 0,3725 \quad (5.5)$$

Güneş ışınımının diğer değerleri (900, 800, 700, 600, 500, 400, 300, 200 W/m<sup>2</sup>) için de matematiksel modellemeleri çıkarılmış ve sezgisel PSO algoritmasının yazılımına eklenmiştir.

Tablo 5.5. Güneş Işınımının 600-900 W/m<sup>2</sup> değerleri için P-V Katsayıları

V/G	900	800	700	600
V <sup>5</sup>	-0,003078	-0,003256	-0,003789	-0,003732
V <sup>4</sup>	0,07811	0,08414	0,1052	0,1053
V <sup>3</sup>	-0,7046	-0,7587	-1,047	-1,066
V <sup>2</sup>	2,707	2,781	4,455	4,62
V <sup>1</sup>	3,148	2,9	-1,819	-3,05
V <sup>0</sup>	1,862	0,8137	3,456	3,686

Tablo 5.6. Güneş Işınımının 200-500 W/m<sup>2</sup> değerleri için P-V Katsayıları

V/G	500	400	300	200
V <sup>6</sup>	-0,0003577	-0,0004055	-0,0004284	-0,0003472
V <sup>5</sup>	0,01144	0,01362	0,01481	0,1198
V <sup>4</sup>	-0,1389	-0,1754	-0,1965	-0,1591
V <sup>3</sup>	0,7948	1,08	1,252	1,017
V <sup>2</sup>	-2,161	-3,241	-3,902	-3,192
V <sup>1</sup>	6,494	7,511	7,794	6,065
V <sup>0</sup>	0,7068	-1,753	-2,335	-1,969

PSO algoritmasının yazılımsal olarak gerçekleştirilmesinde Duty Cycle değerleri ile yapılan ilk çalışmada GMMP noktasına ulaşamadığı, rastgele dağıtılan

Duty Cycle değerlerinden en iyi sonuca ulaşan Duty Cycle değerini elde edemediğinden yazılımsal olarak PSO yöntemi geliştirilmesi hedeflenmiştir. Bu yüzden de rastgele verilmiş olan Duty Cycle değerlerinin simülasyon ile birleştirilerek çıkarılan hesaplama yöntemleri ile en iyi sonucu veren Duty Cycle değeri bulunmuştur. Yapılan hesaplama yöntemlerinin yoğunluğundan dolayı sistemin çalışma süresi oldukça uzamıştır ancak PSO yöntemi bütün ışımada durumları için MPPT yapmayı sağlamış ve verimi %96'nın üzerinde olmuştur.

## 6. ANALİZ VE GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI

Çalışmada, 83 W'lık bir güneş enerjisi sisteminde, klasik P&O ve Sezgisel PSO algoritmalarının;

- a) Sabit güneş ışınımı (Tek panel)
- b) Değişken güneş ışınımı (Tek panel)
- c) Kısmi gölgelenme durumları (4×4=16 panel)

için MPPT performansları analiz edilmiş ve özellikle kısmi gölgelenme durumu için algoritmalarda yazılımsal geliştirmeler yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır.

Algoritma performanslarının detaylı karşılaştırılması için 12 adet standart işletme durumu belirlenmiş ve her bir durum için;

- 1) Sabit güneş ışınımında 3 ara durum
- 2) Değişken güneş ışınımında 3 ara durum
- 3) Kısmi gölgelenme durumunda 6 ara durum ele alınmıştır.

### 6.1. Sabit Güneşlenme Durumunda Sistem Analizi

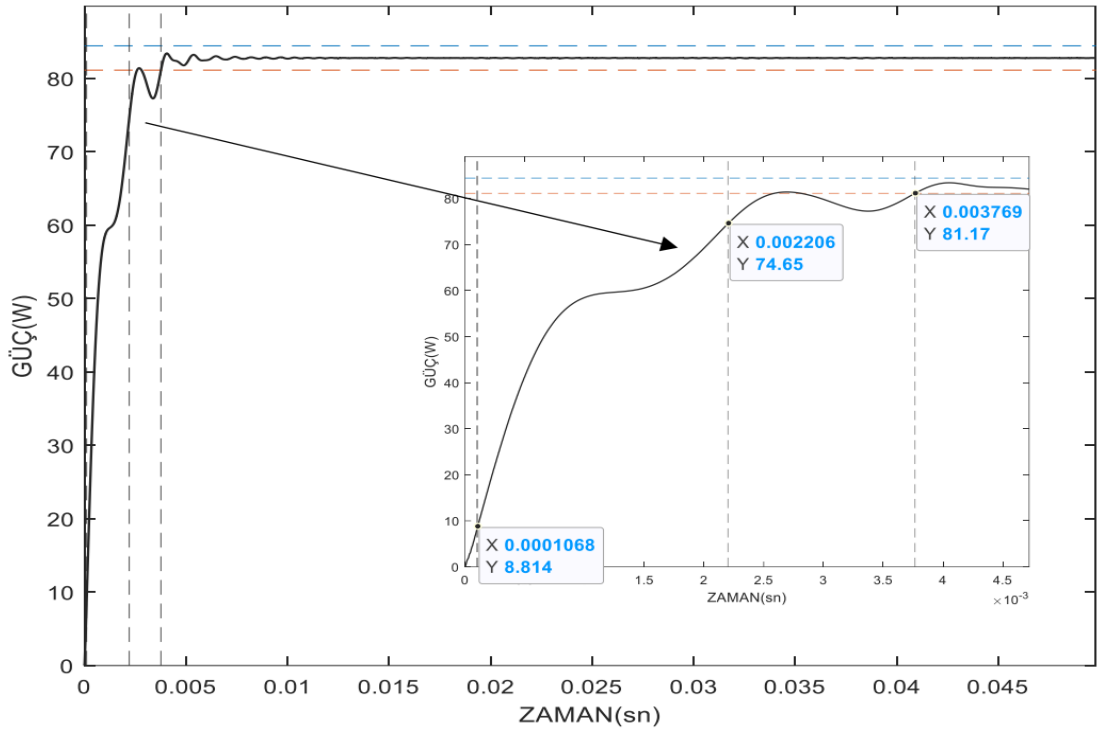
Sabit güneş ışınımı şartları altında 3 ara durum için analiz yapılmış ve geliştirilmiş P&O ve sezgisel PSO algoritmalarının sonuçları karşılaştırılmıştır.

1. **Durum:** Sabit güneş ışınımı 1000W/m<sup>2</sup> ( Standart Test Şartları (STC))
2. **Durum:** Sabit güneş ışınımı 600W/m<sup>2</sup>
3. **Durum:** Sabit güneş ışınımı 300W/m<sup>2</sup>

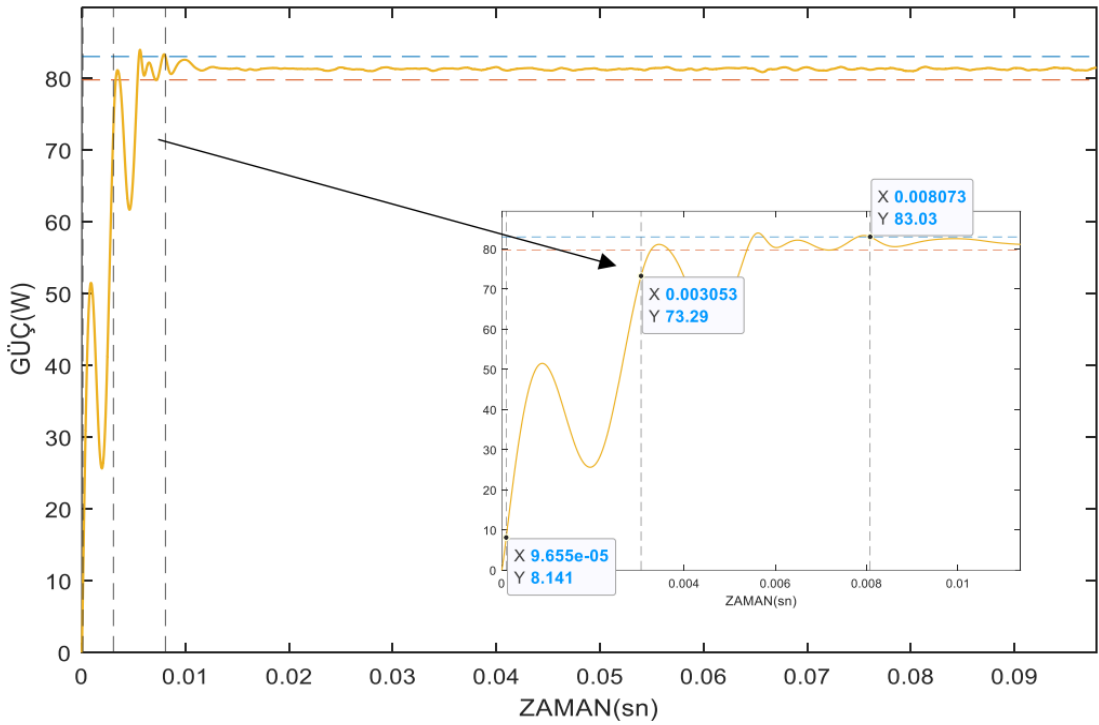
#### 6.1.1. Durum 1 Analizi

Güneş ışınımı değerinin en yüksek değeri 1000 W/m<sup>2</sup> alınmış ve sonrasında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Sabit güneş ışınımı için P&O ve PSO ile yapılan MPPT denetleyicili PV panelin gücünün çıkış grafiği Şekil 6.1. ve Şekil 6.2'de gösterilmiştir.

Çalışmada sürekli durumda P&O için 82,78 W, PSO için 81,4 W güç çıkışı elde edilmiştir. Oturma zamanı ise güç değerinin  $\pm\%2$  aralığındaki değer alınmış, P&O için 0,00377 s, PSO için 0,00807 s değerleri elde edilmiştir. Bu durumda P&O algoritmasının PSO algoritmasına göre hem verim hem de izleme hızı için daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.



Şekil 6.1. Durum 1 P&O Algoritması için Güç Eğrisi

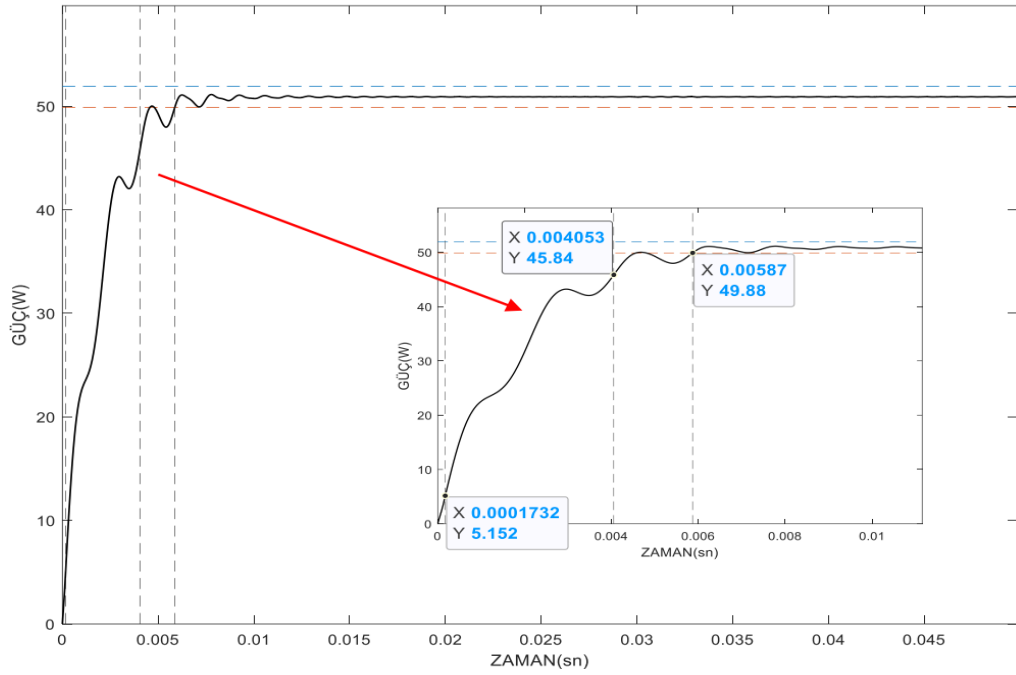


Şekil 6.2. Durum 1 PSO Algoritması için Güç Eğrisi

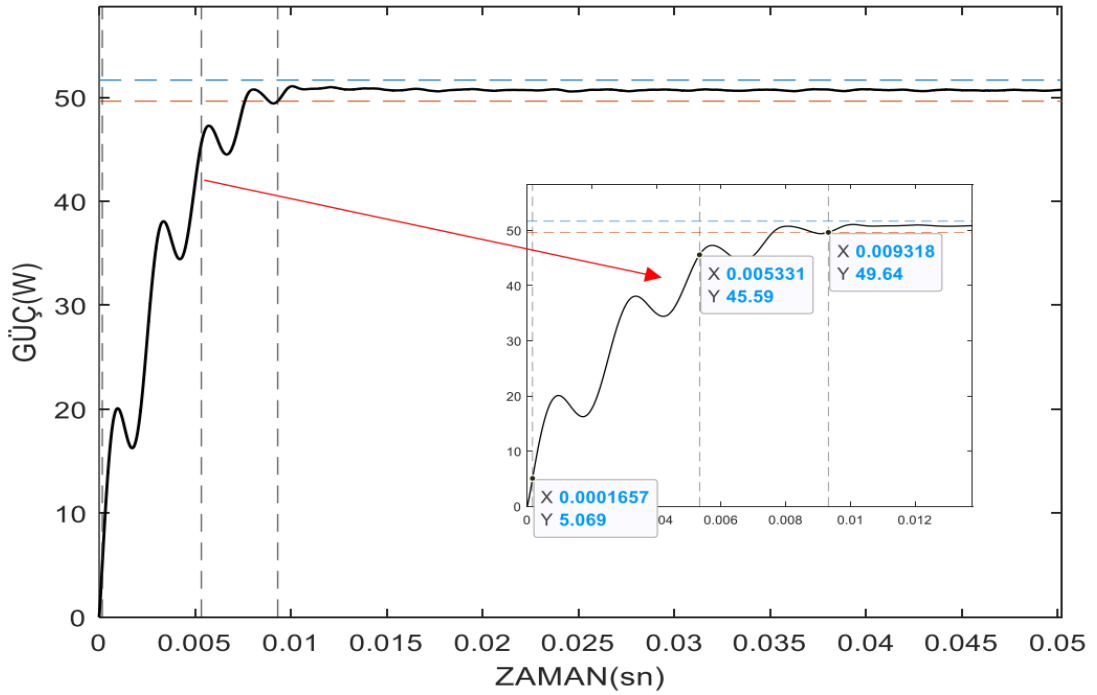
### 6.1.2. Durum 2 Analizi

Güneş ışınımı değeri gün içinde saat 10:00 veya öğleden sonraki saat ise 14:00 düşünülerek anlık olarak orta seviyede bir değeri  $600 \text{ W/m}^2$  alınmış ve güneş ışınımında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Sabit güneş ışınımı için P&O ve

PSO ile yapılan MPPT denetleyicili PV panelin gücünün çıkış grafiği Şekil 6.3 ve Şekil 6.4'deki sonuçlar ile verilmektedir.



Şekil 6.3. Durum 2 P&O Algoritması İçin Güç Eğrisi



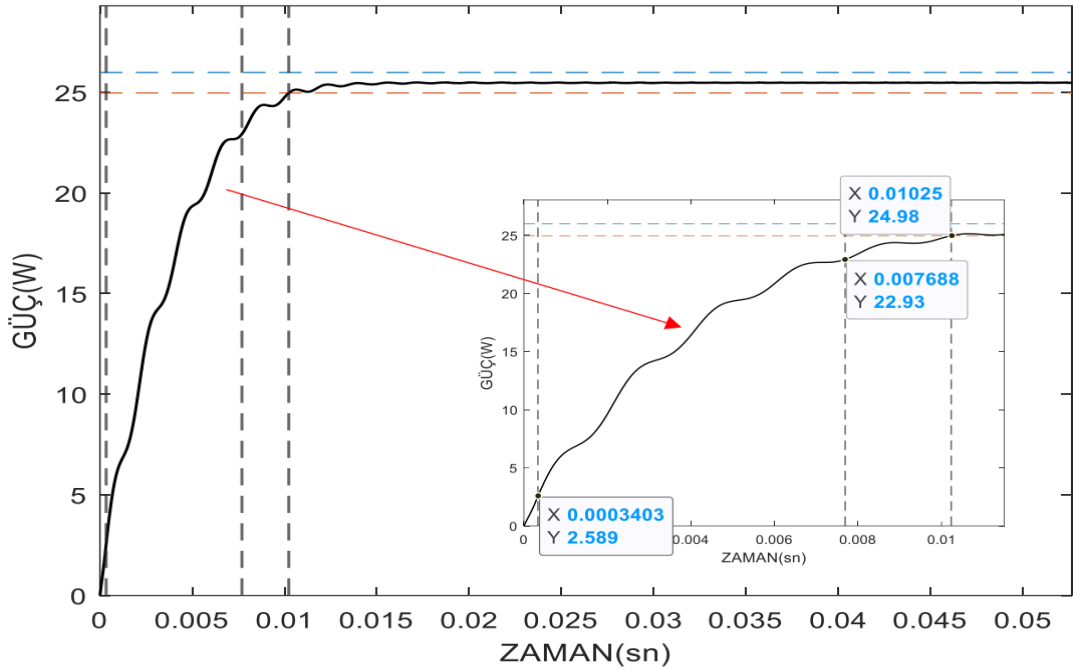
Şekil 6.4. Durum 2 PSO Algoritması İçin Güç Eğrisi

Durum 2 için yapılan çalışmada P&O için 50,89 W, PSO için 50,65 W güç değerleri oluşmuştur. Oturma zamanı ise güç değerinin  $\pm\%2$  aralığındaki değer alınmış P&O için 0,00587 s, PSO için 0,009318 s değerleri elde edilmiştir. Bu

durumda, P&O algoritmasının PSO algoritmasına göre hem verim hem de iyi izleme hızı ile daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

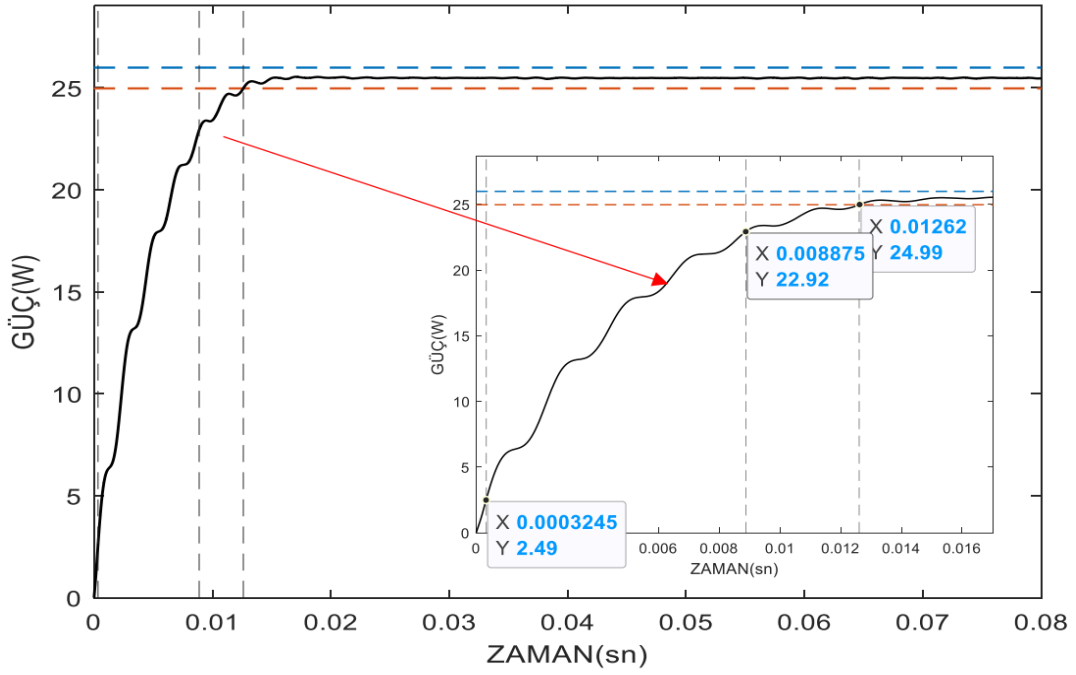
### 6.1.3. Durum 3 Analizi

Güneş ışınımı değeri günün erken saatlerinde ya da gün batımı saatlerindeki güneş ışınımı değeri düşünülerek daha düşük seviyede bir değeri olan  $300 \text{ W/m}^2$  alınmış ve güneş ışınımında herhangi bir değişiklik yapılmamıştır. Sabit güneş ışınımı için P&O ve PSO ile yapılan MPPT denetleyicili PV panelin gücünün çıkış grafiği Şekil 6.5 ve Şekil 6'da gösterilmektedir.



Şekil 6.5. Durum 3 P&O Algoritması İçin Güç Eğrisi

Durum 3 için yapılan çalışmada P&O için 25,48 W, PSO için 25,48 W güç değerleri oluşmuştur. Oturma zamanı ise güç değerinin  $\pm\%2$  aralığına girdiği değer alınmış P&O için 0,01025 s, PSO için 0,0126 s değerleri elde edilmiştir. Bu durumda P&O algoritması ve PSO algoritması aynı verimde, çok yakın bir zamanda oturma aşamasına girmişlerdir.

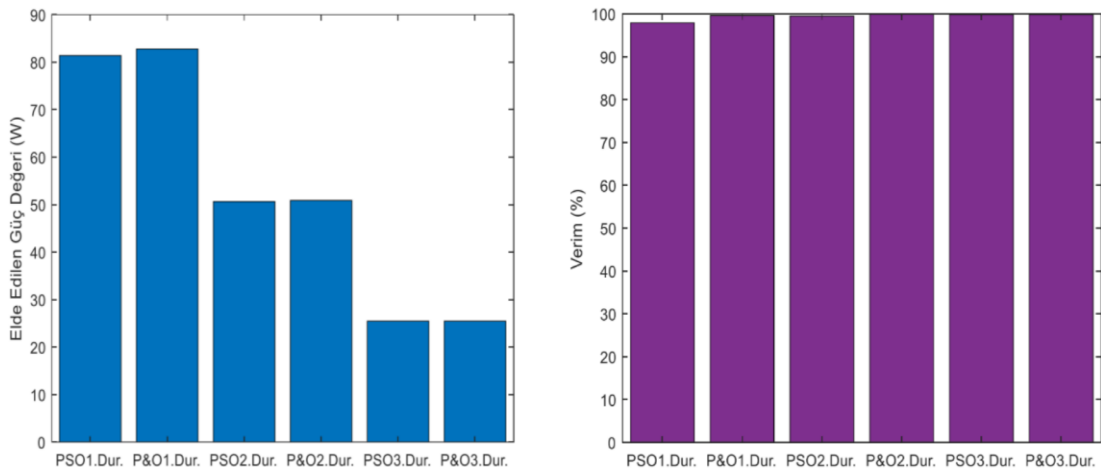


Şekil 6.6. Durum 3 PSO Algoritması İçin Güç Eğrisi

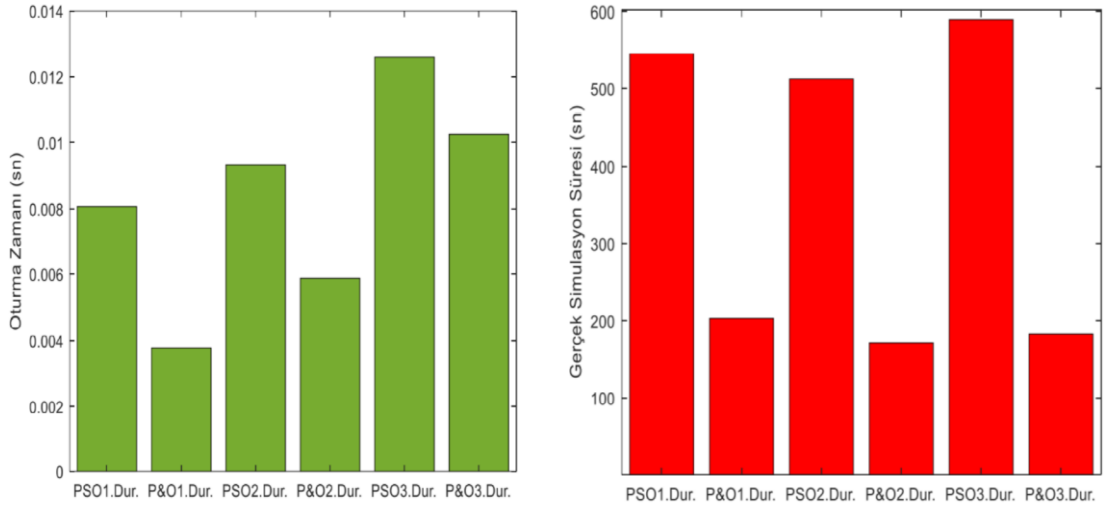
#### 6.1.4. Durum 1-2-3 için Genel Değerlendirme

Tablo 6.1. Sabit Güneş Işımında Sezgisel PSO ve Geliştirilmiş P&O Değerleri

	Durum 1		Durum 2		Durum 3	
	PSO <sub>1000</sub>	P&O <sub>1000</sub>	PSO <sub>600</sub>	P&O <sub>600</sub>	PSO <sub>300</sub>	P&O <sub>300</sub>
Teorik Güç Değeri	83,11	83,11	50,9	50,9	25,51	25,51
Elde Edilen Güç Değeri	81,40	82,78	50,65	50,89	25,48	25,48
Verim (%)	97,9	99,6	99,5	99,9	99,8	99,8
Oturma Zamanı	0,00807	0,00377	0,009318	0,00587	0,0126	0,01025
Yükselme Zamanı	0,00295	0,00298	0,005169	0,00387	0,0086	0,00735
Gerçek Simülasyon Süresi (CPU Time) (sn)	546,10	203,30	514,26	171,54	590,21	183,04



Şekil 6.7. Durum 1-2-3 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri



Şekil 6.8. Durum 1-2-3 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri

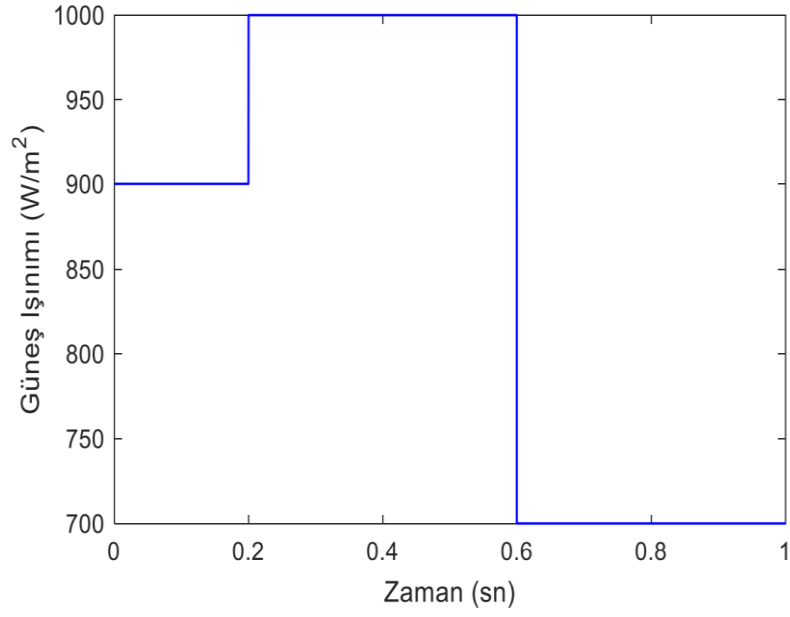
Tablo 6.1’de sabit güneş ışınımı şartlarında algoritmaların sonuç değerleri verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre tek panel tek güneş ışınımı için P&O’nun PSO’ya göre daha kısa sürede daha yüksek güç değerlerine ulaştığı yani daha verimli çalıştığı görülmektedir. Ancak güneş ışınımı değerinin düşmesiyle beraber PSO algoritmasının veriminin P&O algoritmasına yaklaştığı da görülmektedir. P&O algoritmasının PSO algoritmasından daha iyi sonuçlar vermesinin temel sebebi ise, Bölüm 5.3’de yapılan P&O algoritmasının yazılımsal iyileştirmeleridir. Yapılan iyileştirmeler, sabit ışınım şartlarında P&O algoritmasının PSO algoritmasından daha iyi sonuç vermesini sağlamıştır.

## 6.2. Değişken Güneşlenme Durumunda Sistem Analizi

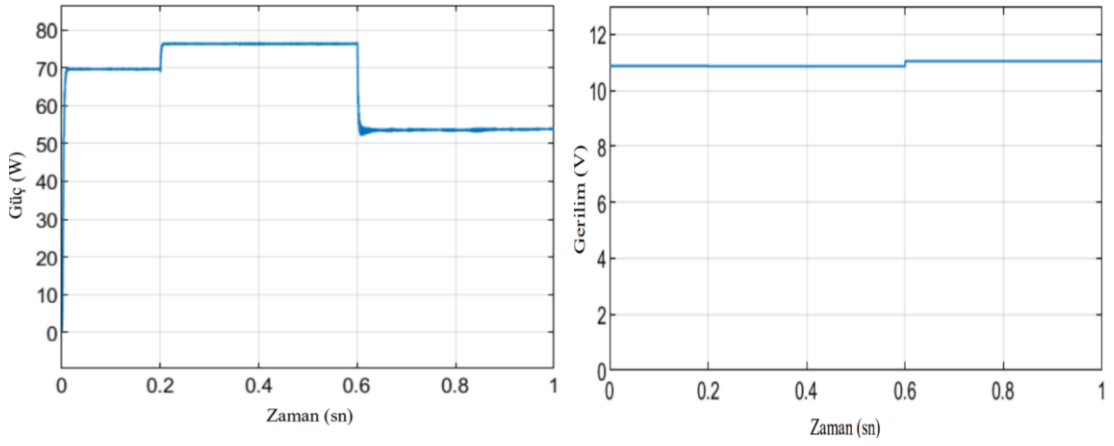
Değişken güneş ışınımı şartları için 3 durum altında çalışma yapılmış ve geliştirilmiş P&O ve sezgisel PSO algoritmaların karşılaştırılması yapılmıştır.

### 6.2.1. Durum 4 Analizi

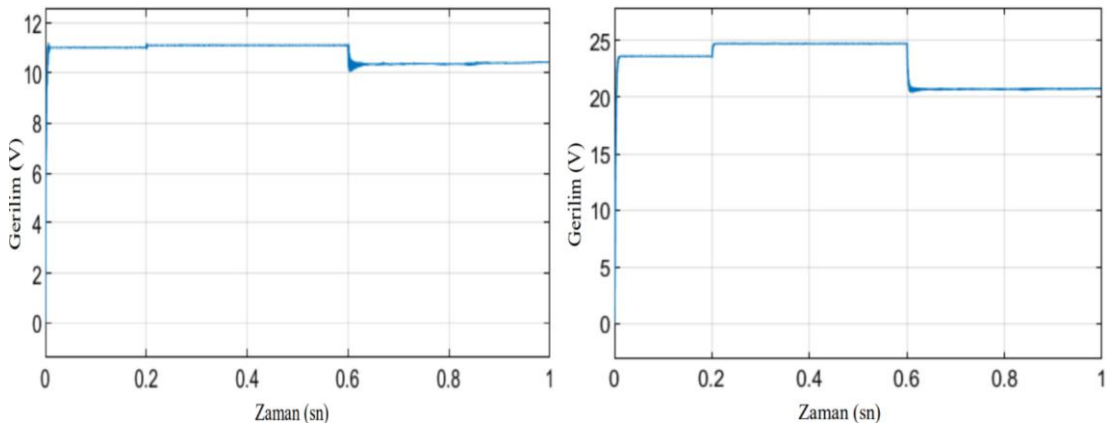
Güneş’in öğle 12:00’den önce ve sonrası düşünülerek ya da ard arda oluşmuş olan bir bulutlanma etkisi hesaba katılmıştır. Güneşin saat 12:00’a kadar ışınım değerinin artacağı ve bu noktada maksimuma ulaşacağı, 12:00’dan sonra geliş açısının ve ışınım değeri düşeceği hesaba katılmıştır. Bulutlanma nedeniyle ard arda geçiş yapan bulutlardan dolayı güneş ışınımı değerinde anlık olarak yükselme ve düşme meydana gelecektir. 1. kısımda küçük bir bulutlanma etkisi var iken 3. kısımda biraz daha yüksek bir bulutlanma etkisi, 2. kısımda ise herhangi bir bulutlanma etkisi gözlemlenmemiştir. Bulutlanma etkisinin panelin tüm yüzeyine eşit dağıldığı varsayılmıştır.



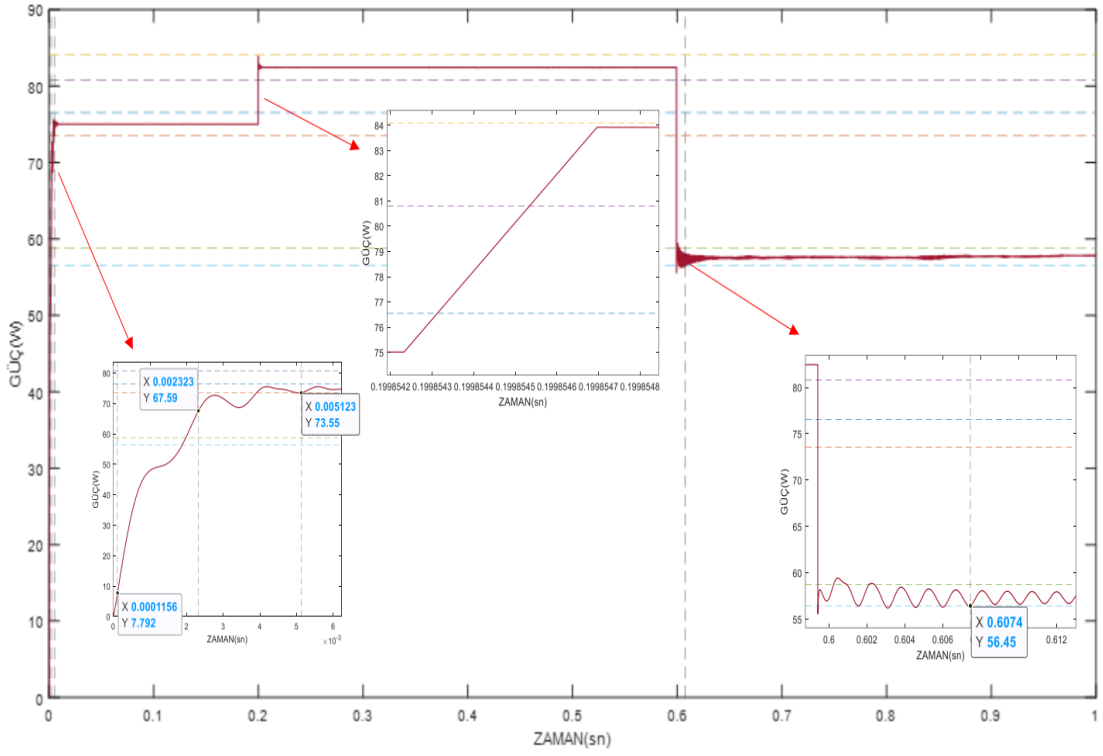
Şekil 6.9. Durum 4 İçin Değişken Güneş Işınımı



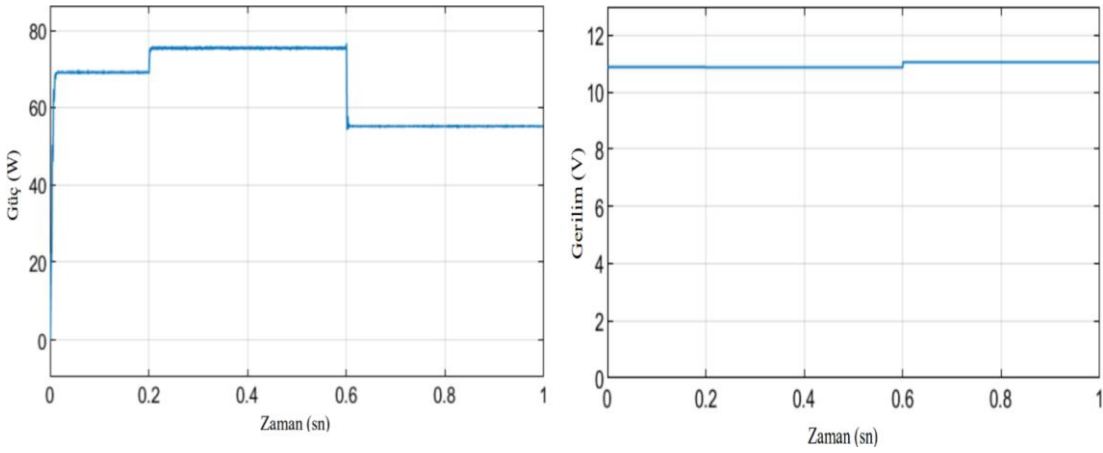
Şekil 6.10. Durum 4 (a) P&O Çıkış Güç Eğrisi (b) Referans Gerilimi Eğrisi



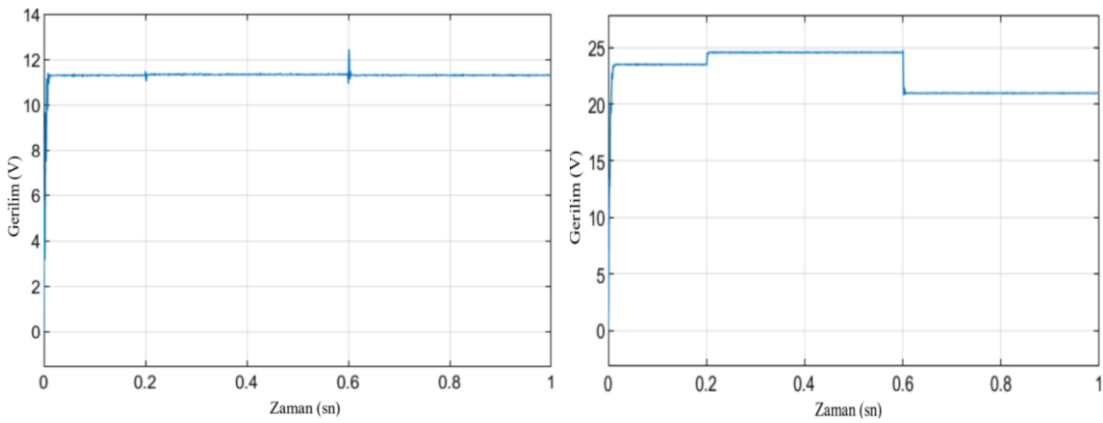
Şekil 6.11. Durum 4 (a) P&O Giriş Gerilimi Eğrisi (b) P&O Çıkış Gerilimi Eğrisi



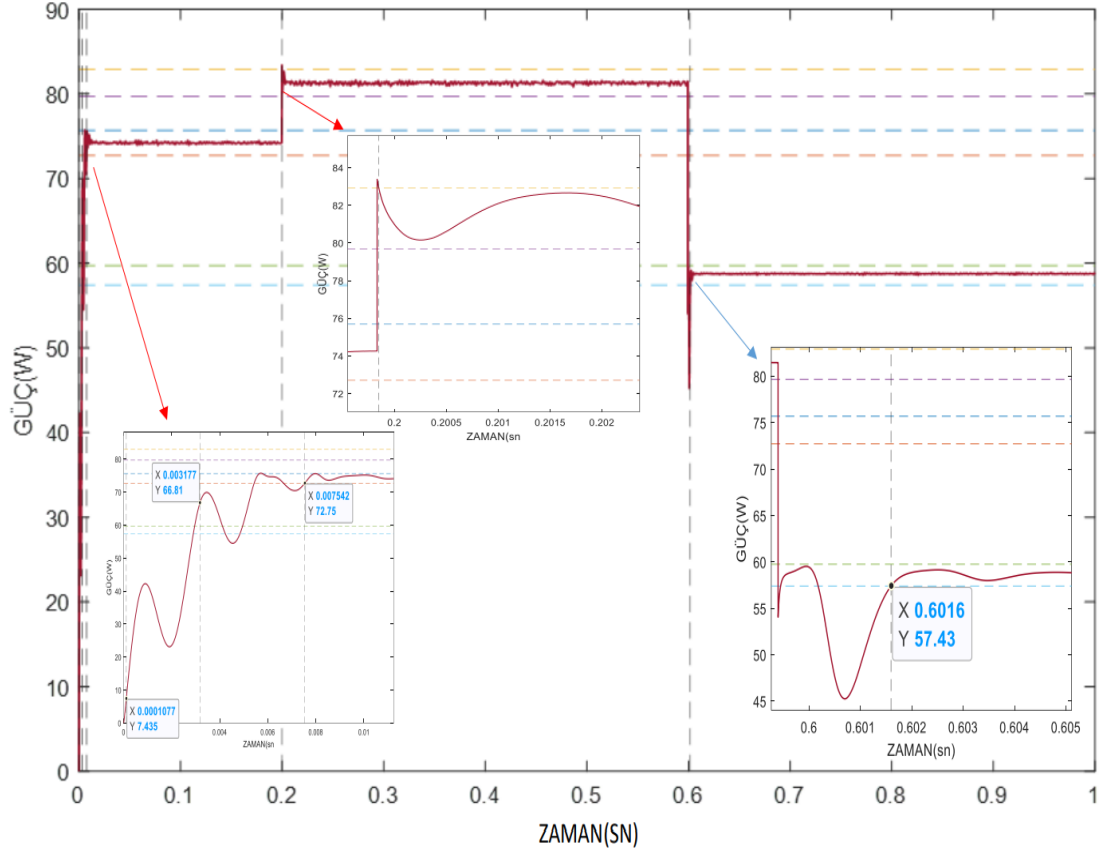
Şekil 6.12. Durum 4 P&O Algoritması İçin Güç Eğrisi



Şekil 6.13. Durum 4 için (a) PSO Çıkış Güç Eğrisi (b) Referans Gerilimi Eğrisi



Şekil 6.14. Durum 4 için (a) PSO Giriş Gerilimi Eğrisi (b) PSO Çıkış Gerilimi Eğrisi



Şekil 6.15. Durum 4 PSO Algoritması İçin Güç Eğrisi

Klasik P&O ve sezgisel PSO için verilen güç eğrisi, grafiklerde 3 ardışıl güç değeri için incelenmiştir. Bu inceleme Durum-4 için 1. kısımda 0 – 0,2 sn arası güneş ışınımı değeri  $900 \text{ W/m}^2$ , 2. kısımda 0,2 - 0,6 sn arası güneş ışınımı değeri  $1000 \text{ W/m}^2$  ve 3. kısımda 0,6 - 1 sn arası güneş ışınımı değeri  $700 \text{ W/m}^2$ 'dir.

P&O için verilen güç eğrisinde güneş ışınımının  $900 \text{ W/m}^2$ 'den  $1000 \text{ W/m}^2$ 'e çıktığı noktada yükselme zamanı çok küçük bir değerdir ve oturma zamanı için belirlenen güç aralığını aşmamıştır.  $1000 \text{ W/m}^2$ 'den  $700 \text{ W/m}^2$ 'e düştüğü noktada yükselme zamanının aynı şekilde çok küçük bir değer olduğu görülmüştür.

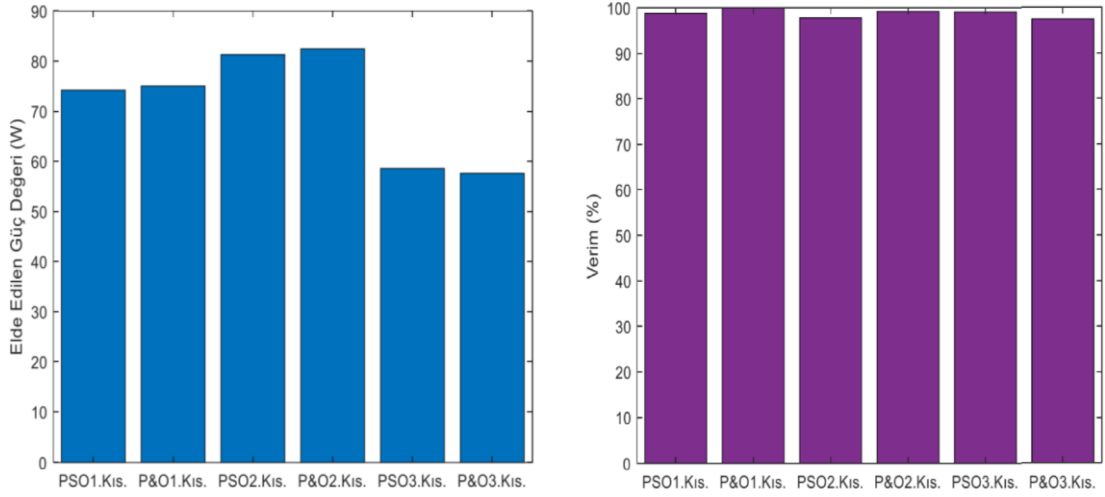
PSO için verilen güç eğrisinde güneş ışınımının  $900 \text{ W/m}^2$ 'den  $1000 \text{ W/m}^2$ 'e çıktığı noktada yükselme zamanının çok küçük bir değer olduğu, oturma zamanı için belirlenen sınırları aştığı ve daha sonra oturduğu görülmektedir.  $1000 \text{ W/m}^2$ 'den  $700 \text{ W/m}^2$ 'e düştüğü noktada yükselme zamanının aynı şekilde çok küçük bir değer olduğu, oturma zamanı için belirlenen sınırları aştığı ve daha sonra oturduğu görülmektedir.

P&O ve PSO'nun çıkış gücü, giriş gerilimi ve çıkış gerilimi değerleri birbirine çok yakın değer olduğu, her iki algoritmada da giriş geriliminin maksimum güç noktasını sağlayan referans gerilimine ulaştığı görülmektedir. Yükselten

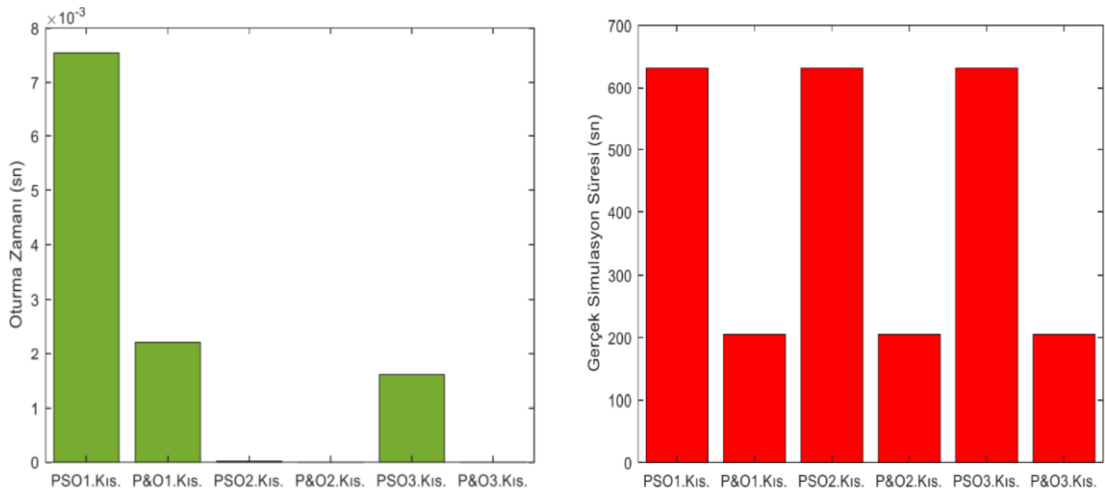
dönüştürücüden kaynaklı olarak çıkış gücünün fotovoltaik panelin ürettiği güçten daha düşük bir değer çıkmaktadır.

Tablo 6.2. Durum 4 İçin Sezgisel PSO ve P&O Değerleri

	PSO <sub>1</sub> .kısım	PSO <sub>2</sub> .kısım	PSO <sub>3</sub> .kısım	P&O <sub>1</sub> .kısım	P&O <sub>2</sub> .kısım	P&O <sub>3</sub> .kısım
Teorik Güç Değeri	75,03	83,11	59,1	75,03	83,11	59,1
Elde Edilen Güç Değeri	74,2	81,3	58,575	75,03	82,45	57,6
Verim (%)	98,8	97,8	99,1	100	99,2	97,4
Oturma Zamanı	0,007542	0,00002	0,0016	0,0022088	0,0000004 5	0,0000005
Yükselme Zamanı	0,003069	0,0000005	0,0000005	0,005119	0,0000005	0,0074
Gerçek Simülasyon Süresi (CPU Time) (sn)	631,674257			205,184881		



Şekil 6.16. Durum 4 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri

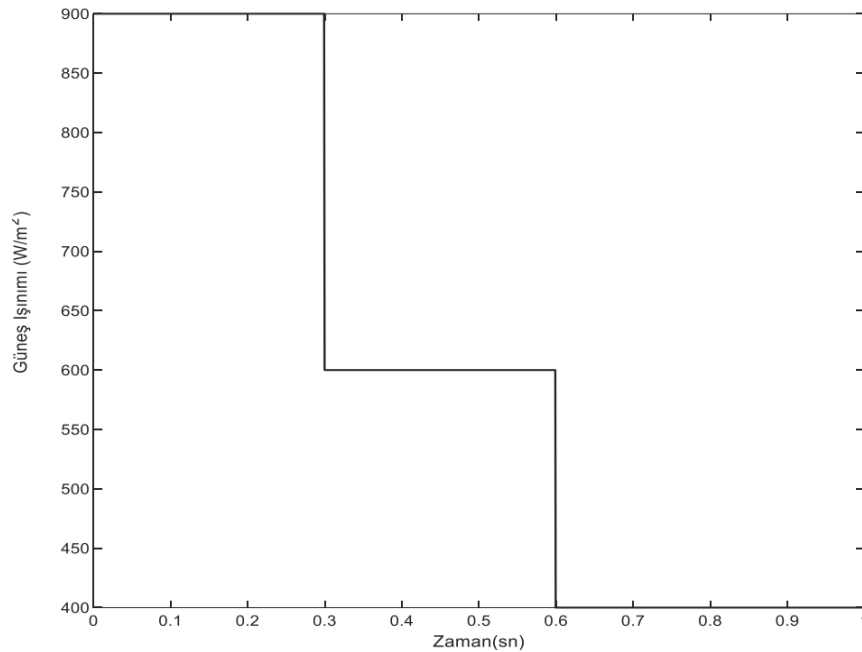


Şekil 6.17. Durum 4 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri

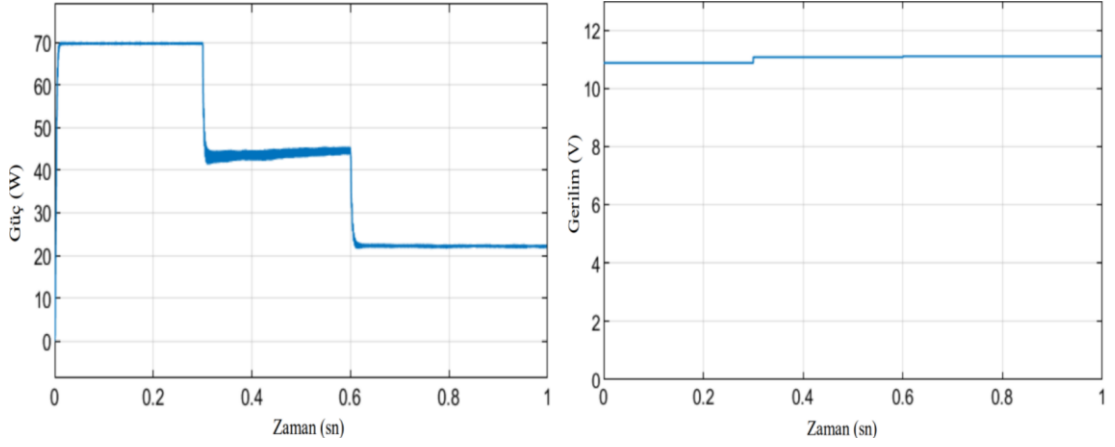
Durum 4 için klasik P&O ve sezgisel PSO algoritmalarının verimliliği birbirine çok yakındır. Her iki algoritmanın verim değerlerinin birbirine yaklaşık olduğu algoritmaların yaptığı tarama sonucunun da yakın olduğu görülmüştür. Her iki algoritmanın en uygun Duty Cycle'ı bulma zamanları birbirine yakın olduğu ve bu yüzden de oturma zamanlarının da yakın olduğu görülmüştür. Her iki algoritmanın da yükselme zamanları çok küçük değerdir ve güç değeri hızlı bir artış gerçekleştirmiştir. Sezgisel PSO algoritmasında gerçek simülasyon değeri P&O'ya göre daha yüksek çıkmasının sebebi PSO algoritmasının iterasyon sayısının 20 olmasından ve yazılımsal olarak daha uzun ve karmaşık olmasındandır.

### 6.2.2. Durum 5 Analizi

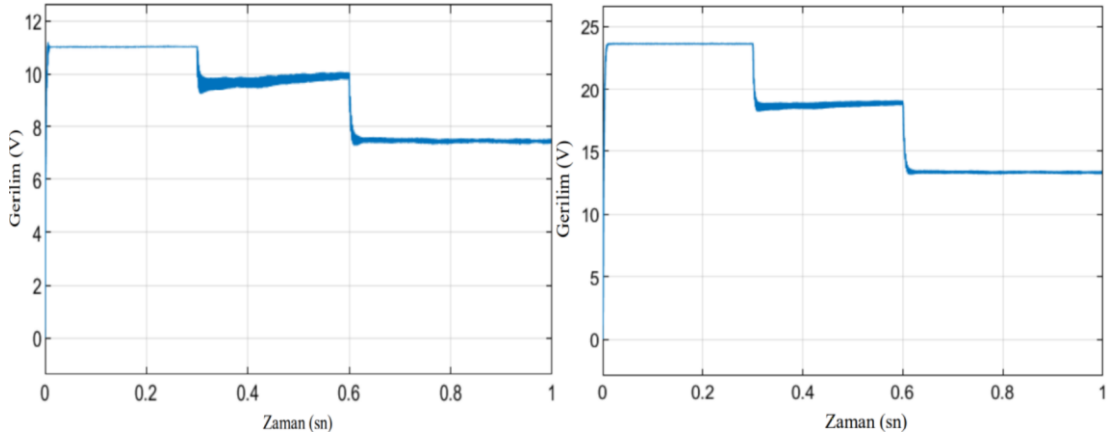
Güneş'in öğle 12:00'dan sonrası ya da giderek artan bir bulutlanma etkisi hesaba katılmıştır. Güneş'in 12:00'dan sonra ışınım değerinin Güneş'in geliş açısının azalacağı bu yüzden de ışınım değerinin düşeceği ve akşam saatlerinde ise tamamen azalacağı hesaba katılmıştır. Bu durumda etkisi giderek artan bir bulut hesaba katılmıştır. 1. kısımda çok ufak bir bulutlanma etkisi varken, 2. ve 3. kısımda daha yüksek bir bulutlanma etkisi vardır. Bulutlanma etkisinin panelin tüm yüzeyine eşit dağıldığı varsayılmıştır.



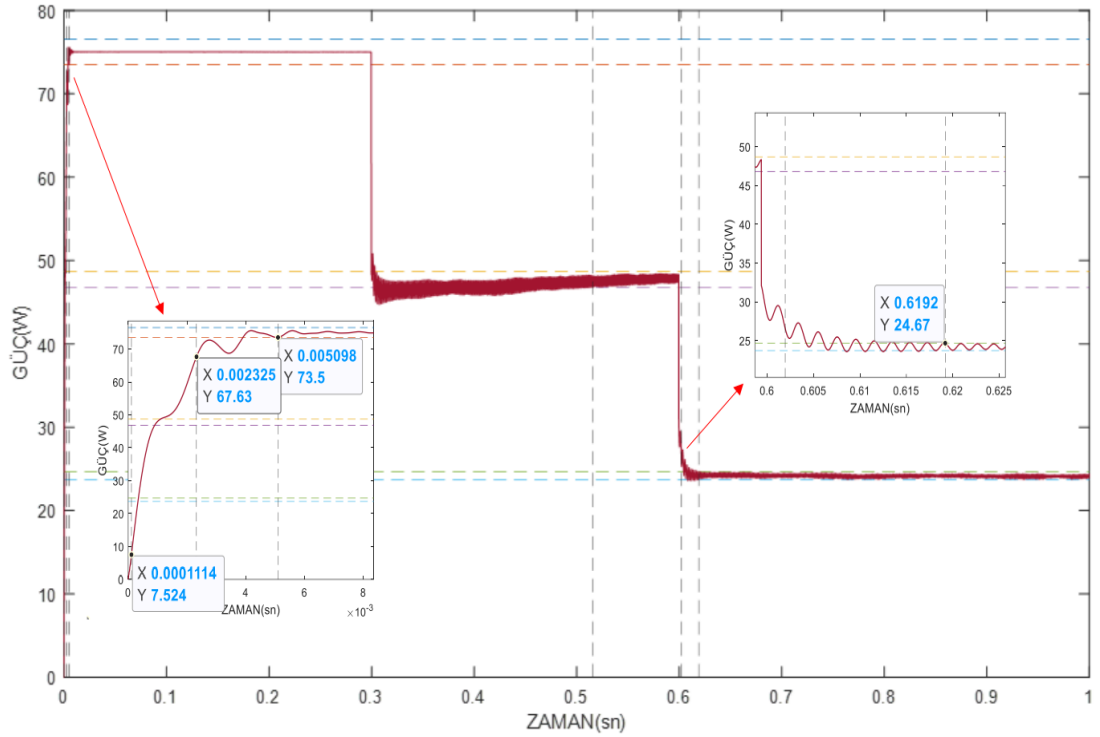
Şekil 6.18. Durum 5 İçin Değişken Güneş Işınımı



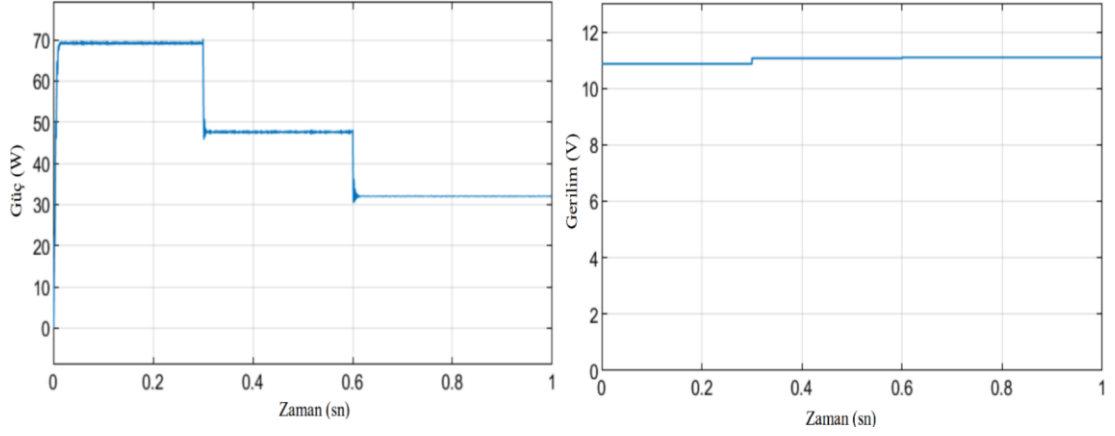
Şekil 6.19. Durum 5 (a) P&O Çıkış Güç Eğrisi (b) Referans Gerilimi Eğrisi



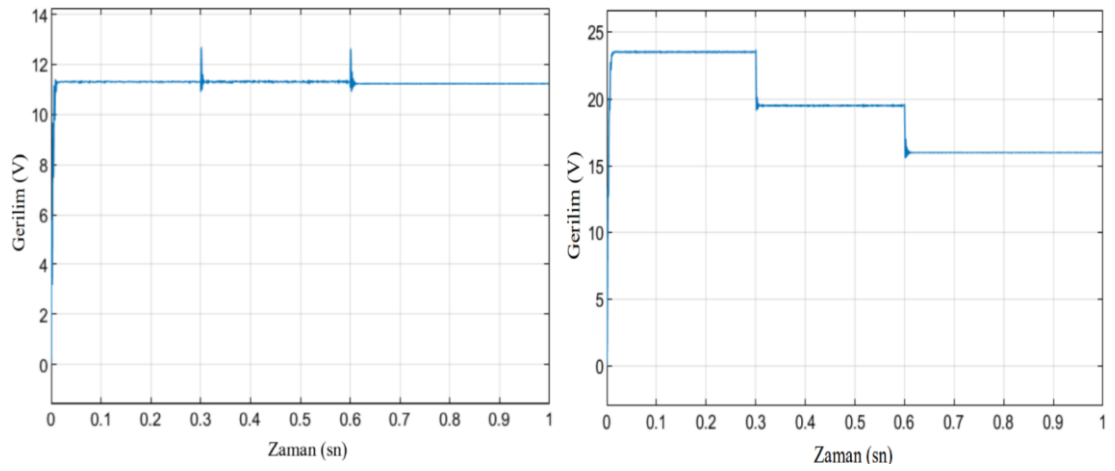
Şekil 6.20. Durum 5 (a) P&O Giriş Gerilimi Eğrisi (b) P&O Çıkış Gerilimi Eğrisi



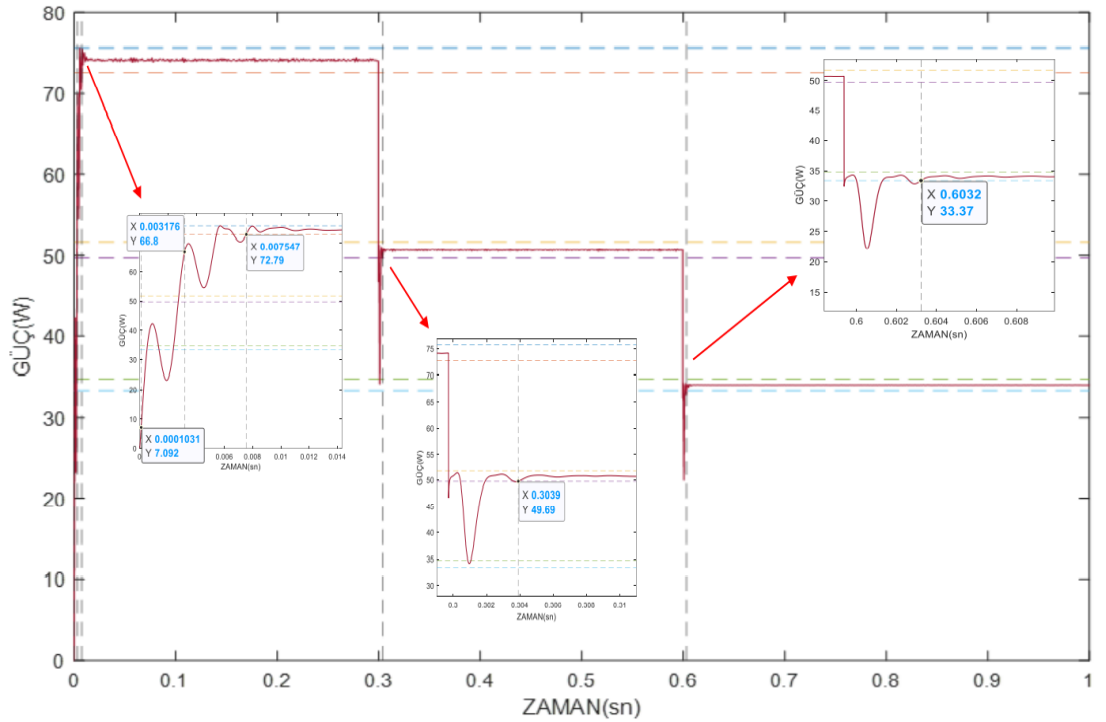
Şekil 6.21. Durum 5 P&O Algoritması İçin Güç Eğrisi



Şekil 6.22. Durum 5 için (a) PSO Çıkış Güç Eğrisi (b) Referans Gerilimi Eğrisi



Şekil 6.23. Durum 5 için (a) PSO Giriş Gerilimi Eğrisi (b) PSO Çıkış Gerilimi Eğrisi



Şekil 6.24. Durum 5 PSO Algoritması İçin Güç Eğrisi

P&O ve sezgisel PSO için verilen güç eğrisi grafiklerinde 3 ardışıl güç değeri için inceleme yapılmıştır. Bu inceleme 1. kısımda 0 sn - 0,3 sn arası güneş ışınımı değeri  $900 \text{ W/m}^2$ , 2. kısımda 0,3 – 0,6 sn arası güneş ışınımı değeri  $600 \text{ W/m}^2$  ve 3. kısımda 0,6 - 1 sn arası güneş ışınımı değeri  $400 \text{ W/m}^2$ 'dir.

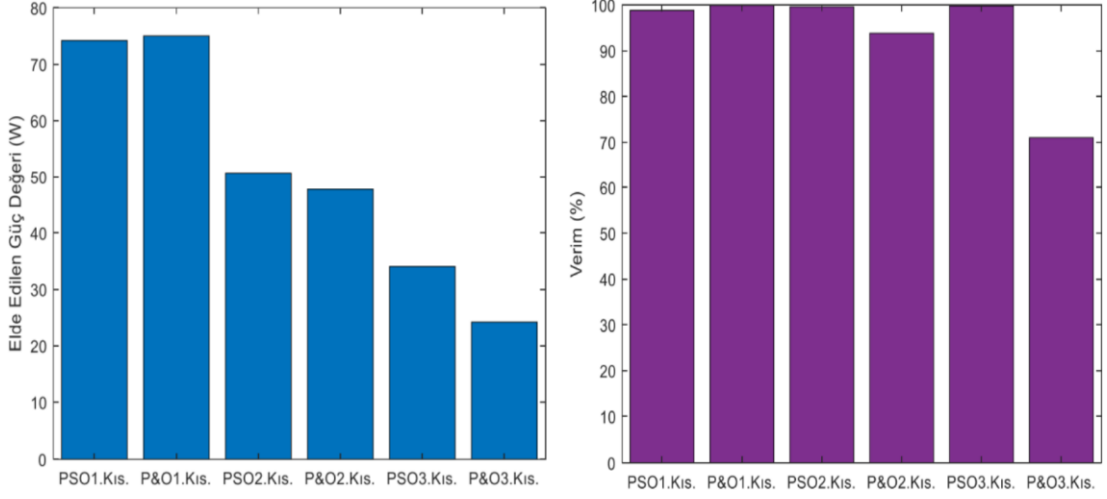
P&O için verilen güç eğrisinde güneş ışınımının  $900 \text{ W/m}^2$ 'den  $600 \text{ W/m}^2$ 'e düştüğü noktada yükselme zamanı çok küçük bir değer olduğu, oturma zamanı için belirlenen sınırları aştığı ve daha sonra oturduğu görülmektedir.  $600 \text{ W/m}^2$ 'den  $400 \text{ W/m}^2$ 'e düştüğü noktada yükselme zamanının aynı şekilde çok küçük bir değer olduğu, oturma zamanı için belirlenen sınırları aştığı ve daha sonra oturduğu görülmektedir.

PSO için verilen güç eğrisinde güneş ışınımının  $900 \text{ W/m}^2$ 'den  $600 \text{ W/m}^2$ 'e düştüğü noktada yükselme zamanının çok küçük bir değer olduğu, oturma zamanı için belirlenen sınırları aştığı ve daha sonra oturduğu görülmektedir.  $600 \text{ W/m}^2$ 'den  $400 \text{ W/m}^2$ 'e düştüğü noktada ise yükselme zamanının önceki değerlerden daha yüksek olduğu görülmektedir.

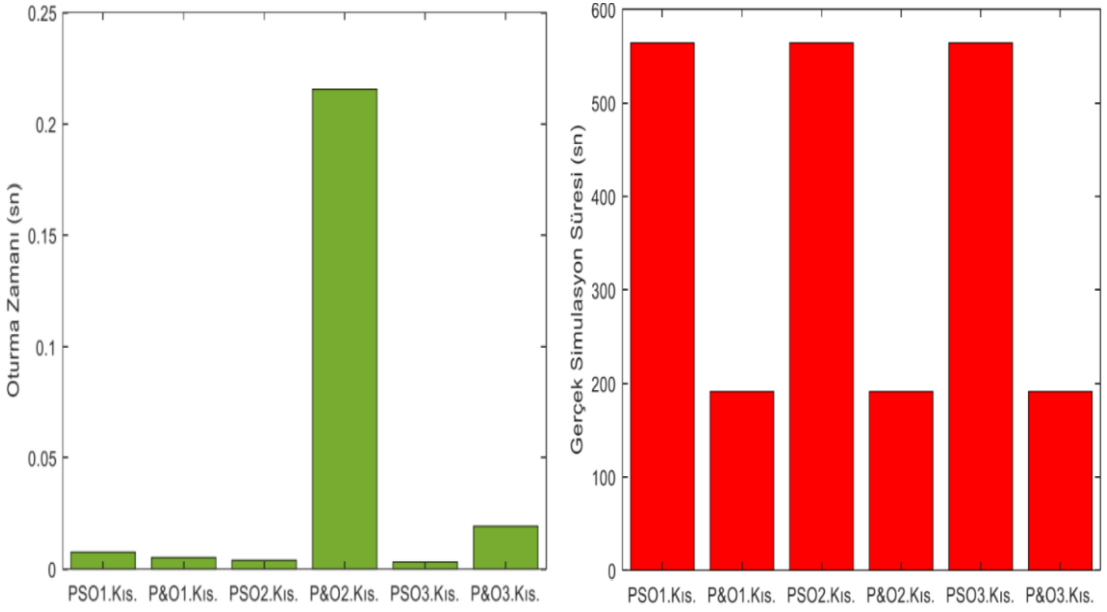
P&O algoritmasının giriş geriliminin maksimum güç noktasını sağlayan referans gerilimine 1. kısımda ulaştığı ancak diğer kısımlarda ulaşamadığı görülmektedir. PSO'nun ise 3 kısımda da giriş geriliminin referans gerilim değerine çok yakın olduğu bu sebepten de MPP'yi sağlayan Duty Cycle değerini bulduğu görülmektedir. Her iki algoritmada da Yükselten Dönüştürücüdeki kayıplardan dolayı çıkış gücünün fotovoltaik panelin ürettiği güçten daha düşük bir değer çıkmaktadır.

Tablo 6.3. Durum 5 İçin Sezgisel PSO ve P&O Değerleri

	PSO <sub>1.kısım</sub>	PSO <sub>2.kısım</sub>	PSO <sub>3.kısım</sub>	P&O <sub>1.kısım</sub>	P&O <sub>2.kısım</sub>	P&O <sub>3.kısım</sub>
Teorik Güç Değeri	75,03	50,9	34,08	75,03	50,9	34,08
Elde Edilen Güç Değeri	74,2	50,7	34,045	75,015	47,75	24,2
Verim (%)	98,8	99,6	99,8	99,9	93,8	71,0
Oturma Zamanı	0,007542	0,0039	0,0032	0,005098	0,2156	0,0192
Yükselme Zamanı	0,00307	0,0000005	0,0000005	0,00221	0,0000005	0,0026
Gerçek Simülasyon Süresi (CPU Time) (sn)	563,515573			191,413342		



Şekil 6.25. Durum 5 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri



Şekil 6.26. Durum 5 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri

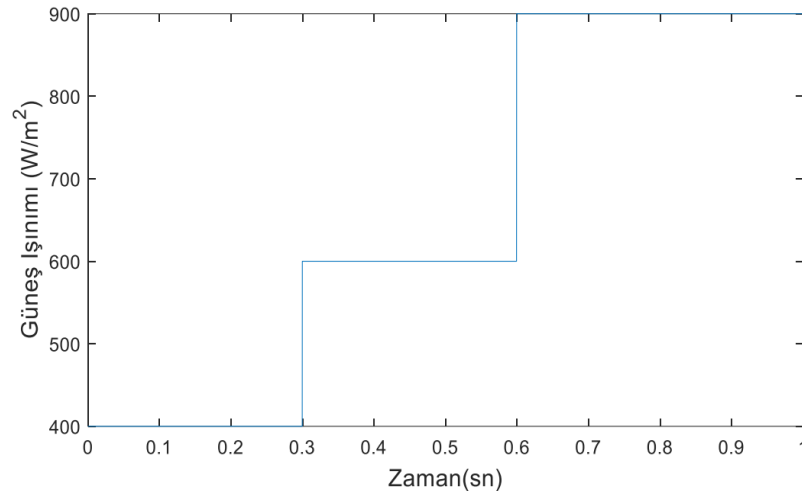
Durum 5'te 1. kısımda güneş ışınımının  $900 \text{ W/m}^2$  değerinde P&O'nun ve PSO'nun yakın verimde çalıştığı ancak 2. kısımda güneş ışınımının  $600 \text{ W/m}^2$  değerinde P&O'nun  $3,15 \text{ W}$ , PSO'nun  $0,2 \text{ W}$  farkının olduğu, oturma zamanı değerinin P&O'da sezgisel PSO'dan 55 kat daha büyük olduğu gözlemlenmiştir. 3. kısımda güneş ışınımının  $400 \text{ W/m}^2$  değerinde ise P&O'nun %71 verimle PSO'nun ise %99,8 verimle çalıştığı gözlemlenmiştir.

P&O algoritmasının yaptığı taramanın bazı kısımlarda geç tamamlamasından dolayı oturma zamanına geç ulaşmıştır. 3. kısımda da görüldüğü gibi tarama süresini tamamlasa bile arama sıklığının hatasından yada tepe değerini bulamamasından dolayı daha verimsiz çalışmaktadır. PSO ise P&O'ya göre daha hızlı şekilde yükselme

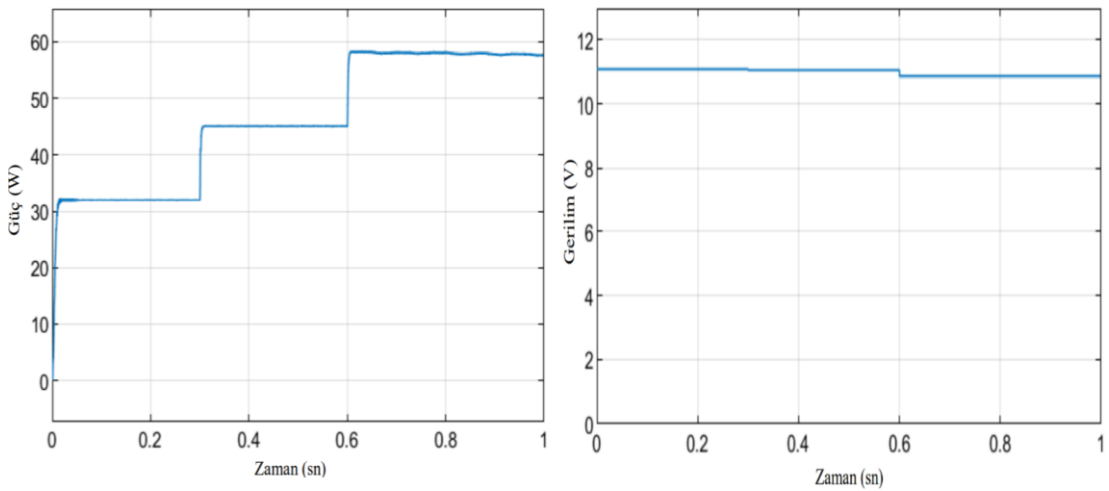
zamanına ve oturma zamanına ulaştığı değişken güneş ışınımından etkilenmediği görülmüştür. Gerek yazılımsal karmaşıklıktan gerekse iterasyon sayısından dolayı daha basit bir yazılımı olan P&O'ya göre daha uzun sürede gerçek simülasyon süresini tamamlamıştır.

### 6.2.3. Durum 6 Analizi

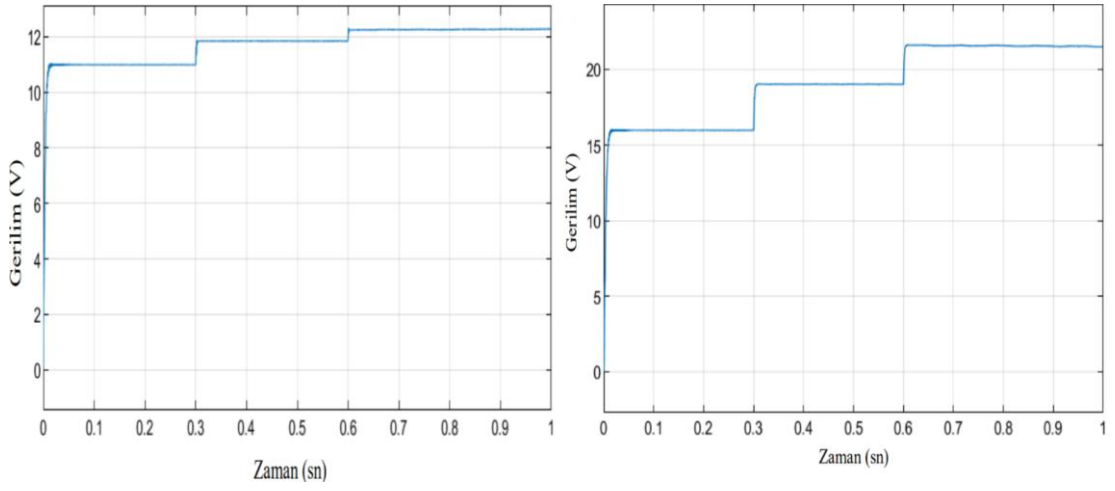
Güneş'in sabah saatlerinden öğlen 12:00'a kadar ya da giderek azalan bir bulutlanma etkisi hesaba katılmıştır. Saat 12:00'a kadar Güneş'in geliş açısının artacağı bu yüzden de ışınım değerinin artacağı, öğlen 12:00'da ise tamamen artmış olacağı hesaba katılmıştır. Bir diğer sebep olan bulutlanmada ise etkisi giderek azalan bir bulut hesaba katılmıştır. 1. kısımda yüksek bir bulutlanma etkisi var iken 2. ve 3. kısımda daha da azalan bir bulutlanma etkisi vardır. Bulutlanma etkisinin panelin tüm yüzeyine eşit uygulanması planlanmıştır.



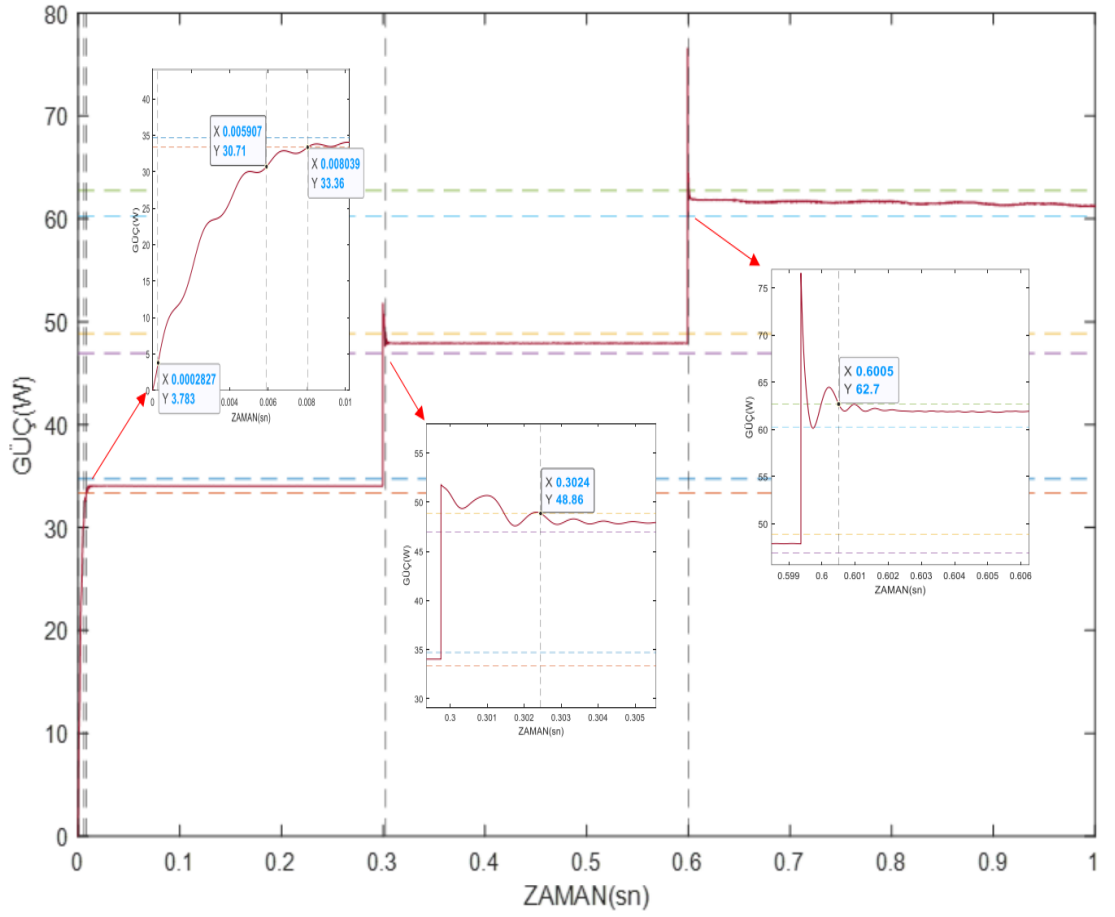
Şekil 6.27. Durum 6 İçin Değişken Güneş Işınımı



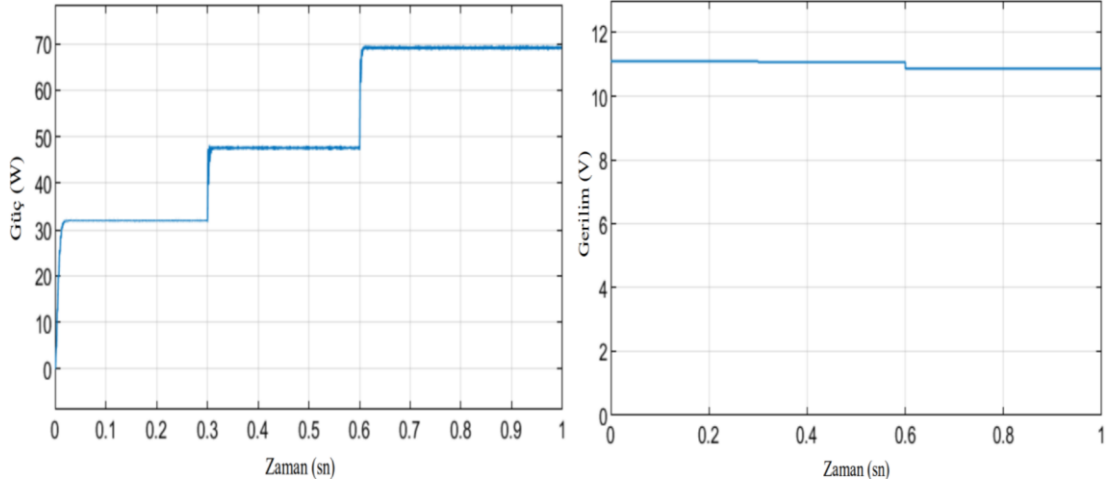
Şekil 6.28. Durum 6 (a) P&O Çıkış Güç Eğrisi (b) Referans Gerilimi Eğrisi



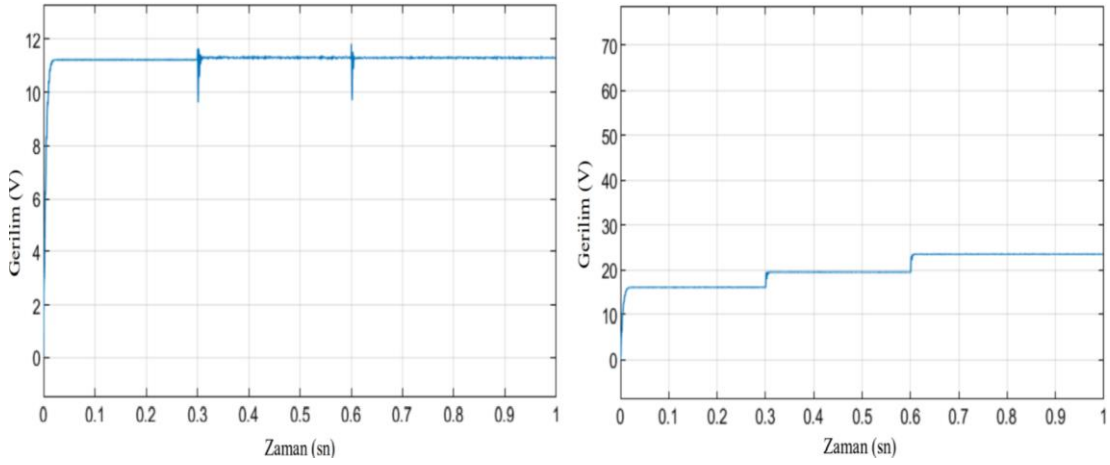
Şekil 6.29. Durum 6 (a) P&O Giriş Gerilimi Eğrisi (b) P&O Çıkış Gerilimi Eğrisi



Şekil 6.30. Durum 6 P&O Algoritması İçin Güç Eğrisi



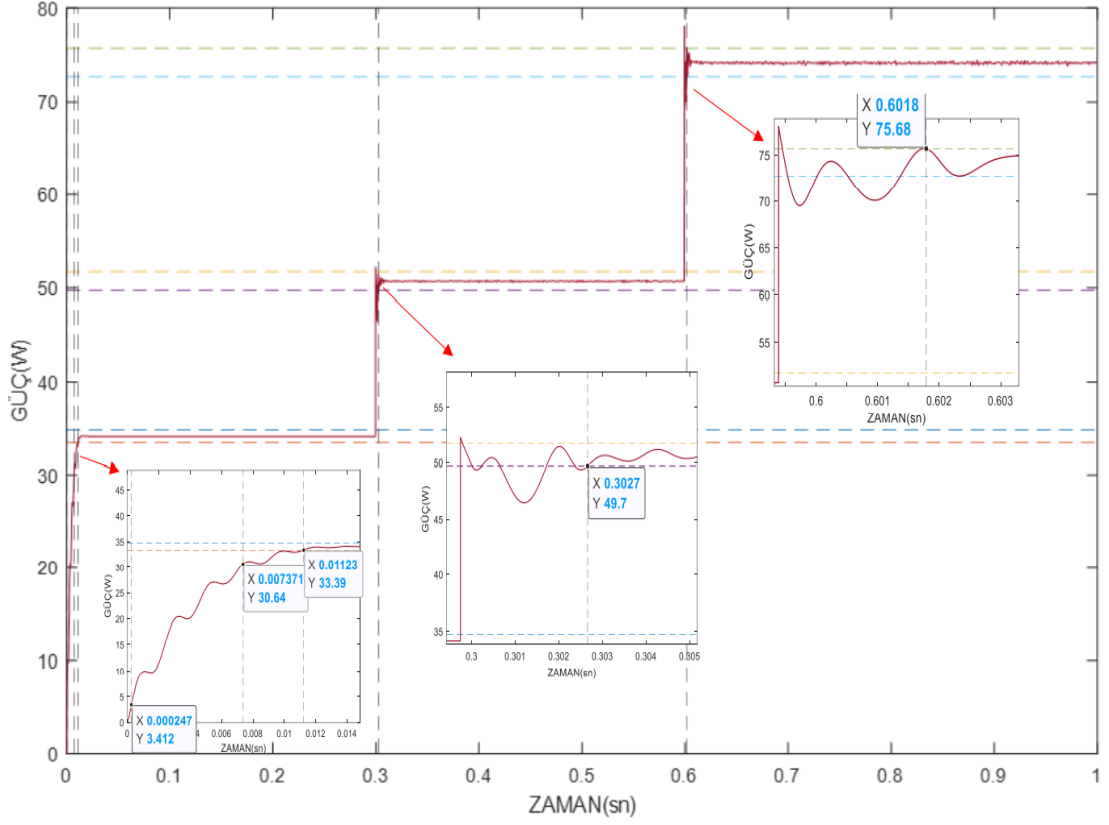
Şekil 6.31. Durum 6 için (a) PSO Çıkış Güç Eğrisi (b) Referans Gerilimi Eğrisi



Şekil 6.32. Durum 6 için (a) PSO Giriş Gerilimi Eğrisi (b) PSO Çıkış Gerilimi Eğrisi

P&O ve sezgisel PSO için verilen güç eğrisi grafiklerinde, 3 ardışıl güç değeri incelenmiştir. Bu inceleme 1. kısımda 0 – 0,3 sn arası güneş ışınımı değeri  $400 \text{ W/m}^2$ , 2. kısımda 0,3 - 0,6 sn arası güneş ışınımı değeri  $600 \text{ W/m}^2$  ve 3. kısımda 0,6 - 1 sn arası güneş ışınımı değeri  $900 \text{ W/m}^2$ 'dir.

P&O için verilen güç eğrisinde, güneş ışınımının  $400 \text{ W/m}^2$ 'den  $600 \text{ W/m}^2$ 'e çıktığı noktada yükselme zamanının çok küçük bir değer olduğu, oturma zamanı için belirlenen sınırları aştığı ve daha sonra kararlı hale geldiği görülmektedir.  $600 \text{ W/m}^2$ 'den  $900 \text{ W/m}^2$ 'e çıktığı noktada yükselme zamanının aynı şekilde çok küçük bir değer olduğu, oturma zamanı için belirlenen sınırları aştığı ve daha sonra kararlı hale geldiği görülmektedir.



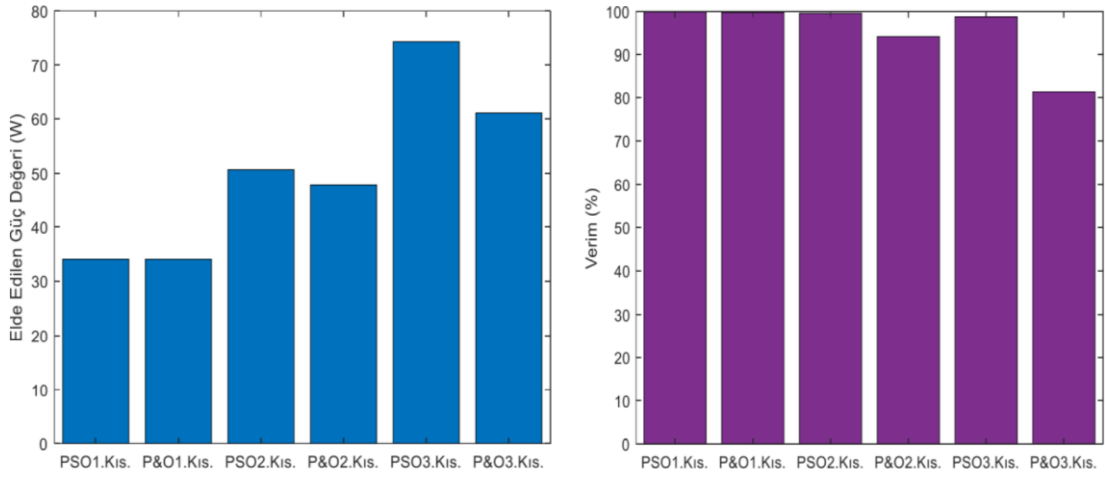
Şekil 6.33. Durum 6 PSO Algoritması İçin Güç Eğrisi

PSO için verilen güç eğrisinde güneş ışınımının  $400 \text{ W/m}^2$ 'den  $600 \text{ W/m}^2$ 'e çıktığı noktada yükselme zamanının çok küçük bir değer olduğu, oturma zamanı için belirlenen sınırları aştığı ve daha sonra kararlı hale geldiği görülmektedir.  $600 \text{ W/m}^2$ 'den  $900 \text{ W/m}^2$ 'e çıktığı noktada yükselme zamanının aynı şekilde çok küçük bir değer olduğu, oturma zamanı için belirlenen sınırları aştığı ve daha sonra kararlı hale geldiği görülmektedir.

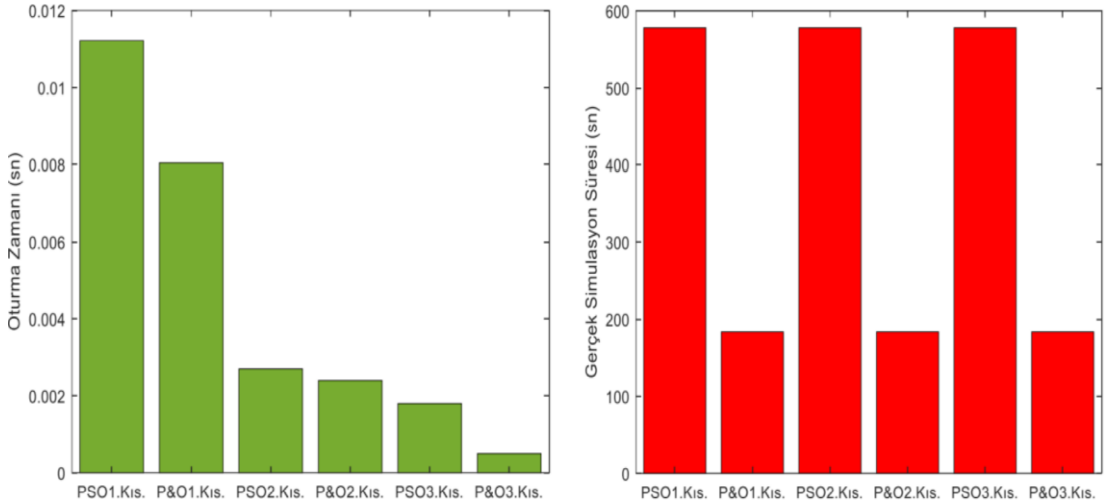
P&O algoritmasının giriş geriliminin maksimum güç noktasını sağlayan referans gerilimine 1. kısımda ulaştığı ancak diğer kısımlarda ulaşamadığı görülmektedir. PSO'nun ise 3 kısımda da giriş geriliminin referans gerilim değerine çok yakın olduğu bu sebepten de MPP'yi sağlayan Duty Cycle değerini bulduğu görülmektedir. Her iki algoritmada da Yükselten Dönüştürücüdeki kayıplardan dolayı çıkış gücünün fotovoltaik panelin ürettiği güçten daha düşük bir değer çıkmaktadır.

Tablo 6.4. Durum 6 İçin Sezgisel PSO ve P&O Değerleri

	PSO <sub>1.kısım</sub>	PSO <sub>2.kısım</sub>	PSO <sub>3.kısım</sub>	P&O <sub>1.kısım</sub>	P&O <sub>2.kısım</sub>	P&O <sub>3.kısım</sub>
Teorik Değer	34,08	50,9	75,03	34,08	50,9	75,03
Elde Edilen Güç Değeri	34,048	50,7	74,2	34,04	47,9	61,05
Verim (%)	99,9	99,6	98,8	99,8	94,1	81,36
Oturma Zamanı	0,01123	0,0027	0,0018	0,008039	0,0024	0,0005
Yükselme Zamanı	0,00711	0,0000005	0,0000005	0,005609	0,0000005	0,0000005
Gerçek Simülasyon Süresi (CPU Time) (sn)	578,069774			183,663241		



Şekil 6.34. Durum 6 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri



Şekil 6.35. Durum 6 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri

Durum 6'da 1. kısımda güneş ışınımının  $400 \text{ W/m}^2$  değerinde P&O'nun ve PSO'nun yakın verimde çalıştığı, 2. kısımda güneş ışınımının  $600 \text{ W/m}^2$  değerinde P&O'nun 3 W farkının olduğu sezgisel PSO'nun 0,2 W farkının olduğu görülmüştür. 3. kısım güneş ışınımının  $900 \text{ W/m}^2$  değerinde P&O'nun %81,3 verimle sezgisel

PSO'nun %98,8 verimle çalıştığı gözlemlenmiştir.

P&O algoritmasının yaptığı taramanın bazı kısımlarda geç tamamlamasından dolayı oturma zamanına geç ulaşmıştır. 3. kısımda da görüldüğü gibi tarama süresini tamamlasa bile arama sıklığının hatasından ya da tepe değerini bulamamasından dolayı daha verimsiz çalışmaktadır. PSO'nun gücün maksimum değerini sağlayan Duty Cycle değerine daha hızlı ulaştığından P&O'ya göre daha hızlı şekilde yükselme zamanına ve oturma zamanına ulaştığı görülmüştür. Gerek yazılımsal karmaşıklıktan gerekse iterasyon sayısından dolayı daha basit bir yazılımı olan P&O'ya göre daha uzun sürede gerçek simülasyon süresini tamamlamıştır.

#### **6.2.4. Durum 4, 5 ve 6 için Genel Değerlendirme**

Genel olarak Durum 4, 5 ve 6 için yapılan incelemede, P&O'nun değişken güneş ışınımı değişiminde sabit güneş ışınımındaki kadar yüksek verimde çalışmadığı, oturma zamanının bazı durumlarda çok daha yüksek olduğu görülmüştür. PSO'nun ise sabit güneş ışınım değerlerine yakın çalıştığı, değişken güneş ışınımından etkilenmediği görülmüştür. Buna göre Durum 4, 5 ve 6 için sezgisel PSO algoritmasının, klasik P&O algoritmasından daha verimli çalıştığı değerlendirilmektedir.

Durum 4, 5 ve 6'da yapılan çalışmalarda değişken güneş ışınımında PSO'nun P&O'ya göre maksimum gücü sağlayan Duty Cycle değerine daha kısa sürede ulaştığı bu yüzden de daha kısa sürede oturma zamanına ve yükselme zamanına ulaştığı görülmüştür. Klasik P&O algoritmasının bazı durumlarda arama sıklığının yetersizliğinden dolayı tepe değerini aştığı ya da ulaşamadığı bu yüzden de daha verimsiz çalıştığı görülmüştür. Sezgisel PSO algoritmasının gerek iterasyon sayısının 20 olmasından dolayı gerekse yazılımın P&O'ya göre çok daha uzun olmasından dolayı gerçek simülasyon süresi daha yüksek olmaktadır.

#### **6.3. Kısmi Gölgeleme Durumunda Sistem Analizi ve Geliştirme**

Kısmi gölgeleme şartlarında tekli panel değerleri  $4 \times 4 = 16$  TCT bağlantılı panele dönüştürülmüştür. Tekli panel  $1000 \text{ W/m}^2$ 'de  $25^\circ\text{C}$ 'de  $83,11 \text{ W}$  değerinde çalışırken  $4 \times 4$  panelimizin her biri aynı şartlar altında  $5,194 \text{ W}$  değerinde çalışmakta, fakat toplamda yine yaklaşık  $83 \text{ W}$  vermektedir.

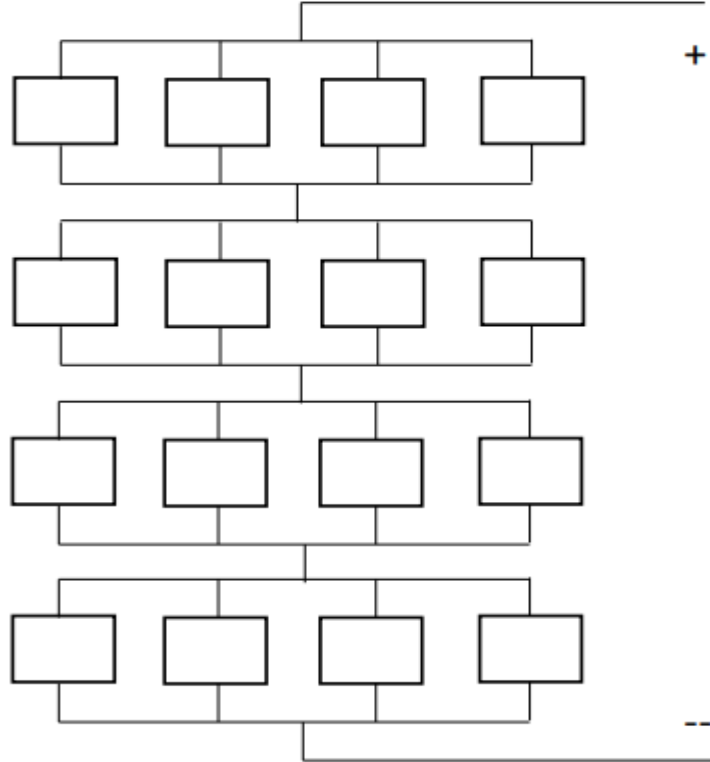
Kısmi gölgeleme şartlarında yapılan çalışmada panellere gelen ışınım değerlerinin farklı olması durumunda, birden fazla tepe değeri oluşturduğu

gözlemlenmiştir.

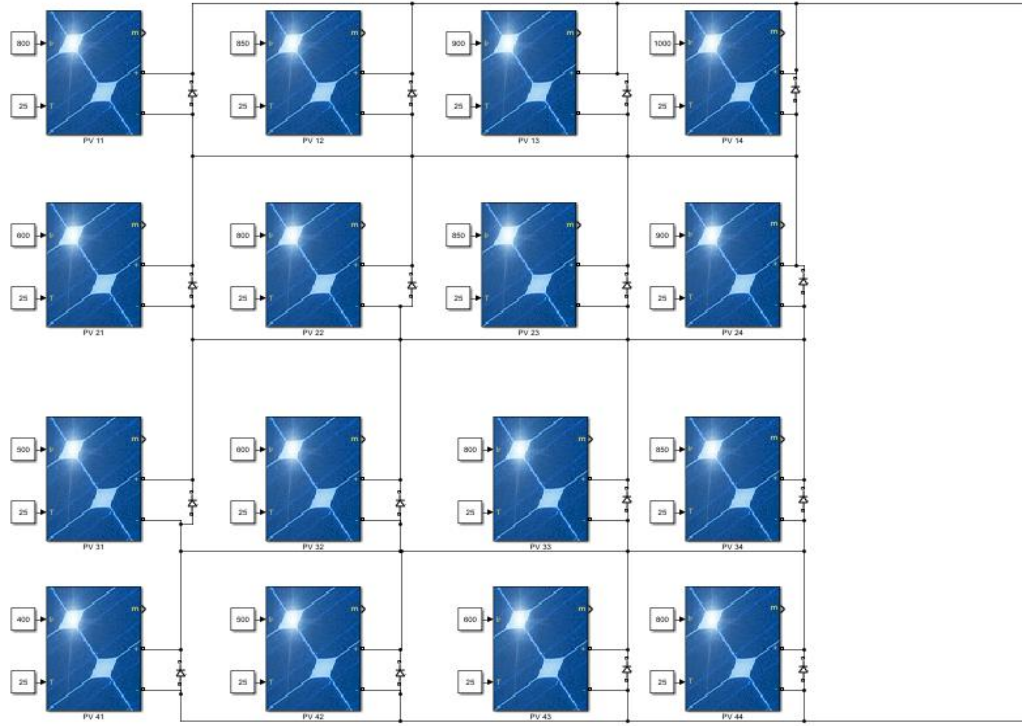
Burada klasik P&O ve sezgisel PSO algoritmaları kısmi gölgelenmede, röle anahtarlama ile elektriksel yer değiştirme düzeneğinin olmadığı durumda karşılaştırılmıştır. Algoritma performanslarının artırılması için sezgisel PSO algoritmasında yazılım düzeltmeleri yapılmıştır. P&O algoritmasında başlangıçta arama sıklığı (DPWM) değeri üzerinde gerekli düzeltme yapıldığından ve kısmi gölgelenme durumları değişken olduğundan ilave bir düzeltme yapılmamıştır. Kısmi gölgelenme için 6 farklı durumun analizi yapılmış Durum 7, Durum 8, Durum 9, Durum 10, Durum 11 ve Durum 12’de incelenmiştir.

Kısmi gölgelenme durumunda, güneş paneli dizilerinde maksimum gerilim ve akım değerlerini elde etmek için çeşitli bağlantı konfigürasyonları kullanılır. Bu konfigürasyonlar arasında seri-paralel (SP), total-cross-tied (TCT), Honey-comp (HC) ve Bridge-linked (BL) tipleri en sık karşılaşılanlardır. Bu çalışmada, literatürde en verimli olduğu gösterilen TCT bağlantısı kullanılmıştır. TCT tipleri seri bağlantılar aynı zamanda birbirlerine paralel bağlanır. Ayrıca tüm düğüm gerilimleri ve ortak noktadaki akımların toplamı birbirine eşittir.

TCT bağlantının şematik ve MATLAB/Simulink şekilleri aşağıda gösterilmiştir.



Şekil 6.36. PV Panelin TCT Bağlantısı



Şekil 6.37. MATLAB Simulinkte kullanılan TCT panel bağlantısı

### 6.3.1. Düzeltme 1 PSO<sub>ORT</sub>.

PSO algoritmasında normal algoritma ile her kısmi gölgelenme durumu için maksimum güç değerinden farklı miktarda sapma olduğu gözlenmiştir. Ortak bir düzeltme yapabilmek için sezgisel PSO yönteminde, her durumda elde edilmiş olan Duty Cycle'ların teorik maksimum güce ulaşılan Duty Cycle ile farkına bakılarak ortalama değeri aşağıdaki gibi çıkarılmıştır (Eşitlik 6.1). Daha sonra bu değer aşağıdaki algoritmaya göre düzeltme değeri olarak kullanılmıştır (Şekil 6.38).

Durum 7'de :  $D_{max} = D - 0,04$

Durum 8'de :  $D_{max} = D - 0$

Durum 9'da :  $D_{max} = D - 0,03$

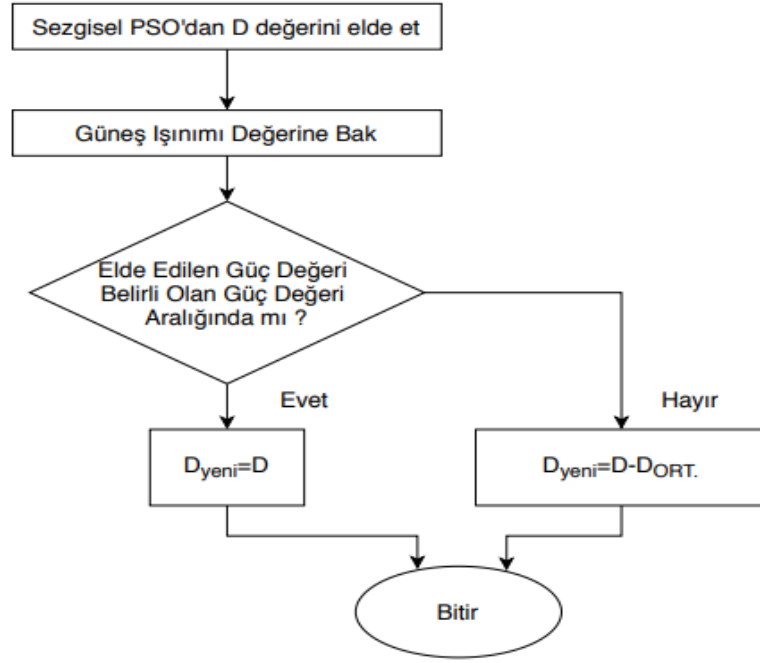
Durum 10'da :  $D_{max} = D - 0,17$

Durum 11'de :  $D_{max} = D - 0,08$

Durum 12'de:  $D_{max} = D - 0$

$$D_{ort} = \frac{0,04+0+0,03+0,17+0,08+0}{6} = 0,533 \quad (6.1)$$

Düzelteye ait algoritma akış diyagramını şekil 6.38'de gösterilmiştir.



Şekil 6.38. PSO<sub>ORT</sub>. Akış Diyagramı

### 6.3.2. Düzeltme 2 PSO<sub>4.DER.</sub>

4×4 güneş panelinde bütün panellere aynı ışınım değeri gelmesi durumunda seri olan panellerin güç değerleri aynı olacaktır. Ancak aynı ışınım değeri gelmemesi durumunda seri panellerin her birinin güç değeri farklı olacaktır. Yapılan bu düzeltmede ise bu farkı 0 W'a indirmek amaçlanmıştır. Burada güç farkı ile Duty Cycle ilişkisine göre Matlab ile 4. dereceden bir eğri uydurma (Curve Fitting) yapılmıştır.

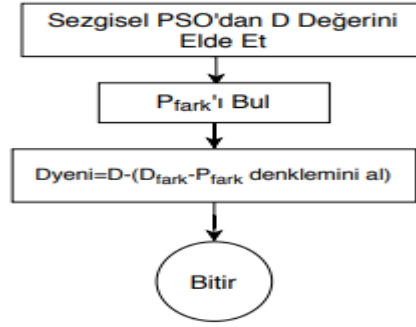
Tablo 6.5. 4×4 Güneş Panelinde P<sub>fark</sub> ve D<sub>fark</sub> değerleri

	D <sub>fark</sub>	P <sub>fark</sub> (W)
Durum 7	0,04	3,90
Durum 8	0	1x10 <sup>-9</sup>
Durum 9	0,03	2,01
Durum 10	0,17	8,135
Durum 11	0,08	4,02
Durum 12	0	0,77

Yapılan eğri uydurmaya göre elde edilen eşitlik aşağıdaki gibidir;

$$D_{yeni} = D - (0,0002176xP_{fark}^4 - 0,003044xP_{fark}^3 + 0,01328P_{fark}^2 - 0,002675P_{fark} - 0,001198)'dir. \quad (6.2)$$

Düzeltemeye ait algoritma akış diyagramı Şekil 6.39'da gösterilmiştir.

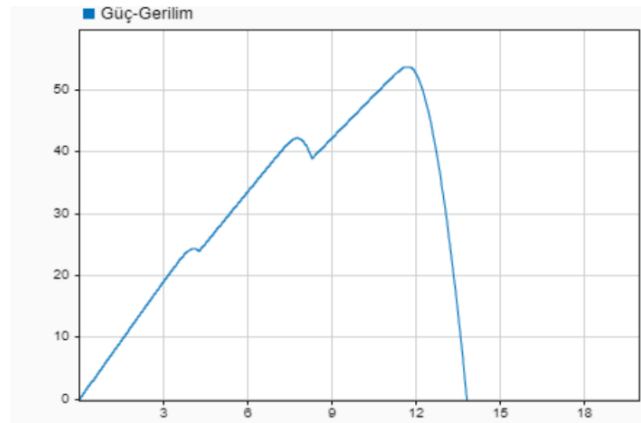


Şekil 6.39. PSO<sub>4,DER</sub>. Akış Diyagramı

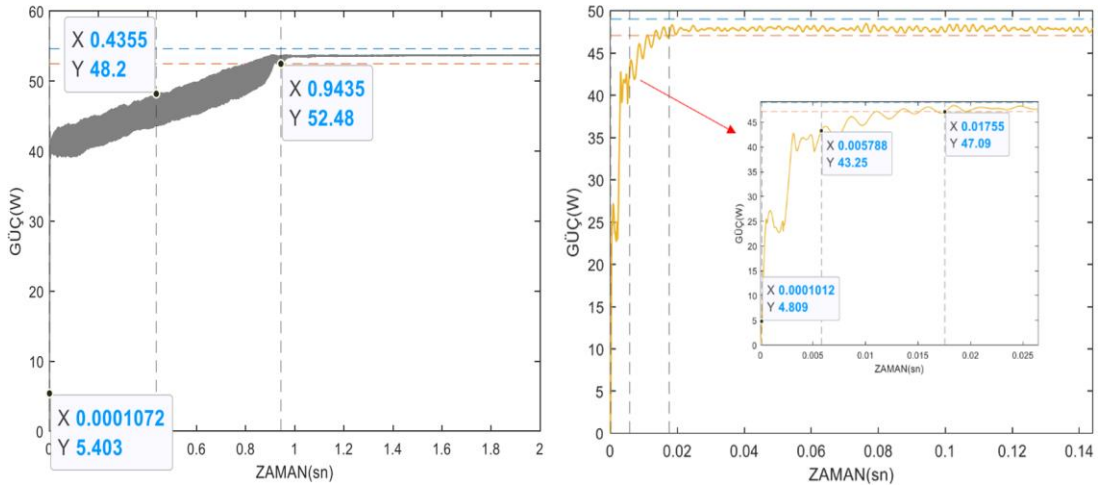
### 6.3.3. Durum 7 Analizi

Durum 7’de bulutun geçişi esnasında fotovoltaik panelde oluşan gölgelenmede panelin sol alt köşesinde gittikçe artan bir gölgelenme durumu incelenmiştir. Yapılan çalışma Şekil 6.40’da gösterilmiştir. Güç eğrisinde yerel maksimum noktaları belirgin bir şekilde gözükmemektedir. 4 Algoritma için oluşan güç eğrileri Şekil 6.41 ve Şekil 6.42’de verilmiş, sonuç değerleri ise Tablo 6.6’da verilmiştir.

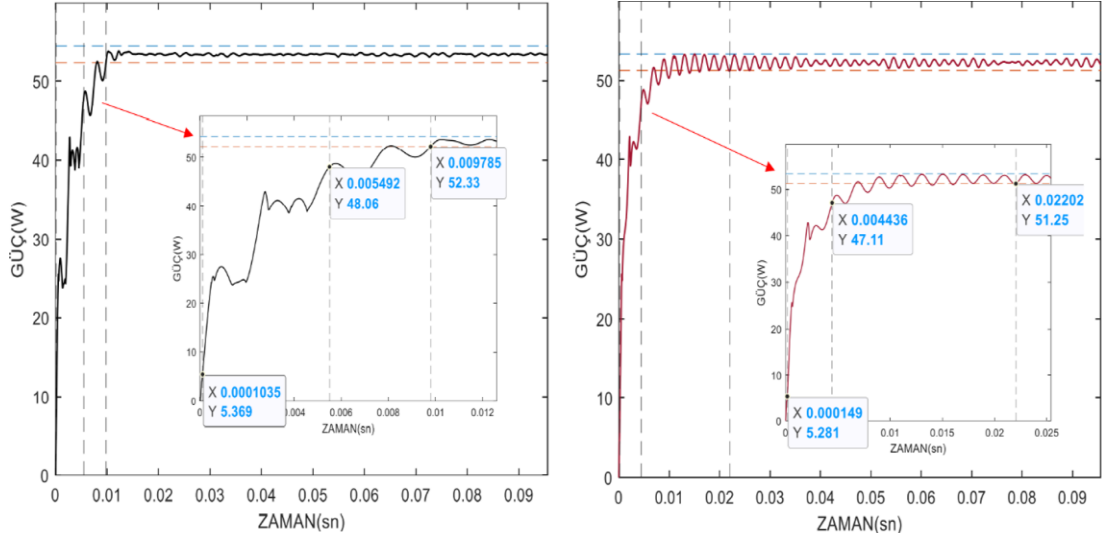
800	850	900	1000
600	800	850	900
500	600	800	850
400	500	600	800



Şekil 6.40. Durum 7 Panelde Oluşan Gölgeleme ve Güç Eğrisi



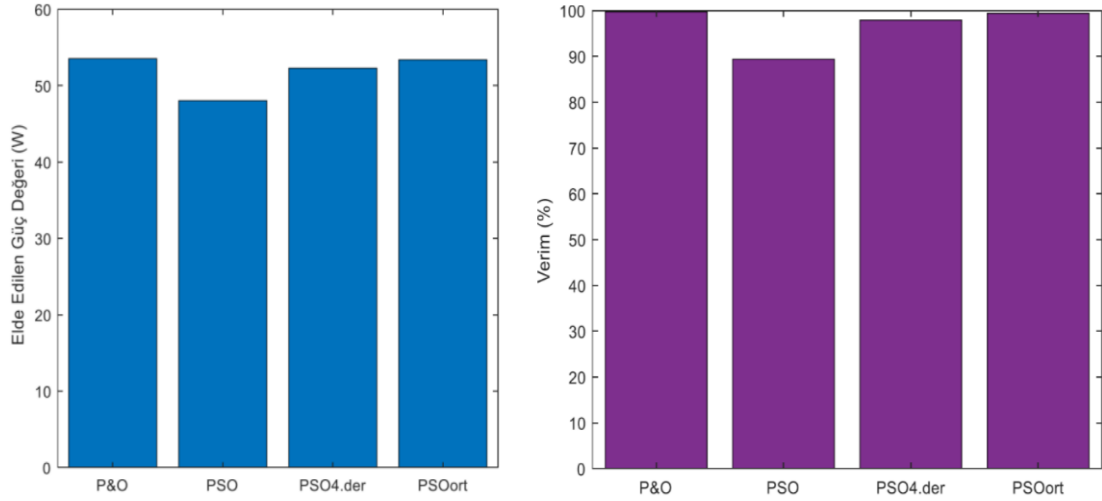
Şekil 6.41. Durum 7 (a) P&O Algoritması (b) PSO Algoritması



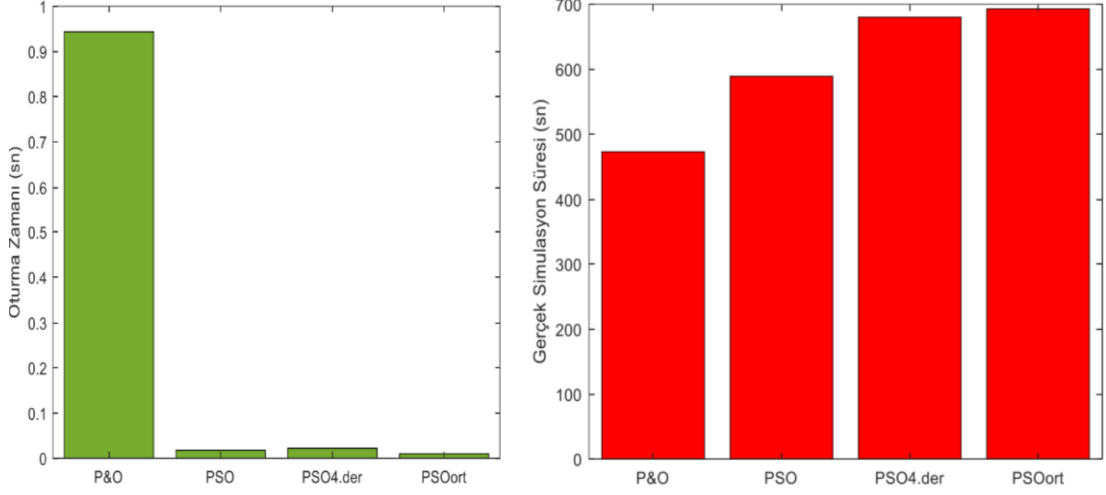
Şekil 6.42. Durum 7 (a) PSO<sub>ORT</sub>. Algoritması (b) PSO<sub>4.DER</sub>. Algoritması

Tablo 6.6. Durum 7 için P&O, PSO, PSO<sub>ORT</sub>, PSO<sub>4.DER</sub>. Değerleri

	P&O	PSO	PSO <sub>ORT</sub> .	PSO <sub>4.DER</sub> .
Teorik Güç Değeri	53,7	53,7	53,7	53,7
Elde Edilen Güç Değeri	53,55	48,05	53,4	52,3
Verim (%)	99,7	89,38	99,44	97,9
Oturma Zamanı	0,9435	0,01755	0,009785	0,02202
Yükselme Zamanı	0,4354	0,00569	0,00538	0,00427
Gerçek Simülasyon Süresi (CPU Time) (sn)	473,036592	589,228032	693,008628	680,250654



Şekil 6.43. Durum 7 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri



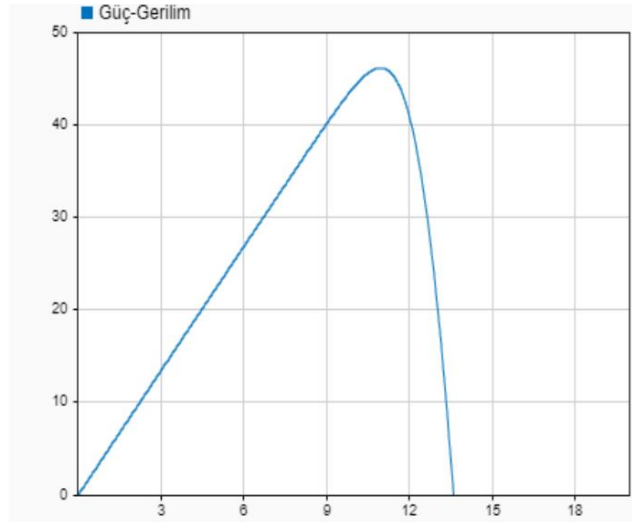
Şekil 6.44. Durum 7 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri

Durum 7’de P&O algoritmasının, PSO<sub>4.Der.</sub> ve PSO<sub>ort.</sub>’nın teorik maksimum değere çok yakın olduğu sezgisel PSO’nun ise %89 verimle çalıştığı görülmüştür. Oturma zamanı karşılaştırması yapıldığında ise P&O algoritmasının birden çok tepe değeri olduğundan dolayı sürekli ideal Duty Cycle değerini taradığı bu yüzden de çok daha yüksek bir zamanda oturduğu görülmüştür. Bu yüzden de Durum 7 için PSO<sub>4.Der.</sub> ve PSO<sub>ort</sub> daha verimli çalıştığı görülmüştür. Geliştirilmiş PSO algoritmaları ve temel PSO algoritmalarının yazılımsal karmaşıklığı ve iterasyon sayısından dolayı gerçek simülasyon değerinin büyük değerler gördüğü, klasik P&O algoritmasının ise stop time’nın 1’e ayarlanması durumunda yetmediği bu yüzden de 2’ye ayarlandığı ve gerçek simülasyon süresinin 2 kat arttığı görülmüştür.

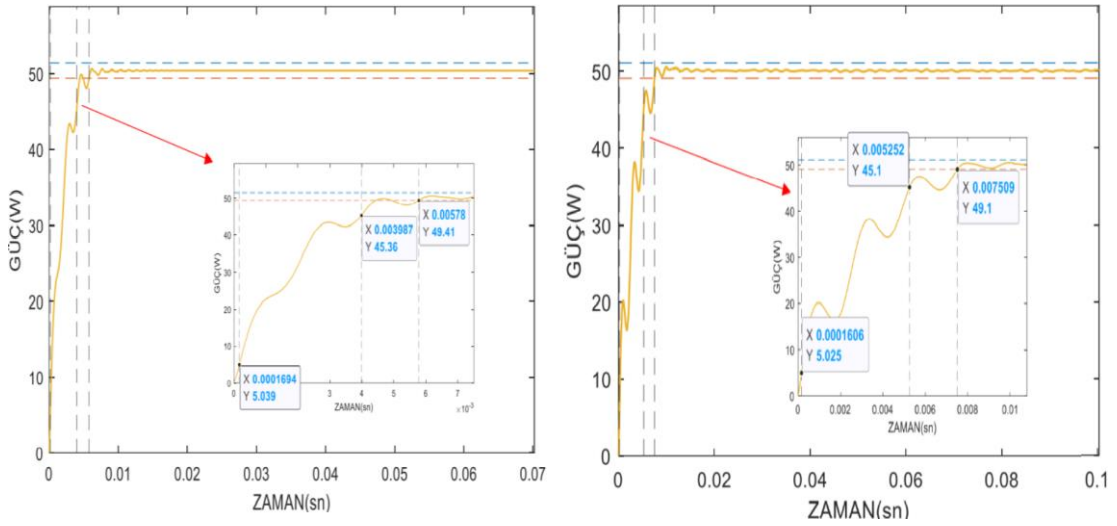
#### 6.3.4. Durum 8 Analizi

Bulutun geçişi esnasında PV panelde oluşan oluşan gölgelenmede, panelin sol kısmında gölgelenme oluşurken sağ kısmında ise herhangi bir gölgelenme oluşmamıştır. Yapılan çalışma Şekil 6.45’de gösterilmiştir. Güç eğrisinde yerel maksimum noktaları belirgin bir şekilde gözükmemektedir. 4 Algoritma için oluşan güç eğrileri Şekil 6.46 ve Şekil 6.47’de verilmiş, sonuç değerleri ise Tablo 6.7’de verilmiştir.

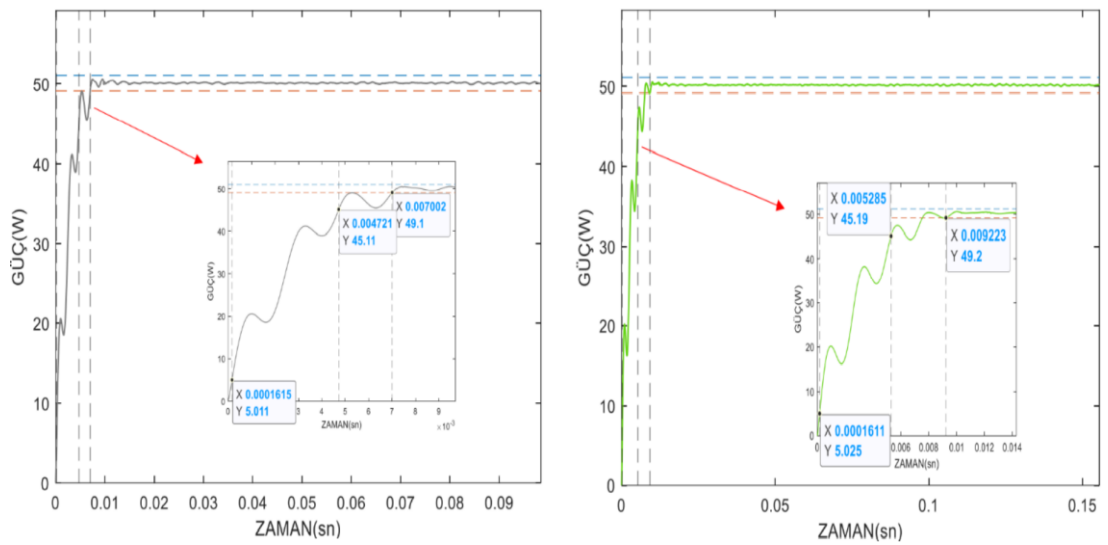
200	200	900	900
200	200	900	900
200	200	900	900
200	200	900	900



Şekil 6.45. Durum 8 Panelde Oluşan Gölgeleme ve Güç Eğrisi



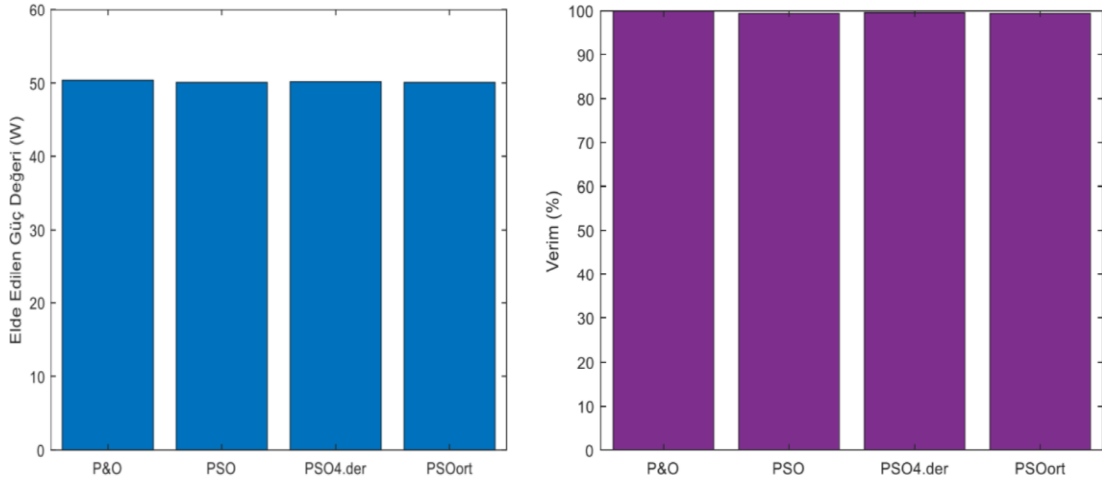
Şekil 6.46. Durum 8 (a) P&O Algoritması (b) PSO Algoritması



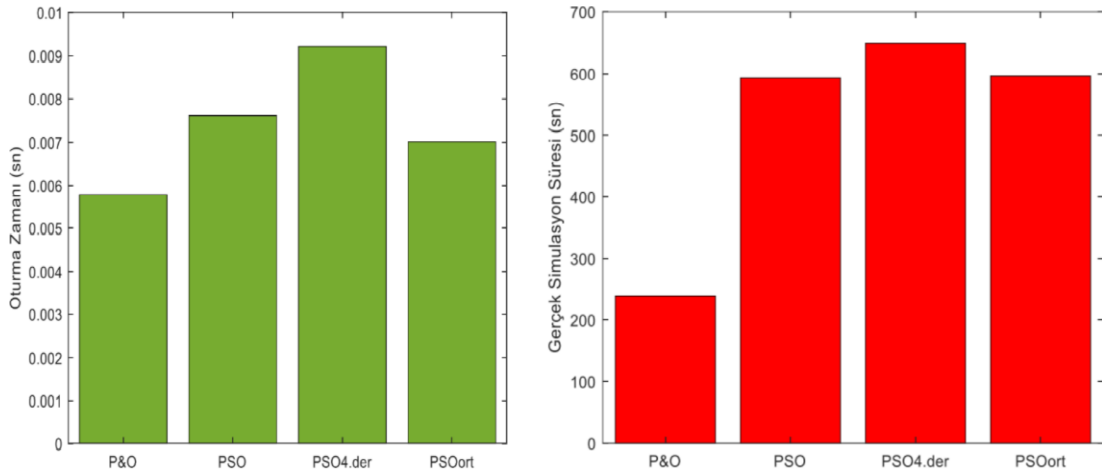
Şekil 6.47. Durum 8 (a) PSO<sub>ORT</sub> Algoritması (b) PSO<sub>4.DER</sub> Algoritması

Tablo 6.7. Durum 8 için P&O, PSO, PSO<sub>ORT</sub>, PSO<sub>4.DER.</sub> değerleri

	P&O	PSO	PSO <sub>ORT.</sub>	PSO <sub>4.DER.</sub>
Teorik Güç Değeri	50,4	50,4	50,4	50,4
Elde Edilen Güç Değeri	50,4	50,1	50,1	50,2
Verim (%)	100	99,4	99,4	99,6
Oturma Zamanı	0,00578	0,007612	0,007013	0,00921
Yükselme Zamanı	0,00381	0,00508	0,00457	0,00512
Gerçek Simülasyon Süresi (CPU Time) (sn)	239,231370	593,548120	596,704804	648,737117



Şekil 6.48. Durum 8 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri

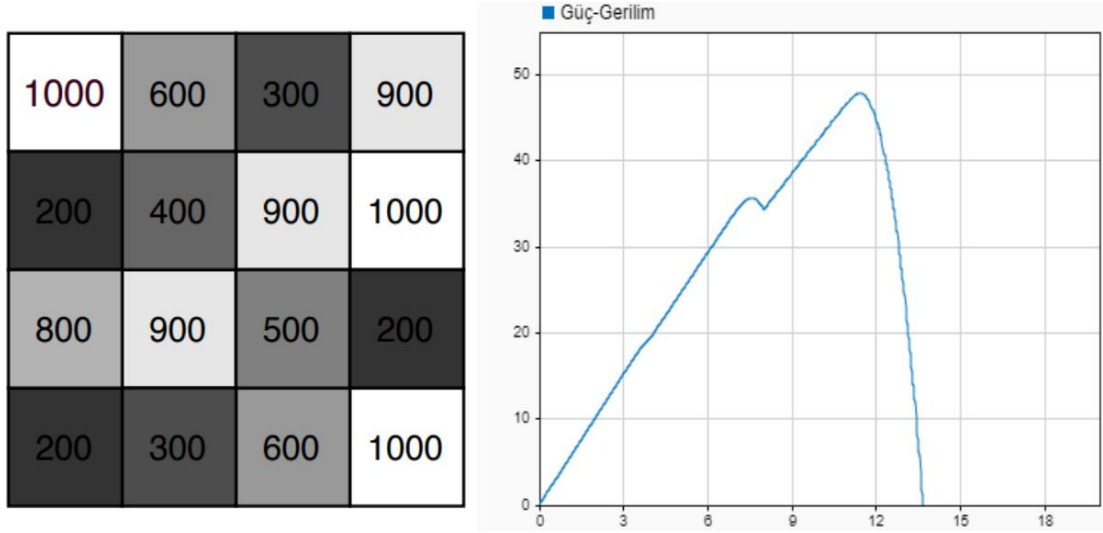


Şekil 6.49. Durum 8 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri

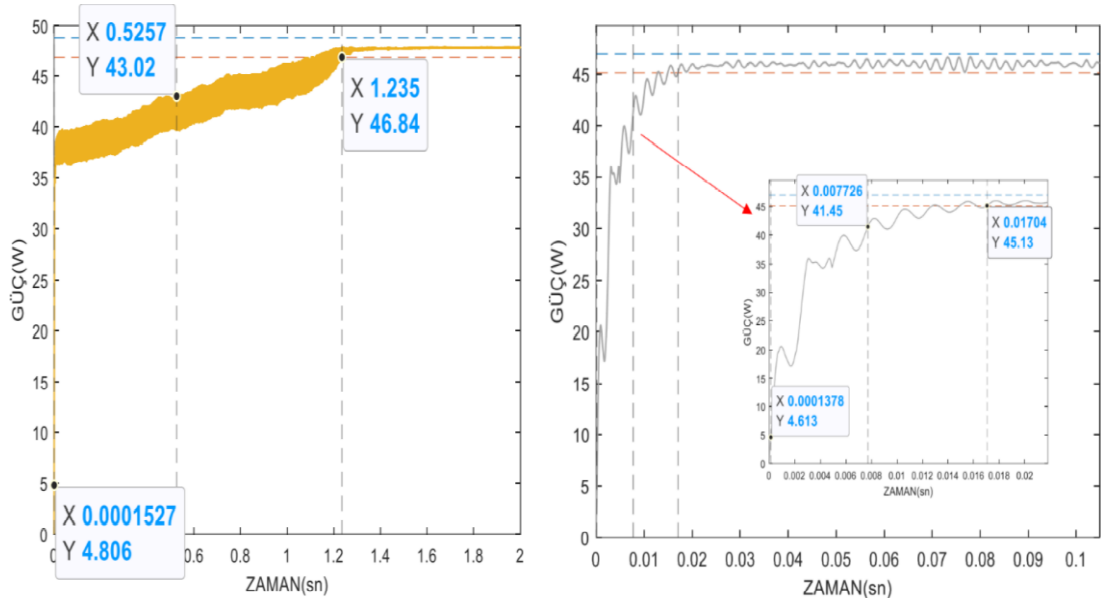
Durum 8'de P&O, sezgisel PSO, PSO<sub>4.Der</sub> ve PSO<sub>ort</sub>'nın teorik maksimum değere çok yakın bir değer olduğu ve 4 yönteminde oturma zamanı değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Sezgisel PSO algoritmasının gerek iterasyon sayısının 20 olmasından dolayı gerekse yazılımın P&O'ya göre çok daha uzun olmasından dolayı gerçek simülasyon değeri daha yüksek elde edilmiştir.

### 6.3.5. Durum 9 Analizi

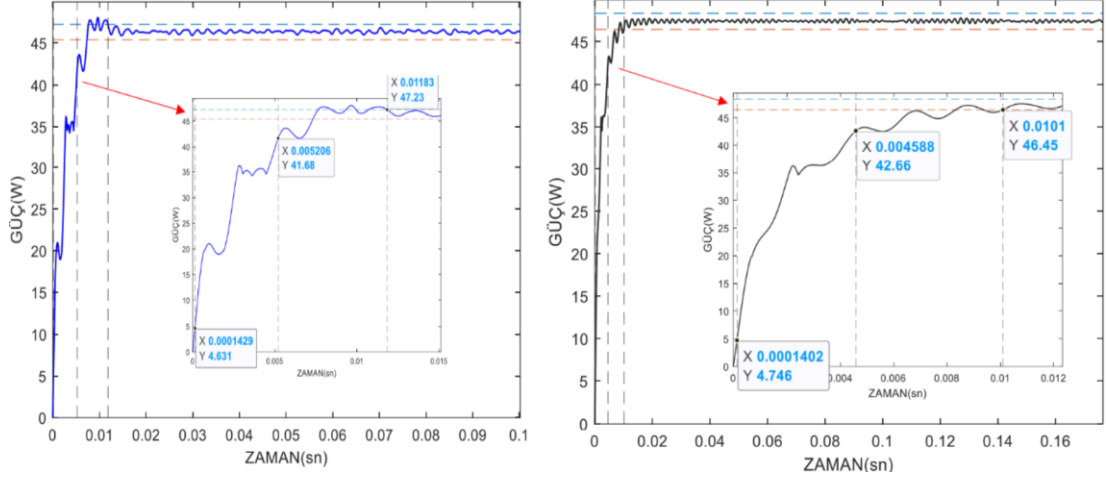
Panelin üzerinde oluşabilecek parçacıklardan dolayı oluşabilecek karmaşık gölgeleme incelenmiş yapılan çalışma Şekil 6.50'de gösterilmiştir. Güç eğrisinde yerel maksimum noktaları belirgin bir şekilde gözükmemektedir. 4 Algoritma için oluşan güç eğrileri Şekil 6.51 ve Şekil 6.52'de verilmiş, sonuç değerleri ise Tablo 6.8'de verilmiştir.



Şekil 6.50. Durum 9 Panelde Oluşan Gölgeleme ve Güç Eğrisi



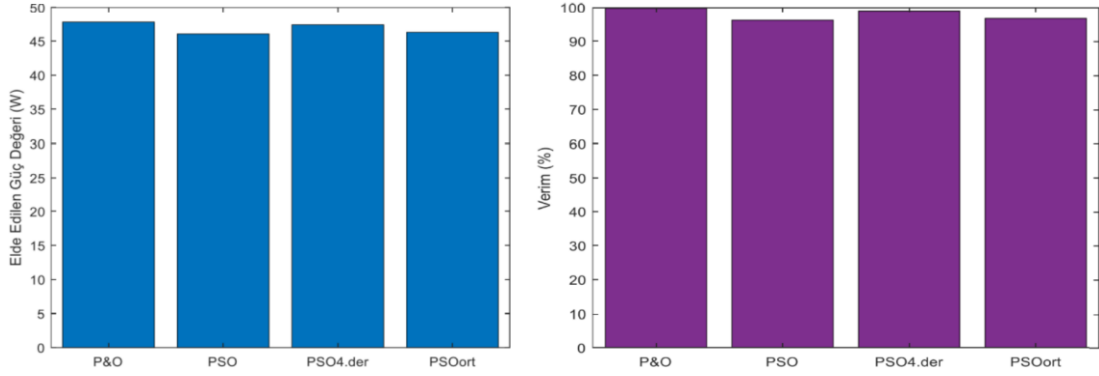
Şekil 6.51. Durum 9 (a) P&O Algoritması (b) PSO Algoritması



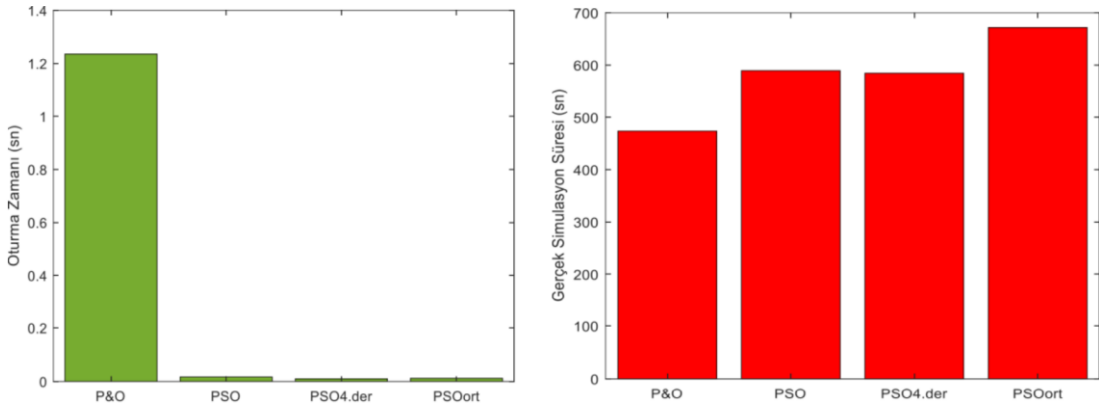
Şekil 6.52. Durum 9 (a)  $PSO_{ORT}$ . Algoritması (b)  $PSO_{4.DER}$ . Algoritması

Tablo 6.8. Durum 9 İçin P&O, PSO,  $PSO_{ORT}$ ,  $PSO_{4.DER}$ . Değerleri

	P&O	PSO	$PSO_{ORT}$ .	$PSO_{4.DER}$ .
Teorik Güç Değeri	47,85	47,85	47,85	47,85
Elde Edilen Güç Değeri	47,8	46,05	46,3	47,4
Verim (%)	99,8	96,2	96,7	99,0
Oturma Zamanı	1,235	0,0170	0,01183	0,0101
Yükselme Zamanı	0,5255	0,0076	0,00504	0,00445
Gerçek Simülasyon Süresi (CPU Time) (sn)	473,732023	589,368289	584,417335	670,509072



Şekil 6.53. Durum 9 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri



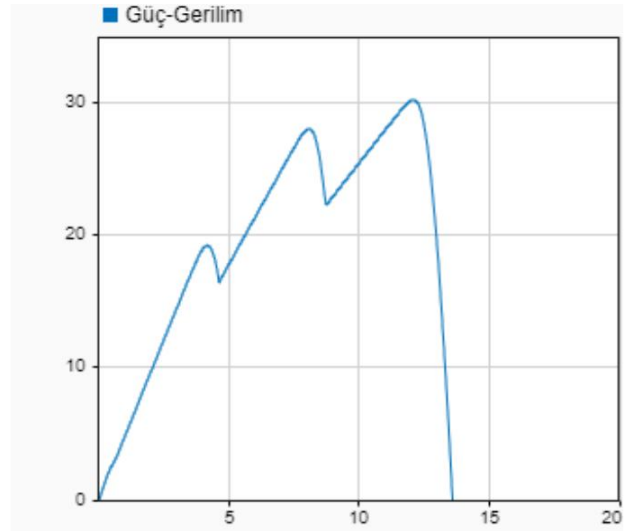
Şekil 6.54. Durum 9 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri

Durum 9’da P&O, PSO, PSO<sub>4.Der.</sub> ve PSO<sub>ort.</sub>’nın teorik maksimum değere çok yakın bir değer olduğu ancak P&O algoritmasının tarama süresinin uzunluğundan dolayı oturma zamanının diğer algoritmalara göre 100 kat daha büyük olduğu görülmüştür. Durum 9 için P&O algoritmasının daha verimsiz çalıştığı görülmüştür. Burada 4 yöntemin de gerçek sümulasyon süresinin birbirine yakın olmasında P&O algoritmasının stop time’nın diğerlerine göre 2 kat olmasından dolayıdır. P&O algoritmasının stop time’ı diğerleri ile aynı değerde olduğu takdirde oturma zamanı için belirlenen güç aralığına girmediği görülmüştür.

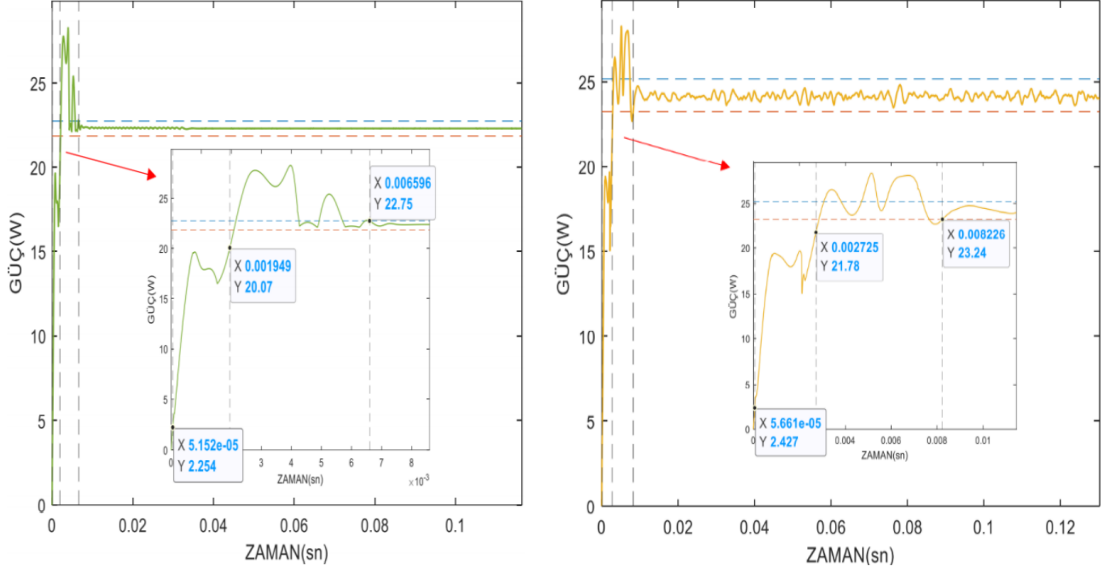
### 6.3.6. Durum 10 Analizi

Durum 10’da bulutun geçişi esnasında PV panelde oluşan gölgelenmede, panelin sol alt köşesine gittikçe daha keskin artan bir gölgelenme durumu incelenmiştir. Yapılan çalışma Şekil 6.55’de gösterilmiştir. Güç eğrisinde yerel maksimum noktalarının bu çalışmada çok daha keskin bir şekilde olduğu gözükmemektedir. 4 Algoritma için oluşan güç eğrileri Şekil 6.56 ve Şekil 6.57’de verilmiş, sonuç değerleri ise Tablo 6.9’da verilmiştir.

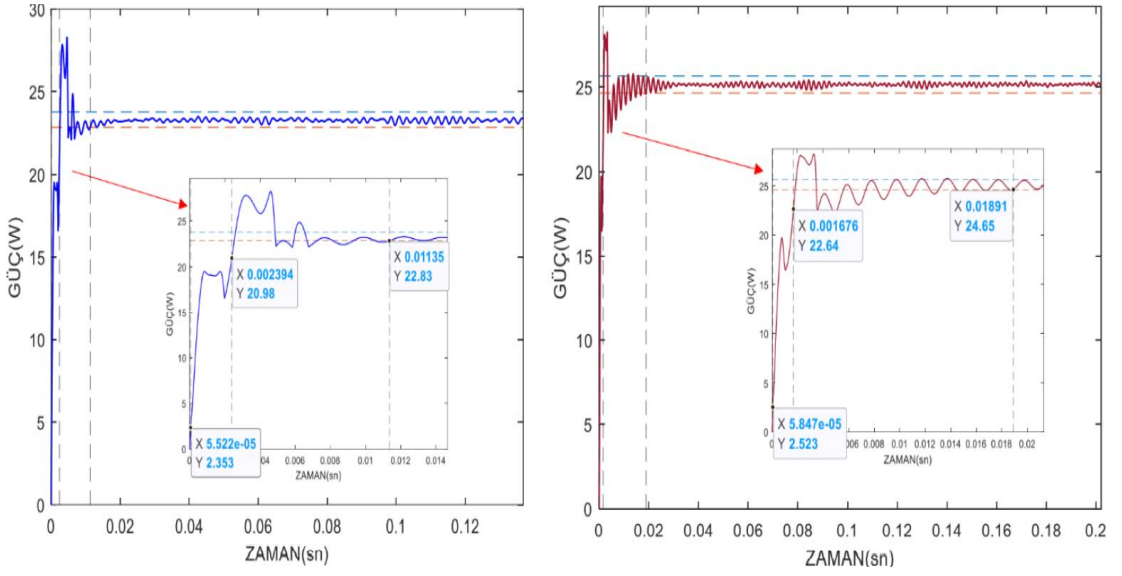
550	600	900	1000
350	550	600	900
250	350	550	600
100	250	350	550



Şekil 6.55. Durum 10 Panelde Oluşan Gölgeleme ve Güç Eğrisi



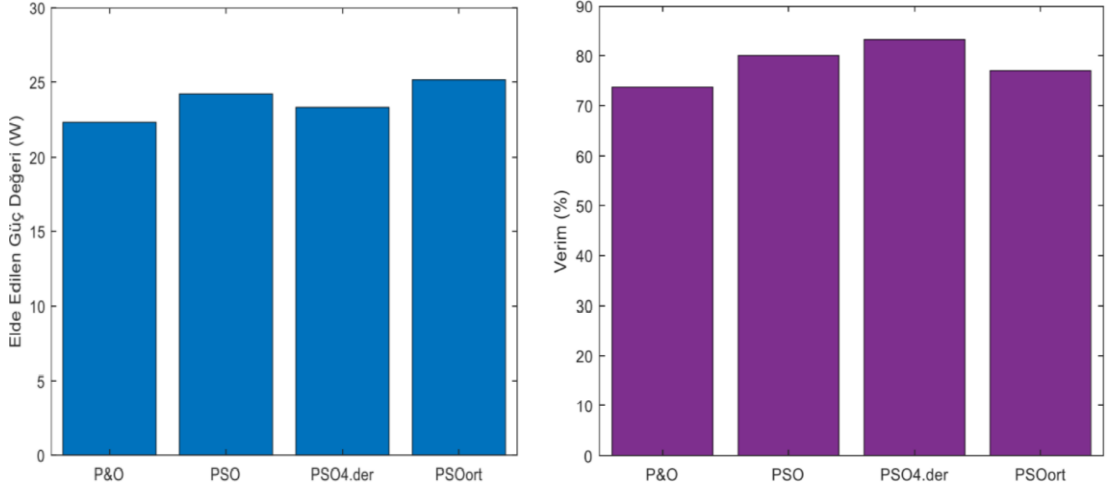
Şekil 6.56. Durum 10 (a) P&O Algoritması (b) PSO Algoritması



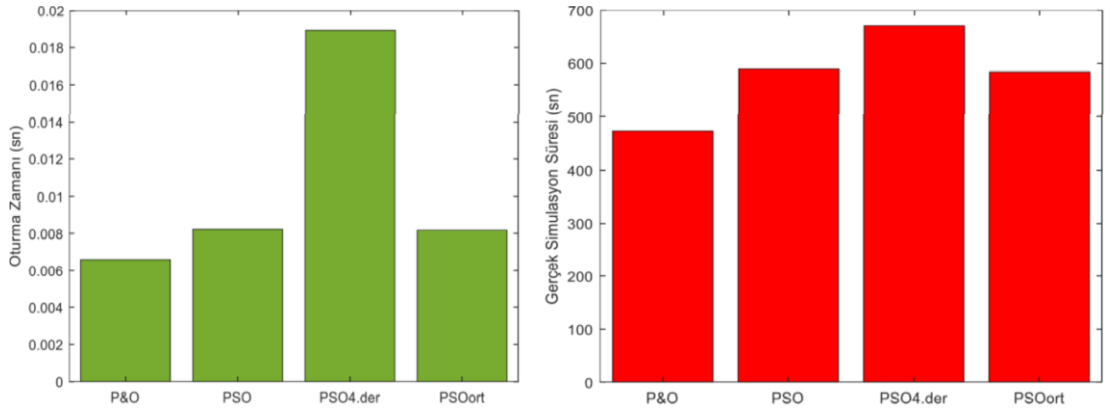
Şekil 6.57. Durum 10 (a) PSO<sub>ORT</sub>. Algoritması (b) PSO<sub>4.DER</sub>. Algoritması

Tablo 6.9. Durum 10 için P&O, PSO, PSO<sub>ORT</sub>, PSO<sub>4.DER</sub>. Değerleri

	P&O	PSO	PSO <sub>ORT</sub>	PSO <sub>4.DER</sub>
Teorik Güç Değeri	30,23	30,23	30,23	30,23
Elde Edilen Güç Değeri	22,3	24,2	23,3	25,15
Verim (%)	73,7	80,0	77,0	83,19
Oturma Zamanı	0,006592	0,008233	0,008183	0,01891
Yükselme Zamanı	0,001901	0,0026647	0,002372	0,0016126
Gerçek Simülasyon Süresi (CPU Time) (sn)	473,732023	589,368289	584,417335	670,509072



Şekil 6.58. Durum 10 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri



Şekil 6.59. Durum 10 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri

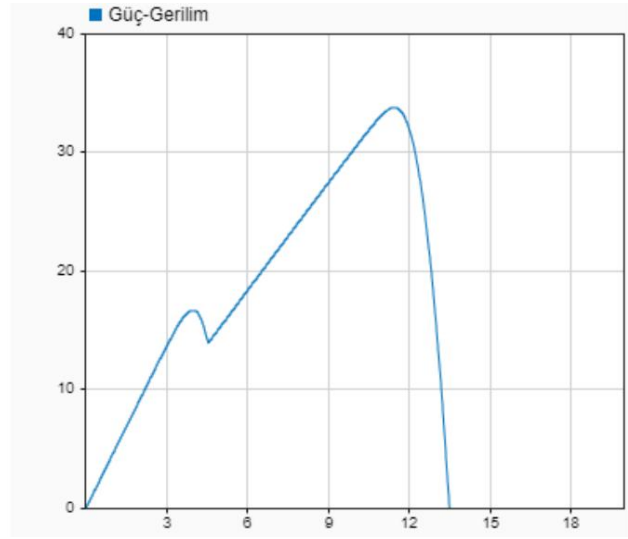
Durum 10'da P&O algoritmasının %73,7, sezgisel PSO algoritmasının %80,05, PSO<sub>ort</sub>'nun %77,0 ve PSO<sub>4.Der.</sub> %83,19 verimde çalıştığı görülmektedir. Bu durumda hiçbir algoritma MPPT yapamamaktadır. Ancak en yüksek verimde çalışan ise %83,19 ile PSO<sub>4.Der.</sub> olmuştur. Optimizasyon amacıyla bakıldığında, yerel optimum daha fazla olduğundan ve daha ayırık olmasından dolayı buradaki 4 yöntem de MPPT yapamamıştır. Bu gibi keskin yerel maksimum noktalarının ayırt edilmesi önem göstermektedir. Bu durum altında P&O algoritmasında herhangi bir değişiklik yapılamamaktadır, ancak PSO algoritmasının bu gibi durumlar için daha da geliştirilmesi gerekmektedir.

### 6.3.7. Durum 11 Analizi

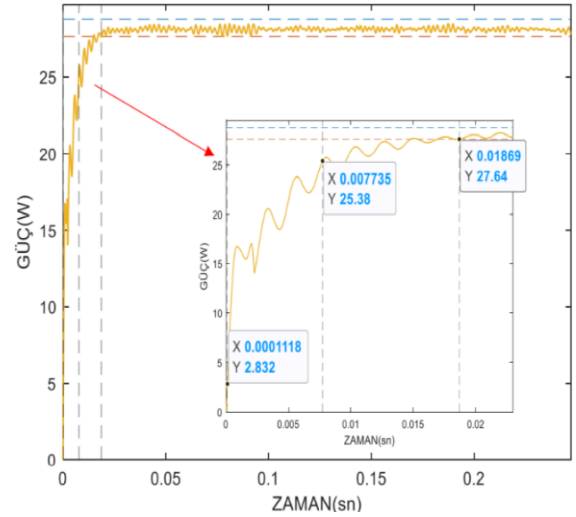
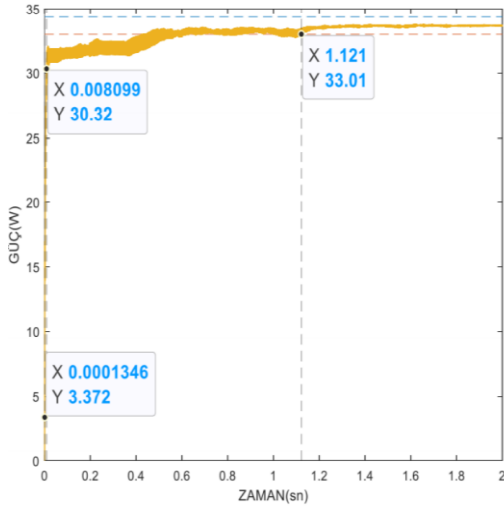
Bulutun geçişi esnasında PV panelde oluşan gölgelenmede panelin ortasında bir gölgelenme oluşma durumu incelenmiştir. Yapılan çalışma Şekil 6.60'da gösterilmiştir. Çalışmadaki 4 Algoritma için oluşan güç eğrileri Şekil 6.61 ve Şekil

62’de verilmiş, sonuç değerleri ise Tablo 6.10’da verilmiştir.

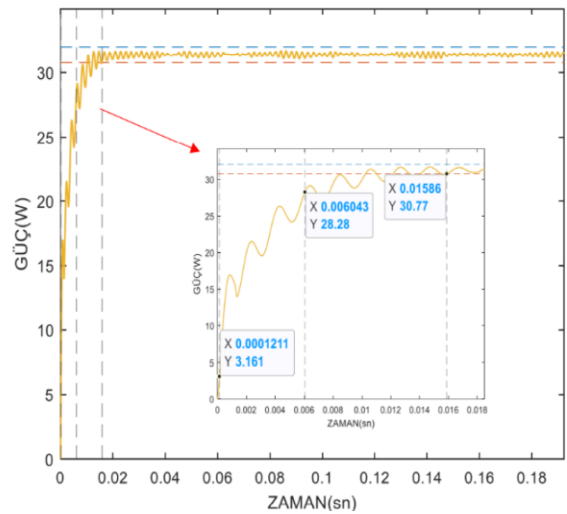
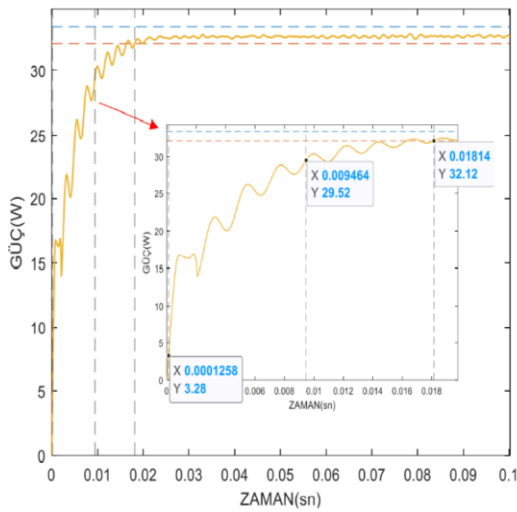
100	250	900	1000
250	100	250	900
900	250	100	250
1000	900	250	100



Şekil 6.60. Durum 11 Panelde Oluşan Gölgeleme ve Güç Eğrisi



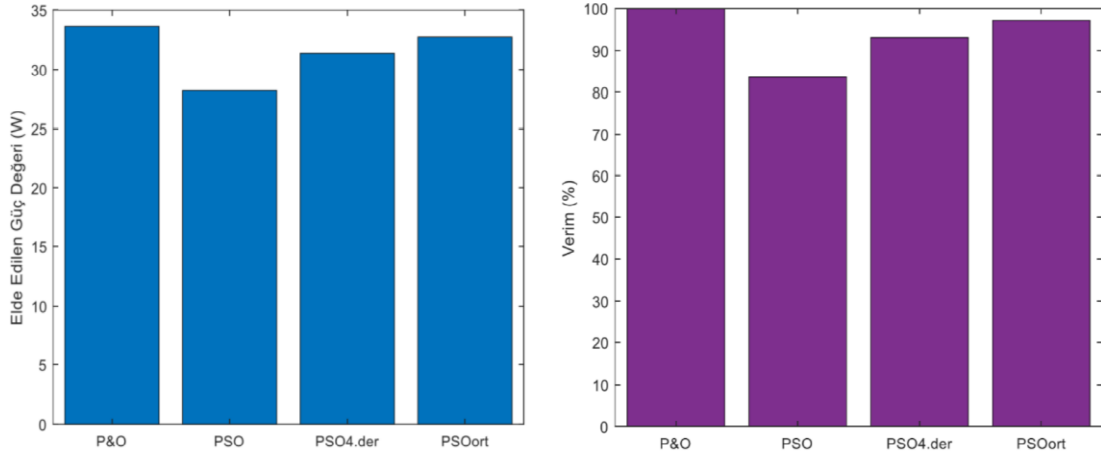
Şekil 6.61. Durum 11 (a) P&O Algoritması (b) PSO Algoritması



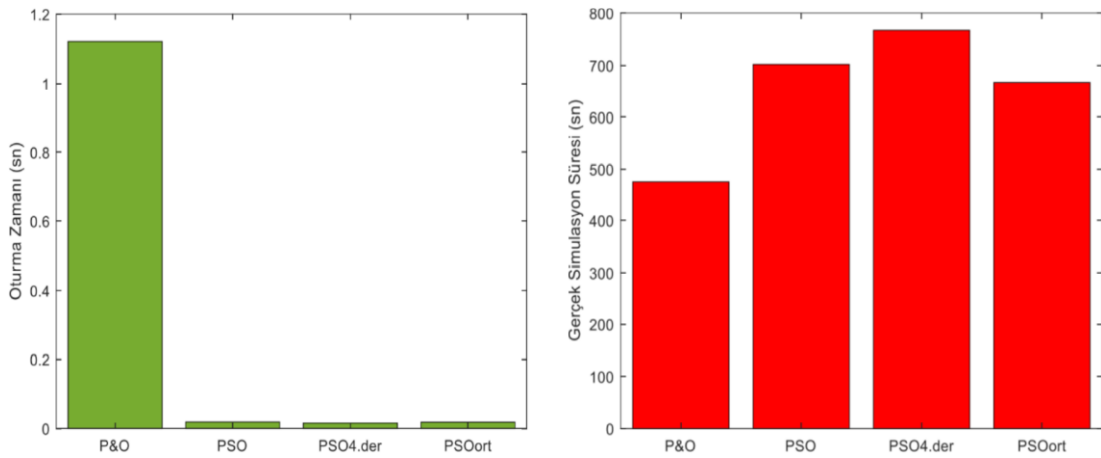
Şekil 6.62. Durum 11 (a) PSO<sub>ORT</sub>. Algoritması (b) PSO<sub>4.DER</sub>. Algoritması

Tablo 6.10. Durum 11 İçin P&O, PSO, PSO<sub>ORT</sub>, PSO<sub>4.DER.</sub> Değerleri

	P&O	PSO	PSO <sub>ORT.</sub>	PSO <sub>4.DER.</sub>
Teorik Güç Değeri	33,7	33,7	33,7	33,7
Elde Edilen Güç Değeri	33,68	28,2	32,78	31,4
Verim (%)	99,9	83,6	97,27	93,17
Oturma Zamanı	1,121	0,01871	0,01814	0,015888
Yükselme Zamanı	0,00796	0,0075843	0,009346	0,0059129
Gerçek Simülasyon Süresi (CPU Time) (sn)	475,639339	702,067944	667,161547	767,896059



Şekil 6.63. Durum 11 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri



Şekil 6.64. Durum 11 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri

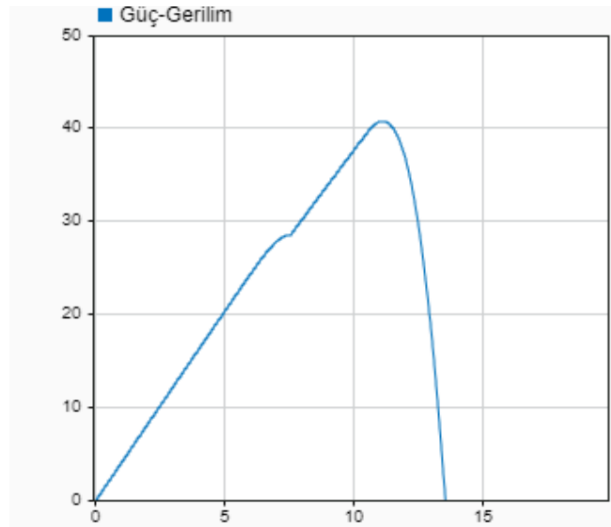
Durum 11’de P&O algoritmasının ve PSO<sub>ORT</sub>’nin teorik maksimum değere çok yakın olduğu PSO<sub>4.DER.</sub> %93,1, sezgisel PSO’nun ise %83,1 verimle çalıştığı görülmüştür. Oturma zamanı karşılaştırıldığında ise P&O algoritmasının ideal Duty Cycle değerini sürekli taradığı ve daha geç bu değeri bulduğundan dolayı diğerlerine göre 55 kat daha yüksek bir değerde olduğu görülmektedir. Gerçek simülasyon süresi karşılaştırması yapıldığında gerek yazılımsal karmaşıklıktan gerekse iterasyon sayısından dolayı uzun bir sürede tamamlamıştır, ancak klasik P&O algoritmasının

tarama süresinin uzunluğundan dolayı stop time 2'e ayarlanmıştır bu yüzden de diğer yöntemlere yakın bir değer görülmüştür. Durum 11'de PSO<sub>ort</sub> daha verimli çalıştığı görülmüştür.

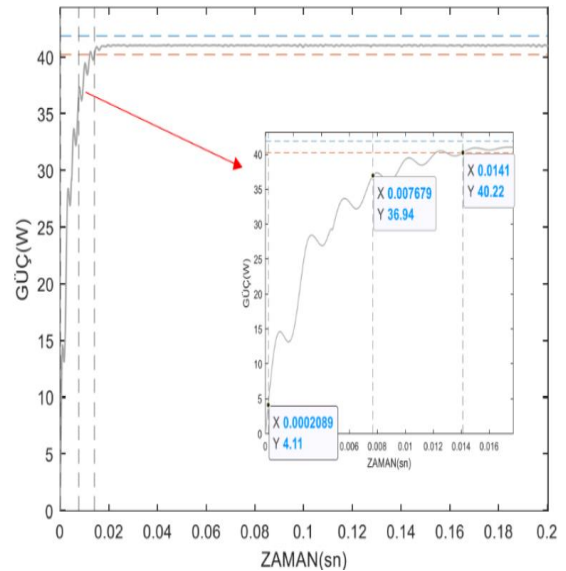
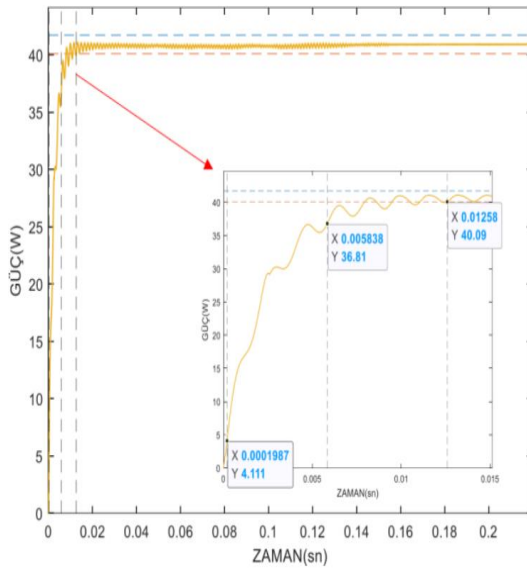
### 6.3.8. Durum 12 Analizi

PV panelin sağ üst ve sol alt köşelerinde keskin bir gölgelenme oluşurken sağ alt kımında daha az sol üst kısmında ise gölgelenme oluşmama durumu incelenmiştir. Yapılan çalışma Şekil 6.65'de gösterilmiştir. 4 Algoritma için oluşan güç eğrileri Şekil 6.66 ve Şekil 6.67'de verilmiş, sonuç değerleri ise Tablo 6.11'de verilmiştir.

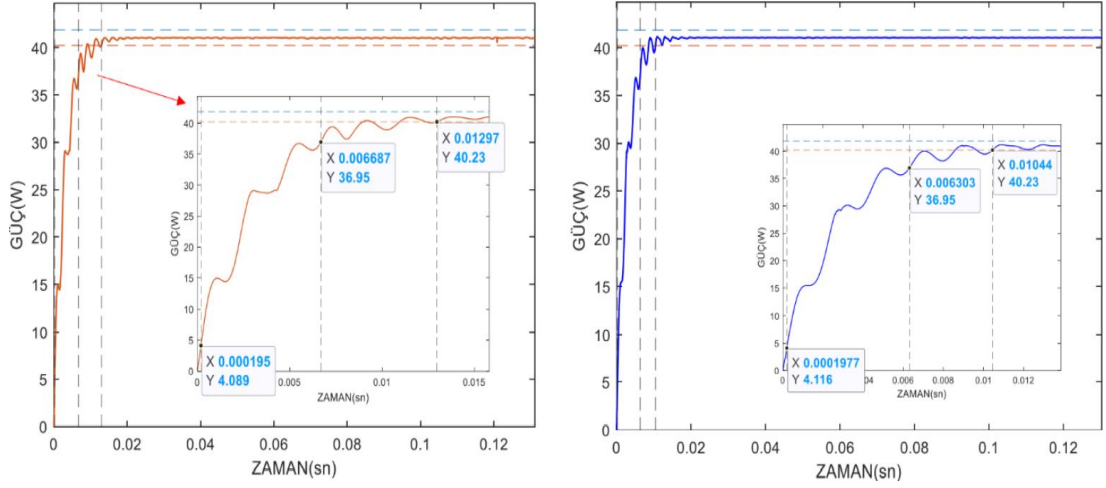
900	900	100	100
900	900	250	100
250	250	750	750
100	250	750	750



Şekil 6.65. Durum 12 Panelde Oluşan Gölgelenme ve Güç Eğrisi



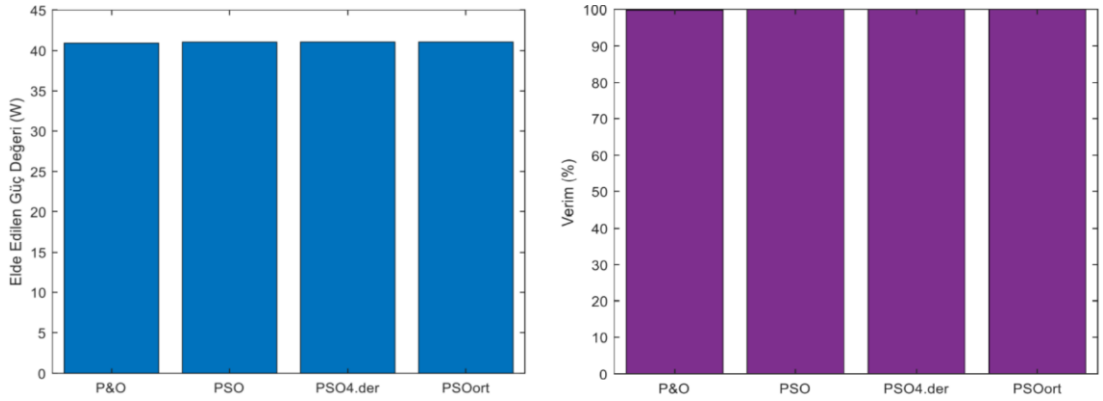
Şekil 6.66. Durum 12 (a) P&O Algoritması (b) PSO Algoritması



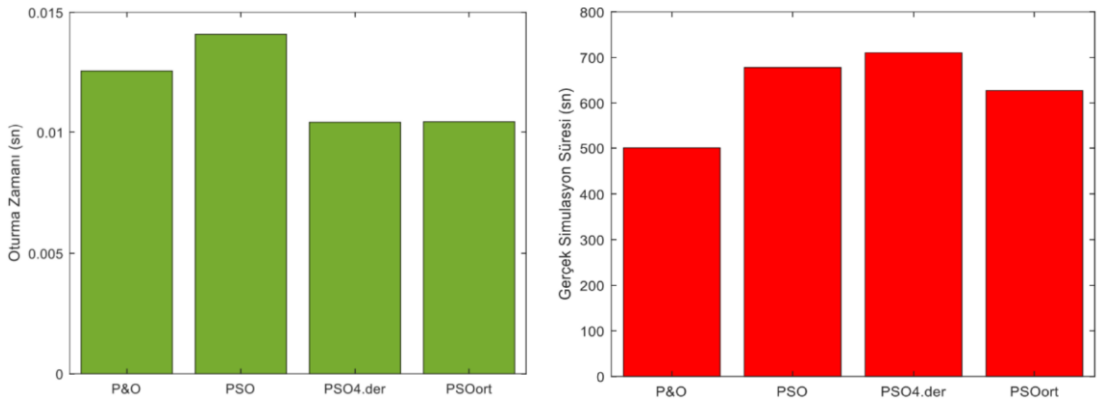
Şekil 6.67. Durum 12 (a) PSO<sub>ORT</sub>. Algoritması (b) PSO<sub>4.DER</sub>. Algoritması

Tablo 6.11. Durum 12 İçin P&O, PSO, PSO<sub>ORT</sub>, PSO<sub>4.DER</sub>. Değerleri

	P&O	PSO	PSO <sub>ORT</sub> .	PSO <sub>4.DER</sub> .
Teorik Güç Değeri	41,05	41,05	41,05	41,05
Elde Edilen Güç Değeri	40,91	41,04	41,05	41,05
Verim (%)	99,7	99,9	100	100
Oturma Zamanı	0,01257	0,01409	0,01046	0,01044
Yükselme Zamanı	0,00564	0,00746	0,0060887	0,006302
Gerçek Simülasyon Süresi (CPU Time) (sn)	500,240451	678,143091	627,398758	710,513476



Şekil 6.68. Durum 12 (a) Elde Edilen Güç (b) Verim Grafikleri



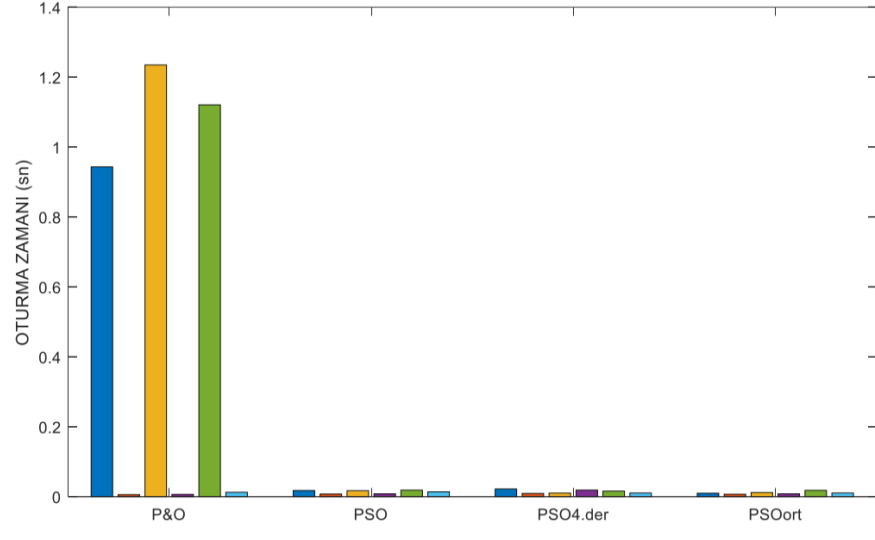
Şekil 6.69. Durum 12 (a) Oturma Zamanı (b) Gerçek Simülasyon Süresi Grafikleri

Durum 12’de P&O, sezgisel PSO, PSO<sub>4.DER.</sub> ve PSO<sub>ORT.</sub>’nin teorik maksimum değere çok yakın bir değer olduğu ve 4 yönteminde ideal Duty Cycle değerini birbirine yakın zamanda bulmalarından dolayı oturma zamanı değerlerinin birbirine çok yakın olduğu görülmektedir. Burada 4 yöntemin de gerçek simülasyon değerinin birbirine yakın olduğu sezgisel PSO’da yazılımsal ve iterasyon sayısı fazla olsa bile P&O algoritmasını yavaş çalıştırdığı görülmüştür. P&O algoritmasının MPP’yi bulmakta yaşadığı zorluktan dolayı sürekli bu bölgeyi aramaya devam etmiştir. Bu bölgeyi ararken yaptığı taramadan dolayı gerçek simülasyon süresinin bir o kadar uzun sürmesine neden olmuştur. P&O algoritması sonuç olarak MPP’yi bulmasına rağmen simülasyon süresinin çok uzun sürmesi P&O algoritmasının bu durum için yetersiz olduğunu göstermektedir.

### **6.3.9. Durum 7-8-9-10-11-12 için Simülasyon Yorumu**

Durum 7-8-9-11-12’de herhangi bir algoritmanın MPPT yaptığı ve teorik değere çok yakın bir değere ulaştığı görülmüştür. Durum 10’da en yüksek verimin %83,19 olduğu görülmüştür. Optimizasyon gözüyle bakıldığında yerel optimum daha fazla olduğundan ve daha ayrık olmasından dolayı buradaki 4 yöntem de MPPT yapamamıştır. P&O algoritmasının teorik maksimum değere çok yakın bir değere ulaştığı, ancak oturma zamanının diğer algoritmalara göre çok daha yüksek olduğundan dolayı daha verimsiz olduğu görülmüştür. Sezgisel PSO algoritmasının ise bazı durumlarda teorik maksimum değerden uzaklaştığı ancak düzeltilmiş PSO<sub>4.DER.</sub> ve PSO<sub>ORT.</sub> yöntemleri ile teorik değere ulaştığı görülmüştür.

Sonuç olarak PSO<sub>4.DER.</sub> ve PSO<sub>ORT.</sub> yöntemlerinin P&O ve PSO algoritmalarına göre daha verimli çalıştığı görülmüştür. Geliştirilen PSO yöntemleri kısmi gölgeleme şartları altında özel olarak tasarlandığından PSO yönteminin bu şartlar altındaki zayıflıklarına göre düzeltmeler yapılmıştır. Her durum için standart PSO’ya göre daha yüksek verim sağlayan iyileştirmeler, yazılımsal olarak eklenmelerden dolayı PSO yöntemine göre işlemi daha uzun sürmektedir. Ancak bu işlem uzunluğu standart PSO’ya göre çok küçük farklar olduğundan ve verimdeki artışın iyi olmasından dolayı ihmal edilebilir seviyededir ve bu dezavantajı ortadan kaldırılabilmektedir.



Şekil 6.70. Durum 7-8-9-10-11-12 için Oturma Zamanı Grafiği

## 7. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında sonuç olarak, gerek klasik P&O ve gerekse sezgisel PSO algoritması ile yapılan MPPT'nin yazılımsal olarak geliştirilmesi ile röle anahtarlama elektriksel yerdeğiştirmeye gerek kalmaksızın kısmi gölgeleme durumlarında da maksimum güç elde edilebileceği görülmüştür. Bununla birlikte, verim ve oturma zamanı kriterlerine göre tek panelde sabit ışımada klasik P&O algoritmasının, arama sıklığı DPWM değerinin en ideal değerine ayarlandığından dolayı PSO'ya göre daha verimli çalıştığı tespit edilmiştir. P&O algoritmasının Maksimum güce ulaşmayı sağlayan Duty Cycle değerine, PSO'ya göre daha kısa sürede ulaşmasından dolayı oturma zamanı değerinin ve yükselme zamanı değerinin daha iyi olduğu gerçek simülasyon süresi karşılaştırması yapıldığında gerek yazılımsal karmaşıklıkta gerekse iterasyon sayısından dolayı sezgisel PSO algoritmasının daha uzun bir sürede tamamladığı görülmüştür. Sabit ışımada P&O algoritmasının PSO'ya göre daha başarılı sonuç verdiği görülmüştür.

Tek panelde değişken ışımada olması durumunda sezgisel PSO algoritmasının, P&O'ya göre daha verimli çalıştığı maksimum güce ulaşılan Duty Cycle değerine her durumda ulaştığı, P&O'nun ise her durumda ulaşamadığı görülmüştür. P&O algoritmasının tarama süresinin bazı durumlarda PSO'ya göre çok daha uzun olmasından dolayı oturma zamanının daha yüksek değerlere ulaştığı, taramaya devam ettiği ancak bulamadığı görülmüştür. Gerçek simülasyon süresi karşılaştırması yapıldığında gerek yazılımsal karmaşıklıkta gerekse iterasyon sayısından dolayı sezgisel PSO algoritmasının daha uzun bir sürede tamamlandığı görülmüştür. Tek panelde değişken ışımada olması durumunda sezgisel PSO algoritmasının daha başarılı sonuç verdiği görülmüştür.

Kısmi gölgelenme durumunda ise geliştirilmiş PSO algoritmalarının klasik P&O ve sezgisel PSO'ya göre daha verimli olduğu görülmüştür. P&O algoritmasının ise çoğu durumda maksimum güce ulaşmasına rağmen tarama süresinin uzunluğundan dolayı oturma zamanı çok yüksek değer olarak ortaya çıkmış ve tercih edilmemiştir. Gerçek simülasyon süresi karşılaştırıldığında ise geliştirilmiş PSO'nun sezgisel PSO'ya göre daha fazla kod eklenmesinden dolayı daha yüksek değer olduğu klasik P&O'da ise bazı durumlarda stop time 2 kat fazla alındığından dolayı gerçek simülasyon süresine yakın değerler çıktığı görülmüştür. Bu durumda, geliştirilmiş PSO algoritmasının daha başarılı sonuç verdiği görülmüştür.

Bu çalışmada, tek panelde P&O algoritmasında yaşanan durumlar, geliştirilmiş P&O yöntemi ile, değişken güneş ışınımı için herhangi bir düzeltme tekrarı olmamış ve kısmi gölgelenme durumu için ise standart PSO yönteminde 2 düzeltme metodu uygulanmıştır. Yapılan tüm düzeltmeler, çalışılan durumların verimini yükseltmiştir. Sabit Işıma için P&O ve PSO, değişken ışımaya için PSO yöntemleri her durum için mükemmel yakın çalışırken, kısmi gölgelenme durumlarında PSO yöntemi geliştirilmiş ve çok daha iyi sonuçlara ulaşılmış olmasına rağmen, bazı durumlarda mükemmel bir verim değerine ulaşamamıştır. Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda kısmi gölgelenme durumlarında yerel maksimum durumunun keskin tepe değerleri dikkate alınmalı ve bu durumlar için küresel maksimum değere ulaşabilen algoritmaların geliştirilmesi gerekmektedir.

## REFERANSLAR

- Andrade, L. M., Vicente, P. dos S., Tofoli, F. L., & Moreira Vicente, E. (2019). Critical analysis of PSO and its variations applied to MPPT for PV Systems under Partial Shading Condition. *2019 IEEE 15th Brazilian Power Electronics Conference and 5th IEEE Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC)*, 1-6.
- Anoop, K., & Nandakumar, M. (2018). A novel maximum power point tracking method based on particle swarm optimization combined with one cycle control. *2018 International Conference on Power, Instrumentation, Control and Computing (PICC)*, 1-6.
- Belghith, O. B., Sbita, L., & Bettaher, F. (2016). MPPT Design Using PSO Technique for Photovoltaic System Control Comparing to Fuzzy Logic and P&O Controllers. *Energy and Power Engineering*, 08(11), 349-366.
- Bodur, H. (2012). *Güç Elektroniği Temel Analiz ve Sayısal Uygulamalar*. İstanbul: Birsen Yayınevi
- Chaieb, H., & Sakly, A. (2015). Comparison between P&O and P.S.O methods based MPPT algorithm for photovoltaic systems. *2015 16th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA)*, 694-699.
- Chao, R.-M., Jhang, J.-C., Wang, I.-K., & Hsu, S.-C. (2017). Hardware implementation of a distributed pv system based on the central operation of the MPPT algorithm. *2017 4th International Conference on Systems and Informatics (ICSAI)*, 262-267.
- Choutapalli, H., Bharath, K. R., & Kanakasabapathy, P. (2018). A Review on Advanced MPPT methods for SPV system under Partial Shaded Conditions. *2018 International Conference on Control, Power, Communication and Computing Technologies (ICCPCT)*, 305-310.
- Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995). A new optimizer using particle swarm theory. *MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, 39-43.
- Efendi, Moh. Z., Murdianto, F. D., & Setiawan, R. E. (2017). Modeling and simulation of MPPT sepie converter using modified PSO to overcome partial shading impact on DC microgrid system. *2017 International Electronics Symposium on Engineering Technology and Applications (IES-ETA)*, 27-32.
- El Telbany, M. E., Youssef, A., & Zekry, A. A. (2014). Intelligent Techniques for MPPT Control in Photovoltaic Systems: A Comprehensive Review. *2014 4th International Conference on Artificial Intelligence with Applications in Engineering and Technology*, 17-22.
- Gözde, H., (2018). Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Elektrik Güç Dönüşümü Ders Notları, 40-60.
- Gupta, A. K., & Saxena, R. (2016). Review on widely-used MPPT techniques for PV applications. *2016 International Conference on Innovation and Challenges in Cyber Security (ICICCS-INBUSH)*, 270-273.
- Gümüş, Z., & DemiRtaş, M. (2020). Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takibinde Kullanılan Algoritmaların Kısmi Gölgeleme Koşulları Altında Karşılaştırılması. *Journal of Polytechnic*.
- Hayder, W., Ogliari, E., Dolara, A., Abid, A., Ben Hamed, M., & Sbita, L. (2020). Improved PSO: A Comparative Study in MPPT Algorithm for PV System Control under Partial Shading Conditions. *Energies*, 13(8), 2035.d PSO: A Comparative Study in MPPT Algorithm for PV System Control under Partial Shading
- Hu, Y., Lu, J., Deng, Y., & Zhang, Z. (2015). MPPT ALGORITHM BASED ON PARTICLE SWARM OPTIMIZATION WITH NATURAL SELECTION. *Proceedings of the 2015 3rd International Conference on Machinery, Materials and Information Technology Applications*. 2015 3rd International Conference on

- Machinery, Materials and Information Technology Applications, Qingdao, China.
- Huynh, D. C., Nguyen, T. M., Dunnigan, M. W., & Mueller, M. A. (2013). Global MPPT of solar PV modules using a dynamic PSO algorithm under partial shading conditions. *2013 IEEE Conference on Clean Energy and Technology (CEAT)*, 134-139.  
<https://www.elektrikde.com/gunes-panellerinde-on-grid-ve-off-grid-baglanti-sistemleri/>  
<https://muhendistan.com/sebekeden-bagimsiz-solar-sistem-tasarimi/>
- Ishaque, K., Salam, Z., Amjad, M., & Mekhilef, S. (2012). An Improved Particle Swarm Optimization (PSO)–Based MPPT for PV With Reduced Steady-State Oscillation. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27(8), 3627-3638.
- Iqbal, D., Ahmad, T., Pervez, I., Malick, I. H., Sarwar, A., & Tariq, M. (2020). Performance of PSO Based Variants in Tracking Optimal Power in a Solar PV based Generation System under Partial Shading Condition. *Smart Science*, 8(1), 1-13.
- Kariem, H., Touti, E., & Fetouh, T. (2020). The efficiency of PSO-based MPPT technique of an electric vehicle within the city. *Measurement and Control*, 53(3-4), 461-473.
- Kircioglu, O., Unlu, M., & Camur, S. (2019). The PSO Based Global Maximum Power Point Tracker. *2019 11th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI)*, 1-4.
- Li, N., Mingxuan, M., Yihao, W., Lichuang, C., Lin, Z., & Qianjin, Z. (2019). Maximum Power Point Tracking Control Based on Modified ABC Algorithm for Shaded PV System. *2019 AEIT International Conference of Electrical and Electronic Technologies for Automotive (AEIT AUTOMOTIVE)*, 1-5.
- Li, S., Ping, A., Liu, Y., Ma, X., & Li, C. (2020). A variable-weather-parameter MPPT method based on a defined characteristic resistance of photovoltaic cell. *Solar Energy*, 199, 673-684.
- Liu, G., Zhu, J., Tao, H., Wang, W., & Blaabjerg, F. (2019). *A MPPT Algorithm based on PSO for PV Array Under Partially Shaded Condition*. 5.
- Loukil, K., Abbes, H., Abid, H., Abid, M., & Toumi, A. (2020). Design and implementation of reconfigurable MPPT fuzzy controller for photovoltaic systems. *Ain Shams Engineering*
- L, P. R., Sekhar Dash, S., & Dwibedi, R. K. (2020). Design and Implementation of Perturb & Observe MPPT Algorithm under Partial Shading Conditions (PSC) for DC-DC Boost Converter by Simulation analysis. *2020 International Conference on Computational Intelligence for Smart Power System and Sustainable Energy (CISPSE)*, 1-4.
- Mirza, A. F., Mansoor, M., Ling, Q., Yin, B., & Javed, M. Y. (2020). A Salp-Swarm Optimization based MPPT technique for harvesting maximum energy from PV systems under partial shading conditions. *Energy Conversion and Management*, 209, 112625.
- Miyatake, M., Veerachary, M., Toriumi, F., Fujii, N., & Ko, H. (2011). Maximum Power Point Tracking of Multiple Photovoltaic Arrays: A PSO Approach. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 47(1), 367-380.
- Mohammed, S. S., & Devaraj, D. (2014). Simulation and analysis of stand-alone photovoltaic system with boost converter using MATLAB/Simulink. *2014 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2014]*, 814-821.
- Mohammed V University in Rabat, Ahmed, C., Cherkaoui, M., Mohammed V University in Rabat, Mokhlis, M., & Mohammed V University in Rabat. (2020). PSO-SMC Controller Based GMPPT Technique for Photovoltaic Panel Under Partial Shading Effect. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, 13(2), 307-316.
- Motamarri, R., & Nagu, B. (2020). GMPPT by using PSO based on Lévy flight for photovoltaic system under partial shading conditions. *IET Renewable Power Generation*, 14(7), 1143-1155.

- Ndiaye, E. hadji M., Ndiaye, A., & Faye, M. (2020). Experimental Validation of PSO and Neuro-Fuzzy Soft-Computing Methods for Power Optimization of PV installations. *2020 8th International Conference on Smart Grid (IcSmartGrid)*, 189-197.
- Neethu, M., & Senthilkumar, R. (2020). Comparasion Method of PSO and DE Optimization for MPPT İN PV Systems under Partial Shadinge Conditions. *International Energy Journal 20 (2020) Special Issue 2A*, 291-298.
- Onat, N., & Ersöz, S. (2009). *Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası İzleyici*. 7.
- Pant, S., & Saini, R. P. (2019). Comparative Study of MPPT Techniques for Solar Photovoltaic System. *2019 International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON)*, 1-6.
- Prabhu, R. J., Muruganatham, J., & Student, U. (2020). *A NOVEL METHOD OF MPPT ALGORITHM USING CSO ASSISTED P&O FOR SOLAR SYSTEMS*. 4(12), 4.
- Rashid, M. H., (2016). *Güç Elektroniği*. Sedat Sümer, Timur Aydemir (çev.), Ankara: Nobel, 222-225.
- Rezk, H., Mera, A., & Tolba, M. A. (2020). Performance Analysis of Solar PV System under Shading Condition. *2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)*, 1-5.
- Singh, O., & Gupta, S. K. (2018). A review on recent Mppt techniques for photovoltaic system. *2018 IEEMA Engineer Infinite Conference (ETechNxT)*, 1-6.
- Statical Rewiev of World Energy (2020). The British Petroleum Company (BP)
- Türkiye'de Elektrik Enerjisi Kurulu Gücü (2020). Ankara: Elektrik Mühendisleri Odası (EMO)
- Uzunoğlu, M., & Erdiñç, O. (2013). *Akıllı Şebekelere Giriş*. Ankara: Nobel Yayınevi
- Varun Sai, B. S., Khadtare, S. A., & Chatterjee, D. (2020). An Improved MPPT Technique Under Partial Shading Condition Using Simple P&O Algorithm. *2020 International Conference on Computational Intelligence for Smart Power System and Sustainable Energy (CISPSSE)*, 1-6.
- Xu, L., Cheng, R., Xia, Z., & Shen, Z. (2020). Improved Particle Swarm Optimization (PSO)-based MPPT Method for PV String under Partially Shading and Uniform Irradiance Condition. *2020 Asia Energy and Electrical Engineering Symposium (AEEES)*, 771-775.
- Yang, Z., Duan, Q., Zhong, J., Mao, M., & Xun, Z. (2017). Analysis of improved PSO and perturb & observe global MPPT algorithm for PV array under partial shading condition. *2017 29th Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, 549-553.
- Zhao, Z., Cheng, R., Yan, B., Zhang, J., Zhang, Z., Zhang, M., & Lai, L. L. (2020). A dynamic particles MPPT method for photovoltaic systems under partial shading conditions. *Energy Conversion and Management*, 220, 113070.
- Zou, Y., Yan, F., Wang, X., & Zhang, J. (2020). An efficient fuzzy logic control algorithm for photovoltaic maximum power point tracking under partial shading condition. *Journal of the Franklin Institute*, 357(6), 3135-3149.

## EKLER:

### EK 1. P&O Algoritması Yazılımı

```
function [I_pv, D, V_pv]= bul_mptt(V_pv, V_pvO, I_pv, I_pvO, D,G)
```

```
    dpwm=0;
    if G>900 && G<=1000
        dpwm=0.000086;
    elseif G>800 && G<=900
        dpwm=0.000078;
    elseif G>700 && G<=800
        dpwm=0.00007;
    elseif G>600 && G<=700
        dpwm=0.00006;
    elseif G>500 && G<=600
        dpwm=0.000047;
    elseif G>400 && G<=500
        dpwm=0.000033;
    elseif G>300 && G<=400
        dpwm=0.000018;
    elseif G>200 && G<=300
        dpwm=0.000007;
    elseif G>100 && G<=200
        dpwm=0.000001;
    elseif G>0 && G<=100
        dpwm=0.000001;
    end

    P_PV = V_pv * I_pv;
    P_old = V_pvO * I_pvO;

    dP = P_PV - P_old;
    dV = V_pv - V_pvO;

    if dP > 0
        if dV < 0
            D = D - dpwm ;
        else
            D = D + dpwm ;
        end
    else % P_PV < 0
        if dV < 0
            D = D - dpwm ;
        else
            D = D + dpwm ;
        end
    end
end
% y = Ds;
```

## EK 2. Standart PSO Algoritması Yazılımı

```
function D = bul_mptt(G, V_pv, I_pv, D_gck)

    N = 1; % optimize edilecek parametre sayısı

    M = 10; % parçacık sayısı
    T = 20; % iterasyon sayısı
    P_sonraki=1000*ones(M,1);
    x_min = 0.1; % [0.5];
    x_max = 0.69; % [0.66];

    x = zeros(M,1);
    D = 0;
    Dz = zeros(M,1);
    P = zeros(M,2);
    xf_sira = zeros(M,N);
    p_best = zeros(M,1);
    f_best = zeros(M,1);
    Pg = zeros(M,1);
    g = 1;
    g_son = 1;
    v = zeros(M,N);
    v_yn = zeros(M,N);
    v_max = zeros(M,N);
    v_min = zeros(M,N);
    x_yn = zeros(M,N);
    Pg_onceki = 0;
    V=0;

    for dd=1:N
        v_max(1,dd) = (x_max(1,dd)-x_min(1,dd))*0.15;
        v_min(1,dd) = -v_max(1,dd);
    end
    c1 = 1.2;
    c2 = 1.6;
    w_max = 1.8;
    w_min = 0.1;
    % *****
    for m = 1:M
        for n = 1:N
            x(m,n) = x_min(1,n)+(x_max(1,n)-x_min(1,n))*rand(1,1); % başlangıç
            değerleri
            v(m,n) = 0;
        end
    end
    fx = zeros(M,1);
    fp = 1e100*ones(M,1);
```

```

%p = x;
% f_best_son = 1e100;
g_onceki = D_gck;
%*****
t = 1;
while t <= T
    %t=t;
    w = w_max-t*(w_max-w_min)/T;
    r1 = rand(1,1);
    r2 = rand(1,1);

%*****
    P_olcum = V_pv*I_pv;

    for i = 1:M
        if G==900
            V = -1560*x(i,1)^7+4721*x(i,1)^6-5211*x(i,1)^5+2553*x(i,1)^4-
556.4*x(i,1)^3+41.64*x(i,1)^2-1.082*x(i,1)+13.42;
            elseif G>=950 && G<1050
            V = -2242*x(i,1)^7+7246*x(i,1)^6-8868*x(i,1)^5+5152*x(i,1)^4-
1490*x(i,1)^3+199.2*x(i,1)^2-11.06*x(i,1)+13.59;
            elseif G>=850 && G<950
            V = -1560*x(i,1)^7+4721*x(i,1)^6-5211*x(i,1)^5+2553*x(i,1)^4-
556.4*x(i,1)^3+41.64*x(i,1)^2-1.082*x(i,1)+13.42;
            elseif G>=750 && G<850
            V = -803*x(i,1)^7+2001*x(i,1)^6-1427*x(i,1)^5-
0.92*x(i,1)^4+301.5*x(i,1)^3-91.58*x(i,1)^2+6.343*x(i,1)+13.28;
            elseif G>=650 && G<750
            V = 264.9*x(i,1)^7-1695*x(i,1)^6+3512*x(i,1)^5-
3188*x(i,1)^4+1322*x(i,1)^3-242.6*x(i,1)^2+14.37*x(i,1)+13.14;
            elseif G>=550 && G<650
            V = 1061*x(i,1)^7-4340*x(i,1)^6+6840*x(i,1)^5-
5145*x(i,1)^4+1859*x(i,1)^3-304.7*x(i,1)^2+16.37*x(i,1)+13;
            elseif G>=450 && G<550
            V = 1696*x(i,1)^7-6143*x(i,1)^6+8596*x(i,1)^5-
5741*x(i,1)^4+1834*x(i,1)^3-265.6*x(i,1)^2+12.08*x(i,1)+12.89;
            elseif G>=350 && G<450
            V = 1154*x(i,1)^7-3796*x(i,1)^6+4648*x(i,1)^5 -
2515*x(i,1)^4+535.4*x(i,1)^3-36.39*x(i,1)^2-2.285*x(i,1)+12.78;
            elseif G>=250 && G<350
            V = -440.3*x(i,1)^7+1889*x(i,1)^6-3228*x(i,1)^5+2750*x(i,1)^4-
1158*x(i,1)^3+188.2*x(i,1)^2-12.88*x(i,1)+12.5;

        end
        if G==900
            P(i,1) = -0.003078*V^5 + 0.07811*V^4 -0.7046*V^3 + 2.707*V^2 +
3.148*V + 1.862;
            P(i,2) = x(i,1);
            elseif G>=150 && G<250
            P(i,1) = -0.0003472*V^6 + 0.1198*V^5 - 0.1591*V^4 +1.017*V^3 -

```

```

3.192*V^2 +6.065*V -1.969;
    P(i,2) = x(i,1);
elseif G>=250 && G<350
    P(i,1) = -0.0004284*V^6 + 0.01481*V^5 - 0.1965*V^4 +1.252*V^3 -
3.902*V^2 +7.794*V -2.335;
    P(i,2) = x(i,1);
elseif G>=350 && G<450
    P(i,1) = -0.0004055*V^6 + 0.01362*V^5 - 0.1754*V^4 +1.08*V^3 -
3.241*V^2 +7.511*V -1.753;
    P(i,2) = x(i,1);
elseif G>=450 && G<550
    P(i,1) = -0.0003577*V^6 + 0.01144*V^5 - 0.1389*V^4 +0.7948*V^3 -
2.161*V^2 +6.494*V -0.7068;
    P(i,2) = x(i,1);
elseif G>=550 && G<650
    P(i,1) = -0.003732*V^5 + 0.1053*V^4 -1.066*V^3 + 4.62*V^2 -3.05*V
+ 3.686;
    P(i,2) = x(i,1);
elseif G>=650 && G<750
    P(i,1) = -0.003789*V^5 + 0.1052*V^4 -1.047*V^3 + 4.455*V^2 -
1.819*V + 3.456;
    P(i,2) = x(i,1);
elseif G>=750 && G<850
    P(i,1) = -0.003256*V^5 + 0.08414*V^4 -0.7587*V^3 + 2.781*V^2 +
2.9*V + 0.8137;
    P(i,2) = x(i,1);
elseif G>=850 && G<950
    P(i,1) = -0.003078*V^5 + 0.07811*V^4 -0.7046*V^3 + 2.707*V^2 +
3.148*V + 1.862;
    P(i,2) = x(i,1);
elseif G>=950 && G<1050
    P(i,1) = -0.002603*V^5 + 0.06034*V^4 -0.4774*V^3 + 1.489*V^2 +
6.536*V + 0.3725;
    P(i,2) = x(i,1);
end
end
for i = 1:M
    if P(i,1) <= P_olcum
        P(i,1) = P_olcum;
        P(i,2) = D_gck;
    end
end
end

```

### EK 3. PSO<sub>ORT</sub>. Algoritması Yazılımı

```
function D = bul_mptt(G, V_pv, I_pv, D_gck)
```

```
N = 1; % optimize edilecek parametre sayısı
```

```
M = 10; % parçacık sayısı
```

```

T = 20; % iterasyon sayısı
P_sonraki=1000*ones(M,1);
x_min = 0.1; %[0.5];
x_max = 0.69; %[0.66];

x = zeros(M,1);
D = 0;
Dz = zeros(M,1);
P = zeros(M,2);
xf_sira = zeros(M,N);
p_best = zeros(M,1);
f_best = zeros(M,1);
Pg = zeros(M,1);
g = 1;
g_son = 1;
v = zeros(M,N);
v_yn = zeros(M,N);
v_max = zeros(M,N);
v_min = zeros(M,N);
x_yn = zeros(M,N);
Pg_onceki = 0;
V=0;
P_olcum=0;

for dd=1:N
    v_max(1,dd) = (x_max(1,dd)-x_min(1,dd))*0.15;
    v_min(1,dd) = -v_max(1,dd);
end
c1 = 1.2;
c2 = 1.6;
w_max = 1.8;
w_min = 0.1;
%*****
for m = 1:M
    for n = 1:N
        x(m,n) = x_min(1,n)+(x_max(1,n)-x_min(1,n))*rand(1,1); % başlangıç
değerleri
        v(m,n) = 0;
    end
end
fx = zeros(M,1);
fp = 1e100*ones(M,1);
%p = x;
% f_best_son = 1e100;
g_onceki = D_gck;
%*****
t = 1;
while t <= T
    %t=t;
    w = w_max-t*(w_max-w_min)/T;

```

```

r1 = rand(1,1);
r2 = rand(1,1);

%*****
P_olcum = V_pv*I_pv;

for i = 1:M
    if G==900
        V = -1560*x(i,1)^7+4721*x(i,1)^6-5211*x(i,1)^5+2553*x(i,1)^4-
556.4*x(i,1)^3+41.64*x(i,1)^2-1.082*x(i,1)+13.42;
        elseif G>=950 && G<1050
            V = -2242*x(i,1)^7+7246*x(i,1)^6-8868*x(i,1)^5+5152*x(i,1)^4-
1490*x(i,1)^3+199.2*x(i,1)^2-11.06*x(i,1)+13.59;
            elseif G>=850 && G<950
                V = -1560*x(i,1)^7+4721*x(i,1)^6-5211*x(i,1)^5+2553*x(i,1)^4-
556.4*x(i,1)^3+41.64*x(i,1)^2-1.082*x(i,1)+13.42;
                elseif G>=750 && G<850
                    V = -803*x(i,1)^7+2001*x(i,1)^6-1427*x(i,1)^5-
0.92*x(i,1)^4+301.5*x(i,1)^3-91.58*x(i,1)^2+6.343*x(i,1)+13.28;
                    elseif G>=650 && G<750
                        V = 264.9*x(i,1)^7-1695*x(i,1)^6+3512*x(i,1)^5-
3188*x(i,1)^4+1322*x(i,1)^3-242.6*x(i,1)^2+14.37*x(i,1)+13.14;
                        elseif G>=550 && G<650
                            V = 1061*x(i,1)^7-4340*x(i,1)^6+6840*x(i,1)^5-
5145*x(i,1)^4+1859*x(i,1)^3-304.7*x(i,1)^2+16.37*x(i,1)+13;
                            elseif G>=450 && G<550
                                V = 1696*x(i,1)^7-6143*x(i,1)^6+8596*x(i,1)^5-
5741*x(i,1)^4+1834*x(i,1)^3-265.6*x(i,1)^2+12.08*x(i,1)+12.89;
                                elseif G>=350 && G<450
                                    V = 1154*x(i,1)^7-3796*x(i,1)^6+4648*x(i,1)^5 -
2515*x(i,1)^4+535.4*x(i,1)^3-36.39*x(i,1)^2-2.285*x(i,1)+12.78;
                                    elseif G>=250 && G<350
                                        V = -440.3*x(i,1)^7+1889*x(i,1)^6-3228*x(i,1)^5+2750*x(i,1)^4-
1158*x(i,1)^3+188.2*x(i,1)^2-12.88*x(i,1)+12.5;

                                end
                                if G==900
                                    P(i,1) = -0.003078*V^5 + 0.07811*V^4 -0.7046*V^3 + 2.707*V^2 +
3.148*V + 1.862;
                                    P(i,2) = x(i,1);
                                    elseif G>=150 && G<250
                                        P(i,1) = -0.0003472*V^6 + 0.1198*V^5 - 0.1591*V^4 +1.017*V^3 -
3.192*V^2 +6.065*V -1.969;
                                        P(i,2) = x(i,1);
                                        elseif G>=250 && G<350
                                            P(i,1) = -0.0004284*V^6 + 0.01481*V^5 - 0.1965*V^4 +1.252*V^3 -
3.902*V^2 +7.794*V -2.335;
                                            P(i,2) = x(i,1); % ilgili D 2. sütuna yazıldı
                                            elseif G>=350 && G<450
                                                P(i,1) = -0.0004055*V^6 + 0.01362*V^5 - 0.1754*V^4 +1.08*V^3 -

```

```

3.241*V^2 +7.511*V -1.753;
    P(i,2) = x(i,1);
elseif G>=450 && G<550
    P(i,1) = -0.0003577*V^6 + 0.01144*V^5 - 0.1389*V^4 + 0.7948*V^3 -
2.161*V^2 +6.494*V -0.7068;
    P(i,2) = x(i,1);
elseif G>=550 && G<650
    P(i,1) = -0.003732*V^5 + 0.1053*V^4 -1.066*V^3 + 4.62*V^2 -3.05*V
+ 3.686;
    P(i,2) = x(i,1);
elseif G>=650 && G<750
    P(i,1) = -0.003789*V^5 + 0.1052*V^4 -1.047*V^3 + 4.455*V^2 -
1.819*V + 3.456;
    P(i,2) = x(i,1);
elseif G>=750 && G<850
    P(i,1) = -0.003256*V^5 + 0.08414*V^4 -0.7587*V^3 + 2.781*V^2 +
2.9*V + 0.8137;
    P(i,2) = x(i,1);
elseif G>=850 && G<950
    P(i,1) = -0.003078*V^5 + 0.07811*V^4 -0.7046*V^3 + 2.707*V^2 +
3.148*V + 1.862;
    P(i,2) = x(i,1);
elseif G>=950 && G<1050
    P(i,1) = -0.002603*V^5 + 0.06034*V^4 -0.4774*V^3 + 1.489*V^2 +
6.536*V + 0.3725;
    P(i,2) = x(i,1);
end
end
for i = 1:M
    if P(i,1) <= P_olcum
        P(i,1) = P_olcum;
        P(i,2) = D_gck;
    end
end

xf_sira = sortrows(P,1); % uygunluğa göre sırala
p_best = xf_sira(1:M,2); % en iyi D değerlerinin sıralanmış sütünü
f_best = xf_sira(1:M,1); % en iyi güç ölçüm sonuçlarının sıralanmış sütünü
g = p_best(M,:); % en iyi uygunluğa sahip çözüm (sütunun en üstteki 1.
elemanı)
Pg = f_best(M,:);
if Pg >= Pg_onceki % en iyi uygunluk karşılaştır
    g_son = g; % en iyi sonucu sakla
else Pg < Pg_onceki
    g_son = g_onceki;
end

% *****
for y = 1:M
    for z = 1:N

```

```

        v_yn(y,z) = w*v(y,z)+c1*r1*(P(y,2)-x(y,z))+c2*r2*(g(1,N)-x(y,z));
        if v_yn(y,z) > v_max(1,z)
            v_yn(y,z) = v_max(1,z);
        end
        if v_yn(y,z) < v_min(1,z)
            v_yn(y,z) = v_min(1,z);
        end
        x_yn(y,z) = x(y,z)+v_yn(y,z);
        if x_yn(y,z) > x_max(1,z)
            x_yn(y,z) = x_max(1,z);
        end
        if x_yn(y,z) < x_min(1,z)
            x_yn(y,z) = x_min(1,z);
        end
        x(y,z) = x_yn(y,z);
        v(y,z) = v_yn(y,z);
    end
end
%*****
    t=t+1;
end
% D = g_son;
if G>950 && G<=1000
    if P_olcum>=77 && P_olcum<83.11
        D=g_son;
    else
        D=g_son-0.053;
    end
elseif G>900 && G<=950
    if P_olcum>=73.5 && P_olcum<78.92
        D=g_son;
    else
        D=g_son-0.053;
    end
elseif G>850 && G<=900
    if P_olcum>=69.5 && P_olcum<75.03
        D=g_son;
    else
        D=g_son-0.053;
    end
elseif G>800 && G<=850
    if P_olcum>=66.5 && P_olcum<71.2
        D=g_son;
    else
        D=g_son-0.053;
    end
elseif G>750 && G<=800
    if P_olcum>=62 && P_olcum<67.15
        D=g_son;
    else

```

```

        D=g_son-0.053;
    end
elseif G>700 && G<=750
    if P_olcum>=58 && P_olcum<63.15
        D=g_son;
    else
        D=g_son-0.053;
    end
elseif G>650 && G<=700
    if P_olcum>=54 && P_olcum<59.1
        D=g_son;
    else
        D=g_son-0.053;
    end
elseif G>600 && G<=650
    if P_olcum>=49.5 && P_olcum<55.02
        D=g_son;
    else
        D=g_son-0.053;
    end
elseif G>550 && G<=600
    if P_olcum>=45 && P_olcum<50.9
        D=g_son;
    else
        D=g_son-0.053;
    end
elseif G>500 && G<=550
    if P_olcum>=41 && P_olcum<46.74
        D=g_son;
    else
        D=g_son-0.053;
    end
elseif G>450 && G<=500
    if P_olcum>=37.8 && P_olcum<42.55
        D=g_son;
    else
        D=g_son-0.053;
    end
elseif G>400 && G<=450
    if P_olcum>=33 && P_olcum<38.83
        D=g_son;
    else
        D=g_son-0.053;
    end
elseif G>350 && G<=400
    if P_olcum>=28 && P_olcum<34.08
        D=g_son;
    else
        D=g_son-0.053;
    end
end

```

end

#### EK 4. PSO<sub>4,DER.</sub> Algoritması Yazılımı

```
function D = bul_mptt(G, V_pv, I_pv, D_gck,Pt)

N = 1; % optimize edilecek parametre sayısı
M = 10; % parçacık sayısı
T = 20; % iterasyon sayısı
P_sonraki=1000*ones(M,1);
x_min = 0.1; %[0.5];
x_max = 0.69; %[0.66];

x = zeros(M,1);
D = 0;
Dz = zeros(M,1);
P = zeros(M,2);
xf_sira = zeros(M,N);
p_best = zeros(M,1);
f_best = zeros(M,1);
Pg = zeros(M,1);
g = 1;
g_son = 1;
v = zeros(M,N);
v_yn = zeros(M,N);
v_max = zeros(M,N);
v_min = zeros(M,N);
x_yn = zeros(M,N);
Pg_onceki = 0;
V=0;
P_olcum=0;
% Pt=0;
for dd=1:N
    v_max(1,dd) = (x_max(1,dd)-x_min(1,dd))*0.15;
    v_min(1,dd) = -v_max(1,dd);
end
c1 = 1.2;
c2 = 1.6;
w_max = 1.8;
w_min = 0.1;

% *****
for m = 1:M
    for n = 1:N
        x(m,n) = x_min(1,n)+(x_max(1,n)-x_min(1,n))*rand(1,1); % başlangıç
        değerleri
        v(m,n) = 0;
```

```

    end
end
fx = zeros(M,1);
fp = 1e100*ones(M,1);
%p = x;
% f_best_son = 1e100;
g_onceki = D_gck;
% *****
t = 1;
while t <= T
    %t=t;
    w = w_max-t*(w_max-w_min)/T;
    r1 = rand(1,1);
    r2 = rand(1,1);
% *****
    P_olcum = V_pv*I_pv;

    for i = 1:M
        if G==900
            V = -1560*x(i,1)^7+4721*x(i,1)^6-5211*x(i,1)^5+2553*x(i,1)^4-
556.4*x(i,1)^3+41.64*x(i,1)^2-1.082*x(i,1)+13.42;
            elseif G>=950 && G<1050
                V = -2242*x(i,1)^7+7246*x(i,1)^6-8868*x(i,1)^5+5152*x(i,1)^4-
1490*x(i,1)^3+199.2*x(i,1)^2-11.06*x(i,1)+13.59;
            elseif G>=850 && G<950
                V = -1560*x(i,1)^7+4721*x(i,1)^6-5211*x(i,1)^5+2553*x(i,1)^4-
556.4*x(i,1)^3+41.64*x(i,1)^2-1.082*x(i,1)+13.42;
            elseif G>=750 && G<850
                V = -803*x(i,1)^7+2001*x(i,1)^6-1427*x(i,1)^5-
0.92*x(i,1)^4+301.5*x(i,1)^3-91.58*x(i,1)^2+6.343*x(i,1)+13.28;
            elseif G>=650 && G<750
                V = 264.9*x(i,1)^7-1695*x(i,1)^6+3512*x(i,1)^5-
3188*x(i,1)^4+1322*x(i,1)^3-242.6*x(i,1)^2+14.37*x(i,1)+13.14;
            elseif G>=550 && G<650
                V = 1061*x(i,1)^7-4340*x(i,1)^6+6840*x(i,1)^5-
5145*x(i,1)^4+1859*x(i,1)^3-304.7*x(i,1)^2+16.37*x(i,1)+13;
            elseif G>=450 && G<550
                V = 1696*x(i,1)^7-6143*x(i,1)^6+8596*x(i,1)^5-
5741*x(i,1)^4+1834*x(i,1)^3-265.6*x(i,1)^2+12.08*x(i,1)+12.89;
            elseif G>=350 && G<450
                V = 1154*x(i,1)^7-3796*x(i,1)^6+4648*x(i,1)^5 -
2515*x(i,1)^4+535.4*x(i,1)^3-36.39*x(i,1)^2-2.285*x(i,1)+12.78;
            elseif G>=250 && G<350
                V = -440.3*x(i,1)^7+1889*x(i,1)^6-3228*x(i,1)^5+2750*x(i,1)^4-
1158*x(i,1)^3+188.2*x(i,1)^2-12.88*x(i,1)+12.5;

            end
            if G==900
                P(i,1) = -0.003078*V^5 + 0.07811*V^4 -0.7046*V^3 + 2.707*V^2 +
3.148*V + 1.862;

```

```

        P(i,2) = x(i,1);
        elseif G>=150 && G<250
            P(i,1) = -0.0003472*V^6 + 0.1198*V^5 - 0.1591*V^4 +1.017*V^3 -
3.192*V^2 +6.065*V -1.969;
            P(i,2) = x(i,1);
            elseif G>=250 && G<350
                P(i,1) = -0.0004284*V^6 + 0.01481*V^5 - 0.1965*V^4 +1.252*V^3 -
3.902*V^2 +7.794*V -2.335;
                P(i,2) = x(i,1);
                elseif G>=350 && G<450
                    P(i,1) = -0.0004055*V^6 + 0.01362*V^5 - 0.1754*V^4 +1.08*V^3 -
3.241*V^2 +7.511*V -1.753;
                    P(i,2) = x(i,1);
                    elseif G>=450 && G<550
                        P(i,1) = -0.0003577*V^6 + 0.01144*V^5 - 0.1389*V^4 +0.7948*V^3 -
2.161*V^2 +6.494*V -0.7068;
                        P(i,2) = x(i,1); % ilgili D 2. sütuna yazıldı
                        elseif G>=550 && G<650
                            P(i,1) = -0.003732*V^5 + 0.1053*V^4 -1.066*V^3 + 4.62*V^2 -3.05*V
+ 3.686;
                            P(i,2) = x(i,1);
                            elseif G>=650 && G<750
                                P(i,1) = -0.003789*V^5 + 0.1052*V^4 -1.047*V^3 + 4.455*V^2 -
1.819*V + 3.456;
                                P(i,2) = x(i,1);
                                elseif G>=750 && G<850
                                    P(i,1) = -0.003256*V^5 + 0.08414*V^4 -0.7587*V^3 + 2.781*V^2 +
2.9*V + 0.8137;
                                    P(i,2) = x(i,1);
                                    elseif G>=850 && G<950
                                        P(i,1) = -0.003078*V^5 + 0.07811*V^4 -0.7046*V^3 + 2.707*V^2 +
3.148*V + 1.862;
                                        P(i,2) = x(i,1);
                                        elseif G>=950 && G<1050
                                            P(i,1) = -0.002603*V^5 + 0.06034*V^4 -0.4774*V^3 + 1.489*V^2 +
6.536*V + 0.3725;
                                            P(i,2) = x(i,1);
                                        end
                                    end
                                end
                            end
                        end
                    end
                end
            end
        end
        for i = 1:M
            if P(i,1) <= P_olcum
                P(i,1) = P_olcum;
                P(i,2) = D_gck;
            end
        end
    end

    xf_sira = sortrows(P,1); % uygunluğa göre sırala
    p_best = xf_sira(1:M,2); % en iyi D değerlerinin sıralanmış sütünü
    f_best = xf_sira(1:M,1); % en iyi güç ölçüm sonuçlarının sıralanmış sütünü
    g = p_best(M,:); % en iyi uygunluğa sahip çözüm (sütunun en

```

```

üstteki 1. elemanı)
Pg = f_best(M,:);
if Pg >= Pg_onceki           % en iyi uygunluk karşılaştır
    g_son = g;               % en iyi sonucu sakla
else Pg < Pg_onceki
    g_son = g_onceki;
end
%*****
for y = 1:M
    for z = 1:N
        v_yn(y,z) = w*v(y,z)+c1*r1*(P(y,2)-x(y,z))+c2*r2*(g(1,N)-x(y,z));
        if v_yn(y,z) > v_max(1,z)
            v_yn(y,z) = v_max(1,z);
        end
        if v_yn(y,z) < v_min(1,z)
            v_yn(y,z) = v_min(1,z);
        end
        x_yn(y,z) = x(y,z)+v_yn(y,z);
        if x_yn(y,z) > x_max(1,z)
            x_yn(y,z) = x_max(1,z);
        end
        if x_yn(y,z) < x_min(1,z)
            x_yn(y,z) = x_min(1,z);
        end
        x(y,z) = x_yn(y,z);
        v(y,z) = v_yn(y,z);
    end
end

%*****
t=t+1;
end
%D=gson-Dfark
D = g_son-(0.0002176*(Pt)^4-0.003044*(Pt)^3+0.01328*(Pt)^2-
0.002675*(Pt)-0.001198);

```

## ÖZ GEÇMİŞ



Semih ÇAM, 02.10.1995 tarihinde Samsun'da doğdu. Samsun Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra Ondokuz Mayıs Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği'nden 2017 yılında mezun oldu. 2017 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans'a başladı. Şubat 2019'dan beri Milli Savunma Üniversitesi Kara Harp Okulu Dekanlığı Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

### İletişim Bilgileri

E mail : secam@kho.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-3556-9657

### Yayınlanmış Çalışmalar:

1. Cam, S., Gozde, H., Aktas, M. 2021. Comparative Analysis of Modified-P&O and Modified-PSO Based MPPTs for Partial Shading Conditions. The 1st International Conference on Computing and Machine Intelligence (Tam Metin Bildiri/Sözlü Sunum), İstanbul