T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KISMİ GÖLGELEME ALTINDA BİR PV SİSTEM İÇİN MODİFİYE EDİLMİŞ PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU TABANLI MPPT TASARIMI

Al-Amin Oshiozorkhai Yakubu

DANIŞMAN
Doç. Dr. Aysel ERSOY

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

Aralık, 2022

Bu çalışma 30.12.2022 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

TEZ JÜRİSİ

Doç. Dr. Aysel ERSOY
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakülte

Doç. Dr. Cengiz Polat UZUNOĞLU
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakülte

Dr.Öğr.Üyesi Musatafa Karhan
Çankarı Üniversitesi
Mühendislik Fakülte

Tezimi aileme ve arkadaşlarıma ithaf ediyorum.

TEŞEKKÜR

Öncelikle bunca süreçten sonra çalışmamı başarılı kılan Allah'a binlerce hamd ve şükürler olsun. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'da yüksek lisans eğitimine, Yurt Dışı Türkler ve Akraba Toplulukları Başkanlığı (YTB) kapsamında imkân veren Türkiye Cumhuriyeti'ne çok minnettarım.

Sonsuz desteğinden dolayı danışmanım Doç. Dr. Aysel Ersoy'a en derin şükranlarımı sunarım. Sadece tezime değil, hayatıma yaptığı katkının boyutunu kelimelerle ifade edemez. Yoğun programına rağmen gösterdiği ilgi, teşvik, destek, eşsiz nezaketi için kendisine minnettarım.

Dil öğrenme, ders ve tez aşamalarında bana her türlü destek veren hocalarıma en içten teşekkürlerimi sunuyorum. Ayrıca bu aşamalarda sabırla beni destekleyen değerli eşim (Toyiba Popoola)'e ve kızım (Rumaysaa Kiraz)'a minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Son olarak da beni yalnız bırakmayan aileme ve her türlü destek veren arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim. Allah hepinizden razı olsun.

Aralık 2022 Al-Amin Oshiozorkhai Yakubu

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

TEŞEKKÜR ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **ix**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **x**
ÖZET ..... **xiii**
ABSTRACT ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE **3**
2.1. Geleneksel MPPT Yöntemleri 3
2.1.1. P&O (Perturb and Observation) Yöntemi 3
2.1.2. Artımlı iletkenlik (IncCond) yöntemi 4
2.1.3. Fraksiyonel Açık Devre Gerilimi 6
2.1.4. Fraksiyonel Kisa Devre Akımı 7
2.2. Stokastik Algoritma 7
2.2.1. Bulanık algoritma 7
2.2.2. Yapay Sinir Ağı (YSA) 8
3. YÖNTEM **11**
3.1. PV Modülünü Modelleme 11
3.2. Fotovoltaik Hücre Çıkış Karakteristiği 12
3.2.1. Kısa Devre Akımı, Açık Devre Gerilimi ve PV Hücresinin Tepe Gücü 13
3.2.2. PV Hücre Karakteristiğinde Işımanın Etkisi 15
3.2.3. PV Hücre Karakteristiğinde Işımanın Etkisi 16
3.2.4. Kısmi Gölgelenme Koşullarının (KGK) Etkisi 17
3.2.5. Doluluk Oranı 18
3.2.6. Yük Hattı 19
3.3. MPPT 19
3.4. Kontrol Giriş Kurulumu 20

3.4.1. Yükseltici Dönüştürücünün Giriş Empedans. 21
3.5. PSO Algoritması 22
3.5.1. Temel PSO'nun Akış Şeması 24
3.6. DA-DA Dönüştürücü Kontrolörü için Görev Döngü Hesaplaması 26
3.7. Önerilen PSO Algoritması 27
3.8. Sistem Konfigürasyonu 30
4. BULGULAR 34
4.1. İlk Model 34
4.2. İkinci Model 36
4.3. Üçüncü Model 38
4.4. Dördüncü Modelden Onuncu Model Simülasyonu 39
5. TARTIŞMA 47
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 50
KAYNAKLAR 51
EKLER 58
EK-1 58
İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI 62
ETİK KURUL İZİN YAZISI 63
KURUM İZNİ YAZILARI 64

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1: P&O Algoritmasının Mantık Akış Şeması [21] 4

Şekil 2: Artımlı Kondüktansın Güç-Gerilim Eğrisi [23] 5

Şekil 3: Geleneksel artımlı algoritma akış şeması. [27] 6

Şekil 4: Tek diyot devre modeli 11

Şekil 5: Bir PV hücresinin tipik I-V ve P-V eğrisi [46] 13

Şekil 6: PV hücresindeki kısa devre akımı [46] 14

Şekil 7: PV hücresinin açık devre gerilimi [46] 14

Şekil 8: Maksimum güçteki akım ve gerilimi gösteren güç eğrisi [46] 15

Şekil 9: Farklı ışıma düzeylerindeki I-V eğimleri 17

Şekil 10: Kısmi Gölgeleme Koşullarında PV Eğrisi 18

Şekil 11: PV hücresinin KGK'da I-V eğrisinin karakteristiğini gösteren grafik [49] 18

Şekil 12: PV hücresinin I-V karakteristik eğrisini gösteren yük hattı grafiği [50] 19

Şekil 13: Kontrol Girişi Konfigürasyonu [41] 20

Şekil 14: Yükseltici dönüştürücüyle yüke bağlamış PV hücresi [43] 21

Şekil 15: Standart PSO Mantık Şeması 27

Şekil 16: PSO-tabanlı MPPT tekniğinin önerilen akış şeması 30

Şekil 17: (a) Seri bağlı PV dizilerinin modeli, (b) Uygulanan PV sistemlerinin modeli, (c) GMPP ve LMPP modeli, P-V ve I-V karakteristik grafik çizici. 32

Şekil 18: İlk Modelin GMPP, LMPP, I-V ve P-V'nin eğrisel karakteristiği 34

Şekil 19: Önerilen PSO algoritmasından T=25°C, G= 500, 800, 1000, 1000W/m2 ve Np=4 koşullarında elde edilen simülasyon sonuçları: (a) Gerilim-Saat (V-t), (b) Görev Döngüsü (c) Güç-Saat(P-t) 35

Şekil 20: İkinci modelin GMPP, LMPP, I-V ve P-V eğri karakteristiği 36

Şekil 21: Önerilen PSO algoritmasından T=25°C, G= 800, 600, 500, 500W/m^2 ve Np=4 koşullarında elde edilmiş simülasyon sonuçları: (a) V-t, (b) P-t (c) Görev Döngüsü 37

Şekil 22: Üçüncü modelin GMPP, LMPP, I-V ve P-V eğri karakteristiği. 38

Şekil 23: Önerilen PSO algoritmasından T=25°C, G= 1000, 1000, 1000, 400W/m^2 ve Np=4 koşullarıyla elde edilen simülasyon sonuçları: (a) V-t, (b) Görev Döngüsü (c) P-t 39

Şekil 24: Önerilen PSO algoritmasından T=25°C, G= 1000, 600, 800, 400W/m^2 ve Np=4 koşullarında elde edilen simülasyon sonuçları: (a) GMPP ve LMPP P-V eğri karakteristiği, (b) V-t (c) Görev Döngüsü (d) P-t 40

Şekil 25: Önerilen PSO algoritmasından T=25°C, G= 1000, 300, 600, 100W/m^2 ve Np=4 koşullarında elde edilen simülasyon sonuçları: (a) GMPP ve LMPP P-V eğri karakteristiği, (b) V-t (c) Görev Döngüsü (d) P-t 41

Şekil 26: Önerilen PSO algoritmasından T=25°C, G= 400, 600, 200, 500W/m^2 ve Np=4 koşullarında elde edilen simülasyon sonuçları: (a) GMPP ve LMPP P-V eğri karakteristiği, (b)V-t (c) Görev Döngüsü (d)P-t 42

Şekil 27: Önerilen PSO algoritmasından T=25°C, G= 100, 600, 300,800W/m^2 ve Np=4 koşullarında elde edilen simülasyon sonuçları: (a) GMPP ve LMPP P-V eğri karakteristiği, (b) V-t (c) Görev Döngüsü (d) P-t 43

Şekil 28: Önerilen PSO algoritmasından T=25°C, G= 100, 200, 300, 700W/m^2 ve Np=4 koşullarında elde edilen simülasyon sonuçları: (a) GMPP ve LMPP'nin P-V eğri karakteristiği, (b) V-t (c) Görev Döngüsü (d) P-t 44

Şekil 29: Önerilen PSO algoritmasından T=25°C, G= 1000, 100, 300, 1000W/m^2 ve Np=4 koşullarında elde edilen simülasyon sonuçları: (a) GMPP ve LMPP'nin P-V eğri karakteristiği, (b) V-t (c) Görev Döngüsü (d) P-t 45

Şekil 30: Gölgeli ve gölgesiz koşullar altında P-V ve I-V karakteristikleri[29] 47

Şekil 31: Tüm modeller için maksimum güç noktasında akım ve izleme süresi 48

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1: Kişisel ve küresel en iyiyi güncellemenin olası sonuçları [38] 23

Tablo 2: Sosyal ve bilişsel parametreler arasındaki ilişki 25

Tablo 3: Tek bir PV modülünün parametreleri 32

Tablo 4: Önerilen PSO algoritmasının parametreleri. 33

Tablo 5: Dört ayrı PV modülü için ışınım düzeyleri 34

Tablo 6: Dört PV modülü için ışınım düzeyleri 36

Tablo 7: Dört ayrı PV modülünün tabi tutulduğu ışınım düzeyi 38

Tablo 8: Dördüncü modelden onuncu modele kadar olan GMPP, LMPP, I-V ve P-V eğri karakteristikleri 39

Tablo 9: Farklı PSO metotlarının karşılaştırma sonuçlarının özeti 46

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

I	: Akım
V	: Gerilim
V_m	: Maksimum güçteki gerilimi
k_o	: Sabit değer
V_{oc}	: Açık devre gerilimi
I_m	: Maksimum güçteki akımı
I_{sc}	: Kısa devre akımı
e(k)	: Hata
I_o	: Diyotun ters doyma akımı
I_{Ph}	: PV sisteminden üretilen akım
V_T	: PV modülünün termal gerilimi
R_s	: Akım akışından kaynaklanan gerilim düşüşü
R_p	: Paralel direnç kaçak akımdan kaynaklara gerilim düşüşünü
V_{GO}	: Bant aralığı enerjisi
q	: Elektron yükü
k	: Boltzmann sabiti
T	: p-n bağlantısının sıcaklığıdır
V_O	: Termal gerilim
P_m	: Maksimum güç
P_{mpp}	: Tepe güç çalışma noktası
V_{mpp}	: Tepe güç çalışma noktasındaki gerilimi
I_{mpp}	: Tepe güç çalışma noktasındaki akımı
R_T	: Yük çizgisi
i	: Optimize edilecek değişken
k	: Yineleme sayısıdır

V_i^k : k yineleme içindeki i'inci değişkenin hızı

X_i^k : k yineleme içindeki i'inci değişkenin konumu

P_{best_i} : $i'inci$ değişkenin kişisel en iyi konumunu kaydeder

g_{best_i} : Sürüdeki küresel en iyi konumu kaydeder.

c_1 : Bireysel parçacıkların bilişsel katsayısı.

c_2 : Tüm parçacıkların sosyal katsayısı.

$r_1 \; ve \; r_2$: Büyüklüğünde rastgele sayılardır (0,1)

D : Karar değişkenlerinin sayısı.

$w.V_i$: Momentum faktörü.

Np : Sürü boyutu

X : Konumlarına sahip parçacık popülasyonunu başlangıcı

V : Parçacık popülasyonunu hızı

V_{in} : Giriş gerilimi

d_i^k : Görev döngüsü

Δd_i^k : Görev döngüsünün değişimi

P_{pv} : Üretilen güç

D_{max} : Maksimum görev döngüsü

D_{min} : Minimum görev döngüsü

Kısaltmalar	Açıklama
PV	: Fotovoltaik
MPP	: Maksimum Güç Noktası
MPPT	: Maksimum Güç Noktası İzleme
P-V	: Güç –Gerilim
I-V	: Akım-Gerilim
KGK	: Kısmi Gölgeleme Koşulları
GMPP	: Global Maksimum Güç Noktası
YSA	: Yapay Sinir Ağı
DA-DA	: Doğru Akım-Doğru Akım
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu
STK	: Standart Test Koşulları
FF	: Doluluk Oranı
SGM	: Sinyal Genişlik Modülasyonu
Oİ	: Oransal İntegral
P&O	: Perturb &Observe (Değiştir &Gözle)
IncCond	: Artımlı İletkenlik (Incremental Conductance)
LMPP	: Yerel Güç Maksimum Noktası

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Kısmi Gölgeleme Altında bir PV Sistem için Modifiye Edilmiş Parçacık Sürü Optimizasyonu Tabanlı MPPT Tasarımı

Al-Amin Oshiozorkhai Yakubu

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

Danışman : Doç. Dr. Aysel ERSOY

Fotovoltaik teknolojileri büyük ölçüde yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kullanılmasına rağmen, performansını etkileyen birkaç faktör vardır. PV performansını etkileyen ana faktörler, ışınım ve sıcaklıktaki değişimdir. PV çıkışının Maksimum Güç Noktası Takibi, değişken seviyelerde maksimum fotovoltaik çıkışlar vermek için esastır. Işınım ve sıcaklıktaki anlık değişim, maksimum güç noktasının izlenmesindeki karmaşıklığı arttırır.

Ağaçların gölgesinden, yüksek binalardan kaynaklanan kısmi gölgeleme koşulları, bulut oluşumu, özellikle büyük fotovoltaik sistemlerde PV sistemlerini büyük ölçüde etkiler. Kısmi gölgeleme koşulu altında, güç-gerilim eğrileri, çoklu tepe noktaları ile karakterize edildiğinden daha karmaşık hale gelir. Geleneksel PSO, Global Maksimum Güç Noktasını (Global MPP) izlemede daha az doğruluk ve Global MPP ve salınımları elde etmede yavaş yakınsama süresine sahiptir.

Bu tezde, kısmi gölgeleme altında bir fotovoltaik sistemin global Maksimum Güç Noktasını izlemek için MATLAB/simulink'te değiştirilmiş bir PSO tabanlı Maksimum Güç Noktası izleme tekniği tasarlanmıştır.

Aralık 2022 , 79 sayfa.

Anahtar kelimeler: FotoVoltaik (PV), Gölgeleme, Maksimum Güç Noktası izleme (MPPT), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO)

ABSTRACT

M.Sc. THESIS

A Modified Particle Swarm Optimization Based MPPT Design for PV System Under Partial Shading

Al-Amin Oshiozorkhai Yakubu

Istanbul University-Cerrahpaşa

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronics Engineering

MSc. Thesis

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. AYSEL ERSOY

Although photovoltaic technologies are largely deployed as a renewable source of energy several factors affect its performance. The major factors that affect PV performance are change in irradiance and temperature. Maximum Power Point Tracking of PV output is essential in giving the maximum photovoltaic outputs at variable levels. Instantaneous variation in irradiance and temperature increases the complexity in tracking maximum power point.

Partial shading conditions resulting from shade from trees, tall buildings, cloud formation amongst others greatly affects PV systems especially in large photovoltaic systems. Under the partial shading condition, P-V curves become more complex as it is characterized by multiple peaks. The conventional PSO is associated with less accuracy in tracking the Global Maximum Power Point (Global MPP) and slow convergence time in obtaining the Global MPP and oscillations.

In this thesis, a modified Particle Swarm Optimization based MPPT technique is designed in MATLAB/simulink to track the global Maximum Power Point of a Photovoltaic system under partial shading.

December 2022, 79 pages.
Keywords: Photovoltaic (PV), Shading, Maximum Power Point Tracking (MPPT), Particle Swarm Optimisation (PSO)

1. GİRİŞ

Yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak güneş enerjisi, dünyada temini en kolay, kalıcı ve yenilenebilir enerji kaynağıdır [1]. Fotovoltaik teknolojiler, büyük ölçüde güneşten gelen enerjiyi kullanmak ve bu enerjiyi elektronik işlem yoluyla elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılır. [2]. Bununla birlikte, fotovoltaik hücre, güneşin yaydığı ışık spektrumunun sadece küçük bir aralığında kullanılabildiği için oldukça düşük verimliliğe sahiptir [3].

Bir fotovoltaik sistemin performansını pek çok faktör etkiler fakat bu faktörlerden ışıma ve sıcaklığın etkisi katastrofiktir. Güneş ışınlarının panele geliş açısındaki değişimler fotovoltaik modülün çıkış verimliliğini etkiler. [4]. Fotovoltaik panellerin, performansını verimli bir şekilde en üst düzeye çıkarmak için değişen atmosferik koşullar altında fotovoltaik modülün Maksimum Güç Noktasını (MPP) izlemesi istenir.

Bir *Fotovoltaik (PV)* enerji üretim sisteminin maksimum güç noktasının (MPP) izlenmesi genellikle PV sistemlerinin önemli bir parçasıdır [5]. Bir fotovoltaik sistemdeki maksimum güç noktası, belirli bir güneş ışınımı ve ortam sıcaklığında Güç-Gerilim (P-V) ve Akım-Gerilim (I-V) eğrisinde benzersiz bir noktadır. [6]. Bu parametreler sürekli olarak (gün ışığının dönmesi, rüzgar, panelin ısınması, bulutların yer değiştirmesi, tozlanma gibi nedenlerle) değiştiğinden, maksimum güç noktasının izlenmesi karmaşık hale gelir. Genellikle, fotovoltaik kaynağının anlık MPP'sini izlemek için bir Doğru Akım-Doğru Akım (DA-DA) alçaltan (buck) dönüştürücü veya bir yükselten (boost) dönüştürücü veya Buck-Boost dönüştürücü olarak bilinen her ikisinin bir kombinasyonu kullanılır [7]. Bu tepe gücünü izlemek için çeşitli izleme yöntemleri uygulanmıştır. Geleneksel maksimum güç noktası izleme (MPPI, Maximum Power Point Tracking, MPPT) yöntemleri, Değiştir (Perturb) ve Gözle (Obseve) (P&O), artımlı iletkenlik (Incremental Conductance, INC) ve tepe tırmanma yöntemidir. Her yöntem, gerilim, akım veya görev döngüsü gibi kontrol değişkenleriyle karakterize edilir. [8-10].

PV sistemlerde, istenen gerilim ve akım değerine sahip bir sistem oluşturmak için çoklu fotovoltaik modüller genellikle seri ve/veya paralel olarak bağlanır. Kısmi gölgelenme koşulları (KGK) altında PV sistemlerinin bazı bölümleri bir ağacın gölgesi, yüksek binalar, direkler, seyir halindeki bulutlar veya komşu modüller nedeniyle güneş ışığından daha az ışıma alabilir. Seri bağlı dizilerde, gölgeli panel sisteme bir yük görevi görebilir. Kısmi gölgelenme koşulları altında sistem konfigürasyonuna ve modülde kullanılan bypass diyotlarına bağlı olarak PV

güçle üretilen sistemlerin güç çıkışı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. PV eğrisi, çoklu tepe noktaları ile karakterize edildiğinden bu durumda daha karmaşıktır. Çoklu tepeler serisinden oluşan maksimum güç noktası, Global Maksimum Güç Noktası (GMPP) olarak bilinir. Çoklu tepe noktaları, gölgeli hücrelerin hasar görmesini önleyen bypass diyotlarının çalıştırılmasından kaynaklanmaktadır. [11], [12]. Çoklu tepe noktalarının varlığı, P-V eğrisinde tek bir MPP olduğunu varsayan geleneksel MPPT algoritmalarının etkinliğini azaltır [13], [14]. P&O, Artımlı İletkenlik (IncCond), açık devre gerilimi ve kısa devre akımı gibi geleneksel maksimum güç noktası izleme algoritmaları GMPP'yi doğru bir şekilde izleyemez, MPP çevresinde salınım yapar ve sistemin verimliliğini azaltan uzun yakınsama süresine sahiptir. Geleneksel algoritmanın karşılaştığı bu problemler nedeniyle araştırmacılar, değişen atmosferik koşullar altında MPP'yi izlemek için gelişmiş Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT) teknikleri geliştirdiler. Bunlar arasında PSO algoritması, Bulanık Mantık, Sinir ağı, hibrit optimizasyon bulunmaktadır. Bu MPPT, karmaşıklık, genel verimlilik, yakınsama süresi ve kararlı durum doğruluğu bakımından farklılık göstermektedir. Bu bağlamda, bu tez, GMPP'yi verimli bir şekilde takip edebilen ve kısa sürede yakınsamayı sağlayabilen verimli ve optimize edilmiş bir PSO algoritması geliştirmeyi amaçlamaktadır.

İkinci bölümde, MPPT tekniklerinin çeşitliliğine ilişkin bazı mevcut literatüre hızlı bir genel bakış sunulmaktadır. Bu bölümde ayrıca ilgili çalışmalar ele alınmıştır.Üçüncü bölüm, PV hücresinin modellenmesini ve iki diyotlu bir güneş pili modelinin ana matematiksel modellerini açıklamaktadır. Bu bölüm önerilen algoritma oluşumunu ve modifikasyonlarını ortaya koyacaktır. Bu bölümde önerilen sistemin tüm simülasyonları sunulacak ve elde edilen sonuçlar tartışılacaktır. 4 Bölümde gerçekleştirilen tüm analizlerden sonuç çıkarılacaktır. Ayrıca, bu bölüm önerilen sistemi iyileştirmek için önerilerde bulunacaktır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bir PV sistemi, doğrusal olmayan bir PV karakteristik eğrisine sahiptir. Bu karakteristik eğri, sıcaklık ve güneş ışınımı ile değişir. Maksimum güç noktası, bir MPPT kontrol tekniği kullanılarak çıkarılır. PV sisteminin tasarımında birkaç MPPT algoritması kullanılmıştır. Karmaşıklık, verimlilik, maliyet, sensör ve izleme doğruluğu gibi özelliklerde farklılık gösterirler. [15]. En yaygın MPPT teknikleri, kullanılan algoritma yöntemine göre sınıflandırılır. Bunlar; Konvansiyonel yöntemler, soft hesaplama (stokastik algoritma) ve diğerlerini içerir.

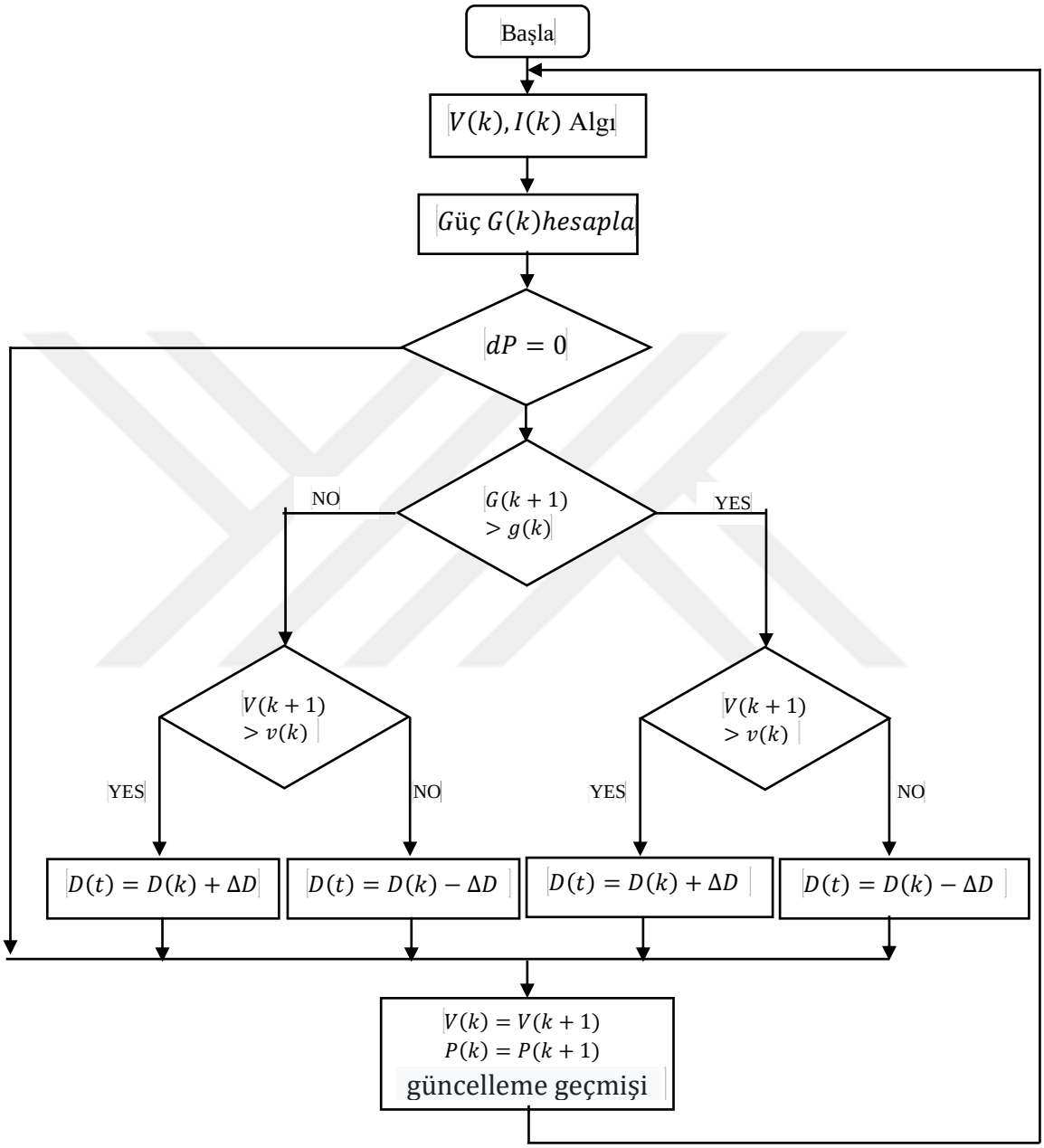
2.1. Geleneksel MPPT Yöntemleri

Konvansiyonel MPPT yöntemleri uzun zaman önce önerilmiş ve bu yöntemler çok popüler olmuştur. Bu yöntemlerin ana avantajları basitlik ve kolay uygulamadır. Bu geleneksel yöntemler geniş çapta benimsenmiştir ve lineer güneş ışınımı koşulu altında tatmin edici bir MPPT performansı elde etmiştir. [16]. Bununla birlikte KGK'de, geleneksel MPPT yöntemlerinin çıkış gücü azaltma ve uyumsuzluk sorunu vardır. Geleneksel yöntemler, çıkış gücünde bir kayba yol açan geleneksel maksimumu izlemek yerine yerel maksimumu izleyerek MPP'yi yanlış yorumlayabilir. [12], [17]. Yaygın geleneksel yöntemler şunları içerir:

2.1.1. P&O (Perturb and Observation) Yöntemi

P&O yöntemi, düşük maliyeti, basitliği ve uygulama kolaylığı nedeniyle ticari ürünlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [8], [18]. P&O MPP izleme algoritması, PV dizisi çalışma gerilimini bozarak (yani görev döngüsünü artırarak veya azaltarak) ve PV çıkış gücü ve gerilim değerlerini önceki döngü değerleriyle karşılaştırarak çalışır. PV çıkışındaki güç değişimini gözlemler ve gerilim referansı Vref'e göre değişimin yönünü saptar. [19]. Bu nedenle, eğer PV dizisinin çalışma gerilimi V belirli bir yönde bozulursa ve PV çıkış gücü artarsa ($\Delta P > 0$) sonraki döngüdeki yönün MPP'ye doğru olduğunu ve çalışma geriliminin aynı yönde daha fazla bozulması gerektiğini gösterir. Aksi takdirde (yani çıkış gücü çalışma geriliminin yönüne göre azalır $\Delta P < 0$), bu durumda çalışma gerilimi MPP'den uzaklaşmıştır ve bozulma yönü tersine çevrilecektir. [8]. P&O tekniğinin en büyük dezavantajı, kısmi gölgeleme durumu gibi atmosferik koşulların ani değişiminde maksimum çalışma noktasından sapmadır. [20]. Bunun nedeni, MPP'ye ulaşıldığında MPP'nin etrafında salınan ve PV güç kaybıyla sonuçlanan P&O algoritmasıdır. Doğrusal güneş ışınımı koşullarında MPP etrafındaki salınımların sayısını azaltmak için P&O, MPP algoritmasında çeşitli geliştirmeler yapılmıştır. Ancak bu gelişmeler

algoritmayı değişen atmosferik koşullarda yavaşlatmakta ve bulutlu günlerde (kısmi gölgelenme hali) algoritma verimliliğini azaltmaktadır. [8]. Bu algoritmanın amacı, PV dizisi anlık iletkenliğinin (I/V) artan iletkenliğe eşit olduğu gerilim çalışma noktasını bulmaktır.

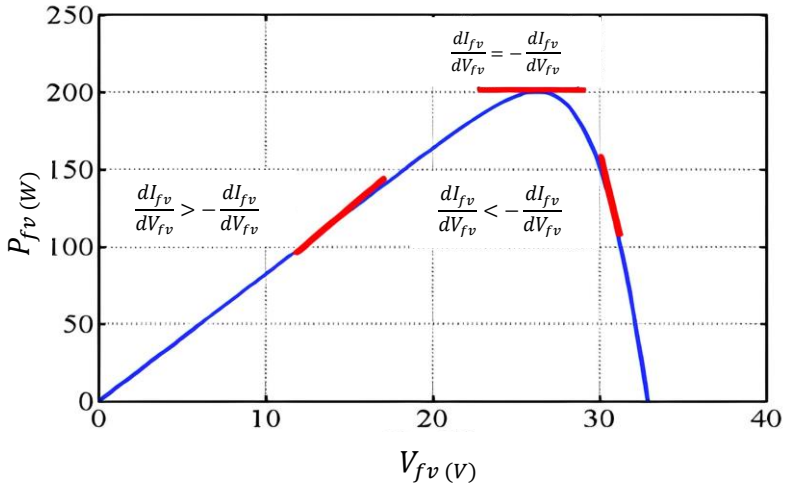


Şekil 1: P&O Algoritmasının Mantık Akış Şeması [21]

2.1.2. Artımlı iletkenlik (IncCond) yöntemi

Artımlı iletkenlik IncCond yöntemi, Şekil 2'de gösterildiği gibi P–V eğrisinin eğiminin MPP'de sıfır olduğu gerçeğine dayanmaktadır. Bu yöntem, hızla değişen atmosferik koşullar altında MPP izleme doğruluğunu ve dinamik performansı geliştirmek için tanıtılmıştır. [14], [22]. PV

dizisinden gelen PV dizisi çıkış gerilimi ve akımı izlenir. MPPT denetleyicisi, iletkenliği ve artan iletkenliği hesaplamak için değerlere dayanır ve daha sonra görev oranı çıktısını artırma veya azaltma kararını verir.



Şekil 2: Artımlı Kondüktansın Güç-Gerilim Eğrisi [23]

Bu algoritmanın amacı, PV dizisi anlık iletkenliğinin (I/V) artan iletkenliğe (dI/dV) eşit olduğu gerilim çalışma noktasını bulmaktır. $\frac{dP}{dV} = 0$ olduğunda PV dizisi, maksimum güç noktasında çalışır ve herhangi bir bozulma olmaz. Aksi takdirde (yani $\frac{dP}{dV} \neq 0$ $\frac{dP}{dV}$ değerine dayalı olarak bir sonraki pertürbasyonun yönü hakkında bir karar verilir.[22]. IncCond algoritmasının akış şeması Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu yöntemde, dizinin çalışma gerilimi V ve akım I'yi ölçmek için iki sensör kullanılır. Artımlı değişiklikler dV ve dI, ardışık zaman aralıklarında PV dizisi çıkış akımı I ve gerilimi V örneklenerek dijital olarak hesaplanabilir [24]. IncCond algoritması, MPP'ye ulaşmak için çalışma noktasını bozacak yönü bulabilir. Bu nedenle, ışınım seviyelerinin hızlı değişimi altında MPP yönünü bozabilir. [25]. P&O ve IncCond yöntemi karşılaştırıldığında, deneysel sonuçların veriminin %95'e kadar olduğu belirlendi. Petrone G ve arkadaşları, verimliliğin %98,2 kadar olduğunu gözlemlediler. Ancak bileşenlerin gürültüsünden dolayı IncCond yönteminin güvenilirliğini sorguladılar [26].

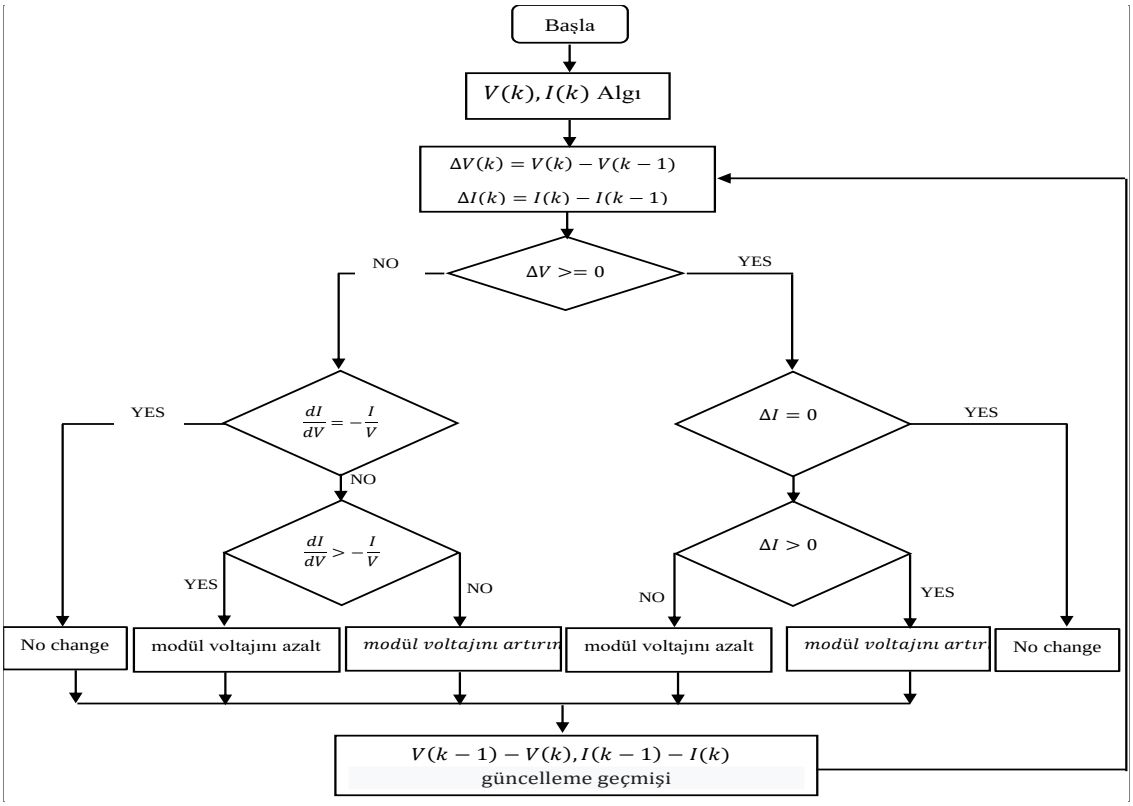
Şekilde gösterildiği gibi, 2 türevin çarpımı aşağıdaki denklemleri verir:

$$\frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} = -\frac{I}{V} \; at \; MG\dot{I} \qquad (1)$$

$$\frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} > -\frac{I}{V} \; MG\dot{I}'nin\ solu \quad (2)$$

$$\frac{dI_{PV}}{dV_{PV}} < -\frac{I}{V} \; MG\dot{I}'nin\ sağ \quad (3)$$

Bu algoritmanın en büyük dezavantajı, nispeten düşük verimle sonuçlanan aşırı kararlı durum salınımlarıdır.



Şekil 3: Geleneksel artımlı algoritma akış şeması. [27]

2.1.3. Fraksiyonel Açık Devre Gerilimi

Bu yöntem, ışıma ve sıcaklığa göre değişen MPPT gerilimi ve açık devre gerilimi arasındaki doğrusal ilişkiyi kullanır. [28].

$$V_m = k_o V_{oc} \quad (4)$$

Burada k_o ,PV dizisinin özelliklerine bağlı bir sabittir. Sabit değer, maksimum güçteki V_m geriliminin ve açık devre geriliminin oranıdır ve ilk önce farklı ışınlama seviyeleri ve farklı sıcaklıklar için belirlenir. Sabit değerin 0.71-0.78 aralığında olduğu verilmiştir.

Sabit değer belirlendikten sonra maksimum güçteki V_m gerilimi, Kısa devre V_{oc} ölçülerek periyodik olarak hesaplanır. Açık devre gerilimi, güç dönüştürücünün anlık olarak kapatılmasıyla elde edilir. Bu yöntemle özel bir sorun olan bir güç kaybının meydana gelmesine izin verir. Bu yöntemi kullanırken karşılaşılan diğer bir problem, değişken ışınlama eğimleri altında maksimum güç noktasını takip edememesini sağlayan ayrık özelliklerdir.

2.1.4. Fraksiyonel Kisa Devre Akımı

Bu yöntem, aşağıda gösterildiği gibi değişen atmosferik koşullar altında maksimum noktadaki kısa devre akımı ile akım arasındaki ilişkiyi kullanır.

$$I_m = k_s V_{sc} \tag{5}$$

Orantı sabiti k_s, kesirli açık devre gerilim yönteminde olduğu gibi her bir PV dizisi için belirlenir. k_s sabiti 0.78-0.92 arasında yer almaktadır. Çalışan bir sistemin kısa devre akımını ölçerken, PV dizisini periyodik olarak kısa devre yapmak için güç dönüştürücüye ek bir anahtar gerekir. I_{sc} daha sonra PV dizisi ile DA bara kondansatörü arasına yerleştirilmiş ek bir alan etkili transistör ile PV dizisinin kısa devre edilmesiyle ölçülür. [29].

2.2. Stokastik Algoritma

2.2.1. Bulanık Algoritma

Bulanık algoritma, bilinmeyen ve karmaşık doğrusal olmayan sistemin matematiksel modeline uygun olan bulanık küme teorisine dayanmaktadır. Etkileyen ortama hızlı bir yanıt vermek ve MPP yakınındaki güç salınımını zayıflatmak için bulanık kontrol MPPT kontrol sistemine dahil edilmiştir.

Bulanık kontrol sistemi, verileri örnekleyerek çalışma noktası ile MPP arasındaki ilişkiyi belirler. Daha sonra MPP'yi elde etmek için çalışma noktasındaki gerilimin değerini otomatik olarak düzeltir. Bulanıklaştırma, kural tabanlı, çıkarım ve durulaştırma, bulanık mantık tabanlı bir MPPT'nin ana bileşenleridir. Hata e(k) ve hata Δe(k)'deki değişiklik, bulanık denetleyiciye girilir ve bulanıklaştırma bloğu tarafından bulanık girdiye dönüştürülür. Oluşturulan kurallar, çıkarım bloğunda uygulanır ve durulaştırma bloğu, bulanık çıktıyı kesin bir çıktıya dönüştürür. [30].

2.2.2. Yapay Sinir Ağı (YSA)

Yapay Sinir Ağı (YSA), biyolojik bir sinir ağının işlevselliğinden ilham alan bir tür hesaplama modelidir. İnsan beyninin hesaplama biçimini baz alınmıştır. YSA'nın uygulanması, doğrusal olmayan fonksiyonlara ve gidişatları tanımaya uyumlu olmasıyla çeşitli alanları kapsar.

YSA algoritması 3 önemli parametreden oluşur;

- Farklı katmanların nöronları arasındaki karşılıklı ilişki konfigürasyonu
- Farklı katmanların ağırlığını düzene sokmak için öğrenme süreci
- Girdiyi beklenen çıktıya dönüştüren tetikleyici işlevler

YSA ağı girdi, gizli ve çıktı katmanına sahiptir. Gizli nöronların sayısını belirlemek için deneme yanılma yöntemi kullanılır. Giriş parametreleri, ışınım ve sıcaklık gibi atmosferik parametrelerden açık devre gerilimi ve kısa devre akımı veya her iki parametrenin kombinasyonu gibi PV dizisi parametrelerine kadar değişir. Çıkış, güç dönüştürücünün MPP'yi bulmasını sağlayan görev döngüsü darbe sinyali gibi ortak bir referans sinyalidir. [31].

Değiştir ve Gözle (P&O) tekniği, modülün çalışma gerilimini herhangi bir yönde, değerinin artması veya azalması ve çıkış gücünün polaritesini gözlemleyerek, bozulmanın yönünü tespit eden matematiksel bir optimizasyon tekniğidir. [32].

Benett ve diğerleri, tek tip ışınlamada izleme hızı ve salınım genliği arasındaki denge sorununu çözmeye dayanan değiştirilmiş bir P&O algoritması önermişlerdir. Aynı zamanda, klasik bir P&O'da deneyimlendiği gibi, değişen ışınlama altında başarısızlık sorununu çözmeyi amaçlamaktadır. Teknik, %0.85 Voc ile başlar ve daha sonra küçük adım gerilimleri kullanır. Gerilim V_m'ye (yani MPP'deki Gerilim değeri) yakınsadığında, adım boyutu %50 azalır. Modifiye edilmiş P&O tekniğinin kararlı durum ve dinamik verimliliği sırasıyla %97,1 ve %96,33'tür [33].

Liu ve diğerleri, bir Doğru Akım-Doğru Akım yükseltici (boost) dönüştürücü için klasik P&O tekniğini uygulamak için bir tepe akım kontrolü yöntemi önerdi. Bu yeni yöntem, anlık değeri ve tepe akımını kullanarak bir sonraki bozulmanın yönünü hesaplamayı amaçlıyordu [34].

Gomathy ve arkadaşları sabit adım ölçeğinde P&O tekniğini, izleme hızına dair daha iyi performans sergilediğini öne sürdü. Teknik, akabinde DA-DA yükseltici dönüştürücünün görev döngüsünü kontrol ederek MATLAB/Simulink'te simüle edilmiştir [35].

Jiang ve diğerleri, pertürb geriliminin salınımı ve güneş ışınımındaki hızlı değişim problemini çözmek için bir teknik sundu. Teknik, üç noktalı ağırlıklara dayanıyordu. Klasik teknikle

karşılaştırıldığında sonuçlar, kararlı durum ve dinamik verimlerin sırasıyla %97 ve %92 olduğunu göstermektedir [36].

Sera ve diğerleri, çevresel değişikliklerden dolayı bir PV modülünün değişken çıkış gücünü ayrıştırarak ve bozulmuş gerilim nedeniyle çıkış gücündeki değişiklikten dolayı modifiye edilmiş bir P&O tekniği önerdiler. Kararlı hal ve dinamik verimlilik bu formatta %99,6'dır [37]. Yukarıdaki değişiklikler klasik P&O üzerinde yapılmış ve algoritmanın performansını iyileştirmek için uygulanmış olsa da P&O yöntemi güneşlenmede değişiklik olduğunda GMPP'yi hala doğru bir şekilde izleyememektedir.

Vanxay ve diğerleri, değişen güneşlenme sırasında etkisizliğin eksikliğini gidermek için geliştirilmiş bir PSO önerdi. Yazar, değişen güneş ışığına tepkiyi iyileştirmek için standart PSO denklemine bir itme terimi ekledi. İyileştirme daha iyi performans, düşük maliyet ve yüksek genel verimlilik gösterse de geleneksel PSO denklemlerine çeşitli ekstra katsayıların eklenmesi algoritmanın hesaplanmas hızını arttırdı [38].

Yupeng Liu ve diğerleri, değişken bir boyut stratejisi ortaya koydu. İş, parçacıkların çeşitliliğini artırmak için ilk yinelemede parçacıkların hareket adımını artırdı ve yineleme ile kademeli olarak azaldığını gördü. Ayrıca PV akımı, güneş ışınımı ve sıcaklığa dayalı amaç fonksiyonunun bir ifadesini türetmiştir. Sonuç, MPP'nin daha hızlı ve doğru bir şekilde takip edildiğini gösteriyordu. Ancak, çalışma gücü noktasına eşdeğer çözümün uygunluğunu değerlendirmek için verilen ifade verilmemiştir. Bu nedenle, gerçek tepe gücünün izlenmesi kesin değildir [39].

Kashif Ishaque ve diğerleri, MPP'nin yerini belirledikten sonra parçacık hızlarındaki azalmaya yönelik bir yaklaşım da sundular. Deneme esnasında PSO ile birlikte bir doğrudan görev döngüsü kontrolü kullanmıştır. MPP'de görev döngüsü sabit bir değerde tutuldu ve bu da kararlı durum salınımını ortadan kaldırıp sistem verimliliğini artırdı. Ancak bu yaklaşım, MPP'yi bulmak için uzun izleme süresini ele almamıştır [39].

Kobayashi ve diğerleri, diğer MPPT algoritmalarındaki yakınsama süresi problemini çözmek için iki aşamalı MPP kontrol yöntemini önerdiler. İlk aşama, PV sistemin çalışması R_m yük hattında MPP'nin yakınına doğru hareket ettirir ve ikinci aşamada MPP'de birleşir. Araştırma, açık devre geriliminin V_{oc} kısa devre akımına oranı I_{sc} bir eşdeğer R_m ile doğru orantılı olduğu kavramını benimsemiştir. Yöntem, hızla değişen güneşlenme maksimum güç noktasının doğru bir şekilde izlenmesinde iyi sonuçlar verir, lakin sistem tasarımını karmaşıklaştırır (örneğin açık devre geriliminin ve kısa devre akımının ölçümü için ek devreler gereklidir) [40].

Mei Shan ve arkadaşları, MPP'yi çoklu tepe noktaları arasında konumlandırmak için PSO ve YSA MPP algoritmasının hibrit bir algoritmasını önerdiler. YSA uygun ΔP değerlerini ve PV akımının başlangıç değerini üretir ve güneş ışığının değişiminin değişiminde PSO'ya gönderir. PSO, MPP'de PV sisteminin akımını üretir. Yaklaşım MPP'yi doğru bir şekilde izler ancak gölgeleme desenleri değiştiğinde yeniden başlatma parametrelerini ele almaz [41].

Kashif Ishaque, kısmi gölgeleme koşullar altında GMPP'yi izlemek için PSO'nun kullanılmasını önermiştir. Performans, MATLAB/simulinklerde simülasyon kullanılarak değerlendirilmiş ve global zirveyi izlemek için bir boost DA-DA dönüştürücünün kullanıldığı şebekeye bağlı PV sistemlerine uygulanmıştır. MPP takibi için P-I (Güç-Akım) karakteristik eğrisi kullanılmıştır. Sonuç, MPPT algoritmasının hem tek tip güneşlenme hem de çeşitli güneşlenme koşulları için GMPP'yi tatmin edici bir şekilde izlediğini göstermektedir.

Musa Abdulkadir ağırlık faktörünü, bilişsel ve sosyal parametreleri tutarlı bir şekilde azaltarak yakınsamayı hızlandıran değiştirilmiş bir PSO algoritması uygulamıştır. Algoritma MATLAB/simulinks'te uygulanmıştır ve sonuç, iterasyon adımlarının azaldığını ve yakınsama hızı açısından iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir [42].

Wafa Hayder ve diğerleri, sıcaklık ve/veya ışınlama değiştiğinde yakınsama hızında ve MPPT doğruluğunda kontrolör yeteneklerini geliştirmek için PSO algoritmasını değiştirmiştir. Farklı ışınlama koşulları altında gerçekleştirilen geliştirilmiş PSO simülasyonları, parçacıkların ardışık iterasyonlara göre çıkış PV sistemini MPP'ye hareket ettiren lider sürü parçacığına yakınsamasını sağlamış ve yöntemin tutarlılığı %99'dan bulunmuştur [43].

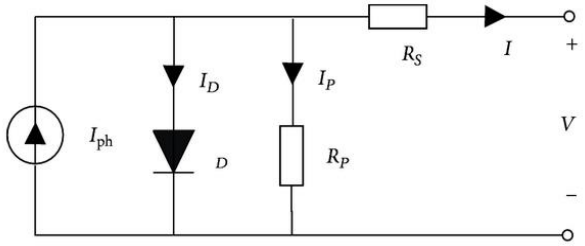
3. YÖNTEM

3.1. PV Modülünü Modelleme

Tek ve çift diyot PVmodeller, PV modüllerinin çıkış karakteristiğini modellemek için yaygın olarak kullanılmaktadır. PV hücresinin tek diyot modeli en yaygın PV modelidir ve tipik olarak I-V eğrilerini belirlemek için kullanılır. Bunun nedeni basitliği ve uygulama kolaylığıdır. Bununla birlikte, çift diyotlu model daha iyi doğruluğa sahiptir.

Tek diyotu model

Şekil 4'te tek diyotlu bir modelin eşdeğer devresi verilmiştir. [39], [44].



Şekil 4: Tek diyot devre modeli

Çıkış akımı ***I*** şu şekilde ifade edilir:

$$I = \mathrm{I_{Ph}} - \mathrm{I_d} - \mathrm{I_p} \tag{6}$$

$$\mathrm{I_{Ph}} = \mathrm{I_{SC}} + \mathrm{k_i} * (\mathrm{T} - 298).\frac{\mathrm{G}}{1000} \tag{7}$$

$$\mathrm{I_d} = \mathrm{I_o}[\exp\left(\frac{V+IR_s}{n_s.V_T}\right) - 1] \tag{8}$$

$$\mathrm{I_{sh}} = \frac{V+IR_s}{R_p} \tag{9}$$

I_{sc} kısa devre akımıdır. I_{Ph}, güneş ışığı ile PV sisteminden üretilen akımdır. $I_o$diyotun ters doyma akımıdır. n_s diyot ideallik sabitini temsil eder. V_T, seri bağlı birkaç hücreye sahip PV modülünün termal gerilimidir.

$$V_T = {N_s.kT}/{q} \tag{10}$$

R_s, akım akışından kaynaklanan gerilim düşününü ve dahili kayıpları dikkate almak için tanımlanır. Bir diyot ters yönde olduğunda, R_p toprağa giden kaçak akımı hesaba katar.

$$I_o = kT^m(e^{{-(V_{GO}+IR)}/{nV_T}}) \tag{11}$$

I_o ters doyma akımıdır, V_{GO} bant aralığı enerjisidir, k bir sabittir.

Denklem (6) da bu değişkenler yerine yazıldığında denklem (12) elde edilir:

$$I = \mathrm{I_{Ph}} - \mathrm{I_o}[\exp\left(\frac{V+IR_S}{n_s.N_S.k.T}\right)q - 1] - \frac{V+IR_S}{R_p} \quad (12)$$

q elektron yüküdür, k Boltzmann sabitidir ($1.38 \times 10^{-23} J/k$) ve T p-n ekleminin sıcaklığıdır.

Çift diyot model

Çıkış akımı ***I*** şu şekilde ifade edilir:

$$I = \mathrm{I_{Ph}} - \mathrm{I}_{d_1} - \mathrm{I}_{d_2} - I_{sh} \quad (13)$$

$$\mathrm{I_{Ph}} = \mathrm{I_{SC}} + \mathrm{k_i} * (\mathrm{T} - 298).\frac{\mathrm{G}}{1000} \quad (14)$$

$$\mathrm{I}_{d_1} = \mathrm{I}_{o_1}[\exp\left(\frac{V+IR_S}{n_{s_1}.V_T}\right) - 1] \quad (15)$$

$$\mathrm{I}_{d_2} = \mathrm{I}_{o_2}[\exp\left(\frac{V+IR_S}{n_{s_2}.V_T}\right) - 1] \quad (16)$$

$$\mathrm{I_{sh}} = \frac{V+IR_S}{R_p} \quad (17)$$

I_{sc} kısa devre akımıdır. I_{Ph}, güneş ışığı ile PV sisteminden üretilen akımdır. I_{o_1}diyot 1'in ters doyma akımıdır. I_{o_1}diyot 2'nin ters doyma akımıdır. n_s diyot ideallik sabitini temsil eder. V_T, seri bağlı birkaç hücreye sahip PV modülünün termal gerilimidir.

$$V_T = {N_s.kT}/{q} \quad (18)$$

$$I_{o_1} = I_{o_2} = \frac{I_{sh+}K_I\Delta T}{exp\left(\frac{V_{oc}+K_V\Delta T}{((n_1+n_2)/P)*V_T}\right)-1} \quad (19)$$

I_o ters doyma akımıdır, V_{GO} bant aralığı enerjisidir, k bir sabittir.

Denklem (13) olur:

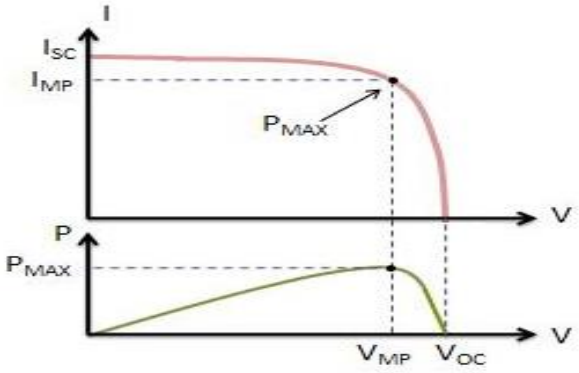
$$I = \mathrm{I_{Ph}} - \mathrm{I}_{o_1}[\exp\left(\frac{V+IR_S}{n_{s_1}.V_T}\right) - 1] - \mathrm{I}_{o_2}\left[\exp\left(\frac{V+IR_S}{n_{s_2}.V_T}\right) - 1\right] - \frac{V+IR_S}{R_p} \quad (20)$$

q elektron yüküdür, k Boltzmann sabitidir ($1.38 \times 10^{-23} J/k$) ve T p-n ekleminin sıcaklığıdır.

3.2. Fotovoltaik Hücre Çıkış Karakteristiği

Akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) eğrileri, bir PV sisteminin çıkış özelliklerini temsil etmek için yaygın olarak kullanılır [45]. Şekil 5, bir PV hücresinin tipik bir I-V ve P-V eğrisini göstermektedir. Eğriler, tek tip atmosferik koşullar altında PV modüllerinin, dizilerinin ve dizilerinin çıktısını temsil etmek için kullanılır. Eğriler açık devre gerilimini, kısa devre

akımını, MPP'deki akım değerini ve MPP'deki gerilim değerini gösterir. PV eğrisi, belirli atmosferik koşullar altında bir PV hücresinin maksimum gücünün üretildiği yerde tepe güç olarak da adlandırılan Maksimum Güç Noktasını (MPP) gösterir.



Şekil 5: Bir PV hücresinin tipik I-V ve P-V eğrisi [46]

3.2.1. Kısa Devre Akımı, Açık Devre Gerilimi ve PV Hücresinin Tepe Gücü

3.2.1.1. Kısa Devre Akımı

Bir PV hücresinin kısa devre akımı, standart test koşulları (STC) altında PV hücresinin ürettiği maksimum akımdır [47]. Bu, çıkışa bir şönt direnci yerleştirilerek belirlenir.

Şekil 6'da gösterildiği gibi, burada terminal gerilimi kısa devredir, bu durumda terminal gerilimi $V_O = 0$ ve şöntten geçen akım kısa devre akımı I_{sc} $(yani\ I = I_{sc})$ olarak adlandırılır. Denklem 12 [44] şuna indirgenir:

$$I_{sc} = \mathrm{I_{Ph}} - \mathrm{I_o}[\exp\left(\frac{0+I_{sc}R_{s=0}}{n_s.N_S.k.T}\right)q - 1] - \frac{0+I_{sc}R_{s=0}}{R_p} \qquad R_p \gg R_s$$

$$I_{sc} = I_{ph} \qquad R_{p>>}R_s \tag{21}$$

Çift diyot model

$$I = \mathrm{I_{Ph}} - \mathrm{I_{o_1}}[\exp\left(\frac{I_{sc}R_{s=0}}{n_{s_1}.V_T}\right) - 1] - \mathrm{I_{o_2}}\left[\exp\left(\frac{I_{sc}R_{s=0}}{n_{s_2}.V_T}\right) - 1\right] - \frac{I_{sc}R_{s=0}}{R_p}$$

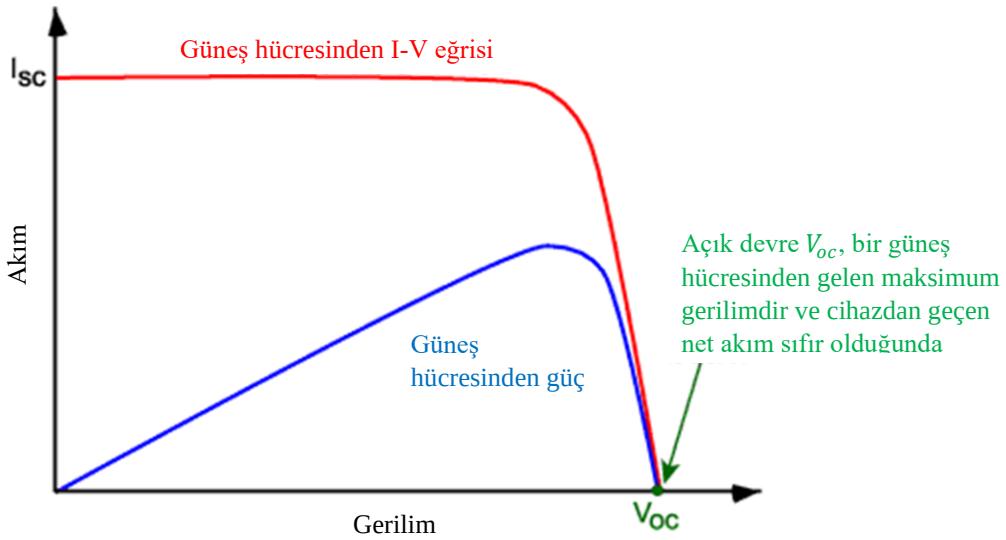


Şekil 6: PV hücresindeki kısa devre akımı [46]

Denklem 6, kısa devre akımının foton akımıyla doğru orantılı olduğunu gösterir, yani güneş olayı.

3.2.1.2. Açık Devre Gerilimi

Açık devre gerilimi, standart bir test koşulu altında PV hücresinin maksimum gerilimidir. Bunun belirlenmesi yük direncinin, çıkışta açık devre tarafına yerleştirilmesi sayesindedir.



Şekil 7: PV hücresinin açık devre gerilimi [46]

Bu durumda, açık devrede (yani i=0) hiçbir akım akmayacaktır ve açık devre üzerindeki gerilim, şekil 7'de gösterildiği gibi V_oc (yani V=V_oc) olarak verilir.

$$I = \mathrm{I_{Ph}} - \mathrm{I_o}[\exp\left(\frac{V_{oc}+0}{n_s.N_s.k.T}\right)q - 1] - \frac{V_{oc}+0}{R_{sh}} \qquad R_{sh} \gg V_{oc}$$

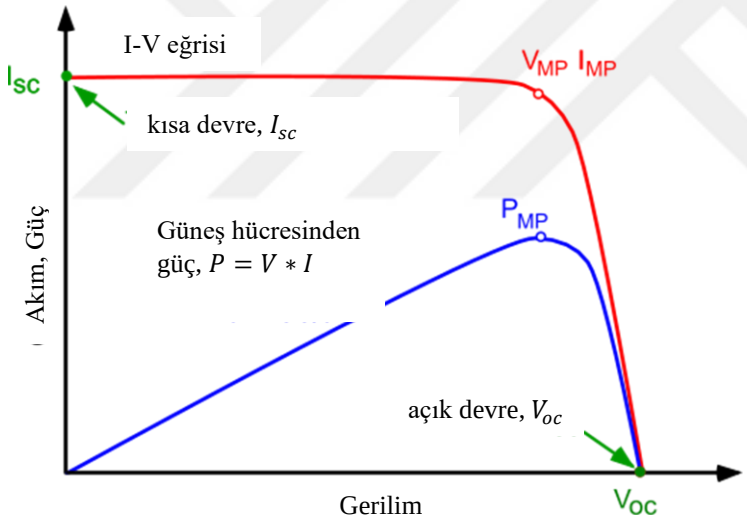
$$\frac{I_{ph}}{I_o} = [\exp\left(\frac{V_{oc}}{n_s.N_s.k.T}\right)q - 1] \tag{22}$$

$$V_{oc} = \mathrm{n}V_T \ln\left(\frac{I_{ph}+I_o}{I_o}\right) \tag{23}$$

$$0 = \mathrm{I_{Ph}} - \mathrm{I_{o_1}}[\exp\left(\frac{V_{oc}}{n_{s_1}.V_T}\right) - 1] - \mathrm{I_{o_2}}\left[\exp\left(\frac{V_{oc}}{n_{s_2}.V_T}\right) - 1\right] - \frac{V_{oc}}{R_p}$$

3.2.1.3. Maksimum Güç

Maksimum gücü, standart test koşulları altında PV hücresinin maksimum güç ürettiği noktadır. Bu noktadaki akım ve gerilim, Şekil 8'de gösterildiği gibi I_{mp} ve V_{mp} olarak tanımlanır.



Şekil 8: Maksimum güçteki akım ve gerilimi gösteren güç eğrisi [46].

$V_{oc}, I_{sc}, I_{m,}\ V_m and\ P_m$ Değerleri çevre koşullarına göre değişir. Bu nedenle, değişen güneş ışınımı ve sıcaklık altında anlık MPP'yi bulmak için bir MPPT gereklidir.

3.2.2. PV Hücre Karakteristiğinde Işımanın Etkisi

Sıcaklığın kısa devre akımı I_{sc} üzerindeki etkisi, $I_{sc} = I_{ph}$ denkleminde verilmiştir. Sıcaklıktaki artış foto-elektronları arttırır çünkü bant aralığı enerjisi azalır ve daha fazla elektronun iletim bandına geçmesini sağlar [45].

Ayrıca denklemdeki bağıntıdan sıcaklığın açık devre gerilimi V_oc üzerindeki etkisi türetilmiştir.

$V_{oc} = \mathrm{n}V_T \ln\left(\frac{I_{ph}+I_o}{I_o}\right)$ mevcut I_o çok küçük olduğu için denklem şu şekilde yeniden yazılabilir: burada V_{oc} sıcaklıkla ters orantılıdır:

$$I_o \propto T^m e^{-V_{GO}/nV_T} \tag{24}$$

$$\frac{V_{oc}}{nV_T} = \ln\left(\frac{I_{ph}}{I_o}\right) = \ln(I_{ph}) - \ln(I_o) \tag{25}$$

T'ye göre diferansiy katsayının çözülmesi

$$\frac{dV_{oc}}{dT} = \frac{V_{oc}-(V_{GO}+m.nV_T)}{T} \tag{26}$$

Denklem 11'den, ters doyma akımı

$I_o = kT^m e^{-V_{GO}/nV_T}$ 'dir.

$$ln\{I_o\} = mln(kT) + \left(\frac{-V_{GO}}{nV_T}\right) \tag{27}$$

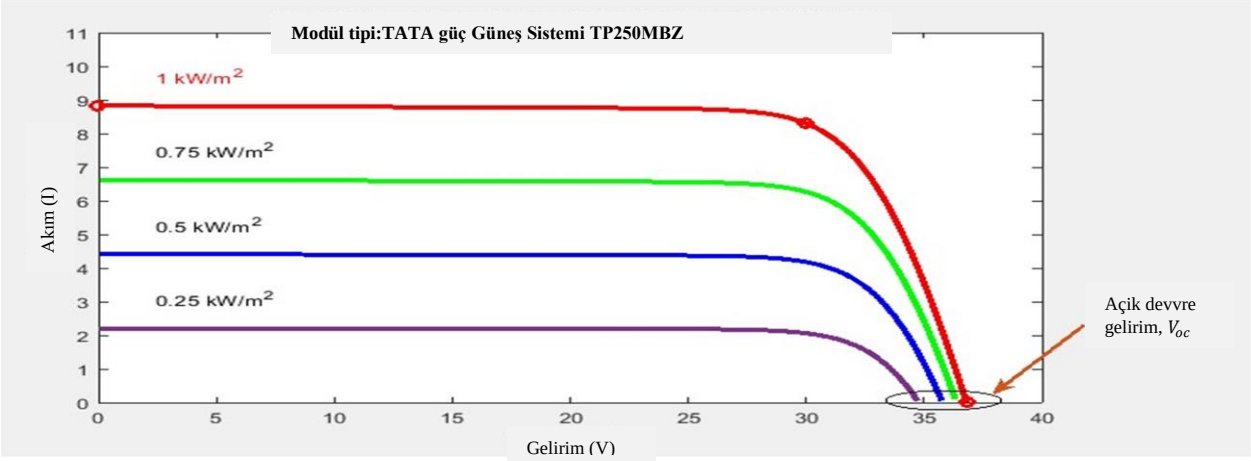
T'ye göre farklılaşma

$$\frac{d\ln(I_o)}{dT} = \frac{m}{T} + \frac{V_{GO}}{nV_T} \tag{28}$$

Buna mukabil gerilim katsayısı negatif olduğundan tepe güç ile sıcaklık arasındaki korelasyon (yani $P_m \propto \frac{1}{T}$) terstir.

3.2.3. PV Hücre Karakteristiğinde Işımanın Etkisi

Işınım bir modülün çıkış verimliliğini değiştirdiğinden, güneş enerjisi modülü verimliliği giriş değişken ışınımına bağlıdır. Işınım arttıkça modül üzerindeki gelen fotonların sayısı maksimum güç üretir ve verimde artışa neden olur. Işınlamanın kısa devre akımı üzerindeki etkisi doğrusaldır. Bu nedenle kısa devre akımı, ışınım seviyesi ile doğrusal olarak artar. Ayrıca ışıma arttıkça açık devre gerilimi da artar. Şekil 9'da gösterildiği gibi, kısa devre akımı ile karşılaştırıldığında, açık devre gerilimi üzerindeki ışınımın etkisi önemli değildir [48].

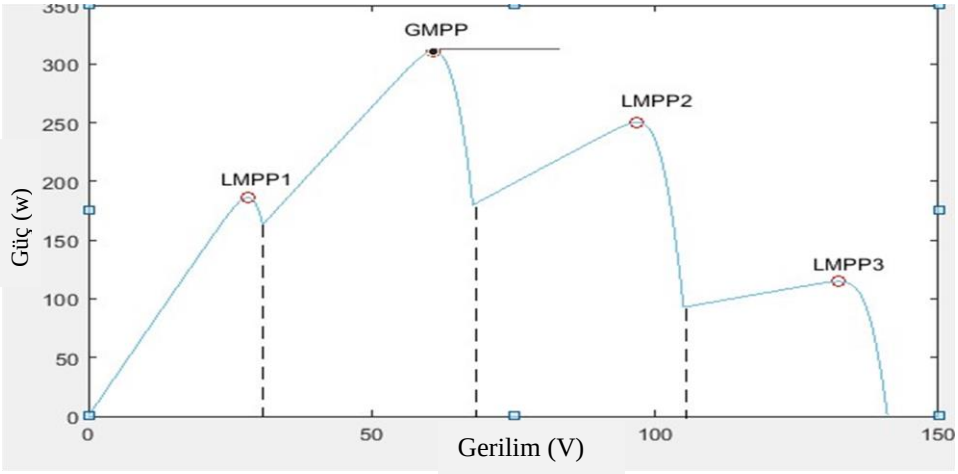


Şekil 9: Farklı ışıma düzeylerindeki I-V eğimleri

3.2.4. Kısmi Gölgelenme Koşullarının (KGK) Etkisi

Çıkış gerilimini arttırmak için PV hücreleri her zaman bir diziye bağlanır. KGK koşulunda, gölgeli alandaki PV hücrelerinin çıkış gerilimi, güneş ışınımındaki değişime ikili olarak azaltılacaktır. Sonuç olarak, üretilen gücün bir kısmı gölgeli PV hücreleri tarafından tüketilecektir. Taralı alan yük görevi görür ve üretilen gücü tüketir. Gölgeli PV hücreler, bu sorunu çözmek için genellikle bypass diyotları tarafından baypas edilir. Gölgeli PV hücrelerine bir baypas diyotlarının eklenmesi, yukarıda belirtilen zorlukları başarıyla çözebilse de, PV hücrelerinin orijinal P-V karakteristik eğrilerini bozmak ve iki tepeli bir eğri oluşturmak gibi yeni bir sorunu da beraberinde getirir [49]. Her dizideki gölgeli PV hücrelerinin sayısı değiştiğinde, her dizi farklı bir PV eğrisi üretir. Panellerin bağlantısı nedeniyle çok tepeli PV eğrileri, Şekil 10'da görülen çok tepeli eğriyi oluşturmak için birleştirilir.

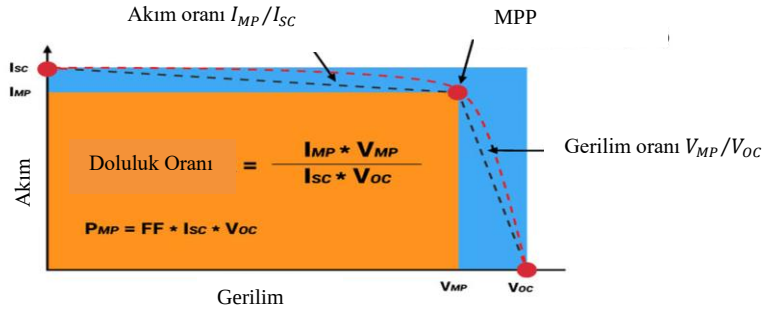
Sonuç olarak, PV dizisinden maksimum güneş enerjisini tahmin etmek için PV sistemleri her zaman GMPP'de çalışıyor olmalıdır.



Şekil 10: Kısmi Gölgeleme Koşullarında PV Eğrisi

3.2.5. Doluluk Oranı

Doluluk oranı, PV çıkış eğrilerinin şeklini tanımlamak için kullanılan bir terimdir. Nokta, PV hücresinden mümkün olan maksimum gerilimi ve akımı gösterir ancak bu değere ulaşılamaz [47].



Şekil 11: PV hücresinin KGK'da I-V eğrisinin karakteristiğini gösteren grafik [49]

Şekil 10'dan V_{oc} ve I_{sc} ile sınırlanan alan, V_m and I_m ile sınırlanan alanla karşılaştırılır. Bu oran, bir PV hücresinin doluluk oranını (fill factor, FF) verir.

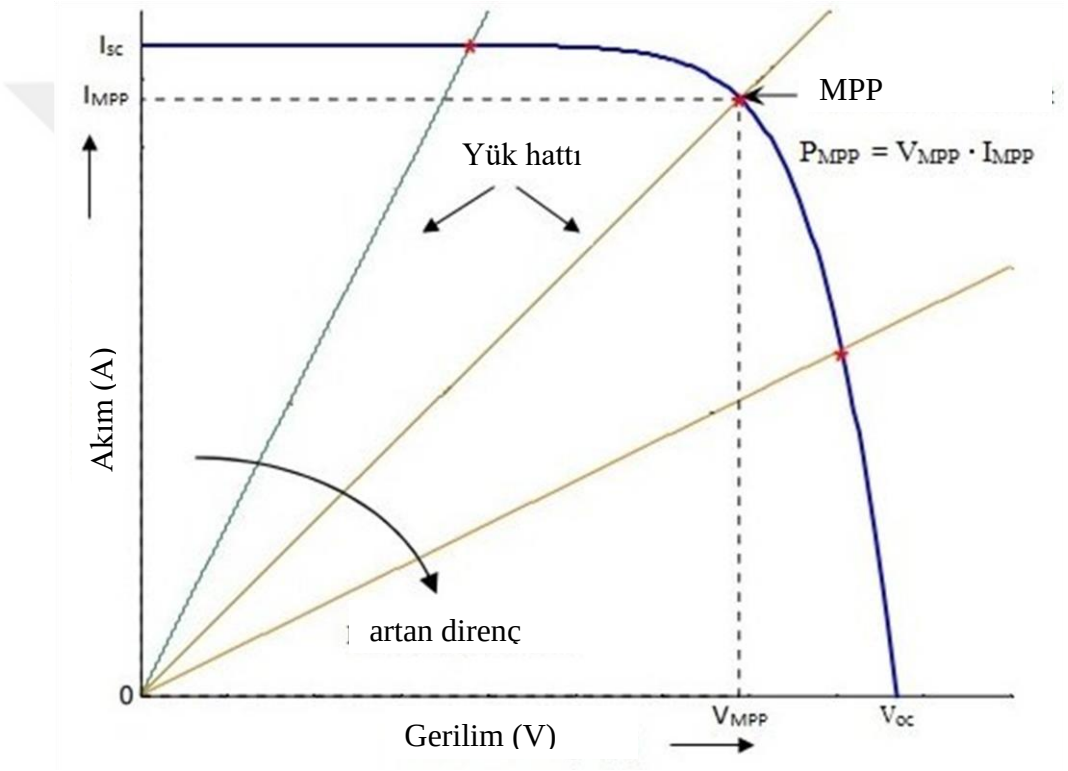
$$FF = \frac{V_m \times I_m}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (29)$$

İdeal PV hücresi, FF 1 olan dikdörtgen şekilli bir IV eğrisine sahiptir. Kuram, daha yüksek FF değerleri elde etmeyi hedeflemiştir, ancak pratik PV güç uygulaması için bu önemsizdir. Bunun nedeni, PV hücrelerinin performansının maliyet ve güvenilirlik gibi birçok başka değere bağlı

olmasıdır. PV çıkış eğrisindeki farka karşılık geldiği için MPP parametreleri optimize edilirken FF parametresi dikkate alınır.

3.2.6. Yük Hattı

I-V eğrisi ile yük hattının kesişme noktası çalışma noktasıdır. R_o'yu çok yüksek yapılırsa (yani açık devre), yük çizgisi, eğim $\frac{\Delta i}{\Delta v} = \frac{1}{\infty} = 0$ (dolayısıyla $\Delta i = 0$) olarak x ekseni ile hizalanmak üzere hareket edecektir. Ayrıca, R_o yükü çok düşük yapılırsa (yani kısa devre). Yük çizgisi, eğim $\frac{\Delta i}{\Delta v} = \frac{1}{0}$ (bu nedenle, $\Delta v = 0$) olarak y ekseni ile hizalanmak üzere hareket edecektir.



Şekil 12: PV hücresinin I-V karakteristik eğrisini gösteren yük hattı grafiği [50].

3.3. MPPT

Fotovoltaik modül durumunda, herhangi bir zamanda maksimum gücün çekilebileceği tek bir çalışma noktası vardır. Bu nokta, PV hücresinin Maksimum Güç Noktası (MPP) olarak adlandırılır. PV modülünün çalışma noktasını her zaman maksimum noktada tutma süreci, Maksimum Güç Noktası İzleme (MPPT) olarak bilinir.

Şekil 12'de , PV modülünden görülen terminaldeki dirençtir. I-V eğrisinde gösterildiği gibi $\frac{1}{R_T}$ kabulü olan bir yük hattımız varsa I-V eğrisi üzerindeki yük hattının kesişme noktası çalışma noktasıdır. [44].

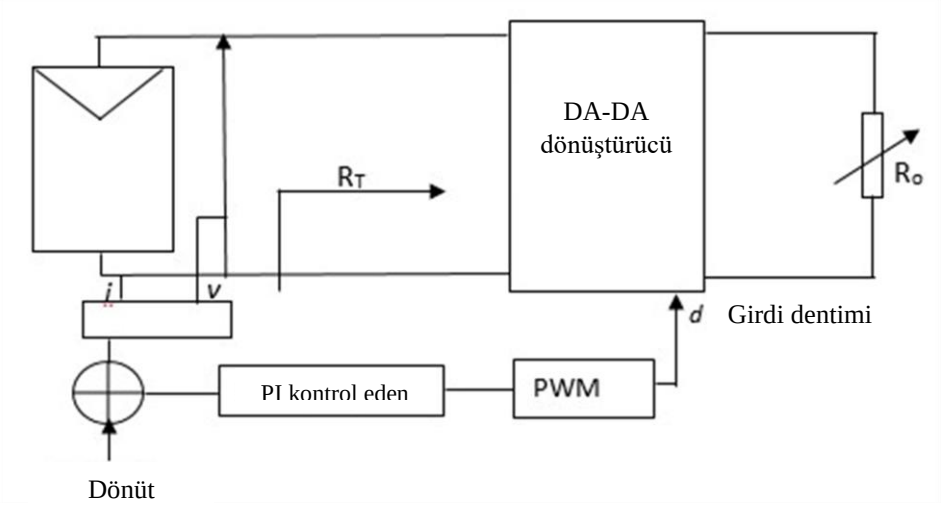
Şekil 11'de gösterildiği gibi, tepe güç P_{mpp}, tepe güç çalışma noktasındaki gerilim V_{mpp} ve tepe güçteki akım I_{mpp} olarak adlandırılır. R_T Yük çizgisi sağa kayarken eğim azaldıkça artar. Bu, R_o'nun açık devre eğilimini arttırdığı anlamına gelir. Yeni çalışma noktasında yük, tepe gücünden daha az bir güç değeri çeker. Ayrıca, R_T, yük çizgisi sağa kayarken eğimdeki artışla azalır. Bu, R_o'nun azaldığını ve bir kısa devreye yöneldiğini gösterir. Çalışma noktası, güç eğrisini tepe gücü P_m'den daha düşük bir güçte kesmektedir.

Çalışma noktasında çekilen güç maksimumdadır ve çalışma noktasının maksimum güç noktasını takip ettiği söylenir. Değiştiğinde yük çizgisi açıklandığı gibi değişir. Çalışma noktasının maksimum güç noktasında olmasını sağlamak için, kontrol girişine sahip bir güç ara yüzü tanıtılmıştır.

R_o değişirse, kontrol girişi, güç ara yüzünün giriş empedansı sabit tutulacak şekilde ayarlanmalıdır (yani, R_T, R_o değerinden bağımsız olarak sabit yapılacaktır). Bu, $^1/_{R_T}$ yükünün herhangi bir zamanda maksimum güç çekecek şekilde sabitleneceği anlamına gelir ve bu MPPT kavramıdır.

3.4. Kontrol Giriş Kurulumu

Güç arabirimle (DA-DA dönüştürücü) MPPT topolojisi için giriş empedansı R_T ve R_o değişken yüktür [45].

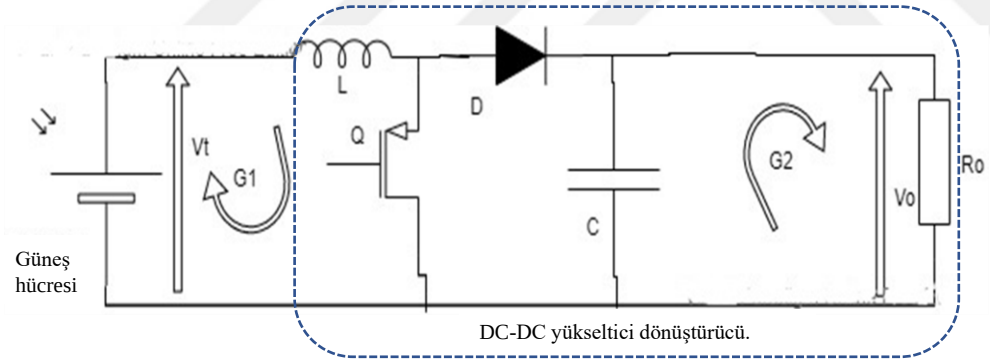


Şekil 13: Kontrol Girişi Konfigürasyonu [41]

DA-DA dönüştürücü, görev döngüsü, d olarak bir kontrol girişine sahiptir. PV modülünde akan akım ve PV modülündeki gerilim, referans işlevi gören bir algoritma tarafından ölçülür ve işlenir. Referans, algılanan gerçek değerle karşılaştırılır ve hata Oransal İntegral denetleyicisine gönderilir. Oransal İntegral denetleyicisi hatanın sıfır olduğundan emin olur (yani geri besleme referansıyla eşleşir) ve bu durumda MPP elde edilir. Oransal İntegral denetleyici çıkışı, görev döngüsü kontrolünün DA-DA dönüştürücüye göndermesi için gerekli SGM'yi üreten bir Sinyal Genişlik Modülasyonu bloğuna bağlanır.

3.4.1. Yükseltici Dönüştürücünün Giriş Empedans.

Şekil 13'te, PV modülü bir yükseltici dönüştürücü ile bir Ro yüküne bağlanmıştır. Güçlendirici dönüştürücünün bir giriş endüktansı L, bir Q anahtarı (örneğin MOSFET, IGBT), bir d diyotu ve paralel olarak bir C kondansatörü vardır.



Şekil 14: Yükseltici dönüştürücüyle yüke bağlamış PV hücresi [43]

Q açıkken, akım endüktanstan, anahtardan ve G_1'de gösterildiği gibi terminal geriliminin negatif elektrotuna akar. Ayrıca diyot ters yönlüdür ve kapasitör G_2'de gösterildiği gibi sürekli olarak yüke deşarj olur. V_T endüktans üzerindeki gerilim pozitiftir ve doğrusal olarak artar. Q kapalıyken akım diyottan geçer, kapasitörü şarj eder ve yükten akar. İndüktörde depolanan manyetik yük, kapasitör ve yük üzerinden boşalacaktır. $V_T - V_o$ Indüktörü üzerindeki gerilim negatif olacaktır ve i_t doğrusal olarak azalır. Bu döngü, kararlı durumda her anahtarlama döngüsünde tekrarlanır.

3.4.1.1. Giriş-Çıkış Gerilim İlişkisi

Kararlı durumda, indüktör üzerindeki ortalama gerilim, döngüden döngüye sıfırdır. [51]. İlişki olarak verilecektir;

$V_T dT_s + (V_T - V_o)(1-d)T_s = 0$

$V_o = V_T\left(\frac{1}{1-d}\right)$ (30)

3.4.1.2. Giriş-Çıkış Akım İlişkisi

Sabit durumda kapasitörden geçen ortalama akım sıfırdır. Açık konumda, kapasitör akımı yüke boşaltır (yani $-i_o$) ve kapalı durumdayken akım ($i_o - i_T$) kapasitörü şarj eder. İlişki olur;

$(-i_o)dT_s + (i_t - i_o)(1-d)T_s = 0$

$i_o = i_t(1-d)$ (31)

$R_o = \frac{v_o}{i_o} = \frac{V_T\left(\frac{1}{1-d}\right)}{i_t(1-d)} = \frac{V_T}{i_t}\left(\frac{1}{(1-d)^2}\right)$ (32)

Geri çağırma $\frac{V_T}{i_t} = R_t$ denklem

$R_o = R_t\left(\frac{1}{(1-d)^2}\right)$ Olur (33)

3.5. PSO Algoritması

PSO algoritması, sosyal böcek kolonileri ve diğer hayvan topluluklarının toplu davranışlarından esinlenen bir sürü tekniğidir [7], [30], [40], [52]–[54]. PSO, her parçacığı arama alanı etrafında hareket ettirir ve bireysel komşu deneyime göre optimum çözümü günceller. PSO, parçacığı rastgele kurgulayarak başlar, ardından yineleme yoluyla optimum çözümleri arar ve ardından bir uygunluk fonksiyonu ile çözüm kalitesini değerlendirir. PSO algoritması, yüksek doğrulukla global optimumu aramada etkilidir.

Parçacık konumu, bir mahalledeki en iyi parçacığın konumundan etkilenir. Parçacık konumu denklemi kullanılarak değiştirilir [38]:

$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1}$ (34)

Hız bileşeninin V_i adım boyutunu temsil ettiği yerde. Hız şu şekilde hesaplanır:

$V_i^{k+1} = w.V_i^k + c_1 r_1\left(P_{best_i} - X_i^k\right) + c_2 r_2\left(g_{best_i} - X_i^k\right)$ (35)

$i = 1,2,3, \dots, N$

i optimize edilecek değişken

k yineleme sayısıdır

V_i^k ve X_i^k, k yineleme içindeki i'inci değişkenin hızı ve konumudur

P_{best_i}, $i'ince$ değişkenin kişisel en iyi konumunu kaydeder

g_{best_i}, sürüdeki küresel en iyi konumu kaydeder.

parçacığın eylemsizliğidir.

c_1 bireysel parçacıkların bilişsel katsayısı.

c_2, tüm parçacıkların sosyal katsayısıdır

r_1 ve r_2 (1 X D) büyüklüğünde rastgele sayılardır (0,1), burada D, karar değişkenlerinin sayısıdır.

$w.V_i$ faktörü momentum faktörü olarak bilinir. Önceki uçuşun hatırası olarak hizmet eder ve parçacıkların yönünü büyük ölçüde değiştirmesini önler [54]. $c_1 r_1 \left(P_{best_i} - X_i^k\right)$ faktörüne bilişsel faktör denir ve parçacığın yerel en iyi konumundan uzaklığını dikkate alır. i'nci parçacığın performansını geçmiş performansına göre ölçer ve parçacıkları kendi en iyi konumlarına geri çeker. $c_2 r_2 \left(g_{best_i} - X_i^k\right)$faktörü sosyal faktör olarak adlandırılır. inci parçacığın komşuluğa göre performansını ölçer ve parçacıkların grup tarafından belirlenen en iyi konuma doğru çekilmesine izin verir. Kişisel ve küresel en iyiyi güncellemede olası durumlar tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Kişisel ve küresel en iyiyi güncellemenin olası sonuçları [38]

Olaylar	Kişisel en özelden daha iyi P_{best_i}	Küresel en iyiden daha iyi g_{best_i}	Uyarılar
1	Hayir	Hayir	$P_{best_i} ve\ g_{best_i}$ güncellemeyin
2	Evet	Hayir	P_{best_i} güncelleyin g_{best_i} güncellemeyin
3	Evet	Evet	$P_{best_i} ve\ g_{best_i}$ güncelleyin

$P_{best_i} = X_i^k$ i.e. $f(X_i^k) \geq f(P_{best_i})$ koşulu karşılanırsa, konum kaydedilir.

Temel PSO, birkaç kontrol parametresine bağlıdır. Problemin boyutunu, sürü boyutunu, ivme katsayılarını, atalet ağırlığını, komşuluk boyutunu, yineleme sayısını ve bilişsel ve sosyal bileşenlerin geçmiş katkısını ölçeklendirmek için rastgele değerleri içerir.

• Sürü boyutu, Np: Sürü boyutu, belirli bir sürüdeki parçacık sayısını ifade eder. Parçacıkları başlatmak için iyi bir tek biçimli başlatma algoritmasının kullanıldığı göz önüne alındığında, daha büyük bir sürü boyutu, sürünün büyük bir ilk dağılımına sahiptir. Her yinelemede (yani arama) arama uzayının geniş bir alanı kapsansa da bu yineleme başına sürü boyutuna bağlıdır, sürü boyutu genişledikçe her yineleme için hesaplama karmaşık hale gelir. Bununla birlikte, parçacıklar ne kadar fazlaysa, iyi bir çözüme ulaşmak için gereken yineleme o kadar az olur. PSO'nun 10 ila 30 parçacıktan oluşan küçük sürü boyutlarıyla optimal çözümler bulabileceği birkaç ampirik çalışmada kanıtlanmıştır.

• Mahalle boyutu: Mahalle boyutu, sürü içindeki sosyal etkileşimi tanımlar. Daha büyük bir mahalleye kıyasla daha küçük bir mahallede daha az etkileşim vardır. Daha küçük mahalleler optimal çözümlere yakınsamakta daha yavaş olsalar da güvenilir bir yakınsamaya sahiptirler. Daha küçük mahalle boyutları yerel minimumlara daha az duyarlıdır. Parçacıklar kayda değer bir arama alanına yaklaştıkça daha hızlı yakınsama ile ilk yüksek çeşitliliği sağlamak için, aramaya küçük komşuluklarla başlayın ve mahalle boyutunu yineleme sayısındaki artışla orantılı olarak artırmak gerekir.

• Yineleme sayısı: İyi bir çözüme ulaşmak için yineleme sayısı probleme bağlıdır. Daha az yineleme, erken arama ile sonuçlanabilirken, daha fazla sayıda yineleme, hesaplama karmaşıklığını beraberinde getirir. Bu, yalnızca yineleme sayısı durdurma kriterlerini belirlerse geçerlidir.

• İvme katsayıları: Hızlanma katsayıları c_1 ve c_2, bilişsel ve sosyal bileşenlerin bir parçacığın genel hızı üzerindeki stokastik etkisini kontrol eder. Bu iki parametre arasındaki ilişki ve bunların arama çözümleri üzerindeki etkisi Tablo 2'de özetlenmiştir [38].

3.5.1. Temel PSO'nun Akış Şeması

Atalet(w), hızlanma katsayısı (c_1&c_2) ve popülasyon boyutunu sağlar.

Adım 1: X konumlarına ve V hızlarına sahip parçacık popülasyonunu başlatın.

Adım 2: Yinelemeyi k=1 olarak ayarlayın.

Adım 3: Aday çözümü amaç fonksiyonuna göndererek her parçacığın uygunluğunu değerlendirin.

i.e. $f_i^k = f\left(X_i^k\right), \forall_i$.

Adım 4: P_{best_i} and g_{best_i} güncelleyin

Adım 5: Her parçacığın konumunu ve hızını güncelleyin.

Adım 6: Kısıtlama ortadan kaldırılmadığı sürece PSO algoritmasını yeniden başlatın.

Tablo 2: Sosyal ve bilişsel parametreler arasındaki ilişki

Vakalar	Sonuçlar
$c_1 = c_2 = 0$	Parçacıklar, arama alanı sınırıyla çarpışana kadar yönünü korur. Denklem 3. $v_i^{k+1} = wv_i^k$ olur
$c_1 >, c_2 = 0$	Parçacıklar, küresel en iyi çözümlere güvenmedikleri ve yalnızca yerel arama yaptıkları için bağımsızdır. Kişisel en iyi çözümlerinin etrafında sıkışıp kalırlar. Denklem 3. $V_i^{k+1} = w.V_i^k + c_1 r_1\left(P_{best_i} - X_i^k\right)$ azaltır.
$c_1 = 0, c_2 > 0$	Tüm sürü, stokastik bir tepe tırmanıcısı olur. Yalnızca küresel en iyi çözümlere güvenirler ve kendi kişisel en iyi çözümlerini dikkate almazlar. Denklem $V_i^{k+1} = w.V_i^k + c_2 r_2\left(g_{best_i} - X_i^k\right)$ değerine indirgenir.
$c_1 = c_2$	Parçacıklar P_{best_i} and g_{best_i} yönüne çekilecektir.
$c_1 \gg c_2$	Parçacıklar P_{best_i}'ye daha fazla çekilir ve bu da aşırı salınımla sonuçlanır.
$c_1 \ll c_2$	Parçacıklar g_{best_i}'ye daha fazla çekilir ve bu da optimal çözüme doğru erken yakınsama ile sonuçlanır.
$c_1\ and\ c_2$'nin düşük değerleri	Pürüzsüz parçacık yörüngeleri. Bu, parçacığın bölgeleri keşfetmesini sağlar.
$c_1\ and\ c_2$'nin büyük değerleri	Parçacıkların ani hareketi.

Atalet ağırlığının (w) duyarlılık analizi Atalet ağırlığı kavramı Shi ve Eberhart tarafından keşfetmek ve istifade etmek için bir kontrol işlevi görmek maksadıyla geliştirilmiştir. Eylemsizlik ağırlığı, önceki hızın katkısını ölçekleyerek parçacıkların momentumunu kontrol eder [41], [55]. w≥1 için hızlar maksimuma doğru hızlanarak sürünün uzaklaşmasına izin verir. Parçacıklar, olası elverişli alanlara geri dönmelerine izin vermek için yönlerini korur. w<1 olduğunda parçacıkların hızları sıfıra gelene kadar zamanla azalır. Büyük w değerleri keşiflere yol açar ve farklılığı artırırken, daha küçük değerler sömürüyü kolaylaştırır. Atalet ağırlığının ilk konsepti, tüm arama periyodu için sabit bir atalet ağırlığı değeri getirmektir.

3.6. DA-DA Dönüştürücü Kontrolörü için Görev Döngü Hesaplaması

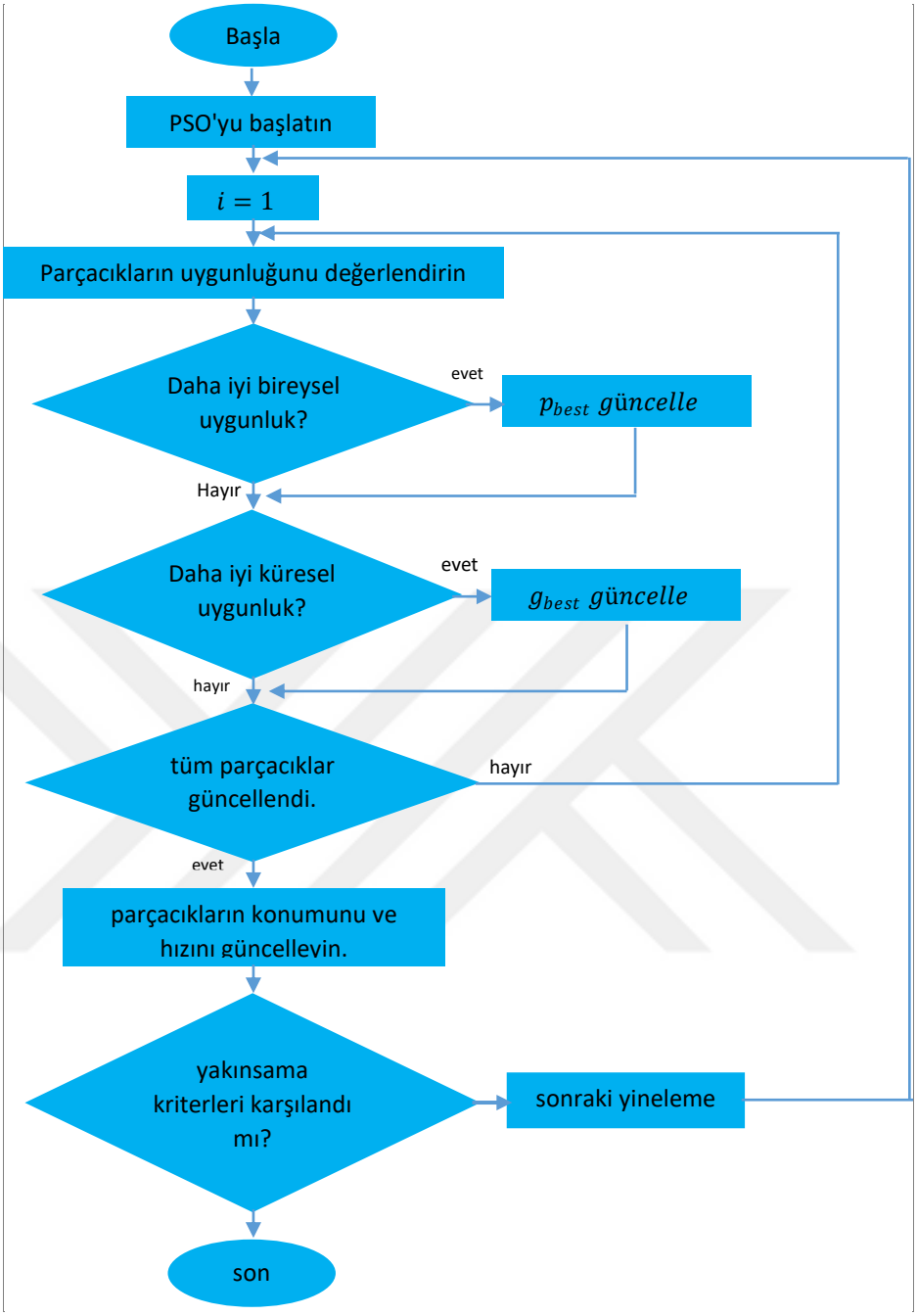
Bir DA-DA dönüştürücünün çıkış geriliminin sabit kaldığı varsayılarak, PV gerilimi (yani giriş gerilimi), DA-DA dönüştürücünün V_o çıkış geriliminden ve görev döngüsü d'den hesaplanabilir. Konvansiyonel kontrolör görev döngüsü şu şekilde oluşturulur [53]:

$$d = 1 - \frac{V_{in}}{V_o} \tag{36}$$

Yukarıdaki denklemi PV sistemlerindeki PSO algoritmasına uygulamak için parçacığın X_i^k konumu, görev döngüsü d_i^k olarak tanımlanır. Ayrıca parçacık hızı $V_i^k, \Delta d_i^k$ görev döngüsündeki değişim olarak tanımlanır. PSO hız ve konum güncelleme denklemleri şu şekilde yazılabilir:

$$\Delta d_i^{k+1} = w.\Delta d_i^k + c_1 r_1\left(P_{best_i} - d_i^k\right) + c_2 r_2\left(g_{best_i} - d_i^k\right) \tag{37}$$

$$d_i^{k+1} = d_i^k + \Delta d_i^{k+1}$$



Şekil 15: Standart PSO Mantık Şeması

3.7. Önerilen PSO Algoritması

PV MPPT algoritmasını gerçekleştirmek için kısmi gölgeleme koşulları altında PSO yöntemi uygulanır. Güç-Gerilim eğrileri, birden fazla yerel maksimum güç noktası verir ve standart PSO'nun bir modifikasyonu uygulanır. Şekil 1'de, önerilen sistemin blok diyagramını göstermektedir. Blok diyagram, seri bağlı bir PV modülünden, PV modülünden yüke gerilimi

aktarmak için bir DA-DA dönüştürücüsü ve bir dijital kontrolörden (MPPT kontrolör) gerekmektedir.

Şekil 15, önerilen PSO tabanlı MPPT tekniğinin akış şemasını göstermektedir. Ana bloklar aşağıdaki adımlarda verilmiştir.

Adım 1 (Parametre seçimi): Önerilen sistemlerde dört parçacık iletilir. Parçacık konumu DA-DA dönüştürücünün görev döngüsü değeri d olarak verilir. Üretilen güç P_{pv}, uygunluk değeri fonksiyonu olarak tanımlanır.

Adım 2 (PSO başlatma): Önerilen PSO algoritmasında, parçacıklar sabit bir konuma yerleştirilebilir veya uzayda rastgele yerleştirilebilir. Parçacık, bilinen bir GMPP etrafında başlatılabilir [51]. Parçacıklar, sırasıyla dönüştürücünün maksimum ve minimum görev döngüsü olarak $D_{min,}\ ve\ D_{max}$ arama alanını kapsayan sabit konumlarda başlatılır. Değerler 0 ve 0.95 olarak ayarlanır. Ayrıca parçacık hızları, $D_{min,}\ ve\ D_{max}$ 'a bağlı olan konumlarda başlatılır. Sabit hızlar denklemde verilmiştir.

$$V_{max} = 0.6\,{(D_{max} - D_{min})}/{2} \tag{38}$$

$$V_{min} = -1.V_{max}$$

Adım 3 (uygunluk değerlendirmesi): Önerilen MPPT algoritmasının amacı, PV gerilimi ve akımı, PV çıkış gücünü hesaplamak için algılanır ve hesaplanır. Bu değerler, i'nci parçacığın uygunluk değeri P_{pv}'yi değerlendirmek için kullanılabilir.

Adım 4 (Bireysel ve global en iyi çözümleri güncelleme): Uygunluk değeri P_ (best,i)'nin hafızasındaki uygunluk değerinden daha iyi olan parçacık, yeni P_(en iyi,i) olarak ayarlanır. Ayrıca, tüm parçacıkların en iyi uygunluk değerine sahip parçacık, yeni g_best olarak ayarlanır. Bu adım, konvansiyonel bir PSO yöntemine benzer.

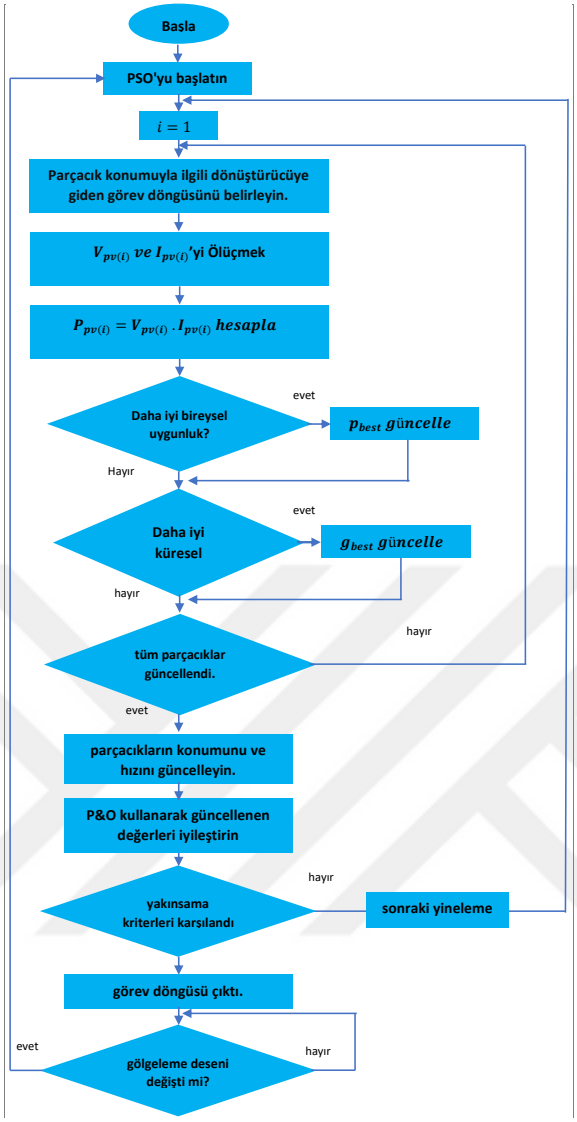
Adım 5 (Her bir parçacığın hızını ve konumunu güncelleme): Tüm parçacıkları değerlendirmenin ardından sürüdeki hızları ve konumları güncellenir. Standart bir PSO yönteminde, hızlar ve konumlar için güncelleme sırasıyla Denklem (29) ve Denklem (30) kullanılarak hesaplanır. Ayrıca, geleneksel PSO tabanlı MPPT algoritmalarında, Gbest'e yakınsadıkça hız azalır. Bu tezde, geleneksel PSO algoritması ile güncellendikten sonra maksimum hız ve maksimum görev döngüsü bozulmaktadır. P&O algoritması, daha hızlı bir yakınsama süresi elde etmek için güncellenen değeri iyileştirmek için ayrıca kullanılır. P&O işlemini gerçekleştirmek için kullanılan matlab kodu aşağıda verilmiştir.

```
For i=1:particle
        %update velocity
        Vel(i)=(w*vel(i)) + (c1*r1 * (Pbest(i)-position(i))) + (c2*r2 * (Gbest(i)-position(i)));
        %Improving updated vel
        If(vel(i) > vmax)
                Vel(i)=vmax;
        end
        If(vel(i) < vmin)
                Vel(i)=vmin;
        end
        %update position
        position(i)=position(i) + vel(i)
        %Improving updated position
        If(position(i) > Dmax)
                position(i)=Dmax;
        end
        If(position(i) < Dmin)
                position(i)=Dmin;
        end
end
```

Adım 6 (Yakınsama belirleme): Bu tezde iki yakınsama kriteri uygulanmaktadır. Tüm parçacıkların hızları belirli bir eşiğin altına düşerse veya maksimum yineleme sayısına ulaşılırsa, algoritma elde edilen g_{best} çözümünü verir.

Adım 7 (Yeniden başlatma): küresel MPP konumu çevresel koşullara göre değişir. Bu gibi durumlarda, parçacıklar yeni küresel MPP'leri aramak ve bulmak için yeniden başlatılır. Bu tezde Denklem (32) çevresel değişiklikleri tespit etmek için kullanılır ve PSO yeniden başlatılır [7].

$$\frac{|P_{pv,new}-P_{pv,past}|}{P_{pv,past}} > \Delta P(\%) \quad (39)$$

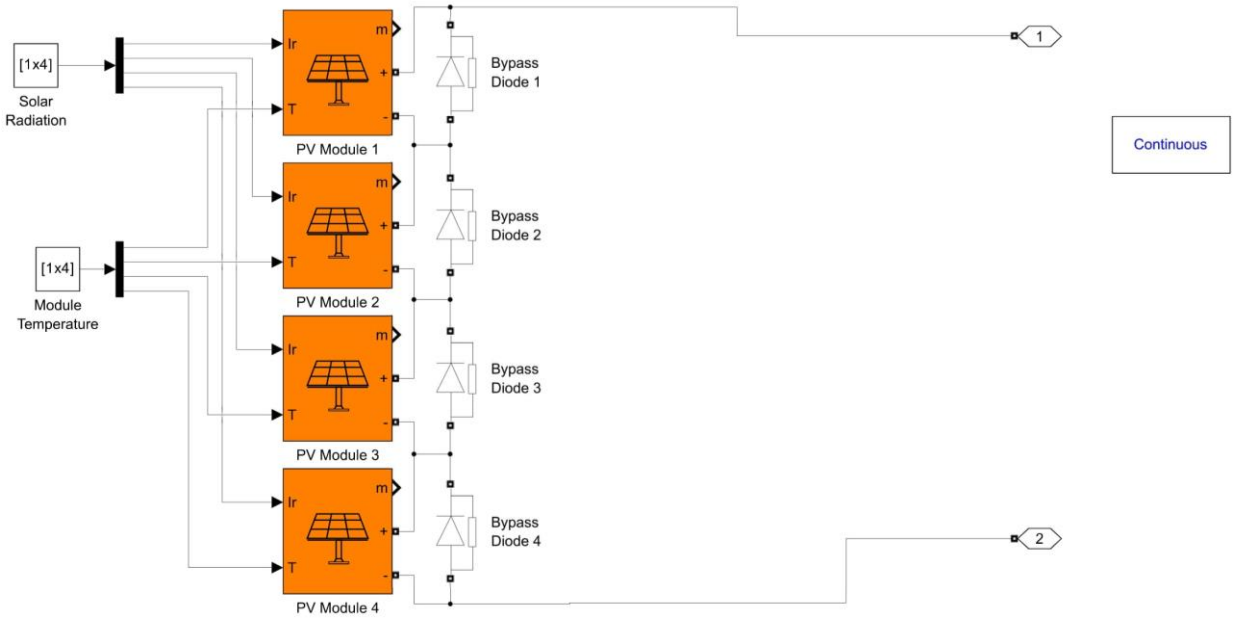


Şekil 16: PSO-tabanlı MPPT tekniğinin önerilen akış şeması

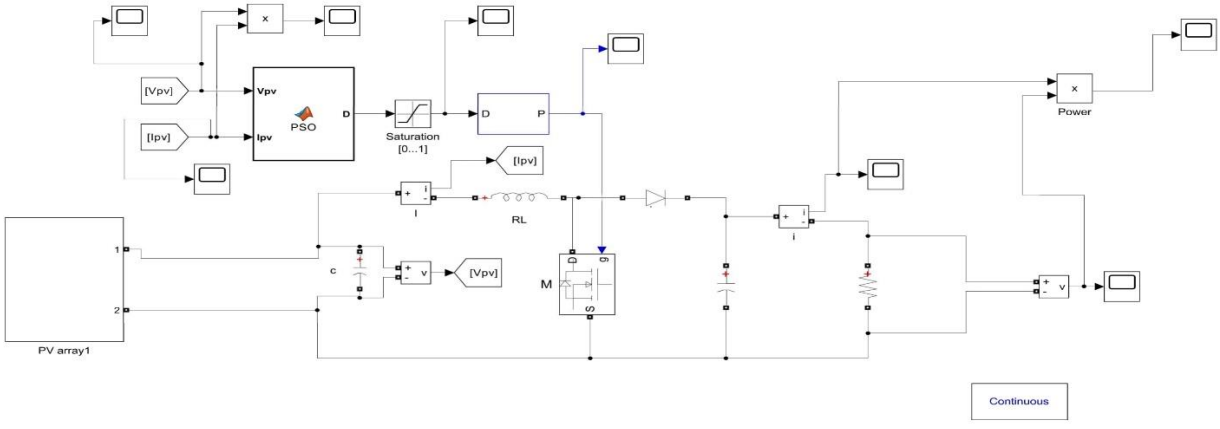
3.8. Sistem Konfigürasyonu

Değiştirilen PSO algoritmasının performansı MATLAB üzerinde doğrulanmıştır. Model, Şekil 16'da gösterildiği gibi MATLAB/simulinks R2020b üzerinde tasarlanmıştır ve model 4 seri bağlı PV paneli içerir. Kullanılan PV modülünün parametreleri Tablo 3'de verilmiştir. Dört PV hücresi farklı ışınlama altına yerleştirilmiştir. Tüm simülasyonlar MATLAB üzerinde gerçekleştirilmiştir. Önerilen PSO algoritmasının parametreleri Tablo 4'te verilmiştir. Kısmi gölgeleme koşullarının karakteristik eğrilerinin etkisi, seri bağlı PV hücrelerinin keyfi izolasyon kümesi ile simüle edilmiştir.

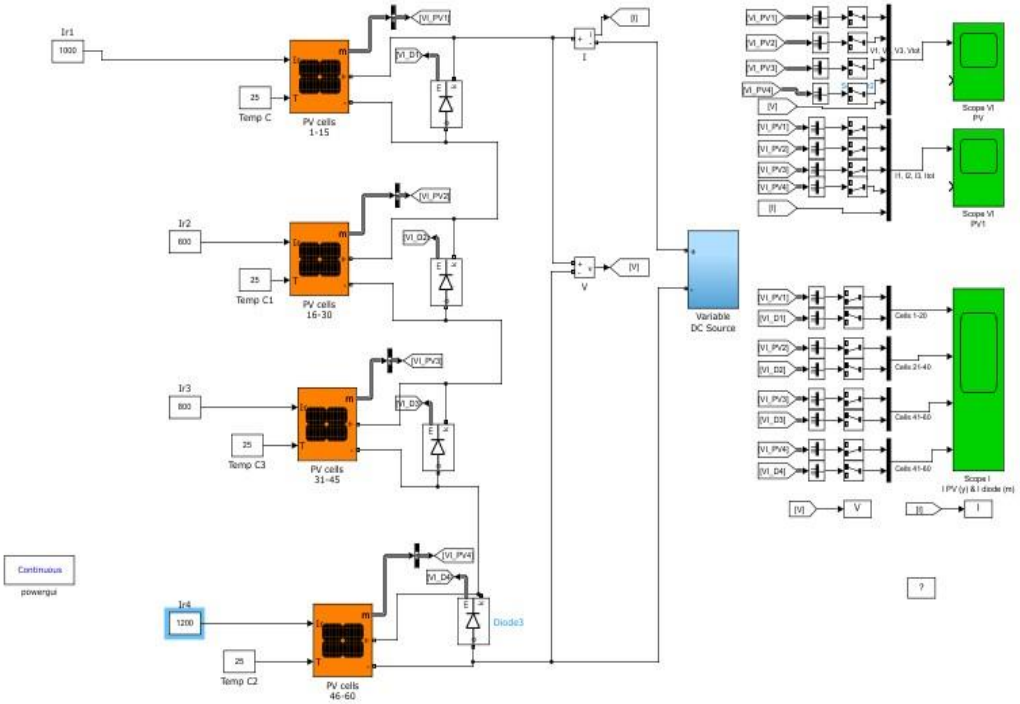
Simülasyon,[43], [56], [57]'de uygulandığı gibi GMPP ve LMPP P-V ve I-V karakteristik eğrisinin üç modeli altında gerçekleştirilir. Tüm simülasyon için hücre sıcaklığı sabit (25°C) yapılmıştır. Gölgelenmeyen hücrenin 1000w/m^2 'de maksimum olduğu kabul edilir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 17: (a) Seri bağlı PV dizilerinin modeli, (b) Uygulanan PV sistemlerinin modeli, (c) GMPP ve LMPP modeli, P-V ve I-V karakteristik grafik çizici.

Tablo 3: Tek bir PV modülünün parametreleri

Modül tipi	Tata güç Güneş Sistemleri TP250MBZ
Max. Güç (P_{max})	249
Açık devre gerilimi (V_{oc})	36,8
Maksimum güçte gerilim (V_{mp})	30
Kısa devre akımı (I_{sc})	8,83
Maksimum güçte akım (I_{mp})	8,3
Sıcaklık katsayısı (α_v)	-0,33
Modül başına hücre sayısı (N_{cell})	60
Şekillenme	4s

Tablo 4: Önerilen PSO algoritmasının parametreleri.

Parametreler	Değer
Parçacık sayısı	4
Min. görev döngüsü, (d_{min})	0
Max.görev döngüsü, (d_{max})	0,95
Max. İterasyon	30
W	0,4
C1	1,2
C2	2
V_{max}	$0{,}6(d_{max} - d_{min})/_2$
V_{min}	$-1 * V_{max}$

4. BULGULAR

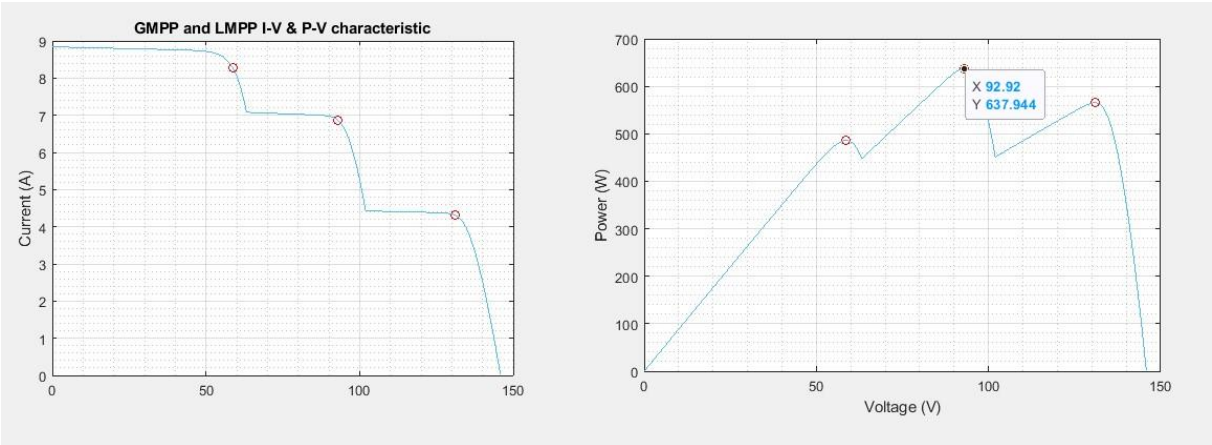
Önerilen PSO algoritmasını değerlendirmek için sisteme üç çevresel koşul modeli uygulanmıştır. Modeller, PV sistem çıkış güçleri ile karakterize edilir ve sistemdeki tüm PV modüllerinin ortalama değerleridir. Performans, [56], [57]' de bulunan literatürlerle karşılaştırıştır. Simülasyonlarda gerilim ve akım değerleri, kapsam okuması yoluyla hesaplanmaktadır.

4.1. İlk Model

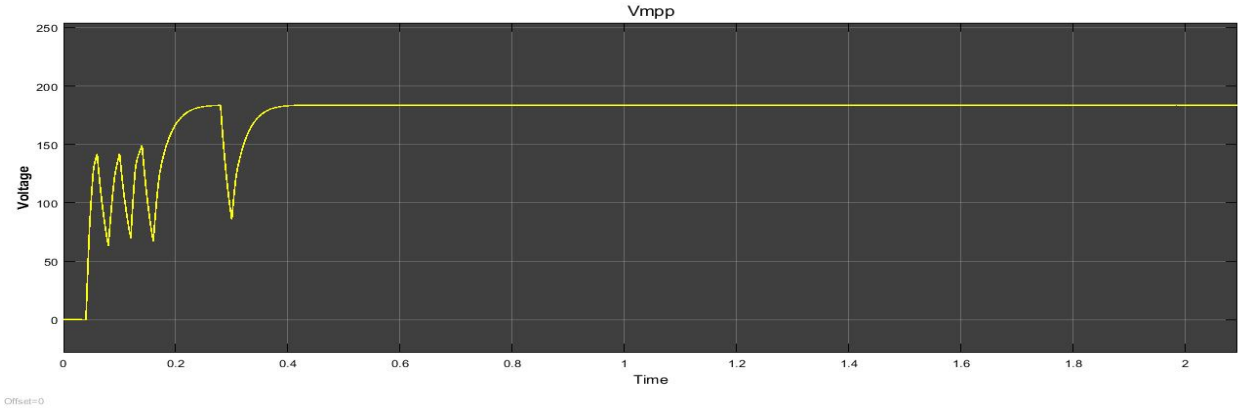
İlk modelde, sistem Tablo 5'te verildiği gibi farklı ışınım seviyelerine tabi tutulmuştur. PV çıkışı, GMPP'nin ortada yer aldığı üç maksimum güç noktasına sahiptir. GMPP ve LMPP PV ve IV karakteristikleri Şekil 17'de verilmiştir. GMPP, Şekil 17'de gösterildiği gibi P=637,944W güç değerinde elde edilmiştir. Gerilim akımının simülasyon dalga formu, görev döngüsü ve güç değeri Şekil 18'de gösterilmiştir(a-d).

Tablo 5: Dört ayrı PV modülü için ışınım düzeyleri

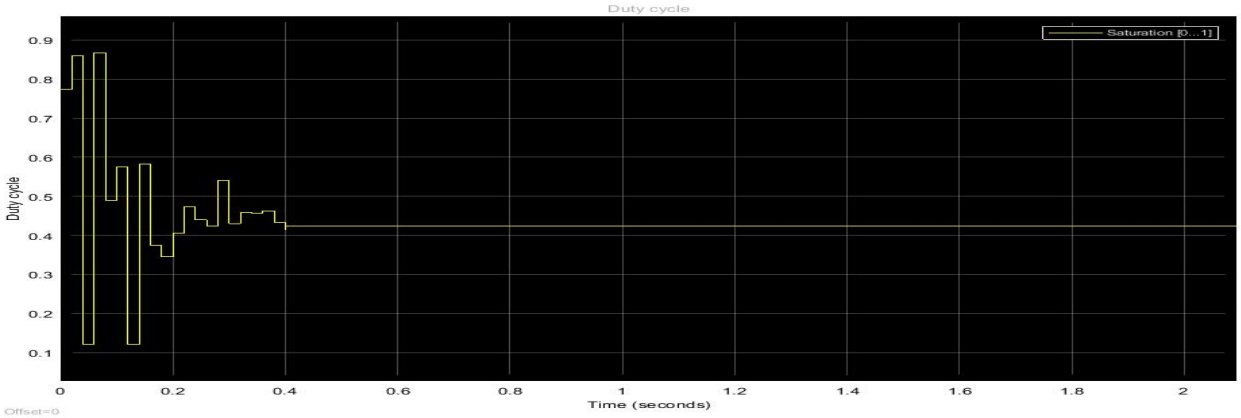
PV modül	Işınım(w/m^2)
PV 1	500
PV 2	800
PV 3	1000
PV 4	1000



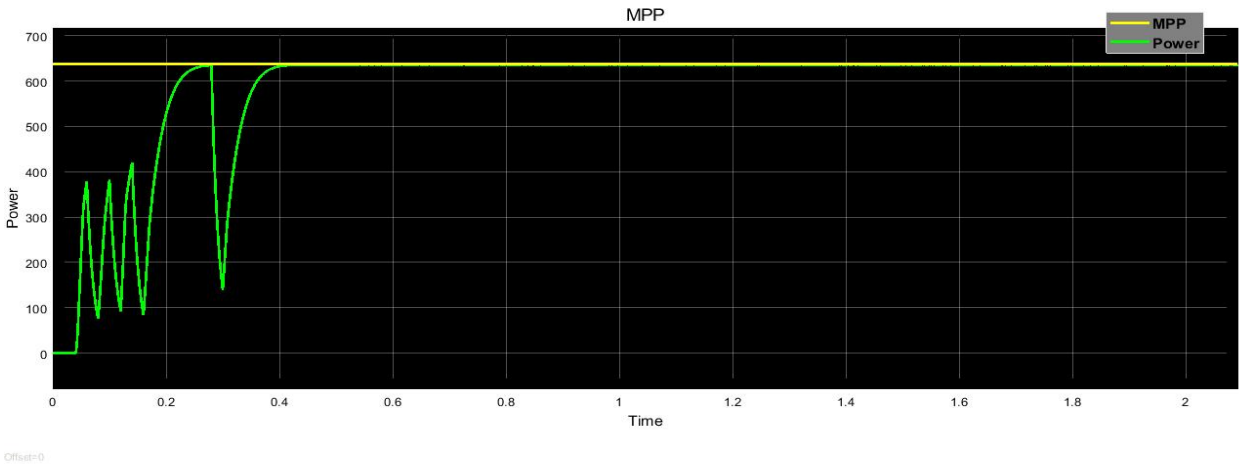
Şekil 18: İlk Modelin GMPP, LMPP, I-V ve P-V'nin eğrisel karakteristiği



(a)



(b)



(c)

Şekil 19: Önerilen PSO algoritmasından T=25°C, G= 500, 800, 1000, 1000W/m2 ve Np=4 koşullarında elde edilen simülasyon sonuçları: (a) Gerilim-Saat (V-t), (b) Görev Döngüsü (c) Güç-Saat(P-t)

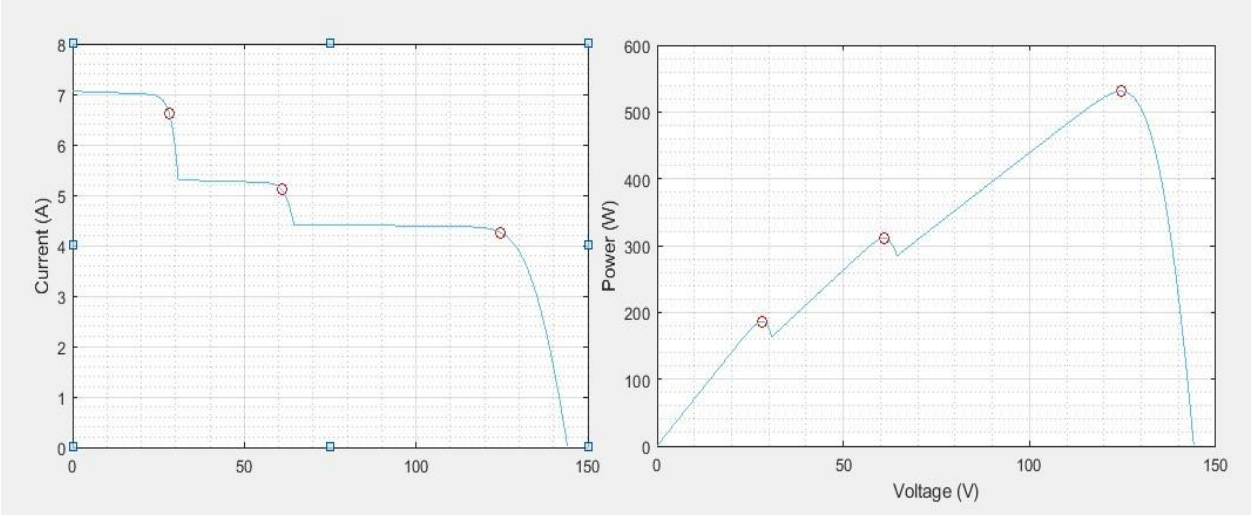
Önerilen PSO algoritmasının 636,3W PV çıkış gücü ile 1.086s'de GMPP'ye ulaştığı gözlemlenmiştir. Geleneksel PSO algoritmasının GMPP'ye ulaşması daha uzun zaman almıştır (örneğin 4,6s). Ayrıca [56]'da GMPP'ye ulaşması 3,2s ve hızlandırılmış PSO algoritmasının GMPP'ye ulaşması 2,4s sürmüştür.

4.2. İkinci Model

İkinci modelde, sistem Tablo 6'da verildiği gibi farklı ışınım seviyelerine tabi tutulmuştur. PV çıkışının sağ tarafında GMPP bulunan üç maksimum güç noktası vardır. GMPP ve LMPP P-V ve I-V karakteristikleri Şekil 19'da verilmiştir. GMPP, şekil 19'da gösterildiği gibi P=527,6W güç değeri elde edilmiştir. I-V simülasyon dalga formu, görev döngüsü ve güç parametreleri Şekil 20'de (a-c) gösterilmiştir.

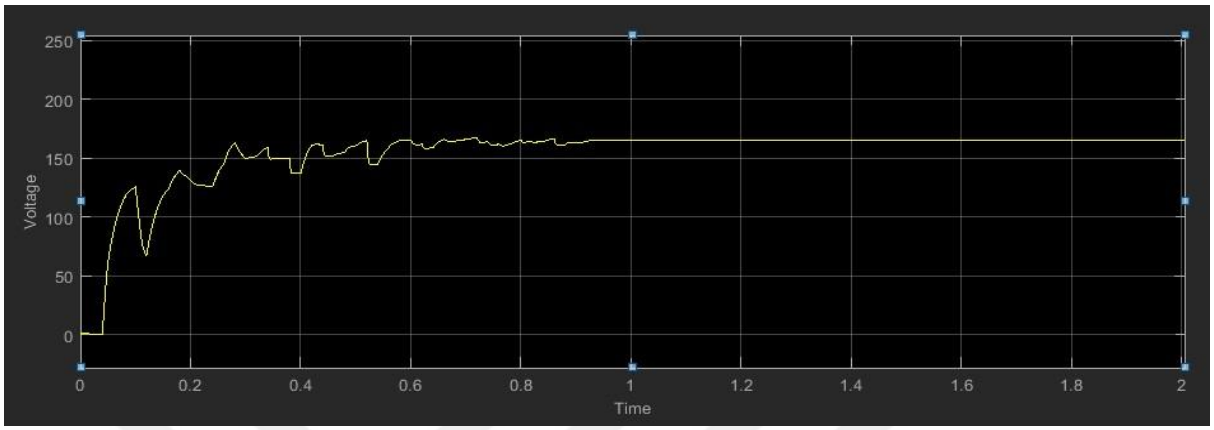
Tablo 6: Dört PV modülü için ışınım düzeyleri

PV modül	Işınım(w/m^2)
PV 1	800
PV 2	600
PV 3	500
PV 4	500

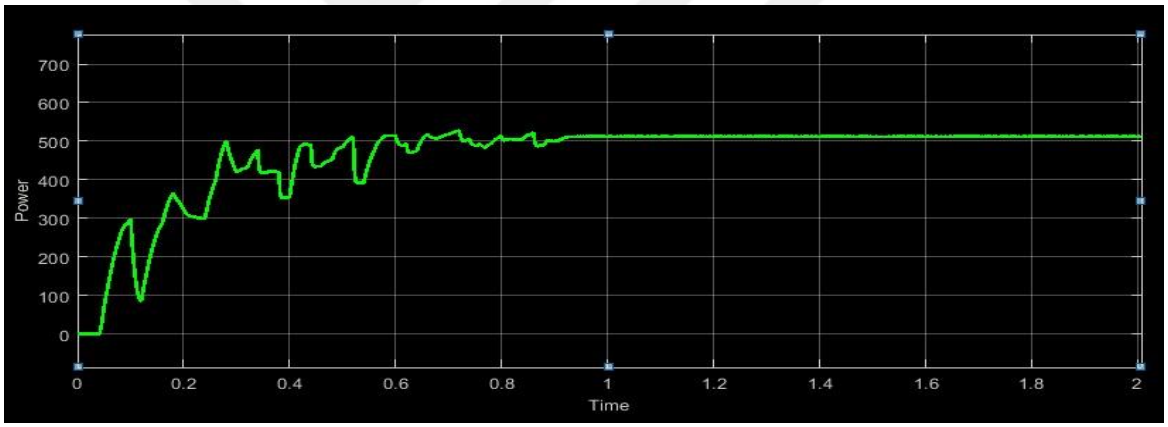


Şekil 20: İkinci modelin GMPP, LMPP, I-V ve P-V eğri karakteristiği

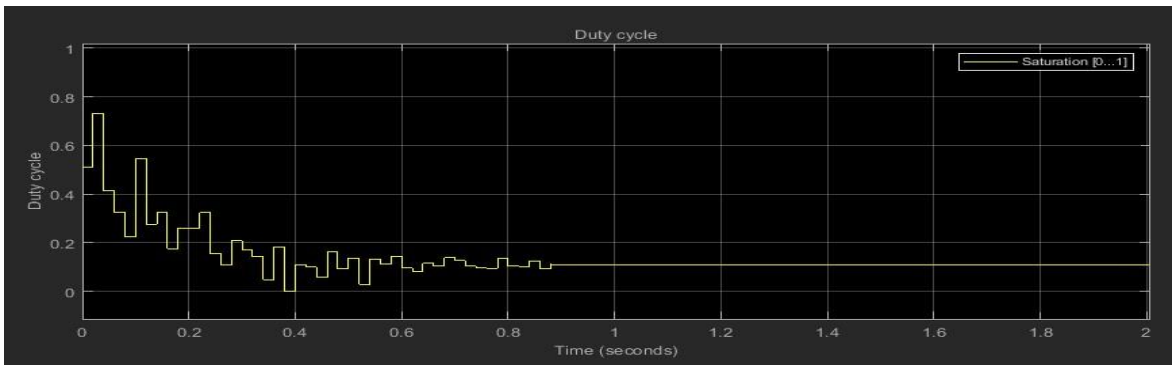
Önerilen PSO algoritmasının 518,27w PV çıkış gücü ile 0.99s'de GMPP'ye ulaştığı gözlemlenmiştir. Geleneksel PSO algoritmasının GMPP'ye (4,2s) ulaşması daha uzun zaman almıştır. Ayrıca [56]'da GMPP'ye ulaşmak 3,2s ve hızlandırılmış PSO algoritmasının GMPP'ye ulaşması 2,3s sürmüştür.



(a)



(b)



(c)

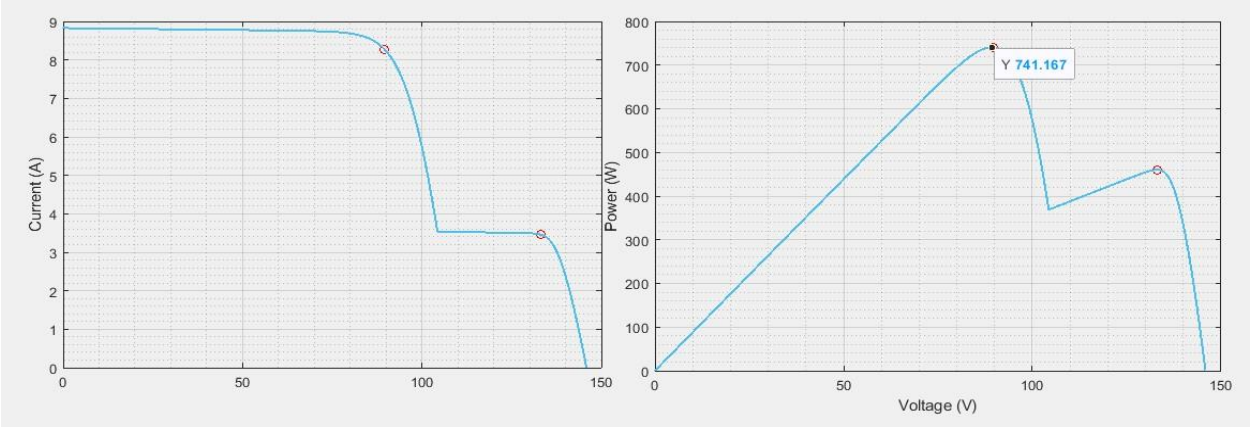
Şekil 21: Önerilen PSO algoritmasından T=25°C, G= 800, 600, 500, 500W/m^2 ve Np=4 koşullarında elde edilmiş simülasyon sonuçları: (a) V-t, (b) P-t (c) Görev Döngüsü

4.3. Üçüncü Model

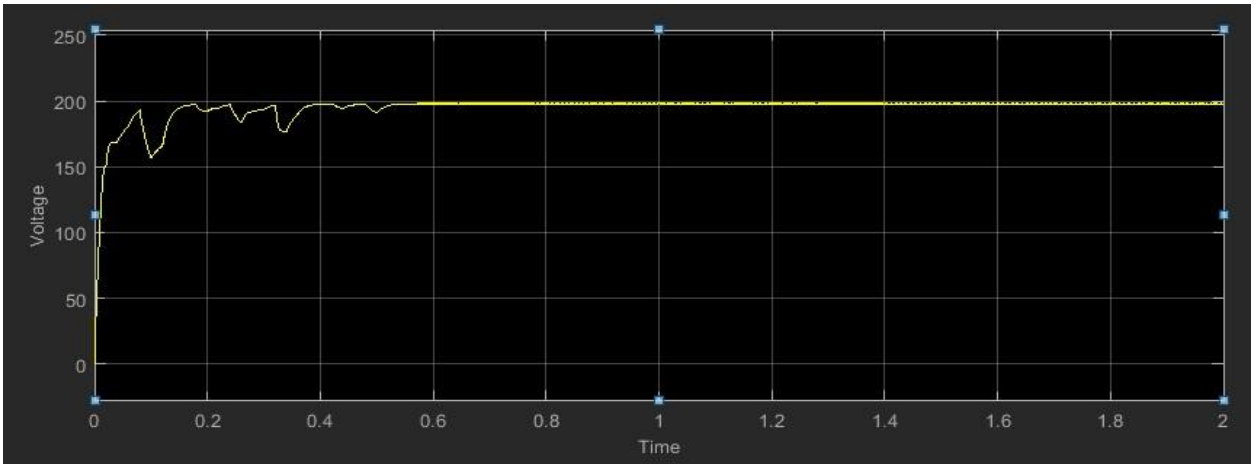
Üçüncü modelde, sistem Tablo 7'de verildiği gibi farklı ışınım seviyelerine tabi tutulmuştur. PV çıkışının, sol tarafta bulunan GMPP ile iki maksimum güç noktası vardır. GMPP ve LMPP P-V ve I-V özellikleri Şekil 21'de verilmiştir. GMPP, Şekil 21'de gösterildiği gibi P=741,167W değerinde elde edilmiştir. Gerilim akımının simülasyon dalga formu, görev döngüsü ve güç değerleri Şekil 22 (a-c) 'de gösterilmiştir

Tablo 7: Dört ayrı PV modülünün tabi tutulduğu ışınım düzeyi

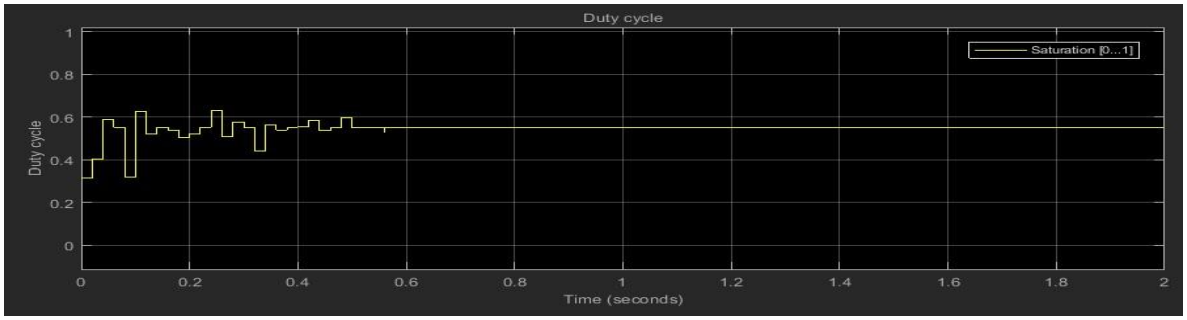
PV modül	Işınım(w/m^2)
PV 1	1000
PV 2	1000
PV 3	1000
PV 4	400



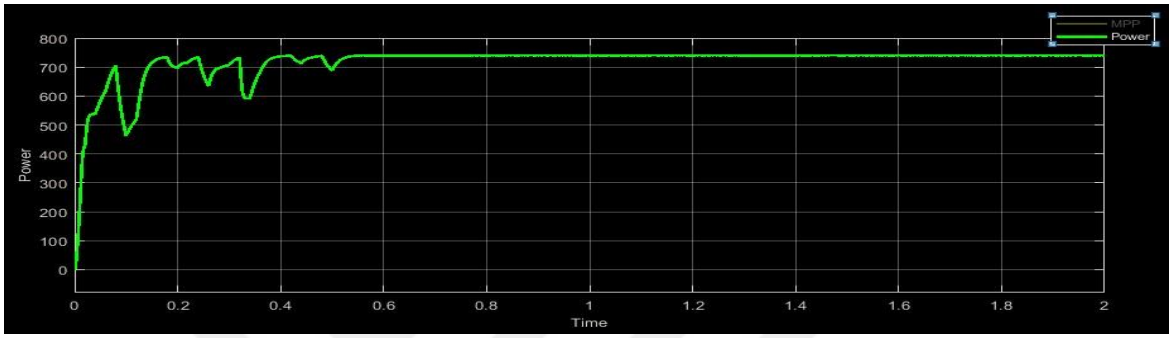
Şekil 22: Üçüncü modelin GMPP, LMPP, I-V ve P-V eğri karakteristiği.



(a)



(b)



(c)

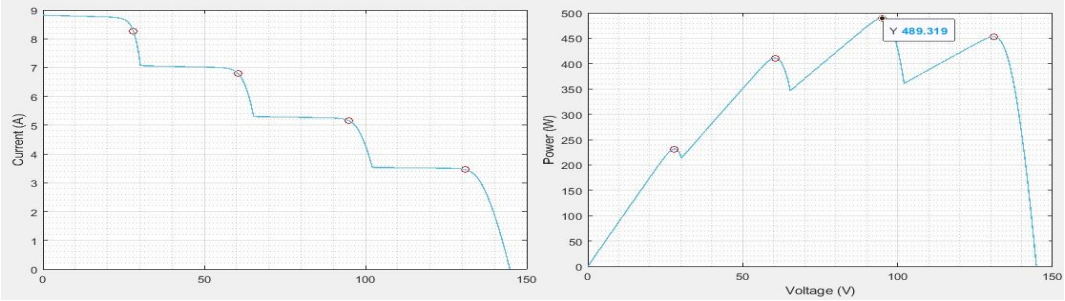
Şekil 23: Önerilen PSO algoritmasından T=25°C, G= 1000, 1000, 1000, 400W/m^2 ve Np=4 koşullarıyla elde edilen simülasyon sonuçları: (a) V-t, (b) Görev Döngüsü (c) P-t

Önerilen PSO algoritmasının 740,3W PV çıkış gücü ile 0,83 saniyede GMPP'ye ulaştığı gözlemlenmiştir. Geleneksel PSO algoritmasının GMPP'ye (4,2s) ulaşması daha uzun zaman almıştır. Ayrıca [56]'da GMPP'ye ulaşmak 3,2s ve hızlandırılmış PSO algoritmasının GMPP'ye ulaşması 2,3s sürmüştür.

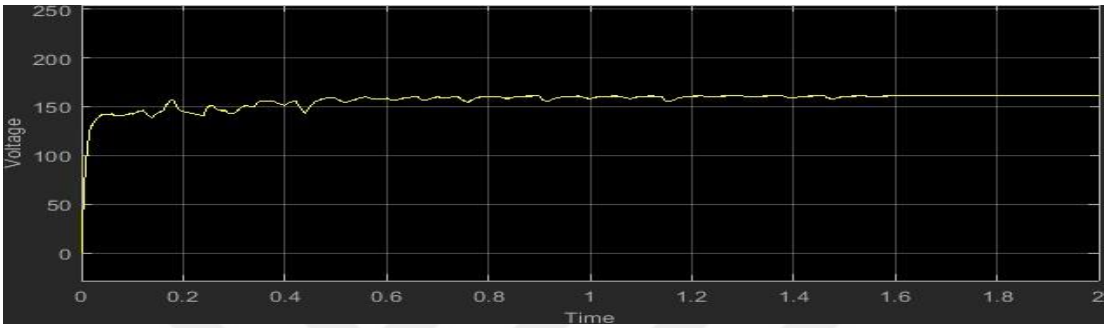
4.4. Dördüncü Modelden Onuncu Model Simülasyonu

Tablo 8: Dördüncü modelden onuncu modele kadar olan GMPP, LMPP, I-V ve P-V eğri karakteristikleri

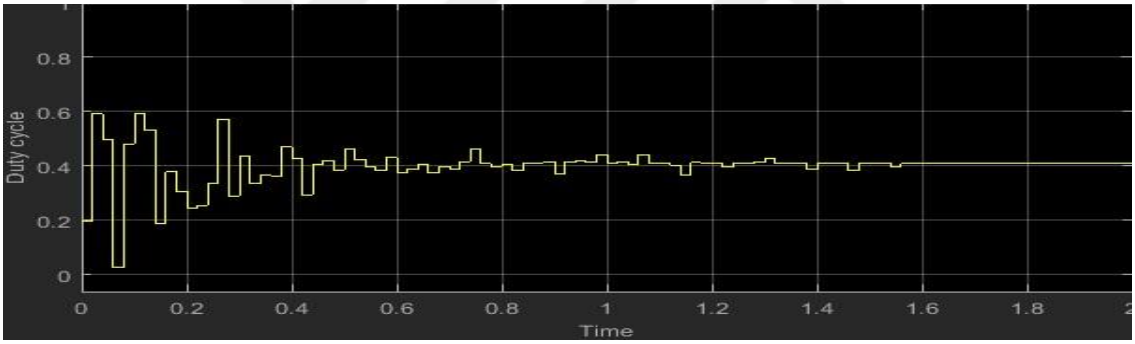
	4 Model (w/m^2)	6 Model (w/m^2)	7 Model (w/m^2)	8 Model (w/m^2)	9 Model (w/m^2)	10 Model (w/m^2)
PV 1	1000	1000	400	100	100	1000
PV 2	600	300	600	600	200	100
PV 3	800	600	200	300	300	300
PV 4	400	100	500	800	700	1000



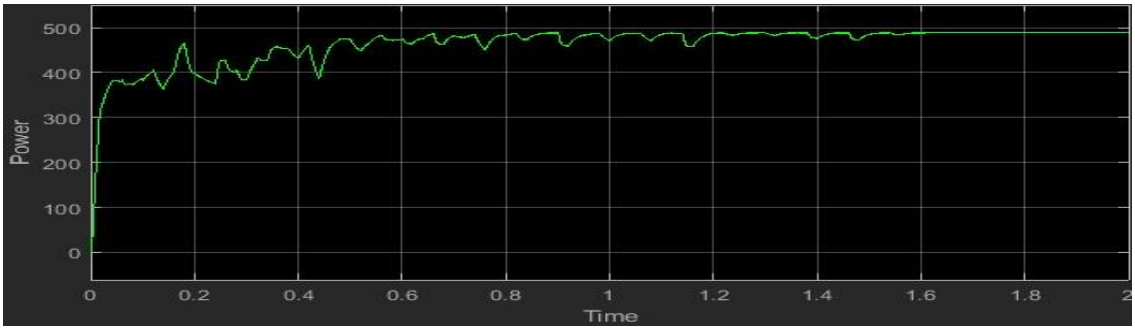
(a)



(b)

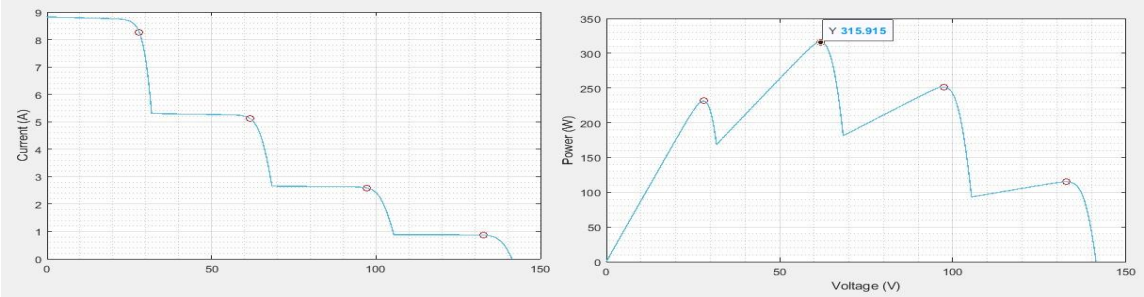


(c)

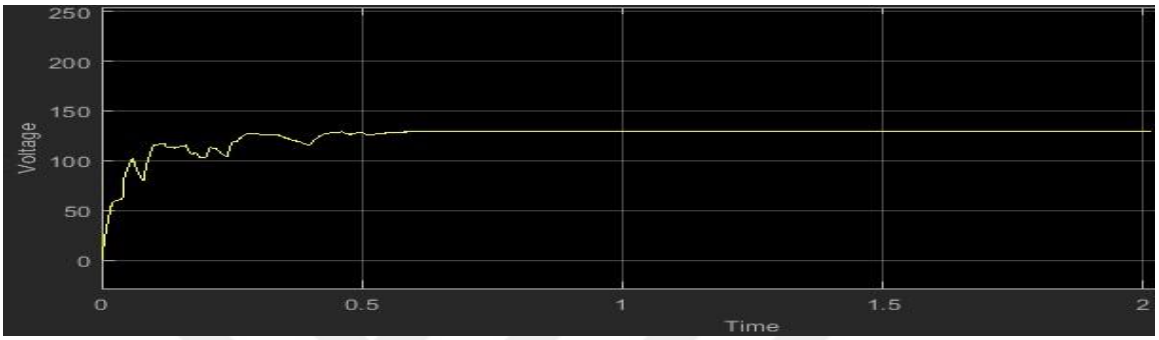


(d)

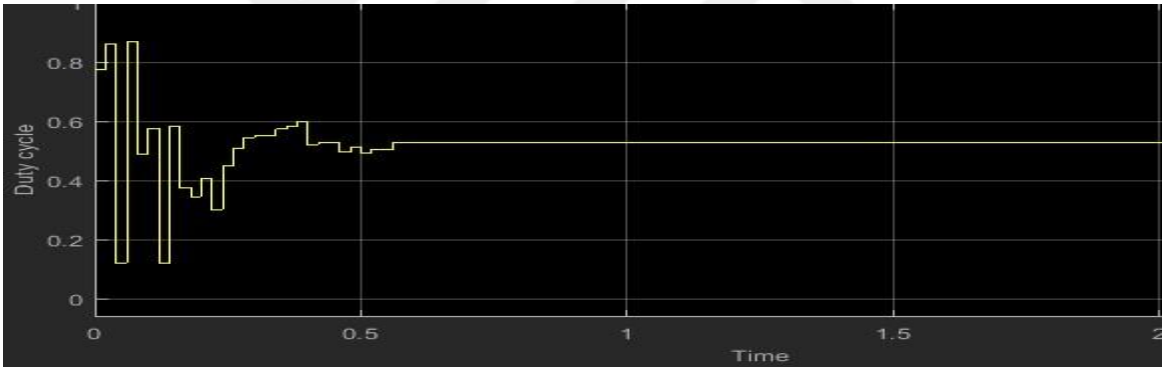
Şekil 24: Önerilen PSO algoritmasından T=25°C, G= 1000, 600, 800, 400W/m^2 ve Np=4 koşullarında elde edilen simülasyon sonuçları: (a) GMPP ve LMPP P-V eğri karakteristiği, (b) V-t (c) Görev Döngüsü (d) P-t



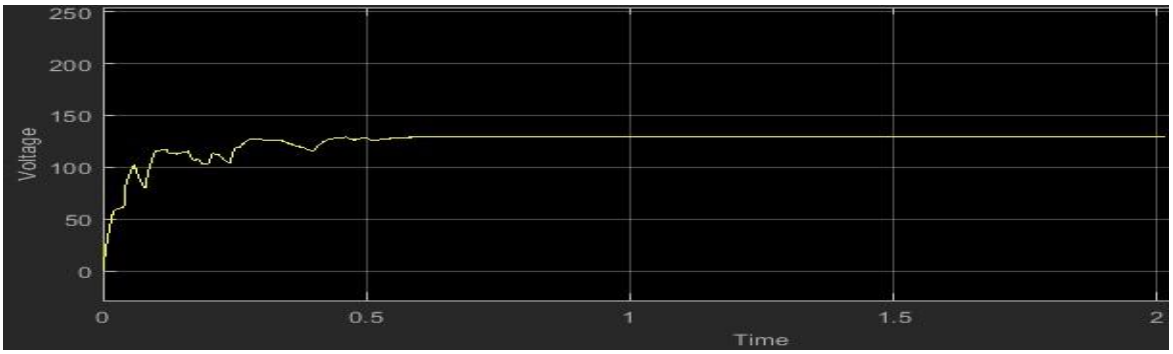
(a)



(b)

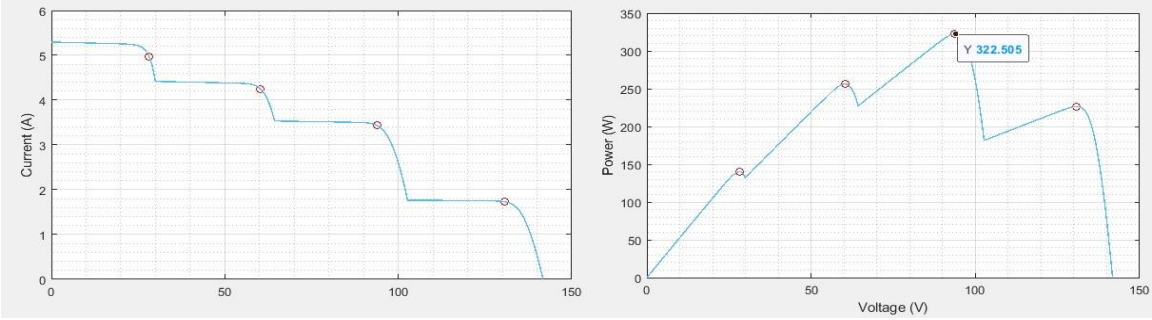


(c)

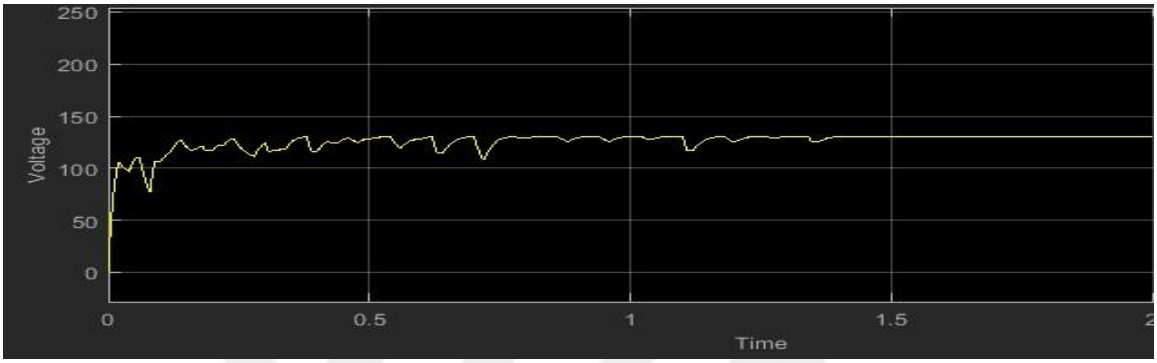


(d)

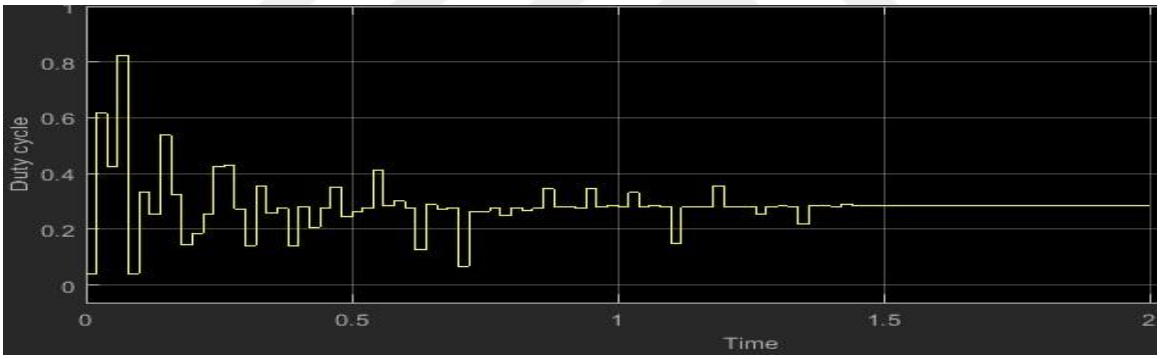
Şekil 25: Önerilen PSO algoritmasından T=25°C, G= 1000, 300, 600, 100W/m^2 ve Np=4 koşullarında elde edilen simülasyon sonuçları: (a) GMPP ve LMPP P-V eğri karakteristiği, (b) V-t (c) Görev Döngüsü (d) P-t



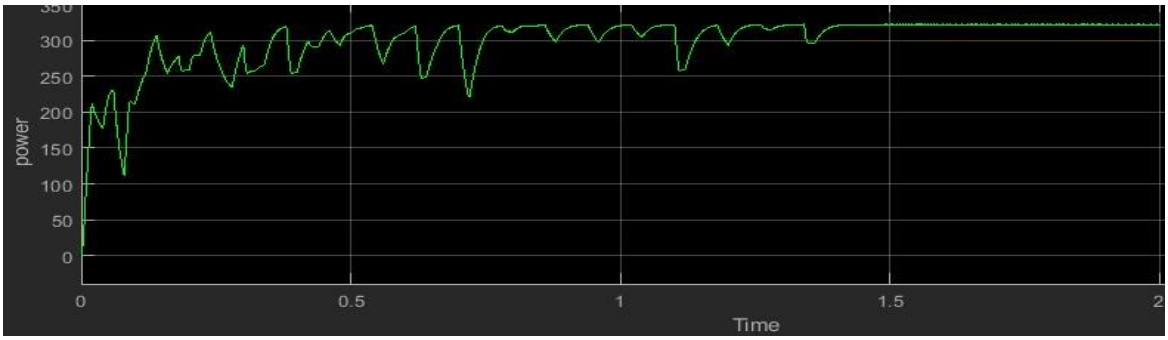
(a)



(b)

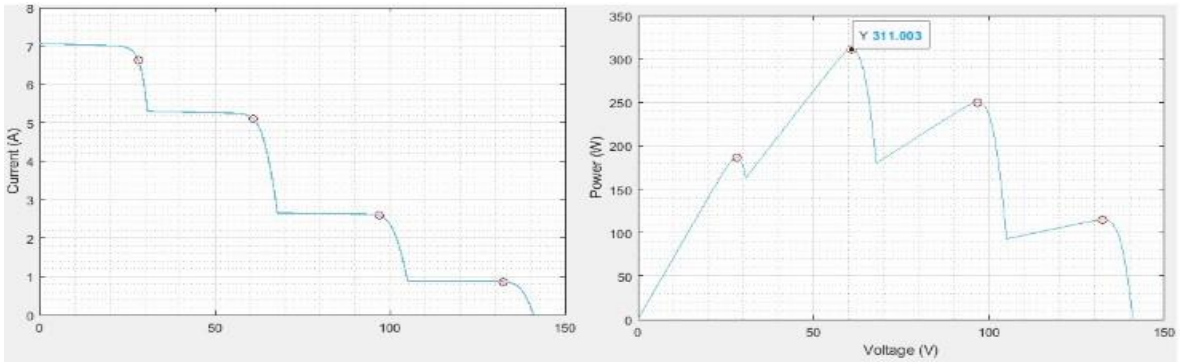


(c)

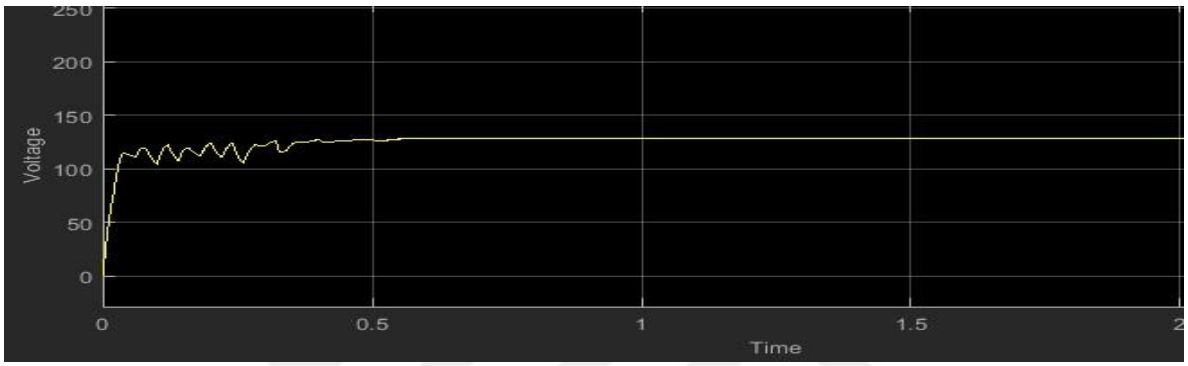


(d)

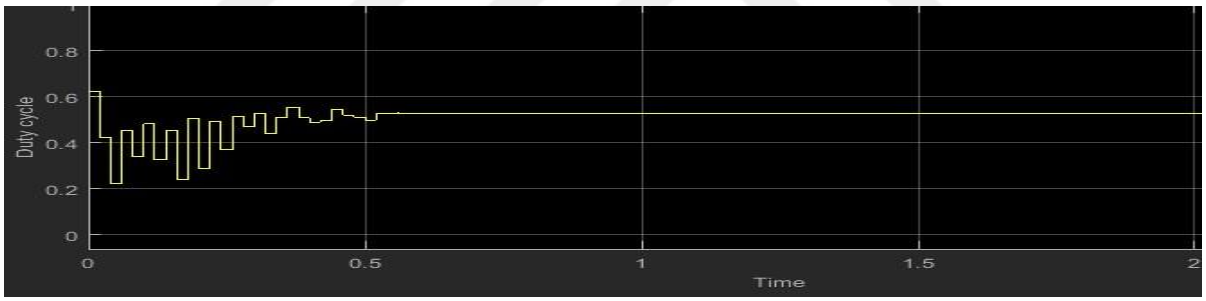
Şekil 26: Önerilen PSO algoritmasından T=25°C, G= 400, 600, 200, 500W/m^2 ve Np=4 koşullarında elde edilen simülasyon sonuçları: (a) GMPP ve LMPP P-V eğri karakteristiği, (b)V-t (c) Görev Döngüsü (d)P-t



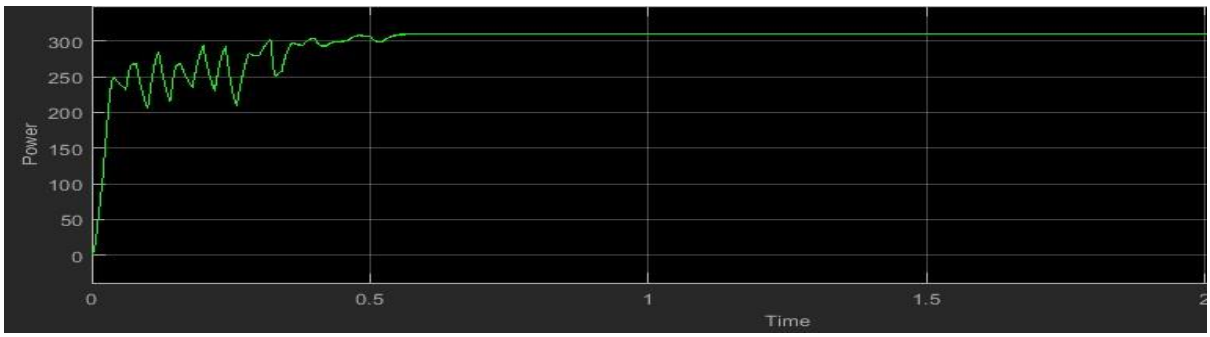
(a)



(b)

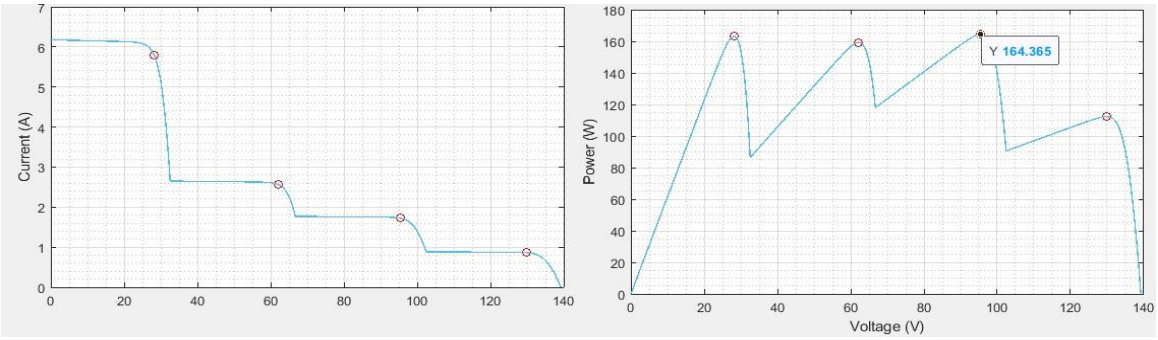


(c)

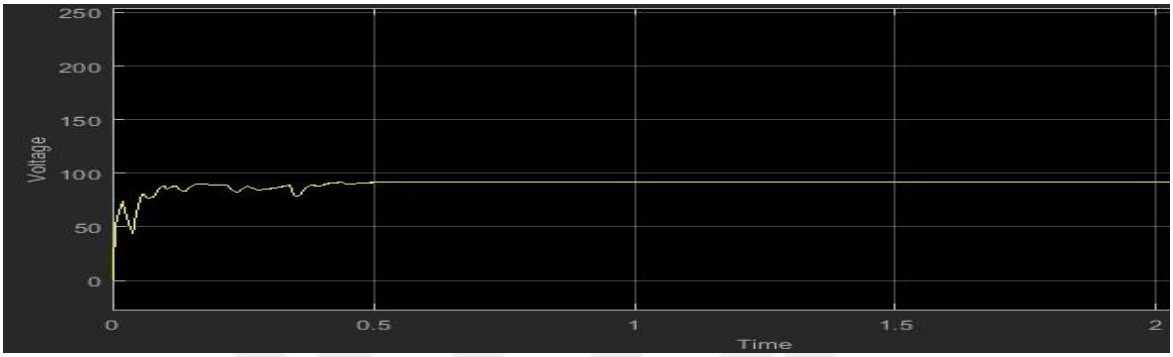


(d)

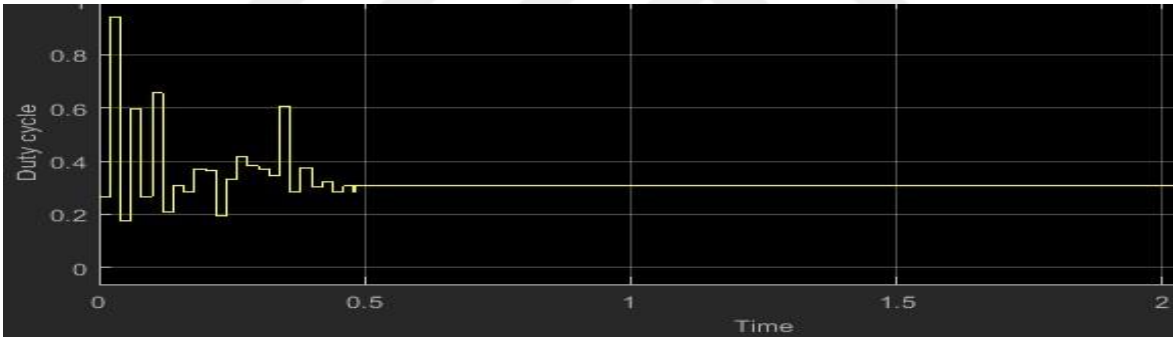
Şekil 27: Önerilen PSO algoritmasından T=25°C, G= 100, 600, 300,800W/m^2 ve Np=4 koşullarında elde edilen simülasyon sonuçları: (a) GMPP ve LMPP P-V eğri karakteristiği, (b) V-t (c) Görev Döngüsü (d) P-t



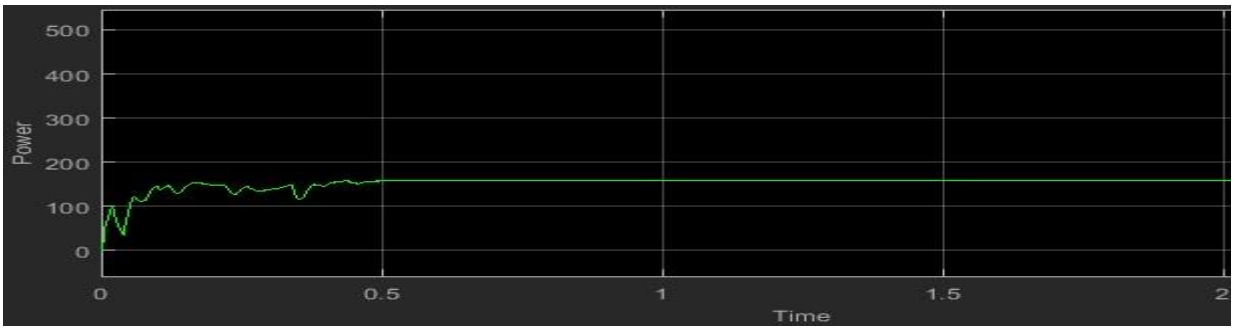
(a)



(b)

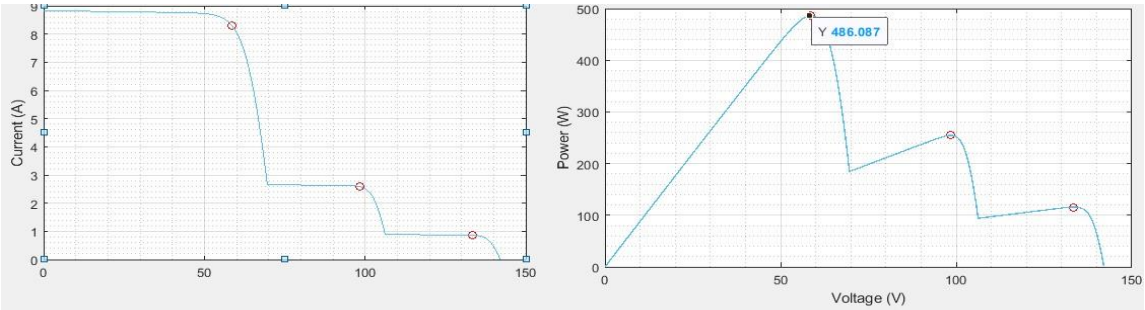


(c)

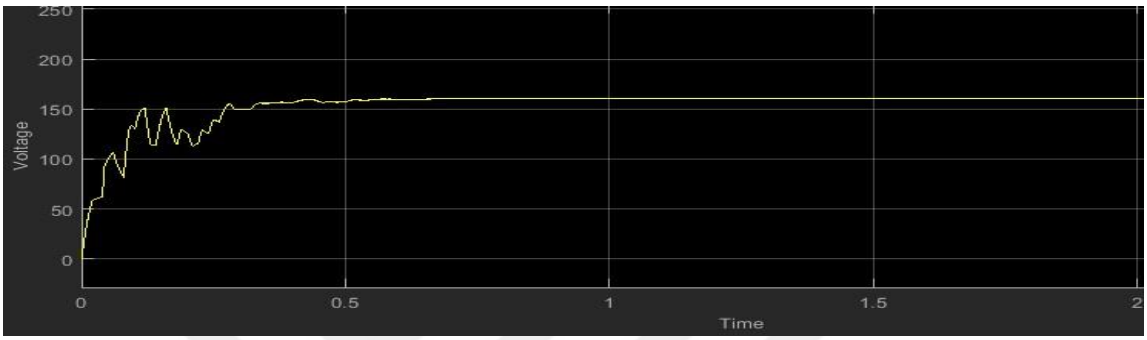


(d)

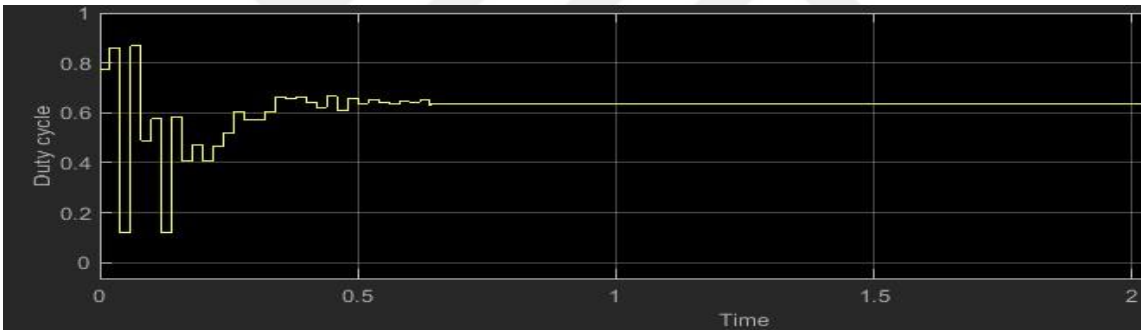
Şekil 28: Önerilen PSO algoritmasından T=25°C, G= 100, 200, 300, 700W/m^2 ve Np=4 koşullarında elde edilen simülasyon sonuçları: (a) GMPP ve LMPP'nin P-V eğri karakteristiği, (b) V-t (c) Görev Döngüsü (d) P-t



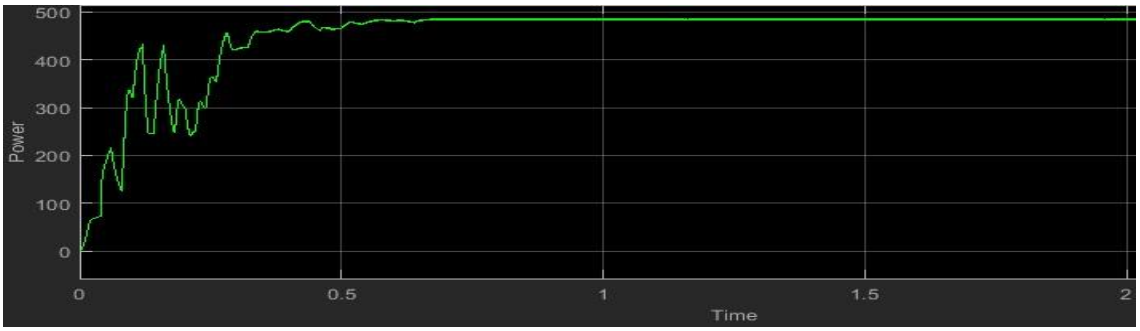
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 29: Önerilen PSO algoritmasından T=25°C, G= 1000, 100, 300, 1000W/m^2 ve Np=4 koşullarında elde edilen simülasyon sonuçları: (a) GMPP ve LMPP'nin P-V eğri karakteristiği, (b) V-t (c) Görev Döngüsü (d) P-t

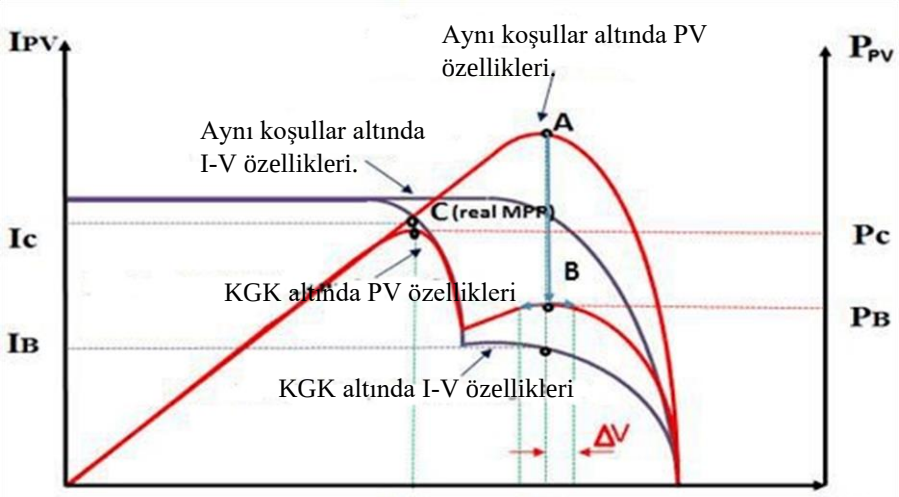
Karşılaştırma sonucunun özeti Tablo 8'de verilmiştir. Simülasyonlar sonunda önerilen PSO yönteminin standart PSO algoritmasına göre daha hızlı yakınsama hızına sahip olduğu gözlemlenmiştir ve Tablo 8'de ilgili bazı çalışmalar gösterilmiştir. Önerilen algoritma, tüm modellerde yerel MPP'lerden GMPP'yi doğru bir şekilde bulmaktadır.

Tablo 9: Farklı PSO metotlarının karşılaştırma sonuçlarının özeti

Gölgeleme model	Metod	V_{MPP}(V)	I_{MPP}(A)	P_{MPP}(W)	Nominal güç(W)	verimlilik (%)	Hedef takip süresi(s)
Model 1	Önerilen	183,6	3,465	636,3	637,7	99,8	1,068
	PSO[54]	23,45	1,72	40,37	40,76	99	3,2
	PSO[53]	22,55	1,75	39,44	40,76	97	4,6
	APSO[53]	23,54	1,72	40,56	40,76	99,5	2,4
Model 2	Önerilen	165,8	3,12	518,27	527,6	98	0,95
	PSO[54]	21,95	3,48	76,39	76,53	99	3,2
	PSO[53]	22,07	3,27	72,17	76,53	94	4,3
	APSO[53]	22,01	3,47	76,51	76,53	99	2,3
Model 3	Önerilen	198,03	3,73	740,3	741,18	99,8	0,83
	PSO[54]	31,44	2,23	70,31	73,62	96	2,8
	PSO[53]	31,54	2,3	73,33	73,62	99	3
	APSO[53]	31,54	,.32	73,33	73,62	99	1,9
Model 4	Önerilen	161	3,03	488,32	489,32	99,8	1,58
Model 6	Önerilen	129,2	2,43	315,1	315,905	99,7	1,25
Model 7	Önerilen	130,6	2,47	321,83	322,51	998	1,45
Model 8	Önerilen	128,2	2,42	310,2	311,003	99,7	0,66
Model 9	Önerilen	91,56	1,73	160,2	164,37	97	0,48
Model 10	Önerilen	160,4	3,03	485,1	486,087	99,8	0,73

5. TARTIŞMA

Konvansiyonel MPPT teknolojisinin performansının, sürekli güneşlenme durumunda %99 verimliliği aştığı bilinmektedir [55]. Bununla birlikte, kısmi gölgeleme durumunda, bu MPPT tekniklerinin doğruluğu, çoklu yerel maksimumlar nedeniyle azalır. PSC kapsamındaki geleneksel MPPT tekniklerinin yanlışlığı Şekil 30'da görülebilir. Bu senaryoda, gerçek MPP C noktasındadır ancak güç noktası B noktasına hareket eder. Ancak, P&O gibi geleneksel yöntemle, çalışma noktası öngörülen gerilim komut adımına (v) göre değişir ve çalışma noktası B noktası etrafında salınır. Pc ve Pb noktaları arasında da güç kayıpları görülmektedir. Bu performans düşüşünü önlemek için MPPT, çalışma noktası C'ye taşınmalıdır. Önerilen MPPT teknikleri, geleneksel modellerin dezavantajlarını hesaba katar.

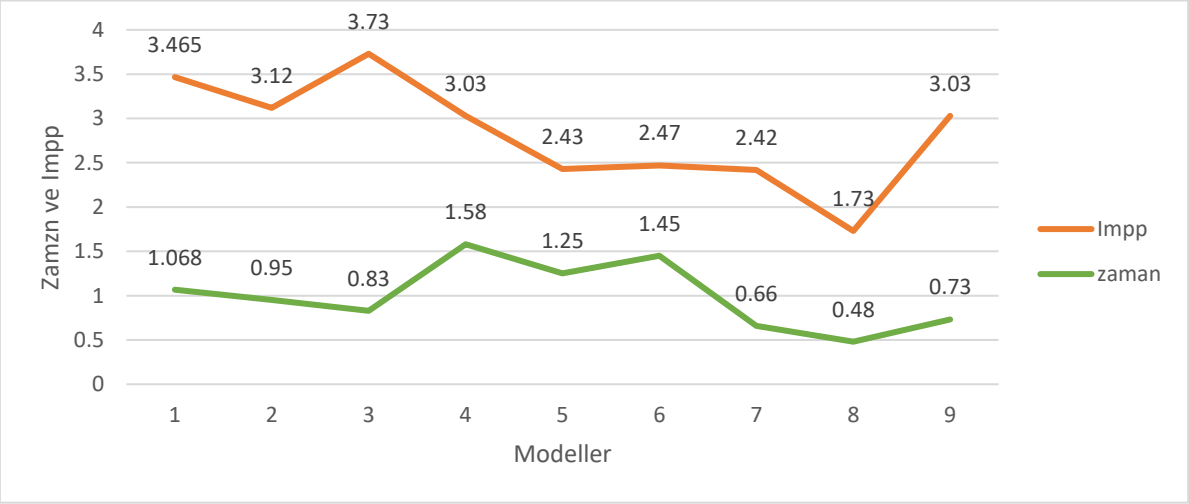


Şekil 30: Gölgeli ve gölgesiz koşullar altında P-V ve I-V karakteristikleri[29] .

Önerilen algoritmayı değerlendirmek ve çeşitli gölgeleme koşulları altında diğer MPPT algoritmalarıyla karşılaştırmak için 10 farklı model kullanılmıştır. Bu gölgeleme modellerinin simülasyon sonuçları şekil 18 ile şekil 29 arasındaki şekillerde gösterilmiş ve Tablo 9'da özetlenmiştir. Model 1,2 ve 10 üç MPP çıkışına sahiptir ve GMPP sırasıyla orta gerilim, en yüksek gerilim ve en düşük gerilimde gerçekleşmiştir. Önerilen algoritmanın, sırasıyla %99.8 ve %98 sabit durum doğruluğu ile GMPP 1.068s ve 0.95s'ye ulaştığı fark edilmiştir. Ölçülen MPPT izleme doğruluğu, kararlı durumdaki iki güç değerinden ve her bir kararlı durum MPP'inden hesaplanır. Konvansiyonel PSO, her iki durumda da 3,2 saniyeden daha uzun bir süre ve %98 doğruluk sağlamıştır. Ayrıca APSO, sırasıyla %99,5 ve %99 doğrulukla GMPP'ye

ulaşmak için 2,4 ve 2,3 saniye sürmüştür. Simülasyon sonucunda, önerilen algoritma, standart PSO algoritmasından daha hızlı yakınsamakta ve daha iyi bir doğruluk elde etmektedir.

Modeller 4-9, dört MPP çıkışına sahiptir ve GMPP, orta ve ikinci en yüksek gerilimlerde meydana gelmiştir. Önerilen yöntemi kullanan Modeller 4-9 örnekleri için ortalama doğruluk %99,2'dir. Ölçülen dalga biçiminden önerilen algoritma birkaç salınımdan sonra yakınsar. Şekil 31'de gösterildiği gibi, modelin izleme süresi maksimum güç noktasındaki akımın trendini takip eder. Bu nedenle, daha düşük gücü izlemek daha az zaman alır, ancak bu, algoritmanın doğruluğunu değiştirir. Tablo 9'dan da görüldüğü gibi, daha az takip süresi olan model daha az verimliliğe sahiptir. Önerilen yöntemin gerekli iterasyon sayısı diğer MPPT'den daha yüksek olmasına rağmen, daha düşük Pmpp ile verim düşmüştür. Bu, bu modeli kullanırken izleme süresi ve verimlilik arasındaki dengeyi göstermektedir.



Şekil 31: Tüm modeller için maksimum güç noktasında akım ve izleme süresi

Bununla birlikte, diğer PSO tabanlı MPPT teknikleri ile karşılaştırıldığında iyi performans göstermiştir. Önerilen yöntemin kararlı durumdaki denge metriklerine dayalı ortalama doğruluk ve izleme süresinin sırasıyla %99.2 ve 0.94s olduğu, PSO algoritması [57] ile %98 ve 3.075s olduğu, %96,6 ve 3.975s ile PSO algoritması[56] ve APSO[56] algoritması için %99.17 ve 2.2s olduğu görülmektedir. İzleme süresindeki azalma, global en iyiyi güncellemek için kullanıldığı için P&O tekniği ile ilişkilidir. Bu, Gbest'i daha yüksek bir uygunluk düzeyine taşır ve diğer parçacıkları daha kısa sürede GMPP'ye yakınsaması için çeker. Bu nedenle, PSO ve P&O tekniklerinin entegrasyonu nedeniyle, bu teknik doğruluk ve izleme süresi açısından daha iyi performans göstermiştir. GMPP, doğruluğun %96'dan daha az olduğu durum 9 dışında tüm

durumlarda doğru bir şekilde çalışmıştır. Bunun nedeni, GMPP'nin (164.37W) yerel bir MPP'ye (162.2W) çok yakın olmasıdır.

Önerilen yöntemin kararlı durumdaki denge metriklerine dayalı ortalama doğruluk ve izleme süresinin %99.2 ve 0.94s olduğu, PSO algoritması [57] ile %98 ve 3.075s olduğu, PSO algoritması[56] ile %96,6 ve 3.975s ve APSO[56] algoritması için %99.17 ve 2.2s olduğu görülmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez, kısmi gölgeleme koşulları altında bir PV sistemi için global MPP'yi izlemek için geliştirilmiş bir parçacık sürü optimizasyonu (PSO) tabanlı MPPT tekniği önermektedir. Önerilen algoritma, MPP aramasını iyileştirmek ve kısmi gölgeleme koşulu altında PV sisteminin pratik değerlendirmesini karşılamak için PSO ve P&O tekniklerini birleştirir. Algoritma, MATLAB'de 10 farklı gölgeleme modeli simülasyonu ile doğrulanmıştır. Sonuçlar, doğruluğun %97 olduğu durum 9 dışında, algoritmanın yerel MPP'lerden GMPP'yi doğru bir şekilde izleyebildiğini göstermektedir. Ayrıca, diğer MPPT algoritması ile karşılaştırıldığında daha iyi doğrulukla daha hızlı yakınsama süresine sahiptir.

Önerilen teknik aşağıdaki avantajlara sahiptir:

1. GMPP'nin izleme doğruluğu diğer yöntemlere kıyasla çok yüksektir.
2. P&O tekniğinin devreye girmesiyle diğer yöntemlere göre daha hızlı yakınsamaktadır.

Bu çalışma ile de gosterilmiştir ki Parçacık Sürü Optimazasyonu diğer yöntemler ile birleştirilerek daha etkin bir MPP izleme yöntemi elde edilmektedir. Bu çalışmanım başka yöntemler ile birleştirilmesi ile daha başarılı sonuçlar elde edilmesi çalışmanın geliştirilebilir ölçüsü olarak kabul edilebilir.

KAYNAKLAR

[1] M. A. Alrikabi, “Renewable Energy Types,” *J. Clean Energy Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 61–64, 2014.

[2] K. Sarah, “A Review of Solar Photovoltaic Technologies.” *International Journal of Engineering Research and Technology*. Vol. 9. Issue 7, pp. 741-749, 2020, doi: 10.17577/IJERTV9IS070244.

[3] M. E. Loik *et al.*, “Wavelength-Selective Solar Photovoltaic Systems: Powering Greenhouses for Plant Growth at the Food-Energy-Water Nexus,” *Earth’s Futur.*, vol. 5, no. 10, pp. 1044–1053, 2017, doi: 10.1002/2016EF000531.

[4] D. Y. Lee, H. J. Noh, D. S. Hyun, and I. Choy, “An improved MPPT converter using current compensation method for small scaled PV-applications,” in *Conference Proceedings - IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC*, 2003, vol. 1, pp. 540-545, doi: 10.1109/iecon.2002.1185428.

[5] T. Esram and P. L. Chapman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques," in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 22, no. 2, pp. 439-449, June 2007, doi: 10.1109/TEC.2006.874230.

[6] K. Sundareswaran, V. Vigneshkumar, P. Sankar, S. P. Simon, P. Srinivasa Rao Nayak and S. Palani, "Development of an Improved P&O Algorithm Assisted Through a Colony of Foraging Ants for MPPT in PV System," in IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 12, no. 1, pp. 187-200, Feb. 2016, doi: 10.1109/TII.2015.2502428.

[7] K. Ishaque, Z. Salam, H. Taheri and A. Shamsudin, "Maximum Power Point Tracking for PV system under partial shading condition via particle swarm optimization," 2011 IEEE Applied Power Electronics Colloquium (IAPEC), 2011, pp. 5-9, doi: 10.1109/IAPEC.2011.5779866.

[8] N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo and M. Vitelli, "Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 20, no. 4, pp. 963-973, July 2005, doi: 10.1109/TPEL.2005.850975.

[9] N. Khaehintung, T. Wiangtong and P. Sirisuk, "FPGA Implementation of MPPT Using Variable Step-Size P&O Algorithm for PV Applications," 2006 International Symposium on Communications and Information Technologies, 2006, pp. 212-215, doi: 10.1109/ISCIT.2006.340033.

[10] K. Ishaque, Z. Salam, M. Amjad and S. Mekhilef, "An Improved Particle Swarm Optimization (PSO)–Based MPPT for PV With Reduced Steady-State Oscillation," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 27, no. 8, pp. 3627-3638, Aug. 2012, doi: 10.1109/TPEL.2012.2185713.

[11] H. Patel and V. Agarwal, "MATLAB-Based Modeling to Study the Effects of Partial Shading on PV Array Characteristics," in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 23, no. 1, pp. 302-310, March 2008, doi: 10.1109/TEC.2007.914308.

[12] A. soufyane Benyoucef, A. Chouder, K. Kara, S. Silvestre, and O. A. Sahed, “Artificial bee colony based algorithm for maximum power point tracking (MPPT) for PV systems operating under partial shaded conditions,” *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 32, pp. 38-48, 2015, doi: 10.1016/j.asoc.2015.03.047.

[13] R. Sridhar, N. Thamizh Selvan, S. Jeevananthan and P. Sujith Chowdary, "Performance improvement of a photo voltaic array using MPPT (P&O) technique," 2010, ICCCCT, 2010, pp. 191-195, doi: 10.1109/ICCCCT.2010.5670550.

[14] B. Liu, S. Duan, F. Liu and P. Xu, "Analysis and Improvement of Maximum Power Point Tracking Algorithm Based on Incremental Conductance Method for Photovoltaic Array," *2007 7th International Conference on Power Electronics and Drive Systems*, 2007, pp. 637-641, doi: 10.1109/PEDS.2007.4487768.

[15] R. Alik and A. Jusoh, “An enhanced P&O checking algorithm MPPT for high tracking efficiency of partially shaded PV modül,” *Sol. Energy*, vol. 163, pp. 570-580, 2018, doi: 10.1016/j.solener.2017.12.050.

[16] B. Yang *et al.*, “Dynamic leader based collective intelligence for maximum power point tracking of PV systems affected by Partial Shading Conditions,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 179, pp. 286-303, 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2018.10.074.

[17] F. Belhachat and C. Larbes, “Comprehensive review on global maximum power point tracking techniques for PV systems subjected to Partial Shading Conditions,” *Solar Energy*, vol. 183, pp. 476-500, 2019, doi: 10.1016/j.solener.2019.03.045.

[18] L. Piegari and R. Rizzo, “Adaptive perturb and observe algorithm for photovoltaic maximum power point tracking,” *IET Renew. Power Gener.*, vol. 4, no. 4, pp. 317-328, 2010, doi: 10.1049/iet-rpg.2009.0006.

[19] F. Locment, M. Sechilariu and I. Houssamo, "Energy efficiency experimental tests comparison of P&O algorithm for PV power system," Proceedings of 14th International Power Electronics and Motion Control Conference EPE-PEMC 2010, 2010, pp. T12-89-T12-95, doi: 10.1109/EPEPEMC.2010.5606774.

[20] B. Subudhi and R. Pradhan, "A Comparative Study on Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Power Systems," in IEEE Transactions on Sustainable Energy, vol. 4, no. 1, pp. 89-98, Jan. 2013, doi: 10.1109/TSTE.2012.2202294.

[21] A. Attou, A. Massoum, and M. Chadli, “Comparison study of two tracking methods for photovoltaic systems,” *Rev. Roum. des Sci. Tech. Ser. Electrotech. Energ.*, vol. 60, no. 2, pp. 205-214, 2015.

[22] F. Liu, S. Duan, F. Liu, B. Liu and Y. Kang, "A Variable Step Size INC MPPT Method for PV Systems," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 55, no. 7, pp. 2622-2628, July 2008, doi: 10.1109/TIE.2008.920550.

[23] M. B. Kalashani and M. Farsadi, “New structure for photovoltaic systemapplications with maximum power point tracking ability,” *Int. J. Power Electron. Drive Syst.*, vol. 4, no. 4, pp. 489-498, 2014, doi: 10.11591/ijpeds.v4i4.6365.

[24] E. Koutroulis, K. Kalaitzakis and N. C. Voulgaris, "Development of a microcontroller-based, photovoltaic maximum power point tracking control system," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 16, no. 1, pp. 46-54, Jan. 2001, doi: 10.1109/63.903988.

[25] E. Roman, R. Alonso, P. Ibanez, S. Elorduizapatarietxe and D. Goitia, "Intelligent PV Module for Grid-Connected PV Systems," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 53, no. 4, pp. 1066-1073, June 2006, doi: 10.1109/TIE.2006.878327.

[26] G. Petrone, G. Spagnuolo, R. Teodorescu, M. Veerachary, and M. Vitelli, “Reliability issues in photovoltaic power processing systems,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 7, 2008, doi: 10.1109/TIE.2008.924016.

[27] J. Ma *et al.*, “Insight of direct search methods and module-integrated algorithms for Maximum Power Point Tracking (MPPT) of stand-alone photovoltaic systems,” in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2012, vol. 7513, pp. 463-471, doi: 10.1007/978-3-642-35606-3_55.

[28] M. M. Lyden S, Haque ME, “Maximum Power Point Tracking Methods for PV Systems,” in *Advances in Solar Photovoltaic Power Plants*, Berlin: Springer Verlag, 2016, pp. 79–105.

[29] T. L. Xu W., Mu C., “Advanced Control Techniques for PV Maximum Power Point Tracking,” in *Advances in Solar Photovoltaic Power Plants*, Berlin: Springer Verlag, pp. 43-78, 2016.

[30] S. Sreedhar and D. Jagadeesh, “A Review on Optimization Algorithms for MPPT in Solar PV System under Partially Shaded Conditions,” IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE) e-ISSN: 2278-1676, pp 23-32, 2016.

[31] M.-H. Chao, Kuei-Hsiang & Li, Ching-Ju & Wang, “A Maximum Power Point Tracking Method Based on Extension Neural Network for PV Systems,” in *Advances in Neural Netwoks*, Berlin: Springer, Berlin, Heidelberg, 2009, pp. 745–755.

[32] A. M. Eltamaly and A. Y. Abdelaziz, “Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems” Green Energy and Technology Series, Springer, ISSN: 1865-3529, pp. 486, 2020.

[33] T. Bennett, A. Zilouchian, and R. Messenger, “A proposed maximum power point tracking algorithm based on a new testing standard,” *Sol. Energy*, vol. 89, 2013, doi: 10.1016/j.solener.2012.11.022.

[34] C. Liu, B. Wu and R. Cheung, “Advanced Algorithm For MPPT Control of Photovoltaic Systems, Conference: The 31st annual conference of the Solar Energy Society of Canada Inc. and the 1. Canadian Solar Buildings Research Network conference, Montreal, PQ (Canada), pp. 1-7, 20-24 Aug 2006.

[35] S. Gomathy, S. Saravanan and S Thangavel “Design and implementation of maximum power point tracking (MPPT) algorithm for a standalone PV system,” *International Journal of Scientific and Engineering Research,* vol. 3, issue. 3, pp. 1–7, 2012.

[36] J. A. Jiang, T. H. Huang, Y. T. Hsiao “Maximum power tracking for photovoltaic power systems,” *Tamkang Journal of Sci. Eng, vol 8, issue. 2, pp. 147-153,2005.*

[37] D. Sera, T. Kerekes, R. Teodorescu and F. Blaabjerg, "Improved MPPT method for rapidly changing environmental conditions," 2006 IEEE International Symposium on Industrial Electronics, 2006, pp. 1420-1425, doi: 10.1109/ISIE.2006.295680.

[38] A. P. Engelbrecht, “Particle Swarm Optimization”, *Computational Intelligence: An introduction*. New Jersey: John Wiley and Sons Ltd, 2nd edition, Chapter 16, pp. 289-358, ISBN 978-0-470-03561-0, 2002.

[39] Y. H. Liu, S. C. Huang, J. -W. Huang and W. -C. Liang, "A Particle Swarm Optimization-Based Maximum Power Point Tracking Algorithm for PV Systems Operating Under Partially Shaded Conditions," in IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 27, no. 4, pp. 1027-1035, Dec. 2012, doi: 10.1109/TEC.2012.2219533.

[40] P. Kotecha, “Particle Swarm Optimization,” NOC: Computer Aided Applied Single Objective Optimization, Indian Institute of Technology, Guwahati, National Programme on Technology Enhanced Lerning Courses, 2020.

[41] Y. Shi and R. C. Eberhart, "Empirical study of particle swarm optimization," Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation-CEC99 (Cat. No. 99TH8406), 1999, pp. 1945-1950 Vol. 3, doi: 10.1109/CEC.1999.785511.

[42] A. Musa, “A modified Particle Swarm Optimization Based Maximum Power Point Tracking for Photovoltaic Converter System,” PhD Thesis, Faculty of Electrical Engineering, University of Technologi Malaysia, 2015.

[43] W. Hayder, E. Ogliari, A. Dolara, A. Abid, M. Ben Hamed, and L. Sbita, “Improved PSO: A comparative study in MPPT algorithm for PV system control under partial shading condition,” *Energies*, vol. 13, no. 8, pp. 1-22, 2020, doi: 10.3390/en13082035.

[44] L. Umanand, “Design of photovoltaic systems,” Indian Institue of Science, Banalore, NPTEL Online Certificate Course, https://onlinecourses.nptel.ac.in/noc22_ee71/preview (accessed April 2021).

[45] W. Xiao, “PV Output Characteristics and Mathematical Models”, *Photovoltaic Power System: Modeling, Design and Control*. Chapter 4, pp 65-95, 2017.

[46] C. B. Honsberg and S. G. Bowden. (2019) Photovoltaics Education Website. [Online]. Available: https://www.pveducation.org.

[47] F. H. Khan. Profile, “Report No. 01 Name of the Experiment: Measurement of Open circuit voltage, Short circuit current, efficiency , Maximum power point and Fill factor for different solar radiation of a solar cell or module Date of Performance : Submitted by Md . Fahim Ha,”, Practical Study of Different Components of Solar PV Systems in Bangladesh, Institute of Energy, University of Dhaka, July, 2019.

[48] D. Leitão, J. P. N. Torres, and J. F. P. Fernandes, “Spectral Irradiation influence on solar cells efficiency,” *Energies*, vol. 13, no. 19, pp. 1-18, 2020, doi: 10.3390/en13195017.

[49] A. R. Mollick, “Why it’s crucial to understand the filling factor of solar cell? How it’s affecting the efficiency of PV cells?,” *Ecowolife*. https://ecowowlife.com/fill-factor-of-solar-cell/, (Accessed April 2021).

[50] S. M. Ferdous, M. A. Mohammad, F. Nasrullah, A. M. Saleque and A. Z. M. S. Muttalib, "Design and simulation of an open voltage algorithm based maximum power point tracker for battery charging PV system," 2012 7th International Conference on Electrical and Computer Engineering, 2012, pp. 908-911, doi: 10.1109/ICECE.2012.6471698.

[51] H. Patel and V. Agarwal, "Maximum Power Point Tracking Scheme for PV Systems Operating Under Partially Shaded Conditions," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 55, no. 4, pp. 1689-1698, April 2008, doi: 10.1109/TIE.2008.917118.

[52] J. C. Bansal, P. K. Singh, M. Saraswat, A. Verma, S. S. Jadon and A. Abraham, "Inertia Weight strategies in Particle Swarm Optimization," 2011 Third World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing, 2011, pp. 633-640, doi: 10.1109/NaBIC.2011.6089659.

[53] H. Chaieb and A. Sakly, "A novel MPPT method for photovoltaic application under partial shaded conditions," *Solar Energy*, vol. 159, pp. 291-299, 2018, doi: 10.1016/j.solener.2017.11.001.

[54] A. Engelbrecht, GECCO Companion '15: Proceedings of the Companion Publication of the 2015 Annual Conference on Genetic and Evolutionary ***Computation, July*** 2015, pp. 65–***91, https***://doi.org/10.1145/2739482.2756564.

[55] Eberhart and Yuhui Shi, "Particle swarm optimization: developments, applications and resources," Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation (IEEE Cat. No.01TH8546), 2001, pp. 81-86 vol. 1, doi: 10.1109/CEC.2001.934374.

[56] M. Alshareef, Z. Lin, M. Ma, and W. Cao, "Accelerated Particle swarm optimization for photovoltaic maximum power point tracking under partial shading condition," in *Energies*, vol. 12, no. 4, 623, pp. 1-8, 2019, doi: 10.3390/en12040623.

[57] S. Rajendran and H. Srinivasan, "Simplified accelerated particle swarm optimisation algorithm for efficient maximum power point tracking in partially shaded photovoltaic systems," in *IET Renewable Power Generation.*, vol. 10, no. 9, pp. 1340-1347, 2016, doi: 10.1049/iet-rpg.2016.0114.

EKLER

EK-1

```
function D = PSO(Vpv,Ipv)
coder.extrinsic('rand')
%%initialization of parameter and persistent variable declaration
persistent iteration particle_check counter counter2 velocity position fitness
fitnessPbest Pbest fitnessGbest Gbest convergence_check stop_check stop
ultimate_gbest;

particle = ;
maxiteration = ;

%lower limit and upper limit of the position
dmin = ;
dmax = ;

%values of w c1 and c2
w=;
c1=;
c2=;

%lower limit and upper limit of velocity
vmax =0.6*((dmax-dmin)/2);
vmin = -1*vmax;

%tolerance value for convergence
tolerance = ;

%random value to initialize the position
r1 = zeros(particle,1);
r1 = rand(particle,1);


%random value for velocity update
r2 = zeros(maxiteration*particle,1);
r3 = zeros(maxiteration*particle,1);

r2 = rand(maxiteration*particle,1);
r3 = rand(maxiteration*particle,1);

%% initialize the variables
if(isempty(iteration))
    iteration=1;
end

if(isempty(particle_check))
    particle_check = 1;
end

if(isempty(counter))
    counter=1;
end

if(isempty(counter2))
```

```
    counter2=1;
end

%initializing position
if(isempty(position))
    position = zeros(particle,1);
    for i=1:particle
        position(i)=dmin+r1(i)*(dmax-dmin);
    end
end

%initializing velocity
if(isempty(velocity))
    velocity = zeros(particle,1);
end

if(isempty(fitness))
    fitness = zeros(particle,1);
end

if(isempty(fitnessPbest))
    fitnessPbest = zeros(particle,1);
end

if(isempty(Pbest))
    Pbest = zeros(particle,1);
end

if(isempty(Gbest))
    Gbest = zeros(maxiteration,1);
end

if(isempty(fitnessGbest))
    fitnessGbest = zeros(maxiteration,1);
end

if(isempty(convergence_check))
    convergence_check = zeros(4,1);
end

if(isempty(stop_check))
    stop_check = zeros(4,1);
end

if(isempty(stop))
    stop = 0;
end

if(isempty(ultimate_gbest))
    ultimate_gbest = 0;
end
%% evaluate duty cycle
%The duty cycle is evaluated up to 200 times until it gets a stable value
if(counter>=1 && counter<=200)
    D=position(particle_check);
    counter=counter+1;
    if(stop==1)
        D=ultimate_gbest;
```

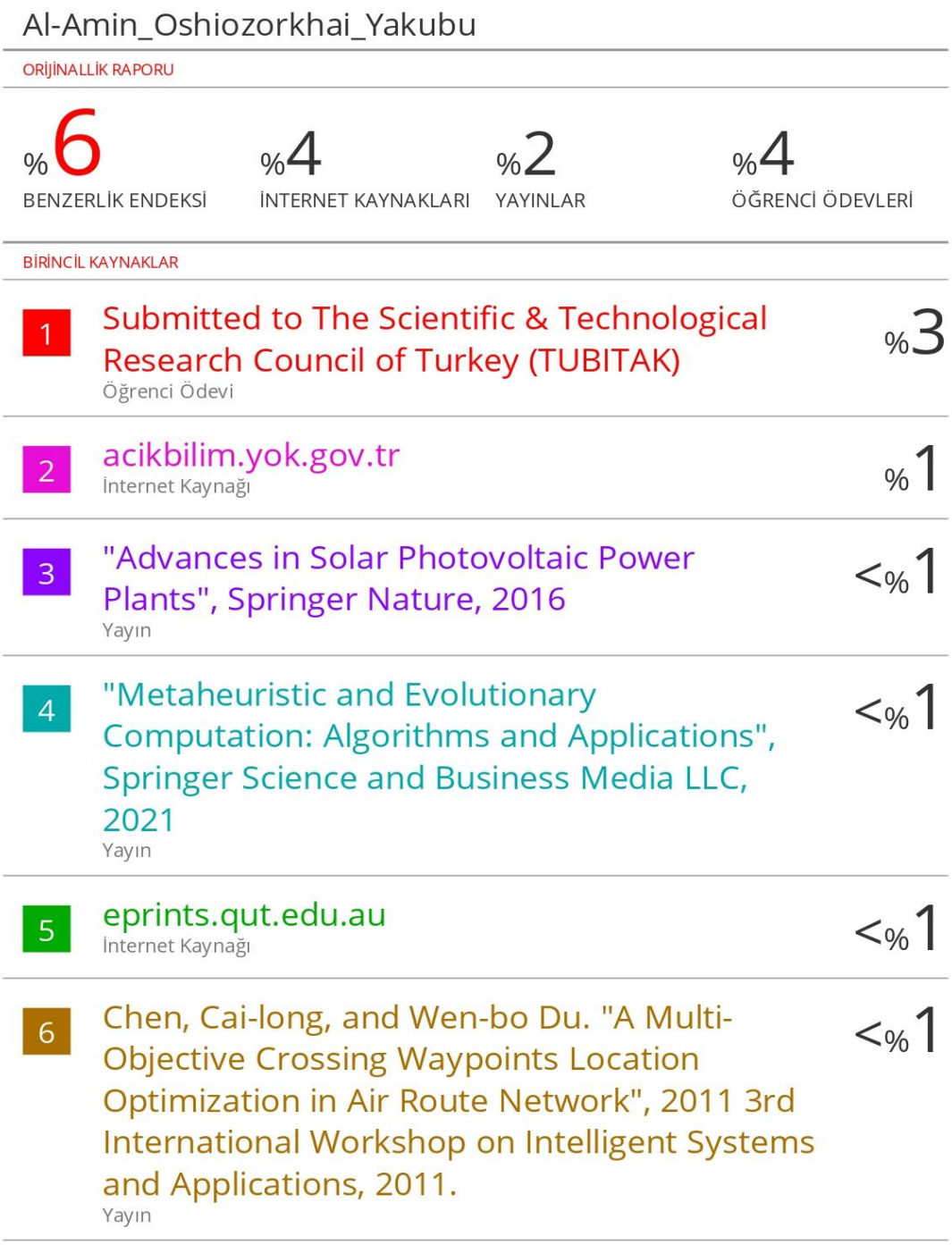
```
        counter=counter-1;
    end
    return;
else
    if(particle_check<=3)
        D=position(particle_check+1);
    else
        D=position(1);
    end
end
%% Main  PSO
fitness(particle_check) = Vpv*Ipv;
%particle loops in iteration
if(particle_check<=3)
    particle_check = particle_check+1;
    counter = 2; %After evaluating the duty cycle, the counter value is returned
for the next evaluation of the particle duty cycle
else
    if(iteration==1)
        %initializing Pbest
        for i=1:particle
            Pbest(i) = position(i);
            fitnessPbest(i) = fitness(i);
        end
        maxFitnessPbest = 0;
        for j = 1:length(fitnessPbest)
            if fitnessPbest(j) > maxFitnessPbest
                maxFitnessPbest = fitnessPbest(j);
            end
        end
        fitnessGbest(iteration) = maxFitnessPbest;
        for k=1:particle
            if(fitnessGbest(iteration) == fitnessPbest(k))
                Gbest(iteration) = Pbest(k);
            end
        end
    elseif(iteration >=2 && iteration<=maxiteration)
        %update Pbest
        for i=1:particle
            if (fitness(i) > fitnessPbest(i))
                Pbest(i) = position(i);
                fitnessPbest(i) = fitness(i);
            end
        end
        %update Gbest
        maxFitnessPbest = 0;
        for j = 1:length(fitnessPbest)
            if fitnessPbest(j) > maxFitnessPbest
                maxFitnessPbest = fitnessPbest(j);
            end
        end
        fitnessGbest(iteration) = maxFitnessPbest;
        for k=1:particle
            if(fitnessGbest(iteration) == fitnessPbest(k))
                Gbest(iteration) = Pbest(k);
            end
        end
    end
```

```
    %check convergence of every particles
    for i=1:particle
        if ((fitnessGbest(iteration) - fitnessPbest(i)) < tolerance)
            stop_check(i)=1;
        end
    end
    n = sum(stop_check);
    %if all the particles have converged
    if(n==4)
        stop = 1;
        ultimate_gbest = Gbest(iteration);
    else
        stop_check = zeros(particle,1);
    end
    %update velocity and position
    for i=1:particle
        %update velocity
        velocity(i) = (w*velocity(i))+(c1*r2(counter2)*(Pbest(i)-
position(i)))+(c2*r3(counter2)*(Gbest(iteration)-position(i)));
        counter2 = counter2+1;
        %improved updated velocity
        if(velocity(i) > vmax)
            velocity(i)=vmax;
        end
        if(velocity(i)<vmin)
            velocity(i)=vmin;
        end

        %update position
        position(i) = position(i) + velocity(i);
        %improve position update
        if(position(i) > dmax)
            position(i)=dmax;
        end
        if(position(i)<dmin)
            position(i)=dmin;
        end
    end
    D=position(1);
    particle_check = 1;
    counter = 2; %After evaluating the duty cycle, the counter value is returned
for the next evaluation of the particle duty cycle
    iteration = iteration+1;
end
end
```

İNTİHAL RAPORU İLK SAYFASI

UYARI: Bu bölümde intihal programında çıkan benzerlik yüzdesinin bulunduğu detaylı raporun ilk sayfasının yer alması tüm öğrenciler için zorunludur! Bu uyarıyı okuduktan sonra siliniz!



Al-Amin_Oshiozorkhai_Yakubu

ORİJİNALLİK RAPORU

%6	%4	%2	%4
BENZERLİK ENDEKSİ	İNTERNET KAYNAKLARI	YAYINLAR	ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ

BİRİNCİL KAYNAKLAR

1	Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi	%3
2	acikbilim.yok.gov.tr İnternet Kaynağı	%1
3	"Advances in Solar Photovoltaic Power Plants", Springer Nature, 2016 Yayın	<%1
4	"Metaheuristic and Evolutionary Computation: Algorithms and Applications", Springer Science and Business Media LLC, 2021 Yayın	<%1
5	eprints.qut.edu.au İnternet Kaynağı	<%1
6	Chen, Cai-long, and Wen-bo Du. "A Multi-Objective Crossing Waypoints Location Optimization in Air Route Network", 2011 3rd International Workshop on Intelligent Systems and Applications, 2011. Yayın	<%1

ETİK KURUL İZİN YAZISI

Uyarı: Canlı denekler üzerinde yapılan tüm araştırmalar için Etik Kurul Belgesi alınması zorunludur.

☐ **Etik Kurul izni gerekmektedir.**

☒ **Etik Kurul izni gerekmemektedir.**

Al-amin Oshiozorkhai Yakubu

(İmza)

KURUM İZNİ YAZILARI

Uyarı: Canlı ve cansız deneklerle yapılan tüm çalışmalar için kurum izin belgelerinin eklenmesi zorunludur. Gizlilik ve mahremiyet içeren durumlarda kurum adı kapatılmalıdır.

☐ **Kurum izni gerekmektedir.**

☒ **Kurum izni gerekmemektedir.**

Al-amin Oshiozorkhai Yakubu
(İmza)