



POLİTEKNİK DERGİSİ

*JOURNAL of POLYTECHNIC*

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



# Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası takibinde kullanılan algoritmaların kısmi gölgeleme koşulları altında karşılaştırılması

## *Comparison of the algorithms used in maximum power point tracking in photovoltaic systems under partial shading conditions*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Zeynep GÜMÜŞ<sup>1</sup>, Mehmet DEMİRTAŞ<sup>2</sup>

*ORCID<sup>1</sup>:* 0000-0001-9546-4104

*ORCID<sup>2</sup>:* 0000-0002-2809-7559

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz(To cite to this article):** Gümüş Z., Demirtaş M., “Fotovoltaik sistemlerde maksimum güç noktası takibinde kullanılan algoritmaların kısmi gölgeleme koşulları altında karşılaştırılması”, *Politeknik Dergisi*, 24(3): 853-865, (2021).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

**DOI:** 10.2339/politeknik.725255

# Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takibinde Kullanılan Algoritmaların Kısmi Gölgeleme Koşulları Altında Karşılaştırılması

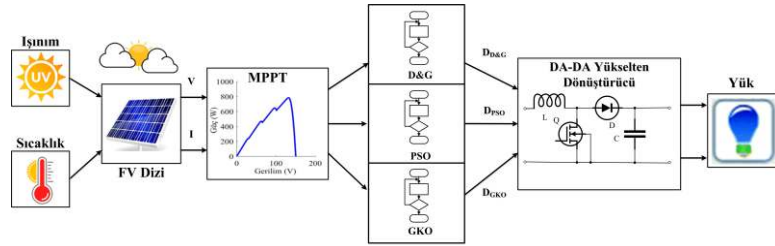
## Comparison of the Algorithms Used in Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Systems under Partial Shading

### Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Kısmi gölgeleme koşulları altında fotovoltaik sistem (FV) tasarımı / Photovoltaic system (PV) design under partial shading conditions
- ❖ Metasezgisel algoritmaların kullanılması / Using of metaheuristic algorithms
- ❖ Maksimum güç noktası takibi (MGNT) / Maximum power point tracking (MPPT)

### Grafik Özet (Graphical Abstract)

Kısmi gölgeleme koşulları altındaki FV sistem üzerinde üç farklı algoritma ile MGNT yapılmıştır. / MPPT was performed with three different algorithms on the PV system under partial shading conditions.



Şekil. Sistemin blok şeması / Figure. Block schema of the system

### Amaç (Aim)

Bu çalışmanın amacı, kısmi gölgeleme şartları altındaki FV sistemlerde MGNT algoritmalarının performanslarını kıyaslamaktır. / The aim of this study is to compare the performance of MPPT algorithms in PV systems under partial shading conditions.

### Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

FV dizi, DA-DA yükselten dönüştürücü ve MGNT algoritmasından oluşan sistem tasarlanırken MATLAB/SIMULINK programı kullanılmıştır. Değişir ve gözle (D&G), parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve guguk kuşu optimizasyonu (GKO) algoritmaları ile MGNT yapılmıştır. / MATLAB / SIMULINK program was used while designing the system consisting of PV array, DA-DA boost converter and MPPT algorithm. MPPT has been done with perturb and observe (P&O), particle swarm optimization (PSO) and cuckoo search optimization (CSO) algorithms.

### Özgünlük (Originality)

Bu çalışmanın özgünlüğü, FV sistem tasarlanırken kullanılan parametre değerleridir. / The originality of this study is the parameter values used when designing the PV system.

### Bulgular (Findings)

D&G algoritması yerel bir maksimum güç noktasına takılmış ve global maksimum güç noktasına ulaşamamıştır. GKO ve PSO algoritmaları ise global maksimum güç noktasının bulunmasında başarılı olmuştur. Ayrıca GKO algoritması PSO algoritmasından daha hızlı bir şekilde global maksimum güç noktasına ulaşmıştır. / The D&G algorithm has caught a local maximum power point and could not reach the global maximum power point. GKO and PSO algorithms were successful in finding the global maximum power point. Also, the GKO algorithm has reached the global maximum power point faster than the PSO algorithm.

### Sonuç (Conclusion)

Kısmi gölgeleme koşulları altında MGNT işlemi gerçekleştirilirken PSO ve GKO algoritmaları D&G algoritmasından daha başarılıdır. Ayrıca GKO algoritması da PSO algoritmasından daha başarılıdır. / While MGNT is performed under partial shading conditions, PSO and GKO algorithms are more successful than D&G algorithm. Also, the GKO algorithm is more successful than the PSO algorithm.

### Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

# Fotovoltaik Sistemlerde Maksimum Güç Noktası Takibinde Kullanılan Algoritmaların Kısmi Gölgeleme Koşulları Altında Karşılaştırılması

*Araştırma Makalesi / Research Article*

Zeynep GÜMÜŞ<sup>1</sup>, Mehmet DEMİRTAŞ<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Programı, 06500, Ankara

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 06500, Ankara

(Geliş/Received : 22.04.2020 ; Kabul/Accepted : 02.05.2020 ; Erken Görünüm/Early View : 13.05.2020)

## ÖZ

Fotovoltaik (FV) sistemlerde verimliliği arttırmak için güç elektroniği dönüştürücülerini yardımıyla maksimum güç noktası takibi (MGNT) işlemi yapılmaktadır. Eşit dağılımlı ışınma koşullarında MGNT yapılırken geleneksel algoritmalarından biri olan değişir ve gözle (D&G) algoritması oldukça verimlidir. Ancak kısmi gölgeleme koşulları meydana geldiğinde bu algoritma global maksimum güç noktasını bulamamakta ve yerel maksimum güç noktalarına takılmaktadır. Buna karşın parçacık sürü optimizasyonu (PSO) ve guguk kuşu optimizasyon (GKO) algoritması gibi doğadan esinlenen meta sezgisel algoritmalar global maksimum noktanın bulunmasında daha başarılı olmaktadır. Bu çalışmada MATLAB/SIMULINK’de FV dizi, DA-DA yükselten dönüştürücü ve yükten oluşan bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem kullanılarak kısmi gölgeleme koşulları altında D&G, PSO ve GKO algoritmalarıyla MGNT işlemi gerçekleştirilmiş ve bu algoritmaların karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Bu algoritmalar üç farklı kısmi gölgeleme konfigürasyonu ile takip hızı ve doğruluğu açısından birbiriyle kıyaslanmıştır. Simülasyonlar sonucunda, D&G algoritması yerel bir maksimum güç noktasına yakalanırken PSO ve GKO algoritmaları global maksimum güç noktasının bulunmasında başarılı olmuştur. PSO ve GKO algoritması birbiriyle kıyaslandığında ise GKO algoritmasının PSO algoritmasından daha hızlı bir şekilde global maksimum güç noktasına ulaştığı görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** MGNT, kısmi gölgeleme, meta sezgisel algoritmalar.

## Comparison of the Algorithms Used in Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Systems under Partial Shading Conditions

### ABSTRACT

In order to increase efficiency in photovoltaic systems (PV), maximum power point tracking (MPPT) is performed with the help of power electronic converters. While MPPT is performed in uniformly distributed radiation conditions, one of the traditional algorithms, perturb and observe (P&O) algorithm is very efficient. However, when partial shading conditions occur, this algorithm cannot find global maximum power points and caught to local maximum power points. In contrast, nature inspired metaheuristic algorithms such as particle swarm optimization (PSO) and cuckoo search optimization (CSO) algorithm are more successful in finding the global maximum. In this study, a system consisting of photovoltaic array, DC-DC boost converter and load has been developed in MATLAB/SIMULINK. Using this system, MPPT was performed with P&O, PSO and CSO algorithms under partial shading conditions and comparative analysis of these algorithms was performed. These algorithms were compared with three different partial shading configurations for tracking time and accuracy. As a result of the simulations, the P&O algorithm caught to a local point, while the PSO and CSO algorithms were successful in finding the global point. When PSO and GKO algorithm are compared, it is seen that CSO algorithm reaches global point faster than PSO algorithm.

**Keywords:** MPPT, partial shading, meta heuristic algorithms.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Dünya çapında fosil yakıt kaynaklarının azalması ve çevresel kaygılar sebebiyle alternatif, yenilenebilir ve çevreyi kirletmeyen enerji kaynağı talebi günden güne artmaktadır. Aynı doğrultuda elektrik üretiminde de

yenilenebilir enerji kaynakları önemli bir rol oynamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından bazıları hidroelektrik, jeotermal, rüzgâr, biyokütle, dalga ve güneş enerjisidir. Bu yenilenebilir kaynaklar arasında güneş enerjisi, güneşten elde edilen potansiyel enerjiyi FV modüller aracılığıyla doğrudan elektrik enerjisine çevrilebilmesi sayesinde elektrik enerjisi üretiminde sıklıkla kullanılan bir kaynaktır [1].

\*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)  
e-posta : mehmetd@gazi.edu.tr

Güneş enerjisi dönüşüm sistemleri ilk zamanlarda tek başına belirli bir yükün enerji ihtiyacını karşılamak için kullanılmıştır. Ancak güneşten gelen enerjinin sürekliliğinin olmaması, günün her saatinde yükün enerji ihtiyacı bulunması nedeniyle batarya depolama sistemleri ve diğer kaynakların güneş ile birlikte kırsal bölgelerde ve şebekelerde kullanımı gün geçtikçe artarak talep edilen bir uygulama olmuştur [2].

Farklı yenilenebilir kaynaklarının birlikte ve şebeke ile entegre kullanımı mikro şebekeler olarak isimlendirilen sistemlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Mikro şebekelerde enerjinin yerinde üretimi ve yerinde tüketimi avantajlarına ek olarak güneş ve rüzgar enerjisi gibi ürettiği elektrik enerjisi coğrafi koşullara göre değişen yenilenebilir enerji kaynaklarının bölgesel potansiyelinden faydalanılmaktadır. FV sistemlerin ve diğer bileşenlerin mikroşebekelerde kullanılması sırasında sistemin teknik ve ekonomik açılarından analiz edilmesi ve optimizasyonunun gerçekleştirilmesi mikro şebekelerden en yüksek seviyede fayda edinilmesi açısından önemlidir [3].

FV sistemlerden elde edilen enerjinin maksimum verimle yüke aktarılması aşamasında MGNT adı verilen uygulamaların kullanılması gerekir. MGNT algoritmalarının çalıştırılması sırasında güç elektroniği ekipmanları ile FV panellerden elde edilen enerjinin mikrodenetleyiciler yardımıyla yüke aktarılması sağlanır [4]. MGNT algoritmalarının uygulamalarında FV sistemlerin karşılaştığı en büyük problemlerden biri ise kısmi gölgeleme durumudur. Akıllı ve mikro şebekelerden elde edilen faydanın en yüksek değere çıkartılması bileşen bazında en yüksek faydanın elde edilmesine bağlıdır. Bu sebeple FV güç sistemlerinden en yüksek faydayı sağlayabilmek için MGNT uygulamaları kısmi gölgeleme şartları da göz önünde bulundurularak modifiye edilmekte ve farklı algoritmalar ile sistemler geliştirilmektedir.

FV modülün güç-gerilim karakteristik eğrisinde maksimum güç sağlayabilen optimum bir çalışma noktası vardır. Bu nokta maksimum güç noktası olarak bilinmektedir. Bu nokta güneş ışınımı ve sıcaklık gibi çevresel koşullara bağlı olarak değişiklik göstermektedir [5]. FV sistemler birim watt başına hesaplandığında yüksek kurulum maliyetine ve modül bazlı değerlendirildiğinde ise düşük enerji verimliliğine sahip oldukları için maksimum güç noktasında çalıştırılmaları önem arz etmektedir [6]. FV panellerin maksimum güç noktasında çalışmalarını verimli bir şekilde sürdürebilmeleri için pek çok MGNT algoritması geliştirilmiştir [5]. MGNT algoritmasının amacı, belirli bir ışınım ve sıcaklık altında maksimum güç noktasının elde edildiği FV dizinin akımını ve voltajını otomatik olarak izlemektir [7-8]. Her MGNT algoritması temelinde verilen bir fonksiyonun maksimumunu bulan bir optimizasyon algoritmasıdır. Bu sebeple MGNT'nin hızı ve karmaşıklığı kullanılan araştırma yöntemine bağlıdır [9].

D&G, artırimsal iletkenlik, açık devre gerilim ve kısa devre akım yöntemleri geleneksel MGNT yöntemlerinden bazılarıdır. Bu geleneksel algoritmalar arasında D&G ve artırimsal iletkenlik yöntemleri çok popülerdir. Bu algoritmalar, eşit dağılımlı ışınım ve sıcaklık koşullarında maksimum güç noktasını iyi takip edebilirler. Ancak kısmi gölgeleme koşulları altında MGNT'nin doğruluğunu garanti edemeyebilirler. Çünkü FV diziler kısmi gölgeleme koşulları altındayken güç-gerilim karakteristik eğrisinde birden fazla yerel maksimum güç noktası ve bir tane global maksimum güç noktasına sahip olacaktır. Bu durumda geleneksel algoritmalar yerel maksimum güç noktalarına yakalanıp global maksimum güç noktasının takibinde başarısız olmaktadır. Karşılaşılan bu probleme çözüm olarak meta sezgisel tabanlı takip algoritmaları kullanılmaktadır [9-10]. Meta sezgisel algoritmalar çoğunlukla yerel maksimum güç noktalarını yakalama sorunlarının üstesinden gelebilir, çünkü formülasyonları yerel maksimum güç noktalarından kaçmalarına izin veren olasılıksal parametreler içerir [11]. Kısmi gölgeleme koşullarında bu problemle başa çıkabilmek için PSO ve GKO gibi meta sezgisel algoritmalar sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada kısmi gölgeleme koşulları altında MGNT'nde PSO, D&G, GKO algoritma yaklaşımları ele alınmış ve MATLAB/SIMULINK programında tasarlanan sisteme uygulanıp birbirleriyle kıyaslanmıştır.

Bu çalışma aşağıdaki gibi organize edilmiştir: İkinci bölümde FV sistemin modellenmesi ele alınmış, farklı ışınım, sıcaklık ve kısmi gölgeleme koşullarının FV modülün güç-gerilim ve akım-gerilim karakteristik eğrileri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Ayrıca bu bölümde DA-DA yükselten dönüştürücü anlatılmıştır. Üçüncü bölümde sistemde kullanılan D&G, PSO ve GKO algoritmaları anlatılmış ve MGNT için nasıl kullanıldığına dair akış diyagramları verilmiştir. Dördüncü bölümde ise simülasyonda kullanılan panel, DA-DA yükselten dönüştürücü, MGNT algoritmalarının parametre değerleri ve kısmi gölgeleme konfigürasyonları verilmiştir. Ayrıca simülasyon sonucu elde edilen grafikler sunulmuş ve karşılaştırma sonucu elde edilen veriler doğrultusunda yapılan değerlendirmeler verilmiştir.

## 2. FV SİSTEMİN MODELLENMESİ (MODELING OF PV SYSTEM)

FV modelleme, sistemlerin çalışma prensiplerinin anlaşılması ve sistemler kurulmadan önce analizlerinin gerçekleştirilmesine olanak sağlar. Bir FV modül oluşturulurken bir dizi hücre seri veya paralel bağlanır. Bir dizi oluşturmak içinse birden fazla FV modül seri ve paralel olarak bağlanır. Böylece FV dizi için matematiksel model oluşturulurken FV hücrelerin elektriksel eşdeğer devreleri kullanılır.

## 2.1. FV Hücrenin Eşdeğer Devresi ve Matematiksel Eşitlikleri (Equivalent Circuit and Mathematical Equations of PV Cell)

FV hücre modeli, ışığa maruz kaldığında doğru akım üreten, p-n yarı iletken yapısı olarak tanımlanabilir. Tek diyotlu eşdeğer devre modeli, basitliği nedeniyle bir FV hücre için en yaygın kullanılan modeldir [12]. Devre bir akım kaynağı ( $I_{ph}$ ), bir diyot, seri ( $R_s$ ) ve paralel bağlı ( $R_p$ ) iki dirençten oluşmaktadır [12]. Şekil 1.'de tek diyotlu FV hücrenin eşdeğer devresi gösterilmektedir.

FV hücrenin çıkış akımı Eşitlik 1'de, Shockley denklemi ile ifade edilen diyot akımı ise Eşitlik 2'de verilmiştir. Eşitlik 3'de diyot akımı eşitliği, FV hücrenin çıkış akımı eşitliğinde yerine yazıldığında gerilim ve akım arasındaki ilişki elde edilir. Eşitlik 4'deki ters doyum akımı  $I_0$ , Eşitlik 3'de  $I$  değeri sıfıra eşitlenerek ve  $T_1$  sıcaklığında hesaplanarak elde edilir. Eşitlik 5'de FV hücreler tarafından üretilen akım  $I_{ph}$  kısa devre akımı  $I_{sc}$  ile yaklaşık olarak tahmin edilebilir. Üretilen akım diğer ışınım değerleri için kullanılabilir. Eşitlik 6'da panelin veri sayfasındaki standart akım, sıcaklık ve ışınım farklı koşullardaki akımı hesaplamak için kullanılır ve hesaplamalar sonucunda Eşitlik 7 elde edilir. Ters doyum akımı  $I_0$ ,  $T$  sıcaklığına bağlıdır ve bu Eşitlik 8 ile hesaplanır. Seri direnç değeri  $R_s$ , açık devre gerilimi noktasındaki I-V eğrisinin  $dV/dI$  eğiminden hesaplanır. Bu hesaplama ise Eşitlik 9'da verilmiştir [13-14].

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

$$I = I_{ph} - I_d \quad (1)$$

$$I_d = I_0 (e^{qV_d/kT} - 1) \quad (2)$$

$$I = I_{ph} - I_0 (e^{qV_d/kT} - 1) \quad (3)$$

$$I_0(T_1) = \frac{I_{ph}(T_1)}{(e^{qV_{oc}/kT} - 1)} \quad (4)$$

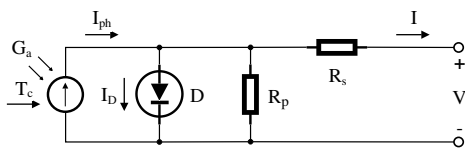
$$I_{sc} \approx I_{ph} \quad (5)$$

$$I_{sc}(T_1) = \left(\frac{G}{G_{nom}}\right) I_{sc}(T_{1,nom}) \quad (6)$$

$$I = I_{ph} - I_0 \left[ e^{q \left( \frac{V+I R_s}{\alpha k T} \right)} \right] - \left( \frac{V+I R_s}{R_p} \right) \quad (7)$$

$$I_0 = I_0(T_1) \left( \frac{T}{T_1} \right)^{\frac{3}{n}} \cdot e^{\frac{qV_q(T_1)}{\alpha k \left( \frac{T}{T_1} - 1 \right)}} \quad (8)$$

$$R_s = - \frac{dV}{dI} - \frac{\alpha k T / q}{I_0 \cdot e^{\left( \frac{qV_{oc}}{\alpha k T} \right)}} \quad (9)$$



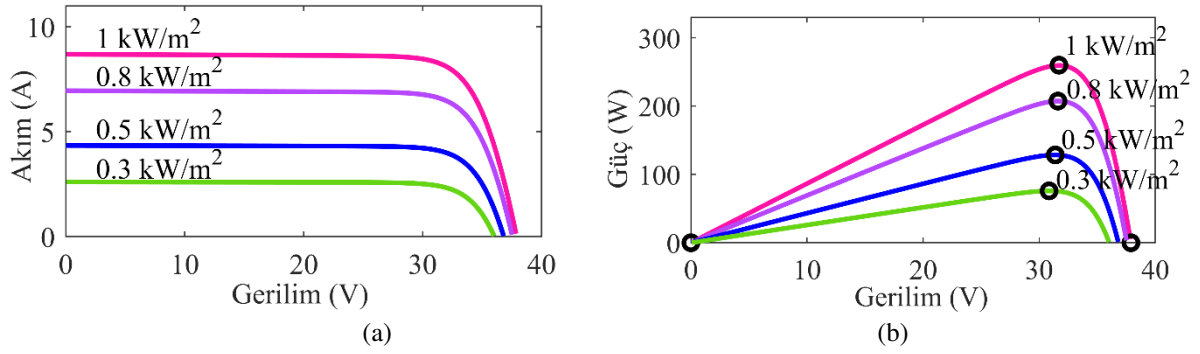
Şekil 1. Tek diyotlu FV hücrenin eşdeğer devresi (Equivalent circuit of cell with one diode)

## 2.2. Farklı Işınım ve Sıcaklık Koşulları Altında FV Dizinin Güç-Gerilim ve Akım-Gerilim Karakteristik Eğrileri (Power-Voltage and Current-Voltage Characteristic Curves of PV Array Under Different Irradiance and Temperature Conditions)

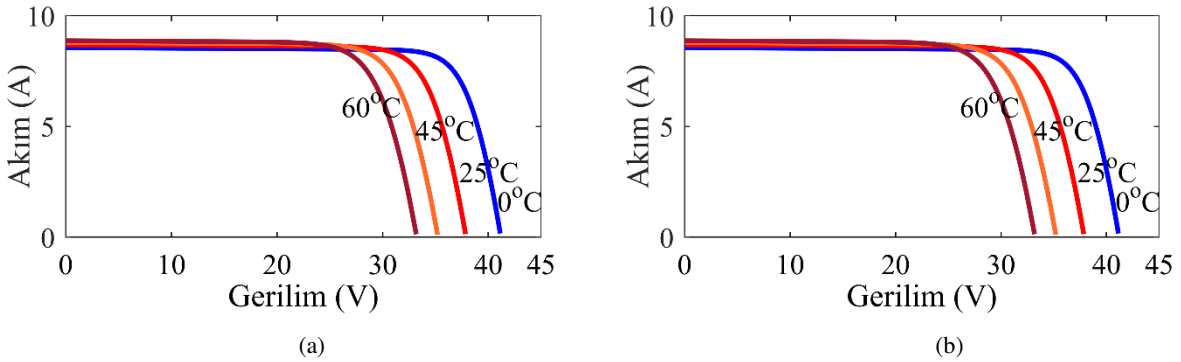
FV modülün elektriksel karakteristiğini belirleyen iki önemli faktör güneş ışınımı ve sıcaklıktır. Bir FV modülden elde edilen güç ifadesi modül akımı ve geriliminin çarpımı şeklinde ifade edilir. Güç-gerilim karakteristik eğrisinde belirli bir akım ve gerilim değeri için sağlanan maksimum güç noktası  $1000 \text{ W/m}^2$  ışınım ve  $25^\circ\text{C}$  modül sıcaklığı standart test koşullarında tanımlanır. Ancak bu şartlar her zaman sağlanamayabilir. Işınım ve sıcaklıkta değişimler meydana geldiğinde modülün çıkış akımı ve gerilimi de bu durumdan etkilenir [14]. Şekil 2 farklı ışınım değerlerinin Trina Solar TSM-260PA05.08 FV modülün güç-gerilim ve akım-gerilim karakteristik eğrileri üzerindeki etkisini göstermektedir. Sabit sıcaklık altında ışınımın artması fotovoltaik modülün çıkış akımını artırmaktadır. Maksimum çıkış gücü, akımdaki değişimden doğrudan etkilendiği için ışınımdaki artış, çıkış gücünü de artırmaktadır. Şekil 3 farklı sıcaklık değerlerinin aynı FV modülün güç-gerilim ve akım-gerilim karakteristik eğrileri üzerindeki etkisini göstermektedir. Sabit ışınım altında sıcaklığın artması fotovoltaik modülün çıkış gerilimini azaltmaktadır. Maksimum çıkış gücü, gerilimdeki azalmadan doğrudan etkilendiği için sıcaklıktaki artış, çıkış gücünün azalmasına neden olmaktadır.

## 2.3. Kısmi Gölgeleme Koşullarının Etkisi (Effect of Partial Shading Conditions)

Genelde MGNT metodlarının çoğu, tüm panellerin aynı atmosferik koşullarda çalıştığını varsaymaktadır. Ancak bu varsayım her zaman doğru olmayabilir [9]. Güneş panellerinin performansını etkileyen faktörlerden biri de gölgelemedir. Bir güneş panelinin güç üretim verimi gölgelemeye çok duyarlıdır. Güç kaybı, panelin gölgeli olan alanına ve gölgeleme türüne bağlıdır [15]. Hareket eden bulutlar, ağaçların, binaların veya diğer nesnelerin gölgesi panelde kısmi gölgelemeye neden olabilmektedir [9]. Kısmi gölgeleme koşulları FV hücrede sıcak nokta olayına neden olmakta, gölgeli panel diğer gölgeli olmayan paneller tarafından üretilen gücü tüketmekte ve seri bağlantılı panellerin akımını gölgeli olanın akımıyla sınırlamaktadır. Bu durumun üstesinden gelebilmek için her bir panele paralel olarak bypass diyotlar bağlanmaktadır. Normal çalışmada, bu diyotlar ters çevrilir ve herhangi bir etkisi yoktur. Ancak kısmi gölgeleme koşulları altında ön eğilimli hale gelmekte ve gölgeli panelin akımını taşımaktadır. Bypass diyotların varlığı ise modülün karakteristik eğrisini daha karmaşık hale getirmekte ve birden fazla tepe noktası oluşmasına neden olmaktadır [6,16,17].



**Şekil 2.** Farklı ışınım değerleri altında FV modülün (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim karakteristik eğrileri ((a) Current-voltage and (b) power-voltage characteristic curves of PV module under different radiation values)



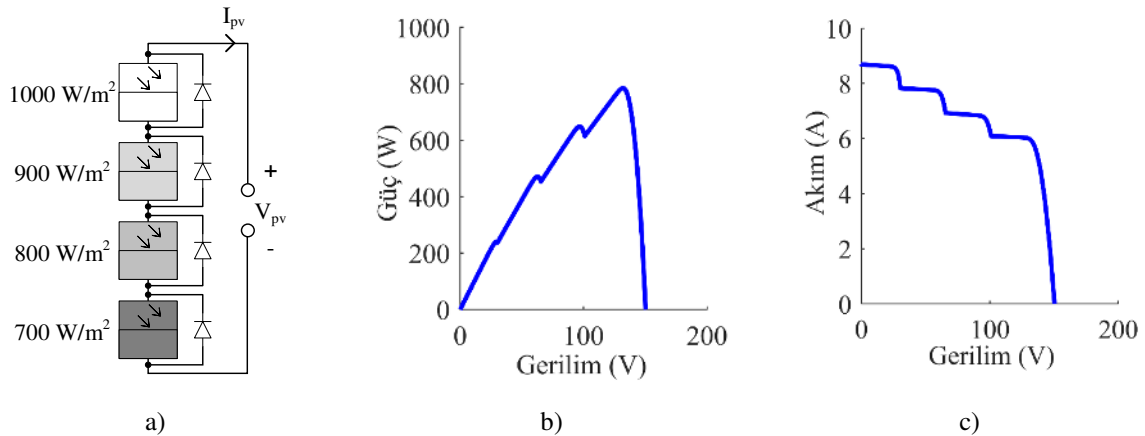
**Şekil 3.** Farklı sıcaklık değerleri altında FV modülün (a) akım-gerilim ve (b) güç-gerilim karakteristik eğrileri ((a) Current-voltage and (b) power-voltage characteristic curves of PV module under different temperature values)

Tepe noktalarının sayısı paneldeki farklı ışınım seviyesinin sayısı ile aynıdır. Kısmi gölgeleme koşullarında güç-gerilim eğrisinde birkaç tane yerel maksimum güç noktası ve bir tane global maksimum güç noktası vardır [16]. Bu durum üretilen güçte azalma ile sonuçlanabilmektedir. Kısmi gölgeleme koşulları altında geleneksel maksimum güç noktası takipçileri global maksimum güç noktasını belirlerken başarısız olmakta ve yerel bir maksimum güç noktasına yönelebilmektedir [6,9,18]. Şekil 4'de bu çalışmada kullanılan FV modülün gölgeleme konfigürasyonlarından biri ve bu

konfigürasyonun güç-gerilim ve akım-gerilim karakteristik eğrileri verilmiştir.

### 2.3. DA-DA Yükselten Dönüştürücü (DC-DC Boost Converter)

Bugüne kadar önerilen çeşitli MGNT algoritmalarının amacı, dönüştürücünün görev oranını kontrol etmektir [19]. FV sistemin maksimum güç noktasında çalışmasını sağlamanın anahtarı, sisteme bir güç elektroniği dönüştürücü devresi eklemektir.

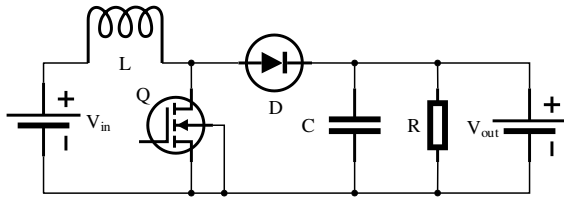


**Şekil 4.** (a) FV modülün kısmi gölgeleme konfigürasyonu (b) Güç-gerilim karakteristik eğrisi (c) Akım-gerilim karakteristik eğrisi ((a) Partial shading configuration of the PV module (b) Power-voltage characteristic curve (c) Current-voltage characteristic curve)

A-DA yükselten dönüştürücü, güneş paneli ve yük DA-DA yükselten dönüştürücü, görev oranını değiştirerek doğru akım çıkışı kontrol ettiği için sistemin en önemli bileşenlerinden biridir. D arasında değişken empedans görevi görmektedir. Dönüştürücü çevresel koşullara göre maksimum güç noktası değiştiğinde MGNT ile birlikte maksimum güç noktasını izlemektedir [21]. DA-DA yükselten dönüştürücü bobin, diyot, kontrollü güç anahtarlama elemanı, kondansatör ve yükten oluşan bir devre yapısıdır. Dönüştürücünün görev döngüsü Eşitlik 10 ile ifade edilir. Bu ifade sayesinde görev oranı değiştirilerek istenen çıkış gerilimi elde edilebilir [20].

$$D = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}} \quad (10)$$

Eşitlik 10'da D görev oranını,  $V_{in}$  giriş gerilimini,  $V_{out}$  ise çıkış gerilimini temsil etmektedir. Anahtar iletimdeyken akım bobin ve kontrollü güç anahtarlama elemanı üzerinden geçer ve bu sebeple bobin üzerinde enerji depolanır. Aynı zamanda diyot ters polaritede olup, çıkıştaki yükü C kondansatörü besler. Güç anahtarlama elemanı kesimdeyken ise dönüştürücünün çıkış gerilimi, bobin gerilimi ve kaynak geriliminin toplamıdır. Böylece kondansatör giriş geriliminden daha yüksek bir çıkış gerilimine şarj edilmiş olur [20]. Şekil 5.'de DA-DA yükselten dönüştürücünün devresi verilmiştir.

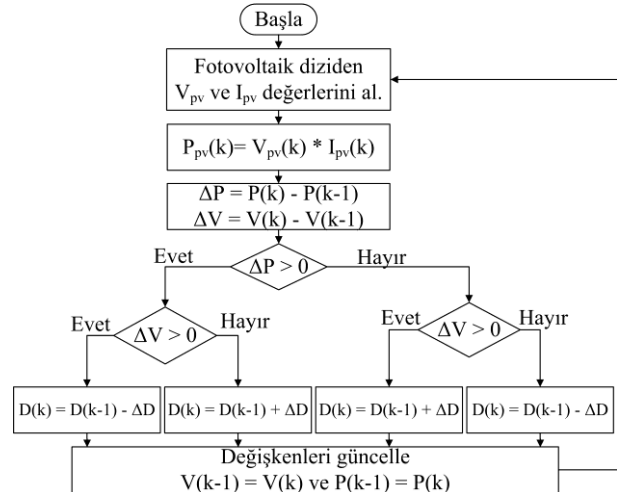


Şekil 5. DA-DA yükselten dönüştürücü devresi (DC-DC boost converter circuit)

### 3. MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP YÖNTEMLERİ (MAXIMUM POWER POINT TRACKING METHODS)

#### 3.1. D&G Algoritması (P&O Algorithm)

D&G algoritması sadece birkaç parametre içermesi ve basit bir geri besleme yapısına sahip olması, düşük maliyeti, uygulama kolaylığı ve iyi bir performansa sahip olmasından dolayı maksimum güç noktasını takip etmek için yaygın olarak kullanılan bir MGNT yöntemidir. Bu yöntem atmosferik koşullar sabitken maksimum güç noktasına yakın salınım yapar, ancak ışınım ve sıcaklık hızla değiştiğinde maksimum güç noktasını hızlı bir şekilde izleyemez [8,21]. Güç farkı ve gerilim farkının pozitiflik veya negatiflik durumuna göre algoritma gerilimi artırır veya azaltır. Bununla birlikte görev döngüsü de değiştirir ve bu işlem maksimum güç noktasına ulaşılan kadar devam eder [22-23]. D&G algoritmasının çalışmasını anlatan akış diyagramı Şekil 6.'da verilmiştir.



Şekil 6. D&G algoritmasının akış diyagramı (Flowchart of P&O algorithm)

#### 3.2. PSO Algoritması (PSO Algorithm)

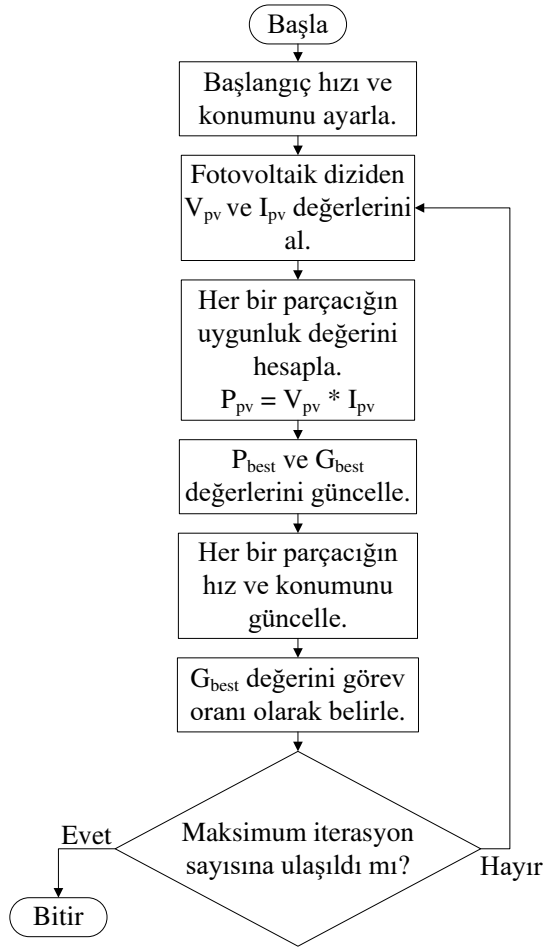
PSO kuş ve balık gibi sürüye sahib canlıların eylemlerinden esinlenilerek, Dr. Eberhart ve Dr. Kennedy tarafından 1995 yılında geliştirilmiş, olasılıksal bir algoritmadır [24]. PSO geleneksel olmayan, zeki, basit ve etkili bir meta sezgisel yaklaşımdır [25]. PSO, bir optimizasyon probleminin potansiyel çözümünü, n boyutlu bir alanda kuşa benzeyen, arama alanındaki konumunu önceki deneyimlerine ve komşularının deneyimine göre ayarlayan bir nokta gibi ele alır. Kütle ve hacmi olmayan, hızı ve konumuyla tanımlanan bu nokta genellikle parçacık olarak adlandırılır. Popülasyondaki her bir parçacık optimizasyon probleminin çözümünü temsil eder [6, 27].

Algoritma başladıktan sonra parçacıklar hız ve konumlarını günceller ve iteratif olarak en uygun konumu bulurlar. Her iterasyonda, her bir parçacık en iyi iki değerle güncellenir. Birinci değer, sürüdeki her bir parçacığın kişisel en iyi çözümüdür. Bu değer yerel en iyi ( $P_{best,i}$ ) olarak adlandırılır. İkinci değer, sürüdeki tüm parçacıkların en iyi çözümüdür ve global en iyi ( $G_{best}$ ) olarak adlandırılır [27]. İterasyon sırasında, her bir parçacığın bir uygunluk fonksiyonu tarafından belirlenen uygunluk değeri ve parçacığın uçuş yönünü ve mesafesini belirlemek için kullandığı bir hızı vardır [28]. Arama işlemi sırasında, en iyi iki değer  $P_{best,i}$  ve  $G_{best}$  bulunduğundan sonra, her parçacığın hızı ve konumu Eşitlik 11 ve Eşitlik 12'ye göre güncellenir [27].

$$x_i(k+1) = x_i(k) + V_i(k+1) \quad (11)$$

$$V_i(k+1) = w * V_i(k) + c1r1 * ...$$

$$(P_{best,i} - x_i(k)) + c2r2 * (G_{best} - x_i(k)) \quad (12)$$



Şekil 7. PSO algoritması akış diyagramı (PSO algorithm flowchart)

Denklem 11 ve Denklem 12’de  $i$  parçacık sayısını,  $k$  iterasyon sayısını,  $w$  eylemsizlik ağırlığını,  $r1$  ve  $r2$  0 ile 1 aralığında dağıtılmış rastgele değişkenleri,  $c1$  ve  $c2$  hızlandırma katsayılarını,  $P_{best,i}$   $i$ . parçacığın kişisel en iyi pozisyonunu,  $G_{best}$  tüm sürü içerisindeki parçacıkların en iyi pozisyonunu,  $x_i$   $i$ . Parçacığın pozisyonunu,  $V_i$   $i$ . Parçacığın hızını ifade eder.

$c1$ ,  $c2$  ve  $w$  parametreleri, global aramayı ve global en iyi çözüme yakınsamayı etkili bir şekilde kontrol etmek için kullanılır [16]. Eylemsizlik ağırlığı  $w$ , yerel ve global arama işlemi arasındaki dengeyi sağlamak için kullanılmaktadır. Eylemsizlik ağırlığı değeri  $w$ , 0 ile 1 arasında bir değere ayarlanır [6,27]. Hızlandırma katsayıları  $c1$ , parçacığın bilişsel bileşenini ve  $c2$  de sosyal bileşenini etkiler. Optimum yakınsamaya yönelik araştırma, bu iki bileşen tarafından yönlendirilir. Bu nedenle, bu iki bileşenin düzgün kontrolü çok önemlidir. Bilişsel bileşen, sürüdeki bir parçacığın kendi yerel en iyi konumlarına göre hareket etmesi yeteneğini kontrol eder yani parçacıkların  $P_{best,i}$  değerine doğru hareket etmesini sağlar. Sosyal bileşen global optimum çözümü bulmada parçacıkların ortak etkisini temsil eder. Sosyal bileşen, parçacıkları her zaman şimdiye kadar bulunan en iyi global parçacığa yani  $G_{best}$  değerine doğru çeker [16].

Her parçacığın pozisyonu bir uygunluk fonksiyonu ile değerlendirilir [31]. Bu çalışmada dönüştürücünün görev oranı  $D$  olarak alınır ve parçacığın uygunluk değeri, tüm PV sistemi tarafından üretilen FV gücü  $P_{pv}$ ’dir [6]. Her bir parçacığın uygunluk değerini hesaplamak için çıkış gerilimi ( $V_{pv}$ ) ve çıkış akımı ( $I_{pv}$ ) kullanılır. Global ve yerel en iyi pozisyonlar belirli bir çalışma gerilimi ve akımından ne kadar güç üretileceğiyle tanımlanır. Üretilen en yüksek güç sürünün en iyisidir [29]. Maksimum yinleme sayısı sağlandığında PSO arama işlemi sonlandırılır [29]. Şekil 7.’de PSO algoritmasının MGNT işleminde nasıl kullanıldığını gösteren akış diyagramı verilmiştir.

### 3.3. GKO Algoritması (CSO Algorithm)

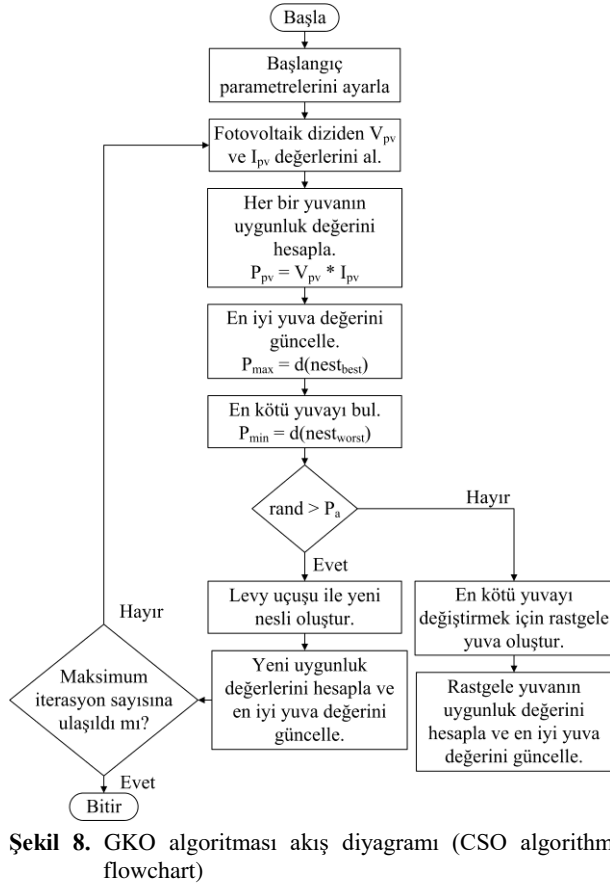
GKO algoritması, Xin-She Yang ve Suash Deb tarafından 2009’da geliştirilmiş yeni nesil meta sezgisel optimizasyon algoritmalarından birisidir. GKO algoritması bazı guguk kuşu türlerinin kuluçka parazitliği doğasını temel alan bir yaklaşımdır [12,30]. GKO algoritmasının üç ana prensibi vardır:

- ❖ Guguk kuşları rastgele seçilen bir yuvanın içine her seferinde bir yumurta bırakır.
- ❖ Yuvalar arasında kaliteli yumurtalara sahip olanlar gelecek nesle aktarılır.
- ❖ Konak yuva sayısı sabittir ve guguk kuşlarının bıraktığı yumurtalar  $p_a \in (0,1)$  olasılığı ile konak yuvanın sahibi tarafından tanınabilmektedir. Konak yuva sahibi eğer yumurtayı tanırsa yumurtayı yuvadan atmakta veya yuvayı terk etmektedir. [12,30].

Uygun bir ev sahibi kuş yuvası aramak, guguk kuşu üreme yönteminin önemli bir parçasıdır. Normalde, yuva arayışı, rastgele veya yarı rastgele bir biçimde gerçekleşen bir yiyecek arayışına benzer. Genel olarak, yiyecek ararken, hayvanlar belirli matematiksel fonksiyonlarda modellenebilecek yönleri veya yörüngeleri seçerler. En yaygın modellerden biri Lévy uçuşudur [31]. GKO algoritması, yerel maksimum noktaları elde etmesini sağlayan ve aynı zamanda global maksimum güç noktasına ulaşmak için gereken izleme süresini kısaltan Lévy uçuşunu kullanmaktadır [32]. Matematiksel olarak, bir Lévy uçuşu adım uzunlukları belirli bir olasılık dağılımına sahip adım uzunlukları cinsinden tanımlandığı rastgele bir yürüyüştür [31]. Bu algorithma yuvalardaki her yumurta bir çözümü temsil etmekte ve potansiyeli yüksek olan çözümlerin tutulması amaçlanmaktadır [33]. İterasyon sürecinde yeni bir çözüm üretmek için Lévy uçuşu Eşitlik 13’de verilmiştir [34-36]:

$$x_i^{t+1} = x_i^t + a \oplus Lévy(\lambda) \quad (13)$$





Şekil 8. GKO algoritması akış diyagramı (CSO algorithm flowchart)

Lévy uçuşu temelde rastgele bir yürüyüş sağlarken, rastgele adım uzunluğu bir Lévy dağılımından çekilir. Kavramsal olarak, rastgele adımlar için Lévy dağılımı Eşitlik 14’de formüle edilebilir [36]:

$$Lévy(\lambda) \approx t^{-\lambda}, \quad 1 < \lambda \leq 3 \quad (14)$$

$\alpha > 0$ , problemin büyüklüğüyle ilgili adım boyutu,  $t$  iterasyon sayısıdır. GKO algoritmasıyla MGNT yapılırken kontrol değişkeni olarak görev oranı seçilir. Adım boyutu  $\alpha$ , mevcut en iyi örnek ile diğer örnekler arasındaki fark olarak tanımlanır.  $\beta$  güç yasası endeksini,  $u$  ve  $v$  değerleri standart sapmaları olan olasılıksal tasarım değişkenlerini,  $\kappa$  adım katsayısını ve  $\Gamma$  gamma fonksiyonunu ifade eder. GKO algoritmasının MGNT için çalışmasını anlatan eşitlikler aşağıda verilmiştir [12]:

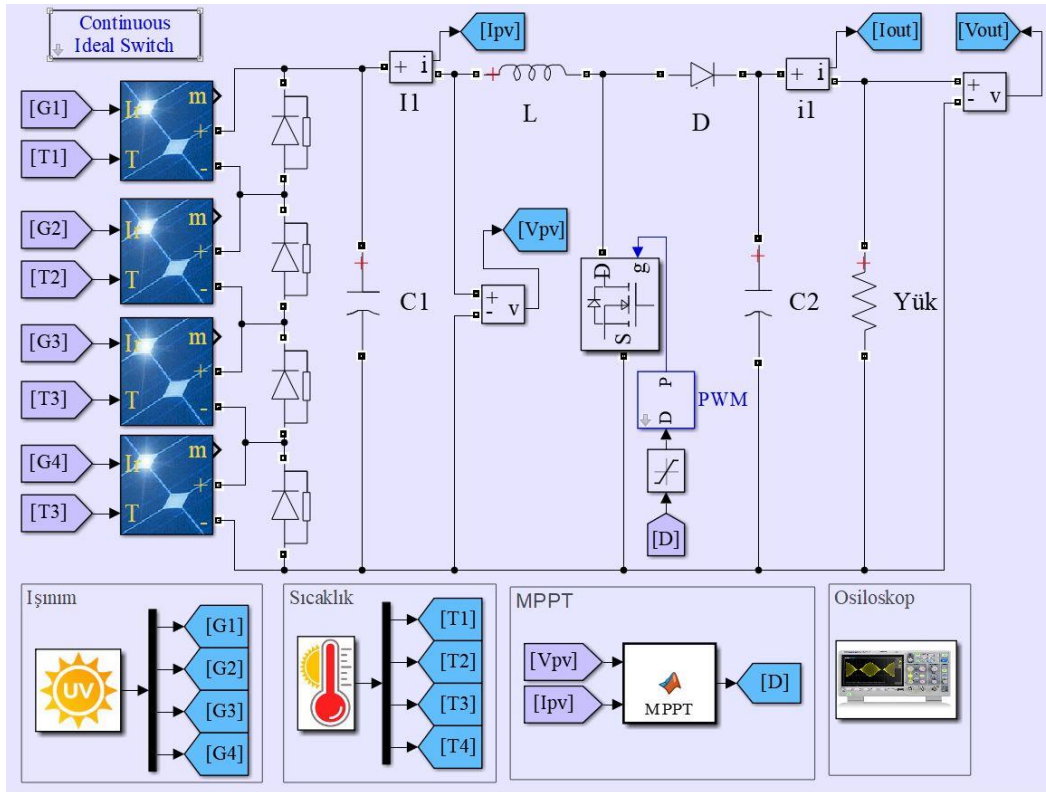
$$d_i^{t+1} = d_i^t + \kappa * \left( \frac{u}{|v|^{1/\beta}} \right) * (d_{best} - d_i) \quad (15)$$

$$u \approx N(0, \sigma_u^2) \quad (16)$$

$$v \approx N(0, \sigma_v^2) \quad (17)$$

$$\sigma_u = \left( \frac{\Gamma(1+\beta) * \sin(\pi * (\beta)/2)}{\Gamma(1+\beta) * \beta * 2^{((\beta-1)/2)}} \right)^{1/\beta} \quad \text{ve} \quad \sigma_v = 1 \quad (18)$$

Lévy uçuşu tüm parçacıklar tarafından her iterasyonda global maksimum güç noktası bulunana kadar gerçekleştirilir. Optimum bir çözüme yaklaşıldığında takip işlemi durur [12,37]. Şekil 8’de GKO algoritmasının MGNT işleminde nasıl kullanıldığını gösteren akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 9. Sistemin MATLAB/SIMULINK modeli (MATLAB / SIMULINK model of the system)

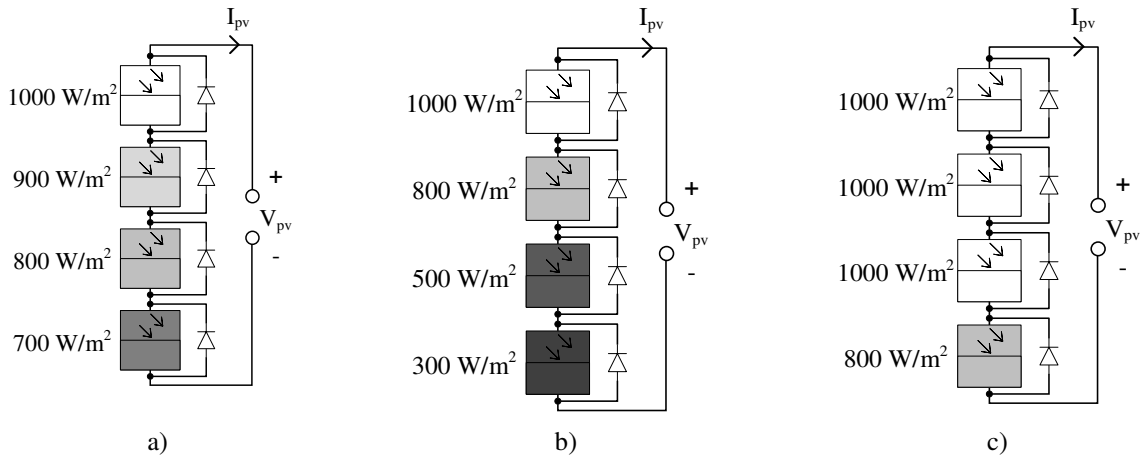
#### 4. SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI (SIMULATION STUDIES)

Bu çalışmada fotovoltaik sistemlerin kısmi gölgeleme koşulları altında D&G, PSO ve GKO algoritmalarıyla maksimum güç takibini yapılmıştır. Bu algoritmalarla global maksimum güç noktasına ulaşabilme ve takip hızları açısından kıyaslama yapılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda MATLAB/SIMULINK programında FV dizi, DA-DA yükselten dönüştürücü devre, yük ve MGNT yönteminden oluşan bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistemde FV dizinin gerilim ve akım değerleri MGNT algoritmasına ve DA-DA yükselten dönüştürücüye giriş olarak verilmektedir. Kullanılan MGNT algoritması, maksimum güç noktasına karşılık gelen optimum görev döngüsü D'yi üretmekte ve empedans eşleşmesi için DA-DA yükselten dönüştürücüye göndermektedir. Tasarlanan sistemin MATLAB/SIMULINK modeli Şekil 9.'da gösterilmiştir. FV dizi tasarlanırken dört adet FV panel birbirine seri olarak bağlanmıştır. Bu panelin parametreleri Çizelge 1.'de verilmiştir.

**Çizelge 1.** Trina Solar TSM-260PA05.08 FV panelinin parametreleri (Parameters of Trina Solar TSM-260PA05.08 PV panel)

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

Seri bağlı dört FV panel, MGNT algoritmalarının performansını daha iyi test edebilmek için üç farklı kısmi gölgeleme koşulunda konfigüre edilmiştir. Bu kısmi gölgeleme konfigürasyonları Şekil 10.'da verilmiştir. Görev döngüsünü değiştirerek çıkışı kontrol etmek amacıyla kullanılan, güneş paneli ve yük arasında



Şekil 10. Kısmi gölgeleme konfigürasyonları (Partial shading configurations)

değişken empedans görevi gören DA-DA yükselten dönüştürücü devresi tasarlanırken kullanılan parametre değerleri Çizelge 2.'de verilmiştir.

**Çizelge 2.** DA-DA yükselten dönüştürücünün parametreleri (Parameters of DC-DC boost converter)

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

D&G, PSO ve GKO algoritmalarında kullanılan değişkenlerin değerleri ise Çizelge 3.'de verilmiştir.

**Çizelge 3.** D&G, PSO, GKO algoritmalarının parametreleri (Parameters of P&O, PSO, CSO algorithms)

D&G	PSO	GKO
$\Delta D = 0,125$	$c1 = 2,0$	$p_a = 0,3$
–	$c2 = 2,0$	$\beta = 1,4$
–	$w = 0,3$	$\kappa = 0,7$

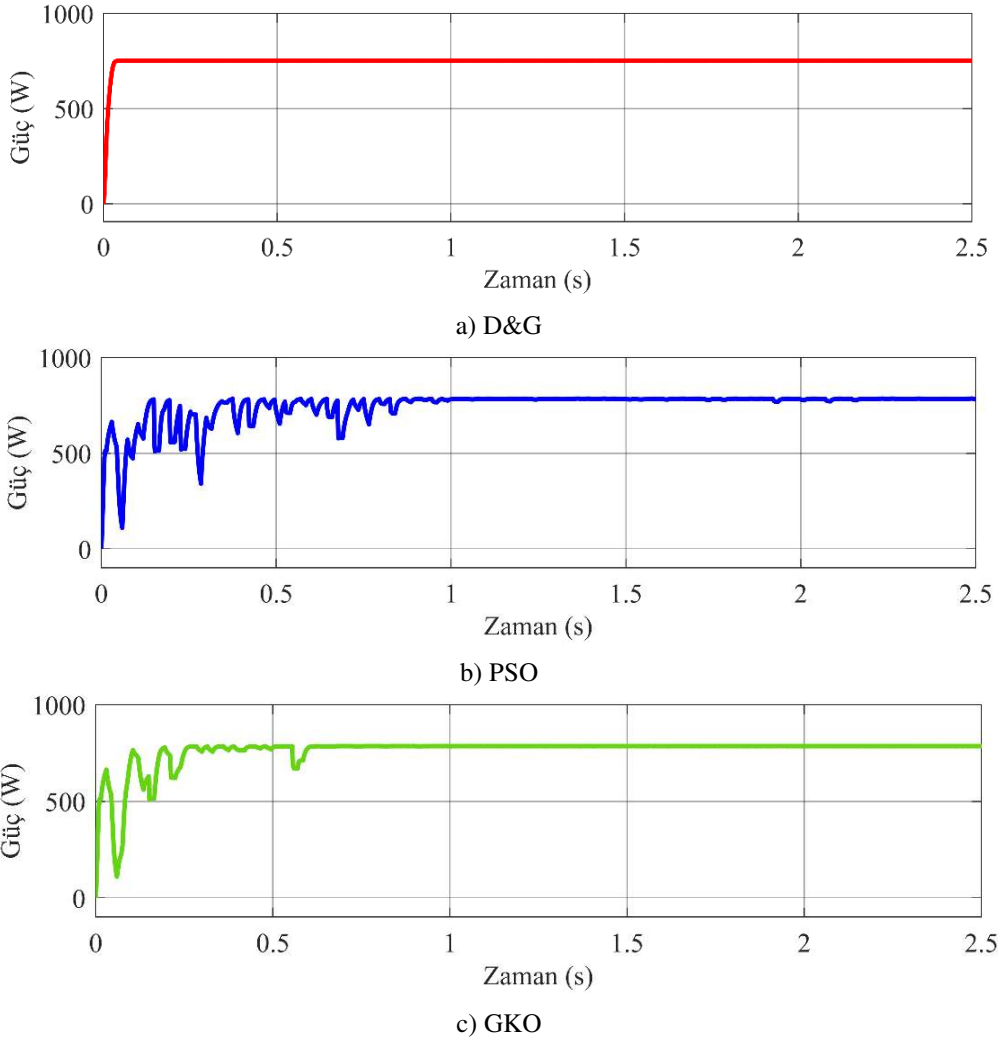
Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13.'de ise tasarlanan simülasyona ilişkin bilgiler ışığında ve çizelgelerde verilen parametre değerleri kullanılarak tasarlanan sistemin güç-zaman grafiği sonuçları verilmiştir. Her bir kısmi gölgeleme konfigürasyonunda kullanılan tüm algoritmalar 2,5 saniye boyunca çalıştırılmış ve sonuçlar birbiriyle kıyaslanmıştır. Birinci konfigürasyon 1000, 900, 800, 700  $W/m^2$  ışınım değerleri için, ikinci konfigürasyon 1000, 800, 500, 300  $W/m^2$  ışınım değerleri için, üçüncü konfigürasyon ise 1000, 1000, 1000, 800  $W/m^2$  ışınım değerleri referans alınarak oluşturulmuştur.

#### 4.1. Birinci Kısmi Gölgeleme Konfigürasyonu Çalışması (First Partial Shading Configuration Study)

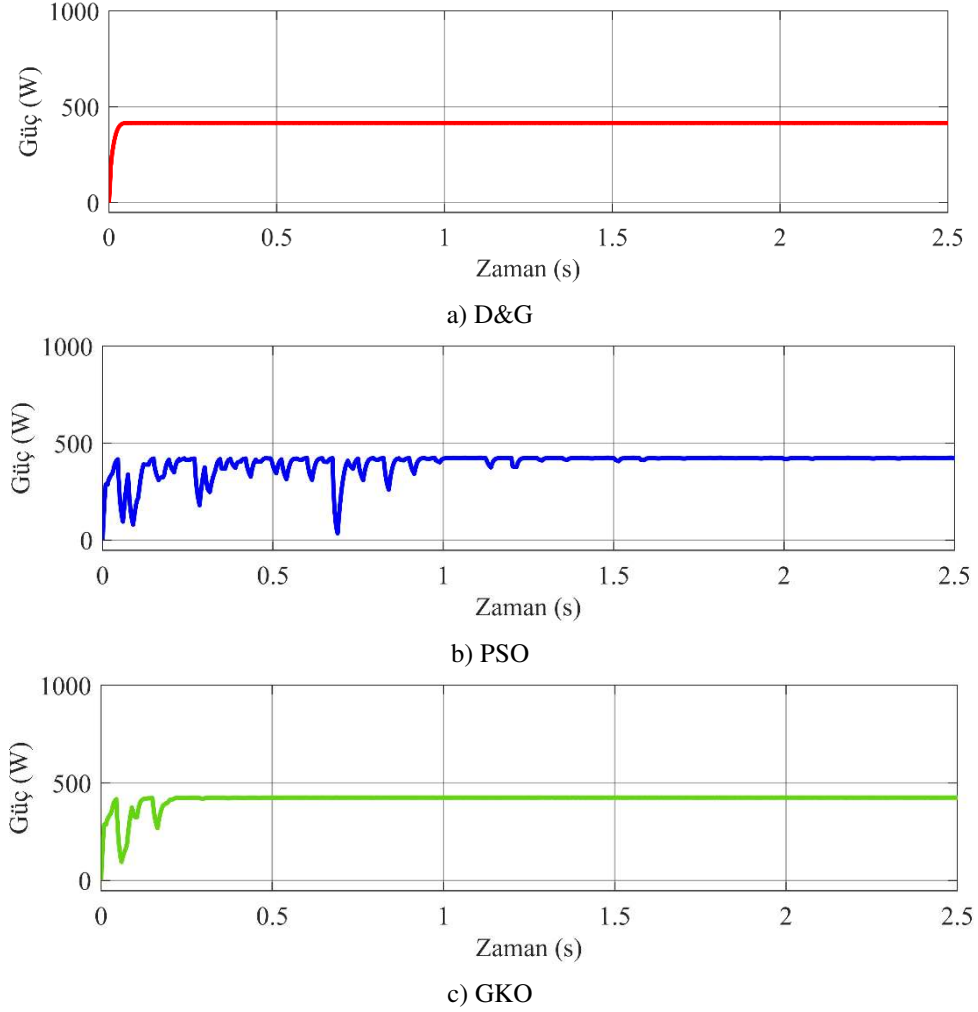
Birinci kısmi gölgeleme konfigürasyonunda algoritmaların güç-zaman grafikleri karşılaştırıldığında D&G algoritmasının 0,05 saniyede yerel maksimum güç noktasına takıldığı ve global maksimum güç noktasına ulaşamadığı görülmüştür. Global maksimum güç noktasını yakalama konusunda PSO algoritması ve GKO algoritması, D&G algoritmasına göre daha başarılı olmuştur. PSO algoritmasının 1,12 saniyede ve GKO algoritmasının 0,63 saniyede global maksimum güç noktasına ulaştığı görülmüştür. Bu gölgeleme konfigürasyonunda GKO algoritması PSO algoritmasından daha hızlı bir şekilde global maksimum güç noktasına ulaşmıştır. Çünkü GKO algoritması Lévy dağılımını kullanmaktadır bu da global maksimum güç noktasına ulaşırken takip süresini kısaltmaya yardımcı olmaktadır. D&G algoritması 752,0 W, PSO algoritması 785,2 W ve GKO algoritması 786,9W değerlerine ulaşmıştır.

#### 4.2. İkinci Kısmi Gölgeleme Konfigürasyonu Çalışması (Second Partial Shading Configuration Study)

İkinci kısmi gölgeleme konfigürasyonunda algoritmalar karşılaştırıldığında D&G algoritmasının 0,06 saniyede yerel maksimum güç noktasına takıldığı ve yine global maksimum güç noktasına ulaşamadığı görülmüştür. İlk konfigürasyonda olduğu gibi bu konfigürasyonda da D&G algoritması PSO ve GKO algoritmasına göre, global maksimum güç noktasına ulaşma konusunda başarısız olmuştur. PSO algoritmasının 1,74 saniyede ve GKO algoritmasının 0,54 saniyede global maksimum güç noktasına ulaştığı görülmüştür. Bu gölgeleme konfigürasyonunda da GKO algoritması PSO algoritmasından daha iyi bir performans sergilemiş ve daha hızlı bir şekilde global maksimum güç noktasına ulaşmıştır. D&G algoritması 416,3 W, PSO algoritması 423,3 W ve GKO algoritması 425,4 W değerlerine ulaşmıştır.



**Şekil 11.** Birinci konfigürasyonda (a) D&G, (b) PSO, (c) GKO algoritmalarının güç-zaman grafikleri (Power-time graphs of (a) P&O, (b) PSO, (c) CSO algorithms in first configuration)



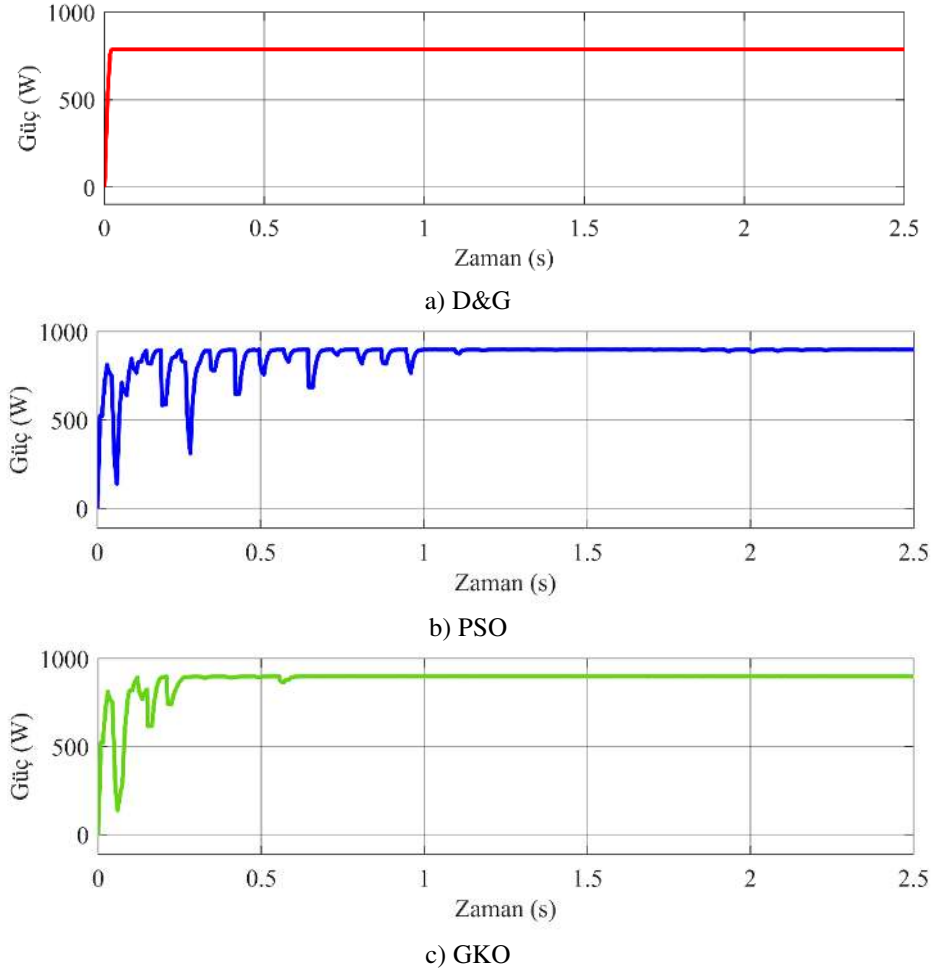
Şekil 12. İkinci konfigürasyonda (a) D&G, (b) PSO, (c) GKO algoritmalarının güç-zaman grafikleri (Power-time graphs of (a) P&O, (b) PSO, (c) CSO algorithms in second configuration)

#### 4.3. Üçüncü Kısmi Gölgeleme Konfigürasyonu Çalışması (Third Partial Shading Configuration Study)

Üçüncü kısmi gölgeleme konfigürasyonunda algoritmalar karşılaştırıldığında D&G algoritmasının 0,04 saniyede yerel maksimum güç noktasına takıldığı ve global maksimum güç noktasına ulaşamadığı görülmüştür. Diğer iki konfigürasyonda olduğu gibi bu konfigürasyonda da PSO ve GKO algoritması D&G algoritmasından daha iyi bir performans sergilemiş ve yerel maksimum güç noktalarına takılmayıp global maksimum güç noktasına ulaşmayı başarmıştır. PSO

algoritmasının 1,22 saniyede ve GKO algoritmasının 0,63 saniyede global maksimum güç noktasına ulaştığı görülmüştür. Bu gölgeleme konfigürasyonunda da GKO algoritması PSO algoritmasından daha hızlı bir şekilde global maksimum güç noktasına ulaşmıştır. D&G algoritması 789,3 W, PSO algoritması 899,2 W ve GKO algoritması 899,5 W değerlerine ulaşmıştır.

Çizelge 4.'de üç farklı kısmi gölgeleme konfigürasyonunda çalıştırılan D&G, PSO ve GKO algoritmalarının güç, gerilim, akım ve takip zamanı açısından kıyaslandığı tablo verilmiştir.



**Şekil 13.** Üçüncü konfigürasyonda (a) D&G, (b) PSO, (c) GKO algoritmalarının güç-zaman grafikleri (Power -time graphs of (a) P&O, (b) PSO, (c) CSO algorithms in third configuration)

**Çizelge 4.** Algoritmaların güç, gerilim, akım ve takip zamanı bakımından karşılaştırma tablosu (Comparison table of algorithms in terms of power, voltage, current and tracking time)

Gölgeleme	Algoritma	Güç (W)	Gerilim (V)	Akım (A)	Takip Zamanı (s)
1000 W/m <sup>2</sup> 900 W/m <sup>2</sup> 800 W/m <sup>2</sup> 700 W/m <sup>2</sup>	D&G	752,0	173,4	4,336	0,05
	PSO	785,2	177,2	4,431	1,12
	GKO	786,9	177,4	4,435	0,63
1000 W/m <sup>2</sup> 800 W/m <sup>2</sup> 500 W/m <sup>2</sup> 300 W/m <sup>2</sup>	D&G	416,3	129,0	3,226	0,06
	PSO	423,3	130,1	3,253	1,74
	GKO	425,4	130,4	3,261	0,54
1000 W/m <sup>2</sup> 1000 W/m <sup>2</sup> 1000 W/m <sup>2</sup> 800 W/m <sup>2</sup>	D&G	789,3	177,7	4,442	0,04
	PSO	899,2	189,7	4,741	1,22
	GKO	899,5	189,7	4,742	0,63

Birinci konfigürasyonda seri bağlı dört panel arasındaki ışınım farkı birbirinden eşit oranda farklıyken PSO algoritması diğer konfigürasyonlardaki takip süresine kıyasla daha kısa bir zamanda global maksimum güç noktasına ulaşmıştır. PSO algoritması en kötü performansını ise paneller arasındaki ışınım farkının değişken olduğu ikinci konfigürasyonda sergilemiştir. GKO algoritması, paneller arasındaki ışınım farkının eşit olduğu konfigürasyonda ve kısmi gölgelemenin diğer konfigürasyonlara oranla daha az olduğu üçüncü konfigürasyonda aynı sürede global maksimum güç noktasına ulaşmıştır. Ayrıca GKO algoritması ikinci konfigürasyonda diğer konfigürasyonlardaki performansına oranla daha iyi bir performans elde etmiştir. D&G algoritması ise üç konfigürasyonda da diğer algoritmalara kıyasla daha kısa sürede ama doğruluğu olmayan yerel bir maksimum güç noktasına takılmış ve başarısız olmuştur.

## 5. SONUÇLAR (CONCLUSION)

Bu çalışmada kısmi gölgeleme şartları altında FV panellerin MGNT işlemini daha verimli yapabilmelerini sağlamak için MATLAB/SIMULINK programında geliştirilen sistem üzerinde D&G, PSO, GKO algoritmaları güç, takip zamanı ve doğruluğu açısından kıyaslanmıştır. Her algoritma birbirine seri bağlı dört FV panel ve DA-DA yükselten dönüştürücü ile üç farklı kısmi gölgeleme konfigürasyonunda çalıştırılmıştır. Simülasyon çalışmalarından bu üç gölgeleme konfigürasyonunda da D&G algoritmasının global maksimum güç noktasına ulaşamayıp yerel bir maksimum güç noktasına takıldığı görülmüştür. PSO ve GKO algoritmaları global maksimum güç noktasına ulaşma konusunda D&G algoritmasına göre daha başarılı olmuştur. PSO ve GKO algoritmaları birbiriyle kıyaslandığında ise GKO algoritmasının PSO algoritmasından daha hızlı bir şekilde global maksimum güç noktasına ulaştığı görülmüştür. İlerleyen aşamalarda tasarlanan sistemin GKO algoritması kullanılarak ve gerçek zamanlı verilerle çalıştırılarak farklı panel modelleri için verim analizlerinin gerçekleştirilmesi öngörülmektedir.

## ETİK STANDARTLARIN BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler.

## YAZARLARIN KATKILARI (AUTHORS' CONTRIBUTIONS)

**Zeynep GÜMÜŞ:** Simülasyonları yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir. Makalenin yazım işlemini gerçekleştirmiştir.

**Mehmet DEMİRTAŞ:** Teorik bölümleri yazmış, kavramsallaştırma ve İnceleme işlemlerini gerçekleştirmiştir. Simülasyonları yapmış ve sonuçlarını analiz etmiştir.

## ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Bu çalışmada herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

## KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Bholane R.R., Babu P.S., "Grid connected PV System using FB-PSO", *International Conference on Smart Electric Drives S& Power System (ICSEDPS)*, (2018).
- [2] Cetinbas, I., Tamyürek, B., and Demirtas, M., "Energy management of a PV energy system and a plugged-in electric vehicle based micro-grid designed for residential applications," *2019 8th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, Brasov, Romania, 991-996, (2019).
- [3] Çetinbaş, I., Tamyürek, B., and Demirtaş, M., "Design, analysis, and optimization of a hybrid microgrid system using HOMER software: Eskişehir Osmangazi University Example", *Int. Journal of Renewable Energy Development*, 8(1): 65-79, (2019).
- [4] Colak, I., Demirtas, M., and Kabalci, E., "Design, optimisation and application of a resonant DC link inverter for solar energy systems", *COMPEL - The international journal for computation and mathematics in electrical and electronic engineering*, 33(5): 1761-1776, (2014).
- [5] Koad R.B.A, Zobaa A.F. and El-Shahat A., "A novel MPPT algorithm based on particle swarm optimization for photovoltaic systems", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 8: 468-476, (2017).
- [6] Sawant P.T. and Bhattar C.L., "Optimization of PV system using particle swarm algorithm under dynamic weather conditions", *2016 IEEE 6th International Conference on Advanced Computing (IACC)*, Bhimavaram, 208-213, (2016).
- [7] Chen L.R., Tsai C.H., Lin Y.L. and Lai Y.S. "A biological swarm chasing algorithm for tracking the PV maximum power point", *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 25: 484-493, (2010).
- [8] Kollimala S.K. and Mishra M.K., "Adaptive perturb & observe MPPT algorithm for photovoltaic system", *2013 IEEE Power and Energy Conference at Illinois (PECI)*, Champaign, IL, 42-47, (2013).
- [9] Anoop K. and Nandakumar M., "A novel maximum power point tracking method based on particle swarm optimization combined with one cycle control", *2018 International Conference on Power, Instrumentation, Control and Computing (PICC)*, Thrissur, 1-6, (2018).
- [10] Manickam C., Raman G.R., Raman G.P., Ganesan S.I. and Nagamani C., "A hybrid algorithm for tracking of gmp based on P&O and PSO with reduced power oscillation in string inverters", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 63: 6097-6106, (2016).
- [11] Fang G.J. and Lian K.L., "A maximum power point tracking method based on multiple perturb-and-observe method for overcoming solar partial shaded problems", *2017 6th International Conference on Clean Electrical Power (ICCEP)*, Santa Margherita Ligure, 68-73, (2017).

- [12] Nugraha D.A., Lian K.L. and Suwarno "A novel MPPT method based on cuckoo search algorithm and golden section search algorithm for partially shaded pv system", *Canadian Journal of Electrical and Computer Engineering*, 42:173-182, (2019).
- [13] Rakotomananandro, F.F., "Study of photovoltaic system", *Yüksek Lisans Tezi*, The Ohio State University, Electrical and Computer Science Program, (2011).
- [14] Suryavanshi R., Joshi D.R. and Jangamshetti S.H., "PSO and P&O based MPPT technique for spv panel under varying atmospheric conditions", *2012 International Conference on Power, Signals, Controls and Computation*, Thrissur, Kerala, 1-6, (2012).
- [15] Azharuddin M, "Effects of shading on the power of photovoltaic arrays", *Yüksek Lisans Tezi*, Purdue University, (2012).
- [16] Sagonda A.F. and Folly K.A., "Maximum power point tracking in solar PV under partial shading conditions using stochastic optimization techniques", *2019 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, Wellington, New Zealand, 1967-1974, (2019).
- [17] Chong B.V.P, Modelling and control of integrated photovoltaic-module and converter systems for partial shading operation using artificial intelligence, *Doktora Tezi*, The University of Leeds, (2010).
- [18] Elewa A., Elkholy M.M. and El-arini M., "Adaptive MPPT for PV systems under partial shadow condition and different loads using advanced optimization techniques", *2017 Nineteenth International Middle East Power Systems Conference (MEPCON)*, Cairo, 152-162, (2017).
- [19] Behera T.K., Behera M.K. and Nayak N., "Spider monkey based improve P&O MPPT controller for photovoltaic generation system", *2018 Technologies for Smart-City Energy Security and Power (ICSESP)*, Bhubaneswar, 1-6, (2018).
- [20] Vijayakumar G. and Hemakumar K., "Development of low cost high efficient DC-DC converter for photovoltaic system with fast converging MPPT algorithm", *2013 International Conference on Renewable Energy and Sustainable Energy (ICRESE)*, Coimbatore, 98-104, (2013).
- [21] Dhivya P. and Kumar K.R., "MPPT based control of sepic converter using firefly algorithm for solar PV system under partial shaded conditions", *2017 International Conference on Innovations in Green Energy and Healthcare Technologies (IGEHT)*, Coimbatore, 1-8, (2017).
- [22] Nigam A. and Gupta A.K., "Performance and simulation between conventional and improved perturb&observe MPPT algorithm for solar PV cell using MATLAB/Simulink", *2016 International Conference on Control, Computing, Communication and Materials (ICCCCM)*, Allahbad, 1-4, (2016).
- [23] Riby J., Sheik M.S. and Richu Z., "Variable step size perturb and observe Mppt algorithm for standalone solar photovoltaic system", *2017 IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing (INCOS)*, Srivilliputhur, 1-6, (2017).
- [24] Sun Y., Lou Z., Xi Z., Bao Z., Li X. and Yan W., "Composite MPPT control algorithm with partial shading on PV arrays", *2018 IEEE 4th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC)*, Chongqing, China, 898-902, (2018).
- [25] Chaieb H. and Sakly A., "Comparison between P&O and P.S.O methods based mppt algorithm for photovoltaic systems", *2015 16th International Conference on Sciences and Techniques of Automatic Control and Computer Engineering (STA)*, Monastir, 694-699, (2015).
- [26] Dwivedi M., Mehta G., Iqbal A. and Shekhar H., "Performance enhancement of solar PV system under partial shaded condition using PSO", *2017 8th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*, Delhi, 1-7, (2017).
- [27] Azab M., "Optimal power point tracking for stand-alone PV system using particle swarm optimization", *2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*, Bari, 969-973, (2010).
- [28] Liu G., Zhu J., Tao H., Wang W. and Blaabjerg F., "A MPPT algorithm based on PSO for PV array under partially shaded condition", *2019 22nd International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS)*, Harbin, China, 1-5, (2019).
- [29] Teo K.T.K., Lim P.Y., Chua B.L., Goh H.H. and Tan M.K., "Maximum power point tracking of partially shaded photovoltaic arrays using particle swarm optimization", *2014 4th International Conference on Artificial Intelligence with Applications in Engineering and Technology*, Kota Kinabalu, 247-252, (2014).
- [30] Yang X.S., "Nature-inspired metaheuristic algorithms", *University of Cambridge*, LuniverPress, Second Edition, United Kingdom, (2010).
- [31] Ahmed J. and Salam Z., "A soft computing MPPT for PV system based on cuckoo search algorithm", *4th International Conference on Power Engineering, Energy and Electrical Drives*, Istanbul, 558-562, (2013).
- [32] Pant S. and Saini R.P., "Comparative study of MPPT techniques for solar photovoltaic system", *2019 International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON)*, ALIGARH, India, 1-6, (2019).
- [33] Ayas S., Doğan H., Gedikli E. and Ekinci M., "Sürü zekâsı optimizasyon algoritmaları tabanlı mikroskobik görüntü segmentasyonu", *Akıllı Sistemler ve Uygulamaları Dergisi*, 1: 291-297, (2018).
- [34] Peng B.R., Ho K.C. and Liu Y.H., "A novel and fast MPPT method suitable for both fast changing and partially shaded conditions", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 65: 3240-3251, (2018).
- [35] Ho K.C., Lin C.C., Bagci F.S., Wang S.C. and Liu Y.H., ChengY.S., "Comparison of swarm intelligence based global maximum power point tracking methods for photovoltaic generation system", *2019 10th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE 2019 - ECCE Asia)*, Busan, Korea (South), 2019, 1-6, (2019).
- [36] Kalaam R.N.A., "Controller parameter optimization for photovoltaic system using metaheuristic algorithm", *Yüksek Lisans Tezi*, United Arab Emirates University, Electrical Engineering, (2015).
- [37] Köse U., "Zeki optimizasyon tabanlı destek vektör makineleri ile diyabet teşhisi", *Politeknik Dergisi*, 22: 557-566, (2019).