



# Kahramanmaraş Sütçü İmam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 22.06.2023  
Kabul Tarihi : 23.10.2023

Received Date : 22.06.2023  
Accepted Date : 23.10.2023

## PARÇALI GÖLGELENME DURUMUNDA YAPAY SİNİR AĞLARI VE PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU TABANLI BİR MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ ALGORİTMASI

### A MAXIMUM POWER POINT TRACKING ALGORITHM BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORK AND PARTICLE SWARM OPTIMIZATION IN PARTIAL SHADING

Elif BALDAN<sup>1\*</sup> (ORCID: 0009-0007-1248-4064)  
Hüseyin ERİŞTİ<sup>1</sup> (ORCID: 0000-0003-1474-9170)

<sup>1</sup> Mersin Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mersin, Türkiye

\*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Elif BALDAN, ebaldan@mersin.edu.tr

#### ÖZET

Fotovoltaik (photovoltaic - PV) sistemlerde maksimum güç noktası takibi (MGNT) yapılırken gerçek koşullarda parçalı gölgeleme durumu oluşmaktadır. Bu makalede parçalı gölgeleme koşullarını incelemek için MATLAB/Simulink'te PV paneller ve yükseltici dönüştürücüden oluşan bir PV sistem oluşturulmuştur. Geleneksel ve yapay zeka tabanlı MGNT algoritmaları bu sistem üzerinde uygulanmıştır. Maksimum güç noktasını (MGN) takip etmek için geleneksel yöntem olan Değiştir ve Gözle algoritması ve Yapay Sinir Ağları (YSA) tekniği kullanılmıştır. Klasik YSA tekniğinin yanısıra Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) ile hibrit bir teknik oluşturulmuştur. Farklı senaryolar ile ilk olarak parçalı gölgeleme durumu simülasyon olarak oluşturulmuştur. Algoritmaların doğruluğunu desteklemek için hem güneşli hem de bulutlu olmak üzere iki güne ait gerçek zamanlı ışınım verileri toplanarak MATLAB/Simulink'te oluşturulan PV sistemde analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda PSO tabanlı YSA tekniği diğer algoritmalara göre daha verimli bir şekilde MGN'yi izlediği gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile parçalı gölgeleme durumunda MGNT üzerine yapılan çalışmalara katkı sağlanmaktadır ve yapay zeka algoritmalarının farklı bir alan olan PV sistemler için kullanımı gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Fotovoltaik panel, değiştir ve gözle metodu, parçalı gölgeleme, yapay sinir ağları, parçacık sürü optimizasyonu

#### ABSTRACT

In photovoltaic (PV) systems, partial shading occurs under real conditions when maximum power point tracking (MPPT) is performed. In this paper, a PV system consisting of PV panels and a boost converter is created in MATLAB/Simulink to investigate the partial shadowing conditions. Conventional and artificial intelligence-based MGNT algorithms are applied to this system. In order to track the maximum power point (MPP), the traditional method of the Perturb and Observe algorithm and Artificial Neural Networks (ANN) technique are used. In addition to the classical ANN technique, a hybrid technique was created with Particle Swarm Optimization (PSO). First, the partial shading situation was simulated with different scenarios. To support the accuracy of the algorithms, real-time irradiance data for two days, both sunny and cloudy, were collected and analyzed in MATLAB/Simulink on the PV system. As a result of the analysis, it was observed that the PSO-based ANN technique tracks MPP more efficiently than other algorithms. This study contributes to the studies on MGNT in the case of partial shading and demonstrates the use of artificial intelligence algorithms for PV systems, which is a different field.

**Keywords:** Photovoltaic panel, perturb and observe, partial shading, artificial neural network, partical swarm optimization

ToCite: BALDAN, E., & ERİŞTİ, H., (2023). PARÇALI GÖLGELENME DURUMUNDA YAPAY SİNİR AĞLARI VE PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYONU TABANLI BİR MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ ALGORİTMASI. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(4), 895-908.

## GİRİŞ

Enerjiye olan ihtiyaç, toplum nüfusunun ve hayat gereksiniminin artmasıyla gittikçe artmaktadır. Hayati bir unsur haline gelen elektrik enerjisi üretiminde çoğunlukla fosil yakıtlar kullanılmaktaydı. Fakat yenilenme hızı tüketim hızından daha yavaş olduğu için fosil yakıtlar hızla azalmaktadır. Kullanıldığı zaman ortaya çıkan sera gazı nedeniyle hava kirliliğine ve küresel ısınmaya yol açması gibi yan etkiler yeni enerji üretme arayışları doğurmuştur. Bu açıdan güneş enerjisi yenilenebilir, temiz ve sınırsız olması gibi avantajlar sağladığı için son dönemlerde gözde hale gelmiştir (Farah vd., 2020). Fotovoltaik (photovoltaic-PV) panellerden elektrik üretiminin en önemli dezavantajı ışınım ve sıcaklığın gün içinde değişmesine neden olan çevresel koşullardır. Bulutlanma veya sis koşulları ışınımı en çok etkileyen etkidir. Bu yüzden PV yapılardan optimum veya maksimum güç üretiminin sağlanılmak istenmesi kaçınılmaz bir durumdur. PV panel yapısında tepe gücü doğrusal bir şekilde tek bir noktada alınamamaktadır (Sai vd., 2023). Maksimum güç noktası takibi (MGNT) algoritmaları tepe gücünü izleyip çalışma noktasını ayarlayarak güç çıkışı en üst seviyeye çıkarmayı amaçlamaktadır. Bu sayede panel uyumsuzluğunu ve kısmi gölgelenme durumunu gidererek sistemin verimliliğine katkıda bulunmaktadır (Ahmed vd., 2023). Bu noktada maksimum güç noktasına (MGN) ulaşabilmek için birçok algoritma geliştirilmiştir.

Geleneksel algoritma ile ilgili çeşitli çalışmalar yapılmıştır (Mittal vd., 2020). Ancak geleneksel MGNT algoritmaları parçalı gölgelenme durumunda maksimum noktayı bulmada zorlanmaktadır (Javed & Ishaque, 2022). Dolayısıyla sürü tabanlı başta olmak üzere çeşitli yapay zeka tabanlı MGNT algoritmaları literatürde yer almaktadır. Bollipo vd. (2021) literatürde yer alan PV sistemlere uygulanmış MGNT tekniklerinin genel bir incelemesini ve çeşitli donanımlara ait güncel yayınları sunmaktadır. Benzer derleme çalışmaları da bulunmaktadır (örn: Wasim vd., 2022; Elbarbary & Alranini, 2021; Mao vd., 2020).

PV panelden elde edilen enerjiyi en optimum noktada tutmak için Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Yapay Sinir Ağları (YSA) gibi çeşitli algoritmalar kullanılmıştır: PSO ile ilgili birçok MGNT çalışmaları bulunmaktadır (Miyatake vd., 2007). Orijinal PSO'nun yanısıra performansı iyileştirmek için farklı yapılar da geliştirilmiştir. Li vd. (2019) parçalı gölgelenme altında MGNT için PSO algoritmasına dayalı yeni bir genel dağıtım MGNT algoritması önermiştir. Priyadarshi vd. (2020) uyarlanabilir bir nöro-bulanık çıkarım sistemi-PSO dayalı MGNT algoritması ile sıfır salınımlı ve maksimum çıkış gücüne ulaşabilmişlerdir. Obukhov vd. (2020) PV sistemi göz önünde bulundurarak PSO algoritması ile dönüştürücü modelinin parametrelerini oluşturmaya çalışmışlardır. Diğer bir çalışmada ise farklı çevresel koşullar altında PV sistemden elde edilen gücün MGN'ye ulaşmak için daha iyi bir performansa sahip olan değiştirilmiş-PSO geliştirmişlerdir (İbrahim vd., 2020). Pragallapati vd. (2017) yaptıkları uyarlanabilir PSO algoritması ile dinamik ve statik performans incelemesi yapmıştır. Uyarlanabilir yapısı sayesinde parametreler hesaplanarak MGN'ye ulaşma süresi ve güç verimi iyileştirilmiştir. Majeed vd. (2023) ise yaptığı çalışmada dinamik gölgelenme koşulları altında iki geleneksel MGNT algoritması ve PSO'ya dayalı MGNT algoritmasının karşılaştırması yapılmıştır. Diğer bir çalışmada ise kısmi gölgelenme durumunda PSO'ya dayalı MGNT algoritması ile çalışma uzunluğu dağılımı yapılmıştır. Ayrıca PSO algoritmasını parametreleri iyileştirilerek uyarlanabilir PSO algoritmasını geliştirmişlerdir (Javed & Ishaque 2022).

YSA ile ilgili yapılan çalışmalarda ise Bouselham vd. (2016) yaptıkları çalışmada farklı MGNT karşılaştırmaları sunmuşlardır. YSA ile yapılan tekniğin verimliliğinin daha yüksek olduğunu görmüşlerdir. Farklı dönüştürücü yapılarında YSA tekniğine dayalı MGNT algoritması ile kısmi gölgelenme koşullarında performans analizleri yapılmıştır (Divyasharon vd., 2019). Diğer bir çalışmada ise YSA tekniği ile oluşturulan MGNT algoritması önerilmiştir. Önerilen algoritma diğer algoritmalarla karşılaştırılarak hız verimlilik açısından daha iyi bir performansa ve daha az karmaşıklığa sahip olduğu gözlemlenmiştir (Zhang vd., 2019). YSA ile ilgili farklı olarak hibrit çalışmalar yapılmıştır. Fathi ve Parian (2021) üç farklı algoritmaya dayalı YSA ile hibrit yöntemler üzerine karşılaştırma yapmıştır. Benzer bir çalışmada ise önerilen hibrit yöntem ile parçalı gölgelenme durumunda çeşitli senaryolarla verimlilik amacıyla testler gerçekleştirmişlerdir Hashim vd. (2021) YSA ile hibrit olan diğer bir çalışmada ise Rahman ve Islam (2020) PSO ile YSA tekniğini birleştirerek doğru bir başlangıç konumu ile MGN'yi bulmayı hızlandırmışlardır. Diğer bir çalışmada ise PSO algoritmasına dayalı YSA tekniği ile verimlilik çalışması yapılarak MGN'nin doğru bir şekilde takip ettiği gözlemlenmiştir (Al-Majidi vd., 2020). Birçok çalışmada PSO'ya dayalı veya YSA'ya dayalı MGNT algoritmalarının çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bu algoritmalar geleneksel algoritmalara göre verimli sonuçlar elde etse dahi hibrit olarak oluşturulan algoritmaların daha verimli sonuçlar ortaya koyduğu gözlemlenmiştir.

Yukarıdaki bahsedilen literatürden yola çıkarak PV sistemde parçalı gölgelenme durumunda verim düştüğü için MGNT'nin sağlanmasının zorlandığı açıkça anlaşılmaktadır. Bu açıdan literatürde geniş bir arama yüzeyi

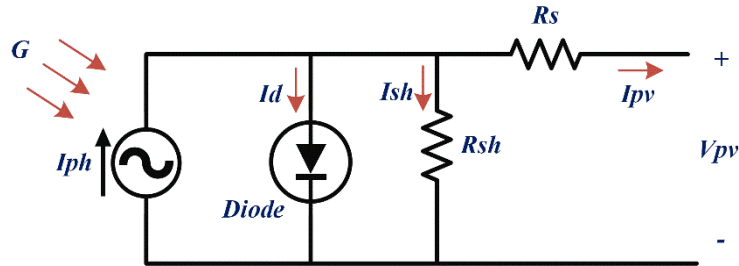
oluşturulmalıdır. Farklı algoritmalar ile düşen verimin artırılması ve MGNT'nin sağlıklı bir şekilde sağlanması gerekmektedir. Bu makale ile geleneksel yöntem olan Değiştir ve Gözle( D&G) algoritmasının yanısıra YSA ve PSO-YSA tabanlı MGNT algoritmalarının parçalı gölgelenme durumundaki davranışı ve başarı oranları incelenmiştir. İki paralel iki seri olmak üzere oluşturulan PV sistemden MGN'ye ulaşması için her bir algoritma yapısı sisteme entegre edilmiştir Böylelikle bu çalışma ile PV sistemlerde yapay zeka algoritmalarının kullanımı konusundaki çalışmalara katkı sağlandığına inanılmaktadır.

## MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde sistemin genel yapısı ve çalışmada uygulanan algoritmalar anlatılmıştır.

### Fotovoltaik Sistem Modeli

Güneş enerjisinden elektrik üretimi için temel bileşen PV hücreleridir. Şekil 1'de bir PV güneş hücresinin eşdeğer devresi ve Eşitlik 1'de genel PV denklemi verilmiştir.

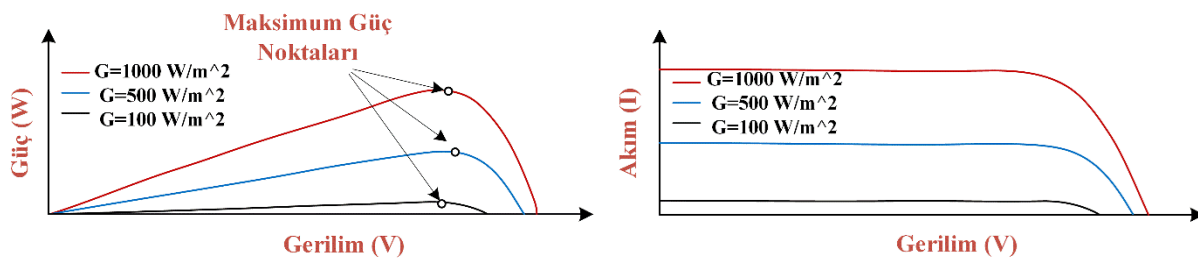


Şekil 1. PV Hücresinin Eşdeğer Devresi

$$I_{pv} = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left[ \exp \left( \frac{q(V_{pv} + I_{pv} R_s)}{AKTN_s} - 1 \right) \right] - \frac{V_{pv} + I_{pv} R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

Burada;  $I_{pv}$  PV akımı,  $V_{pv}$  PV voltajıdır.  $I_{ph}$  ışıktan üretilen akım,  $I_0$  diyot ters doyma akımı,  $A$  diyot idealite faktörü,  $R_s$  seri direnç,  $R_{sh}$  şönt direnç,  $q$  elektron yükü,  $N_s$  seri bağlı güneş pili sayısı,  $N_p$  paralel bağlı güneş pili sayısı,  $T$  mutlak sıcaklık derecesi ve  $K$  ise Boltzmann sabitidir (İbrahim vd., 2020).

PV hücrelerinin seri veya paralel bağlantılarıyla oluşan PV dizilerinin çıktı özellikleri doğrusal değildir ve zamanla değişmektedir (bkz: Şekil 2). Güç üretimi kısmi gölgelenme veya tozlanma gibi çevresel koşullardan etkilenmektedir.



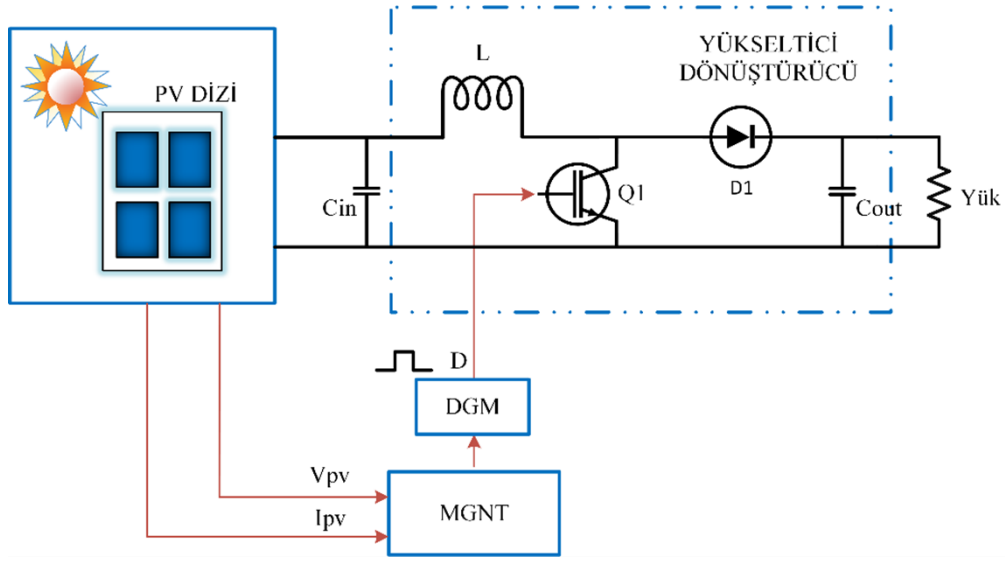
Şekil 2. Farklı Işımlarda PV Panellerin Ait IV ve PV Karakteristik Eğrileri

### Yükseltici Dönüştürücü

DA-DA dönüştürücüler PV sistem ile tüketiciler arasında bağlantıyı sağlar. Yükseltici dönüştürücünün kullanım alanı giriş geriliminden daha yüksek gerilim gerektiren uygulamalardır. Giriş gücünün en verimli şekilde çıkış gücüne dönüştürülmesi ana prensiptir. Şekil 3'te yükseltici dönüştürücünün eşdeğer devresi verilmiştir (Rastogi vd., 2022;İbrahim vd., 2020).

D görev oranı arttıkça çıkış gerilimi de artar.

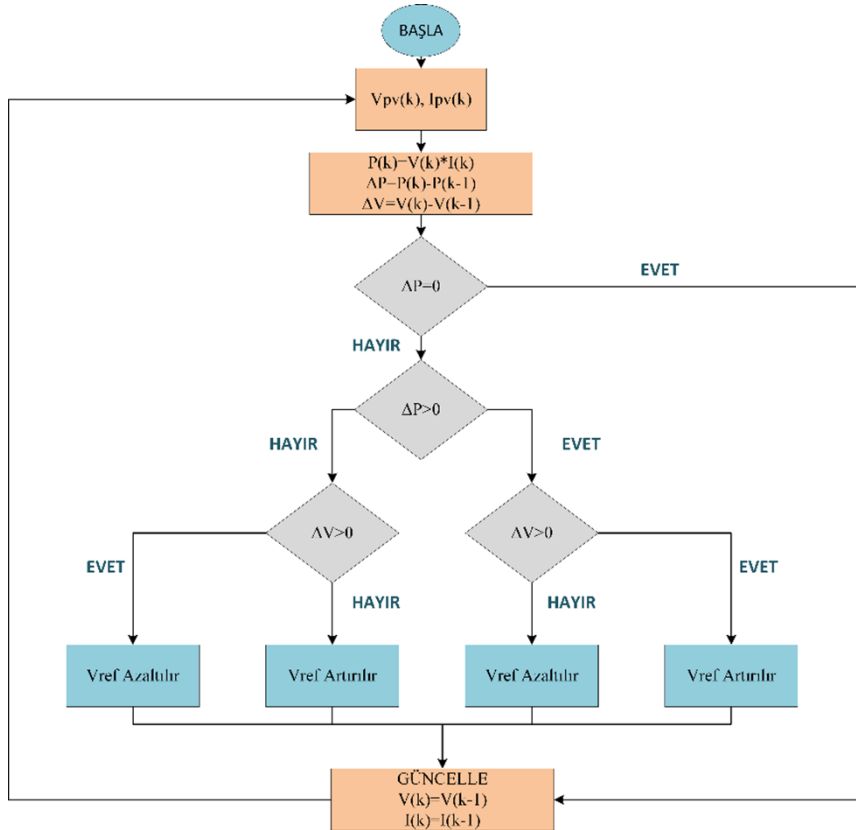
$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{(1-D)} \quad (2)$$



Şekil 3. Yükseltici Dönüştürücü Bağlı PV Panel Sistemi

### D&G Algoritması

D&G algoritması uygulamalarda ve laboratuvar çalışmalarında geleneksel MGNT algoritmaları arasında en yaygın kullanılan yöntemdir. MGN'ye ulaşabilmek için PV panelin gerilim ve akım değerleri ölçülür. Gerilim ve güç değerlerine göre görev döngüsünün değişimi belirlenir. Şekil 4'te verilen akış şemasından da görüldüğü üzere  $\Delta P_{pv}$  ve  $\Delta V_{pv}$ 'nin değerleri değiştirilip gözlemlenir.  $\Delta P_{pv}$  değeri sıfır olduğu zaman MGN'ye ulaşılmış olunur (Mountassir vd., 2022; Sarvi ve Azadian, 2022).

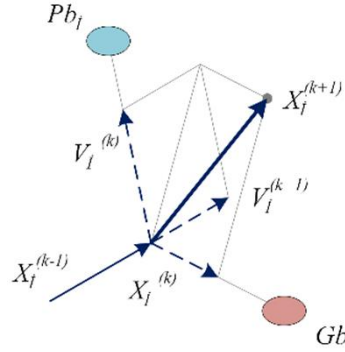


Şekil 4. D&G Algoritması Akış Şeması

Yalnız D&G algoritmasının temel sorunu, MGN'ye ulaşırken sürekli olarak maksimum nokta etrafında salınım yapması ve parçalı gölgeleme durumunda etkili bir şekilde maksimum güce ulaşamamasıdır. D&G algoritmasının bu durumundan dolayı farklı algoritmalara yönelimler başlanmıştır.

### PSO Tabanlı MGNT Algoritması

PSO, kuşlar balıklar gibi bir sürünün hareketlerini temel alan bir optimizasyon algoritmasıdır. Sürüdeki canlıların doğal davranışına dayanarak her bir parçacığın pozisyonuna göre her alanın aday çözümünü bulmak için çalışır. Şekil 5'te görüldüğü üzere her parçacık adımında, komşu en iyi ve küresel en iyi parçacık bilgisinden yararlanarak en iyi çözümü bulabilmek için parçacıkları bir çözüm kümesine atar. En iyi performansa sahip olan parçacık bilgisine göre istenen çözüme ulaşana kadar her iterasyonda ona yaklaşır.



Şekil 5. PSO Algoritması İçin Arama Uzayında Parçacıkların Hareketi

PSO algoritması adımları kısaca aşağıda verilmiştir.

- Arama çözüm kümesinin olasılık değerine göre seçilen rastgele bir parçacık değeri içinde başlatılır.
- Aynı çözüm kümesinde olan eski ve yeni en iyi uygunluk değerleri ( $P_{li}$ ,  $P_{bi}$ ) ile karşılaştırma yapılır.
- En iyi ve küresel en iyi konumlar ( $G_b$ ) karşılaştırılarak küresel uygunluk değeri bulunur. Bu işlemler esnasında kullanılan konumlar, Eşitlik 3 ve 4'te verilmiştir. Diğer iterasyon için uyarlanıp kaydedilir.

$$V_i^{k+1} = wV_i^k + r1c1(P_{bi} - X_i^k) + r2c2(G_b - X_i^k) \quad (3)$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^k \quad (4)$$

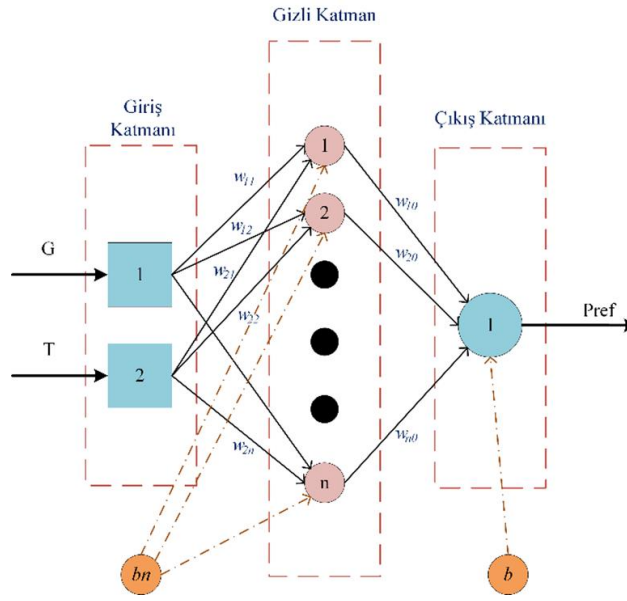
Denklemlerde  $X_i$  her parçacığın konumu,  $V_i$  arama kümesinin hızı,  $i$  optimizasyon vektörü,  $k$  yineleme sayısı,  $w$  hızın atalet ağırlık faktörü,  $c1$  tek parçacıkların bilişsel katsayısı,  $c2$  parçacıkların sosyal katsayısı,  $r1$  ve  $r2$  ise arama kümesinin sıfır ile maksimum hız arasında olan rastgele hız değeridir.

- Uygunluk bakımından en iyi parçacık bulunur. Parçacık hareket konumlarını geliştirebilmek için her iterasyonda not edilir (Al-Majidi vd., 2020).

### YSA Tabanlı MGNT Algoritması

YSA insan beyninin bilgi işleme kapasitesinin işlevinden türetilen bir tekniktir. Çeşitli katmanlardan oluşan bir sinir ağı matematiksel olarak modellenir. Sinir hücrelerinin yapısı üç bölümden oluşmaktadır. Dentritler yardımıyla sinyaller hücreye aktarılır. Hücre çekirdeğine ulaşan sinyaller işlemden geçtikten sonra işlenmiş sinyal akson yardımıyla diğer sinir hücresine iletilir. Bu bilgi işleme işlemi Sinir Ağı'nın temel çalışma prensibidir. Bu nedenle YSA tekniği MGNT algoritmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

YSA girdi katmanı, gizli katman ve çıktı katmanı olmak üzere üç katmandan oluşmaktadır (Şekil 6). Gizli katman bir veya daha fazla katman içerebilir. Bir katmanda yer alan her bir birleşim, diğer katmanda bulunan her birleşimle ilişkilendirilerek sonraki adımda aktivasyon fonksiyonundan geçirilir. Son işlem olarak çıktı alınır.



Şekil 6. YSA Tekniği Blok Diyagramı

Genel yapı kısaca şu şekilde açıklanmaktadır:

- Girdi ve çıktı değişkenleri belirlenir.
- Özel koşullar varsa dikkate alınarak sistem tipine göre veriler üretilir.
- Girdi, gizli ve çıktı katmanlarından oluşan çok katmanlı ileri beslemeli ağ yapısını seçilir.
- Son adım olan eğitim ise oldukça önemli ve hassasiyet gerektiren bir aşamasıdır (Sarvi ve Azadian, 2022).

Matematiksel olarak sistem şu şekilde tanımlanır:

$$y = \sum_{i=1}^n w_{ij} x_j + b_j \quad (5)$$

Burada  $x_j$  giriş eğitim noktası,  $w_{ij}$  gizli katman düğümleriyle alakalı olan bağlantı ağırlıkları,  $b_j$  gizli ve çıkış katmanı arasındaki bağlantının eşik değeri ve  $n$  ise giriş sinyallerinin sayısı olarak tanımlanmaktadır. Geri yayılım algoritması kullanılarak ileri beslemeli YSA sisteminin süreci öğrenilir. Her bir düğümün ağırlıkları ve eşik değeri değiştirilerek gerçek çıktı değerlerine yakın bir değer bulunmaya çalışılır. Gradyan algoritması ile bu yaklaşım sağlanarak YSA'nın performansı artırılır. Maliyet fonksiyonu olarak seçilen ortalama karesel hata (mean square error -  $MSE$ ) şu şekilde tanımlanır:

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [Y_j(i) - T_j(i)]^2 \quad (6)$$

Burada,  $Y_j(i)$  gerçek çıkış,  $T_j(i)$  hedef çıkış,  $n$  giriş sinyal sayısı ve  $m$  ise çıkış sinyal sayısıdır.

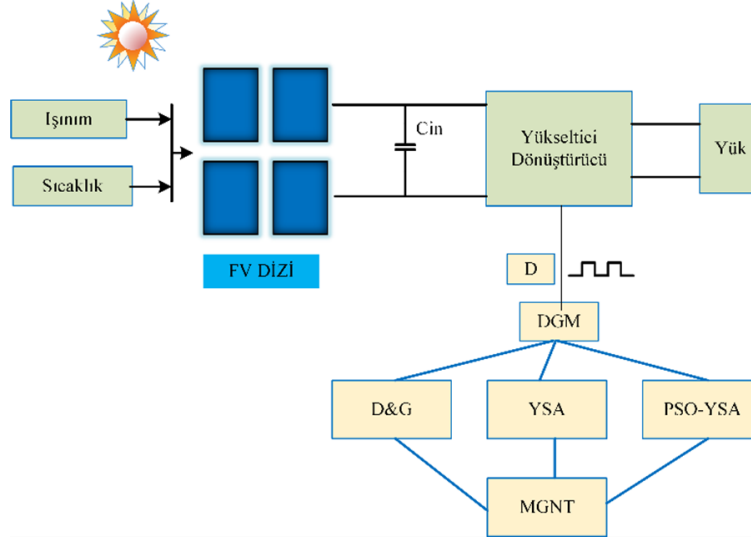
Gizli katmanları belirlemek çok önemlidir. Çünkü gizli katmanda çok fazla birim olursa çözüm uzun sürer ve aşırı uygun regresyon gerçekleşir. Çok az birim olduğu takdirde ise çözüm süresi kısa olup doğrusal bir regresyona neden olur. İkisi de istenmeyen durumlar olduğu için gizli katmandaki birimler uygun bir şekilde belirlenmelidir. Deneme yanılma yaygın bir yöntem olmasına rağmen gizli katman boyutuna ulaşmakta uzun zaman harcadığından yetersiz bulunmaktadır. Geri yayılım algoritmasının kullanım amacı ileri beslemeli YSA modelinin sürecini öğrenmek içindir.

$$w_{ji}^l(t) = w_{ji}^l(t-1) + \Delta w_{ji}^l(t) \quad (7)$$

Burada  $w_{ji}^l(t)$  sonraki,  $w_{ji}^l(t-1)$  önceki varsayılan eğitim ağırlıkları olarak tanımlanır. Eşitlik 6. ve 7. ile  $MSE$ 'yi hesaplamak için geriye bir adım ve yeni çözümü üretmek için ileri adım geri yayılım algoritmasını oluşturur. Eğitim ağırlıkları optimal seviyede olana kadar bu işlem tekrarlanır (Al-Majidi vd., 2020).

### Tasarlanan PV Sistem Genel Yapısı

Şekil 7’de parçalı gölgeleme koşulları altında performans analizi için tasarlanan PV sistemi gösterilmiştir. D&G, YSA ve PSO-YSA tabanlı MGNT yöntemleri PV sistemine uygulanmıştır. Bu çalışmada kullanılmak üzere oluşturulan sistemde iki seri iki paralel olmak üzere dört adet PV panel ve yükseltici dönüştürücü bulunmaktadır. Sistem çıkışında bir yük direnci kullanılmıştır. Üç farklı MGNT algoritması için inceleme yapılmıştır.



Şekil 7. Tasarlanan PV Sistem Genel Yapısı

PV sistemin parametreleri ve yükseltici dönüştürücü devresinin değerleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Sistem Parametreleri

| Parametre  | Değer        |
|--|--------------|
| Maksimum Güç   | 852 W        |
| Maksimum Güçteki Gerilim ( $V_{mpp}$ )               | 58 V         |
| Maksimum Güçteki Akım ( $I_{mpp}$ )                  | 14,7 A       |
| Açık Devre Gerilimi ( $V_{oc}$ )                     | 72,6 V       |
| Kısa Devre Akımı ( $I_{sc}$ )                        | 15,68 A      |
| Paralel Dizi   | 2            |
| Her Diziye Bağlı Seri Bağlı Modül                    | 2            |
| Yükseltici Dönüştürücü Çıkış Kapasitör ( $C_{out}$ ) | 45,5 $\mu$ F |
| Yükseltici Dönüştürücü Yük Direnci (R)               | 188 $\Omega$ |
| Yükseltici Dönüştürücü Endüktansı (L)                | 33 mH        |
| Yükseltici Dönüştürücü Giriş Kapasitör ( $C_{in}$ )  | 45,5 $\mu$ F |

Bu çalışmada MATLAB/Simulink ortamında bir PV panel sistemi oluşturulmuştur. Bununla birlikte parçalı gölgeleme durumu için oluşturulan senaryolarda ışınım verileri hem simulasyon ortamında hemde güneşli ve bulutlu olmak üzere iki güne ait deneysel veriler ile farklı hava koşullarında elde edilerek analizler gerçekleştirilmiştir.

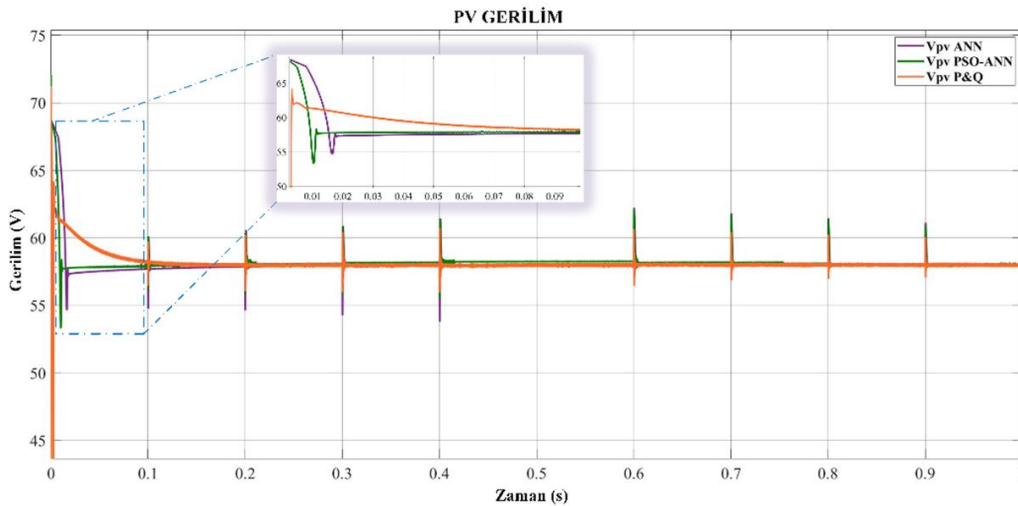
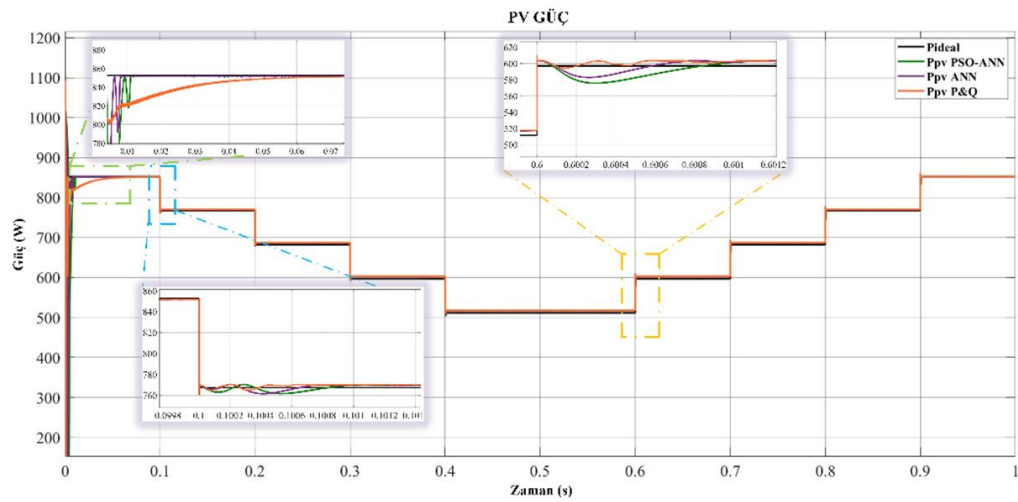
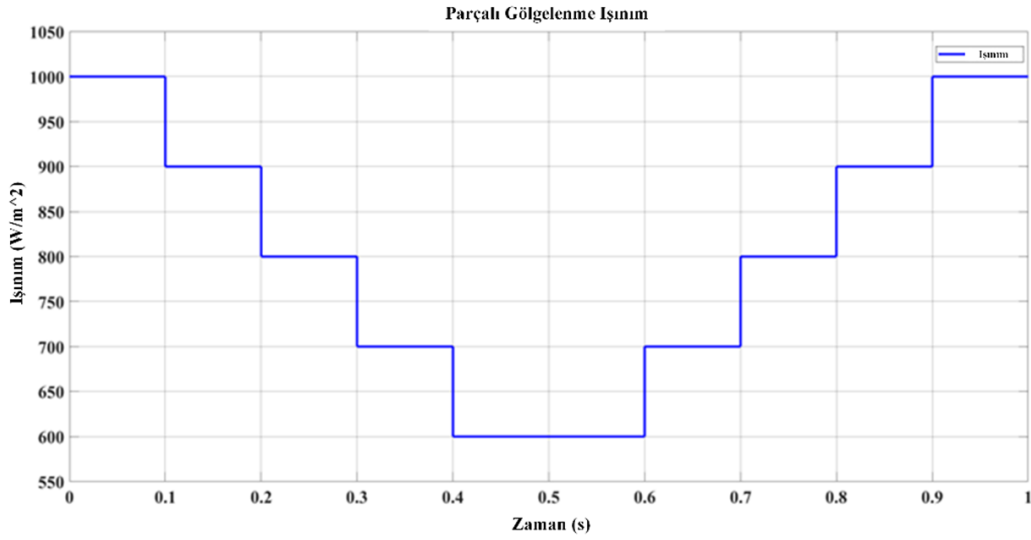
### BULGULAR VE TARTIŞMA

Analizler için 3 farklı senaryo oluşturulmuştur.

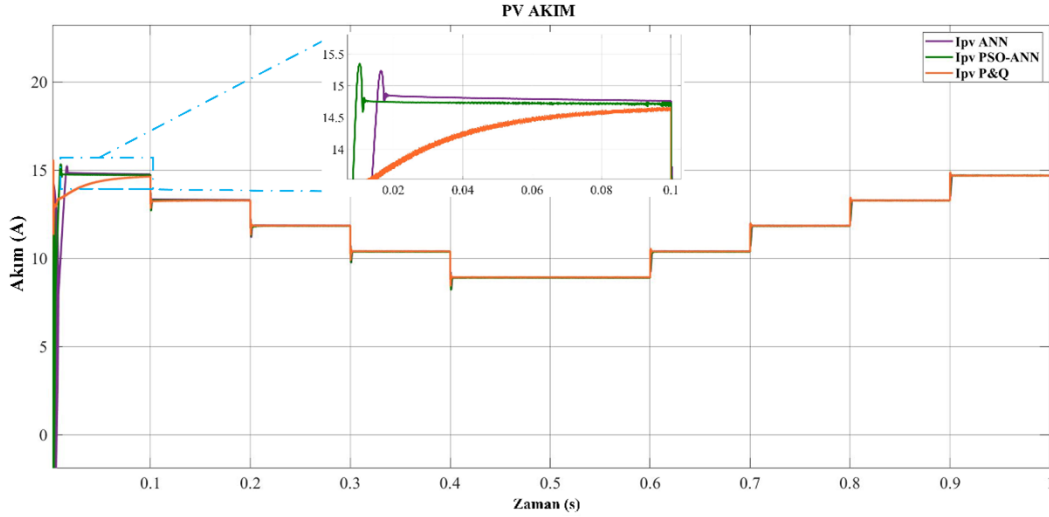
#### Senaryo 1

İlk senaryoda parçalı gölgeleme durumu oluşturulmak istenmiştir. MATLAB/Simulink’te parçalı gölgeleme için oluşturulan ışınım verisi 0.1 saniyeden 0.4 saniyeye kadar 1000 W/m<sup>2</sup>’den 600 W/m<sup>2</sup>’ye kadar adım adım düşürülmüş sonrasında 0.6 saniyeden 1 saniyeye kadar ise 600 W/m<sup>2</sup>’den 1000 W/m<sup>2</sup>’ye kadar adım adım çıkartılmıştır (Şekil 8). Hava sıcaklığı (T) ise 25°C sabit tutulmuştur. Şekil 9’da elde edilen grafikte yakınlaştırılmış bölümlere bakıldığında YSA ve PSO-YSA tabanlı MGNT algoritması geleneksel yöntemle göre daha uygun bir şekilde MGN’yi sağlamaktadır. 1000 W/m<sup>2</sup> ışınımında PV sistemin maksimum gerilimi yaklaşık 58 V, maksimum akımı ise 14.7 A civarlarındadır. Şekil 9b’de 0.013 s ile PSO-YSA, 0.018 s ile YSA ve 0.09 s ile D&G algoritmalarının oturma zamanları gözükmemektedir. Işınımın azaldığı ve yükseldiği bölgeler incelendiğinde ise D&G algoritması diğer iki

MGNT algoritmalarına göre daha salınımlıdır. Genel yapıya bakıldığında zaman incelenen her algoritma MGN'yi izleyebilmektedir. Verim hesabı sonucunda PSO-YSA algoritması %99.721, YSA algoritması %99.696 ve D&G algoritması %98.442 verimle MGN'yi izlemektedir.





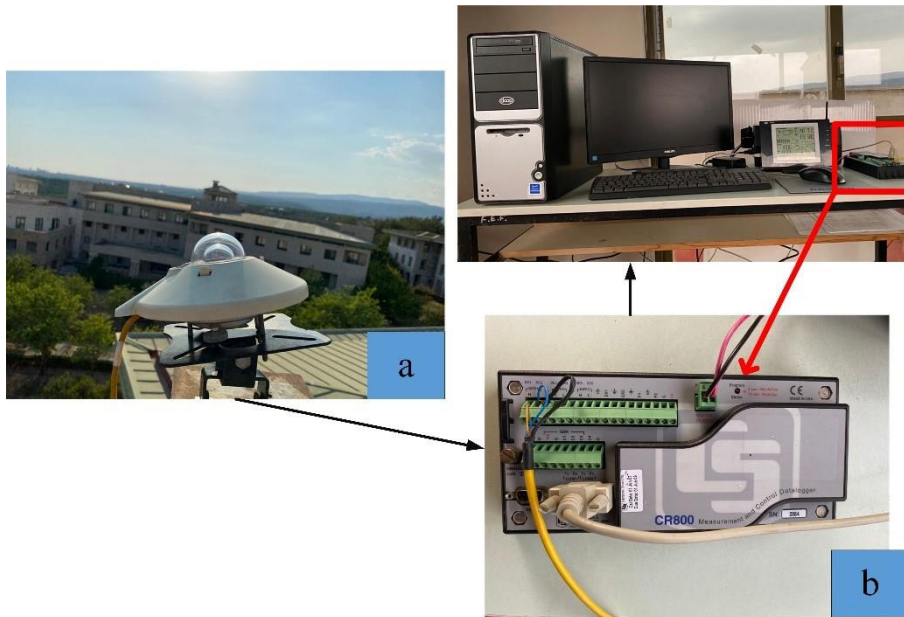


(c)

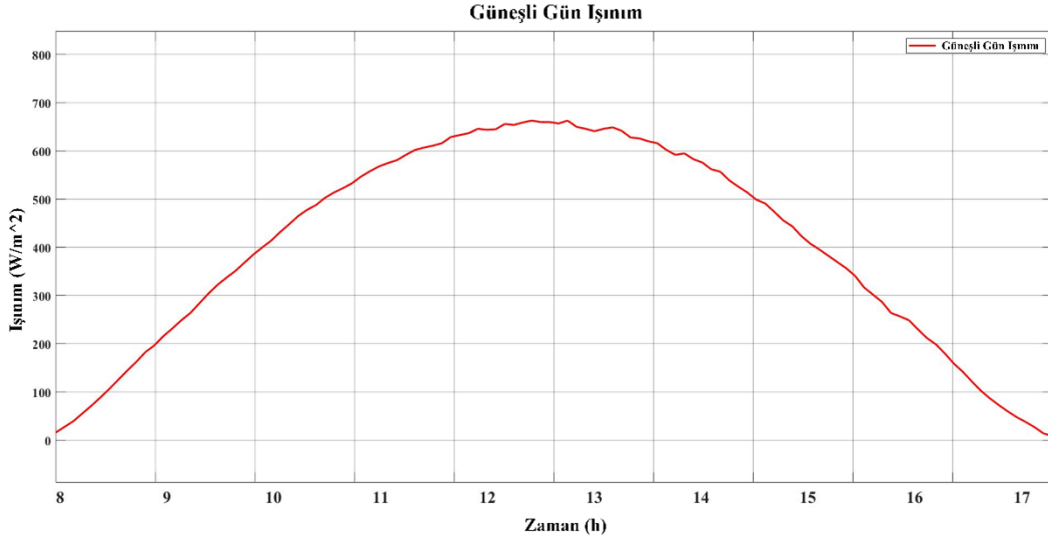
Şekil 9. Senaryo 1'e Ait Gölgeleme Durumu Altında a. PV Güç b. PV Gerilim c. PV Akım

### Senaryo 2

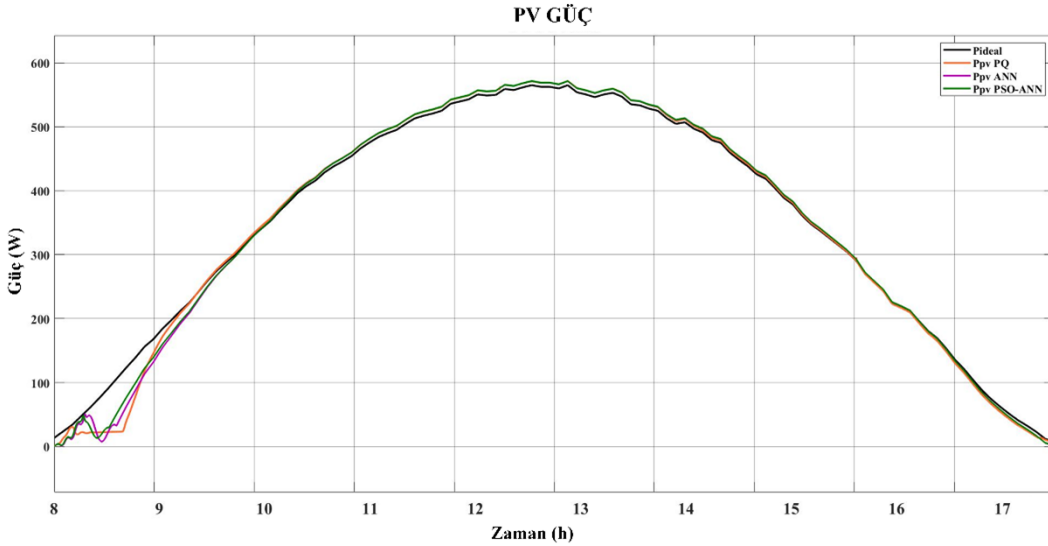
İkinci senaryoda farklı çevresel koşullar altında inceleme yapmak amacıyla güneşli bir gün seçilmiştir. 24 Aralık 2022 tarihinde 08:10 ve 17:20 saatleri arasında güneşli gün için Mersin Üniversitesi Mühendislik fakültesinde bulunan pironometreden (Şekil 10a, CMP11, Kipp&Zonen, Hollanda) gelen gerçek zamanlı ışınım verileri veri kaydedicisi (Şekil 10b, CR800 Series, Campbell Scientific, ABD) yardımıyla alınmıştır. Şekil 11'de güneşli güne ait ışınım verisi gösterilmektedir. Sadece ışınım verisinin MGN'yi izlemesi üzerine etkisinin incelenmesi istendiğinden sıcaklık 25°C'de sabit tutulmuştur. Alınan güneşli gün ışınım verileri oluşturulan PV sisteme ışınım olarak girilerek yukarıda verilen MGNT algoritmaları uygulanmıştır. Şekil 12'de görüldüğü üzere sabah saatlerinde güneşten gelen ışınım miktarı az olduğu için algoritmaların geçici durumdan kararlı duruma geçme durumu oluşmaktadır. Güneşli gün için ışınım miktarı ani olarak değişmediğinden uygulanan üç algoritma da düzgün bir şekilde maksimum güç noktasını izleyebilmiştir. PSO-YSA algoritması %99.547, YSA algoritması %99.166 ve D&G algoritması %94.356 verimle MGN'yi takip etmektedir.



Şekil 10. a. Pironometre b. Veri Kaydedici



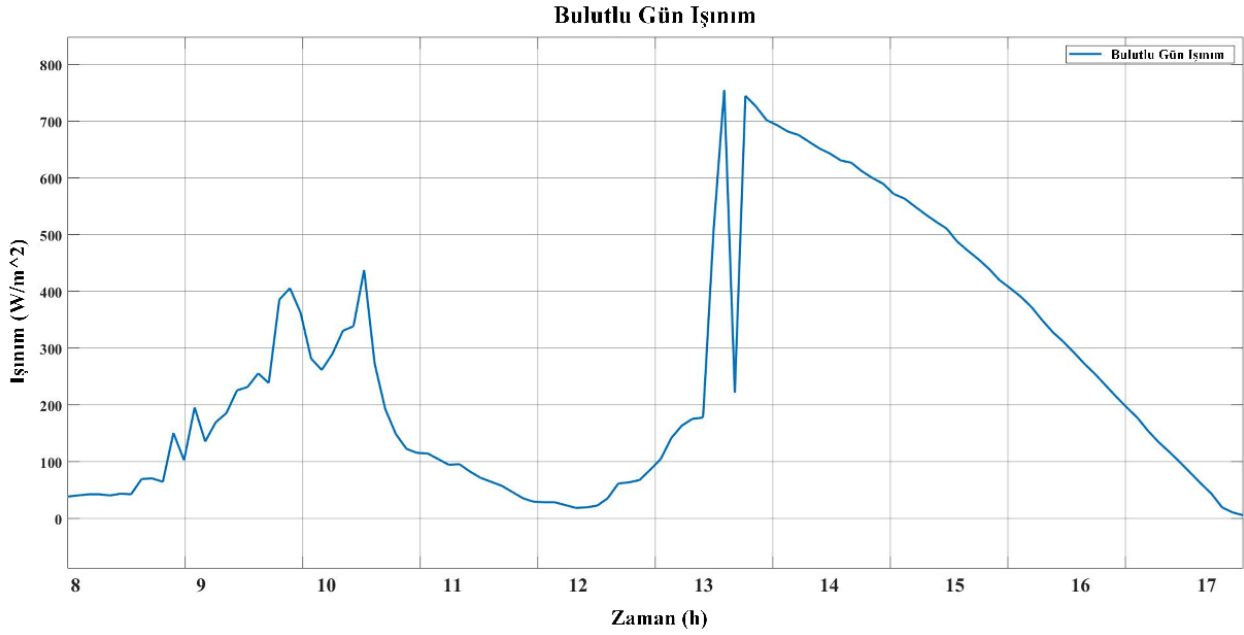
Şekil 11. Güneşli Gün İçin Işınım Değerleri



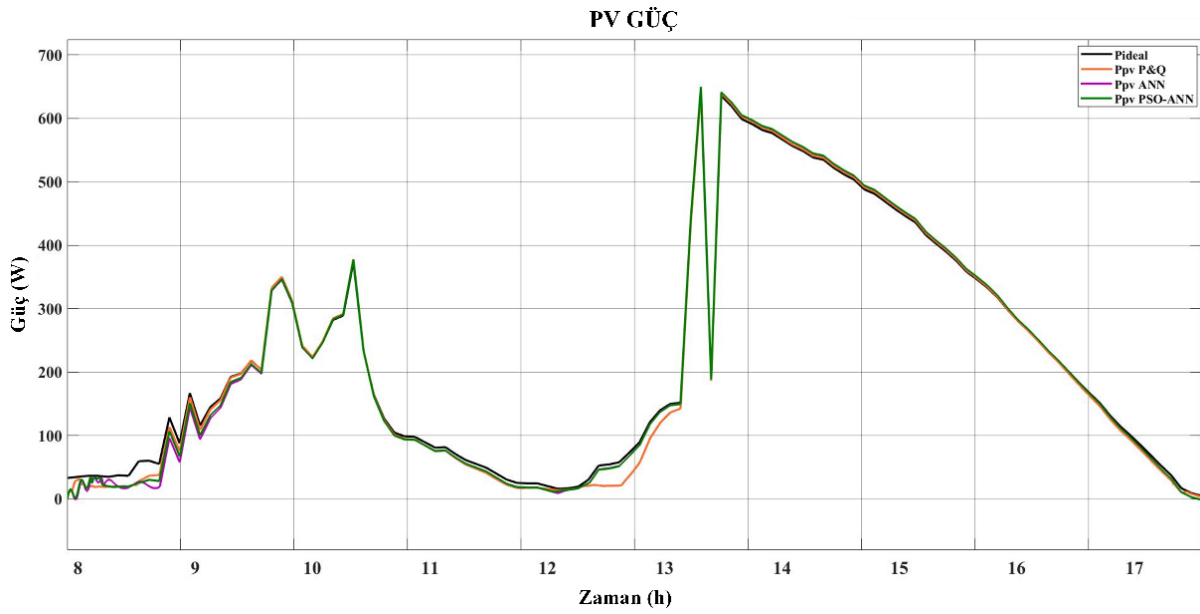
Şekil 12. Güneşli Gün İçin PV Güç

### Senaryo 3

Üçüncü senaryoda farklı çevresel koşullarda bulutlu gün için analizler yapılmıştır. Bulutlu gün için 22 Aralık 2022 tarihinde 08:10 ve 17:20 saatleri arasında bir önceki senaryoda belirtilen düzenekten gerçek zamanlı ışınım verileri alınmıştır. Şekil 13'te bulutlu gün için elde edilen ışınım verilerine bakıldığında parçalı gölgelenme durumunun gerçekleştiği açıkça görülmektedir. Tasarlanan PV sisteme bulutlu gün için diğer senaryolarda olduğu gibi MGNT algoritmaları uygulanmıştır. Ani ışınım değişimleri nedeniyle güneşli gün için elde edilen sonuçlar kadar iyi bir sonuç elde edilememiştir. Öğlen saatlerinde paneller üzerine gelen bulutlar nedeniyle ışınım miktarı düşmektedir. Işınımın düşmesiyle Şekil 14'te görüldüğü gibi geleneksel D&G algoritması MGN'den uzaklaşmıştır. Fakat ışınımın ani olarak yükselmesiyle tekrardan MGN'yi takibe devam etmiştir. YSA ve PSO-YSa tabanlı MGNT algoritması ise sabah saatlerinde geçici durumdan kararlı duruma geçtikten sonra MGN'yi takip ettiği gözlemlenmiştir. Gölgeleme durumu dikkate alındığında güneşli güne göre bulutlu günde verimin azaldığı görülmektedir. Bu beklenen bir durumdur. PSO-YSa algoritması %94.934, YSA algoritması %94.922 ve D&G algoritması %94.522 verimle MGN'yi takip etmektedir.



Şekil 13. Bulutlu Gün İçin Işınm Değerleri



Şekil 14. Bulutlu Gün İçin PV Güç

### Performans Karşılaştırması

Bu bölümde verim analizi üzerine karşılaştırmalara yer verilmiştir. Aşağıda verilen Tablo 2’de önerilen hibrit yapının verim bakımından diğer algoritmalara göre daha iyi sonuç verdiği gösterilmiştir. Ibrahim vd., (2020)’nin yaptığı çalışmada modifiye PSO algoritması kullanılmıştır. Simülasyon ortamında farklı gölgelenme koşulları oluşturulup verim analizleri yapılmıştır. Aşağıda verilen Tablo 2’de bu gölgelenme koşullarından bir tanesi seçilerek bu makalede önerilen yöntemin karşılaştırılması yapıldığında PSO-YSA algoritmasının daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Al-Majidi vd., (2020)’nin yaptığı çalışmada güneşli ve bulutlu iki gün için performans analizleri yapılmıştır. Güneşli gün verimleri senaryo 2 ile karşılaştırıldığında verimlerin birbirine oldukça yakın ve benzer olduğu görülmektedir. Bulutlu gün için inceleme yapıldığında ise gölgelenme sürelerinin farklı olması nedeniyle ışınm değerindeki dalgalanmalar oldukça farklıdır. Bu yüzden koşulların aynı olmadığı göz önüne alındığında verim açısından değerlerin farklı olmasının oldukça normal bir durum olduğu söylenebilir.

**Tablo 2.** Performans Analizi Karşılaştırma

|   | MGNT Algoritmaları | Verim   |
|---|--------------------|---------|
| Senaryo 1                                   | PSO-YSA            | %99,72  |
|   | YSA                | %99,696 |
|   | D&G                | %98,442 |
| Senaryo 2                                   | PSO-YSA            | %99,547 |
|   | YSA                | %99,166 |
|   | D&G                | %94,356 |
| Senaryo 3                                   | PSO-YSA            | %94,934 |
|   | YSA                | %94,922 |
|   | D&G                | %93,522 |
| Kaynak (Ibrahim vd., 2020)                  | Modifiye PSO       | %96,160 |
|   | YSA                | %79,076 |
| Kaynak (Al-Majidi vd., 2020)<br>Güneşli gün | PSO-YSA            | %99,68  |
|   | YSA                | %99,17  |
|   | D&G                | %98,18  |
| Kaynak (Al-Majidi vd., 2020)<br>Bulutlu gün | PSO-YSA            | %99,30  |
|   | YSA                | %97,43  |
|   | D&G                | %88,21  |

## SONUÇ

Bu çalışmada parçalı gölgelenme durumu altında geleneksel ve yapay zeka optimizasyonuna dayalı YSA ile MGNT üzerine analizler yapılmıştır. PV panellere bir yükseltici dönüştürücü bağlanarak tasarlanan sistemde üç farklı senaryo oluşturulmuştur. Her MGNT algoritması üç senaryoya uygulanarak analizler yapılmıştır. İlk senaryoda ışınım değerlerinin değiştirilmesiyle parçalı gölgelenme durumu elde edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda geleneksel yöntem olan D&G algoritması diğer algoritmalarla göre MGN'yi daha geç takip ettiği görülmüştür. PSO'ya dayalı ileri beslemeli YSA tekniğinin, klasik ileri beslemeli YSA tekniğine ve D&G algoritmasına göre daha hızlı bir şekilde MGN'yi bulduğu gözlemlenmiştir. PSO-YSA %99.72 verimlilikle takip ederken, YSA %99.696 ve D&G algoritması %98.442 verimlilikle takip etmektedir. Simülasyon ortamında yapılan parçalı gölgelenme durumunu desteklemek amacıyla diğer iki senaryoda güneşli ve bulutlu iki farklı güne ait gerçek ışınım verileri kullanılmıştır. Güneşli gün için yapılan analizde PSO'ya dayalı ileri beslemeli YSA tekniği, YSA tekniği ve D&G algoritması sırasıyla %99.547, %99.166 ve %94.356 verimlilikle MGN'yi takip etmektedir. Bulutlu gün için yapılan analizde ise %94.934 verimlilikle PSO-ANN tekniği öne çıkmaktadır. YSA tekniği %94.922 ve D&G algoritması %93.522 verimliliktedir. Analiz sonuçlarına bakıldığında PSO'ya dayalı ileri beslemeli YSA tekniği ön plana çıkarak hibrit oluşturulan algoritmaların avantajını göstermektedir. Gelecekte yapılacak olan çalışmalar için PSO gibi farklı yapay zeka tabanlı algoritmalarla dayalı YSA tekniği oluşturularak MGNT için iyileştirme çalışmaları yapılabilir. Farklı çevresel koşullar ve arıza analizleri için optimize edilebilir.

## KAYNAKLAR

Ahmed, Sajib, Saad Mekhilef, Marizan Mubin, Kok Soon Tey, and Mostefa Kermadi. 2023. "An Enhanced Scanning Technique for Flexible Power Point Tracking under Partial Shading Condition." *Solar Energy* 262(January):111817. doi: 10.1016/j.solener.2023.111817.

Al-Majidi, Sadeq D., Maysam F. Abbod, and Hamed S. Al-Raweshidy. 2020. "A Particle Swarm Optimisation-Trained Feedforward Neural Network for Predicting the Maximum Power Point of a Photovoltaic Array." *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 92(September 2019):103688. doi: 10.1016/j.engappai.2020.103688.

Bollipo, Ratnakar Babu, Suresh Mikkili, and Praveen Kumar Bonthagorla. 2020. "Hybrid, Optimization, Intelligent and Classical PV MPPT Techniques: Review." *CSEE Journal of Power and Energy Systems* 7(1):9–33. doi: 10.17775/CSEEJPES.2019.02720.

Bouselham, L., B. Hajji, and H. Hajji. 2015. "Comparative Study of Different MPPT Methods for Photovoltaic System." Pp. 1–5 in *2015 3rd International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*. IEEE.

Divyasharon, R., R. Narmatha Banu, and D. Devaraj. 2019. "Artificial Neural Network Based MPPT with CUK

Converter Topology for PV Systems Under Varying Climatic Conditions.” Pp. 1–6 in *2019 IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing (INCOS)*. IEEE.

Elbarbary, Zakaria Mohamed Salem, and Mohamed Abdullrahman Alranini. 2021. “Review of Maximum Power Point Tracking Algorithms of PV System.” *Frontiers in Engineering and Built Environment* 1(1):68–80. doi: 10.1108/FEBE-03-2021-0019.

Farah, Lotfi, Amir Hussain, Abdelfateh Kerrouche, Cosimo Ieracitano, Jamil Ahmad, and Mufti Mahmud. 2020. “A Highly-Efficient Fuzzy-Based Controller with High Reduction Inputs and Membership Functions for a Grid-Connected Photovoltaic System.” *IEEE Access* 8:163225–37. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3016981.

Fathi, Milad, and Jafar Amiri Parian. 2021. “Intelligent MPPT for Photovoltaic Panels Using a Novel Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks Based on Evolutionary Algorithms.” *Energy Reports* 7:1338–48. doi: 10.1016/j.egyr.2021.02.051.

Hashim, Hadi Fakhir, Marwah M. Kareem, Waleed Khalid Al-Azzawi, and Adnan H. Ali. 2021. “Improving the Performance of Photovoltaic Module during Partial Shading Using ANN.” *International Journal of Power Electronics and Drive Systems (IJPEDS)* 12(4):2435. doi: 10.11591/ijpeds.v12.i4.pp2435-2442.

Ibrahim, Al-wesabi Wesabi, M. B. B. Shafik, Min Ding, Mohammad Abu Sarhan, Zhijian Fang, Ahmed G. Alareqi, Tariq Almoqri, and Ayman M. Al-Rassas. 2020. “PV Maximum Power-Point Tracking Using Modified Particle Swarm Optimization under Partial Shading Conditions.” *Chinese Journal of Electrical Engineering* 6(4):106–21. doi: 10.23919/CJEE.2020.000035.

Javed, Saba, and Kashif Ishaque. 2022. “A Comprehensive Analyses with New Findings of Different PSO Variants for MPPT Problem under Partial Shading.” *Ain Shams Engineering Journal* 13(5):101680. doi: 10.1016/j.asej.2021.101680.

Li, Hong, Duo Yang, Wenzhe Su, Jinhu Lu, and Xinghuo Yu. 2019. “An Overall Distribution Particle Swarm Optimization MPPT Algorithm for Photovoltaic System Under Partial Shading.” *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 66(1):265–75. doi: 10.1109/TIE.2018.2829668.

Majeed Shaikh, Abdul, Mohammad Fawad Shaikh, Shoaib Ahmed Shaikh, Moez Krichen, Rehan Ali Rahimoon, and Abdul Qadir. 2023. “Comparative Analysis of Different MPPT Techniques Using Boost Converter for Photovoltaic Systems under Dynamic Shading Conditions.” *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 57(August 2022):103259. doi: 10.1016/j.seta.2023.103259.

Mao, Mingxuan, Lichuang Cui, Qianjin Zhang, Ke Guo, Lin Zhou, and Han Huang. 2020. “Classification and Summarization of Solar Photovoltaic MPPT Techniques: A Review Based on Traditional and Intelligent Control Strategies.” *Energy Reports* 6:1312–27. doi: 10.1016/j.egyr.2020.05.013.

Mittal, Poornima, Tarush Goel, and Pratyush Gupta. 2020. “Evolution of MPPT Algorithms in Solar Arrays.” *Materials Today: Proceedings* 37(Part 2):3154–58. doi: 10.1016/j.matpr.2020.09.045.

Miyatake, Masafumi, Fuhito Toriumi, Tsugio Endo, and Nobuhiko Fujii. 2007. “A Novel Maximum Power Point Tracker Controlling Several Converters Connected to Photovoltaic Arrays with Particle Swarm Optimization Technique.” Pp. 1–10 in *2007 European Conference on Power Electronics and Applications*. IEEE.

Mountassir, Salaheddine, Saad Sarih, and Abdelouahed Tajer. 2022. “A FUZZY LOGIC MPPT BASED CONTROL FOR A PHOTOVOLTAIC SYSTEM.” *Journal of Theoretical and Applied Information Technology* 100(11):3730–38.

Obukhov, Sergey, Ahmed Ibrahim, Ahmed A. Zaki Diab, Ameena Saad Al-Sumaiti, and Raef Aboelsaud. 2020. “Optimal Performance of Dynamic Particle Swarm Optimization Based Maximum Power Trackers for Stand-Alone PV System Under Partial Shading Conditions.” *IEEE Access* 8:20770–85. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2966430.

Pragallapati, Nataraj, Tanuj Sen, and Vivek Agarwal. 2017. “Adaptive Velocity PSO for Global Maximum Power Control of a PV Array Under Nonuniform Irradiation Conditions.” *IEEE Journal of Photovoltaics* 7(2):624–39. doi: 10.1109/JPHOTOV.2016.2629844.

Priyadarshi, Neeraj, Sanjeevikumar Padmanaban, Jens Bo Holm-Nielsen, Frede Blaabjerg, and Mahajan Sagar Bhaskar. 2020. “An Experimental Estimation of Hybrid ANFIS–PSO-Based MPPT for PV Grid Integration Under Fluctuating Sun Irradiance.” *IEEE Systems Journal* 14(1):1218–29. doi: 10.1109/JSYST.2019.2949083.

Rahman, Md. Motakabbir, and Md. Shahidul Islam. 2020. "PSO and ANN Based Hybrid MPPT Algorithm for Photovoltaic Array under Partial Shading Condition." *Engineering International* 8(1):9–24. doi: 10.18034/ei.v8i1.481.

Rastogi, Digant, Manika Jain, and Mini Sreejeth. 2022. "Comparative Study of DC-DC Converters in PV Systems Using Fuzzy Logic MPPT Algorithm." Pp. 1–7 in *2022 IEEE Delhi Section Conference (DELCON)*. IEEE.

Sai, Boni Satya Varun, Sarang A. Khadtare, and Debashis Chatterjee. 2023. "An Improved Weather Adaptable P&O MPPT Technique under Varying Irradiation Condition." *ISA Transactions* (xxxx). doi: 10.1016/j.isatra.2023.05.025.

Sarvi, Mohammad, and Ahmad Azadian. 2022. "A Comprehensive Review and Classified Comparison of MPPT Algorithms in PV Systems." *Energy Systems* 13(2):281–320. doi: 10.1007/s12667-021-00427-x.

Wasim, Muhammad Shahid, Muhammad Amjad, Salman Habib, Muhammad Abbas Abbasi, Abdul Rauf Bhatti, and S. M. Muyeen. 2022. "A Critical Review and Performance Comparisons of Swarm-Based Optimization Algorithms in Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic Systems under Partial Shading Conditions." *Energy Reports* 8:4871–98. doi: 10.1016/j.egy.2022.03.175.

Zhang, Wei, Guopeng Zhou, Hao Ni, and Yunlian Sun. 2019. "A Modified Hybrid Maximum Power Point Tracking Method for Photovoltaic Arrays Under Partially Shading Condition." *IEEE Access* 7:160091–100. doi: 10.1109/ACCESS.2019.2950375.