

Güneş Enerjisi Sistemlerinde Metasezgisel Algoritma Tabanlı Batarya Şarj Kontrolü Tasarımı

Abdullah KARABAŞ¹, Onur Özdal MENGİ², Kenan YANMAZ^{3*}

Öz

Yenilenebilir güneş enerji sistemlerinde, kısıtlı zaman diliminde ve değişen atmosferik şartlarda güneş enerjisinden elde edilecek enerjinin verimli şekilde yüke aktarılması son derece önemli ve gereklidir. Güneş enerjisinden maksimum seviyede yararlanamayan sistemlerde, Fotovoltaik (PV) panel sayısı artışı, verim düşüşü ve maliyet artışından bahsedilebilir. Bu durumda; güneş enerjisinden alıcıların maksimum seviyede yararlanabilmesi, PV panellerden en üst seviyede yararlanabilmeye bağlıdır. Bunun içinde Maksimum Güç Noktası İzleyiciler (Maximum Power Point Tracker - MPPT) kullanılmalıdır. Bu çalışmada MPPT tekniklerinden Değiştir - Gözle (Perturb & Observe - P&O) yöntemi, Artan İletkenlik Yöntemi (Incremental Conductance - IC) ve Kısmi Açık-Devre Gerilim Yöntemi (Fractional Open-Circuit Voltage) kullanılmıştır. Yük üzerinde sabit bir gerilim elde edebilmek amacıyla kurşun asit bataryanın şarj ve deşarjını kontrol etmek için parametreleri Parçacık Sürüşü Optimizasyon (Particle Swarm Optimization - PSO) algoritması ve Çakal Optimizasyon Algoritması (Coyote Optimization Algorithm - COA) gibi metasezgisel algoritmalarla hesaplanmış kontrolör önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerji Sistemleri, MPPT, PSO, COA.

Metaheuristic Algorithm Based Battery Charge Control Design in Solar Energy Systems

Abstract

In renewable solar energy systems, it is extremely important and necessary to efficiently transfer the energy to be obtained from solar energy to the load in limited time periods and changing atmospheric conditions. In systems that cannot utilize solar energy at the maximum level, the number of Photovoltaic (PV) panels increases, efficiency decreases and costs increase. In this case, the maximum utilization of solar energy by the receivers depends on the maximum utilization of PV panels. Maximum Power Point Trackers (MPPT) should be used for this purpose. In this study, Perturb & Observe (P&O) method, Incremental Conductance Method (IC) and Fractional Open-Circuit Voltage Method are used as MPPT techniques. In order to achieve a constant voltage on the load, a controller is proposed to control the charge and discharge of a lead acid battery whose parameters are calculated by metaheuristic algorithms such as Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm and Coyote Optimization Algorithm (COA).

Keywords: Solar energy systems, MPPT, PSO, COA.

¹Giresun Üniversitesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği, Giresun, Türkiye, akarabas28@gmail.com

²Giresun Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Giresun, Türkiye, onur.ozdal.mengi@giresun.edu.tr

³Giresun Üniversitesi, Bulancak Meslek Yüksekokulu, Giresun, Türkiye, kenan.yanmaz@giresun.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0003-3592-1160>

²<https://orcid.org/0000-0001-5669-0766>

³<https://orcid.org/0000-0002-6384-293X>

1. Giriş

PV güneş panelleri, çevresel faydaları ve karşılanabilirlikleri nedeniyle yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak giderek daha popüler hale gelmektedir. Bununla birlikte, bir güneş paneli sisteminin optimum performansını sağlamak için, MPPT tekniklerinin uygulanması esastır. Bu teknikler sayesinde PV paneller her zaman maksimum güç noktalarında çalışır ve böylece daha yüksek enerji çıkışı olması ve sistemin verimliliğinin artması sağlanmış olur. (Talha ve ark., 2011)

Böyle bir MPPT tekniği, maksimum güç noktasını korumak için PV panelinin çalışma gerilimini ayarlayan P&O algoritmasıdır. Diğer bir teknik ise, PV panelinin çalışma noktasının optimal olup olmadığını belirlemek için iki gerilim değerinin karşılaştırmasını kullanan ve maksimum güç çıkışı elde etmek için çalışma gerilimini ayarlayan Artan İletkenlik (Incremental Conductance - IC) algoritmasıdır. MPPT tekniklerini kullanmanın en büyük zorluklarından biri, PV paneli özelliklerinde, Akım-Gerilim (IV) eğrilerinde ve maksimum güç noktalarında farklılıklara yol açabilen doğal değişkenliktir. Ayrıca sıcaklık ve güneş ışınımı gibi faktörler de teknolojiye bağlı olarak değişen PV panellerin MPPT'sini etkiler. Bu zorlukların üstesinden gelmek için P&O ve IC gibi MPPT teknikleri geliştirilmiştir. Bu teknikler, güneş paneli sistemlerinin değişen hava koşullarında ve farklı PV paneli teknolojileriyle bile verimli bir şekilde maksimum güç üretmesini sağlar. MPPT tekniklerinin kullanımının güneş paneli sistemleri için, özellikle enerji verimliliğini ve çıktısını en üst düzeye çıkarmak söz konusu olduğunda önemli faydalar sağlayabileceğini belirtmek önemlidir, ancak bu tekniklerin sınırlamalarını da dikkate almak gerekir. Diğer bir sınırlama, farklı PV panellerinin MPPT'sinin büyük ölçüde değişebilmesi ve bunun da eksiksiz bir güneş paneli dizisinde güç kayıplarına yol açabilmesidir. Ek olarak, üretim toleransları ve eşit olmayan gölgeleme, gölgesiz güneş panellerinin performansını etkileyerek kayıpları daha da artırabilir. Bu nedenle, MPPT teknikleri güneş paneli performansını optimize etmek için yaygın olarak kullanılsa da sınırlamalarını dikkatlice değerlendirmek ve belirli PV paneli teknolojisi ve kurulum sahasının çevresel koşulları için uygun tekniği seçmek önemlidir. Ayrıca, hava koşullarının güneş enerjisi üretimi ve güneş panellerinin verimliliği üzerinde önemli bir etkisi vardır. Belirli bir yerin sıcaklık ve güneş ışınımı koşullarını anlamak, en uygun PV teknolojisini seçmek için çok önemlidir, çünkü farklı teknolojiler bu faktörlere farklı tepki verir ve değişen miktarlarda güç üretebilir. Sonuç olarak, güneş paneli sistemlerinden maksimum verim elde etmek için MPPT teknikleri gereklidir. (Saravanan ve Sivakumaran, 2020)

Bu teknikler, güneş panellerinin performanslarını etkileyen çevresel ve teknolojik faktörlerin değişkenliği ışığında özellikle önemli olan ideal MPPT'lerin de çalışmasına izin verir. Güneş paneli sistemlerinin güç çıkışını ve verimliliğini en üst düzeye çıkarmak, çeşitli endüstrilerde sürdürülebilir enerji kullanımını teşvik etmek için çok önemlidir. (Rokonuzzaman ve ark., 2020)

Ancak, MPPT tekniklerinin sınırlamalarını dikkatli bir şekilde göz önünde bulundurmak ve teknoloji ve çevresel faktörlere dayalı olarak her bir özel kurulum yeri için uygun yöntemi seçmek önemlidir. Ayrıca, en iyi sonuçları elde etmek için MPPT tekniklerinin doğru hava tahmini ile birleştirilmesi gerekir. Genel olarak, MPPT tekniklerinin kullanımı, sürdürülebilir enerjinin teşvik edilmesinde ve güneş panelleri için maksimum verimliliğin sağlanmasında önemli bir rol oynayabilir. (Rokonuzzaman ve ark., 2020) Yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanmanın ve bunları kullanmanın yeni yollarını keşfetmeye devam ederken, bu teknolojilerin potansiyelini en üst düzeye çıkarmak ve bunlardan tam olarak yararlanmak için sürekli yenilik ve uyarılmanın önemini kabul etmemiz çok önemlidir. (Díaz ve ark., 2013)

PV sistemlerde kullanılan denetleyicilerin K_p ve K_i parametrelerini belirlemek için geleneksel yöntemlerden Ziegler-Nichols yöntemi ve bunun yanında PSO algoritması ve COA yaygın olarak kullanılmaktadır (Sultan ve Jarjes, 2021). COA, güneş paneli sistemleri için MPPT tekniklerini optimize etmede umut verici sonuçlar veren metasezgisel algoritmalarından biridir (Allataifeh ve ark., 2015) (Rokonuzzaman ve ark., 2020). Bu gelişmiş algoritmalar ve teknikler kullanarak, farklı çevre koşullarında güneş paneli sistemlerinin verimliliği ve performansı artırılabilir. Ayrıca, MPPT tekniklerinin kullanılması, değişen hava koşullarının güneş paneli verimliliği üzerindeki etkisini azaltabilir.

Denetleyicilerin K_p ve K_i parametrelerinin belirlenmesinde geleneksel ve metasezgisel algoritmaların kullanılması, güneş paneli sistemlerinin verimliliklerini önemli ölçüde etkileyebilir (Kanianthara ve ark., 2021). Metasezgisel algoritmaların kullanımı, güneş paneli sistemlerinin genel performansını iyileştirebilen kontrolörler için en uygun K_p ve K_i katsayılarını belirleyerek MPPT tekniklerinin doğruluğunu ve verimliliğini artırabilir. Ayrıca, doğru ve güvenilir hava tahmin araçlarının kullanılması, güneş panellerinin verimliliğini etkileyebilecek çevresel faktörler hakkında gerçek zamanlı veriler sağlayarak güneş panellerinin performansını daha da artırabilir. Bu nedenle, MPPT tekniklerinin gelişmiş algoritmalar ve hava tahmini teknolojileriyle entegrasyonu, güneş paneli verimliliğini en üst düzeye çıkarmada ve sürdürülebilir enerji üretimini teşvik etmede çok önemli bir rol oynayabilir. (A. AlZubaidi ve ark., 2022) Sonuç olarak, güneş paneli verimliliğini en üst düzeye çıkarmak ve sürdürülebilir enerjiyi teşvik etmek için MPPT tekniklerinin kullanılması şarttır. Gelişmiş algoritmaların ve hava tahmini teknolojilerinin kullanılması, verimliliği etkileyebilecek çevresel faktörler hakkında gerçek zamanlı veriler sağlayarak ve MPPT teknikleri için en uygun denetleyici katsayılarını belirleyerek güneş panellerinin performansını daha da artırabilir. (Allataifeh ve ark., 2015) Yenilenebilir enerji kaynaklarına olan talep artmaya devam ederken, yenilik yapmaya ve uyum sağlamaya devam edilmelidir. Modern teknolojileri ve teknikleri kullanarak, geleneksel yöntemlerin sınırlamalarını aşabilir ve güneş paneli sistemlerinin potansiyeli en üst düzeye çıkarılabilir. Güneş paneli sistemlerinde MPPT teknikleri, gelişmiş algoritmalar ve

hava tahmin teknolojilerini kullanmanın sayısız avantajı vardır (A. AlZubaidi ve ark., 2022). Optimum denetleyici katsayılarını belirleyerek, maksimum güç noktasını daha etkin bir şekilde izleyerek ve performansı etkileyebilecek çevresel faktörler hakkında gerçek zamanlı veriler sağlayarak güneş paneli sistemlerinin doğruluğunu ve verimliliğini önemli ölçüde artırabilirler.

DC-DC güç çeviriciler, bir güneş panelinden gelen düşük gerilim çıkışını pilleri veya diğer enerji depolama cihazlarını şarj etmek için gerekli olan daha yüksek gerilime dönüştürmek için kullanıldıkları için güneş enerjisi sistemlerinde önemli bir rol oynarlar (Hendawi, 2020), (Subhani ve ark., 2019). Yükselten çeviriciler, çıkış gücünü kontrol etmek için giriş gerilimini ve akımını değiştirerek çalışır ve bu da bir PV panelinden maksimum gücün çıkarılmasını mümkün kılar (Munisekhar ve ark., 2020). Ayrıca, MPPT algoritmalarının entegrasyonu önemli ölçüde PV panelinin maksimum güç noktasını izleyerek DC-DC güç çeviricilerinin verimliliğini artırır.

2. Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi sistemleri hem ısı sağlamak hem de enerji üretmek için kullanılmaktadır. Dünyada artan enerji talebini karşılamak için çeşitli enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Güneş enerjisi sistemleri diğer enerji kaynaklarına göre daha pratik ve ekonomiktir. Türkiye güneş radyasyonunun yüksek olduğu ülkelerden biridir ve güneş enerjisi 1960 yılından beri alternatif enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda güneş enerjisinden üretilen elektrik miktarı arttı ve günümüzde bu pay önemli bir hale gelmiştir.

Güneş enerjisi foton yayan bir kaynaktır, çok büyüktür ve gereken enerjiden yaklaşık 10.000 kat daha fazladır. Güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşan şiddeti birçok faktöre bağlıdır. Işınlardan dik gelmesi, güneş ile dünya arasındaki mesafesi, havanın durumu vb. gibi durumlar enerjiye dönüştürülecek ışık miktarını değiştirir.

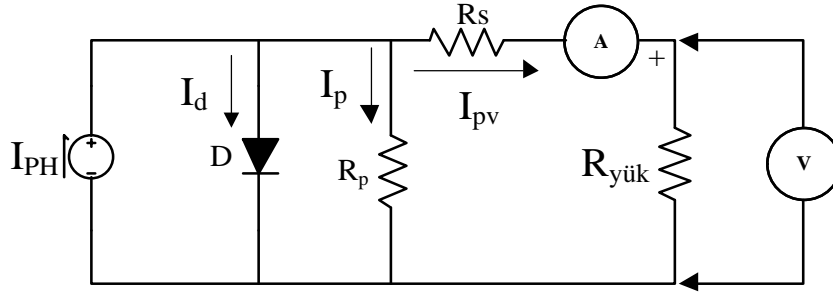
Güneş ışığı belirli nedenlerle kaybolarak enerji üretimini azaltır. Bu radyasyon, yeryüzüne ulaşan doğrudan ve dağınık radyasyonu enerjiye dönüştürür ve üretim azaldığında da faydalıdır.

Güneş paneli hücreleri, üzerlerine çarpan ışığın yaydığı elektronları transfer ederek elektrik üretir (Mengi ve Altaş, 2007). Üretilen enerji, uygulamaya (AC veya DC) bağlı olarak dönüştürülen ve kullanılan DC gerilimidir. Bu enerjinin büyüklüğü ve değeri panel boyutuna, güneş ışığının yoğunluğuna ve çevre koşullarına bağlıdır.

Güneş pillerinin üretiminde yarı iletken malzemeler kullanılmaktadır. Bu amaçla, çeşitli işlemlerden geçirilerek üretilen yarı iletken malzeme silisyum (Si) en uygundur. P tipi ve N tipi malzemeler, sıvı silikon elementinin çeşitli işlemlerden geçirilerek katı hale dönüştürülmesiyle oluşturulur. Katı hale dönüştürülmüş bir silikon yarı iletken malzemeye saf bir yarı iletken katkı maddesi eklenerek yapılır. Güneş pillerinin ana maddesi olan silisyumdan 'n-tipi' bir malzeme elde

etmek için sıvı haldeki silisyuma periyodik tablonun 5A grubundan bir element katılarak yapılır. En yaygın olanı fosfordur. "p-tipi" bir malzeme oluşturmak için periyodik tablonun 3A Grubundan bir elementin sıvı silikona eklenmesiyle yapılır. En yaygın olanları alüminyum, bor ve indiyumdur. Grup 3A ve 5A'dan seçildiler çünkü bu elementlerin son yörüngelerinde üç elektron vardır ve elektron eksikliği oluşturur. Bu durum boşluk oluşturur ve pozitif yük taşınmasına sebep olur.

Güneş pillerinin genel yapısı, pn katkılı bir diyotu andırır. Bu nedenle, bir güneş pilinden gelen akım bir diyotunkine benzer, dolayısıyla fotodiyot olarak da adlandırılabilir. Araştırmalar sonucunda devre için tek diyot devresi veya iki diyot devresi kullanılmış ancak sadece iki diyot kullanılan eşdeğer devre karmaşık bir yapıya sahip olduğu için tek diyot devresinin tercih edilmesi uygun görülmüştür (Altas ve Mengi, 2010). Ayrıca iki diyot devresi üzerinde yapılan işlemlerin modelleme sonuçlarını önemli ölçüde etkilemediği görülmüştür. Tek diyotlu güneş hücresinin modellenmesi Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. Monokristal tek diyotlu güneş hücresi elektriksel eşdeğeri

Şekilde verilen ve güneş ışını ile doğru orantılı olarak değişen I_{PH} akımı, D diyotu, yarı iletken malzemenin kayıplarını gösteren R_p direnci, temas ettiği kontak direncini gösteren R_s direnci, devreden alınan güneş pili akımı I_{PV} ve çıkış gerilimi V_{PV} den oluşmaktadır.

Güneş hücresi uçlarındaki akımı bulmak için devreye yük bağlı iken akan I_{PV} akımı Denklem (1)'deki gibi olur.

$$I_{PV} = I_{PH} - I_d - I_p \quad (1)$$

I_{PH} , akımı ise güneş hücresinin ürettiği ışınım akımı olup, Denklem (2)'deki gibi yazılabilir. Hava sıcaklığının fazla olması, güneş hücresi çalışma performansını olumsuz etkilerken, güneş ışınımının fazla olması güneş hücresi çalışma performansını olumlu etkiler. Güneş panelleri gün ışığı ile çalışsa da oluşan sıcaklıklar panelin enerji üretimine olumsuz etkileri bulunmaktadır. Hem akım hem de gerilime olan etkilerini ayrı ayrı incelendiğinde sıcaklık artışının Denklem (2)'den

anlaşılmaktadır.

$$I_{PH} = [I_{sc} - K_I (T_c - T_{REF})] \frac{Q_{MEV}}{Q_{REF}} \quad (2)$$

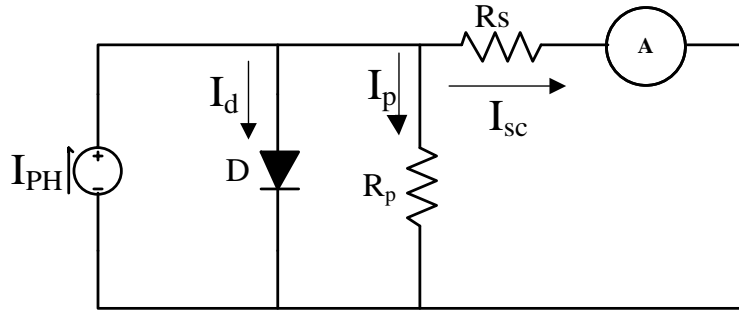
Eşitlikte verilen K_V parametresi katalog değerlerinden alınır. Bu değerler üretici firma tarafından belirlenir. Ayrıca K_V değeri negatif bir değerdir (Altaş, 1998).

$$V_{OC,mev} = V_{OC,ref} + K_V (T_c - T_{REF}) \quad (3)$$

ile elde edilir. Denklem (1), Denklem (2) ve Denklem (3)'de,

- I_{PV} : Güneş paneli akımı (A)
- I_{PH} : Işınım akımı (A)
- I_d : Diyot akımı (A)
- I_p : Güneş hücresi paralel direnç akımı (A)
- I_{sc} : Güneş paneli kısa devre akımı (A)
- K_I : Kısa devre akımı katsayısı
- T_C : Güneş paneli çalışma sıcaklığı ($^{\circ}C$)
- T_{REF} : Referans sıcaklık ($^{\circ}C$)
- Q_{MEV} : Mevcut güneş ışınımı (W/m^2)
- Q_{REF} : Referans güneş ışınımı (W/m^2)

ifade etmektedir. Şekil 2'de I_{sc} kısa devre akımının ölçüm devresi verilmiştir.



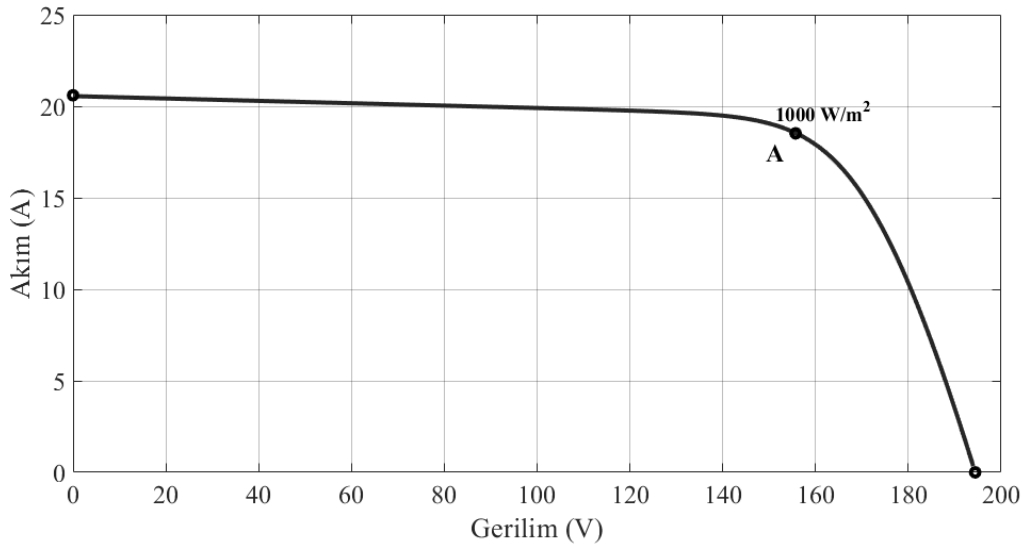
Şekil 2. Güneş hücresi kısa devre akımı ölçüm devresi

Akım gerilim değişimini belirleyen I_d diyot akımı Denklem (4)'te verilmiş olup bu hesaplamalar üzerinden belirlenmiştir.

$$I_d = I_s \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{kT_cA}} - \frac{V_{pv} + I_{pv}R_s}{R_p} \right) \quad (4)$$

Denklem(4)'te

- I_d : Diyot akımı (A)
 q : Elektron yükü (C)
 V_{PV} : Güneş paneli çıkış gerilimi (V)
 R_s : Güneş paneli seri direnci (Ω)
 k : Boltzmann sabiti (J/K $^\circ$)
 A : Diyot Kalite faktörü
 R_p : Güneş paneli paralel direnci (Ω)



Şekil 3. Güneş hücresi akım gerilim (I-V) grafiği

Şekil 3 incelendiğinde güneş hücresi için lineer olmayan bir yapıya sahip güç kaynağı olduğu görülmektedir. A noktası incelendiğinde güneş hücresinin sol tarafı gerilim kaynağı gibi davranış sergilerken, sağ tarafı akım kaynağı gibi davranmaktadır. Güneş hücrelerinde bulunan diyot kaynaklı lineer olmayan güç kaynağıdır. Bu durum yüke bağlanmaları durumunda en iyi güç çıkışı verebileceği anlamını taşımaktadır. Yalnız PV sistemlerde DC-DC çevirici, evirici yardımıyla batarya üzerinden yüke güç taşıyabilmektedir.

Bir güneş hücresinin üretebileceği akım-gerilim değerleri düşüktür. Her bir güneş paneli ürettiği güç üzerinden değerlendirilir. Bu güneş hücrelerini seri ya da paralel bağlayarak değişik güç değerleri elde edilir. Bu güç değerlerine bağlı olarak akım veya gerilim değerleri toplanarak çıkış gücü artırılır. İstenilen güç değerlerini elde etmek için Denklem (5)'e göre hesaplama yapılır.

$$P = V_{PV} I_{PV} \quad (5)$$

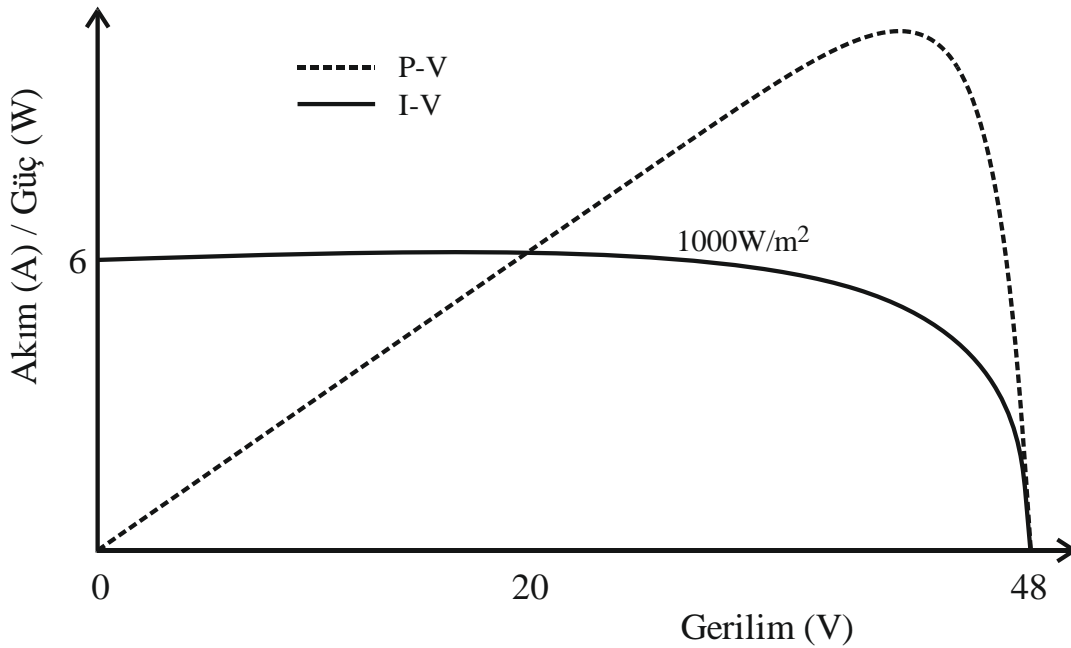
Denklem (6)'da kullanılan güneş paneli akım fonksiyonunda N_s , paneldeki seri hücre sayısı, N_p , paralel hücre sayısını belirlemektedir.

$$I_{PV} = N_p I_{PH} - N_p I_s \left(e^{\frac{q(V_{pv} + I_{pv} R_s)}{kT_c A_1}} - 1 \right) - \frac{N_p V_{PV} I_{pv} R_s}{N_s R_p} \quad (6)$$

N_p : Güneş panelindeki paralel hücre sayısı

N_s : Güneş panelindeki seri hücre sayısı

Şekil 3'te akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) grafikleri verilmiştir. Şekil 4'te verilen I-V eğrisindeki çalışma noktasına göre akım ya da gerilim belirlenip üretilecek güç miktarı belirlenebilmektedir. I-V ve P-V eğrileri güneş ışınımı ve sıcaklık koşullarına göre değişkenlik göstermektedir (Mengi ve Altaş, 2008).

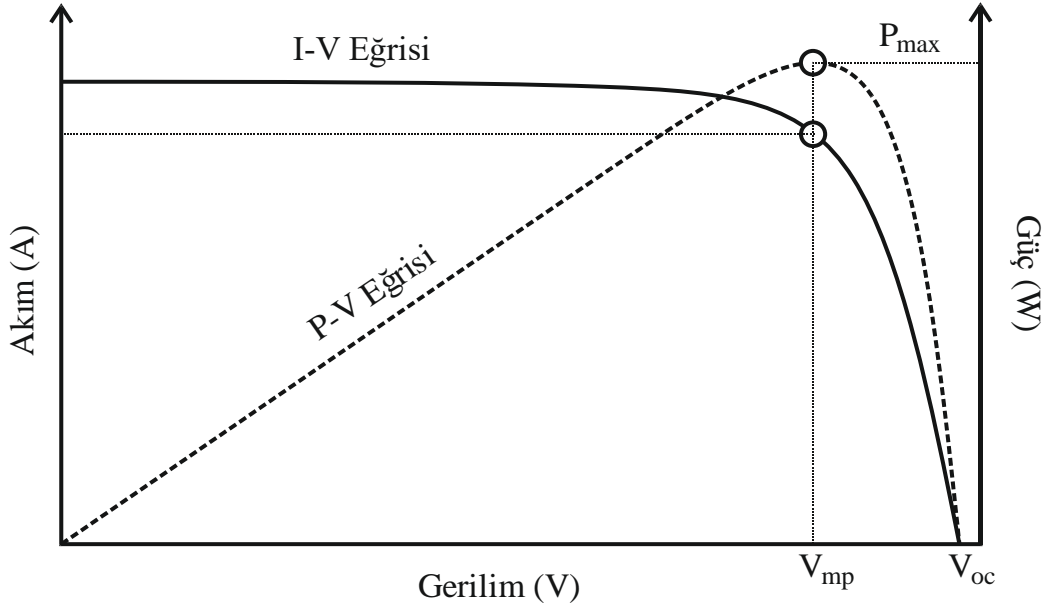


Şekil 4. Güneş paneli I-V ve P-V Grafiği

Üretilen güneş panelleri için standart test koşulları aynı olup bu değerler 1000W/m güneş ışınımı, 25°C çevre sıcaklığı ve 1.5 atm basınçta (1.5 AM) hava kütlesi için olan değerlerdir. Bir monokristal hücrenin I-V ve P-V grafiği Şekil 4'te verilmiştir. Bu eğriler için açık devre gerilimi 48,3V, kısa devre akımı 5,80A seçilmiştir. Şekiller incelendiğinde I-V değişimi logaritmik bir eğri olduğu görülmüştür. Ayrıca R_s seri direnç etkisi ihmal edilmiştir.

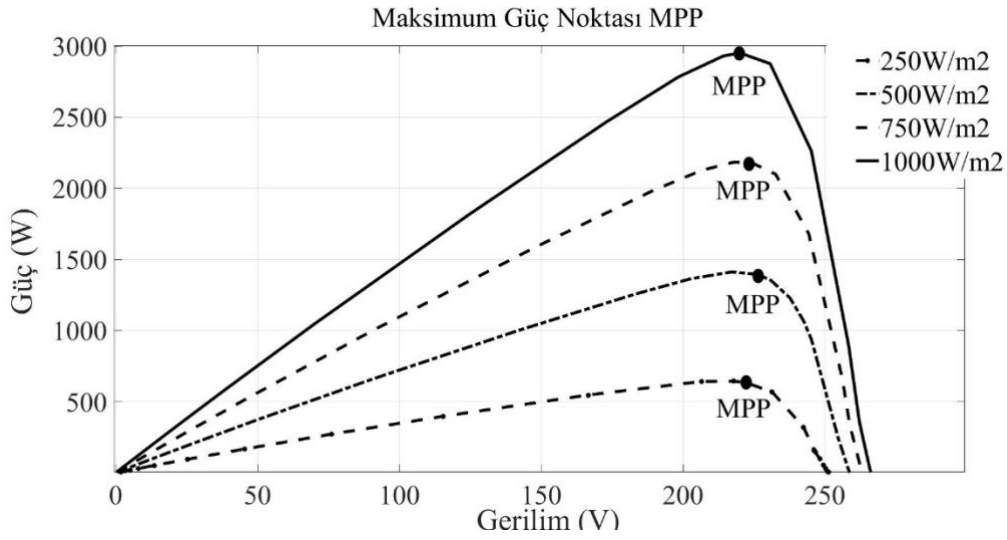
3. MPPT Teknikleri

Yapılan tüm çalışmalarda amaç enerji üretimini en üst seviyeye getirmektir. PV panellerin karakteristikleri dikkate alındığında, üretilen enerji üretim tesisi tarafından maksimum şekilde yüke aktarılmamaktadır. Şekil 5 ve Şekil 6'daki PV panel Akım-Gerilim ve Gerilim-Güç grafikleri göz önüne alındığında çıkış gücünün geniş bir spektrumda çalıştığı görülmektedir. Bu geniş spektrumda maksimum gücün tek bir noktada olduğu Şekil 5'te görülmektedir.

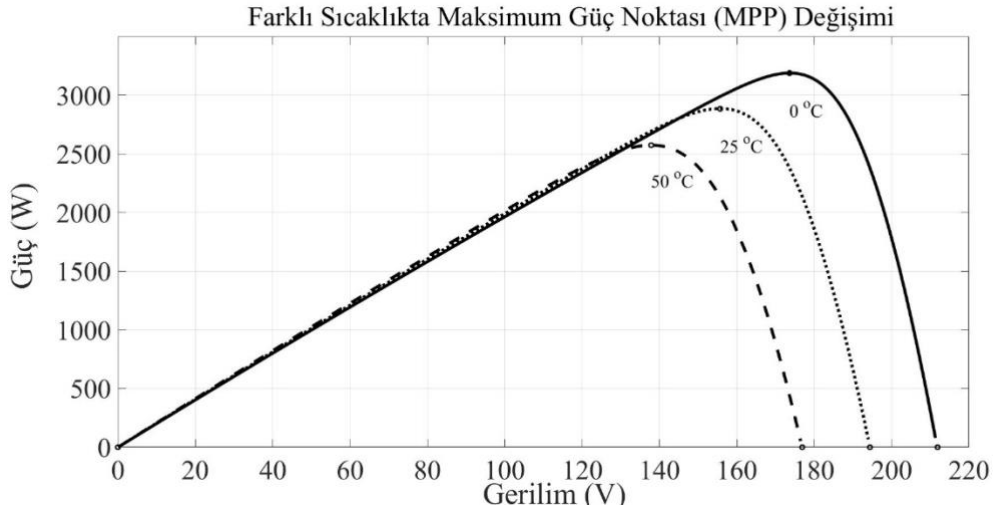


Şekil 5. PV Panelin çalışma eğrileri ve maksimum güç noktası

Üretilen enerjinin yüke doğrudan bağlanması durumunda, PV panel çıkışı, maksimum güçte çalışmayacak veya bu nokta tesadüfi olacaktır. Maksimum güç noktasının, farklı atmosferik şartlar altındaki değişimi Şekil 6'da ve Şekil 7'de gösterilmiştir. PV sistemin bu noktada çalıştırılması maksimum güce ulaşmak için büyük önem arz etmektedir.



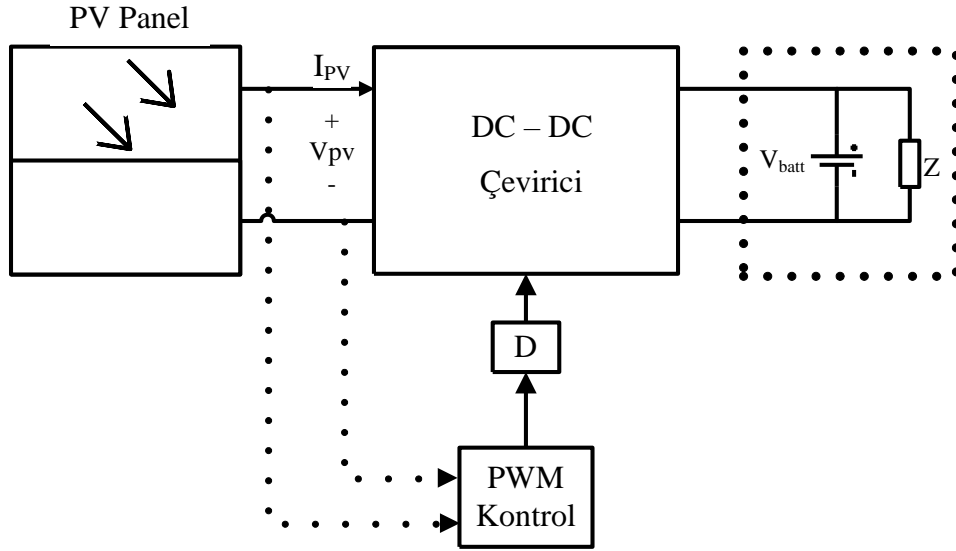
Şekil 6. Farklı radyasyon değerlerinde maksimum güç noktasının değişimi



Şekil 7. Farklı sıcaklık değerlerinde maksimum güç noktasının değişimi

DC-DC güç çeviricileri, kaynaktan aldığı enerjiyi yüke aktaran, kritik durumdaki elektronik devrelerdendir. Yük ve PV panel arasındaki DC-DC çeviricinin görev oranı, maksimum güç noktası etrafında, akım veya gerilimin değişimine bağlı kontrol edilerek maksimum enerji yüke aktarmaktır. DC-DC çeviricinin görev oranı MPPT algoritmalarıyla kontrol edilerek, yüke maksimum güç aktarılmış olacaktır (Dolara ve ark., 2009).

Bu algoritmalarla istenen, hangi atmosferik şartlar altında olursa olsun PV üretilen gücü maksimum noktaya ulaştıracak DC-DC çeviricinin görev oranına karar vermektir.



Şekil 8. MPPT'li PV sistemin genel blok diyagramı

3.1. Değiştir & Gözle Yöntemi (D&G)

MPPT çalışmalarında kullanılan yöntemlerin içinde en çok tercih edilen yöntemlerdendir. Yazılımının kolay olması, uygulamada sağladığı doğruluk sebebiyle tercih edilen bir yöntemdir.

D&G yönteminde, PV panel gerilimini adım adım değiştirip, güçte gerçekleşen değişikliğin gözlenmesine dayanır. Yapılan değişikliğin sonucunda artma veya azalma görülüyorsa değişikliğin görüldüğü yönde değişime devam edilir. Tablo 1'de bu değişimler verilmiştir.

Tablo 1. D&G yöntemi işleyiş adımları

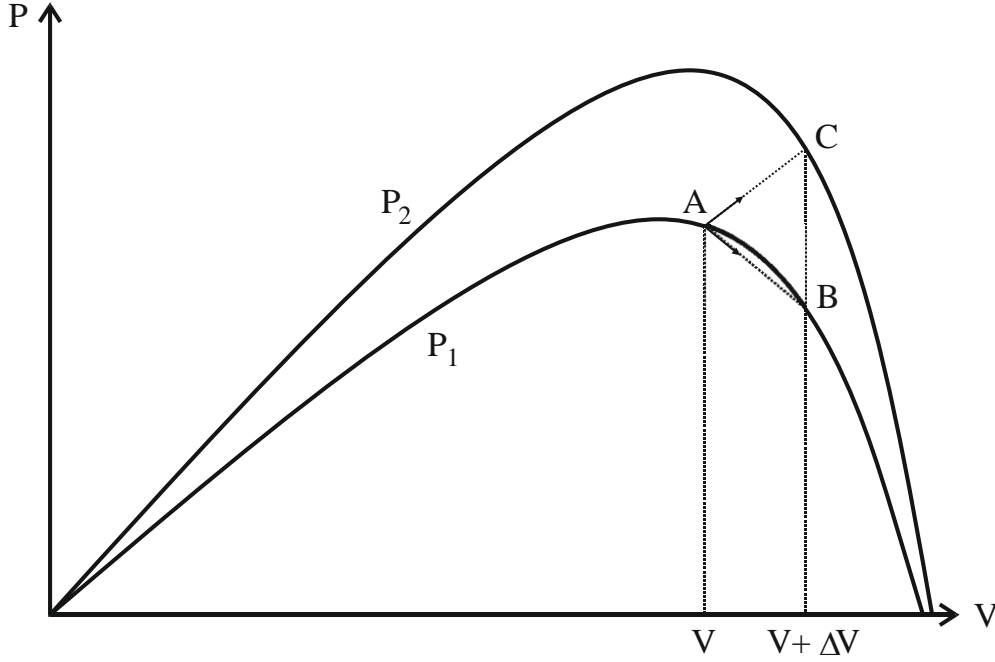
Değişim	Güçteki Değişim	Sonraki Değişim
Pozitif	Pozitif	Pozitif
Pozitif	Negatif	Negatif
Negatif	Pozitif	Negatif
Negatif	Negatif	Pozitif

Tablo 1'de verilen akış sürekli olarak devam eder. Maksimum güç noktası bulunduğu etrafında salınım oluşur. Salınımı azaltmak için değişim adım boyutunu düşürmek yöntemlerden bir tanesidir. Adım boyutu küçültüldüğünde maksimum güce ulaşım uzun süreceğinden, değişim adımlarının boyutu kritik önemdedir (Esrar ve Chapman, 2007).

Maksimum güç noktası etrafındaki salınım veya osilasyon probleminde bir diğer çözüm adım boyutlarını değişken yapmaktır. Maksimum güç noktasına yaklaştıkça adım boyutu küçülecek,

uzaklaştıkça büyüyecektir. Böylece güce ulaşmada hız ve osilasyon problemlerine bir çözüm olacaktır.

D&G yönteminin diğer bir dezavantajı, özellikle atmosferik şartlardaki anlık değişimde hatalı çalışmasıdır. Şekil 9'daki grafikten de görüleceği üzere güçteki değişimden dolayı maksimum güç noktasından uzaklaşacak ve tekrar MPPT noktasına dönebilmesi için zaman güç kaybedecektir.



Şekil 9. Anlık radyasyon değişiminde D&G yönetiminin davranışı

3.2. Artan İletkenlik Yöntemi (Incremental Conductance - IC)

Bu yöntem de PV panelin güç ve gerilim ölçülerek eğime bakılmaktadır. Kullanılan algoritmalar da eğimin pozitif, negatif veya sıfır olduğu noktalara bakılarak DC-DC çevirici görev periyodu ayarlanır (Esrarn ve Chapman, 2007).

Tablo 2'de IC yönteminde sistem çalışma geriliminin eğime bağlı olarak konumu verilmektedir.

Tablo 2. IC yöntemi işleyiş adımları

Eğim	Sistemin Çalışma Gerilimi
$dP/dV = 0$	Maksimum Güç Noktasında
$dP/dV > 0$	Maksimum Güç Noktasının Solunda
$dP/dV < 0$	Maksimum Güç Noktasının Sağında

3.3. Kısmi Açık-Devre Gerilim Yöntemi

PV panelin açık devre gerilimi ile MPPT noktası arasında, Denklem (7)'deki gibi doğrusal ilişki vardır.

$$V_{MPP} \approx k_1 V_{oc} \quad (7)$$

V_{MPP} : Maksimum güç noktasındaki gerilim (V)

k_1 : Açık devre gerilimi katsayısı

V_{oc} : PV panel açık devre gerilimi (V)

Bu eşitlikte; V_{MPP} , maksimum güç noktası gerilimi; k_1 , oransal sabit ve V_{oc} , panel açık devre gerilimi, PV panel sisteminde k_1 değeri uygulamada test edilip, bulunmalıdır. Uygulamada bulunan k_1 değeri bulunduktan sonra, PV panel uçları devreden ayrılarak açık devre gerilim (V_{oc}) ile maksimum güç noktası hesaplanır. Uygulamada anlık olarak sistemin dışarıya alınması güç kaybına yol açacağından yöntemin zayıf noktasını oluşturur (Ahmad, 2010).

Ayrıca bu yöntem de gerçek MPPT noktasında çalışılmayacağı çok açıktır. Uygulamadaki basitliğinden dolayı enerji santrallerinde sıklıkla kullanılmaktadır.

3.4. Kısmi Kısa-Devre Akım Yöntemi

PV panelin açık devre gerilimi ile MPPT noktası arasında, Denklem (8)'deki gibi doğrusal ilişki vardır. Bu ilişki;

$$I_{MPP} \approx k_2 I_{sc} \quad (8)$$

I_{MPP} : Maksimum güç noktasındaki akım (A)

k_2 : Açık devre gerilimi katsayısı

I_{sc} : PV panel açık devre gerilimi (A)

olarak tanımlanabilir. Burada k_2 oransal sabittir kullanılan PV panelin karakteristiğine bağlı, her PV panelde farklı özellik göstermektedir.

Bu yöntemdeki en büyük problem sistem çalışma durumunda I_{sc} akımını ölçme zorluğu ve bunun için kullanılacak elemanların maliyeti artırmasıdır.

4. Metasezgisel Algoritmalar

Metasezgisel algoritmalar, doğadaki canlıların yaşam döngüsündeki avlanma, hayatta kalma refleksi gibi davranışlarından örnek alınarak geliştirilmiş bilgisayar algoritmalarıdır. Bununla birlikte endüstrinin birçok alanında maliyetleri düşürmek, rota planlamak, en uygun maliyeti bulmak, üretim, depo lojistik gibi bir dizi karmaşık üretim, dağıtım ağlarındaki verimliliği artırmak gibi problemlerde sıklıkla kullanılır.

Metasezgisel Algoritmalar, doğadaki olayları taklit etme biçimine göre gruplandırılabilir. En bilinenleri aşağıda belirtilmiştir.

- Evrim sürecini taklit eden algoritmalar (Genetik Algoritma GA)
- Fiziksel değişimi taklit algoritmalar (Merkezi Kuvvet Optimizasyonu MKO)
- Sürü davranışlarını taklit eden algoritmalar (Parçacık Sürü Optimizasyonu PSO)
- İnsan davranışını taklit eden algoritmalar (Tabu arama TA)

Bununla birlikte elektriksel sistemlerde kullanılan geleneksel PID kontrolörlerin parametrelerini, temel hata ölçüm parametrelerine göre bulmak ve en iyi hale getirmek için de metasezgisel algoritmalarla yararlanılabilir (Özturan, 2022).

4.1. Parçacık Sürü Optimizasyon (PSO) Algoritması

PSO algoritması, doğada sürü halindeki canlıların avlanma ve hayatta kalma mücadelesinden esinlenerek, 1995’de Eberhard ve Kennedy tarafından önerilen, sürü davranışını taklit eden metasezgisel optimizasyon algoritmasıdır. PSO algoritması n boyutlu arama uzayında, parçacıkların önceki deneyimi ve komşuların deneyimini de hafızasında tutup. Sonraki adımda parçacıkları çözüme yaklaştırma esasına dayanır.

Parçacık tanımlamasında hızı ve konumuyla tanımlanır. Her parçacık çözümün bir parçasını ifade eder.

Parçacıkların optimizasyon probleminin, çözümüne başlamadan önce hızları ve konumları rastgele seçilir. Her yenilemede parçacığın hızı ve konumu güncellenir. Yenileme sayısınca çözüme yaklaşılır. Yenileme boyunca her parçacığın en iyi olduğu çözüm ($Pbest_i$) Popülasyonu oluşturan tüm parçacıkların en iyi değeri ($Gbest$) olarak adlandırılır. Sonraki adımda ki güncellemeler, global en iyiye doğru olacaktır.

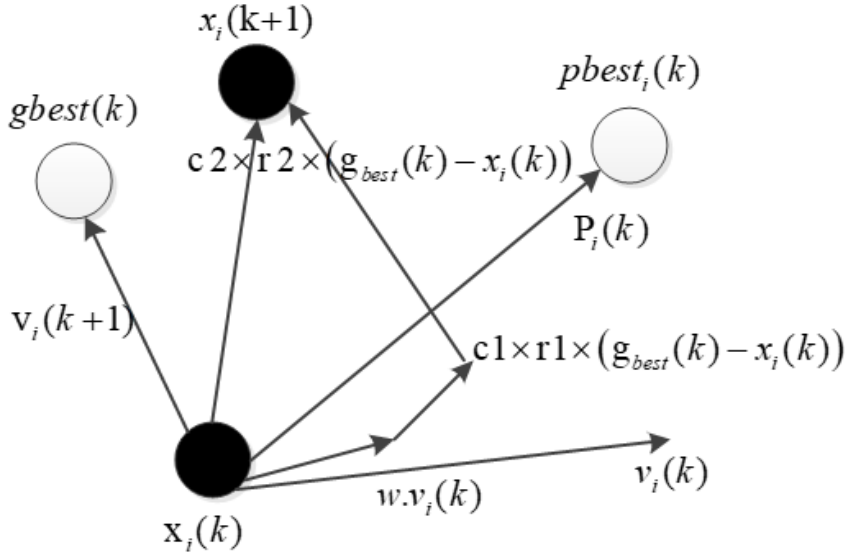
Her parçacığın en iyi çözüme ulaşabilmesi için yenilenen adımda, parçacığın uçuş yönü, hızı, değeri. PSO Algoritmasındaki Denklem (9) ve (10) tarafından belirlenir.

$$x_i(k+1) = x_i(k) + v_i(k+1) \quad (9)$$

$$v_i(k+1) = w.v_i(k) + c1.r1(P_{best,i} - x_i(k)) + c2.r2(G_{best,i} - x_i(k)) \quad (10)$$

Denklem (9) ve Denklem (10)'da kullanılan terimler sırasıyla

- i : parçacık sayısını,
- k : yineleme sayısını,
- w : eylemsizlik ağırlığını,
- r_1 ve r_2 : [0 ile 1] Aralığın da rastsal sayılar
- c_1 ve c_2 : hızlandırma katsayılarını,
- $P_{best,i}$: i. parçacığın kişisel en iyi pozisyonunu,
- G_{best} : tüm popülasyon içerisindeki parçacıkların en iyi pozisyonunu,
- x_i : i. parçacığın pozisyonunu,
- V_i : i. parçacığın hızını ifade eder.



Şekil 10. Parçacıkların çözüm uzayında hareketi

Parçacıkların hareketi, belirlenen çözüm uzayında Şekil 10'da gösterildiği gibidir. Problemin boyutuna göre yineleme sayısı artıp azaltılabilmektedir. Yineleme sayısı arttıkça çözüme ulaşma zamanı artabilir, az olduğunda ise çözüme ulaşılamayacağından, yineleme ve problem boyutu arasında ilişki vardır.

En doğru G_{best} değerine ulaşabilmek için hızlandırma katsayıları ve eylemsizlik katsayıları kullanılır. P_{best} ve G_{best} arasındaki dengeyi eylemsizlik katsayısı 0 ila 1 arasına ayarlanır. Büyük

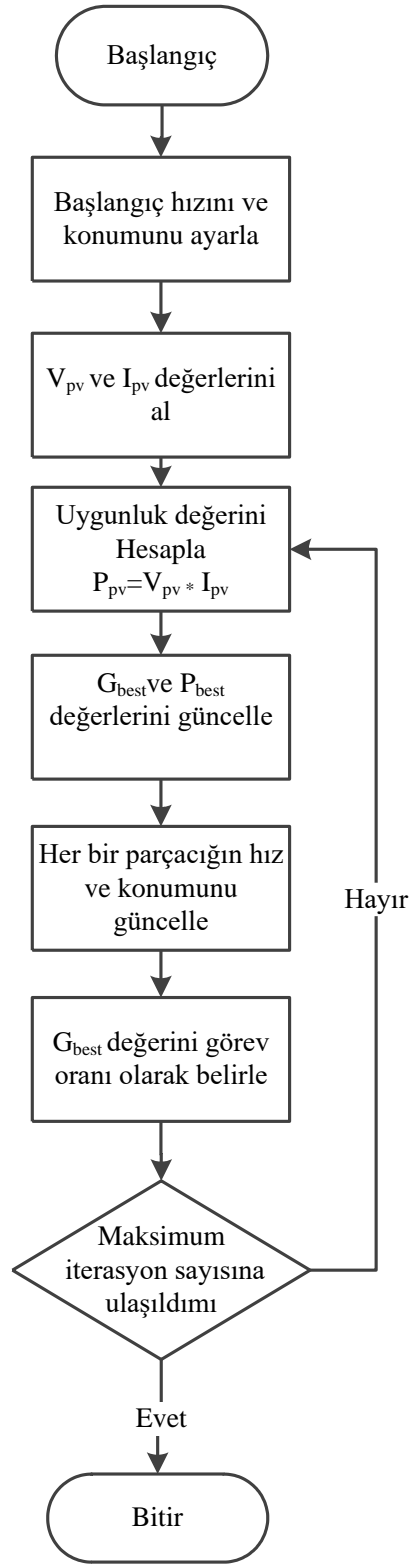
bir eylemsizlik katsayısı, $Gbest$ arama yeteneğini arttırır, düşük bir eylemsizlik katsayısı $Pbest$ arama yeteneğini yükselteceğinden, bu iki durum arasındaki denge yineleme sayısını doğrudan etkiler. Yinelemeler arasındaki hız değerini w eylemsizlik ağırlığı belirler. Bu değer sabit bir değer olabildiği gibi yinelemeler sonucunda Denklem (11)'deki gibi yinelemelere uyumlu değere ayarlanabilir.

$$w = \frac{w_{\max} - w_{\min}}{k_{\max}} \cdot k \quad (11)$$

C_1 ve C_2 hızlandırma katsayıları, en iyi çözüme ulaşabilmek için, hızlandırma katsayılarının $C_1 = C_2 = 2$ şeklindeki seçiminde iyi sonuçlara ulaşıldığı görülmektedir.

PSO yöntemi, diğer yöntemlere göre programlanmasının daha kolay olması, atmosferik şartlardan etkilenmemesi, maksimum güç noktasına hızlı ve doğru şekilde bulması sebebiyle tercih edilmektedir (Eberhart ve ark., 1995)

PSO algoritmasının akış şeması Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11. PSO algoritmasının akış şeması

4.2. Çakal Optimizasyon Algoritması (Coyote Optimization Algorithm - COA)

Kuzey Amerika’da yaşayan canis latrans türlerinden esinlenen COA, global optimizasyon için metasezgisel bir algoritmadır. Tasarlanan algoritma, çakalların sosyal organizasyonunu ve çevreye uyumunu dikkate almakta ve literatürdeki diğer metasezgisel algoritmalara göre farklı bir algoritmik

yapı ile katkı sağlamaktadır, ayrıca optimizasyon sürecinde, keşif ve avlanmayı dengelemek için yeni mekanizmalar önerir. Hem sürü zekası hem de evrimsel sezgisel olarak sınıflandırılan popülasyon tabanlı bir algoritmadır ve çakalların davranışlarından esinlenmiştir. Canis Lupus türünden ilham alan Gri Kurt Optimizasyonu (Grey Wolf Optimization - GWO) algoritmasının aksine, COA farklı bir algoritmik kurguya sahiptir ve bu hayvanların GWO algoritmasında olduğu gibi sosyal hiyerarşi ve baskınlık kurallarına odaklanmaz, yalnızca av avlamak yerine, sosyal yapıya ve deneyim alışverişine odaklanır (Pierezan ve Dos Santos Coelho, 2018).

COA'da lider çakal, GWO'da olduğu gibi Alfa bireydir. Çakal popülasyonun da N_p sürü sayısını, N_c çakal sayısı ile ifade edilir. Birinci aşamada sürüdeki çakal sayıları sabittir. Her çakal olası çözümü, sosyal durum ise amaç fonksiyonun maliyetini oluşturur.

Çakalın aktivitelerini etkileyen içsel etkenler (hiyerarşideki yeri ve cinsiyeti, sürünün genel durumu) ve dışsal etkenler (Atmosferik ve coğrafik şartlar, kış, kar kalınlığı ve sertliği, ortam sıcaklığı) olarak belirtilmiştir. COA mekanizması global bir optimizasyon probleminin karar değişkenleri anlamına gelen \vec{x} çakalların sosyal koşullarına dayalı olarak tasarlanmıştır. Böylece, zamanın t^{th} anında, P^{th} sürüsünün, c^{th} çakalının sosyal durumu Denklem (12)'deki gibi yazılabilir.

$$soc_c^{p,t} = \vec{x} = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_D) \quad (12)$$

Çakalın adaptasyonu $fit_c^{p,t} \in R$ şeklinde ifade edilebilir.

Sosyal durumu ve maliyet fonksiyonu tanımlanan çakal sürüsünün ilk adımı popülasyonun başlatılmasıdır. Diğer metasezgisel algoritmalarda olduğu gibi arama uzayında her bir çakal için sosyal koşullar rassal değerler olarak belirlenir ve popülasyon başlatılır.

$$soc_c^{p,t} = lb_j + r_j (ub_j - lb_j) \quad (13)$$

İlk adımda alt (lb_j) ve üst sınır $(V_g - V_o)t_D = V_o(t_P - t_D)$ belirlenir, (r_j) ise $[0,1]$ aralığında belirlenmiş yenilemelerde değişen rassal bir sayıdır. Aynı zamanda problemin boyutu başlangıçta D olarak ifade edilir. Başlangıç atamaları yapılan problemde sonra, Mevcut sosyal duruma olan adaptasyonu Denklem (14)'teki gibi değerlendirilir.

$$fit_c^{p,t} = f(soc_c^{p,t}) \quad (14)$$

Başlangıçta sürüye rastgele atanan çakallar. Sürüden ayrılarak yalnız kalabilir veya başka bir sürüye dâhil olabilir. Bu durum sürüdeki çakalın sayısına göre farklı bir olasılığı meydana getirir.

$$P_c = 0.005 * N_c^2 \quad (15)$$

Denklem (15)'in 1'den büyük değerler alamayacağı göz önünde bulundurularak, popülasyonda, sürüye düşen çakal sayısı $N_c = \sqrt{200}$, en fazla 14 değerini alabilir. Bu durum popülasyon da bulunan çakal sürüleri arasında sosyal etkileşim ve kültürel değişimin çeşitlendirilmesinde önemli rol oynar. Popülasyondaki bu değişim COA tarafından en iyisi alınarak minimize edilir. Bu durum Denklem (16)'da ifade edilir (Pierezan ve Dos Santos Coelho, 2018).

$$alpha = \left\{ soc_c^{p,t} \mid \arg \min_{c=\{1,2,3,\dots,N_c\}} f(soc_c^{p,t}) \right\} \quad (16)$$

COA sürü algoritması olduğundan, sürü zekâsı, sürünün devamlılığının sağlanması aynı zamanda kültürel değişim ve sosyal koşulların paylaşılması, sürünün bakımına katkıda bulunulması için yeterince organize olduğunu varsayar. Bu nedenle COA çakallardan gelen bilgileri birbirine bağlar ve kültürel eğimi hesaplar.

$$cult_c^{p,t} = \left\{ \begin{array}{l} \frac{O_{\frac{(N_c+1)}{2}}^{p,t}}{2}, N_c \text{ is odd} \\ \frac{O_{\frac{N_c}{2}j}^{p,t} + O_{\frac{(N_c+1)}{2}j}^{p,t}}{2}, otherwise \end{array} \right\} \quad (17)$$

Burada $O^{p,t} [1, D]$ aralığındaki sürünün kültürel eğilimi, belirlenen sürüden tüm çakalların sosyal koşullarının medyan değeri olarak hesaplanır.

COA algoritmasında yaş $age_j^{p,t} \in N$ olarak ifade edilir,

Denklem (18), rassal seçilmiş ebeveynlerin sosyal ve çevresel etkisinin birleşiminden doğan yeni bir çakalı ifade etmektedir (Pierezan ve Dos Santos Coelho, 2018).

$$pup_j^{p,t} = \left\{ \begin{array}{l} soc_{r1,j}^{p,t} \quad rndj < P_s \quad \text{veya } j = j_1 \\ soc_{r2,j}^{p,t} \quad rndj < P_s + P_a \quad \text{veya } j = j_2 \\ R_j \quad otherwise \end{array} \right\} \quad (18)$$

P_s dağılım ihtimali, P_a birliktelik ihtimali, sürüdeki çakalların kültürel çeşitliliğine rehberlik eder. COA'nın bu ilk aşamasında, P_s ve P_a şu şekilde tanımlanmıştır:

$$P_s = 1/D \quad (19)$$

$$P_a = (1 - P_s)/D \quad (20)$$

Çakal yavrularının hayatta kalma olasılığı, %90 civarındadır. COA doğum ile ölüm arasında ilişki, Denklem (21) ile ifade edilir. En kötü çözüm δ olarak ifade edilir ve sürü içindeki eleme, Denklem (21)'e göre yapılır.

$$\text{Bir sürüde doğum ve ölüm} = \left\{ \begin{array}{l} \delta = 1, \quad \text{yavru hayatta kalır ve } \alpha \text{ içinde çakal ölür} \\ \delta > 1, \quad \text{yavru hayatta kalır ve } \alpha \text{ içinde en yaşlı çakal ölür} \\ \quad \quad \quad \text{diğer durumlarda yavru ölür} \end{array} \right\} \quad (21)$$

COA'da popülasyonun kültürel etkileşimi δ_1 ve δ_2 olarak ifade edilir. δ_1 rastgele bir çakalın, alfa etkisi altında olduğu varsayımı, δ_2 ise rastgele bir çakal üzerindeki, kültürel etki altında olduğu varsayımı.

$$\delta_1 = \alpha^{p,t} - soc_{cr2}^{p,t} \quad (22)$$

$$\delta_2 = \text{cult}^{p,t} - soc_{cr2}^{p,t} \quad (23)$$

Çakalların yeni sosyal davranışı, alfa ve kültürel etki altında, Denklem (24)'teki denklemlerle yenilenir.

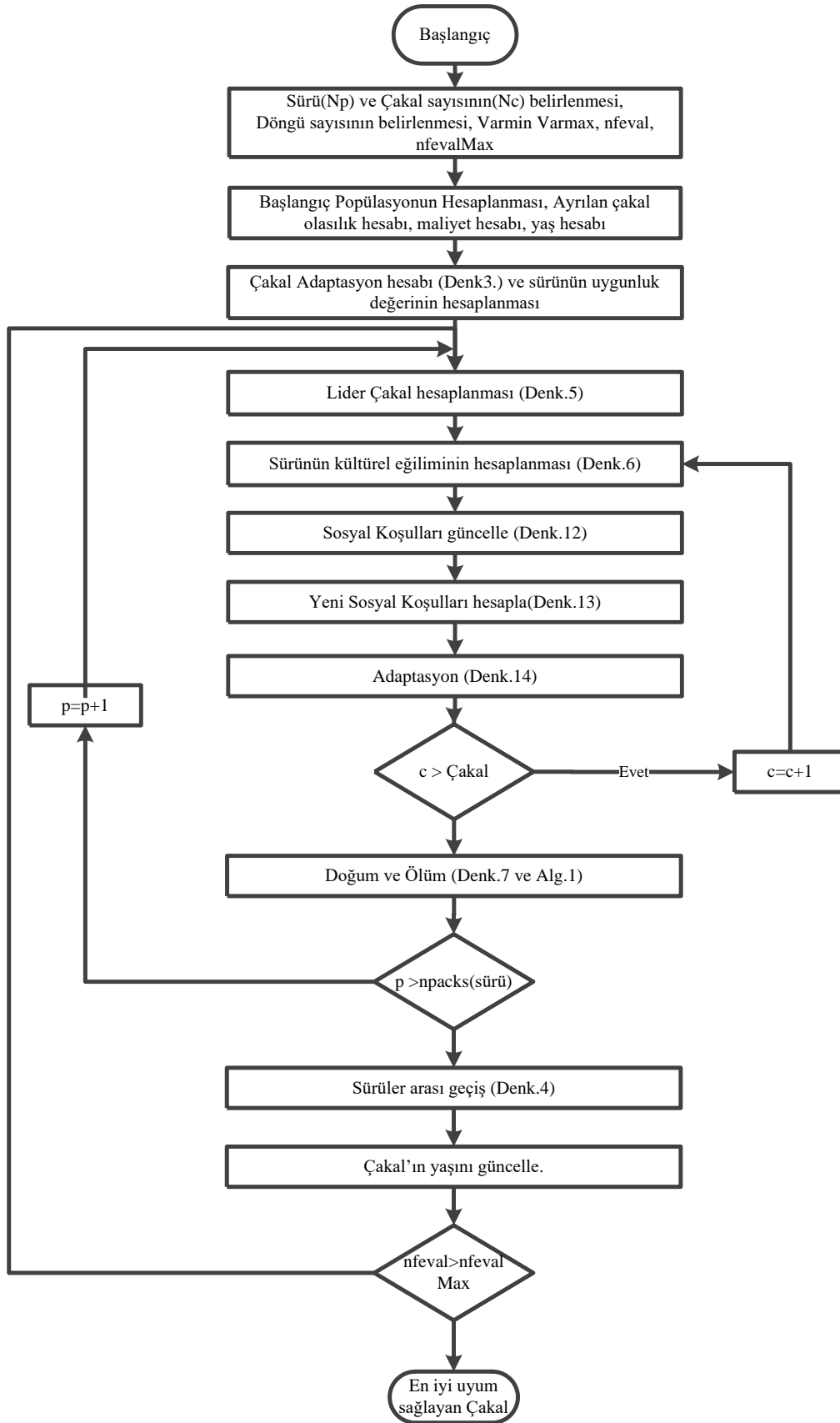
$$\text{new_soc}_c^{p,t,\text{new}} = soc_c^{p,t} + r_1\delta_1 + r_2\delta_2 \quad (24)$$

Yenilenen sosyal davranışa göre, Denklem (25) ile yeni uygunluk fonksiyonu oluşturulur. Çakalın yeni ve eski sosyal durumu, Denklem (26)'da bilişsel kapasiteye göre kıyaslanarak, hangi durum iyiyse seçilir.

$$\text{new_fit}_c^{p,t} = f(\text{new_soc}_c^{p,t}) \quad (25)$$

$$soc_c^{p,t+1} = \left\{ \begin{array}{l} soc_c^{p,t,\text{new}} \quad \text{fit}_c^{p,t,\text{new}} < \text{fit}_c^{p,t} \\ soc_c^{p,t} \quad \text{diğer durumlarda} \end{array} \right\} \quad (26)$$

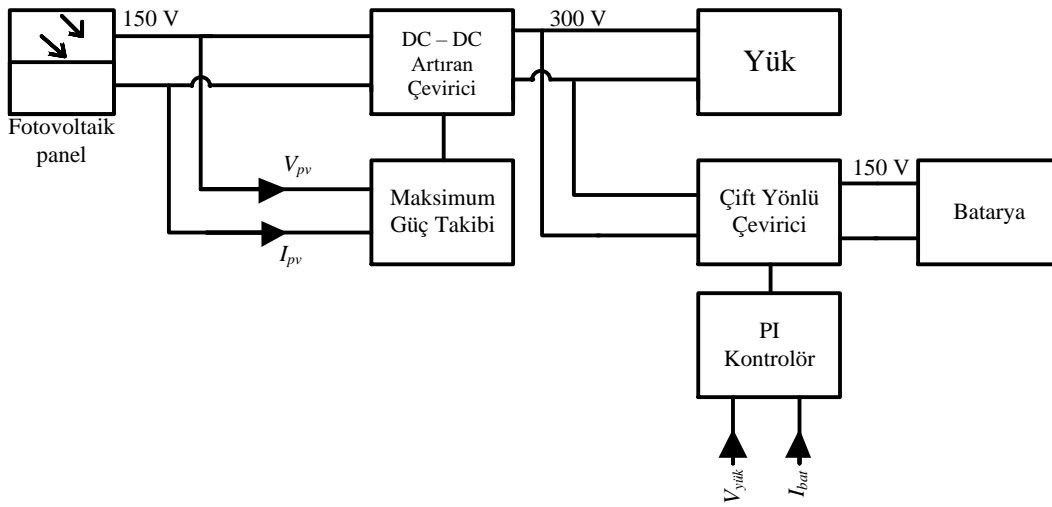
Seçilen en iyi durum global en iyi olarak kullanılır. Algoritmanın akış şeması Şekil 12’de verilmiştir.



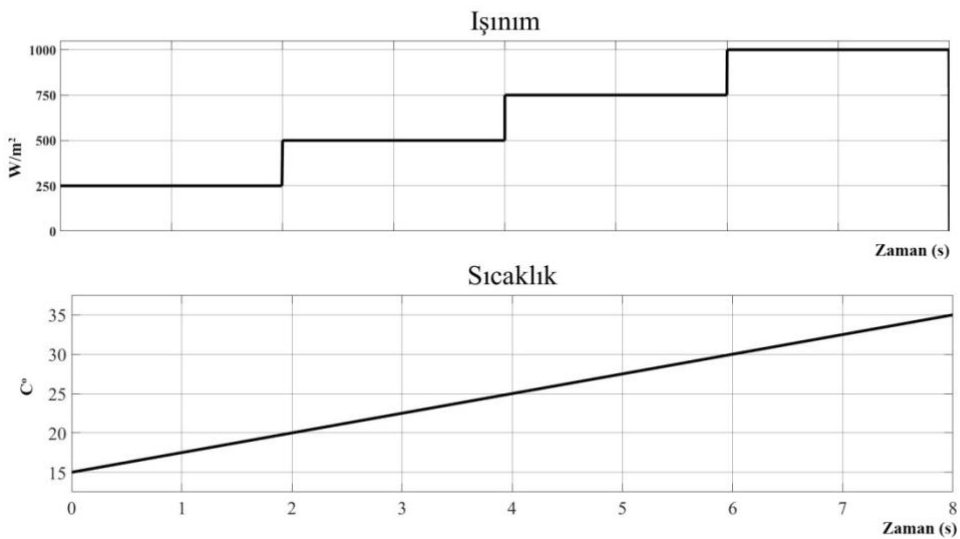
Şekil 12. Çakal algoritması genel akış diyagramı

3. Bulgular ve Tartışma

Benzetim çalışmaları Matlab / Simulink ortamında yapılmıştır. Şekil 13'te sistemin tek hat diyagramı görülmektedir. Sistem PV pil DC-DC çevirici, Maksimum Güç Takibi, iki yönlü DC-DC çevirici, batarya, kontrolör ve yükten oluşmaktadır. Benzetim çalışmasında ortam sıcaklığı Şekil 14'te görüldüğü gibi 15°C ile 35°C arasında doğrusal olarak artmaktadır ve ışınım şiddeti kademeli olarak 250W/m² ile 1000 W/m² arasında değişmektedir. Benzetimi yapılan Sharp NE-80EJE1 model güneş paneli ile benzetimi yapılan enerjiye ulaşmak için 8 seri, 9 paralel kol ile birlikte toplamda 36 güneş paneli kullanılmış olup 1000W/m² P_{max}=2883W güç elde edilmiştir.



Şekil 13. Sistemin tek hat diyagramı

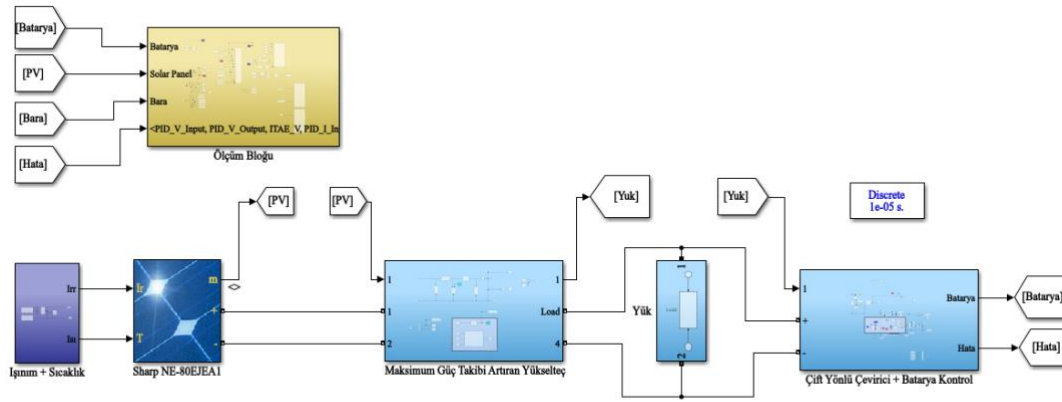


Şekil 14. Güneş ışınım seviyesi değişikliği ve ortam sıcaklığının değişimi

Güneş Panellerinden gelen doğru gerilim artıran DC-DC çeviriciden geçerek yük ve batarya grubunu şarj edebilmek için iki yönlü DC-DC çeviriciyi besler. Artıran DC-DC çeviricinin görev oranı, MPPT yapan algoritmalar tarafından kontrol edilip, temel amacı maksimum gücü çıkışa aktarabilmektir. Çıkışa aktarılan gücün durumuna göre, iki yönlü çevirici ve bataryayı kontrol eden PI kontrolörler, yük üzerindeki gerilimi sabit tutmak ve bataryanın dolma boşalmasını kontrol etmek için uygun değerlere ayarlanmıştır. Aynı zamanda batarya akım sınırlaması PI kontrolör ile yapılmaktadır.

Çift yönlü DC-DC çevirici senkron şekilde çalıştırılırken, MPPT devresi PV panelden enerjiyi en üst seviyeye getirecek şekilde çalışır, iki yönlü DC-DC çeviricinin kontrolörü yük üzerindeki gerilimi sabitleyecek şekilde kontrol eder. Yük üzerindeki gerilime bağlı olarak MPPT devresinden gelen güce ve yükün çektiği güce göre batarya akımı ortalaması şarj veya deşarj yönünde olacaktır. Kontrolör batarya akımının limit değerleri aşıp aşmadığını kontrol eder.

Şekil 15'te görülen sistem modelinde kullanılan tüm değerler Tablo 3-6'daki değerlerle benzetimi yapılmış olup, PV panel DC-DC artıran çevirici, çeviriciyi kontrol eden MPPT algoritmaları ve bataryanın şarj ve deşarjını kontrol eden iki yönlü DC-DC çeviricinin kısımları sırasıyla Şekil 16-19'da gösterilmiştir.



Şekil 15. Benzetimi yapılan sistem

Tablo 3. Sharp NE-80EJA1 elektriksel karakteristik

Elektriksel Karakteristik	
Hücre Yapısı	Poly-crystalline silicon
Modüldeki Hücre Sayısı (Adet)	36 Adet
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	21,6V
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	5,16A
Maksimum Güçteki Gerilim Değeri (V_{mpp})	17,3V
Maksimum Güçteki Akım Değeri (I_{mp})	4,63A
Maksimum Güç (P_{max})*	80W(+10%/-5%)

Maksimum Sistem Gerilim Değeri	600V DC
Modül Verimi (η_m)	12,4%
Çalışma sıcaklığı (.C)	-40 / 90 °C

Tablo 4. Kullanılan artıran DC-DC çeviricinin girişe göre hesaplanan değerleri

V_{mp}	183,84V
I_{min}	0,76A
ΔV	%2
ΔI	%30
D_{max}	0,844
D_{min}	0,368
$V_{o(max)}$	1330,76V
$V_{o(min)}$	295,5V
$I_{o(max)}$	2,16A
$I_{o(min)}$	0,48A
ΔV_0	2.66V
ΔI_0	0,192A
R_f	178,23 Ω
C_{in}	1918 μ F
C_o	274,7 μ F
L	15mH
f	5000Hz
T_s	10e-6

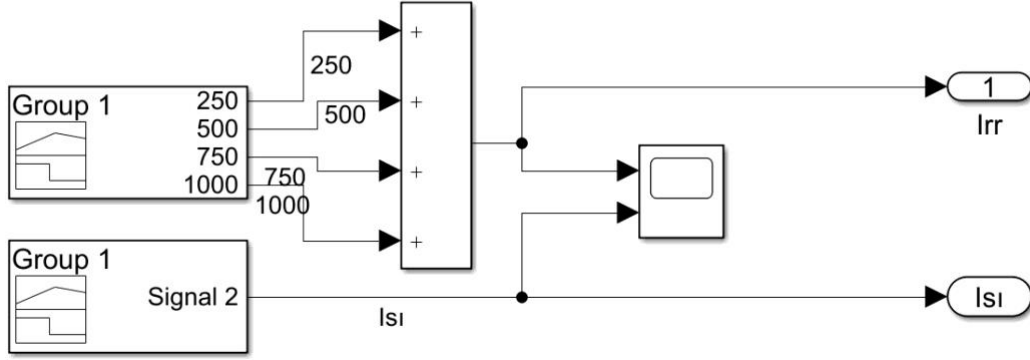
Tablo 5. İki Yönlü DC-DC çevirici eleman değerleri

C_{in}	2000 μ F
C_o	100 μ F
L	3,5mH
ΔV	%2
ΔI	%30

Tablo 6. Kurşun-Asit bataryanın teknik özellikleri

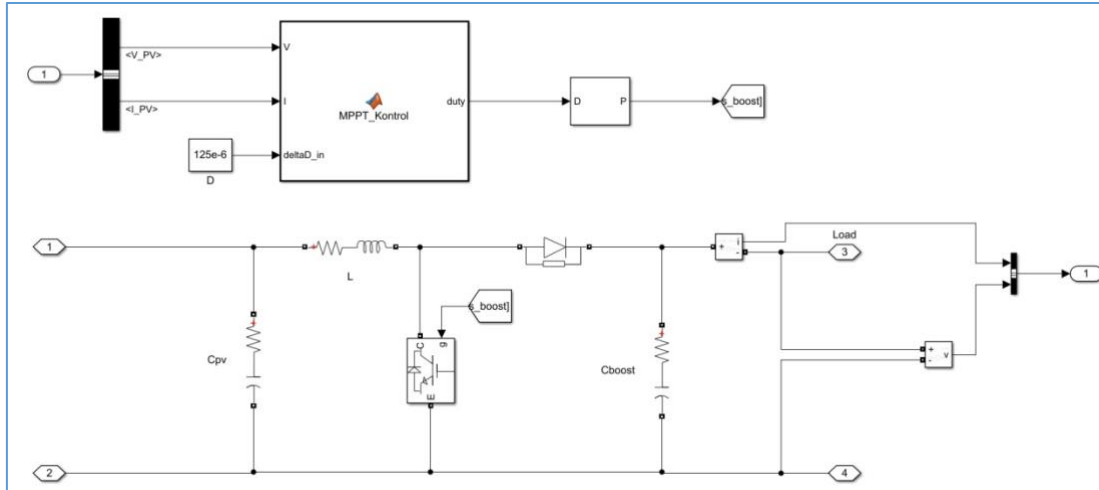
V	150V
Kapasite	150 Ah
Maksimum kapasite	62,5Ah
Deşarj Kesim Gerilimi	112,5V
Şarj Kesim Gerilimi	163,32V
Maksimum Deşarj akımı	12A
İç Direnç	0,025 Ω

15⁰C ve 35⁰C arasında ortam sıcaklığını değiştiren ve 250, 500, 750, 1000W/m² PV panele 8 s'ye boyunca ışınım veren bloklar Şekil 16'da görülmektedir.



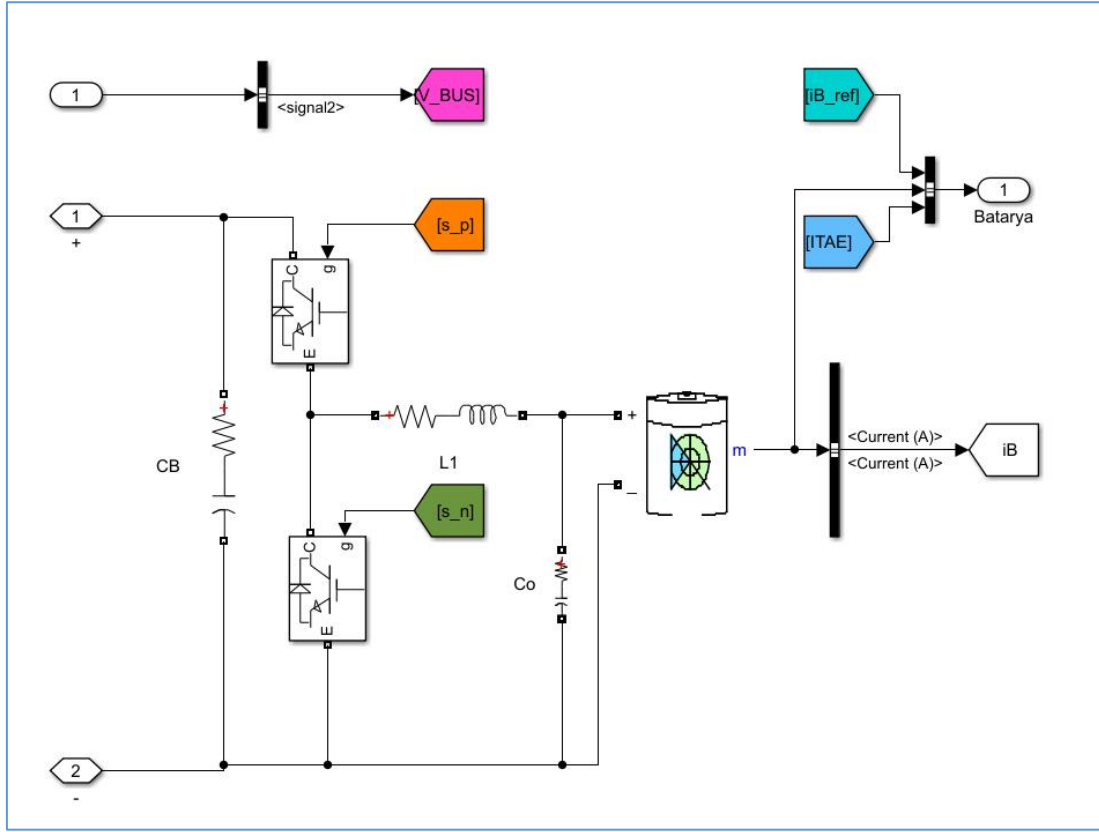
Şekil 16. Işınım ve sıcaklık blokları

Farklı simülasyonlarda 3 tip MPPT algoritması ve artıran yükselteç Şekil 17’de gösterildiği gibi MPPT algoritmaları değiştirilerek benzetimleri yapılmıştır.

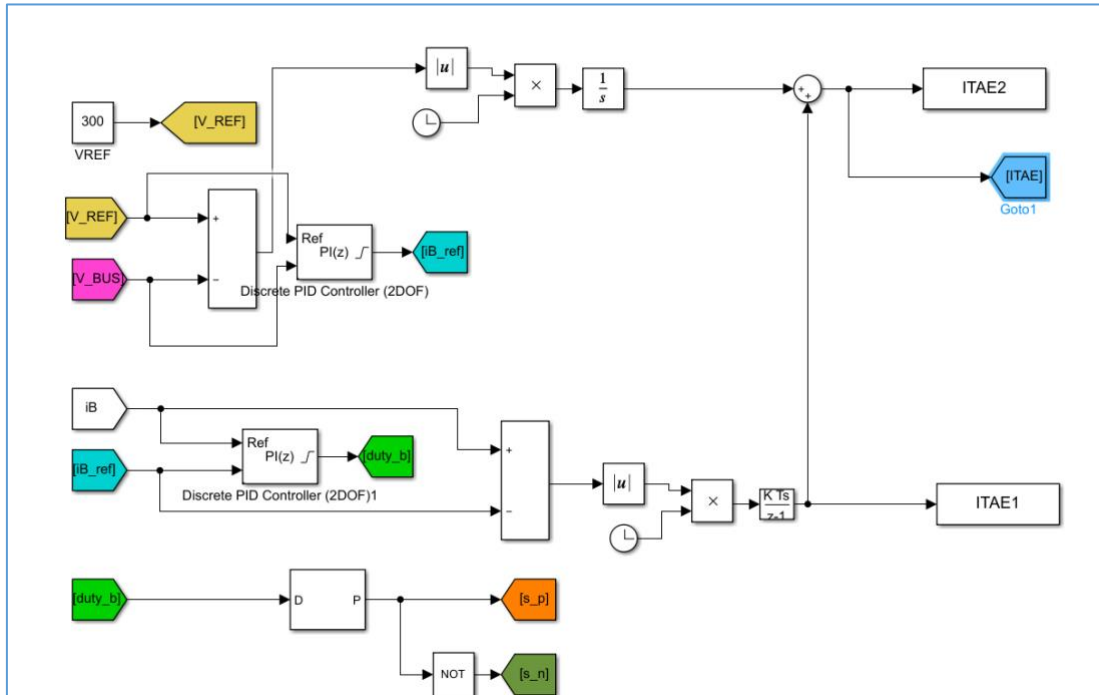


Şekil 17. Maksimum güç takibi ve artıran yükselteç blokları

Şekil 18’de, iki yönlü çevirici ve batarya; PV panelden gelen enerji fazla olduğu durumlarda iki yönlü çevirici azaltan tip çalışıp bataryayı şarj eder, aksi durumda iki yönlü çevirici artıran moda yükü besler. Kontrolör olarak kullanılan PI kontrolörün içerisinde bağımsız iki adet transfer fonksiyonu barındırılıyorsa iki serbestlik derecesine sahip PI kontrolör (Two Degree Of Freedom PI Controller - 2DOFPI) şeklinde isimlendirilir.

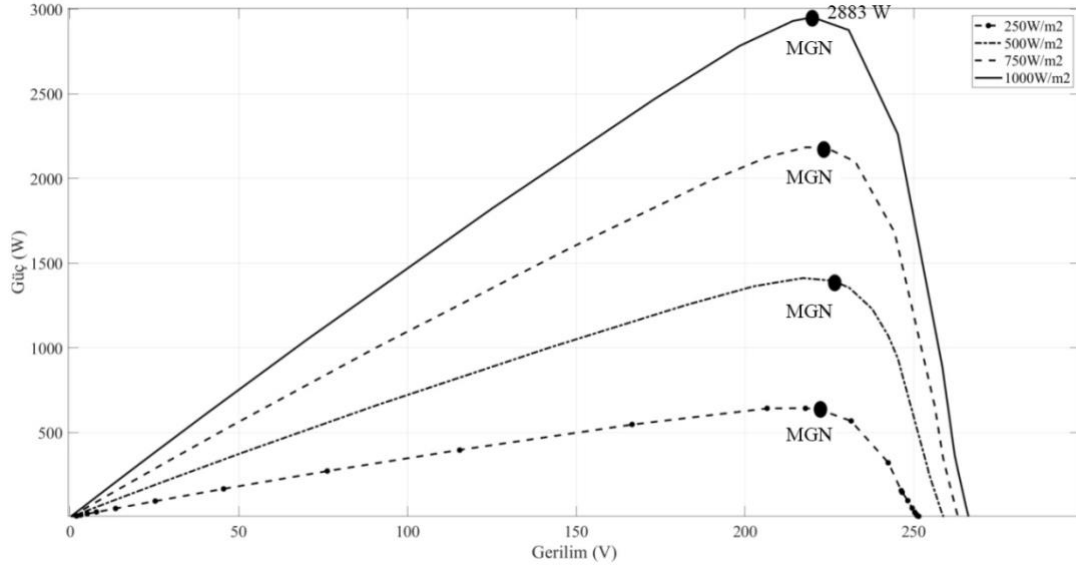


Şekil 18. İki yönlü çevirici ve batarya



Şekil 19. Şarj kontrolör

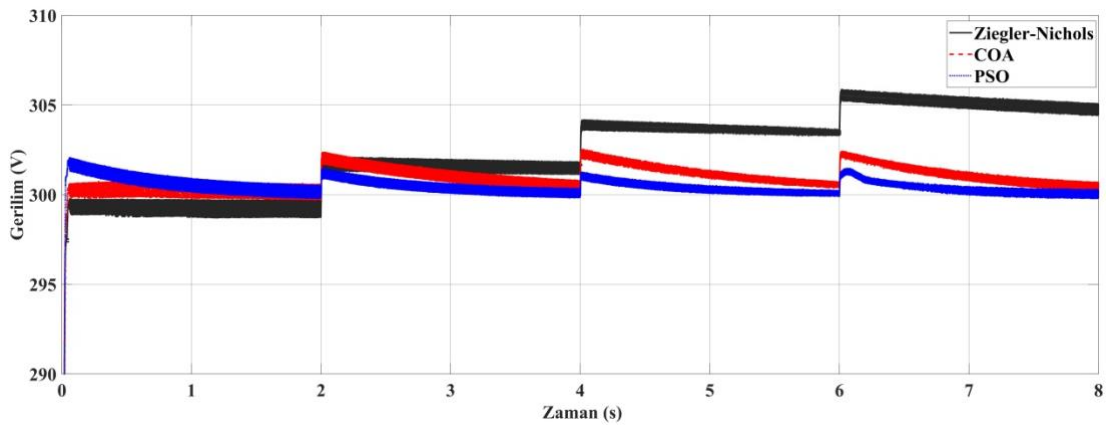
Benzetimi yapılan PV panelin MPPT noktaları Şekil 20’de verilmiştir.



Şekil 20. Güneş ışınım seviyesi değişimlerinde maksimum güç noktalarının değişimi

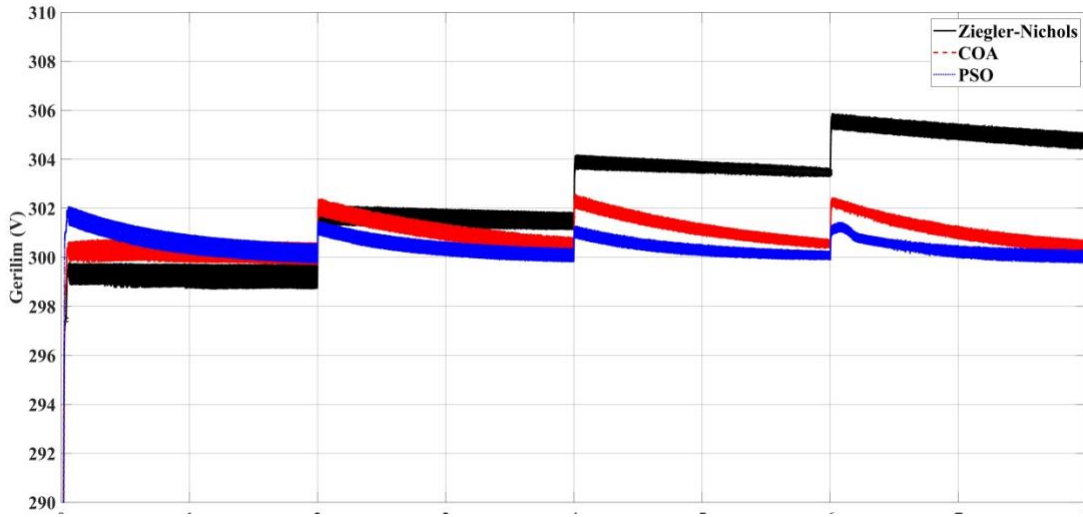
COA ile bulunan sabit P ve I katsayıları bulunan sisteme 126. Yineleme sayısı ile minimum ITAE değerine ulaşılmış olup bulunan en düşük hata değerlerindeki katsayılar kontrolörlere, gerilim kontrolü için $K_p=2,6607$ ve $K_i=1,8560$, akım kontrolü için $K_p=3,698$ ve $K_i=6,4141$ uygulanmıştır.

Şekil 21’de D&G algoritması maksimum güç noktasının grafiği verilmiştir. Maksimum güç noktası D&G algoritması ile tespit edilmiştir. Şarj kontrolöründe kullanılan PI denetleyicinin katsayıları ise Ziegler-Nichols ve metasezgisel algoritmalarla bulunmuştur. Bu verilerden 0.1sn’de maksimum noktaya ulaşarak güç noktası etrafında salınım göstermeye başlamıştır. Daha sonra ışınımın değiştiği noktalarda (2s, 4s, 6s) değişiklikler göstermiş olup 6. saniyede maksimum gücü yakalamıştır. 8s lik zaman diliminde en uygun maksimum güç noktası olan 1000w/m² değerine ulaşılmıştır.



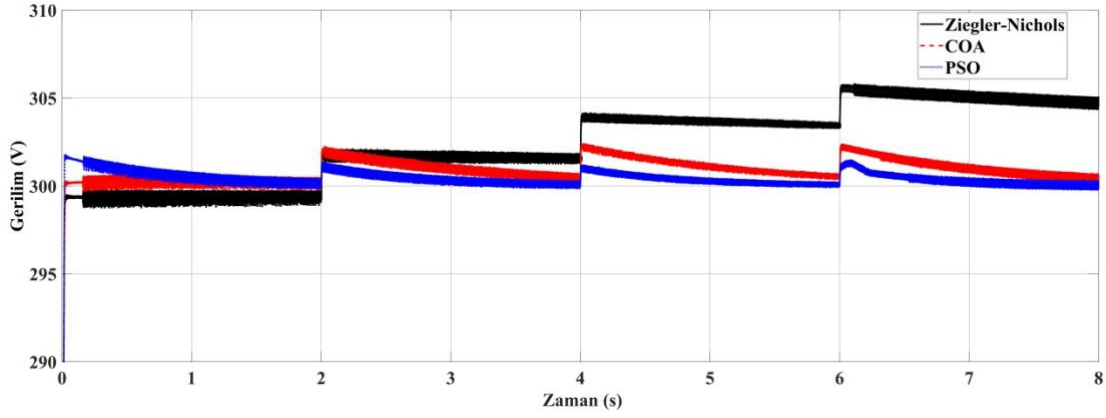
Şekil 21. D&G yöntemi ile yük üzerindeki gerilim değişimi (PI)

Şekil 22’de maksimum güç noktası D&G yöntemi ile bulunan maksimum güç noktasının grafiği verilmiştir. Maksimum güç noktası D&G algoritması ile tespit edilmiştir. Şarj kontrolöründe kullanılan 2DOFPI denetleyicinin katsayıları ise Ziegler-Nichols ve metasezgisel algoritmalarla bulunmuştur. Bu verilerden 0.1sn’de maksimum noktaya ulaşıldığı görülmüştür. Maksimum nokta yakalandıktan sonra, ışınımın değiştiği noktalarda (2s, 4s, 6s) gücü takip ettiği ve güç takibi yaparken D&G yönteminden kaynaklı salınım yaptığı gözlemlenmiş olup 6. saniyede maksimum gücü yakalamıştır. 8s lik zaman diliminde en uygun maksimum güç noktası olan 1000w/m^2 değerine ulaşılmıştır. Ziegler-Nichols yöntemi ile kontrol edilen sistem ışınım değişim noktalarında referans gerilim olan 300V’den uzaklaştığı gözlemlenmektedir. COA yöntemi ise referans gerilime ulaşsa bile PSO yöntemi ile kontrol edilen kontrolörlerin performansına ulaşamadığı görülmektedir.



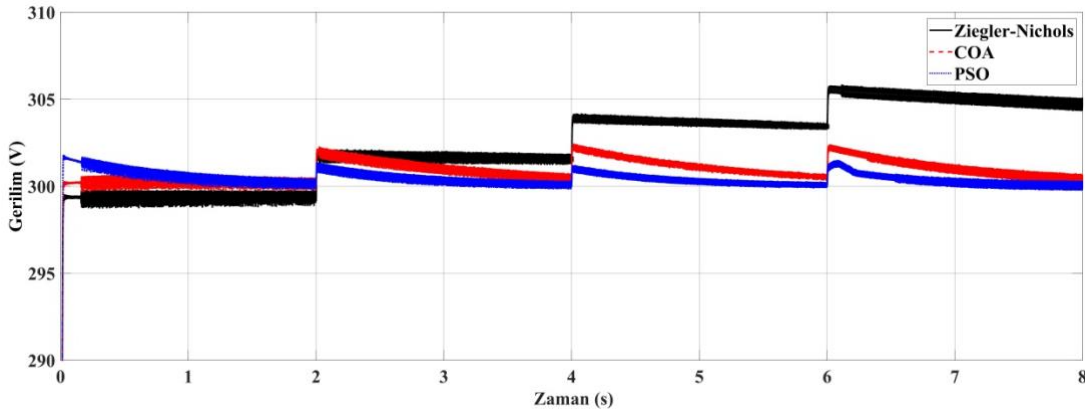
Şekil 22. D&G yöntemi ile yük üzerindeki gerilim değişimi (2DOFPI)

Şekil 23’te maksimum güç noktası IC algoritması ile bulunan maksimum güç noktasının grafiği verilmiştir. Kontrolör olarak PI kullanılmıştır ve bu verilerden 0.1sn’de maksimum noktaya ulaşıldığı görülmüştür. Maksimum nokta yakalandıktan sonra, ışınımın değiştiği noktalarda (2s, 4s, 6s) gücü takip ettiği ve güç takibi yaparken daha az salınım yaptığı gözlemlenmiş olup 6. saniyede maksimum gücü yakalamıştır. 8s’lik zaman diliminde en uygun maksimum güç noktası olan 1000w/m^2 değerine ulaşılmıştır. Ziegler-Nichols yöntemi ile kontrol edilen sistem ışınım değişim noktalarında referans gerilim olan 300V’den uzaklaştığı gözlemlenmektedir. COA yöntemi ise referans gerilime ulaşsa bile PSO yöntemi ile kontrol edilen kontrolörlerin performansına ulaşamadığı görülmektedir.



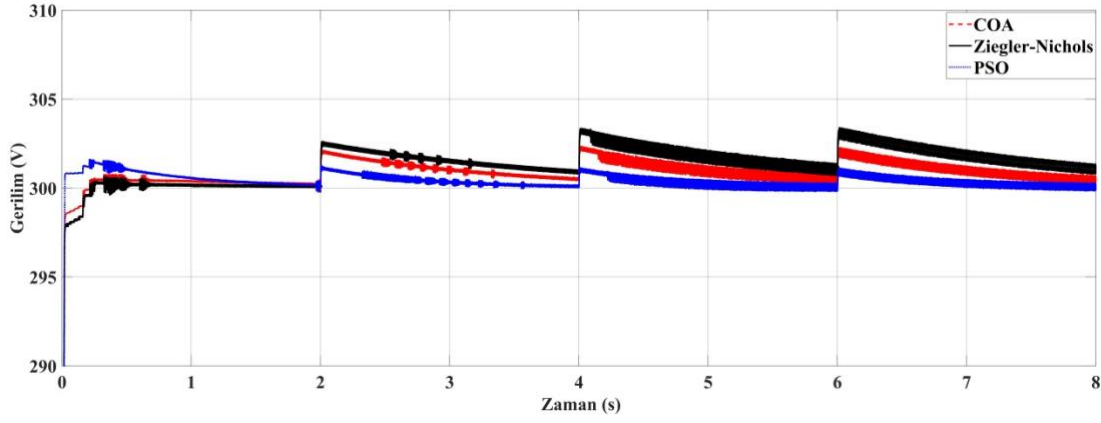
Şekil 23. IC yöntemi ile yük üzerindeki gerilim değişimi (PI)

Şekil 24'te maksimum güç noktası IC algoritması ile bulunan maksimum güç noktasının grafiği verilmiştir. Kontrolör 2DOFPI olup en iyi sonuca bu kontrolör ve PSO algoritmasının bulduğu katsayılarla sonuca ulaşılmıştır. Ziegler-Nichols yöntemi ile kontrol edilen sistem ışınlamı değişim noktalarında referans gerilim olan 300V'dan uzaklaştığı gözlemlenmektedir. COA yöntemi ise referans gerilime ulaşsa bile PSO yöntemi ile kontrol edilen kontrolörlerin performansına ulaşamadığı görülmektedir.



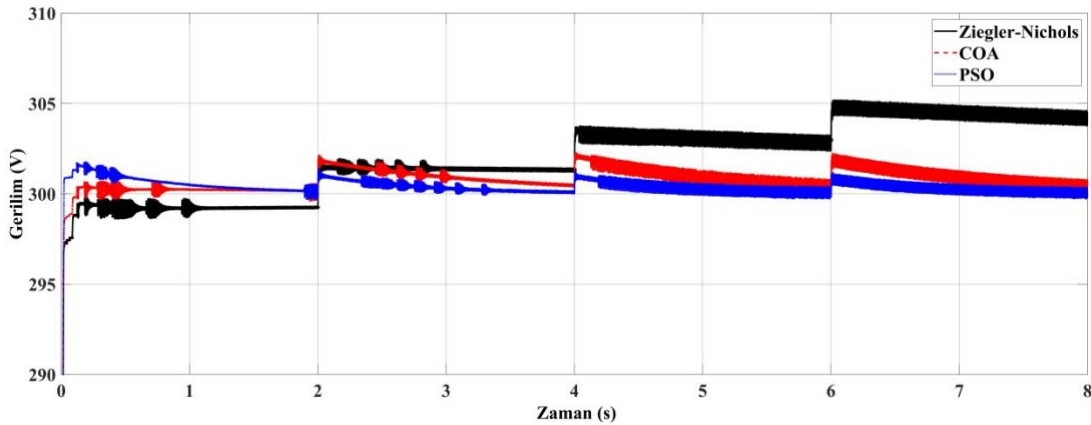
Şekil 24. IC yöntemi ile yük üzerindeki gerilim değişimi (2DOFPI)

Şekil 25'te Açık devre gerilimi yöntemiyle maksimum güç noktasına ulaşılmaya çalışılmış, kontrolör olarak PI kullanılmış, diğer yöntemlere göre 0.3 sn'de maksimum güç noktasına ulaştığı görülmüştür. Maksimum nokta yakalandıktan sonra, ışınlamı değiştiği noktalarda (2s, 4s, 6s) gücü diğer yöntemlere kıyasla daha geç takip etmiş, maksimum güç noktasını yakaladıktan sonra salınım yaptığı gözlemlenmiş olup her ışınlamı değişiminde farklı karakteristikler gösterilmiştir. Başlangıçta tüm kontrolörler benzer performans gösterse de özellikle 4. sn'den sonra en iyi performansı PSO ile optimize edilen kontrolörler gösterilmiştir.



Şekil 25. Kısmi açık devre gerilimi yöntemi ile yük üzerindeki gerilim değişimi (PI)

Şekil 26'da Açık devre gerilimi yöntemiyle maksimum güç noktasına ulaşılmaya çalışılmış, kontrolör olarak 2DOFPI kontrolörler kullanılmıştır. MPPT'de sabit gerilim tekniğinin kullanıldığı benzetim çalışmasında şarj kontrolünde kullanılan denetleyiciler 2DOFPI ile ayarlanmıştır. Diğer yöntemlere göre 0.3 s'de maksimum güç noktasına ulaştığı görülmüştür. Maksimum nokta yakalandıktan sonra, ışınımın değiştiği noktalarda (2s, 4s, 6s) gücü diğer yöntemlere kıyasla daha geç takip etmiş, maksimum güç noktasını yakaladıktan sonra salınım yaptığı gözlemlenmiş olup her ışınım değişiminde farklı karakteristikler gösterilmiştir. Başlangıçta tüm kontrolörler benzer performans gösterse de özellikle 4. s'den sonra Ziegler-Nichols yöntemi ile parametreleri bulunan kontrolörler referans gerilimden uzaklaşmış bu yöntemde de en iyi performansı PSO ile optimize eden kontrolörler göstermiştir (Karabaş, 2022).



Şekil 26. Kısmi açık devre gerilimi yöntemi ile yük üzerindeki gerilim değişimi (2DOFPI)

4. Sonuçlar ve Öneriler

Yenilebilir güneş enerji üretimindeki en önemli etken verim ve maliyetlerdir. Üretilen enerjinin en az kayıpla yüke aktarılması, sürekli değişen atmosferik şartlarda önemli zorluklardandır. Bu

çalışmada güneş enerjisini yüke maksimum şekilde aktarma algoritmalarından D&G, IC ve açık devre gerilim yöntemi ayrı ayrı kullanılmış olup, elde edilen enerji DC-DC yükselten çeviriciyle yükü beslemiştir. Aynı zamanda iki yönlü ikincil bir DC-DC çevirici, yükteki gerilimi sabit tutmak ve bataryanın şarj deşarj kontrolü için kullanılmış olup. Yükseltici çeviricinin görev oranı MPPT'leriyle kontrol edilmiştir. İki yönlü çeviricinin kontrolünü ise farklı PI ve 2DOFPI kontrolörler yapmıştır. Kontrolörlerin sabit P ve I parametreleri, Ziegler-Nichols yöntemi ve metasezgisel algoritmalarından PSO ve COA ile optimize edilmiş, ayrı ayrı optimize edilen PI parametreleriyle sistem çalıştırılmıştır. Benzetimin ortam sıcaklığı 15°C ve 35°C aralığında doğrusal olarak artırılmış ve 8sn benzetim süresince güneş ışıınım değeri (0, 2s ,4s, 6s) aralıklarında (250W/m², 500W/m² 750W/m² ve 1000W/m²) değişen ışıınım oranlarında uygulanmıştır. Ziegler-Nichols yöntemi ve Metasezgisel algoritmalar ile bulunan P ve I katsayıları, PI kontrolör ve 2DOFPI kontrolöre aynı değerle uygulanmış bulunan sonuçlar grafiklerle paylaşılmıştır.

Geleneksel yöntem Ziegler-Nichols yöntemi birden fazla kontrolörün olduğu sistemlerde uygulaması oldukça güçtür, Metasezgisel algoritmaların aynı anda birden fazla kontrolörün sabit parametrelerini bulması önemli bir avantajdır. Bununla birlikte COA algoritması arama uzayında istenilen sonuçlara yaklaşmış, PSO algoritması daha düşük hata değerlerine ulaşmıştır. Özellikle güneş ışıınımının değiştiği tüm durumlarda PSO algoritması diğer geleneksel yöntem ve COA'dan daha iyi sonuçlar vermiştir.

Tüm sonuçlar incelendiğinde ve PSO ile yapılan optimizasyon algoritmasındaki katsayılar ve kontrolörlerden 2DOFPI uygulandığında, MPPT yöntemlerinden IC algoritmasıyla beraber en iyi sonuca ulaştığı görülmektedir.

COA'nın arama sınırlarını belirlerken etkili, PSO algoritmasının ise sınırı belirli olan problemlerde kullanmanın etkili olduğu görülmektedir. İki algoritmanın birleştirilip daha hızlı sonuca ulaşılacağı söylenilebilir. Yani melez hale getirilerek her iki metodun kuvvetli yönleri bir araya getirilmek suretiyle daha iyi optimizasyon algoritması oluşturulabilir.

Literatürde pek çok farklı optimizasyon algoritması bulunmaktadır. Diğer algoritmalar da denenerek daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Sistem son derece açık ve geliştirilmeye müsait bir yapıdadır. Daha etkin, daha doğru ve ucuz çözümler için bu alanda pek çok çalışma yapılabilir.

Yazarların Katkısı

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur. Bu çalışma Doç. Dr. Onur Özdal MENGİ danışmanlığında 01.08.2022 tarihinde tamamlanan “Güneş Panellerinde Kullanılan Maksimum Güç İzleme Tekniklerinin Karşılaştırılması” başlıklı yüksek lisans tezi esas alınarak hazırlanmıştır (Yüksek Lisans, Giresun Üniversitesi / Fen Bilimleri Enstitüsü, Giresun, Türkiye).

Kaynaklar

- Ahmad, J. (2010). *A fractional open circuit voltage based maximum power point tracker for photovoltaic arrays*. In *2010 2nd International Conference on Software Technology and Engineering*. IEEE. doi:10.1109/ICSTE.2010.5608868
- Allataifeh, A. A., Bataineh, K., and Al-Khedher, M. (2015). Maximum Power Point Tracking Using Fuzzy Logic Controller under Partial Conditions. *Smart Grid and Renewable Energy*, 06(01), 1–13. doi:10.4236/sgre.2015.61001
- Altaş, İ. H. (1998). Fotovoltaaj Güneş Pilleri : Eşdeğer Devre Modelleri ve Günışığı ile Sıcaklığın Etkileri. *Bilesim yayıncılık A.Ş* (Vol. 46).
- Altas, I. H., and Mengi, O. O. (2010). A Fuzzy Logic Controller for a Hybrid PV/FC Green Power System. *International Journal of Reasoning-Based Intelligent Systems*, 2(3/4), 176. doi:10.1504/IJRIS.2010.036863
- AlZubaidi, A. A., Abdul Khaliq, L., Salman Hamad, H., Khalid Al-Azzawi, W., Sameer Jabbar, M., and Abdulwahhab Shihab, T. (2022). MPPT Implementation and Simulation Using Developed P&O Algorithm for Photovoltaic System Concerning Efficiency. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 11(5), 2460–2470. doi:10.11591/eei.v11i5.3949
- Díaz, P., Royo, F., Olivares, T., Ramirez-Mireles, F., and Orozco-Barbosa, L. (2013). A Case Study on the Power-Aware Protocol Framework for Wireless Sensor Networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 9(12), 718252. doi:10.1155/2013/718252
- Dolara, A., Faranda, R., and Leva, S. (2009). Energy Comparison of Seven MPPT Techniques for PV Systems. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, 01(03), 152–162. doi:10.4236/jemaa.2009.13024
- Eberhart, R., and Kennedy, J. (n.d.). (1995). A New Optimizer Using Particle Swarm Theory. In *MHS'95. Proceedings of the Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science* (pp. 39–43). IEEE. doi:10.1109/MHS.1995.494215
- Esrar, T., and Chapman, P. L. (2007). Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 22(2), 439–449. doi:10.1109/TEC.2006.874230
- Hendawi, E. (2020). A High Performance Grid Connected PV System Based on HERIC Transformerless Inverter. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 20(2), 602. doi:10.11591/ijeecs.v20.i2.pp602-612
- Kanianthara, N. S., Ang, S. P., Khalil Sulayman, A. F., and Hj. Abd. Hamid, Z. bin. (2021). Optimising Monthly Tilt Angles of Solar Panels Using Particle Swarm Optimisation Algorithm. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 23(1), 75. doi:10.11591/ijeecs.v23.i1.pp75-89
- Karabaş, A. (2022). *Güneş Panellerinde Kullanılan Maksimum Güç İzleme Tekniklerinin Karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Giresun.
- Kennedy, J. and Eberhart, R. (1995). Particle Swarm Optimization, *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, (pp. 1942-1948), Perth, WA, Australia.

- Mengi, O. Ö., and Altaş, İ. H. (2008). *AA ve DA Yüklerini Besleyen FV/Akü Grubunun Matlab/Simulink Ortamında Modellenmesi ve Simülasyonu*. In *ELECO2008* (pp. 135–139). Bursa.
- Mengi, O. Ö., and Altaş, İ. H. (2007). *Fotovoltaik Güneş Pilleri için Genel Amaçlı Bir Matlab/Simulink GUI Modeli*. In *Genç Araştırmacılar Ulusal Mühendislik ve Eğitim Sempozyumu (UMES 2007)* (pp. 216–219). Kocaeli.
- Munisekhar, S., Marutheswar, G. V., Sujatha, P., and Vadivelu, K. R. (2020). A Novel Approach for the Fastest MPPT Tracking Algorithm for a PV Array Fed BLDC Motor Driven Air Conditioning System. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 18(2), 622. doi:10.11591/ijeecs.v18.i2.pp622-628
- Özturan, A. T. (2022). *Optimizasyon ve Matlab Uygulamaları*. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Pierezan, J., and Dos Santos Coelho, L. (2018). *Coyote Optimization Algorithm: A New Metaheuristic for Global Optimization Problems*. In *2018 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)* (pp. 1–8). IEEE. doi:10.1109/CEC.2018.8477769
- Rokonuzzaman, Md., Shakeri, M., Hamid, F. A., Mishu, M. K., Pasupuleti, J., Rahman, K. S., ... Amin, N. (2020). IoT-Enabled High Efficiency Smart Solar Charge Controller with Maximum Power Point Tracking—Design, Hardware Implementation and Performance Testing. *Electronics*, 9(8), 1267. doi:10.3390/electronics9081267
- Saravanan, S., and Sivakumaran, T. S. (2020). Simulation of Standalone Three-Phase Photovoltaic System with SPWM and SVPWM Techniques. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(4), 2208–2215. doi:10.35940/ijitee.A4923.029420
- Subhani, N., Kannan, R., Mahmud, M., and Romlie, M. (2019). Performance Analysis of a Modernized Z-Source Inverter for Robust Boost Control in Photovoltaic Power Conditioning Systems. *Electronics*, 8(2), 139. doi:10.3390/electronics8020139
- Sultan, A. G., and Jarjes, K. M. (2021). Optimal PID Controller Design Using Artificial Bee Colony Algorithm for Robot Arm. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 21(1), 84-91. doi:10.11591/ijeecs.v21.i1.pp84-91
- Talha, A., Boumaaraf, H., and Bouhali, O. (2011). Evaluation of Maximum Power Point Tracking Methods for Photovoltaic Systems. *Archives of Control Sciences*, 21(2), 151–165. doi:10.2478/v10170-010-0037-0