

Fotovoltaik Sistemler için Bozkurt Optimizasyonu Tabanlı MPPT Yöntemi Tasarımı

Koray Atıcı^{1*}, Necmi Altın¹ and İbrahim Sefa¹

¹ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Teknoloji Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500 Beşevler, Ankara, Turkey

*Sorumlu Yazar: korayatici@gmail.com

*Konuşmacı: korayatici@gmail.com

Sunum/Sayfa Türü: Sözlü / Tam Metin

Özet – Fotovoltaik (FV) sistemler birkaç W’dan, MW’a kadar ölçeklendirilebilmesi gibi özelliklerinden dolayı en çok yaygınlaşan yenilenebilir enerji kaynağı türüdür. Bu enerji kaynağından en yüksek oranda yararlanılabilmesi maksimum güç noktasını izleyen (MPPT) dönüştürücülerin performansına bağlıdır. Bu çalışmada, FV panellerin en yüksek güç noktasında çalışmasını sağlamaya yönelik olarak Bozkurt optimizasyonu (GWO) tabanlı yeni bir maksimum güç noktası takip yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen maksimum güç noktası takip yöntemi yükselten bir dönüştürücüye uygulanmıştır. FV panel akım ve gerilim değerleri anlık olarak okunarak Bozkurt optimizasyonu yöntemiyle en yüksek güç noktasının takip edilebilmesi için yükselten dönüştürücünün anahtarlama sinyali kontrol edilmiştir. Önerilen sistemin performansı MATLAB/Simulink’de yapılan benzetim çalışmaları ile test edilmiştir. Gerçekleştirilen benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlar önerilen GWO tabanlı maksimum güç noktası takip yönteminin yüksek takip hızına sahip olduğuna ve buna karşın, maksimum güç noktası etrafında osilasyon yapmadan kararlı bir şekilde çalışabildiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler – Bozkurt Optimizasyonu, Fotovoltaik, MPPT, Yükseltici Tip Çevirici

Design of MPPT Method Based on Grey Wolf Optimization for Photovoltaic Systems

Koray Atıcı^{1*}, Necmi Altın¹ and İbrahim Sefa¹

¹Department of Electrical Electronics Engineer, Faculty of Technology, Gazi University, 06500 Beşevler, Ankara, Turkey

*Corresponding author: korayatici@gmail.com

*Speaker: korayatici@gmail.com

Presentation/Paper Type: Oral / Full Paper

Abstract – Photovoltaic systems are the most common type of renewable energy source due to their features such as ability to be scaled from several W to MWs. The highest utilization of this energy source depends on the performance of the maximum power point tracking (MPPT) converters. In this study, a new MPPT method based on grey wolf optimization (GWO) has been developed to ensure that PV panels operate at the maximum power point. The proposed MPPT method has been applied to a boost converter. The current and voltage values of the PV panel have been read continuously, and the switching signal of the boost converter is controlled through the proposed GWO based algorithm. The performance of the proposed system has been tested with MATLAB/Simulink simulations. The results obtained from the performed simulation studies show that the proposed GWO-based MPPT method has a high tracking speed, and can operate stably around the maximum power point without any oscillation.

Keywords – Grey Wolf Optimization, Photovoltaic, MPPT, Boost Converter

I. GİRİŞ

İnsan popülasyonunda ve enerjiye duyulan gereksinimde oluşan lineer olmayan artış sebebiyle fosil yakıtların yeterli kalmaması ve çevreye verdiği zararlardan ötürü alternatif enerji kaynakları arayışı büyük önem kazanmıştır [1]. Fosil yakıtların CO₂ yayılımı sebebiyle küresel ısınmanın artması neticesinde birçok Avrupa ülkesi bu yakıtların kullanımından vazgeçmeye başlamıştır. Son yıllarda yoğun olarak çalışılan YEK sistemlerinde güneş, rüzgâr, hidrolik, jeotermal, hidrojen,

dalga enerji gibi yöntemler kullanılmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarında ülkemizin konumu ve doğa şartları göz önüne alındığında rüzgâr ve güneş enerji sistemleri ön plana çıkmaktadır. Birkaç W’dan, MW’a kadar ölçeklendirilen modüler yapıdaki FV panellerin kolay entegre edilebilir olmaları, bakım gerektirmemeleri ve herhangi bir ara elemana ihtiyaç duyulmadan DA enerji üretmeleri nedeniyle en çok tercih edilen YEK sistemlerinden biri olmuştur [2]. Son yıllarda güneş enerjili sistemlerden üretilen elektrik

enerjisinin en etkin biçimde kullanımına imkan sağlayacak teknolojiler konusunda çalışmaların sayısı artmaktadır [3].

Son yıllarda önemli bir iyileşme olsa da fotovoltaik (FV) sistemlerin maliyetleri hala geleneksel fosil tabanlı enerji üretim sistemlerinden pahalıdır. Ayrıca FV paneller güneşten aldığı enerjinin ancak %15-23 arası bir kısmını elektrik enerjisine dönüştürebilmektedir ([4], [5]).

FV panellerden elde edilen güç, sıcaklık ve ışınım ile ilişkilendirildiğinde doğrusal olmayan bir değişim gösterir. Yüke aktarılacak güç, FV panelin çıkış akımı ve gerilimine bağlı olarak değişiklik gösterir. Bu değişim geniş bir aralıktadır ve sadece bir çalışma noktasında FV modül en yüksek gücü verir. Çıkış gücünün en yüksek olduğu bu nokta maksimum güç noktası (Maximum Power Point- MPP) adı ile anılır. MPP'nin çevresel etkilere bağlı olarak değişken ve dinamik bir yapıya sahip olması sebebiyle her an çalışma koşullarına göre değişen bu noktayı izleyen Maksimum güç noktası takibi (Maximum Power Point Tracking- MPPT) yöntemleri geliştirilmiştir [6]. MPPT için oluşturulan yöntemlerde temel amaç olarak MPP'nin en hızlı şekilde ucuz ve karmaşıklığın az olması düşünülerek takip edilebilmesi esas alınmıştır. Bu yöntemler Dolaylı ve Doğrudan Yöntemler şeklinde iki ayrı grupta incelenebilir. Dolaylı MPPT yöntemlerinde sıcaklık, ışınım, kısa devre akımı, açık devre gerilimi ve/veya panel ile ilgili diğer parametreler kullanılarak oluşturulan matematiksel formlar sayesinde MPPT yapılmıştır. Bu yöntemi uygulamak Doğrudan MPPT tekniklerine göre kolay olmasına karşın FV panellerin değişen karakteristik yapıları, önceden ölçülen değerlerin uygulamada farklılıklar göstermesi gibi nedenlerden ötürü performansları sınırlı olmuştur [7].

Doğrudan MPPT yöntemlerinde devreye bağlı FV panelin akımı, gerilimi ve/veya gücü ölçülerek MPPT yapılır. FV panele bağımlılık ortadan kalktığı için panelde oluşacak karakteristik değişimleri ya da kirlenme gibi çevresel etkilerin ölçümlerini alma zorunluluğu ortadan kalkmıştır. Doğrudan MPPT tekniklerinde MPP noktasını yakalamak için akım, gerilim ve güç değerlerini hızlı şekilde ölçüp, seçilen MPPT tekniğinde yüksek çalışma frekansında değerlendirmek gereklidir. Şimdiye kadar birçok MPPT tekniği geliştirilmiş ve başarıyla uygulanmıştır. Bunlar arasında en çok kullanılanlar; Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Değiştir-Gözle (P&O), Artan-İletkenlik (IC), Tip-1 ve Tip-2 Bulanık Mantık Denetleyicileri, Yapay Sinir Ağları vb. yöntemleridir ([8], [9], [10]).

Optimizasyon yöntemleri birçok disiplinde ihtiyaç duyulan ve maksimum verimi elde etmek için kullandığımız algoritmalar. Her an maksimum gücü sağlayan çalışma noktasının tespitinin esasen bir optimizasyon problemi olması nedeniyle son yıllarda geliştirilen Yapay Zeka tabanlı pek çok optimizasyon yöntemi MPPT yöntemi olarak kullanılmıştır. Bunların en yaygın kullanılanları Genetik Algoritmalar (GA) ve Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) yöntemidir. Değişik GA ve PSO tabanlı MPPT tasarımları sunulmuş ve maksimum güç noktasındaki güç dalgalanmalarının azaltıldığı ve hızlı bir takip performansının elde edildiği görülmüştür ([11], [12]). Bu yöntemlerden birisi olan bozkurt optimizasyonu yöntemi Seydedali Mirjalili ve arkadaşları tarafından 2014 yılında yayınlanmıştır. Bu yöntem bozkurtların yaşam süreçlerinden esinlenerek çıkarılmış matematiksel formlardan oluşur [13].

Bu çalışmada yapay zeka tabanlı bir başka optimizasyon algoritması olan Bozkurt optimizasyonu yöntemi tabanlı bir MPPT tekniği geliştirilmiş ve bir yükselten çevirici ile birlikte

FV sistemin maksimum güç noktasının takibinde kullanılmıştır. Geliştirilen MPPT tekniği ve boost dönüştürücü FV panellerle birlikte MATLAB/Simulink ortamında modellenmiş ve önerilen sistemin performansı test edilmiştir. Benzetim sonuçları, önerilen MPPT tekniğinin geleneksel MPPT tekniklerine karşın daha hızlı tepkiye sahip olduğu ve maksimum güç noktası etrafındaki salınımların önemli oranda azaltıldığı görülmüştür.

II. FOTOVOLTAİK SİSTEMLERİN YAPISI VE MATEMATİKSEL MODELİ

FV panel hücresi çift katmanlı silisyum yapıdan oluşur. P jonksiyonlu kademe üstüne N tipi kademe yerleştirilir. Ölçüleri genellikle 100cm^2 ve kalınlıkları $0,2 - 0,4\text{mm}$ arasındadır [14]. Yapılarında en çok kullanılan materyaller Silisyum (Si), Galyum Arsenik (GaAs), Kadmiyum Sülfür (CdS) bulunur. FV hücrelerin elektriksel eşdeğer devresi akım kaynağı ve diyottan oluşmaktadır. Akım kaynağındaki değişken durum, güneş ışınlarından gelen foton miktarı ile farklılaşır. Foton olmadığı durumlarda akım kaynağı akım üretmez ve devrede sadece diyot etkisi kalır. Şekil 1'de yaygın biçimde kullanılan tek diyot modeli görülmektedir. Belirtildiği gibi eşdeğer devrede bulunan diyot FV hücrelerin Akım – Gerilim karakteristiğini belirler. Burada gösterilen R_p direnci sızıntı akımını, R_s direnci ise çıkıştaki gerilim düşümünü gösterir. R_p direnci ideal durumlar da sonsuz, R_s direnci ise sıfır olmak ister ([15], [16]). Şekil 1'de verilen devre esas alınarak Eşitlik 1 ifadesi çıkmıştır.

$$I = I_{PH} - I_D \left[\exp \left(\frac{V+I \cdot R_s}{a \cdot V_{th}} \right) - 1 \right] - \frac{V+I \cdot R_s}{R_p} \quad (1)$$

burada verilen değerler aşağıda tanımlanmıştır [17].

I_{PH} , FV hücrenin ürettiği akımı; I , FV hücrenin çıkış akımı; V , FV hücrenin çıkış gerilimi; I_D , Diyotun ters doyum akımı; a , İdeal diyot faktörü; R_s , FV hücrenin seri direnci; R_p , FV hücrenin paralel direnci; V_{th} , Hücrenin termal gerilimi; k , Boltzmann sabiti; T_c , Hücre sıcaklığı; q , Elektron yüküdür. V_{th} gerilimi Eşitlik 2'de verilmiştir [17].

$$V_{th} = \frac{k \cdot T_c}{q} \quad (2)$$

Hücre sıcaklığı (T_c) ışınım oranı ve ortam sıcaklık değerine göre değişkenlik gösterir. Bu durum Eşitlik 3'te verilmiştir.

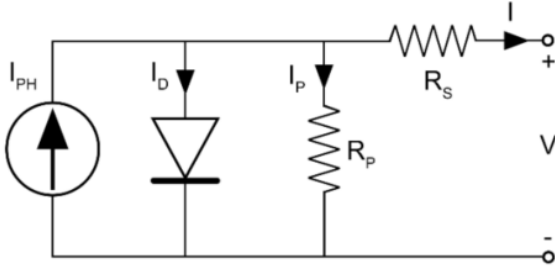
$$T_c = T_{Ortam} + (T_{NOHS} - 20) \cdot \frac{G}{G_{NOHS}} \quad (3)$$

Burada T_{Ortam} , ortam sıcaklığı; T_{NOHS} , Normal Operasyonel Hücre Sıcaklığı (NOHS) şartlarındaki hücre sıcaklığı (K); G_{NOHS} , NOHS şartlarındaki ışınım değeridir. NOHS olarak verilen değerler ışınım 800 W/m^2 , ortam sıcaklığı 20°C ve rüzgar hızı 1 m/s olan koşullardır [17].

FV hücre akımının (I_{PH}) ışınım ile doğrusal olarak değişken olduğu durum Eşitlik 4'te verilmiştir. Burada Standart Test Durumu (STD) olarak belirtilen ortam şartları; ışınım 1000 W/m^2 , ortam sıcaklığı 25°C ve hava kütlesi 1.5 olan koşullardır [17].

$$I_{PH} = \left(I_{SC_STD} + K_I (T_c - T_{STD}) \right) \cdot \frac{G}{G_{STD}} \quad (4)$$

Burada I_{SC_STD} , STD şartlarında FV hücrenin sağladığı kısa devre akımı, T_{STD} , STD şartlarındaki hücrenin sıcaklığı, G , ışınım, G_{STD} , STD şartlarında bulunan ışınımı; K_I ise kısa devre akımı sıcaklık katsayısıdır.



Şekil 1 Tek diyot modeli FV panel eşdeğer devre modeli

Son olarak diyot doyum akımının (I_D) sıcaklığa bağlı değişimi Eşitlik 5'te gösterilmiştir [17].

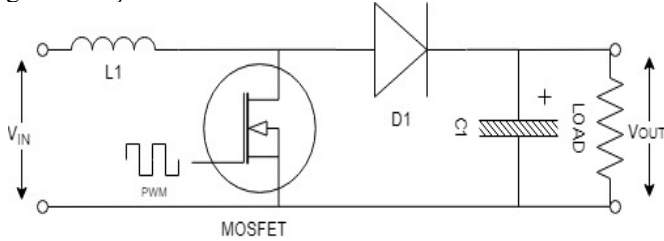
$$I_D = \frac{I_{SC_STD} + K_I \cdot (T_C - T_{STD})}{\exp\left[\frac{V_{OC_STD} + K_V \cdot (T_C - T_{STD})}{a \cdot V_{th}}\right] - 1} \quad (5)$$

Burada, V_{OC_STD} , STD şartlarındaki açık devre gerilimi, K_V ise açık devre gerilim sıcaklık katsayısını temsil etmektedir.

III. MPPT YÖNTEMLERİ VE DA/DA ÇEVİRİCİLER

A. Yükseltici Tip Çevirici

MPPT tekniklerinde yükseltici tip çevirici kullanımı yaygındır. Yükseltici tip çeviricilerde giriş geriliminin kontrollü şekilde yükseltilmesi amaçlanmaktadır. Yükseltme işlemi anahtarlama elemanına uygulanan anahtarlama sinyalinin doluluk oranına (Duty Cycle) göre belirlenir [18]. Şekil 2'de yükseltici tip çeviricinin prensip şeması gösterilmiştir.

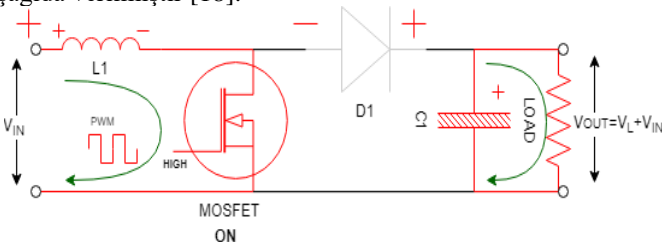


Şekil 2 Yükseltici tip dönüştürücü devre şeması

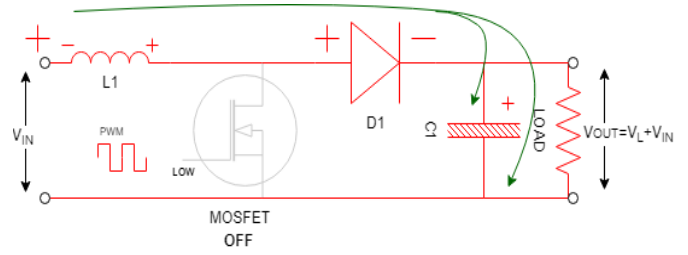
Devrede kullanılan anahtarlama elemanı (MOSFET) iletimde olduğu durumda, bobin (L_I) şarj edilirken, akım değeri doğrusal olarak artar. Diyot bu durumda kapalı olmasından dolayı yük kapasiteden beslenir. Bu durum Şekil 3'de gösterilmiştir.

Anahtarlama elemanının kesimde olduğu durumda bobin üzerindeki güç ters kutuplanarak diyot üzerinden kapasite ve yüke aktarılır. Anahtarın kesimde olduğu durum Şekil 4'te gösterilmiştir. Bobin üzerindeki bu enerjinin aktarılması sonucu yük üzerinde girişe göre daha yüksek bir enerji oluşur [18].

Anahtarlama elemanının iletimde olduğu sürede bobin akımının yükselme durumu besleme gerilimine ve L_I 'in değerine bağlı olarak değişir. İlk durumda bobin gerilimi, giriş gerilimine eşit olur. Anahtarın iletim durumu için eşitlikler aşağıda verilmiştir [18].



Şekil 3 Yükseltici tip çeviricide anahtarlama elemanının aktif olma durumu



Şekil 4 Yükseltici tip çeviricide anahtarlama elemanının pasif olma durumu

$$V_L = V_{IN} \quad (7)$$

$$L \cdot \frac{di_L}{dt} = V_{IN}(t) \quad (8)$$

$$\frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{V_{IN}}{L} \quad (9)$$

$$\Delta I_L = \frac{V_{IN}}{L} \cdot (DT) \quad (10)$$

Anahtarlama elemanının kesimde olduğu durum için devre denklemleri ise Eşitlik 11-13 ile verilmiştir [18].

$$V_L = V_{IN} - V_{OUT} \quad (11)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{L} \quad (12)$$

$$\Delta I_L = \frac{V_{IN} - V_{OUT}}{L} (1 - D)T \quad (13)$$

IV. BOZKURT OPTİMİZASYONU YÖNTEMİ

Bozkurt optimizasyonu yöntemi (GWO) 2014 yılında Seyedali Mirjalili tarafından duyurulmuştur. Bu yöntem bozkurtların sosyal yaşamlarından ve avlanma sistemlerinden esinlenerek oluşturulmuştur [19].

Bozkurt optimizasyon modeli olarak popülasyonun sayısı kullanıcı tarafından belirlenir. Alfa sürünün en iyi çözümü olarak değerlendirilir. Alfa, Beta, Delta en iyi çözümlerin ilk ataması optimizasyon da belirlenen fonksiyona göre yapılır. Algoritmanın iterasyon sayısı daha iyi çözüme gidilmesini sağlar ancak iterasyon sayısının artması algoritmayı yavaşlatır. Kullanım alanına göre en iyi iterasyon sayısı belirlenerek çözüme gidilir. Her iterasyon da Alfa, Beta, Delta çözümleri hesaplanır ve iterasyon sonunda değer Alfaya eşitlenir. Bütün iterasyonlar boyunca bu işlem bu şekilde devam eder [13].

Bozkurtların grup olarak avlanma yeteneklerinden ve sosyal hiyerarşi yapılarından türetilerek oluşturulan Bozkurt Optimizasyon Algoritması genetik, mühendislik, matematik gibi farklı disiplinlerde kullanılarak önemini göstermiştir ([20], [21], [22], [23]). Yeni bir yöntem olmasına rağmen farklı disiplinlerden GWO merkezli çalışmalar mevcuttur. Bilgisayar mühendisliği alanında sinir ağları, makine öğrenmesi, planlama ve hata analizlerinde yoğun olarak tercih edilmektedir. Biyomühendislik ve Genetik biliminde gen hesaplamaları çalışmalarında tercih edilmektedir. Elektrik Elektronik Mühendisliği alanlarında motor kontrol, PI, PID ve hibrit enerji sistemleri gibi güç elektroniği alanlarında tercih edilmektedir. Ekonomi problemlerinde ideal bir çözüm olarak kullanılmaktadır. Bir çok optimizasyon yöntemine kıyasla daha başarılı ve hızlı reaksiyon gösteren GWO algoritması farklı disiplinlerde tercih sebebi olmuştur [13].

Bozkurtlardan esinlenerek çıkarılmış matematiksel formu 4 kademede incelemek mümkündür.

A. Hiyerarşik Yapı

Bozkurt Optimizasyonu yönteminde Alfa (α) en ideal matematiksel model olarak düşünülür. Beta (β) ve Delta (δ) sonraki en iyi çözümlerdir. Bozkurt optimizasyonunda α , β ve δ esaslı çözümler yapılır. Omega (ω) kurtları avlanma

sürecinde onları takip eder [13]. Yinelemeler boyunca en ideal çözümde olan Alfa'nın konumuna göre diğer en iyi çözümler olan Beta ve Delta bozkurtlarının konumları Alfaya göre yeniden düzenlenir. Ava saldırı veya avdan vazgeçmek Alfa'nın konumuna göre belirlenir.

B. Avın Sarılması

Bozkurtların avını sarması için çıkarılmış matematiksel model Eşitlik 14 ve 15'te belirtilmiştir:

$$\vec{D} = |\vec{C} * \vec{X}_p(t) - \vec{X}(t)| \quad (14)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A}\vec{D} \quad (15)$$

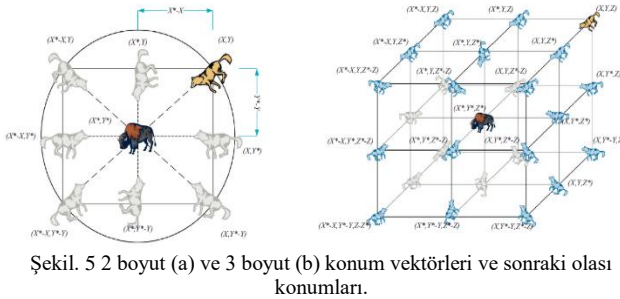
Avlar arası mesafe \vec{D} , Avın pozisyon vektörü \vec{X}_p , t ise şu an ki yinelemeyi ifade eder. \vec{A} ve \vec{C} değerleri X bozkurdun vektörel olarak yerini verir.

\vec{A} ve \vec{C} değerleri için formüller eşitlik 16 ve 17'de mevcuttur:

$$\vec{A} = 2\vec{a}\vec{r}_1 - \vec{a} \quad (16)$$

$$\vec{C} = 2\vec{r}_2 \quad (17)$$

Eşitlik 14 ve 15 ile ifade edilen konum vektörü ve olası komşuları Şekil 5(a)'da gösterilmiştir. Bozkurdun (X,Y) pozisyon vektörü avın konumuna göre kendini (X*,Y*) güncelleyebilir. Bu güncellemede \vec{A} ve \vec{C} vektör değerlerini ayarlayarak en iyi avcı konumuna göre kendi pozisyonunu güncelleyebilir. İki ve üç boyutlu konum vektörleri ve muhtemel en iyi çözüm yakınsamaları için Şekil 5'de verilmiştir. İki boyuta istinaden n boyutlu bir çevrelemede bozkurtlar elde edilen en iyi çözüm etrafında hiper-küp içinde hareket ederler [13].



Şekil. 5 2 boyut (a) ve 3 boyut (b) konum vektörleri ve sonraki olası konumları.

C. Avlanma

Bozkurt avlanma tekniğinde Alfa avı yönetir. Teorik uzayda avın optimum yeri hakkında bir bilgi yoktur. Avlanma tekniğinde en iyi çözüm olarak Alfa sonraki en iyi çözümler ise Beta ve Delta olarak esas alınır. Bu nedenle alınan ilk 3 ölçüm saklanır ve Omega dâhil diğer kurtların konumları en iyi çözüme göre güncellenir [13]. Bu konuda aşağıdaki denklemler kullanılabilir;

$$\vec{D}_\alpha = |\vec{C}_1 * \vec{X}_\alpha - \vec{X}|, \vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 * \vec{X}_\beta - \vec{X}|, \vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 * \vec{X}_\delta - \vec{X}| \quad (18)$$

$$\vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 * (\vec{D}_\alpha), \vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 * (\vec{D}_\beta), \vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 * (\vec{D}_\delta) \quad (19)$$

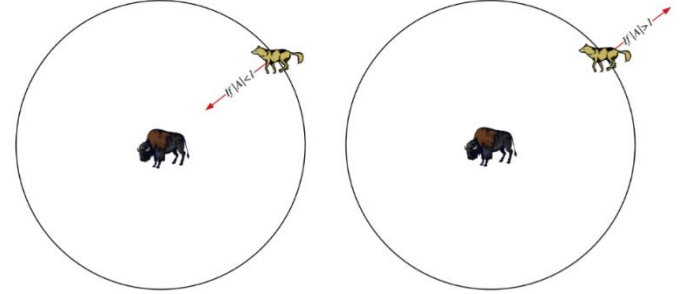
$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{X}_1 + \vec{X}_2 + \vec{X}_3}{3} \quad (20)$$

D. Saldırı ve Av Arayışı

Bozkurtlar konum olarak durma noktasına geldiğinde av saldırırlar ve av tamamlanmış olur. Ava yaklaşım için matematiksel model olarak \vec{a} vektör değeri düşürülür. A genliği, $[-2\vec{a}, 2\vec{a}]$ arasında rastgele bir değerdir. \vec{a} vektörel

değeri tekrarlamalar boyunca 2'den 0'a düşer. \vec{A} gelişigüzel değerleri $[-1,1]$ sınırlarında konumlanmışken, herhangi bir arayış konumunun sonraki konumu, mevcut konum ile avın konumu arasında rastgele bir yerde olabilir [13].

Bozkurtların matematiksel modelinde $|A| < 1$ değeri için Şekil 6 (a) saldırı uygun hale gelmiştir ve kurtlar avına saldırır. $|A| > 1$ değeri için Şekil 6 (b) bozkurtlar avdan uzaklaşmaya başlar ve yeni av arayışı için çalışırlar [13].



Şekil. 6 Saldırı (a) ve av arayışı (b) modeli

V. BOZKURT OPTİMİZASYONU TABANLI MPPT YÖNTEMİ

Bu çalışmada FV panelin akım ve gerilim değerleri okunarak geliştirilen GWO tabanlı MPPT tekniğinde değerlendirilmiş ve bir sonraki anahtarlama sinyali doluluk oranı değeri hesaplanmıştır. Bu sinyal baz alınarak anahtarlama sinyali üretilerek FV panel çıkışına bağlı olan yükseltici çevirici kontrol edilmiştir.

GWO'nun iki girişi ve iki çıktısı mevcuttur. Giriş olarak FV panelden okunan akım ve gerilim değerleri anlık olarak alınır. Çıkış olarak Bozkurt optimizasyonu metoduna göre hesaplanan alfa güç değeri ve sistemin en yüksek güç noktasındaki doluluk oranı yer almaktadır. FV sistemler için gerekli olan ilk değerler yazılıma entegre edilir. Tasarladığımız sistem için geçerli uygunluk fonksiyonu $Güç = Akım * Gerilim$ şeklinde belirlenmiştir. Uygunluk fonksiyonu için çözümlenmeler sürekli halde optimizasyonda değerlendirmeye alınmaktadır. Sistemimizde kullandığımız arama ajanları yani sürüde bulunan bozkurt sayısı 30 olarak belirlenmiştir. Bu değer arttığında her iterasyonda bozkurtların konumu, yani en yüksek güç değeri daha ideal olacaktır ancak dengeye gelme süresinde artma meydana gelecektir. Bu da MPPT hızının yavaşlamasına neden olacaktır. Maksimum iterasyon sayısı yine yazılıma eklenen ilk değerlerdendir ve 100 olarak belirlenmiştir. Uygunluk fonksiyonuna göre bulunacak değerlerin üst sınır ve alt sınır olarak değerleri girilir. Bu değer fonksiyonumuzun değer aralığını belirtmektedir. Simülasyonumuzda FV sisteme bağlı güç değerinin ilk başlangıç değerleri ve doluluk oranı (Duty Cycle) ilk değeri yazılıma entegre edilir. Yazılım başladığında ilk güç karşılaştırma değerleri için güç ifadesinin ilk değeri belirlenir. Yükseltici tip sistemin çalışmaya başlayacağı doluluk oranı değeri (D) ve her iterasyon da doluluk oranı değişim miktarı (ΔD) belirlenir ve bu değer yazılıma entegre edilir.

Bu adımlar ilk değerlerin girilmesi olarak tanımlanabilir. Algoritmanın çalışması sırasında üst sınır ve alt sınır aralığı dışına çıkan bozkurtların geri çevrilmesi için pozisyon fonksiyonları kullanılır. Avı çevreleme için gerekli bu fonksiyon ile av daha kolay sarılacaktır. Güç faktörü tespiti için optimal değere yaklaşmayı sağlayacaktır. Bozkurtların uygunluk fonksiyonuna göre pozisyon hesaplamaları yapılır. Ardından alfa, beta ve delta için fitness pozisyon karşılaştırması yapılarak en iyi pozisyon alfa değerine, ikinci en iyi pozisyon beta değerine ve üçüncü en iyi pozisyon delta

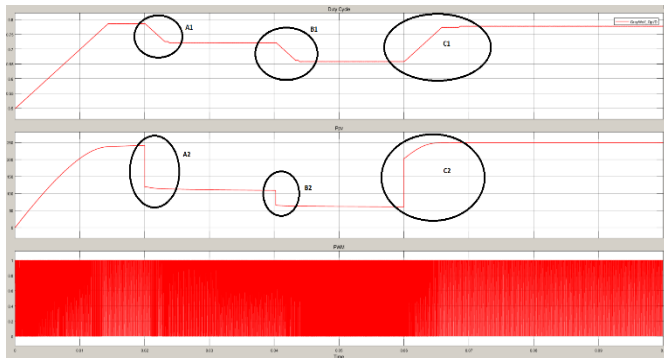
değerine eşitlenir. Her iterasyon da \vec{a} vektörel değeri 2'den 0'a doğru düşürülür. \vec{a} vektörel değeri avlanma olarak yakınsamayı ifade eder ve her iterasyonda güncellenir. Genlik değeri \vec{A} ise $[-2\vec{a}, 2\vec{a}]$ arası değerlerdir. \vec{A} ve \vec{C} her iterasyonda güncellenir. Ava yakınlık derecesi ile bozkurtların çemberi daraltmasını ifade eder. Eşitlik 16 ve 17'ye göre güncelleme gerçekleşir. Avın merkezi konusunda bir bilgi olmadığından rastgele yarıçap atamalar gerçekleştirilerek ölçümler alınır ve ilk 3 ölçüm saklanır. Eşitlik 20'de ifade edildiği gibi en iyi 3 ölçüm ortalaması alfa olarak, ikinci en iyi 3 ölçüm ortalaması beta ve üçüncü en iyi 3 ölçüm delta olarak güncellemeler yapılır. Yakınsama kriteri gerçekleşene kadar iterasyonlar tekrarlanarak devam eder. İterasyonlar sonucu elde edilen alfa konumu, en yüksek güç değeri olarak çıkış güç parametresine yazılır. 't' anında elde edilen en yüksek güç değeri P_t ile 't+1' anında elde edilen en yüksek güç değeri P_{t+1} karşılaştırması yapılır. $P_t < P_{t+1}$ durumu olduğunda ilk değer ataması ile belirlediğimiz doluluk oranı (D_{ilk}) ve doluluk oranı değişim miktarı (ΔD) için $D = D_{ilk} + \Delta D$ şeklinde güncellenir. $P_t > P_{t+1}$ durumu olduğunda ilk değer ataması ile belirlediğimiz doluluk oranı (D_{ilk}) ve doluluk oranı değişim miktarı (ΔD) için $D = D_{ilk} - \Delta D$ şeklinde güncellenir. Güncel durumdaki doluluk oranı 'D' anahtarlama elemanı için çıktı olarak verilir.

VI. SIMÜLASYON SONUÇLARI

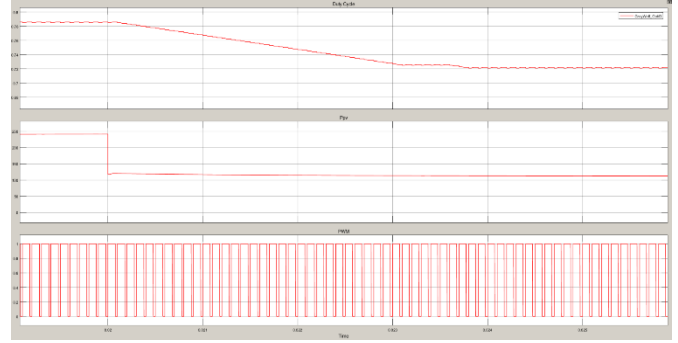
Bu çalışmada önerilen GWO tabanlı MPPT tekniğinin performansının test edilebilmesi için önerilen system, FV panel ve yükselten çevirici MATLAB/Simulink ortamında modellenmiş ve benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmalarında Trina Solar firmasının TSM-250PA05.08 isimli 250W'lık paneli modellenmiştir. Çalışma kapsamında, değişen sıcaklık ve değişen ışınım koşullarında benzetim çalışmaları yapılmıştır.

Şekil 7'de 25°C sabit sıcaklıkta değişken ışınım oranlarında gerçekleştirilen simülasyon çıktısı verilmiştir. 0-0.1 saniye sürecinde çalışan simülasyonda; 0-0.02 saniye aralığında 1000 W/m², 0.02-0.04 saniye aralığında 500 W/m², 0.04-0.06 saniye aralığında 300 W/m², 0.06-0.1 saniye aralığında 1000 W/m² ışınım ile çalıştırılmış ve değişimler scope ile gözlenmiştir. Şekil 7'de doluluk oranı (D) FV panel çıkış gücü ve anahtarlama sinyali görülmektedir.

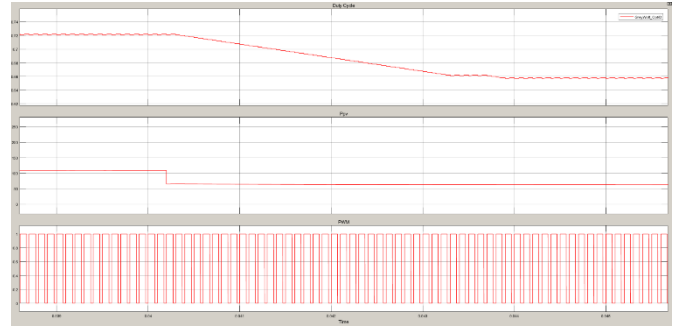
0-0.02 saniye aralığında 1000 W/m² ışınım ile beslenen sistem 0.014. saniyede kararlı duruma ulaştığı ve 242 W civarında güç alındığı görülmektedir. t=0.02 s'de ışınım miktarının 500 W/m²'ye düşmesi ile çıkış gücünün de 115 W'a düştüğü görülmektedir. Sistem 0.022. saniyede kararlı duruma ulaşmakta ve maksimum güç noktasında çalışma sırasında osilasyonların büyük oranda ortadan kaldırıldığı



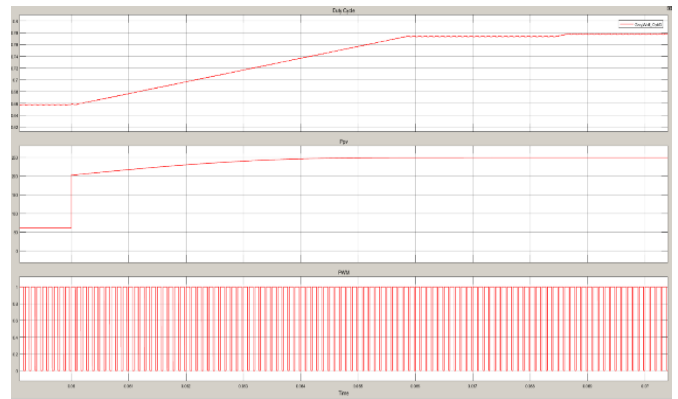
Şekil 7 Sabit sıcaklık, değişken ışınım durumunda önerilen GWO tabanlı MPPT tekniği performansı (doluluk oranı, güç ve anahtarlama sinyali)



Şekil 8 A1 ve A2 bölgesi yakın görüntüsü



Şekil 9 B1 ve B2 bölgesi yakın görüntüsü



Şekil 10 C1 ve C2 bölgesi yakın görüntüsü

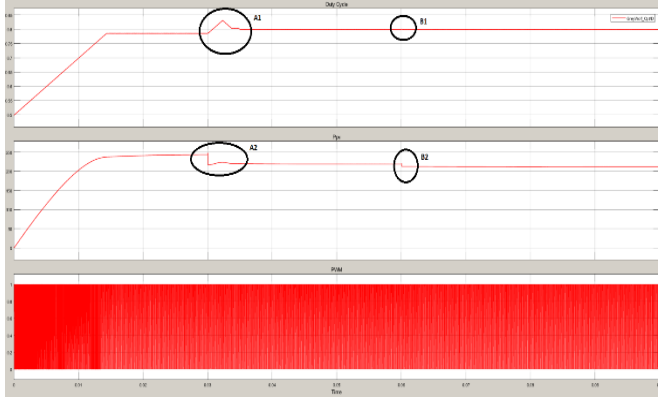
görülmektedir. t=0.04 s için ışınım miktarının 300 W/m²'ye düşmesi ile çıkış gücü 63 W civarında ölçülmüştür. Sistem kararlı duruma t=0.042 s'de ulaşmaktadır. t=0.06. s'de ışınım miktarı tekrar 1000 W/m²'ye yükselmesi ile çıkış gücünün 242 W ulaştığı görülmektedir. Sistem kararlı duruma t=0.068 s'de ulaşmaktadır. Bütün ışınım değişimlerinde doluluk oranı güçteki değişim oranına göre güncellenmektedir. Yakın perspektif görüntülerinde PWM ve doluluk oranı değişimleri açıkça görünmektedir. Şekil 7'de görülen A1, A2; B1, B2; C1 ve C2 bölgelerinin yakın görüntüleri sırasıyla Şekil 8, Şekil 9, Şekil 10'da verilmiştir.

0-0.1 saniye süresinde çalışan simülasyonda; ışınım 1000 W/m² değerinde sabit tutulmuş ve 0-0.03 saniye aralığında 25°C, 0.03-0.06 saniye aralığında 50°C, 0.06-0.1 saniye aralığında 60°C sıcaklık ile çalıştırılmış ve sistem tepkisi Şekil 11 sunulmuştur.

0-0.03 saniye aralığında 25°C sıcaklık altında çalışan sistem t=0.019 s'de kararlı duruma eriştiği ve 242 W civarında güç ürettiği görülmektedir. t=0.03 s'de sıcaklığın 50°C'ye yükselmesi ile çıkış gücü 219 W civarında ölçülmüştür. Sistem t=0.034 s'de kararlı duruma ulaşmaktadır. t=0.06 s'de sıcaklığın 60°C'ye yükselmesi ile çıkış gücü 213 W değerine

düşmektedir. Sistem $t=0.0601$ s'de kararlı duruma ulaşmaktadır.

Değişken ışınım ve değişken sıcaklık altında yapılan testler önerilen GWO tabanlı MPPT tekniğinin her iki koşul içinde hızlı bir maksimum güç noktası takip performansı sunduğunu ve kararlı çalışma noktası etrafında osilasyon yapmadan çalışmasını sürdürülebildiğini göstermiştir.



Şekil 11 Sabit ışınım, değişken sıcaklık durumunda önerilen GWO tabanlı MPPT tekniği performansı (doluluk oranı, güç ve anahtarlama sinyali)

VII. SONUÇLAR

Bu çalışmada FV panellerde en yüksek güç noktasının takibi için yeni bir yöntem önerilmiştir. Bozkurtların avlanma yeteneklerinden esinlenerek geliştirilmiş olan GWO yöntemi, FV panellerde en yüksek güç noktası takibinde kullanılmış ve FV çıkışında kullanılan yükseltici tip çeviricinin anahtar doluluk oranı geliştirilen GWO algoritması tarafından her an FV panelden maksimum güç çekilmesini sağlayacak değerde tutulmuştur. Önerilen yöntem, yükselten çevirici ve FV panel MATLAB/Simülink ortamında modellenmiş ve değişken sıcaklık ve ışınım koşulları altında önerilen sistemin performansı test edilmiştir. Benzetim sonuçları, önerilen sistemin yüksek takip hızına sahip olduğuna buna karşın, maksimum güç noktası etrafında osilasyon yapmadan kararlı bir şekilde çalışabildiğini göstermiştir.

REFERANSLAR

- [1] I. Sefa, and N. Altin, Grid interactive photovoltaic inverters - A review. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, vol. 24, pp. 409-424, 2009.
- [2] (DPT) DPT. "Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu". DPT: 2569 – ÖİK: 585. 2001.
- [3] N. Altin, and S.E. Eyimaya, "A Combined Energy Management Algorithm for Wind Turbine/Battery Hybrid System". *Journal of Electronic Materials*, vol.47, pp. 4430-4436, 2018.
- [4] I.Sefa, and O. Ozdemir, "Experimental study of interleaved MPPT converter for PV systems." *In 2009 35th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics*, pp.456-461, 2009
- [5] J.L. Santos, F. Antunes, A. Chehab, and C.J.S.E. Cruz, "A maximum power point tracker for PV systems using a high performance boost converter." *Solar Energy*, vol.80, pp. 772-778,2006.
- [6] E. Koutroulis, K. Kalaitzakis, and N.C. Voulgaris, "Development of a microcontroller-based, photovoltaic maximum power point tracking control system." *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 16, pp. 46-54, 2001
- [7] N.S.D. Souza, L.A.C. Lopes, and L. XueJun. "An Intelligent Maximum Power Point Tracker Using Peak Current Control." *in 2005 IEEE 36th Power Electronics Specialists Conference*. 2005.
- [8] S.Ozdemir, N. Altin, and I. Sefa, "Fuzzy logic based MPPT controller for high conversion ratio quadratic boost converter." *International Journal of Hydrogen Energy*, vol.43, pp. 17748-17759,2017.
- [9] N. Altin, "Interval Type-2 Fuzzy Logic Controller Based Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Systems." *Advances in Electrical and Computer Engineering*, vol. 13, pp.65-70,2013.
- [10] N. Altin, "The Type-2 Fuzzy Logic Controller-Based Maximum Power Point Tracking Algorithm and the Quadratic Boost Converter for Pv System." *Journal of Electronic Materials*, vol.47,pp. 4475-4485,2018.
- [11] H.Renaudineau, F. Donatantonio, "A PSO-Based Global MPPT Technique for Distributed PV Power Generation." *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 62, pp. 1047-1058, 2015.
- [12] N. Priyadarshi, A. Anand, A.K. Sharma, and F. Azam, V.K. Singh, R.K. Sinha, "An experimental implementation and testing of GA based maximum power point tracking for PV system under varying ambient conditions using dSPACE DS 1104 controller." *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, vol. 7, pp.255-265, 2017
- [13] S. Mirjalili, S.M. Mirjalili, and A. Lewis," Grey Wolf Optimizer." *Advances in Engineering Software*, vol.69, pp. 46-61, 2014.
- [14] J.Carstensen, G.Popkirov, J. Bahr and F. HJSEM, S. Cells, "CELLO: an advanced LBIC measurement technique for solar cell local characterization." *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol.76, pp. 599-611, 2003.
- [15] F.Gonzalez-Longatt, "Model of photovoltaic module in matlab." *Ii Cibelec*, pp.1-5. 2005.
- [16] F.Belhachati, and C. Larbes, "Modeling, analysis and comparison of solar photovoltaic array configurations under partial shading conditions." *Solar Energy*,vol. 120, p. 399-418, 2015.
- [17] M.G Villalva, J.R. Gazoli, and E.R. Filho, "Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays." *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol.24, pp. 1198-1208, 2009.
- [18] M.H. Rashid, "Dc-dc converters, in Power Electronics Circuits, Devices and Applications." 2004, Prentice Hall. pp. 166-224.
- [19] C.Muro, R. Escobedo, L .Spector, R. Coppinger, "Wolf-pack (Canis lupus) hunting strategies emerge from simple rules in computational simulations." *Behavioural Processes*, vol.88,pp. 192-197, 2011.
- [20] K.R.Das, D. Das, and J. Das. "Optimal tuning of PID controller using GWO algorithm for speed control in DC motor." *in 2015 International Conference on Soft Computing Techniques and Implementations (ICSTI)*. 2015.
- [21] A.Parsian, M. Ramezani, and N. Ghadimi, "A hybrid neural network-gray wolf optimization algorithm for melanoma detection." vol. 28, pp. 3408-3411. 2017
- [22] A.Kumar, S. Pant, and M. Ram, "System Reliability Optimization Using Gray Wolf Optimizer Algorithm." *Quality and Reliability Engineering International*, vol. 33, 2016.
- [23] J.Jayapriya, and M. Arock, "A parallel GWO technique for aligning multiple molecular sequences." *in 2015 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*. 2015.