



Kahramanmaraş Sutcu Imam University Journal of Engineering Sciences



Geliş Tarihi : 17/07/2018
Kabul Tarihi : 05/10/2018

Received Date : 17/07/2018
Accepted Date : 05/10/2018

Güneş Panellerinde Hibrit ve YSA Tabanlı Algoritmalar ile Güç Takibi Power Tracking with Hybrid and ANN-Based Algorithms in Solar Panels

Ayhan Özdemir¹, Okan Güngör^{1*}

¹ Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü, Sakarya, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Okan Güngör, okangungor07@gmail.com

ÖZET

Bu çalışmada, ilk olarak panel çıkış akım - gerilim büyüklüklerini kullanan IC algoritmasını bulanık mantık yardımıyla değişken adım aralıklarına sahip bir hibrit algoritma ile doğrudan MPPT yapılmaktadır. İkinci olarak çeşitli sıcaklık ve radyasyon büyüklükleri ile YSA kullanılarak panel modeli elde edilmiştir. Uygulamada bu model kullanılarak PID kontrolör aracılığıyla MPPT yapılmıştır. Son olarak da bu iki algoritmanın değişken radyasyon, sıcaklık, yük ve ön görülmeyen şartlar için karşılaştırmalı performansları benzetim ortamında incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT), Bulanık Mantık (BM), Artımsal İletkenlik(IC), Yapay Sinir Ağları(YSA)

ABSTRACT

In this work MPPT, firstly, a hybrid algorithm which combine the IC algorithm that use the panel output voltage-current magnitudes with variable step intervals using fuzzy logic is directly made. Secondly, panel model was obtained by using ANN with various temperature and radiation. In this application, MPPT is done through PID controller using this model. Finally, comparative performances of these two algorithms for variable radiation, temperature, under load and unforeseen conditions are examined in simulation.

Keywords: Maximum Power Point Tracking (MPPT), Fuzzy Logic (FL), Incremental Conductivity (IC), Artificial Neural Networks (ANN)

1. GİRİŞ

Hızla büyüyen dünya nüfusu mevcut enerji kaynaklarını aynı hızla tüketmektedir. Bazı ülkeler bu soruna başa çıkmak için yeni enerji kaynaklarına yönelmiştir. Bu kaynakların başında da ucuz ve uzun ömrü nedeniyle güneş ön plana çıkmaktadır. Güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmekte kullanılan fotovoltaik paneller, farklı ortam şartlarında panelin çıkış gücünün panel çıkış voltajına göre değişim gösteren bir fonksiyon oluşturmaktadır. Her bir fotovoltaik panel kendine özgü karakteristik eğrilere sahiptir. Bu eğriler üzerinde de bir maksimum güç noktası bulunmaktadır. Maksimum güç noktası sıcaklık, radyasyon, kirlilik, verim, gölgelenme gibi faktörler ile değişir. Değişimin takip edilmesi sayesinde panelden sürekli olarak maksimum güç çekilmektedir. Bu nedenle güneş pillerini yüksek verimlerde kullanabilmek için literatürde değişken şartlarda mevcut panelden çekilebilecek maksimum gücü takip etmek için pek çok uygulama yapılmıştır. Bu uygulamalarda genel olarak PNO, IC, YSA, BM, PSO gibi yöntemler kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda algoritmaların yapısı ve üstünlükleri kıyaslanmıştır. İlk olarak akla temel mantığı basit olan PNO ve IC algoritmaları gelmektedir. Bu iki algoritma panel çıkışından akım ve gerilim sensörleri yardımıyla sürekli olarak ölçüm yapmaktadır. Ölçülen değerler yardımıyla maksimum güç noktasına sabit bir adım değişimiyle ulaşılır. Bu algoritmaların en büyük sorunu sürekli durumda sabit adım aralığı nedeniyle yapmış olduğu yüksek salınımdır. Bu sorun adım aralığı küçültülerek giderilebilir. Ancak bu durumda da değişken şartlarda MPP bulmakta çok gecikmektedir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için bulanık mantık yöntemiyle değişken adımlar kullanarak hızlı ve az salınımlı MPP takibi yapılabilmektedir (Radjai ve ark.,2014; Macaulay ve Zhou, 2018). PNO algoritması gibi doğrudan bulanık mantık da uygulanabilmektedir (Bounechba ve ark.,2014; Singh ve ark.,2013; Mahamudul ve ark.,2013).

PSO algoritmasında sürünün her bir üyesine parçacık adı verilir. Maksimum güç takibinde PSO algoritması parçacık olarak görev süresini alır. Çalışmalarda genellikle üç parçacık alınmaktadır(Chen ve ark.,2010; Ishaque ve ark.,2013; Load ve ark.,2017). Her bir parçacığın bir hızı ve konumu vardır. Her bir görev süresi sırayla dönüştürücüye gönderilerek güç ölçümü yapılır. Her üç ölçümde bir parçacık hızı ve pozisyonları güncellenmektedir. Sürü sürekli olarak en iyi parçacığın bulunduğu konuma gitmeye çalışır (Load ve ark.,2017; Ishaque ve ark.,2012). MPP 'de üç görev süresi de aynı noktada buluşur. Şartlarda değişim olduğu taktirde hız ve konumlar ilk halini alarak yeni MPP noktasını aramaya başlar (Load ve ark.,2017). Ancak bu algoritmada başlangıç değer olarak alınan parametreler çok önemlidir. Eğer parametreler doğru belirlenmezse klasik PSO

algoritması PNO algoritmasından daha kötü çalışabilmektedir (Load ve ark.,2017). Bu nedenle başlangıçta PSO algoritmasının parametrelerini doğru belirlemek son derece önemlidir.

YSA algoritmasını MPP takibinde kullanmak için belirli radyasyonlarda ve sıcaklıklarda mevcut panelin davranışını veren verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu veriler yardımıyla bir ağ oluşturularak bütün radyasyon ve sıcaklık durumlarında MPP tespit edilir (Agwa ve ark.,2017). Literatürde yapılan MPPT algoritmaları çalışmalarının yüksek verime sahip olabilmesi için maksimum güç noktasına çabuk ulaşması ve MPP 'de osilasyon yapmaması gerektiği ortaya konulmuştur. Ancak literatürdeki çalışmalarda kullanılan algoritmaların hemen hepsi aynı giriş değişkenlerini kullanarak karşılaştırmalar yapmıştır.

MPPT, maksimum gücün hesap edildiği algoritma ve çekilmesini sağlayan donanım olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Birinci kısım olan MPP bulunmasında hibrit ve YSA tabanlı olmak üzere iki farklı algoritma kullanılmıştır. Hibrit algoritmada akım ve gerilim giriş olarak alınarak klasik IC yöntemi bulanık mantık kullanılarak değişken adım aralıklarına sahip doğrudan görev süresi üreten bir yöntem elde edilir. Kullanılan diğer algoritma ise giriş olarak radyasyon ve sıcaklığı alan YSA tekniği olup görev süresi PID kontrolör ile üretilir. İkinci kısımda ise yukarıda verilen algoritmalar kullanılarak hesap edilen maksimum gücün güneş panellerinden çekilebilmesi için Cuk dönüştürücü kullanılmıştır. MPPT'nin performans analizi için kullanılan ilgili yöntemle bağlı olarak Cuk dönüştürücünün modellenmesi ve kontrolü farklı bozucu koşullar altında benzetim çalışmaları ile karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve değerlendirilmiştir. MPPT algoritmalarının karşılaştırmaları yapılarak avantaj ve dezavantajları sunulmuştur. Bu çalışmanın literatüre katkısı, performansı iyileştirilmiş IC algoritmasının YSA 'ya göre üstünlüğünün gösterilmesidir.

2. PV MODÜL

Fotovoltaik hücrelerin tek diyot ideal eşdeğer devresi bir foto akım kaynağı ile paralel bağlanmış bir diyottan oluşur (Bouraiou ve ark.,2015).

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{qV_d}{akT}} - 1 \right\} \quad (1)$$

Seri direnç R_s ve paralel direnç R_p ' yi içeren tek diyot modelinden oluşan fotovoltaik modül için çıkış akımı (Bouraiou ve ark.,2015):

$$I = I_{ph} - I_0 \left\{ e^{\frac{V+IR_s}{aV_T}} - 1 \right\} - \frac{V+IR_s}{R_p} \quad (2)$$

$$V_T = \frac{N_s K T}{q} \quad (3)$$

Foto akım:

$$I_{ph} = [I_{ph,STC} + K_1(\Delta T)] \times \frac{G}{G_{STC}} \quad (4)$$

Sızıntı akımı:

$$I_0 = \frac{I_{sc,STC} + K_1 \Delta T}{\exp\left[\frac{(V_{oc,STC} + K_V \Delta T)}{aV_T}\right] - 1} \quad (5)$$

Tablo-1' de benzetim çalışmasında kullanılan fotovoltaik modülün parametreleri verilmiştir.

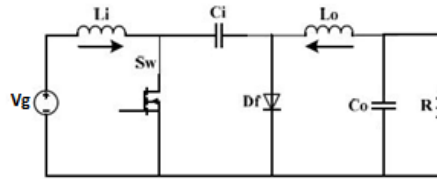
Tablo 1. Kullanılan PV Panel Karakteristiği

Standart şartlarda fotovoltaik modüllerin elektriksel performansı (*STC)	Değerler
Maksimum güç (P_{max})	87.35 W
Maksimum güç noktasındaki gerilim (V_{mpp})	17.4V
Maksimum güç noktasındaki akım (I_{mpp})	5.02A
Açık devre gerilimi (V_{oc})	21.7V
Kısa devre akımı (I_{sc})	5.34A
V_{oc} için sıcaklık sabitesi	$-8.21 \times 10^{-2} V/C^{\circ}$
I_{sc} için sıcaklık sabitesi	$2.12 \times 10^{-3} A/C^{\circ}$
Modül başına hücre sayısı	36

3. CUK DÖNÜŞTÜRÜCÜ MODELLENMESİ VE KONTROLÜ

Cuk dönüştürücüler DC bir gerilimi farklı genlikteki DC bir gerilimine dönüştüren yapılarıdır. Bir Cuk dönüştürücü devresi yükseltici dönüştürücü ve alçaltıcı dönüştürücünün art arda bağlanmasıyla elde edilebilir. Cuk dönüştürücülerde çıkış geriliminin polaritesi giriş gerilimine göre ters durumdadır.

$$V_{C_0} = -\left(\frac{D}{1-D}\right)V_g \quad (6)$$

**Şekil 1.** Cuk Dönüştürücülerin Devre Topolojisi

Cuk dönüştürücüler temel olarak ikişer adet bobin ve kondansatör, bir adet diyot ve bir anahtarlama elemanının bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Bobin, kondansatör ve direnç akımı, uygulanan voltaj ile orantılı bir şekilde değiştiği için lineer elemanlardır. Bu elemanlar diferansiyel denklemler yardımıyla kontrol edilebilir ve Laplace dönüşümü yardımıyla çözülebilir. Ancak diyot ve anahtarlama elemanları non-lineer devre elemanlarıdır. Bu nedenle kontrol etmek için lineerleştirme yapılmak zorundadır. İlk aşamada Cuk dönüştürücünün iki farklı anahtarlama durumuna göre diferansiyel denklemleri bulunur. Sürekli hal ortalama değer yaklaşımı kullanılarak Cuk dönüştürücü modeli elde edilir (Cuk ve Middlebrook., 1977). Kontrolcü tasarımında belirlenen çalışma noktası için Cuk dönüştürücünün küçük işaret modeli denklem 7'de verilmektedir.

$$\begin{bmatrix} \dot{\hat{i}}_{L_i} \\ \dot{\hat{i}}_{L_0} \\ \dot{\hat{v}}_{C_i} \\ \dot{\hat{v}}_{C_0} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 0 & 0 & \frac{D-1}{L_i} & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{D}{L_0} & -\frac{1}{L_0} \\ \frac{1-D}{C_i} & \frac{D}{C_i} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{C_0} & 0 & -\frac{1}{RC_0} \end{bmatrix}}_{\hat{A}_x} \begin{bmatrix} \hat{i}_{L_i} \\ \hat{i}_{L_0} \\ \hat{v}_{C_i} \\ \hat{v}_{C_0} \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{V_{C_i}}{L_i} \\ -\frac{V_{C_i}}{L_0} \\ -I_{L_i} + I_{L_0} \\ 0 \end{bmatrix}}_{\hat{B}_1 \hat{U}} + \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{1}{L_i} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}}_{\hat{B}_2 \hat{U}} \begin{bmatrix} \hat{v}_g \end{bmatrix} + \underbrace{\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{1}{RC_0} \end{bmatrix}}_{\hat{B}_3 \hat{U}} \begin{bmatrix} \hat{i}_z \end{bmatrix} \quad (7)$$

Cuk dönüştürücüye ait model $\dot{\hat{x}} = A\hat{x} + B\hat{u}$ formunda elde edildi. Görev süresi \hat{d} , panel çıkış gerilimi \hat{v}_g , bozucu yük akımı \hat{i}_z olmak üzere üç adet giriş işareti vardır. Kontrolör tasarımında çalışma noktası için panel çıkışı gerilimi ve yük akım değişimleri sıfır alınır.

Çıkış denklemi :

$$\hat{y} = C\hat{x} + D\hat{u} \quad (8)$$

Giriş işaretinin doğrudan çıkışa etkisi olmaması nedeniyle:

$$D = 0$$

$$\begin{bmatrix} \hat{i}_i \\ \hat{y} \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}}_{C\hat{x}} \begin{bmatrix} \hat{i}_{Li} \\ \hat{i}_{L0} \\ \hat{v}_{Ci} \\ \hat{v}_{C0} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ D\hat{u} \end{bmatrix} \quad (9)$$

PID kontrolör tasarımı transfer fonksiyonuna dayalı yapılacağından Cuk dönüştürücünün transfer fonksiyonu durum denklemlerinin katsayılar matrisleri kullanılarak elde edilmiştir.

$$\frac{\hat{i}_i}{\hat{d}} = C[sI - A]^{-1}[B] = \frac{9200s^3 + 9.232e08s^2 + 2.185e12s + 3.103e15}{s^4 + 1e05s^3 + 2.023e08s^2 + 2.269e11s + 1.171e14} \quad (10)$$

PID tasarımı yöntemleri bu çalışmanın kapsamı dışında olduğundan matlab ara yüz tasarımları kullanılarak PID katsayıları elde edilmiş ve aşağıda verilmiştir.

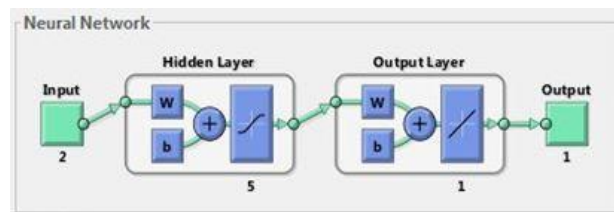
$$K_p = 0.074, K_i = 39.9, K_d = 4.19e-06 \quad (11)$$

Panelden maksimum gücün çekilebilmesi için önerilen yöntemlerden YSA tabanlı MPPT için çalışma aşağıda sunulmuştur.

4. YSA TABANLI MPPT

İnsan beyni milyarlarca birbiriyle bağlantılı nöronların oluşturduğu karmaşık bir ağ yapısından oluşur. Her bir nöron elektriksel sinyaller ile birbiriyle haberleşerek gereken işlemleri yerine getirmektedir. YSA, insan beyninin bilgi işlem yapısından esinlenerek geliştirilmiş bir bilgi işlem teknolojisidir.

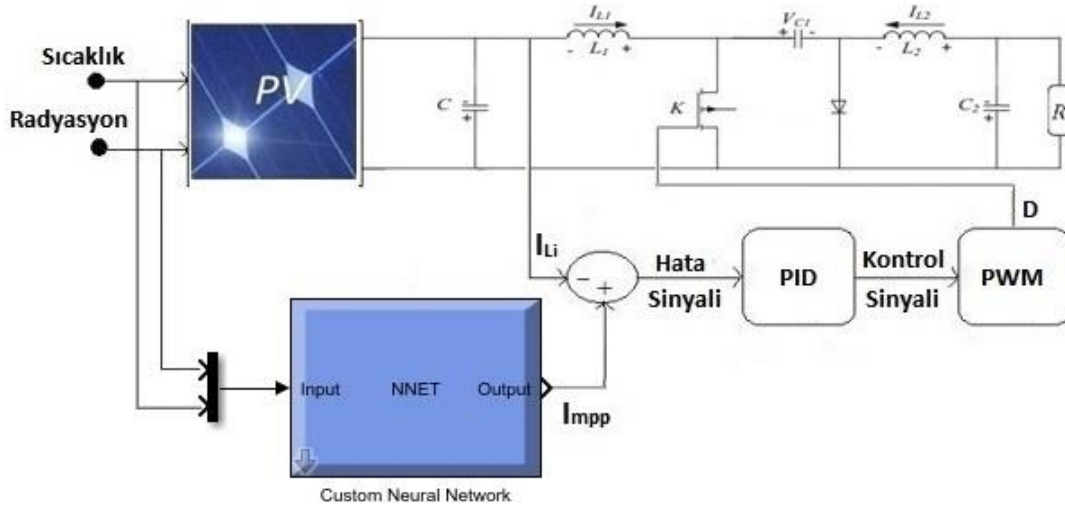
YSA ile MPPT için ilk olarak problemle ilgili eski veri toplanmaktadır. Çalışmada radyasyon, sıcaklık ve bu değerlerde maksimum güç noktasındaki akım değeri ağı eğitmek için alınmıştır. Hangi eğitim algoritmasının kullanılacağı ve kaç katmanlı bir ağ oluşturulacağı tecrübe ile belirlenmektedir.



Şekil 2. MPPT için Çalışılan Ağ Yapısı

Toplanan verilerin bir kısmı eğitim için bir kısmı ağı testi için ayrılmaktadır. Çalışmada toplanan verilerin %70 eğitim için %30 test için ayrılmıştır.

YSA kullanılarak MPP için üretilen referans akım ile panel çıkış akımı arasındaki hata işareti PID kontrol kuralı ile işlenerek Cuk dönüştürücü için görev süresi üretilmektedir. Şekil-3'de YSA tabanlı yapılan MPPT için blok şema verilmektedir.

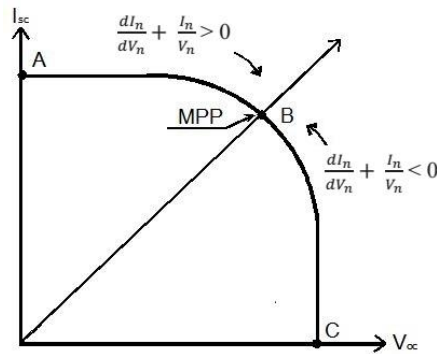


Şekil 3. YSA Tabanlı MPPT

Bu çalışmada ikinci yöntem olarak önerilen doğrudan görev süresini (D) üreten hibrit algoritma yardımıyla MPP takibi bölüm 5'de sunulmuştur.

5. HİBRİT ALGORİTMA

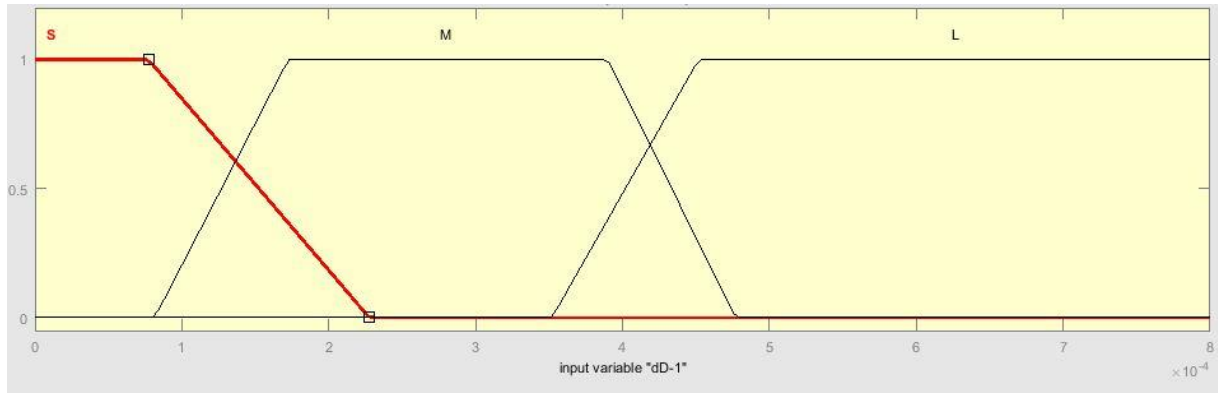
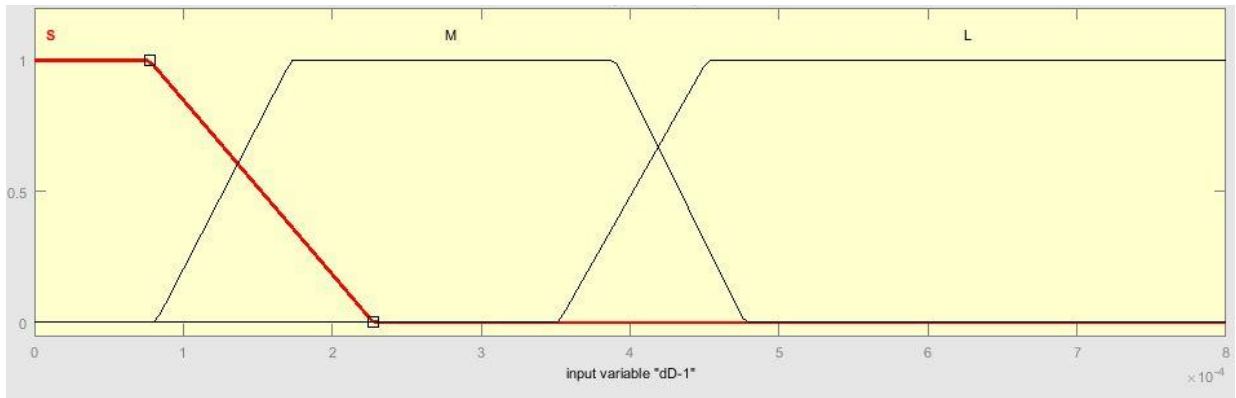
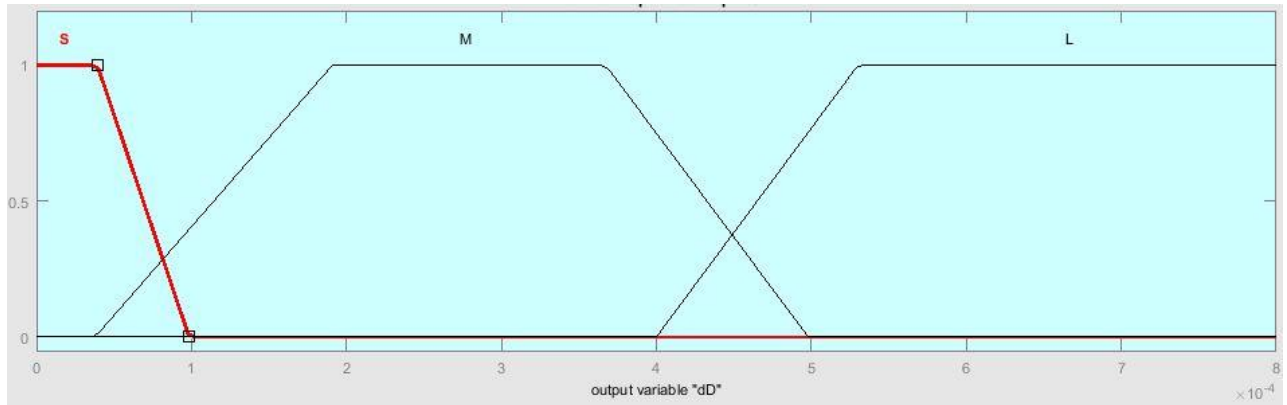
Bulanık mantık matematiksel modele ihtiyaç duymaksızın uzman bilgisi tabanlı çalışan bir yapay zeka tekniğidir (Nabipour ve ark., 2017). Bu bölümde de bulanık mantık yöntemi ve klasik IC yönteminin birleşmesinden oluşan değişken adımlı hibrit algoritma (Radjai ve ark., 2014) kullanılmaktadır. Bu yöntemde Cuk için gerekli görev süresi (D) üretimi doğrudan hibrit algoritma tarafından üretildiğinden Cuk modellemesi, PID kontrolör ve tasarımı gerektirmemektedir. Hibrit algoritmanın çalışma mantığı Şekil-4' de gösterilmektedir.



Şekil 4. Hibrit Yöntemin Çalışma Mantığı

Şekil 4' de : $\frac{dI_n}{dV_n} + \frac{I_n}{V_n} = 0$ MPP noktasında olup teorik olarak görev süresinde hiçbir değişiklik yapılmamalıdır.

$\frac{dI_n}{dV_n} + \frac{I_n}{V_n} > 0$ MPP' nin solunda olup görev süresi artırılmalıdır. $\frac{dI_n}{dV_n} + \frac{I_n}{V_n} < 0$ MPP'nin sağında olup görev süresi azaltılmalıdır (Nabipour ve ark.,2015). Bulanık mantık üyelik fonksiyonları :

Şekil 5. e_{IC} Üyelik FonksiyonuŞekil 6. $\Delta d(k-1)T$ Üyelik FonksiyonuŞekil 7. $\Delta d(k)T$ Üyelik Fonksiyonu

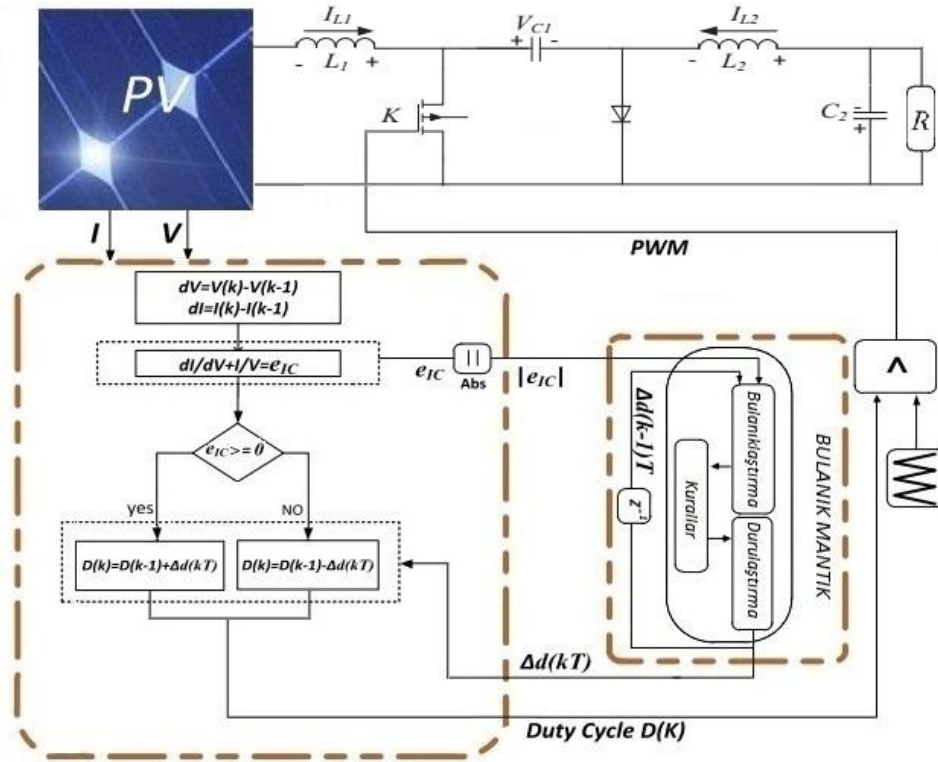
Bulanık mantık kural tablosu: Dilsel değerlerin çıkış olarak hangi dilsel değere karşılık geldiğini gösteren bir yapıdır. Bu sebeple Tablo-2'de hibrit algoritma için bir kural tablosu oluşturulmuştur.

Tablo 2. Bulanık Mantık Kural Tablosu

$e_{IC} / \Delta d(k-1)T$	S	M	L
S	S	M	L
M	S	M	L
L	S	M	L

Oluşturulan tablo sayesinde iki bulanık giriş bir adet bulanık çıkışa karşılık gelir. Durulaştırma işlemi yardımıyla da çıkışa bir sayısal değer aktarılmaktadır.

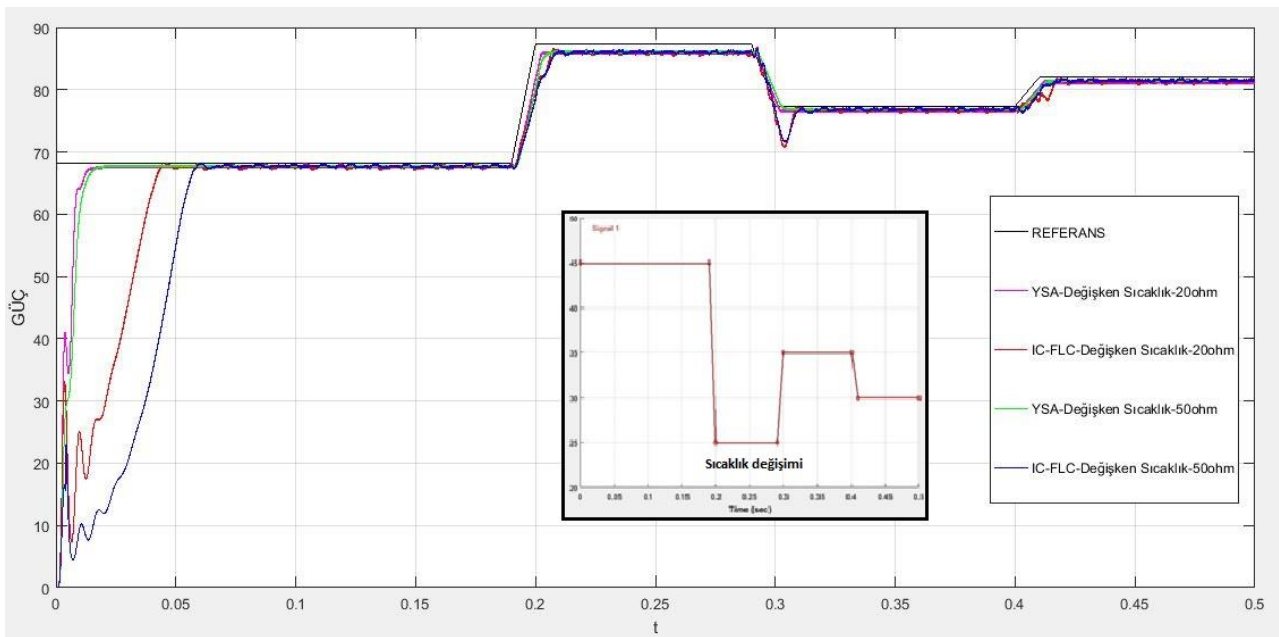
Hibrit algoritmada bulanık mantık görev süresindeki değişimi kontrol etmektedir. Bulanık mantık giriş olarak e_{IC} ve bir önceki görev süresi değişim değerini alıp çıkışa da görev süresi değişimini vermektedir. Şekil 8’de Cuk dönüştürücü için doğrudan görev süresinin üretildiği hibrit algoritma ve Cuk devresine ait benzetim blok şeması sunulmuştur.



Şekil 8. Hibrit Algoritma

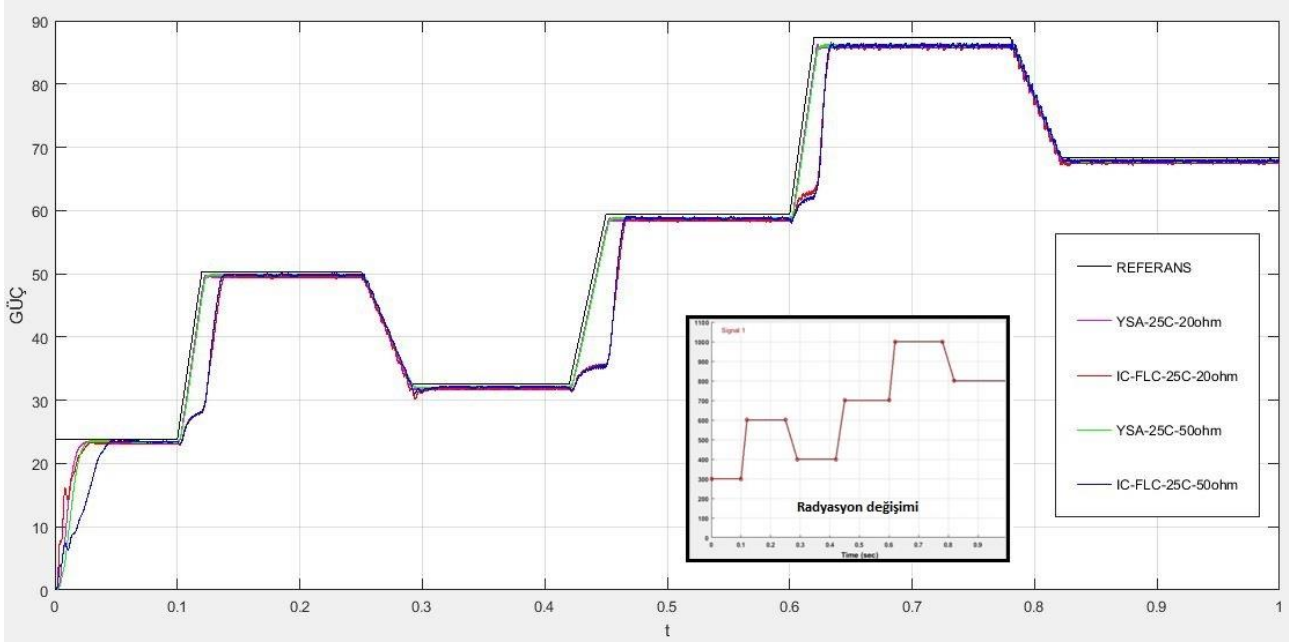
6. BENZETİM ÇALIŞMASI

Bu bölümde YSA ve hibrit algoritma tabanlı MPPT yapmak amacıyla değişken sıcaklık, radyasyon, yük ve ortam şartları için karşılaştırmalı benzetim çalışmaları yapılmıştır. Şekil 9’da değişken sıcaklıklarda ($45^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$), sabit radyasyon (1000 W/m^2) ve değişken yüklerde (20ohm - 50ohm) Cuk dönüştürücü çıkışındaki güç eğrisi gösterilmektedir.



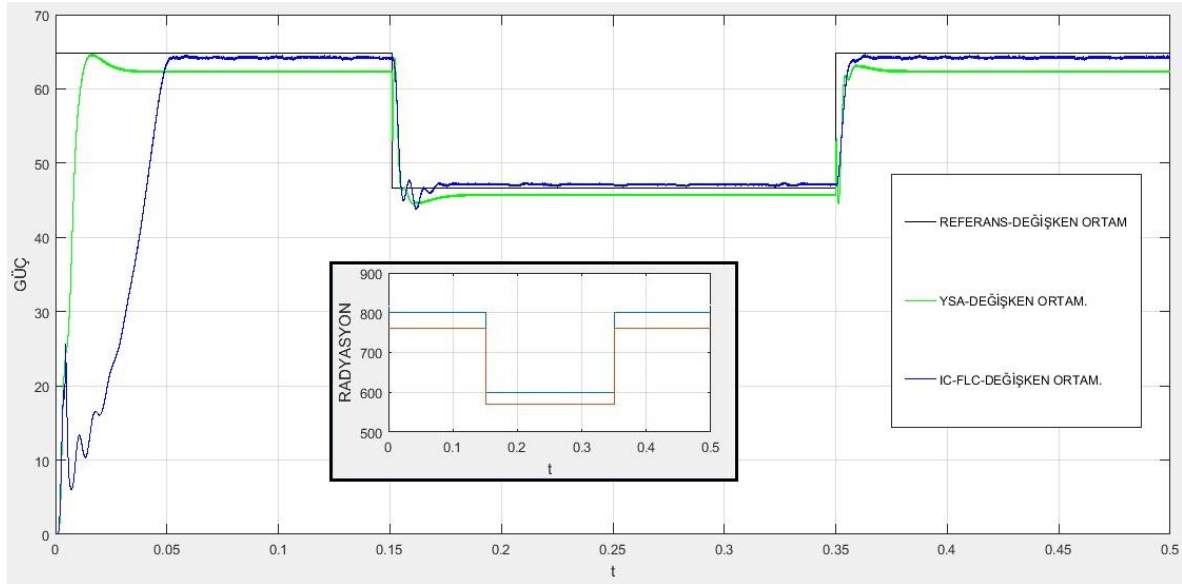
Şekil 9. Değişken Yük, Değişken Sıcaklık ve Sabit Radyasyon Durumlarında Çıkış Gücü Eğrisi

Şekil 10’ da sabit sıcaklıkta (25C°), değişken radyasyonlarda (300W/m² - 600 W/m² -400 W/m² - 700 W/m²- 1000 W/m²- 800 W/m²) ve değişken yüklerde (20ohm - 50ohm) Cuk dönüştürücü çıkışındaki güç eğrisi görülmektedir.



Şekil 10. Değişken Yük, Sabit Sıcaklık ve Değişken Radyasyon Durumlarında Çıkış Gücü Eğrisi

Şekil 11’de bulunan grafikte algılayıcıların ölçtüğü radyasyon (800 W/m²- 600 W/m²- 800 W/m²) ile fotovoltaik panelin algıladığı radyasyon (760 W/m²- 570 W/m²- 760 W/m²) arasında %5 oranında bir fark olacak şekilde benzetim çalışması yapılmıştır. Şekil 11’de sıcaklık (25C°) ve yük (50ohm) sabit olarak alınmıştır.



Şekil 11. Değişken Ortam Şartlarında Çıkış Gücü Eğrisi

7. SONUÇ

Benzetim sonuçları ışığında normal şartlarda YSA yardımıyla yapılan MPPT’ nin yüksek performansa sahip olduğu görülmektedir. Ancak uygulamalarda kirlilik gibi değişik şartlar altında YSA tabanlı MPP takibi için ölçülen sıcaklık ve radyasyon için hesap edilen çekilebilecek maksimum güç ile panelden çekilebilen maksimum güç arasında fark oluşmaktadır, daha az olmaktadır (Şekil-11). Fotovoltaik panellerin yıllar içinde verimlerinin düşmesi nedeniyle de ilk kurulumdaki belirli radyasyon ve sıcaklıklarda sisteme verebildikleri güç azalmaktadır. Bu sebeplerden dolayı ön görülmeyecek değişimlere karşı ağ tabanlı geliştirilecek olan MPPT algoritmalarının verimlerinin düşük olması doğaldır. Ancak hibrit tabanlı MPPT algoritması Şekil-11’de de görüldüğü üzere hesap edilen çekilebilecek maksimum güç ile panelden çekilen güç %98.8 civarındadır.

Yapılan çalışma ile giriş değişkeni akım ve gerilim olan hibrit algoritmanın sıcaklık ve radyasyon girişli YSA tabanlı MPPT algoritmasına göre değişen çevre şartlarında daha başarılı olduğu gösterilmiştir.

8. KAYNAKLAR

- Agwa A. M., Mahmoud I. Y. (2017) Photovoltaic Maximum Power Point Tracking by Artificial Neural Networks, *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*, Vol. 4 Issue 1, January.
- Bouraiou A., Hamoudaa M., Chakerb A., Sadoka M., Mostefaouia M., Lachtara S. (2015) Modeling and Simulation of Photovoltaic Module and array based on One and Two Diode Model Using Matlab/Simulink, *ScienceDirect*, 864 – 877
- Bounechba H., Bouzid A., Nabti K. and Benalla H. (2014) Comparison of perturb & observe and fuzzy logic in Maximum power point tracker for PV systems, *The International Conference on Technologies and Materials for Renewable Energy*.
- Forsyth A.J. and Mollov S.V. (1998) Modelling and control of DC-DC Converters, *IEEE Power Engineering Journal*, pp. 229-236.
- Hasan M., Mekhilef S. and Metselaar I. (2013) Photovoltaic System Modeling with Fuzzy Logic Based Maximum Power Point Tracking Algorithm, *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy Volume*.
- Ishaque K., Salam Z. (2013) A Review Of Maximum Power Point Tracking Techniques of PV System for Uniform Insolation and Partial Shading Condition, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 475–488.
- Ishaque K., Salam Z., Amjad M., Mekhilef S., (2012) An Improved Particle Swarm Optimization (PSO)–Based MPPT For PV with Reduced Steady-State Oscillation, *IEEE Transactions On Power Electronics*, Vol. 27, No. 8, August.
- Kumar M., Kapoor S.R., Nagar R., Verma A. (2015) Comparison between IC and Fuzzy Logic MPPT Algorithm Based Solar PV System using Boost Converter, *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, Vol. 4, Issue 6, June.
- Liang-Rui Chen, Chih-Hui Tsai, Yuan-Li Lin, and Yen-Shin Lai, (2010) A Biological Swarm Chasing Algorithm for Tracking the PV Maximum Power Point”, *IEEE Transactions On Energy Conversion*, Vol. 25, No. 2, June.
- Load R. B. A., Zobia A.F. (2017) A Novel MPPT Algorithm Based on Particle Swarm Optimization for Photovoltaic Systems, *IEEE Transactions On Sustainable Energy*, Vol. 8, No. 2, April.
- Middlebrook R.D. and Cuk S. (1977) A General Unified Approach to Modeling Switching-Converter Power Stages *International Journal of Electronics*, vol. 42, pp. 521-550, June.
- Macaulay J., Zhou Z. (2018) A Fuzzy Logical-Based Variable Step Size P&O MPPT Algorithm for Photovoltaic System, *Energies*, Vol-11,1340, May.
- Nabipour M., Razaz M., Seifossadat S.G.H., Mortazavi S.S. (2017) A New MPPT Scheme Based on a Novel Fuzzy Approach, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 74, pp.1147–1169.
- Radjai T., Rahmani L., Mekhilef S., Gaubert J.P. (2014) Implementation of A Modified Incremental Conductance MPPT Algorithm with Direct control Based on A Fuzzy Görev Süresi Change Estimator Using Dspace, *ScienceDirect*, 325–337.
- Radjai T., Rahmani L., Gaubert P., Gassab S. (2014) Fuzzy Logic Variable Step of P&O MPPT with Direct Control Method Using Cuk Converter, *Electrimacs*, 19th –22nd May, Valencia, Spain,.
- Swati S., Lini M., Shimi S.L. (2013) Design and Simulation of Intelligent Control MPPT Technique for PV Module Using MATLAB SIMSCAPE, *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*.