

Comparison of Sliding Mode and Fuzzy Logic MPPT Techniques for PV Systems

Harun Özbay

Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Bandırma Onyedi Eylül University, Bandırma, Balıkesir / Turkey

Abstract: In this study, the comparison of the sliding mode controller (SMC) and Fuzzy logic controller (FLC) techniques with the simulation studies has been performed for the tracking of the maximum power point in photovoltaic systems (PV). In the study, simulation studies were carried out for different climatic conditions and robustness tests were performed for both maximum power point tracker (MPPT) algorithms. Maximum power transfer from PV panels is realized in both algorithms. However, the SMC algorithm captured the maximum power point faster than the FLC algorithm system and followed it with higher efficiency. The simulation studies were carried out with the PSIM program and results were presented to evaluate the performance of the proposed systems.

Keywords: PV system; maximum power point tracker; SMC; FLC.

PV Sistemler için Kayan Kipli ve Bulanık Mantık MPPT Tekniklerinin Karşılaştırılması

Özet: Bu çalışmada, fotovoltaik sistemlerde (PV) maksimum güç noktasının takibi (MPPT) için kayan kipli denetleyici (SMC) ve Bulanık mantık denetleyici (FLC) tekniklerinin simülasyon çalışmaları ile karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada farklı iklim koşulları için simülasyon çalışmaları yapılarak her iki MPPT algoritması için sağlamlık testi yapılmıştır. Her iki algoritmada da PV panellerden maksimum güç aktarımı gerçekleştirilmiştir. Fakat SMC algoritmalı sistemin FLC algoritmalı sisteme göre maksimum güç noktasını daha hızlı yakaladığı ve daha yüksek verimle takip ettiği tespit edilmiştir. Yapılan simülasyon çalışmaları PSIM programı ile yapılmış ve önerilen sistemlerin performansını değerlendirmek için sonuçlar sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: PV sistem; maksimum güç noktası takibi; SMC; FLC.

Reference to this paper should be made as follows (bu makaleye aşağıdaki şekilde atıfta bulunulmalı):
Harun Özbay, 'Comparison of Sliding Mode and Fuzzy Logic MPPT Techniques for PV Systems', Elec Lett Sci Eng, vol. 16(1), (2020), 26-35

1. GİRİŞ

Enerji sektöründeki fosil yakıt bağımlılığının azaltılmasında en büyük pay sahibi olan güneş enerji sistemleri, yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) arasında birincil enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Özellikle enerji talebinin hızla arttığı ve güneşlenme sürelerinin uygun olduğu Türkiye gibi ülkelerde PV sistemlerinin geliştirilmesi ve yaygın kullanımı devlet tarafından desteklenmektedir. Ayrıca, kullanım kolaylığı ve bakım gerektirmemesi nedeniyle bu konu araştırmacılar için daha fazla önem kazanmıştır [1-4]. Bir fotovoltaik (PV) sistem, güneş ışığını doğrudan elektriğe dönüştürmektedir. Elde edilen enerji güneş radyasyonuna, eğim açısına, sıcaklığa ve fotovoltaik modülde üretilen gerilime bağlıdır [5,6].

PV üretim sistemlerinin iki önemli sorunu bulunmaktadır: elektrik enerjisi üretiminin dönüşüm verimliliğinin çok düşük olması (% 9 ila 18) ve PV sistemlerin ürettiği elektrik enerjisi miktarının hava koşullarıyla sürekli olarak değişmesidir [7]. PV panellerden elde edilen gücün maksimum seviyede olması amaçlanmaktadır. Fakat maksimum güç yalnızca belli bir çalışma noktasında gerçekleşmektedir [8]. Ayrıca maksimum güç noktası, gün içinde, güneş ışınım seviyesi, kirlenme, gölgelenme ve sıcaklık gibi çevresel şartlara göre değişiklik göstermektedir [9].

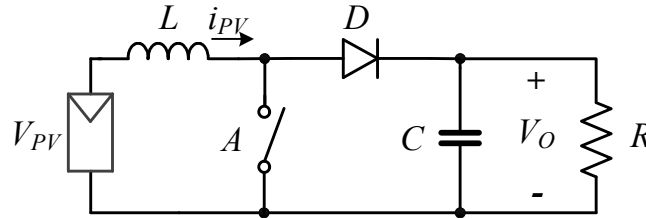
*Corresponding author; hozbay@bandirma.edu.tr

PV uygulamalarında MPPT sisteminin karmaşık olmaması, maksimum güç noktasına (MPP) hızlı ulaşması, MPP'yi doğru yönde izlemesi ve yüksek verimlilikte olması istenmektedir. PV panellerinden üretilen ve yüke aktarılan maksimum gücün transferinde talep edilen çıkış gerilimine göre DA-DA dönüştürücüler kullanılmaktadır [10-12].

Bu çalışmada, maksimum gücü yaklaşık 1 kW olan ve maksimum güçteki gerilimi 116V olan PV sistem için 15 kHz anahtarlama frekanslı yükselten dönüştürücü tasarlanmıştır. Maksimum güç transferinde SMC ve FLC algoritmaları kullanılmıştır. Önerilen kontrol sistemlerinin PSIM programı ile simülasyonu yapılmış ve sonuçları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

2. YÜKSELTEN DÖNÜŞTÜRÜCÜ TASARIMI

PV panellerden maksimum güç elde ederek yüke aktarılması için tasarlanan sistemde yükselten (boost) dönüştürücü kullanılmıştır. Şekil 1'de de görüldüğü gibi geleneksel yükselten dönüştürücülerin yapısında bir anahtar (A), bir diyot (D), bir bobin (L), bir güç kaynağı (V_{PV}) ve yük (R) bulunmaktadır [13].



Şekil 1. Geleneksel yükselten (boost) dönüştürücü

DA-DA dönüştürücülerde akım dalgalanmasının belirli bir seviyede kalması için bobin, gerilim dalgalanmasının belirli bir seviyede kalması için kondansatör kullanılmaktadır. DA-DA yükselten dönüştürücünün minimum bobin ve minimum kondansatör değeri Denklem 1'de ve Denklem 2'de verilen denklemler ile hesaplanmaktadır [13];

$$L_{\min} = \frac{V_{PV}(V_O - V_{PV})}{\Delta I_L f_s V_O} \quad (1)$$

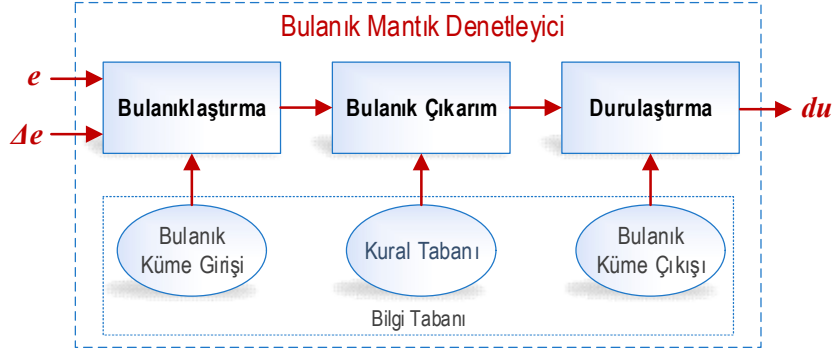
$$C_{\min} = \frac{\Delta I_L}{8 f_s \Delta V_O} \quad (2)$$

Burada; ΔI_L akımdaki dalgalanma oranını, f_s anahtarlama frekansını göstermektedir. DA-DA yükselten dönüştürücü MPPT sistemi için tasarlanmıştır. Bu yüzden maksimum gücün yakalanmasında akım ve gerilim dalgalanmasının az olması gerekmektedir [14]. Dolayısıyla sistemde kullanılan PV panellerden maksimum çekilebilecek yaklaşık 9 A akım değerinin %10'u sınır kabul edilerek akım dalgalanması 0.9 A ($\Delta I_L=0.9A$) seçilmiştir.

Gerilim dalgalanması ise olabildiğince küçük seçilerek $\Delta V_O=0,02$ V olarak seçilmiştir. Anahtarlama frekansı 15 kHz olarak ayarlanmıştır. PV panellerden maksimum güçte $V_{PV} = 116$ V giriş gerilimi elde edilmektedir. Tasarımda çıkış gerilimi olan DA baranın en fazla $V_O = 200$ V olması istenmektedir.

3. BULANIK MANTIK DENETİMLİ MPPT TASARIMI

MPPT algoritmaları içerisinde saptır gözle (P&O) ve artan iletkenlik (IC) algoritması diğer algoritmalara göre kolaylık, pratiklik ve yüksek verimlilik gibi üstün özelliklere sahip olmasına rağmen, ani ışınım ve sıcaklık değişimlerine hızlı tepki gösterememektedir. Bu nedenle doğrusal kontrolcüler yerine akıllı kontrol algoritmaları kullanılarak daha sağlam daha hızlı tepki veren ve daha verimli bir denetim yapılabilmektedir [15-17]. Bunlardan biri olan bulanık mantık denetleyicisinde Şekil 2’de de görüldüğü gibi hata (e) ile hatanın değişimi (Δe) giriş değişkenleri, görev oranı (du) ise çıkış değişkeni olarak belirlenmiştir.



Şekil 2. Bulanık mantık kontrol bloğu

Bulanık mantık kontrolcünün iki giriş değişkeni olan hata ($e(k)$) ile hatanın değişimi ($\Delta e(k)$) aşağıdaki denklemler ile ifade edilmektedir.

$$e(k) = \frac{P_{pv}(k) - P_{pv}(k-1)}{V_{pv}(k) - V_{pv}(k-1)} = \frac{\Delta P_{pv}}{\Delta V_{pv}} \quad (3)$$

$$\Delta e(k) = e(k) - e(k-1) \quad (4)$$

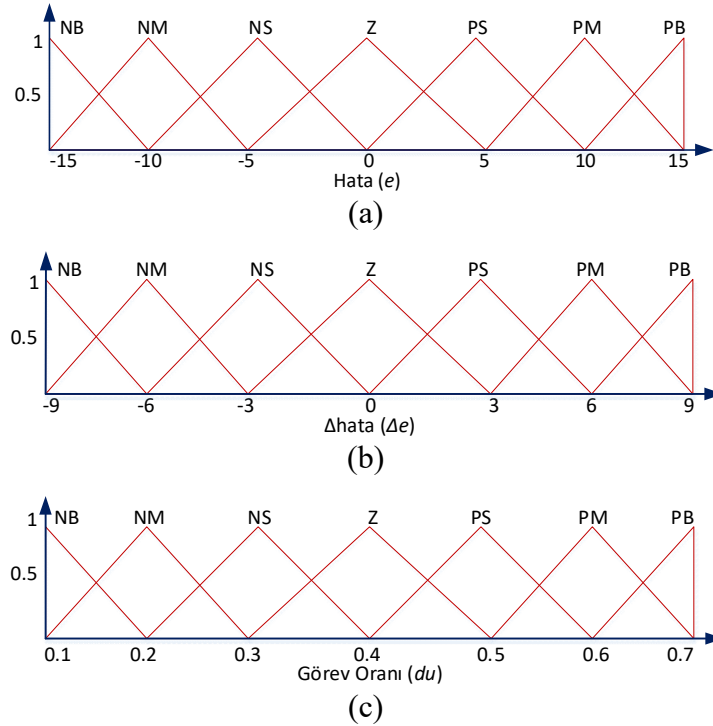
Burada, $P_{pv}(k)$, PV panelin anlık olarak ölçülen gücünü, $P_{pv}(k-1)$, PV panelden ölçülen gücün bir önceki değerini, $V_{pv}(k)$, PV panelden anlık olarak ölçülen gerilim değerini, $V_{pv}(k-1)$ ise, PV panelden ölçülen bir önceki gerilim değerini ifade etmektedir. Bulanık mantık kontrolcü çıkışı ise kural tabanındaki çıkış üyelik fonksiyonunun şekline bağlıdır. Çıkarım metodu olarak Tablo 1’de verilen Min-Max Mamdani Metodu ve durulaştırma işleminde Ağırlık Merkezi Metodu kullanılmıştır [18].

Tablo 1. Önerilen sistemin kural tabanı.

e	Δe						
	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NM	NM	NS	Z
NM	NB	NB	NM	NM	NS	Z	PS
NS	NB	NM	NM	NS	Z	PS	PM
Z	NM	NM	NS	Z	PS	PM	PM
PS	NM	NS	Z	PS	PM	PM	PB
PM	NS	Z	PS	PM	PM	PB	PB
PB	Z	PS	PM	PM	PB	PB	PB

Bu çalışmada sistemin verdiği cevaba göre giriş ve çıkış için üçgensel üyelik fonksiyonları tercih edilmiştir [19]. Üyelik fonksiyonlarındaki sinyal aralıkları her sinyalin salınımına göre

belirlenmiştir. Şekil 3'te giriş üyelik fonksiyonları ve maksimum güç noktasının takibi için kontrolcünün üretmiş olduğu görev oranı (du) verilmiştir.



Şekil 3. (a) Hata üyelik işlevi (b) hatanın değişimi üyelik işlevi (c) görev oranı üyelik işlevi.

Bulanık mantık kontrolcüsünden çıkan görev oranı (du) ise Denklem 5 ile ifade edilmektedir.

$$du = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(du_i) - du_i}{\sum_{i=1}^n \mu(du_i)} \quad (5)$$

4. KAYAN KIPLI DENETİM İLE MPPT TASARIMI

Kayan kipli denetim (SMC) tekniği veya bulanık mantık denetim tekniği ile MPPT kontrolünün yapılabilmesi için yükselten dönüştürücüdeki anahtarın görev oranı değiştirilerek yüke aktarılan gücün maksimum seviyede tutulması gerekmektedir. Dolayısıyla PV panelin gerilimini (V_{PV}), akımını (i_{PV}) ve sistemin çıkış gerilimini (V_O) ölçmek gerekmektedir.

Kayan kipli denetim ile MPPT oldukça yeni bir tekniktir. Kayan kipli denetimin temel prensibi, sistemin durum yörüngesini kayma veya anahtarlama yüzeyi adı verilen bir yüzeye doğru yönlendirmek ve uygun bir anahtarlama ile bu yüzey etrafında tutmaktır [20,21]. Dolayısıyla kayan kipli denetleyicinin tasarlanmasında gerekli anahtarlama yüzeyinin (S) ve kontrol kanununun (u) belirlenmesi gerekmektedir. Buna göre öncelikle sistemin dinamik denklemleri aşağıdaki gibi yazılmaktadır [22,23];

$$\begin{cases} \frac{di_{PV}}{dt} = \frac{V_{PV} - v_o}{L} + \frac{v_o}{L}u \\ \frac{dv_o}{dt} = -\frac{v_o}{RC_o} + \frac{i_{PV}}{C_o} - \frac{i_{PV}}{C_o}u \end{cases} \quad (6)$$

Burada, u anahtarın pozisyonuna göre 0 yada 1 olarak değişmekte olan süreksiz bir değerdir. Buna göre durum değişkenleri Denklem 7'deki gibi belirlenmektedir;

$$\mathbf{x} = [x_1, x_2]^T = [i_{PV}, v_o]^T \quad (7)$$

Eğer PV paneller maksimum güç noktasında çalıştırılırsa, son ölçülen güç ile bir önceki ölçülen güç birbirine neredeyse eşit kabul edilecek kadar yakın olmaktadır. Dolayısıyla bu ifade Denklem 8'deki gibi yazılmaktadır;

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} = 0 \quad (8)$$

Burada, P_{PV} PV panellerden elde edilen gücü ifade etmektedir. Dolayısıyla Denklem 9'da gösterildiği gibi PV panel akımının ve gerilimin çarpımına eşittir;

$$P_{PV} = i_{PV} \cdot V_{PV} \quad (9)$$

Bu durumda kayma yüzeyinin belirlenmesi için Denklem 8 ve Denklem 9 kullanılarak Denklem 10 elde edilmektedir;

$$\frac{d}{dV_{PV}} [i_{PV} \cdot V_{PV}] = i_{PV} + \frac{di_{PV}}{dV_{PV}} V_{PV} = 0 \quad (10)$$

Böylece kayma yüzeyi Denklem 11'deki gibi ifade edilmektedir;

$$S(x) = i_{PV} + \frac{di_{PV}}{dV_{PV}} V_{PV} = 0 \quad (11)$$

Buna göre sistemin eşdeğer kontrol ifadesi ve kontrol sinyali (duty) ise Denklem 12'deki gibi yazılmaktadır;

$$\begin{aligned} u_{eş} &= 1 - \frac{V_{PV}}{v_o} \\ u(t) &= u_{eş} + k \cdot \text{sign}(S) \end{aligned} \quad (12)$$

Burada k , anahtarlama sinyalinin üretimi için uygun katsayıyı, $\text{sgn}(S)$ ise kayma yüzeyinin işaretini ifade etmektedir [10].

5. PSIM SIMÜLASYON ÇALIŞMALARI VE SONUÇLARI

MPPT algoritmalarının karşılaştırılabilmesi için tasarlanan sistemin simülasyonu PSIM yazılımı ile yapılmıştır. Simülasyon çalışmasında bütün kontrol algoritmaları C kodları ile yazılmış ve DSP (TMS320F28335) için gömülü kod üretilecek şekilde tasarlanmıştır.

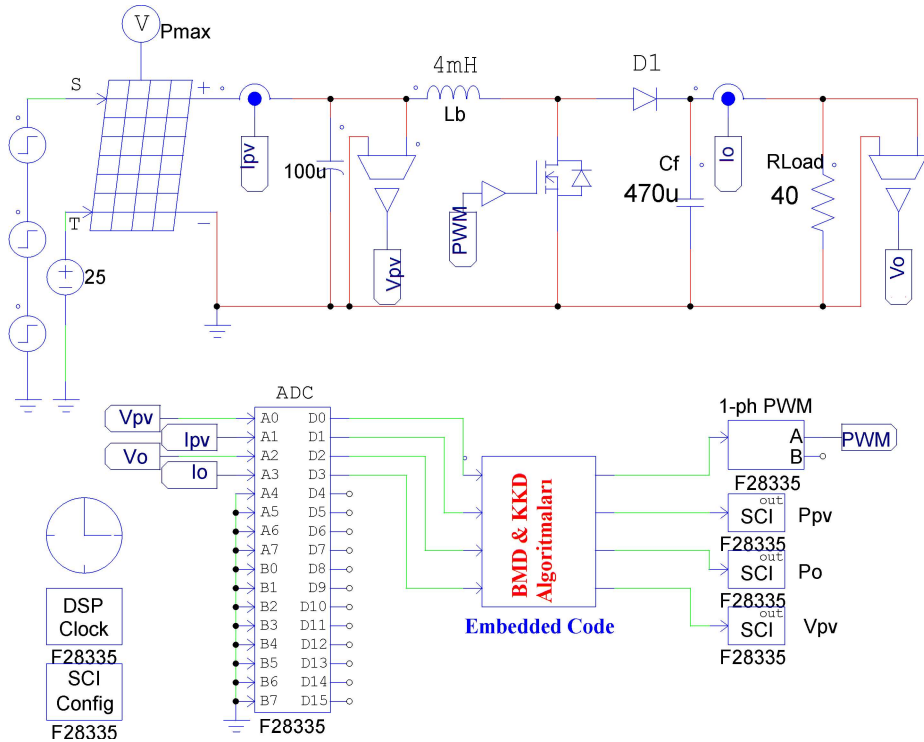
Bölüm 2’de verilen bilgilere göre gerekli hesaplamalar sonucu elde edilen MPPT uygulaması için yükselten dönüştürücü değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Ayrıca, MPPT algoritmalarının test edilmesi için tasarlanan sistemde her biri 275W gücünde 4 adet PV panel seri bağlanarak yükselten dönüştürücüye bağlanmıştır. Simülasyonda kullanılan PV panellerin katalog bilgisi de Tablo 3’te verilmiştir. Sistemin PSIM ile benzetim şeması ise Şekil 4’te gösterilmektedir.

Tablo 2. Yükselten dönüştürücü değerleri

Eleman	Değer
Bobin (L)	4 mH
Kondansatör (C)	470 μ F
Yük Direnci (R)	40 Ω
Anahtarlama Frekansı (fs)	15 kHz

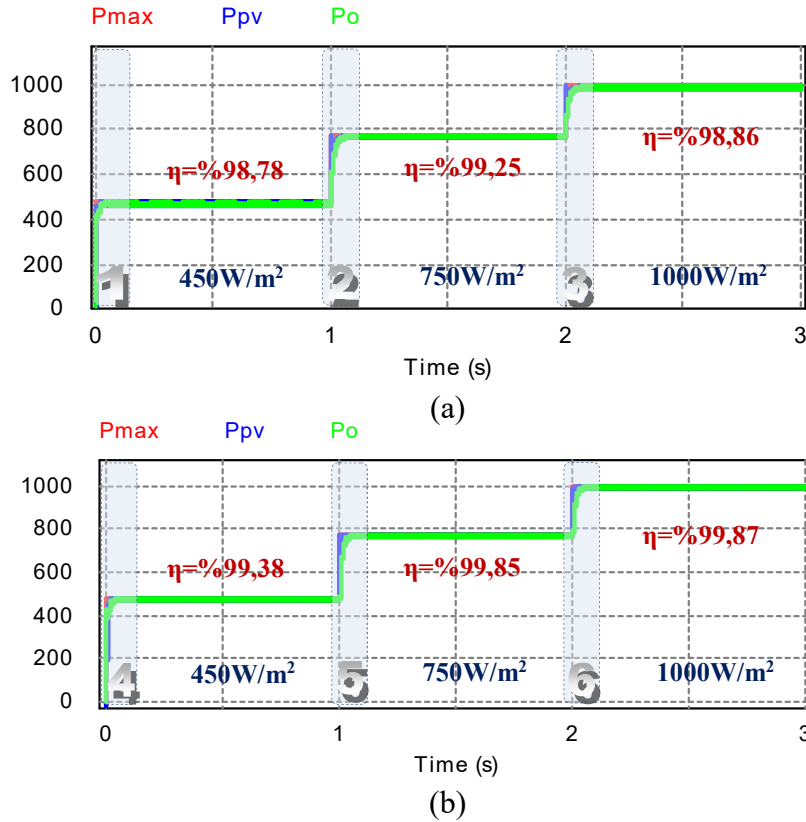
Tablo 3. PV panel özellikleri

Özellik	Değer
Maksimum Güç (P_{max})	275 W
Maksimum Akım (I_{max})	9.38 A
Maksimum Gerilim (V_{max})	29.16 V
Kısa Devre Akımı (I_{sc})	9.95 A
Açık Devre Gerilimi (V_{oc})	36.33 V
Hücre sayısı	60



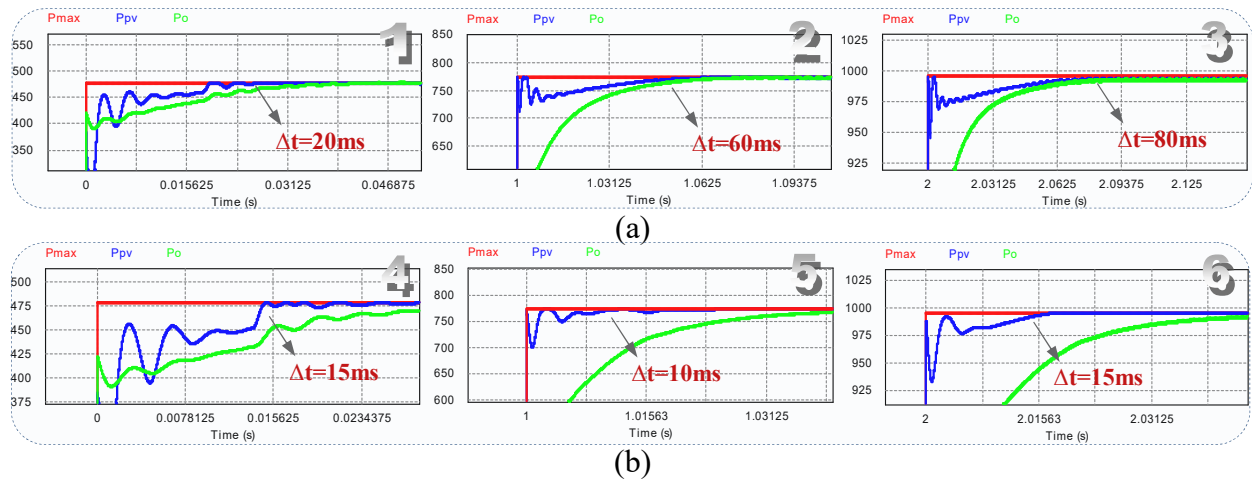
Şekil 4. Tasarlanan sistemin PSIM devre şeması

Bilindiği üzere güneş ışınımı gün boyunca değişmektedir. Bu yüzden tasarlanan MPPT algoritmasının farklı güneş ışınımı değerlerinde de maksimum güç noktasını takip etmesi gerekmektedir. Şekil 5'te 450-750-1000 W/m² güneş radyasyon seviyelerinde gerçekleştirilen güç takibi için FLC ve SMC MPPT sisteminin benzetim sonuçları görülmektedir.



Şekil 5. (a) FLC MPPT (b) SMC MPPT sistemlerinin güç takibi

Farklı güneş radyasyonları altında gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarına göre hem FLC hem de SMC MPPT algoritması değişen şartlara cevap vererek kararlı bir maksimum güç takibi gerçekleştirdiği görülmüştür. Fakat sistemin tepki süreleri ve MPPT verimleri incelendiğinde SMC MPPT algoritmasının daha hızlı ve daha verimli olduğu görülmektedir. Şekil 6'da MPPT algoritmalarının farklı güneş radyasyonları için ani güç değişimlerine gösterdikleri tepki süreleri verilmiştir.



Şekil 6. (a) FLC MPPT (b) SMC MPPT algoritmalarının güç değişimlerine gösterdikleri tepkiler

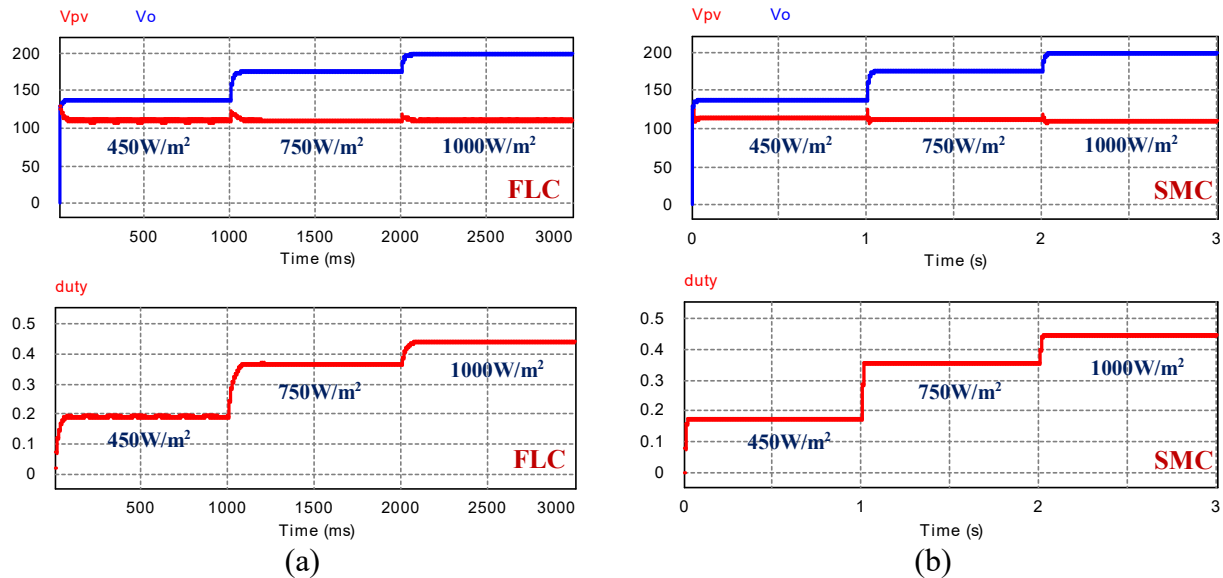
Simülasyon sonuçlarına göre SMC MPPT algoritması FLC MPPT algoritmasına göre ani güç değişimlerine çok daha hızlı tepki vermektedir.

MPPT kontrol algoritmasının MPP'yi ne kadar başarılı bir şekilde takip ettiği ve PV sisteminin genel performansını ne derece artırabildiği ölçülerek verimi hesaplanabilir. Gün içerisinde atmosferik koşullar sürekli değişim göstermektedir. İyi bir MPPT kontrol algoritması farklı çalışma koşullarında da iyi performans gösterebilmelidir. Tasarlanan MPPT algoritmalarının verimi benzetim çalışmaları ile test edilebilmektedir [24,25]. MPPT algoritmasının verimi Denklem 13 ile hesaplanmaktadır.

$$\eta_{MPPT} = \frac{1}{n} \sum_i^n \frac{P_{g,i}}{P_{m,i}} \quad (13)$$

Burada; P_g , PV panellerden ölçülen güç değeri, P_m , verilen ışınım ve sıcaklık altında PV panellerden alınabilecek maksimum güç değeri, i , kaçınıcı değer olduğunu ve n ise örnek sayısını vermektedir. Sonuçlardan görüldüğü gibi SMC MPPT algoritması farklı güneş radyasyonu seviyelerinde de FLC MPPT algoritmasından daha yüksek takip verimine sahiptir.

Şekil 7'de farklı güneş radyasyonu altında PV panellerin gerilim, akım değişimi ve buna bağlı olarak görev oranı (duty) değişimi FLC ve SMC MPPT için görülmektedir.



Şekil 7. (a) FLC MPPT (b) SMC MPPT sistemlerinin akım, gerilim ve duty değişimleri

6. SONUÇ

Bu çalışmada, kayan kipli denetleyici (SMC) ile tasarlanan MPPT algoritması ve bulanık mantık denetimli (FLC) MPPT algoritması arasındaki karşılaştırma sunulmuştur. Her iki algoritma da bir PV sistemde maksimum güç noktasının takibini başarılı bir şekilde yapmaktadır. Simülasyon sonuçlarına göre, SMC algoritmasının FLC algoritmasına göre daha hızlı bir tepkiye, daha yüksek MPPT verimine ve daha sağlam bir kontrol yeteneğine sahip olduğu görülmektedir. Buna göre SMC MPPT algoritmasının avantajlarına bakılacak olursa, maksimum güç noktasına hızlı ulaşma ve daha yüksek verimlilik olduğu görülmektedir.

References

- [1] Düz, H., “Storing solar energy inside compressed air through a heat machine mechanism”, *Gazi University Journal of Science*, 29.2, 245-251, 2016.
- [2] Wenham, S. R., “Applied Photovoltaics”, Routledge, London, 29-39, 2012.
- [3] Özbay, H., et al. “Farklı Eğim Açılarındaki Fotovoltaik Panellerin Elektriksel Ölçümlerinin Raspberry Pi ile İzlenmesi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi* 4.2, 2016.
- [4] Karafil, A., Ozbay, H. and Oncu, S. “Design and Analysis of Single Phase Grid Tied Inverter with PDM MPPT Controlled Converter” *IEEE Transactions on Power Electronics* 35.5, 4756-4766, 2020.
- [5] Özbay, H., et al. “Farklı Eğim Açılarındaki Fotovoltaik Panellerin Elektriksel Ölçümlerinin Raspberry Pi ile İzlenmesi” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4.2, 2016.
- [6] Leva S., Zaninelli D., and Contino R. “Integrated Renewable Sources for Supplying Remote Power Systems”, *WSEAS Transactions on Power Systems*, 2,2, 41–48, 2007.
- [7] Villalva M.G., Gazoli J.R. and Filho E.R., “Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic Array”, *IEEE Trans on Power Electronics*, 24.5, 1198-1208, 2009.
- [8] Chekired, F., et al. “Implementation of a MPPT fuzzy controller for photovoltaic systems on FPGA circuit”, *Energy Procedia*, 6, 541-549, 2011.
- [9] Karafil, A., Özbay, H. and Kesler, M. “Sıcaklık ve Güneş Işınım Değişimlerinin Fotovoltaik Panel Gücü Üzerindeki Etkilerinin Simülasyon Analizi” *EEB 2016 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu*, 11-13, 2016.
- [10] Özbay, H., Öncü, S., and Kesler, M. “SMC-DPC based active and reactive power control of grid-tied three phase inverter for PV systems”, *International Journal of Hydrogen Energy*, 42.28, 17713-17722, 2017.
- [11] Sundaram, B. M., et al. “Combination of novel converter topology and improved MPPT algorithm for harnessing maximum power from grid connected solar PV systems”, *Journal of Electrical Engineering & Technology* 14.2, 733-746, 2019.
- [12] Heydari, M., Khoramikia, H., & Fatemi, A. “High-voltage gain SEPIC-based DC–DC converter without coupled inductor for PV systems”, *IET Power Electronics*, 12.8, 2118-2127, 2019.
- [13] Kazimierczuk, M. K., “Pulse-width modulated DC-DC power converters”, *John Wiley & Sons*, Chichester, 22-145, 2015.
- [14] Küçük, T. V., et al. “Yüksek Frekans DA/DA Senkron Yükselten Dönüştürücü Tasarımı” *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4.2, 772-781, 2016.
- [15] Onat, N., “Recent developments in maximum power point tracking technologies for photovoltaic systems”, *International Journal of Photoenergy*, 1-11, 2010.
- [16] Rezk, Hegazy, et al. “Design and Hardware Implementation of New Adaptive Fuzzy Logic-Based MPPT Control Method for Photovoltaic Applications”, *IEEE Access*, 7, 106427-106438, 2019.
- [17] Refaat, Mohamed M., et al. “Adaptive Fuzzy Logic Controller as MPPT Optimization Technique Applied to Grid-Connected PV Systems”, *Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems*. Springer, Cham, 247-281, 2020.
- [18] Shirazi, M. K., Joorabian M., and Sadeghi A.. “Intelligent P&O MPPT Algorithm in PV Stand Alone for Faster Transient Response”, *International Journal of Energy Engineering*, 5.4, 74-79, 2015.
- [19] Ross, Timothy J. “Fuzzy logic with engineering applications”, 3th Edition, *John Wiley & Sons*, 2010.
- [20] Harrag, A., and Messalti, S. “PSO-based SMC variable step size P&O MPPT controller for PV systems under fast changing atmospheric conditions”, *International Journal of Numerical Modelling: Electronic Networks, Devices and Fields* 32.5, e2603, 2019.

- [21] Hameed, A., Zad, et al. “Robust Sliding Mode Control based Maximum Power Point Tracking of Solar Photovoltaic System”, 3rd International Conference on Computing, Mathematics and Engineering Technologies, 1-6, 2020.
- [22] Orozco, M. A., Vázquez, J. R., Salmerón, P., and Pérez, A., “A sliding maximum power point tracker for a photovoltaic system”, Universidad de Huelvan, Spain, 1-6, 2009.
- [23] Abderrahim, T., Abdelwahed, T., & Radouane, M., “Improved strategy of an MPPT based on the sliding mode control for a PV system”, International Journal of Electrical and Computer Engineering, 10.3, 3074, 2020.
- [24] Tafticht, T., Agbossou, K., Doumbia, M. L., and Cheriti, A., “An improved maximum power point tracking method for photovoltaic systems”, Renewable energy, 33.7, 1508-1516, 2008.
- [25] Abdel-Salam, M., et al. “An Efficient Tracking of MPP in PV Systems Using a Newly-Formulated P&O-MPPT Method Under Varying Irradiation Levels” Journal of Electrical Engineering & Technology 15.1, 501-513, 2020.