

Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi ve Bulanık Mantık Tabanlı MPPT Tasarımı ve Kıyaslanması

Comparison and Design of Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System and Fuzzy Logic Based MPPT

Mahdi HUSSAINİ¹, Okan GÜNGÖR²

¹Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü
Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
mahdihossaini58@gmail.com

²Elektrik-Elektronik Müh. Bölümü
Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
okangungor07@gmail.com

Özet

Güneş panelleri günümüzde önemli bir konu olarak düşünülmektedir. Panellerinin kullanımındaki önemli mesele: çıkış verimini iyileştirerek, sistemi maksimum güç noktasına yakın çalıştırmaktır. Maksimum elektrik gücü belirli çalışma noktalarında güneş panellerinden elde edilebilir. Bu bağlamda MPPT(Maksimum Güç Noktası Takibi) metodları güneş panellerinden maksimum verimi elde etmek için kullanılmaktadır. Bu çalışmada Bulanık Mantık (FL) ve Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS) aracılığıyla MPPT tasarımı ve karşılaştırılması Matlab/Simulinkte yapılmaktadır. Modeller değişken radyasyon şartlarında simule edilerek ve simülasyon sonuçları elde edilmektedir. Simülasyon bölümünde, sonuçlar önemli miktarda ekstra enerjinin elde edilebileceğini ve farklı hava koşullarında ANFIS metodunun, geçici ve sürekli durumdaki verimliliği gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Maksimum Güç Noktası Takibi (MPPT), Dc-Dc dönüştürücü, Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (ANFIS), Bulanık Mantık Kontrolörü(FLC)

Abstract

Photovoltaic system, at the present time is considered as an important scheme. A significant issue in the use of photovoltaic system is to operate the system near maximum power point to improve the output efficiency of PV panel. In the PV panel, Maximum electric power can be extracted at a particular operating point. Therefore MPPT methods are used to get maximum efficiency from PV panel. In this research, Fuzzy Logic (FL) and Adaptive-Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) based Maximum Power Point Tracking (MPPT) are designed and compared in Matlab/Simulink. The models are simulated in variable irradiances and the simulation results are obtained. In the simulation part, the results show that an important amount of extra energy can be

obtained, and they show the effectiveness of ANFIS during transient response, steady state at different weather conditions.

Keywords: Maximum Power Point Tracking (MPPT), Dc-Dc Converter, Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System(ANFIS), Fuzzy Logic Controller (FLC)

1. Giriş

Gelişen dünyamız ve ülkemizde enerjiye olan bağımlılık hızla artmaktadır. Kullanılan enerjinin büyük miktarı fosil temelli yakıtlardan elde edilmektedir. Bu tür yakıtların kullanımı enerji bakımından dışa bağımlı olan ülkemizi hem ekonomik hem de çevresel olarak kötü etkilemektedir. Bu bağlamda ülkemizin yıllık toplam güneşlenme süresi 2737 saat ve yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1527 kWh/m² olması nedeniyle güneş enerjisi cazip bir kaynak olarak dikkat çekmektedir [1]. Ülkemizin 2014 yılı sonu itibarıyla kaynak bazında dağılımına bakıldığında güneş enerjisi %0.10 luk bir dilime sahiptir [2]. Son yıllarda verilen destekler ile bu oran hızla artmaktadır. 2017 yılı Temmuz ayı sonu itibarıyla ülkemizde 1.773 adet güneş enerjisi santrali bulunmaktadır ancak güneş enerji santrallerinin kurulumunda verim kaynaklı bazı problemler mevcuttur [3].

Günümüzde kullanılan güneş panelleri güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmekte çok verimli değildir [4]. Verim, modül ısısı, güneş ışığı ve yüke göre daha da düşebilir. Güneş paneli karakteristiği coğrafik ve hava şartlarına göre değişir. Literatürde, güneş panelinden gelen maksimum gücü elde etmek için pek çok metod sunulmuştur [5-6].

Bu metodlar: Değiştir&Gözle (Perturb & Observation) metodu, Artan İletkenlik (Incremental Conductance) metodu, Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) metodu, Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive-Network Based Fuzzy Inference System) metodu olarak geniş bir yelpazede toplanır. Değiştir&Gözle (Perturb & Observation) metodu basit

ve kolay uygulanmasından dolayı en çok kullanılan metoddur. Ancak maksimum güç noktasını belirlemekte zorlandığı için verimi düşüktür [7].

Artan İletkenlik (Incremental Conductance) metodu, P-V karakteristiği eğrisinde maksimum güç noktasını bulmak için türev algoritmasını kullanır. Bu metot, kontrolör de kompleks hesaplama gerektirmesi nedeniyle ve daha fazla hesaplama, hafızaya ihtiyaç duyar. Bunun sonucu olarak da maliyet artar[8 , 9].

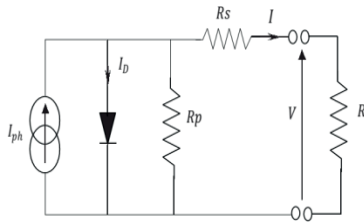
Bulanık Mantık (Fuzzy Logic) metodu model bilgisine ihtiyaç duymadan, güçlü ve kolay tasarım yapabilme yeteneğine sahiptir [10]. Bu metot, çıkarım kurallarının oluşturulması için uzman bilgisini kullanır. Fakat maksimum güç noktası takibi için bulanık mantık kontrolörünün verimliliği, uzmanın seçtiği doğru hata hesabı ve kural tablosuna çok fazla bağlıdır [5 , 10].

Yapay Zeka (Artificial Intelligence) metodu esnek doğasından dolayı yenilenebilir enerji sistemlerinde daha yaygın kullanılmaktadır. Yapay zeka tekniği doğrusal olmayan sistemlerde son derece başarılıdır, çünkü düzgün eğitildiğinde rastgele verileri yüksek doğrulukla interpolasyon ve ekstrapole edebilirler. Bu yüzden teknik sistem bilgisine ihtiyaç duymadan bir kara kutu gibi çalışır.

Uyarlamalı Ağ Tabanlı Bulanık Çıkarım Sistemi (Adaptive-Network Based Fuzzy Inference System) metodu yapay zeka ve bulanık mantığın birleşmesinden oluşan bir tekniktir. Bu çalışmada, bulanık mantık metodu ile ANFIS metodunun modellenmesi ve çıktılarının karşılaştırılması sunulmuştur.

2. Fotovoltaik (PV) Panel

Fotovoltaik (PV) panel, arzu edilen gerilim ve akım değerini sağlamak için paralel ve seri tarzda bağlı pek çok PV hücrelerinin birleşimi tarafından oluşmaktadır. Solar hücre bir foto akım kaynağına paralel bir diyottan meydana gelir. Gerçeğe daha yakın bir model elde etmek için ise seri ve paralel direnç eklenir. Bu makalede Şekil-1 modeli kullanılmaktadır.



Şekil 1: Solar hücrenin bir diyotlu modelinin eşdeğer devresi

Şekil-1 de bulunan devredeki I-V karakteristik denklemi aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

$$I = N_p \cdot I_{ph} - N_p \cdot I_0 \left[\exp \left(\frac{V + I \cdot (N_s / N_p) \cdot R_s}{N_s \cdot a \cdot V_T} \right) - 1 \right] - \frac{V + I \cdot (N_s / N_p) \cdot R_s}{(N_s / N_p) \cdot R_p} \quad (1)$$

I : PV panelin çıkış akımı

V : PV panelin çıkış gerilimi

I_0 : Diyotun ters doyma veya sızıntı akımı

a : Diyot idealite faktörü

R_s ve R_p : Seri ve paralel direnç

V_T : Panelin termal gerilimi,

$$V_T = kT / q \quad (2)$$

q : Elektron sarjı (1.60217646e-19 C)

k : Boltzmann sabiti (1.60217646e-23 J/K)

T : p-n bölgesinin sıcaklığı (Kelvin olarak)

I_{ph} : Işık tarafından nominal şartlarda üretilen akımdır ve çoğunlukla radyasyon (G) ve hücre sıcaklığına (T) bağlıdır [11].

$$I_{ph} = [I_{ph_STC} + K_i(T - T_{STC})](G / G_{STC}) \quad (3)$$

G : Sistem yüzeyindeki radyasyon (metrekare başına düşen güç)

G_{STC} : Nominal radyasyon

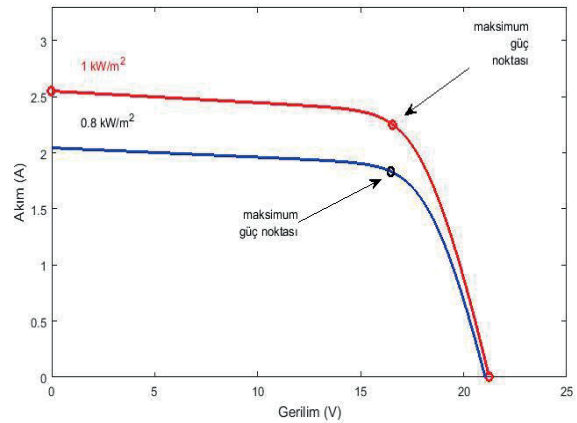
K_i : Üreticisi tarafından sağlanan kısa devre akımın katsayısıdır. Hücrenin doyma akımı I_0 hücrenin sıcaklığı ile değişir [11]

$$I_0 = \frac{I_{ph_STC} + K_i(T - T_{STC})}{\exp \left((V_{oc_STC} + K_v(T - T_{STC})) / a \cdot V_T \right) - 1} \quad (4)$$

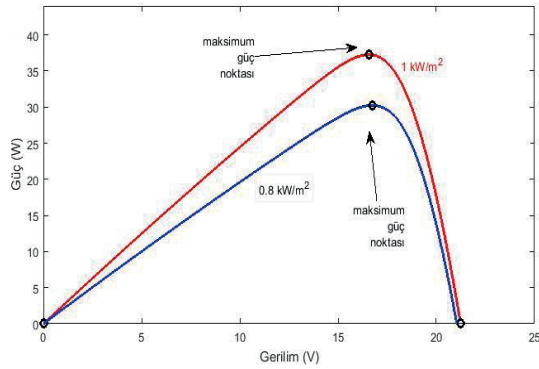
Yukarıdaki denklemlerde verilen PV panel modeli ve Tablo 1 de verilen elektriksel değerlerin listesini kullanarak farklı radyasyon seviyeleri için I-V (Şekil 2) ve P-V (Şekil 3) karakteristik eğrileri çizilmektedir.

Tablo 1: Güneş panelinin elektriksel karakteristik değerleri

V_{oc} açık devre gerilimi	21.24V
I_{oc} açık devre akımı	2.55A
V_{mpp} maksimum güç noktasındaki gerilim	16.56V
I_{mpp} maksimum güç noktasındaki akım	2.25A
P_{mpp} maksimum güç, (25C°, 1000w/m ²)	37.08W



Şekil 2: Farklı radyasyon değerleri için I-V karakteristiği.

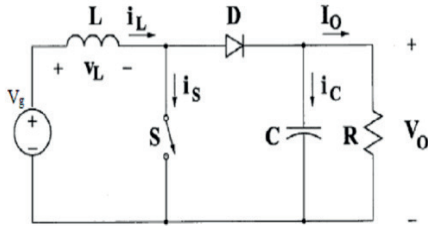


Şekil 3: Farklı radyasyon değerleri için P-V karakteristiği.

3. Boost Dönüştürücü

DC-DC dönüştürücüler temel olarak üç farklı yapıda kullanılırlar: buck, boost ve buck-boost. Buck dönüştürücü genellikle batarya şarj uygulamalarında, Boost dönüştürücü şebeke etkileşimli sistemlerde ve daha esnek kontroller için de buck-boost dönüştürücü tercih edilmektedir.

Bu makalede Boost dönüştürücü kullanılmaktadır. Boost dönüştürücü yarı iletken anahtar (Mosfet, IGBT), diyot, bobin ve kapasite elemanlarından oluşmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4: Boost dönüştürücü

a) İletim durumu: S anahtarı kapatıldığında bobinden geçen akım artar ve bunun bir sonucu olarak bobin üzerinde enerji depolanır.

b) Kesim durumu: S anahtarı kesime gittiğinde bobinden akmakta olan şarj akımı D diyot üzerinden C kapasitesine ve R yüküne akmaya başlar. Bobinin enerjisi boşaldıktan sonra bobin üzerindeki gerilimin polaritesinin yönü gerilim polaritesinin yönü ile aynı olur ve D diyotu üzerinden yüke bağlanır. Böylece çıkış geriliminin seviyesi yükseltilir ve D diyodu da kesime gider [12].

Boost dönüştürücüsünün giriş ve çıkış gerilimi arasındaki ilişki:

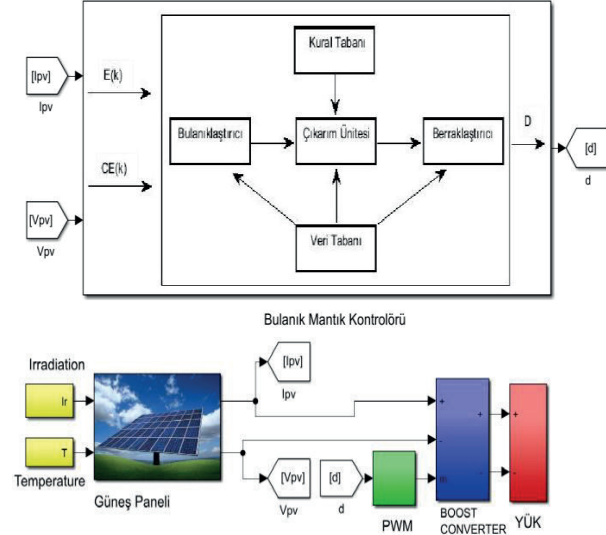
$$V_0 / V_g = 1 / (1 - D) \quad (5)$$

4. Bulanık Mantık Tabanlı MPPT Tasarımı

Son zamanlarda bulanık mantık PV sistemlerinde MPP takibi için kullanılmaktadır. Bu teknik güçlü ve nispeten tasarlanması basittir. Bunun sebebi tam modelleme bilgisine ihtiyaç duymamasıdır. Ancak bir diğer taraftan, PV sisteminin

tasarımcı tarafından işleyişi ile ilgili tam bilgiye ihtiyaç duyulur.

Bu makalede Bulanık Mantık MPPT kontrolörü, iki giriş ve bir çıkışa sahiptir (Şekil 5).



Şekil 5: Bulanık Mantık modeli

Hata (E(k)) ve hatanın değişimi (CE(k)), bulanık mantık giriş değişkenleridir. Pph(k) photovoltaic generatorün anlık gücüdür.

$$E(k) = P_{ph}(k) - P_{ph}(k-1) / V_{ph}(k) - V_{ph}(k-1) \quad (6)$$

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \quad (7)$$

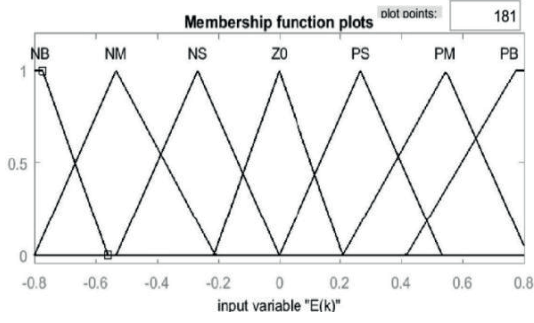
Giriş E(k) yük çalışma noktasının P-V karakteristiği üzerinde, maksimum güç noktasının sağ veya sol tarafında konumlanıp konumlanmadığını gösterirken, giriş CE(k) bu noktanın hareket yönünü ifade eder.

Bu çalışmada tasarımı gerçekleştirilen bulanık mantık MPPT kontrolörü Mamdani kural yapısında tasarlanmıştır (Tablo 2).

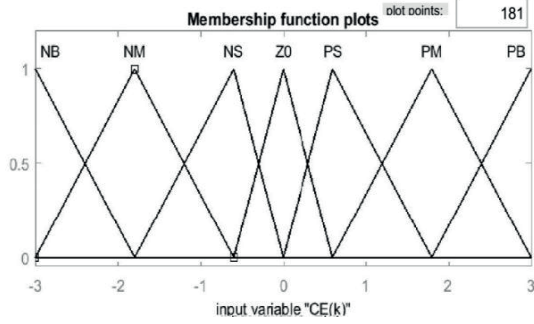
Tablo 2: Bulanık Mantık kuralları

E/CE	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	ZO	ZO	ZO	NM	NM	NB	NM
NM	ZO	ZO	ZO	NS	NS	NM	NB
NS	NS	ZO	ZO	ZO	NS	NS	NS
ZO	NM	NS	ZO	ZO	PS	PS	PM
PS	PS	PM	PM	PS	PS	ZO	ZO
PM	PM	PM	PM	PS	ZO	ZO	ZO
PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO	ZO

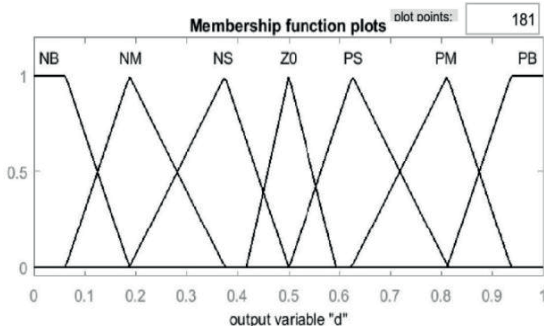
Matlabtaki Fuzzy Logic Tool Boxı kullanarak üyelik fonksiyonları ve kural veri tabanı tasarlanmaktadır. Şekil 6, Şekil 7 ve Şekil 8 bulanık mantık kontrolörünün hata, hata değişimi ve kontrol sinyalini gösterir.



Şekil 6: Hata sinyali



Şekil 7: Hata sinyalinin değişimi



Şekil 8: Kontrol sinyali

5. ANFIS Tabanlı MPPT Tasarımı

ANFIS giriş ve çıkış data setlerini kullanarak bir bulanık mantık oluşturan ve bu bulanık mantığın üyelik fonksiyonlarının parametrelerini melez optimizasyon (hybrid optimization) yöntemi ile ayarlayan bir tasarım metoddur. Melez optimizasyon (hybrid optimization) yöntemi, geri yayılım algoritması (backpropagation algorithm) ve küçük kareler (least squares) yönteminin birleşimidir.

Sunulan ANFIS Tabanlı MPPT kontrolörünün blok şeması Şekil 9 da anlatılmaktadır.

- 1-Güneşin radyasyonu ve sıcaklığı ANFIS'de giriş eğitim datası olarak alınmaktadır.
- 2-ANFIS denetleyicisi belirli bir sıcaklık ve radyasyon koşullarında, maksimum mevcut gücü vermektedir
- 3-Çalışma gerilimi ve akımı ölçülerek PV modülden gelen gerçek çıkış gücü hesaplanmaktadır.
- 4-Kontrol sinyali üretmek için iki güç (ANFIS ve PV modülden gelen güçler) karşılaştırılmaktadır ve hata bulanık mantığa aktarılmaktadır.

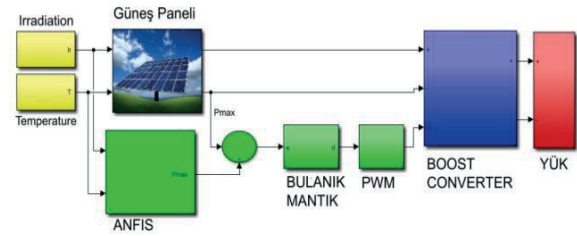
6-Hata (denklem-8) ve hata değişimi (denklem-9) giriş olarak bulanık mantığa verilmekte ve çıkış olarak kontrol sinyali PWM'e aktarılmaktadır. (Şekil 10, Şekil 11, Şekil 12 sırasıyla hata, hata değişikliği ve kontrol sinyali üyelik fonksiyonlarını göstermektedir. Bulanık mantık kuralları: Tablo 3).

$$E = P_{\max} - P_{pv} \quad (8)$$

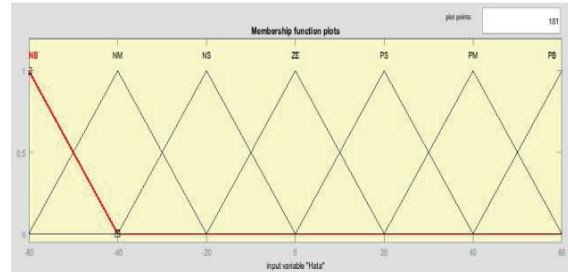
$$\Delta E(k) = E(k) - E(k-1) \quad (9)$$

5-Bulanık mantıktan gelen kontrol sinyali PWM bloğuna verilmektedir ve PWM sinyali, kontrol ve yüksek frekanslı taşıyıcı sinyalin kıyaslanması ile üretilmektedir. (Taşıyıcı sinyalin frekansı 10kHz ayarlanmaktadır).

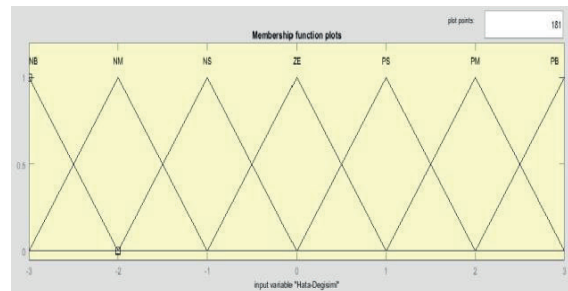
6-DC-DC dönüştürücü PWM sinyali aracılığıyla PV modülünün çalışma noktasını ayarlamaktadır.



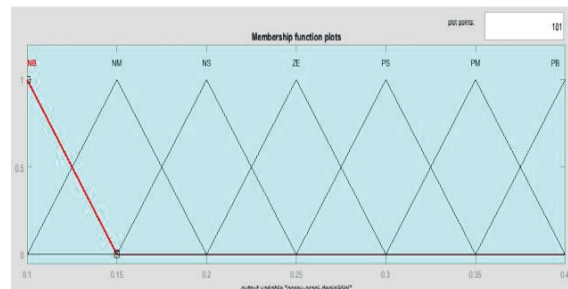
Şekil 9: ANFIS Tabanlı MPPT Tasarımı Blok Şeması



Şekil 10: Hata (E)



Şekil 11: Hata Değişimi (ΔE)

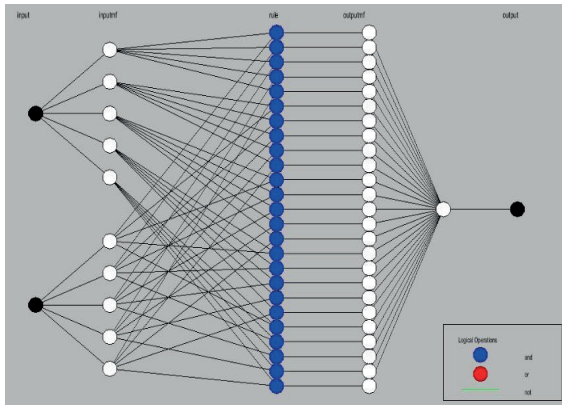


Şekil 12: Kontrol sinyali

Tablo 3: Bulanık Mantık kuralları

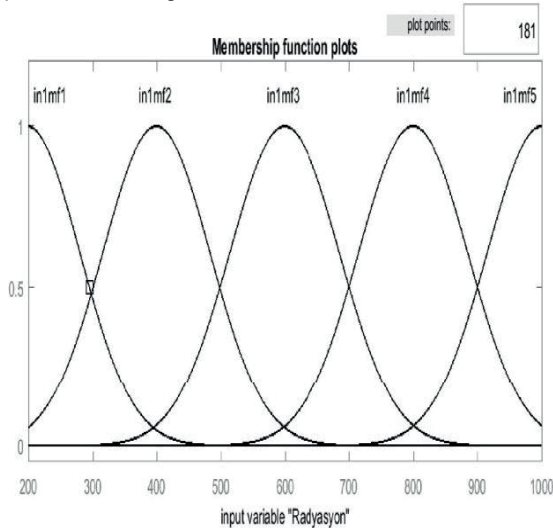
E/CE	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	NS	ZE
NM	NB	NM	NM	NS	NS	ZE	PS
NS	NM	NM	NS	NS	ZE	PS	PS
ZO	NM	NS	NS	ZE	PS	PS	PM
PS	NS	NS	ZE	PS	PS	PM	PM
PM	NS	ZE	PS	PS	PM	PM	PB
PB	ZE	PS	PS	PM	PM	PB	PB

Matlab kodlarından oluşturulan ANFIS yapısı bir beş katmanlı ağ yapısı vardır (Şekil 13). Mevcut çalışmada, radyasyon seviyesi(200W/m²-1000W/m², 50W/m² değişimle) ve çalışma sıcaklığı (20°C-60°C, 6°C değişimle) giriş ve de her bir giriş için beş üyelik fonksiyonu bulunmaktadır. Çıkış maksimum güçtür. Ağ 1000 iterasyonda (epoch) eğitilmiştir. Hedef hata %6 ya ayarlanmıştır.

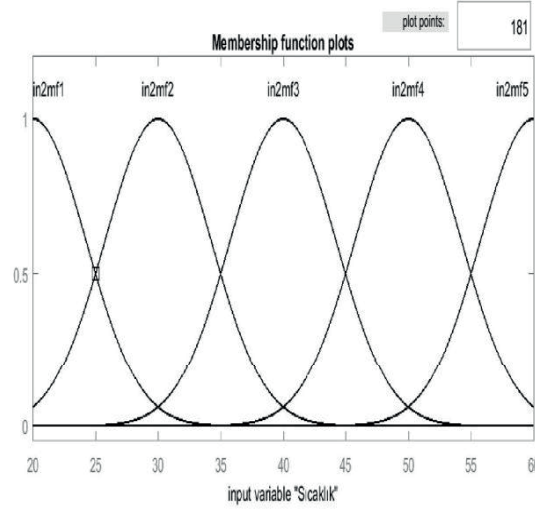


Şekil 13: ANFIS kontrolörünün ağ yapısı

ANFIS yöntemiyle eğitilen her giriş için üyelik fonksiyonları Şekil 14 ve 15 de gösterilmektedir.

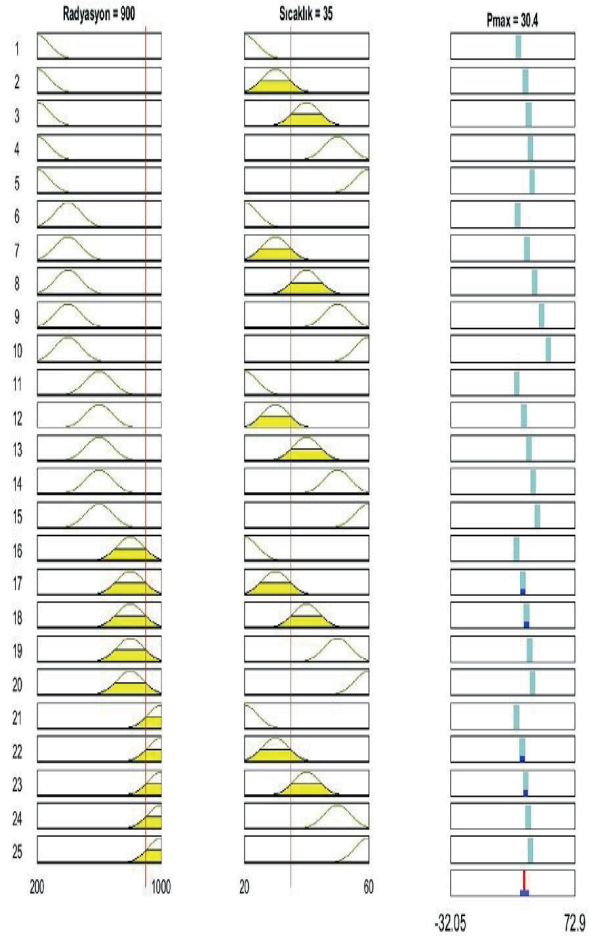


Şekil 14: Radyasyon için üyelik fonksiyonları



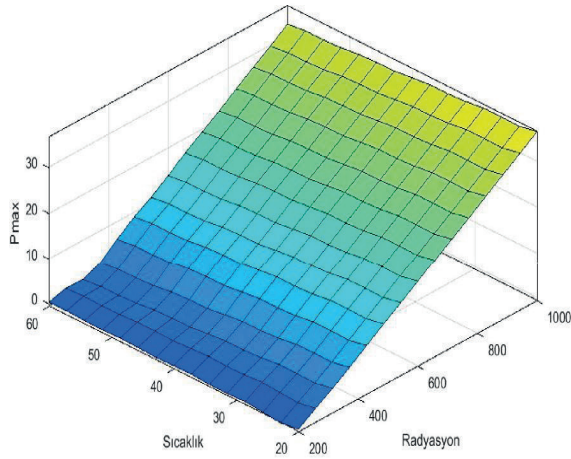
Şekil 15: Sıcaklık için üyelik fonksiyonları

Şekil.16, belirli bir çalışma sıcaklığı ve radyasyon değeri için bulanık kuralın çıktısını göstermektedir. On giriş üyelik fonksiyonundan yirmi beş bulanık kuralı üretilmektedir.



Şekil 16: Bulanık Mantık kuralları

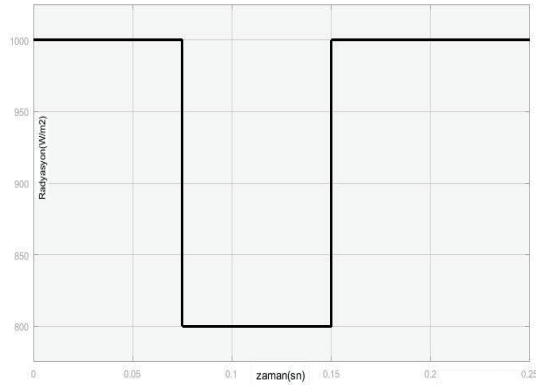
ANFIS tarafından oluşturulan yüzey Şekil 17 de gösterilmektedir. Bu yüzey sıcaklık, radyasyon ve maksimum güç arasındaki ilişkiyi ifade etmektedir. Sıcaklık ve radyasyonun artışı, PV modülünden gelen elde edilebilecek maksimum gücü artırır.



Şekil 17: ANFIS metoduna göre sistem yüzeyi

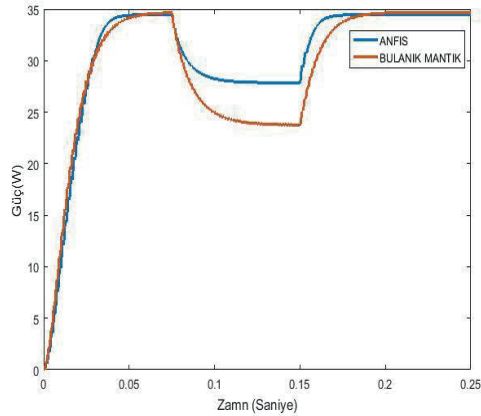
6. SONUÇ

Kapsamlı bir simülasyon hem ANFIS hem de FLC teknikleri kullanılarak MATLAB'da yapılmıştır. İki metoddan da gelen sonuçlar kıyaslanmıştır. Şekil 18, zaman ile değişen farklı radyasyon seviyelerini (1000W/m²-800W/m²-1000W/m²) gösterir.

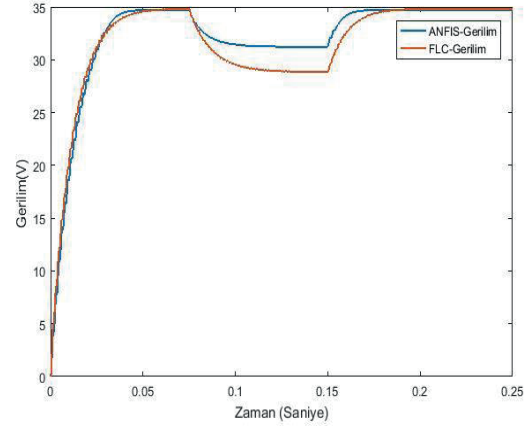


Şekil 18: Zamana göre radyasyon değişimi

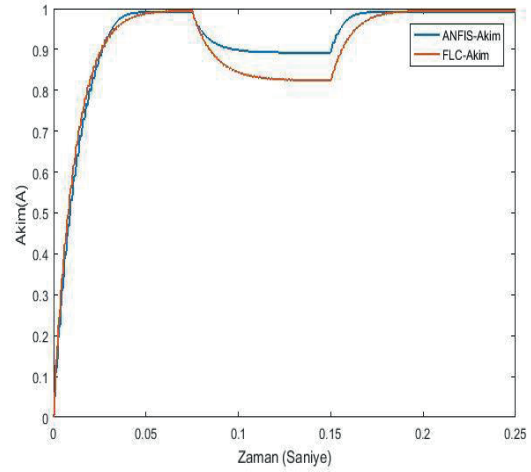
Şekil 19,20,21 FLC ve ANFIS kontrolörleri tarafından tasarlanan modelin güç, akım ve gerilim eğrileri verilmektedir.



Şekil 19: FLC ve ANFIS kullanarak güç takibi



Şekil 20: FLC ve ANFIS kullanarak gerilim takibi



Şekil 21: FLC ve ANFIS kullanarak akım takibi

Grafiklerden de görüldüğü üzere ANFIS kontrolörü tabanlı tasarlanan model FLC modeline göre daha yumuşak ve daha hızlı cevap verir. Güç, akım ve gerilim dalga şekli ANFIS tekniği ile maksimum değerine, FLC tekniğinden daha hızlı ve daha az salınım ile ulaşmıştır. Yapılan çalışmada farklı hava şartlarında (değişken radyasyon, sabit sıcaklık ve sabit yük), ANFIS metodunun MPPT uygulamalarında FLC metoduna göre daha uygun olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

7. Kaynaklar

- [1] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Bilgi Merkezi <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes> son erişim tarihi: 20.12.2017.
- [2] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2015. 2014 Faaliyet Raporu, Strateji Geliştirme Başkanlığı, Ankara.
- [3] Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. Bilgi Merkezi <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> son erişim tarihi: 20.12.2017
- [4] Blakers A, Wright PD, Gazzoni DL, Hestnes AG, Kituyi E, Kretschmar J, et al. "Research and development on renewable energies. A global report on photovoltaic and wind energy", ISPRES; December 2009.
- [5] Lingareddy V, Ravichandra G, Maddukuri PK. "Effective strategy for MPPT in PV/wind hybrid electric power system interconnected with electrical utility grid". Int J Adv Res Comput Sci Softw Eng 2013
- [6] Gupta MK, Jain R. "MPPT simulation with DC submersible solar pump using output sensing direct control method and cuk converter". Int J Renew Energy Res 2013
- [7] Li-qun L, Zhi-xin WA. "Rapid MPPT algorithm based on the research of solar cell's diode factor and reverse saturation current". WSEAS Trans Syst 1109-2777 2008;7
- [8] Azab MA. "New maximum power point tracking for photovoltaic systems". Int J Electr Electron Eng 2009.
- [9] Chaouachi A, Kamel RM, Nagasaka KA. "Novel multi-model neuro-fuzzy-based MPPT for novel multi-model neuro-fuzzy-based mppt for three-phase grid-connected photovoltaic system photovoltaic system". Sol Energy; 2010
- [10] Esram T, Chapman PL. "Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques". IEEE Trans Energy Convers 2007
- [11] Villalva MG, Gazoli JR. "Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays". IEEE T Power Electr, 2009
- [12] Erdoğan Y, Dinçler T, Kuncan M, Ertunç M. "Güneş Panelleri için Yüksek Verimli Maksimum Güç Noktası İzleyicisi (MPPT) Tasarımı", TOK bildiri Kitabı, 2014



Mahdi HUSSAİNİ

2015 Yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini bitirmiştir. Şu anda Sakarya üniversitesinde yüksek lisansını sürdürmektedir. İlgili alanları: Yenilenebilir Enerji Sistemleridir.



Okan GÜNGÖR

2014 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde lisans eğitimini bitirmiştir. Sakarya Üniversitesi Mühendislik fakültesinde yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. İlgili alanları: Akıllı Şebekeler ve Yenilenebilir Enerji Sistemleridir.