

ŞEBEKEDEN BAĞIMSIZ FV SİSTEMDE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP ALGORİTMALARININ DEĞİŞKEN HAVA ŞARTLARI ALTINDA KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

¹Fuad ALHAJ OMAR, ²Göksel GÖKKUŞ, ³Ahmet Afşin KULAKSIZ

¹Selçuk Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, TÜRKİYE

²Neşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Neşehir, TÜRKİYE

³Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya, TÜRKİYE

¹fuad.omar@selcuk.edu.tr, ²gokselgokkus@nevsehir.edu.tr, ³aakulaksiz@ktun.edu.tr

(Geliş/Received: 21.01.2019; Kabul/Accepted in Revised Form: 27.02.2019)

ÖZ: Güneş enerjisi en uygun alternatif enerji kaynağıdır; buna ek olarak güneş enerjisi teknolojilerinin uygulanması, elektrik enerjisi taleplerini güvenceye almanın yanı sıra çevre kirliliği ve elektrik üretim maliyetlerini de azaltabilir. Bu çalışmada, maksimum güç noktası takip (MGNT) sistemlerinde kullanılan üç algoritmanın değerlendirilmesi ele alınmaktadır. Bunlar sırası ile Değiştir ve Gözetle (D&G), Artımlı İletkenlik (Aİ) ve Bulanık Mantık (BM) tabanlı algoritmalar. Bu algoritmalar basitliği ve gerçekleştirme kolaylığı nedeniyle MGNT'de en çok kullanılanlar olarak kabul edilirler. Algoritmalar Matlab/Simulink ortamında tasarlanmış ve üç algoritmanın matematik modelleri çeşitli hava koşullarında test edilmiştir. Benzetimler sonunda bu üç algoritma içerisinde bulanık mantık algoritmasının diğerlerine oranla daha fazla enerji sağlayabildiği, daha az salınım yaptığı ve değişken hava koşulları altında daha hızlı yanıt verdiği gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Artımlı iletkenlik, Bulanık mantık, Değiştir & Gözetle, Fotovoltaik, MGNT

Comparative Analysis of Maximum Power Point Tracking Algorithms under Various Weather Conditions for Standalone PV System

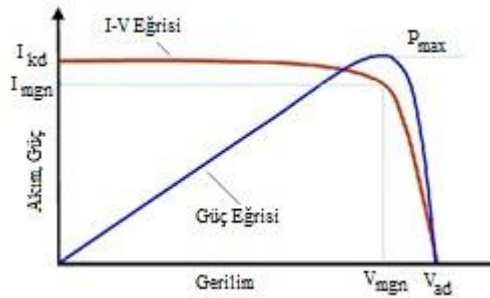
ABSTRACT: Solar energy is the most viable alternative source; furthermore, the implementation of solar energy technologies can reduce the problems of environmental pollution and electricity production costs besides securing the demands of electrical power. This research addresses the evaluation of three algorithms used in maximum power point tracking systems (MPPT). These algorithms are Perturbation & Observation (P&O), Incremental Conductance (IC) and Fuzzy Logic (FL). They are considered as the most used in MPPT due to their simplicity and ease of realization. Based on Matlab/Simulink environment, the mathematical models of the three algorithms are designed and tested under various weather conditions. Collected simulation results illustrated the effectiveness of Fuzzy logic algorithm to draw more energy, decrease oscillation and provide a fast response under variable weather condition. The final simulation results show the fuzzy logic algorithm exhibits a better performance compared to both perturbation & observation and incremental conductance algorithms.

Key Words: Incremental conductance, Fuzzy logic, Perturbation & Observation, Photovoltaic, MPPT

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Enerji üretimi için fosil yakıtlara olan bağımlılığın devam etmesi, atmosferik değişimlere yol açan karbon emisyonlarındaki artışa yol açmaktadır. Ayrıca, küresel anlamda enerji kullanımının sürekli

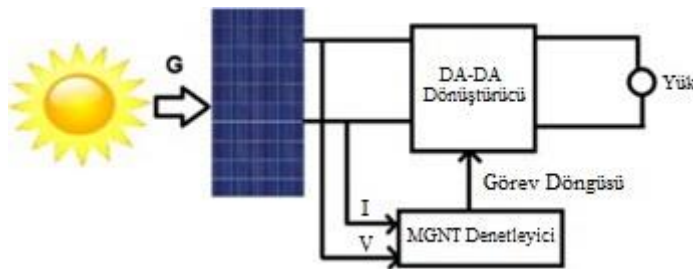
olarak artması, petrol ve doğal gaz tüketimine olan talebi artırmaktadır. Buna karşın, yenilenebilir enerji kaynakları temiz olmaları, atık üretmemeleri ve tüketilemez olmaları sebebiyle fosil kaynaklı yakıtlara ve doğal gaza alternatif niteliğindedir. Tüm yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en fazla dikkat çeken enerji kaynağı, uygulama kolaylığı ve düşük maliyeti bakımından güneş enerjisi olmuştur. Güneş enerjisi teknolojilerindeki ilerlemelere rağmen halen güneş pillerinin enerji dönüşüm verimliliği düşüktür. Güneş panellerinin doğrusal olmayan karakteristik eğrisi, güneş ışınım seviyesine ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değiştiğinden bazı dezavantajlara sahiptir (Fig. 1) (S. Mulel ve diğ., 2016). Güneş pillerinin verimliliğini artırmak ve güneş pillerinden elde edilen gücü optimize etmek için, Değiştir ve Gözetle (D&G), Artımlı İletkenlik (AI) ve Bulanık Mantık (BM) gibi birçok maksimum güç noktası takip tekniği önerilmiştir. Maksimum güç noktası (MGN), Şekil 1'de belirtilen güneş paneli akım-gerilim (I-V) eğrisi üzerindeki mümkün olan en yüksek güç çıkışına karşılık gelen (P_{max}) noktadır ve maksimum güç noktası izleyicisi: Değişken hava koşulları altında sürekli olarak maksimum güç noktasını bulmaya çalışan donanımsal bileşendir (P. Takun ve diğ., 2017). Bu bağlamda, bahsedilen üç tekniğin performansını değerlendirmek için birçok araştırma yapılmıştır. Bulanık mantık kontrol tekniğinin, değişken sıcaklık ve değişken güneş ışınmaları altında bile maksimum gücü elde edebilen ve daha iyi bir maksimum güç noktası takip başarısına sahip olduğu görülmüştür (Y.Yi Hong ve diğ., 2011). Ek olarak, bulanık kontrol tekniği, güneş paneli dizilerinin dönüşüm verimliliğini arttırmaktadır (R. Mahalakshmi ve diğ., 2014). Bulanık mantık kontrol tekniğinin, maksimum güç çıkışını korumak için yüksek kararlılık ve dönüşüm verimi sergilediği de ortaya çıkmıştır (Ch. Yan Chuang ve ark., 2017). Şekil 2'de bir maksimum güç noktası izleyicinin fotovoltaiik (FV) sisteme uygulanmasına dair blok şeması gösterilmiştir.



Şekil 1. Güneş paneli P-V ve I-V karakteristik eğrileri

Figure 1. P-V & I-V characteristics of a solar panel

Bu çalışmada, bahsedilen üç maksimum güç noktası takip algoritmasının performansını değerlendirmek için bir simülasyon ortamı oluşturulmuştur. Performans değerlendirmesi için D&G, AI ve BM algoritmalarının matematiksel modelleri Matlab/Simulink'te tasarlanmıştır. Simülasyon sonuçları farklı ışınım ve sıcaklık seviyeleri altında elde edilmiştir.



Şekil 2. Bir FV sistemde MGNT'ine dair blok şeması

Figure 2. Typical diagram of MPPT in a PV System

MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP TEKNİKLERİ (MAXIMUM POWER POINT TRACKING TECHNIQUES)

Değiştir & Gözetle (Perturbation & Observation)

Bu tekniğin çalışması, görev döngüsünün değiştirilmesine ve çıkış gücünün gözetlenmesine dayanır. İlk olarak, görev döngüsündeki değişiklik pozitif ise ve güçte meydana gelen değişiklik de pozitif ise, bu durum çalışma noktasının maksimum güç noktasının solunda olacağı ve bir sonraki değişimin pozitif yönde olacağı anlamına gelir. Ters durumda, eğer güçteki değişim negatif ise, işletim noktasının güneş paneli maksimum güç noktası eğrisinin sağında olacağı ve bir sonraki değişimin negatif olacağı anlamına gelir. Görev döngüsündeki değişiklik negatif ise ve güçteki değişiklik pozitif ise, bu durum çalışma noktasının güneş paneli maksimum güç noktası eğrisinin sağında olacağı ve bir sonraki değişimin negatif olacağı anlamına gelir. Öte yandan, görev döngüsündeki değişimin negatif olması ve güçteki değişimin negatif olması durumunda, çalışma noktasının maksimum güç noktasının solunda olacağı ve bir sonraki değişimin pozitif olacağı anlamına gelir (N. Karamia ve ark., 2017). D&G algoritmasının temel ilkesi Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. D&G algoritmasının temel ilkesi

Table 1. The basic principle of the P&O algorithm

Değişim	Güç Değişimi	Sonraki değişim
pozitif	pozitif	pozitif
pozitif	negatif	negatif
negatif	pozitif	negatif
negatif	negatif	pozitif

Artımlı İletkenlik (Incremental Conductance)

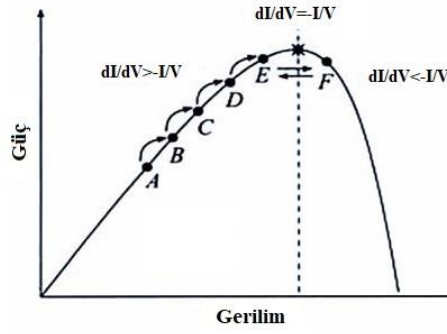
D&G yöntemine göre daha kararlı çalışma sağladığı için tercih edilen bu teknik, iletkenlik artışı (dI/dV) değerinin ani iletkenlik ($-I/V$) değeriyle karşılaştırılmasına dayanır. A. Safari ve ark., (2011) tarafından verildiği gibi maksimum güç noktasının yeri, dI/dV ile $-I/V$ arasındaki ilişki kullanılarak şu şekilde belirlenir:

$$\begin{aligned} \frac{dI}{dV} &= -\frac{I}{V}, MGN' \text{de} \\ \frac{dI}{dV} &> -\frac{I}{V}, MGN' \text{nin solunda} \\ \frac{dI}{dV} &< -\frac{I}{V}, MGN' \text{nin sağında} \end{aligned} \quad (1)$$

Güneş paneli gerilimi ve güneş paneli akımının farklı zamanlarda ölçülmesi ile hesaplanan iletkenlik değerlerinin her bir örnekleme periyodunda karşılaştırılması yoluyla maksimum güç noktasına ulaşılması Şekil 3'te görülmektedir. D&G yöntemine göre daha karmaşık hesaplama gerektirmesine karşın MGN etrafındaki salınımların azaltılabildiği belirtilmiştir.

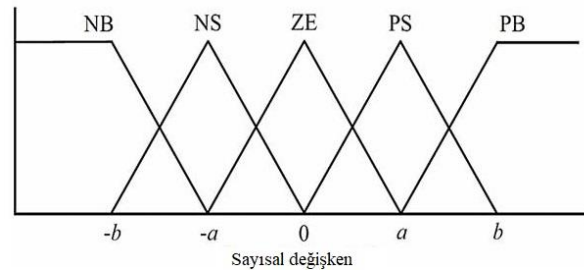
Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)

Genellikle bulanık mantık kontrolü üç aşamadan oluşur: bulanıklaştırma (fuzzification), kural tabanı tablo araması ve durulaştırma (defuzzification) (M. Kumar ve diğerleri, 2015). Bulanıklaştırma aşamasında, Şekil 4'te görüldüğü gibi bir üyelik fonksiyonuna dayanarak, sayısal giriş değişkenleri dilsel değişkenlere dönüştürülür. Burada kullanılan beş bulanık seviye: Negatif Büyük (NB), Negatif Küçük (NS), Sıfır (ZE), Pozitif Küçük (PS) ve Pozitif Büyük (PB)'tür.



Şekil 3. Aİ algoritmasının temel işletim presip şeması

Figure 3. The principle of the IC algorithm



Şekil 4. Bulanık mantık algoritmasının girdileri ve çıktıları için önerilen üyelik fonksiyonu

Figure 4. The proposed membership function for inputs and output of fuzzy logic algorithm

Daha yüksek doğruluk için yedi seviyeli bulanık mantık denetleyicisi kullanılabilir. Şekil 4'te a & b, sayısal değişken değerlerinin aralığını temsil eder. Genellikle, bir MGNT bulanık mantık denetleyicisine yapılan girişler bir E hatası ve ΔE hatasında bir değişiklik meydana getirir. Kullanıcı, E ve ΔE 'nin nasıl hesaplanacağını seçme esnekliğine sahiptir.

$$E(n) = \frac{P(n) - P(n-1)}{V(n) - V(n-1)} \quad (2)$$

$$\Delta E = E(n) - E(n-1) \quad (3)$$

E ve ΔE hesaplamaları yapıldıktan sonra dilsel değişkenlere dönüştürülecek, bunun sonucunda bulanık mantık denetleyici çıkışı, güç dönüştürücünün görev döngüsü ΔD 'yi değiştirecektir. Önerilen kural tabanı Çizelge 2'de görülmektedir.

Çizelge 2. Önerilen bulanık mantık kural tabanı tablosu

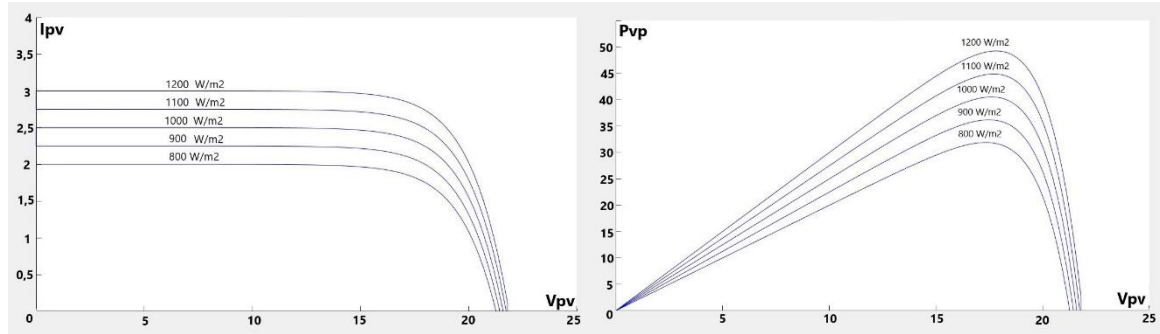
Table 2. The proposed fuzzy logic rule base

ΔE E	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	ZE	ZE	NB	NB	NB
NS	ZE	ZE	NS	NS	NS
ZE	NS	ZE	ZE	ZE	PS
PS	PS	PS	PS	ZE	ZE
PB	PB	PB	PB	ZE	ZE

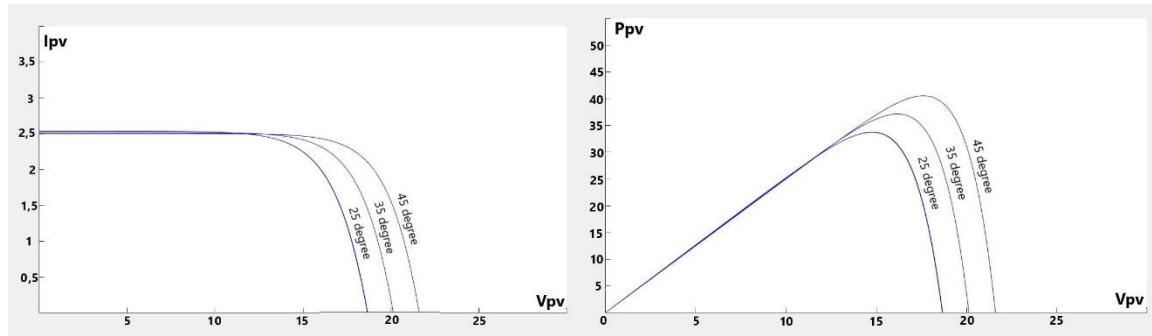
E ve ΔE 'nin farklı kombinasyonları için görev döngüsündeki ΔD değişimi, kullanılan güç dönüştürücüsüne ve kullanıcının bilgisine göre belirlenir. Durulaştırma aşamasında, bulanık mantık denetleyicisinin çıkışı olan dilsel değişkenler, Şekil 4'te önerilen üyelik fonksiyonuna bağlı olarak sayısal değişkenlere dönüştürülür. Bu ise güç dönüştürücüsünü maksimum güç noktasına yaklaştıracak olan bir analog sinyal üretir.

SİSTEM MODELİ (MODEL OF THE SYSTEM)

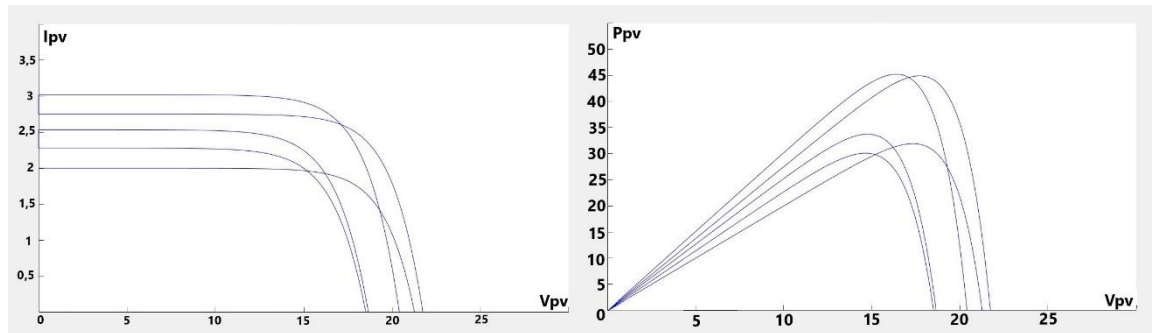
FV hücrenin genel matematiksel denklemine dayanarak, güneş paneli modeli Matlab/Simulink'te oluşturulmuştur. Güneş paneli I-V ve P-V özellikleri üç durumda elde edilebilir. İlk durum, değişken ışınım seviyelerinde ve sabit sıcaklık altında (Şekil 5), ikinci durum, değişken sıcaklık seviyelerinde ve sabit ışınım altındadır (Şekil 6). Üçüncü durum ise değişken ışınım ve değişken sıcaklık altında (Şekil 7) elde edilmiştir.



Şekil 5. Değişken güneş ışınması altında güneş paneline ait I-V ve P-V karakteristiği
Figure 5. I-V and P-V characteristic of the modeled PV panel under variable irradiance levels

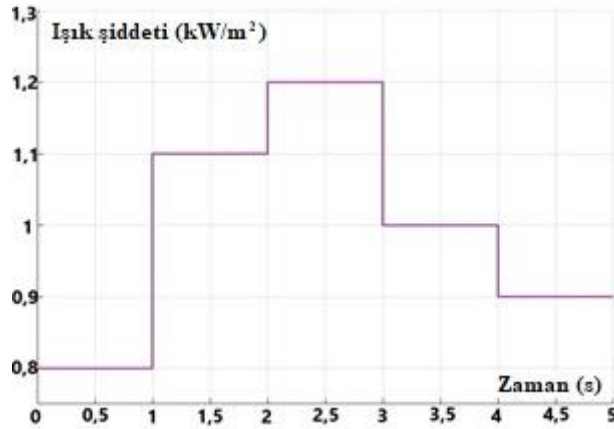


Şekil 6. Değişken sıcaklık altında güneş paneline ait I-V ve P-V karakteristiği
Figure 6. I-V and P-V characteristic of the modeled PV panel under variable temperature levels

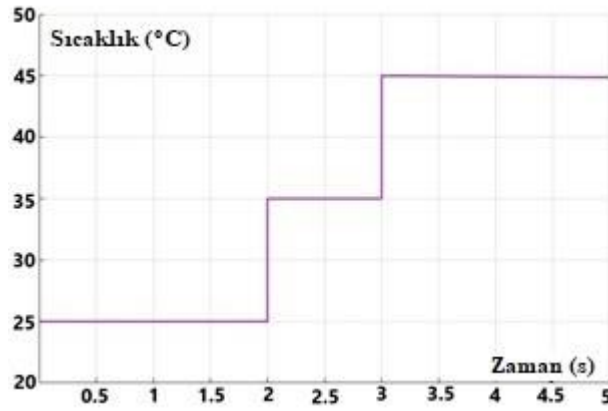


Şekil 7. Değişken güneş ışınması ve değişken sıcaklık altında güneş paneline ait I-V ve P-V karakteristiği
Figure 7. I-V and P-V characteristic of the modeled PV panel under variable temperature and variable irradiance levels

Güneş ışınımı ve sıcaklığının farklı seviyelerde 5 saniye boyunca uygulanması sonucu elde edilen grafikler sırası ile Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir.



Şekil 8. Farklı seviyelerdeki güneş ışıması değerleri
Figure 8. The different levels of solar irradiance



Şekil 9. Farklı seviyedeki sıcaklık değerleri
Figure 9. The different levels of temperature

Modellenen güneş panelinin belirtilen üç durum altında, maksimum çıkış gücü sırasıyla Çizelge 3, 4 ve 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Değişken güneş ışıması altında maksimum güç noktası değerleri

Table 3. The MPP values according to the variable irradiance levels

Işıma Seviyesi	Sıcaklık Seviyesi	Elde Edilen Maksimum Güç
800 W/m ²	25 °C	33 W
1100 W/m ²	25 °C	46 W
1200 W/m ²	25 °C	50 W
1000 W/m ²	25 °C	41 W
900 W/m ²	25 °C	38 W

Çizelge 4. Değişken sıcaklık seviyeleri altında maksimum güç noktası değerleri

Table 4. The MPP values according to the variable temperature levels

Işıma Seviyesi	Sıcaklık Seviyesi	Elde Edilen Maksimum Güç
1000 W/m ²	25 °C	41 W
1000 W/m ²	35 °C	38 W
1000 W/m ²	45 °C	34 W

Çizelge 5. Değişken ışımaya ve değişken sıcaklık değerleri altında maksimum güç noktası değerleri

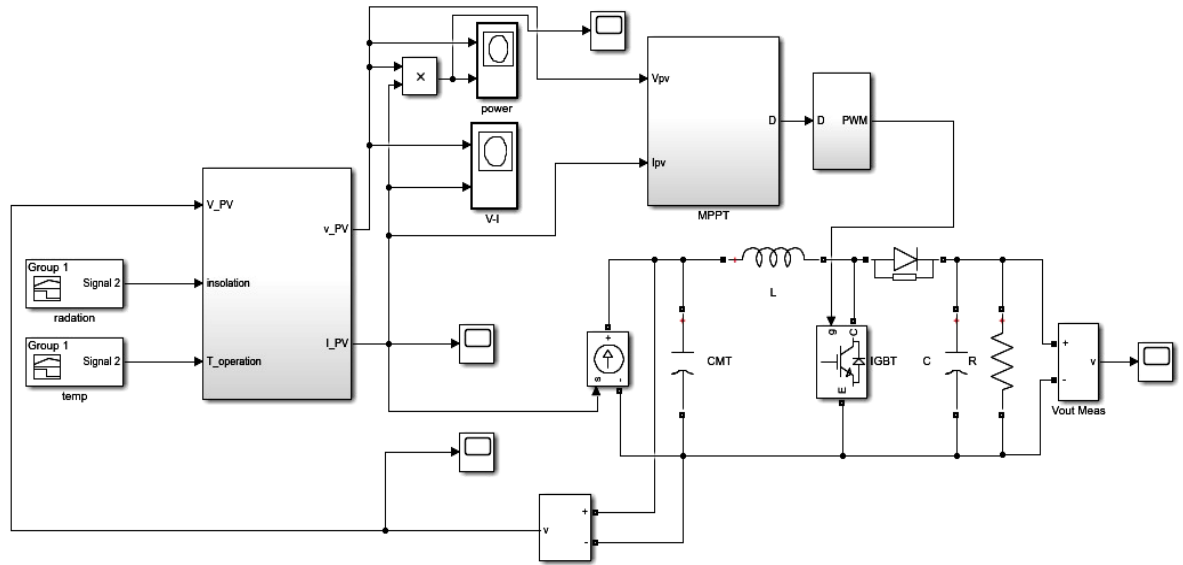
Table 5. The MPP values according to the variable irradiance and temperature levels

İşım Seviyesi	Sıcaklık Seviyesi	Elde Edilen Maksimum Güç
800 W/m ²	25 °C	32 W
1100 W/m ²	25 °C	46 W
1200 W/m ²	35 °C	46 W
1000 W/m ²	45 °C	33 W
900 W/m ²	45 °C	31 W

Simülasyonda bir DA-DA yükselten dönüştürücü kullanılmıştır. Anahtarlama elemanlarının görev döngüsünün kontrol edilmesiyle, güneş paneli uç gerilimi maksimum gücün elde edildiği noktada tutulacak ve aynı zamanda dönüştürücü çıkış gerilimi istenen yük gerilimine eşitlenecektir. Kullanılan dönüştürücünün giriş-çıkış denklemi:

$$V_{pv} = V_o(1 - D) \quad (4)$$

Burada; V_{pv} güneş panelinin çıkış gerilimi, V_o yükselten dönüştürücünün çıkış gerilimi ve D görev döngüsünü ifade eder (S. Soltani ve diğ., 2017). Önerilen sistem MATLAB / Simulink kullanılarak modellenmiş ve simüle edilmiştir. Önerilen Simulink modeli Şekil 10'da görülmektedir. Simülasyon çalışmasında, üç MGNT tekniği simüle edilmiş ve bahsedilen üç durum altında değerlendirilmiştir.



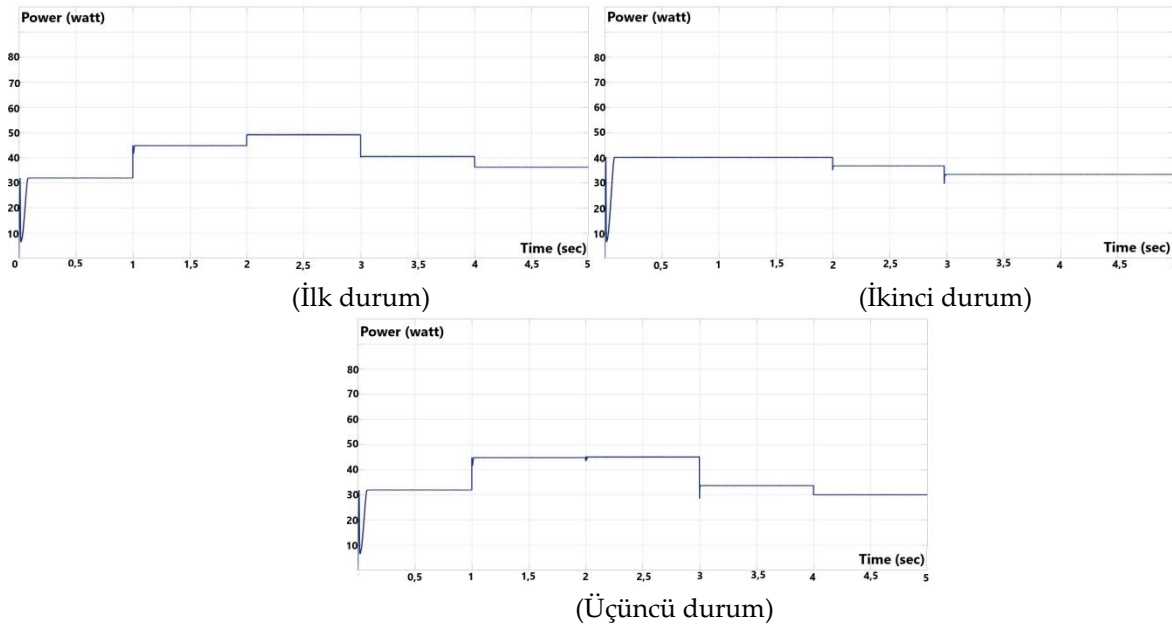
Şekil 10. Önerilen sistemin blok şeması

Figure 10. Diagram of the proposed system

SİMÜLASYON SONUÇLARI VE TARTIŞMA (SIMULATION RESULTS AND VALIDATION DISCUSSIONS)

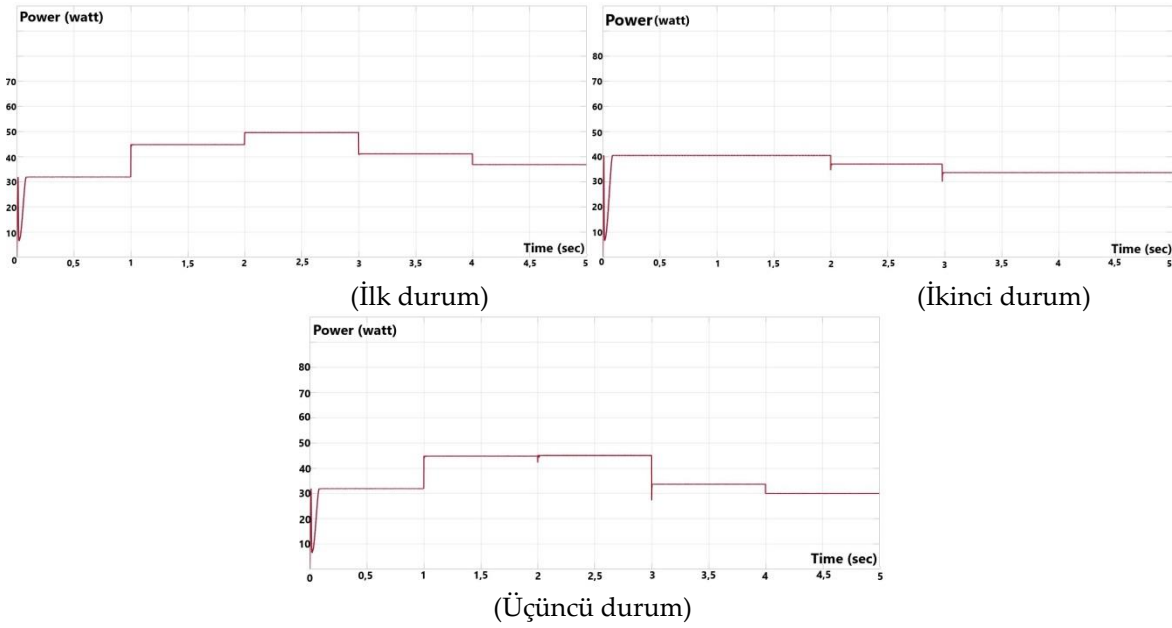
Maksimum güç noktası takip tekniklerini değerlendirmek ve analiz etmek amacıyla her algoritma için Matlab/Simulink'te bir çevrimdışı simülasyon test edilmiştir.

Bahsedilen üç durumda, her algoritmayı ayrı olarak kullanarak FV panelinden çekilen güç, zamana göre çizilmiştir (Şekil 11, Şekil 12 ve Şekil 13).



Şekil 11. D&G algoritması ile kontrol edilen FV panel çıkış gücü grafikleri

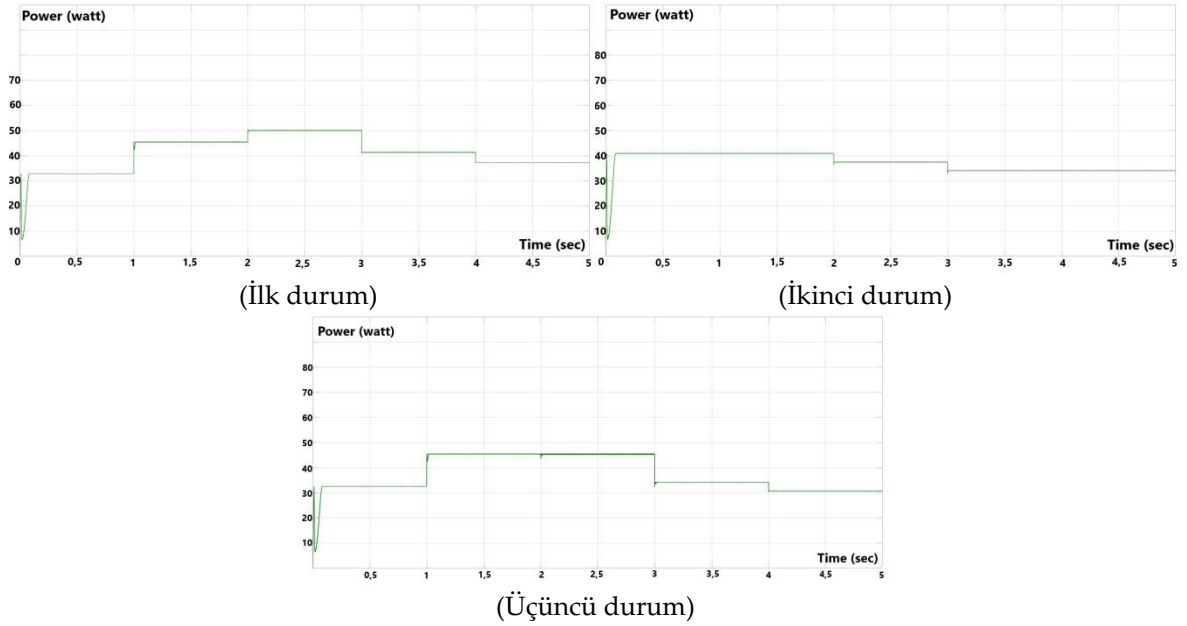
Figure 11. Output power of solar panel with P&O algorithm



Şekil 12. Aİ algoritması ile kontrol edilen FV panel çıkış gücü grafikleri

Figure 12. Output power of solar panel with IC algorithm

Elde edilen simülasyon sonuçları, test edilen tüm algoritmaların, ışıma ve sıcaklıktaki anlık değişime rağmen maksimum güç noktasını bulup izleyebildiğini gösterir. BM algoritması çalışma noktasını tam olarak maksimum güç noktasına getirmiştir. Buna karşın diğer algoritmalarından D&G ve Aİ'nin sistemi maksimum güç noktasına yakın bir yerde takip ettiği görülmüştür. Bu üç durumda da BM algoritması kullanılarak güneş panelinden çekilen enerjinin, Çizelge 6'da gösterildiği gibi, diğer algoritmalarından üretilen enerjiden daha büyük olduğu görülmektedir. Şekil 11 ve Şekil 12'de D&G ve Aİ algoritmaları iyi bir dinamik performans gösterir, fakat maksimum güç noktası takibinde kararlı durumda daha büyük salınımlar gösterir, bu da maksimum güç noktası takip doğruluğunu düşürür. Şekil 13'te simülasyon sonuçları, azami güç noktasında sabit durum salınımlarının, BM algoritmasını kullanırken daha az olduğunu, daha düşük enerji kaybı ve artan sistem verimliliği ile sonuçlandığını göstermektedir.



Şekil 13. BM algoritması ile kontrol edilen FV panel çıkış gücü grafikleri

Figure 13. Output power of solar panel with FL algorithm

Çizelge 6. Her bir algoritmanın ayrı ayrı uygulanması ile elde edilen güç tablosu

Table 6. The obtained power by using each algorithm

	Işma seviyesi	Sıcaklık seviyesi	D&G ile elde edilen güç	Aİ ile elde edilen güç	BM ile elde edilen güç
İlk durum	800 W/m ²	25 °C	31.5 W	32 W	33 W
	1100 W/m ²	25 °C	45 W	45 W	46 W
	1200 W/m ²	25 °C	49 W	50 W	50 W
	1000 W/m ²	25 °C	40 W	41 W	41 W
	900 W/m ²	25 °C	36 W	37 W	38 W
İkinci durum	Işma seviyesi	Sıcaklık seviyesi	D&G ile elde edilen güç	Aİ ile elde edilen güç	BM ile elde edilen güç
	1000 W/m ²	25 °C	40 W	41 W	41 W
	1000 W/m ²	35 °C	37 W	37 W	38 W
1000 W/m ²	45 °C	32.5 W	33 W	34 W	
Üçüncü durum	Işma seviyesi	Sıcaklık seviyesi	D&G ile elde edilen güç	Aİ ile elde edilen güç	BM ile elde edilen güç
	800 W/m ²	25 °C	31 W	31 W	32 W
	1100 W/m ²	25 °C	45 W	45 W	46 W
	1200 W/m ²	35 °C	45 W	45 W	46 W
	1000 W/m ²	45 °C	32 W	33 W	33 W
900 W/m ²	45 °C	30 W	30 W	31 W	

Sonuç olarak, güneş panellerinden güç üretiminin optimize edilmesi amacıyla oluşturulan modelde, Bulanık Mantık tekniğinin, verim açısından diğer tekniklere göre (D&G ve Aİ) üstün performans gösterdiği kanıtlanmıştır.

SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada, maksimum güç noktası takip sisteminde kullanılan değiştir ve gözetle, artımlı iletkenlik ve bulanık mantık yöntemlerinin performans karşılaştırması ve değerlendirmesi sunulmuştur. Üç adet maksimum güç noktası takip tekniğinin performansını doğrulamak için, algoritma modelleri Matlab/Simulink'te oluşturulmuş ve simülasyon sonuçları toplanmıştır. Bulanık mantık tekniğinin daha iyi takip başarısına sahip olduğu, değişken ışınım ve değişken sıcaklık altında bile maksimum güç elde

edebileceği gösterilmiştir. Bu nedenle bulanık mantık teknikleri, geleneksel tekniklere kıyasla daha çok tercih edilebilir. Ayrıca bulanık mantık algoritması maksimum güç noktasında kararlı durumdaki salınımların ve güç kayıplarının azalmasını sağlar.

İlerleyen çalışmalar, STMicroelectronics-32 bit ARM kullanılarak bulanık mantık algoritmasının uygulanmasına yönelik olacak ve gerçek bir fotovoltaiik sistemde test edilecektir. Fotovoltaiik güç üretim sisteminin verimini arttırmak için bulanık mantık tabanlı algoritmanın doğruluğunu ve etkililiğini göstermek üzere deneysel sonuçlar elde edilecektir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

17401144 numaralı projeye sağlamış olduğu destekten dolayı, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- S. Mulel, R. Hardas, and N. Kulkarni, "P&O, IncCon and Fuzzy Logic Implemented MPPT Scheme for PV Systems using PIC18F452," in *IEEE WiSPNET Conference*, 2016.
- P. Takun, S. Kaitwanidvilai, and C. Jettanasen, "Maximum Power Point Tracking using Fuzzy Logic Control for Photovoltaic Systems," in *International Multi conference of Engineers and Computer Scientists, Vol II, Hong Kong, March 2011*.
- Y.Yi Hong, "Real-Time Simulation of Maximum Power Point Tracking Control Using Fuzzy Logic for Stand Alone PV System" *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2017.
- R. Mahalakshmi, A. Kumar, "Design of Fuzzy Logic Based Maximum Power Point Tracking Controller for Solar Array for Cloudy Weather Conditions." *IEEE Towards Sustainable Energy*, 2014.
- Ch. Yan Chuang, P. Syun Chen, "Novel maximum power point tracker for PV systems using interval type-2 fuzzy logic controller," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2017.
- N. Karamia, N. Moubayedb, and R. Outbiba, "General review and classification of different MPPT Techniques," in *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 1–18, 2017.
- A. Safari and S. Mekhilef, "Simulation and Hardware Implementation of Incremental Conductance MPPT with Direct Control Method Using Cuk Converter," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 58, No. 4, April 2011.
- M. Kumar, S. Kapoor, R. Nagar, and A. Verma, "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 2015.
- S. Soltani, and M. Kouhanjani. "Fuzzy Logic Type-2 Controller Design for MPPT in Photovoltaic System," *22nd Electrical Power Distribution Conference*, April 2017.