

ADAPTİF BULANIK MANTIK KONTROLÜ İLE MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI İZLEYİCİ TASARIMI VE GERÇEKLEMESİ

Kübra Nur ZORLU¹, Abdulkadir SADAY², İsmail SARITAŞ²

¹Selçuk Üniversitesi, Mekatronik Mühendisliği ABD, Konya Türkiye

²Selçuk Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Konya Türkiye

kubranurzorlu@gmail.com, asaday@selcuk.edu.tr, isaritas@selcuk.edu.tr

Özet

Enerji ihtiyacının teknolojik gelişmelere ve popülasyona bağlı olarak günden güne artması, insanları alternatif enerji kaynakları bulmaya yönlendirmektedir. Alternatif enerji kaynakları arasında en çok kullanılan kaynak, farklı enerji türlerine dönüştürülebilmesi ve kolay erişilebilmesi nedeniyle güneş enerjisidir. Ülkemiz, güneş enerjisinin kaynak olarak kullanılması açısından elverişli bir konuma sahiptir. Güneş enerjisinden elektrik enerjisinin üretilmesi için fotovoltaik paneller kullanılmaktadır. Bu noktada önemli olan, fotovoltaik paneller yardımıyla kaynaktan alınan enerjiden mümkün olduğunca çok verim sağlayabilmektir. Yüksek seviyede verimin elde edebilmesi için, güneş ışınlarının panele mümkün olduğunca dik ve uzun süre ulaşması gerekmektedir. Bu amaçla da panelin güneşi izlediği sistemler geliştirilmiştir. Güneşi takip sistemleri tek veya iki eksenli olarak tasarlanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, adaptif bulanık mantık kontrolü kullanarak, güneş takip sistemlerinin kontrolünü sağlamak ve güneş enerjisinden elde edilen verimin artırılmasını sağlamaktır. Bu amaç doğrultusunda, güneş enerjisinden maksimum verimin elde edilebilmesi için, adaptif bulanık mantık kontrollü bir maksimum güç noktası izleyici (MPPT) sistemi tasarlanarak gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Adaptif bulanık kontrol, Bulanık mantık, Fotovoltaik panel, MPPT, Güneş takip sistemi

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF MAXIMUM POWER POINT TRACKER WITH ADAPTIVE FUZZY LOGIC CONTROL

Abstract

The increase in energy demand due to technological developments and population, leads people to find alternative energy sources. Among the alternative

energy sources, solar energy is the most widely used source because of its' transformation to different energy types and easy access. Our country has a favorable position in terms of using solar energy as a source. Photovoltaic panels are used to generate electrical energy from solar energy. At this point it is important to provide as much efficiency as possible from the energy taken from the source with the help of photovoltaic panels. In order to achieve a high level of efficiency, the sun's rays must reach the panel as perpendicular and as long as possible. For this purpose, systems which the panel tracks the sun have been developed. Solar tracking systems are designed as single axis or multi axis. The aim of this study is to provide control of solar tracking systems and to increase the efficiency of solar energy by using adaptive fuzzy logic control. For this purpose, a maximum power point tracker (MPPT) system with adaptive fuzzy logic control has been designed and implemented in order to obtain maximum efficiency from solar energy.

Keywords: Adaptive fuzzy control, Fuzzy logic, Photovoltaic panel, MPPT, Solar tracking system

1. Giriş

Teknolojinin gelişimine ve artan popülasyona bağlı olarak bütün enerji türlerine duyulan ihtiyacımız artmaktadır. Günümüzde, kullanılan enerjinin büyük bir kısmı fosil yakıtlardan elde edilmektedir. Bu tür yakıtlar çevreye oldukça zararlıdır. Artan bu enerji ihtiyacını karşılayabilmek ve çevreye verilen zararı önleyebilmek için alternatif enerji kaynaklarına yönelim ve alternatif enerji kaynağı arayışı artmaktadır [1].

Güneş enerjisinden yararlanabilmek ve güneş enerjisinin diğer enerji türlerine dönüştürülmesi için güneş enerjisi sistemleri geliştirilmektedir. İhtiyaç duyulan enerji türüne özel olarak geliştirilmiş farklı güneş enerjisi sistemleri bulunmaktadır. Elektrik enerjisine dönüşüm sağlayabilmek için fotovoltaik paneller kullanılmaktadır. Enerji dönüşümünde en önemli faktör, panellerden maksimum gücün elde edilmesidir. Maksimum gücün elde edilebilmesi için, bir yöntem olarak güneşin takip edildiği hareketli sistemler kullanılmaktadır. MPPT (maximum power point tracker) sistemleri güneşten en verimli şekilde, güneş ışınlarından uzun süre yararlanabilmek için tasarlanmışlardır. Bu tür sistemler iki veya tek eksenli takip mekanizmasına sahip olabilmektedir [2].

Güneş pilleri olarak adlandırılan fotovoltaik paneller, doğaya zarar vermeyen, gürültüsüz çalışan, yakıtını sınırsız enerji kaynağı olan güneşten alan, kolay monte edilebilen, güvenilir sistemlerdir. İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, yüksek miktarda güç elde edilebilmesi için geniş alanlara ihtiyaç duyulması, zorlu hava koşullarında çalışmaması gibi bazı dezavantajlara sahiptirler [2, 3].

Güneş takip sistemleri tek ekseninde ve çift ekseninde takip yapabilen, güneşin günlük hareketini izleyen sistemler olarak geliştirilmektedir. Tek eksenli sistemler, tek yönlü hareket kabiliyetine sahiptir ve güneşin hareketini doğu-batı yönünde takip etmektedir. Bu durumda güneşin günlük hareketi yalnızca düşey olarak takip edilmektedir. Sabit sistemlerde ise paneller günün yalnızca belirli saatlerinde güneş ışınlarını tam olarak alabilmektedir. Tek eksenli sistemler, sabit sistemlerle karşılaştırıldığında güneş enerjisinden ortalama %20-25 oranında daha verim elde edildiği gözlemlenmektedir [3].

Çift eksenli sistemler mekanizmalarında yatay ve düşey hareket kabiliyetine sahip sistemler olarak tasarlanmaktadır. Bu sistemler yatay ve düşey hareketleriyle güneşin kuzey-güney, doğu-batı yönündeki hareketini takip edebilir yapıdadırlar. Çift ekseninde hareket yeteneği sayesinde, sabit ve tek eksenli sistemlere oranla güneş enerjisinden gün boyunca daha fazla yararlanabilmeyi sağlarlar. Yapılan çalışmalarda ülkemizde çift eksenli sistemlerden sabit sistemlere göre ortalama %35-40 fazla verim elde edildiği gözlemlenmiştir [2, 3].

Fotovoltaik panellerden maksimum çıkış gücü elde edebilmek için güneş ışınlarının panel yüzeyine mümkün olduğunca dik açıyla ulaşması gerekmektedir. Bu nedenle MPPT sistemleri kullanılmaktadır. Fotovoltaik panellerin güneşlenme süresi arttıkça elde edilen elektrik enerjisi miktarı da artmaktadır. MPPT sistemleri çalışma yapılarına bağlı olarak farklı algoritma ve metotlar ile geliştirilmektedir. Pasif takip, aktif takip, hata ve gözlem algoritması, sabit gerilim algoritması, artan iletkenlik algoritması, parazit kapasite algoritması günümüzde MPPT sistemlerinde kullanılan bazı algoritma yapılarıdır. Hata ve gözlem algoritması, uygulama kolaylığı nedeniyle en çok kullanılan algoritma türüdür. Bu algoritmada fotovoltaik panelin güç-gerilim karakteristiğinden faydalanılmaktadır [4, 5].

Guenounou, et al. [6] yaptıkları çalışmada maksimum güç noktası izleyici olarak adaptif kazançlı bir bulanık denetleyici kullanılmasını önermişlerdir. Önerilen

çalışmada, kontrolör iki farklı kural tabanını birleştirmektedir. Kural tabanlarından ilki geleneksel bulanık denetleyici ile yükselticinin görev döngüsünü ayarlarken, ikincisi kontrolörün kazancını anlık olarak ayarlamak için kullanılmaktadır. Çalışmalarında adaptif bulanık denetleyici ve geleneksel bulanık denetleyiciyi farklı kazanç değerleri ve durumlar için karşılaştırmış ve önerilen kontrolörün daha iyi bir performans gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır.

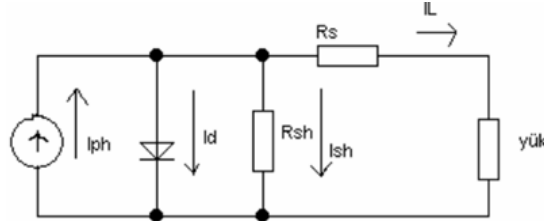
Benlahbib, et al. [7] çalışmalarında bulanık MPPT denetleyicisinin tasarımını kolaylaştırmak için, üç dilsel değişken ve üç kural içeren tek girişli bir Takagi-Sugeno bulanık mantık denetleyicisine dayanan akıllı bir MPPT denetleyicisi önermektedir. Denetleyiciyi Matlab-Simulink ortamında bir fotovoltaik jeneratör, DC-DC dönüştürücü ve rezistif yük içeren bir sistem olarak tasarlayarak farklı sıcaklık ve ışınım seviyelerinde simüle etmişlerdir. Ayrıca kısmi gölge koşulu altında da gerçek zamanlı deneysel bir çalışma yaptıklarını belirtmişlerdir. Simülasyon ve deneysel çalışmaları sonucunda, önerdikleri denetleyicinin sıkça kullanılan hata-gözlem algoritmasına göre daha düşük yerleşme zamanı ve düşük aşmaya sahip olduğu, optimum çalışma noktası etrafında minimum salınım gösterdiği verilerini elde etmişlerdir.

Choudhury and Rout [8] yaptıkları çalışmada, güneş enerjisi sistemlerinde kısmi gölgelemenin güç kaybına ve sıcak nokta oluşumuna neden olacağını ve bu durumun da sistemin güvenliğini tehdit edebileceğini öne sürmüşlerdir. Bu sorunları ortadan kaldırmak amacıyla Takagi-Sugeno bulanık çıkarım esasına dayanan bir adaptif bulanık mantık denetleyicisine sahip MPPT sisteminin tasarımını yapmışlardır. Fotovoltaik panel dizisini Matlab-Simulink ortamında matematiksel olarak modelleyerek simüle etmişlerdir. Önerdikleri MPPT tekniğinin etkinliğini doğrulamak için iki popüler MPPT tekniğiyle karşılaştırmalı olarak analiz yapmışlardır. Analiz sonucunda, önerdikleri bulanık mantık tabanlı MPPT denetleyicisinin, etkinlik, izleme yeteneği ve harmonik azaltma açısından literatürde yer alan diğer MPPT tekniklerine kıyasla daha verimli olduğunu belirtmişlerdir.

2. Materyal ve Metot

Fotovoltaik paneller güneş ışınlarını elektrik enerjisine çeviren, güneş enerji sistemlerinin ana elemanlarıdır. Paneller istenilen gerilim ve akım değerini sağlayabilmesi için paralel ve seri olarak birleştirilen fotovoltaik hücrelerden

oluşmaktadır. Birleştirilen hücre miktarı ne kadar çok olursa panelden elde edilebilecek enerji miktarı da hücre sayısı ile doğru orantılı olarak yüksek seviyede olacaktır. Fotovoltaik paneller de elde edilmesi istenilen enerji miktarına bağlı olarak paralel ve seri olarak birbirlerine bağlanmaktadır [9]. Fotovoltaik panel eş değer devresi Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Fotovoltaik panel eş değer devresi [9]

Burada I_{ph} güneş ışığı tarafından üretilen elektrik akımını, I_d diyot akımını, I_{sh} paralel direnç akımını, I_l yük akımını, R_{sh} paralel direnci, R_s seri direnci belirtmektedir. Kirchoff yasasına göre belirtilen hücre akımı Denklem (1) yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$I = I_l - I_d - I_{sh} \quad (1)$$

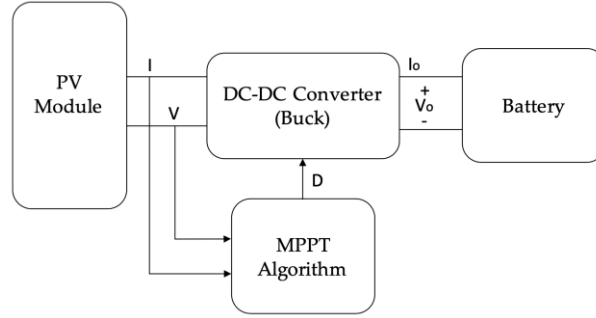
Hücrelerde sistem iki elektrottan oluşmaktadır ve güneş ışınının yüzeye temas etmesiyle birlikte elektrotlarda potansiyel fark elde edilmektedir. Güneş ışını elektrotun potansiyelini ve elektron düzenini değiştirerek elektrik akımının üretilmesini sağlamaktadır.

Bu çalışmada 130W çıkış gücüne sahip 3 adet fotovoltaik panel kullanılarak bir güneş takip sistemi tasarlanmıştır. Kullanılan paneller 21.70V açık devre gerilimi ve 8.18A kısa devre akımına sahiptir. Açık devre gerilimi panelin yüksüz olduğu durumda üretebildiği gerilim değeridir ve güneş enerjisi sistemlerinde inverter ve akü seçiminde kullanılır. Kısa devre akımı ise, panelin yüksüz durumda üretebildiği maksimum akım değerini belirtmektedir. Kısa devre akımı, güneş enerjisi sistemlerinin tasarımında şarj regülatörünün seçimi aşamasında kullanılmaktadır.

Bulanık mantık dilsel değişkenler yardımıyla biraz sıcak, ılık, uzun, çok uzun, soğuk gibi günlük hayatımızda kullandığımız kelimeler yardımıyla insan mantığına en yakın doğrulukta denetim sağlayabilir ve model bilgisine ihtiyaç duymadan, güçlü ve kolay tasarım yapabilme yeteneğine sahiptir. Bu metot, çıkarım kurallarının oluşturulması için uzman bilgisinden faydalanır [10].

Son zamanlarda sinir ağları, genetik algoritmalar ve bulanık denetleyiciler gibi yapay zeka tekniklerine dayanan MPPT yöntemleri ortaya çıkmıştır. MPPT için bulanık

kontrolörlerin kullanımı geleneksel kontrolörlere kıyasla değişen atmosfer koşullarında daha iyi bir performans sağlaması nedeniyle daha uygundur. Maksimum güç noktası takibi için bulanık mantık kontrolörünün verimliliği, uzmanın seçtiği doğru hata hesabı ve kural tablosuna bağlıdır [6]. Bulanık mantık ile denetlenen bir MPPT sistemine ait blok şema Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. MPPT bulanık mantık denetleyici sistem [11]

Tipik bir bulanık mantık denetleyici sistemi, çıkış üretebilmek için dört temel bileşene ihtiyaç duymaktadır.

- Bulanıklaştırma ünitesi, sistemin giriş değişkenlerine karşılık gelen bulanık kümelerin ifade edildiği birimdir.
- Bilgi tabanı; sistemin veri ve kural tabanlarını oluşturan bölümdür. Bu bölüm çıkarım ünitesinin karar vermesinde yardımcı olmaktadır.
- Çıkarım ünitesi; bulanık mantık sisteminin temelidir. Giriş verilerini, işlenen kural tabanı ile birleştirerek sistemin sonucunu üretir.
- Netleştirme ünitesi; çıkarım ünitesinden gelen verinin durulaştırılmasında görevlidir [12].

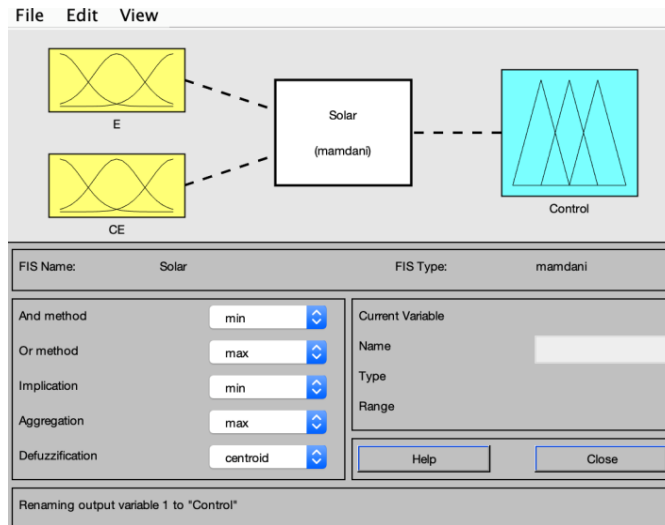
Bu çalışmanın amacı MPPT sisteminin kontrolünün adaptif bulanık mantık denetleyici kullanılarak sağlanmasıdır. Çalışma için hazırlanan mekanik sistem, literatürde yer alan MPPT sistemleri ile benzer özellikler taşımaktadır. Çift eksenli hareket yeteneği olan, her bir eksen için ayrı lineer motor içeren ve her bir motorun kontrolünün ayrı ayrı gerçekleştirildiği mekanizma yapısındadır. Çalışmanın diğer MPPT sistemlerinden farkı adaptif bulanık mantık denetleyici ile gerçekleştirilmiş olmasıdır.

Klasik bulanık mantık iki giriş değişkenine sahiptir. Bu değişkenler $E(k)$ hata ve $CE(k)$ hatadaki değişim olarak ifade edilmektedir. Hata ve hatadaki değişim Denklem (2) yardımıyla hesaplanmaktadır.

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

Hesaplama işleminde $P(k)$ fotovoltaik panelin anlık gücünü, $V(k)$ fotovoltaik panelin anlık gerilimini ifade etmektedir. $E(k)$ hata, anlık bir k noktasındaki çalışma noktasının fotovoltaik panel karakteristiğindeki maksimum güç noktasının solunda veya sağında olup olmadığını gösterirken, $CE(k)$ hata değişimi bu noktanın hareket yönünü ifade etmektedir.

Çalışmada Matlab/Simulink ortamında hazırlanan test sisteminde, denetleyicide kolaylığı ve sadeliği nedeniyle Mamdani çıkarım yöntemi kullanılmıştır. Bulanık sistemin girişleri E hata ve CE hatadaki değişim olarak belirlenerek deneysel kural tablosu oluşturulmuştur. Çıkış değişkenleri için panelin pozisyonuna bağlı olarak üyelik fonksiyonları oluşturularak denetleyici sistemi elde edilmektedir. Matlab/Simulink ortamında hazırlanan denetleyici Şekil 3'te verilmiştir.



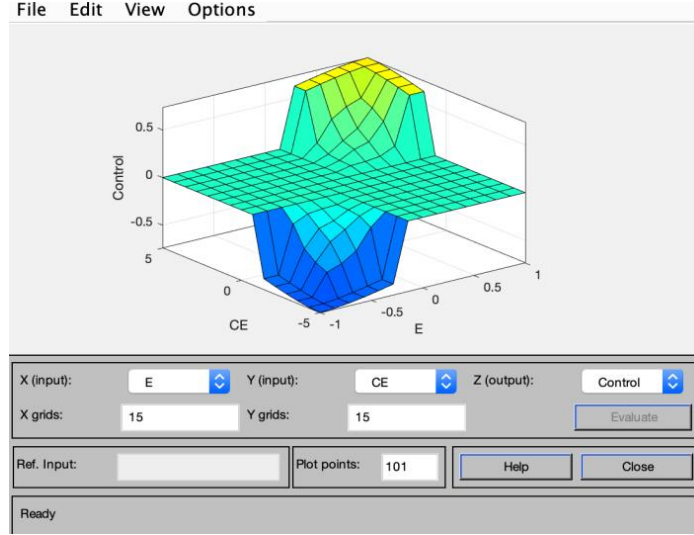
Şekil 3. Bulanık denetleyici

Sistem denetleyicisinin giriş ve çıkış değişkenleri belirlendikten sonra kural tablosu oluşturulmaktadır. Sistem için hazırlanan kural tablosu Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Kural tablosu

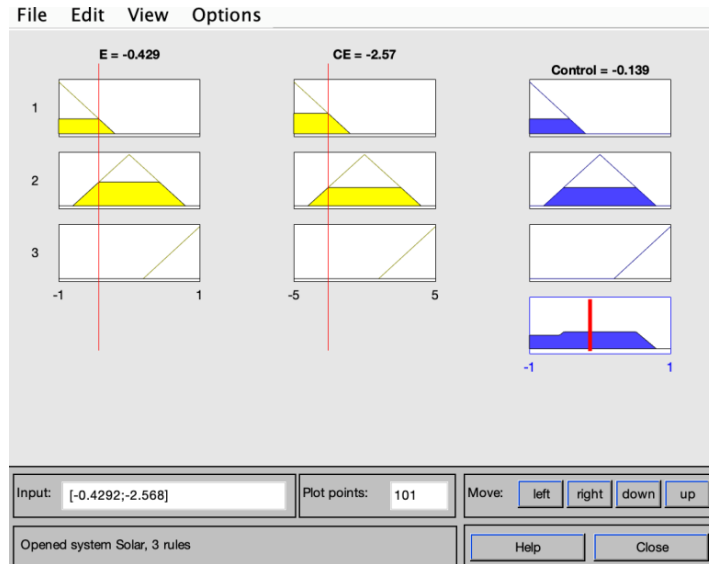
	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NB	NS	NS	ZE
NS	NB	NS	NS	ZE	PS
ZE	NS	NS	ZE	PS	PS
PS	NS	ZE	PS	PS	PB
PB	ZE	PS	PS	PB	PB

Kural tablosunda NB Negatif Büyük, NS Negatif Küçük, ZE Sıfır, PS Pozitif Küçük ve PB Pozitif Büyük olarak ifade edilmiştir. Sisteme uygulanan kural tablosu sonrasında Matlab/Simulink ile elde edilen yüzey çıkarımı Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Sistem yüzey çıkarımı

Elde edilen denetleyicide sistemin giriş değişkenleri, çıkış üyelik fonksiyonları ve kural tablosuna göre kontrol için sonuç üretilmektedir. Örnek değerler ile kontrol değişkeninin elde edildiği kural çıkarımına Şekil 5'te yer verilmiştir.



Şekil 5. Kural çıkarımı

Adaptif mekanizmanın amacı, bulanık mantık denetleyicide bulanıklaştırmada görev döngüsünün değiştirilmesidir. Bu yüzden güneş takip sistemlerinde bulanık denetimin adaptif olarak gerçekleştirilmesi daha iyi bir yanıt süresi ve daha yüksek bir

çıkış gücü sağlamaktadır. Adaptif mekanizma bölümleri 3 ana adımda çalışmaktadır. Bunlardan ilki yüksek frekanslı gürültüyü ortadan kaldırmak amacıyla maksimum güç hesaplaması için hareketli ortalama filtresini kullanır. Ana fikir, sinyalin değişimini tahmin etmek için hareketli bir penceredeki ortalama değerini hesaplanmasını kullanmaktır. Benzer şekilde, güneş ışığı yoğunluğu fotovoltaik modülün mevcut akımını etkiler. Bu nedenle mevcut akım eğiliminin tahmin edilmesi için Denklem (3) kullanılmaktadır [6].

$$P_{pv}(n) = \frac{P_{pv}(n-1) + P_{pv}(n-2)}{2}$$
$$I_{pv}(n) = \frac{I_{pv}(n-1) + I_{pv}(n-2)}{2} \quad (3)$$

Denklem 3'te sistemin parametreleri olarak hesaplanan I_{pv} panelin mevcut akımını, P_{pv} ise panelin mevcut gücünü ifade etmektedir. Denetleyici kullanılırken üyelik işlevleri, bulanık kurallar ve çıktı ölçeklendirme faktörü gibi ayarlanabilir parametrelerinden herhangi biri değişirse ve sistem bunu takip edebiliyorsa denetleyici adaptif olarak adlandırılır, aksi halde adaptif olmayan bir bulanık denetleyici olarak kullanılmaktadır [6].

Adaptif mekanizma, giriş değişkenlerindeki değişime bağlı olarak sistem kazancını otomatik olarak ayarlamaktadır. Adaptif denetleyicide kural tabanı hesaplanan kazanç faktörü kullanılarak tasarlanmaktadır. Kazanç faktörü α Denklem (4) ile belirtilen ifade ile tanımlanır.

$$\alpha : \text{Eğer hata (E) = NB ve hata değişimi (CE) = PB ise } \alpha = \text{VB} \quad (4)$$

Hesaplama mevcut değerlere dayanılarak, önceki değerler ile karşılaştırmalı olarak değişkenlerin farkları hesaplanır. Elde edilen sonuçlarda P_{pv} ve I_{pv} için fark değerlerinin pozitif veya negatif olduğu belirlenir. Bu durum, dört eğilim olarak özetlenebilir ve adaptif mekanizma için dört kural önerilebilir. Önerilen adaptif kural tablosu Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Adaptif kural tablosu

Kural	$[P_{pv}(n) - P_{pv}(n-1)] > 0$	$[I_{pv}(n) - I_{pv}(n-1)] > 0$	Sürüş	ΔK Seç
1	Doğru	Doğru	Az Artır	K1
2	Yanlış	Yanlış		
3	Doğru	Yanlış	Çok Artır	K2
4	Yanlış	Doğru		

Bu uyarlanabilir ΔK ve V_c değerinin arındırılması için, görev döngüsü kontrol voltajı ΔV_c ifadesi Denklem (5) ile tanımlanır.

$$\Delta V_c = V_c + \Delta K \quad (5)$$

ΔV_c kullanılarak sistemin motorlarının sürüş hızının artırılması ya da azaltılması sağlanır. Bu durumda, maksimum güç noktasının aramasını gerçekleştirmek üzere sistemden elde edilen eğilimin sağ ya da sol tarafına ve LDR değerlerine bağlı olarak üst ya da alt tarafına kontrol sağlamaktadır.

3. Sonuçlar

Bulanık mantık kontrollü sistemler, diğer akıllı sistemlere benzer şekilde güneşin konumu ve fotovoltaik panel üzerine düşen ışık miktarı gibi verileri analiz ederek güneşe yönelme konusunda kendi kararını verir. Bu çalışmada maksimum güç noktasının takibi ve güneş takip sisteminin kontrolü için denetleyicide adaptif bulanık mantık yöntemi kullanılarak kontrol sağlanmıştır. Adaptif bulanık mantık, sistemdeki verilerin değişimini algılayarak ulaşılmak istenen sonuca en yakın çıktıyı vermektedir. Böylece sistem kendi kontrol parametrelerini oluşturarak çalışmaktadır.

Önerilen denetleyici, güneş takip sistemi üzerinde sabit ve değişken atmosferik koşullar altında izlenmiştir. Elde edilen verilerle, önerilen adaptif bulanık kontrolör ve sabit sistem arasında karşılaştırmalı bir çalışma yapılmıştır. Sistemde giriş değişkenleri hata ve hatanın değişimi için üyelik fonksiyonları sınırları, çalışılan fotovoltaik panellerin karakteristik eğrilerine dayanarak belirlenmiştir ve en iyi performansın elde edilmesi için deneme yanılma yoluyla aralık belirleme için ayarlama yapılmıştır.

Giriş değişkenlerinden farklı olarak çıkış üyelik fonksiyonları ve kazanç faktörü α panel karakteristiğinden bağımsız olarak tanımlanmaktadır. Tablo 1'de verilen 25 bulanık mantık kuralı hata ve hatadaki değişimin lineer olmayan fonksiyonu α kazancının hesaplanması için kullanılmıştır. Kontrolörün kazancı, hata ve hatadaki değişimde tanımlanan bulanık kurullarla adaptif olarak ayarlanmaktadır.

Tasarlanan mekanizma, sabit ve hareketli olarak test edilerek farklı tarih ve saat aralıklarında ölçümler yapılmıştır. Önerilen sistem, farklı saat aralıklarında maksimum seviyede gerilim üretecek şekilde çalışmaktadır. Hava sıcaklığının yüksek olduğu ve panellerin ısındığı saat aralığında, sistemde literatürde kabul edilen seviyelerde düşüşler gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Ölçümlerde elde edilen verilere göre, hareketli ve adaptif

çalışan sistemde sabit sisteme göre daha fazla enerji elde edildiği görülmektedir. Ölçümlerden elde edilen verilerden bazıları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Ölçümlerden elde edilen veriler

Tarih	Saat	Gerilim Değeri (Volt) Hareketli Sistem	Gerilim Değeri (Volt) Sabit Sistem
02.07.2018	10:40:00	39,08 V	25,15 V
02.07.2018	12:00:00	38,77 V	32,15 V
02.07.2018	13:00:00	38,32 V	35,42 V
03.07.2018	09:45:00	39,22 V	26,36 V
03.07.2018	10:40:00	39,23 V	32,53 V
03.07.2018	11:00:00	39,05 V	33,08 V
03.07.2018	11:45:00	39,09 V	36,06 V
03.07.2018	12:00:00	39,76 V	36,53 V
03.07.2018	12:15:00	39,95 V	38,86 V
03.07.2018	13:00:00	40,35 V	39,80 V

Çalışma sonucunda simülasyon ve sistemin test sonuçları, önerilen kontrol denetleyicisinin sabit sistem ile karşılaştırıldığında daha iyi performans sağladığını ve maksimum güç noktasını izleyebildiğini göstermektedir. Tablo 3'te verilen tarih ve ölçüm değerlere göre adaptif sistemin sabit sisteme göre ortalama %20 daha avantajlı sonuç verdiği görülmektedir. Bu nedenle, sabit sistemlerde ve normal bulanık denetleyicili sistemlerin yapısında adaptif kazanımın kullanılması, elde edilecek enerji miktarını artıracak ve sistem performansını yükseltecektir. Ayrıca kontrol sisteminde daha güçlü ve daha hızlı işlemci türlerinin kullanılması ile işlemci üzerinde yapılan hesaplamaların daha hızlı ve kolay yapılabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Teşekkür

Çalışmamızda, 17401103 numaralı proje ile sağladığı destekten dolayı Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- [1] M. B. ATEŞ, H. DEMİR, E. ÜRESİN, Ş. TUNÇ, and H. ERDİ, "Dünya'da ve Türkiye'de Güneş Enerjisi," *Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi*, 2009.
- [2] R. ÇAKMAK and İ. H. ALTAŞ, "Bulanık Mantık Tabanlı MGNT Sistem

- Performansının Ani ve Yavaş Değişen Güneş Radyasyonu Koşullarında İncelenmesi," presented at the Elektrik Elektronik Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 2014.
- [3] M. F. BEYOĞLU, "Balıkesir İlinde Çift Eksenli Güneş Takip Sistemi ile Sabit Eksenli PV Sistemin Verimlerinin Karşılaştırılması," Elektrik Elektronik Mühendisliği, Balıkesir Üniversitesi, 2011.
- [4] D. Hohm and M. E. Ropp, "Comparative study of maximum power point tracking algorithms," *Progress in photovoltaics: Research and Applications*, vol. 11, no. 1, pp. 47-62, 2003.
- [5] F. Bouchafaa, I. Hamzaoui, and A. Hadjammar, "Fuzzy Logic Control for the tracking of maximum power point of a PV system," *Energy Procedia*, vol. 6, pp. 633-642, 2011.
- [6] O. Guenounou, B. Dahhou, and F. Chabour, "Adaptive fuzzy controller based MPPT for photovoltaic systems," *Energy Conversion and Management*, vol. 78, pp. 843-850, 2014.
- [7] B. Benlahbib, N. Bouarroudj, S. Mekhilef, T. Abdelkrim, A. Lakhdari, and F. Bouchafaa, "A Fuzzy Logic Controller Based on Maximum Power Point Tracking Algorithm for Partially Shaded PV Array-Experimental Validation," *Elektronika ir Elektrotehnika*, vol. 24, no. 4, pp. 38-44, 2018.
- [8] S. Choudhury and P. K. Rout, "Adaptive Fuzzy Logic Based MPPT Control for PV System under Partial Shading Condition," *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, vol. 5, no. 4, pp. 1252-1263, 2015.
- [9] J. Yuan *et al.*, "MPPT Strategy of PV System Based on Adaptive Fuzzy Control," in *Advanced Materials Research*, 2014, vol. 1008: Trans Tech Publ, pp. 63-67.
- [10] M. M. Refaat, Y. Atia, M. Sayed, and H. A. Fattah, "Adaptive Fuzzy Logic Controller as MPPT Optimization Technique Applied to Grid-Connected PV Systems," in *Modern Maximum Power Point Tracking Techniques for Photovoltaic Energy Systems*: Springer, 2020, pp. 247-281.
- [11] C. Robles Algarín, J. Taborda Giraldo, and O. Rodríguez Álvarez, "Fuzzy logic based MPPT controller for a PV system," *Energies*, vol. 10, no. 12, p. 2036, 2017.
- [12] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and control*, vol. 8, no. 3, pp. 338-353, 1965.