

## Güneş Takip Sistemlerinde Maksimum Çıkış Gerilimi için Bulanık-Genetik Algoritma Tabanlı Sistem Tasarımı

Turgay KAYA<sup>1\*</sup>, Hasan GÜLER<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Elazığ  
\*tkaya@firat.edu.tr, hasanguler@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 03.05.2016; Kabul/Accepted: 21.06.2016)

### Özet

Bu çalışmanın amacı fotovoltaik (PV) güneş panelinin çıkışındaki gerilimi maksimum yapabilmek için bulanık ve bulanık-genetik algoritma tabanlı iki eksenli güneş takip sisteminin tasarımını gerçekleştirmektir. Bu amaçla, öncelikle bir iki eksenli güneş takip sisteminin prototipi tasarlanmıştır. Tasarlanan sistem, fotovoltaik güneş paneli, güneş ışığını algılayan 4 adet algılayıcı ve 2 adet doğru akım (DA) motoru ve sürücü sistemden meydana gelmektedir. Çalışmada gerçekleştirilen sistemin yazılımı LabVIEW ortamında yazılmış ve National Instrument (NI) firmasının ürettiği NI-6009 veri toplama kartı kullanılarak sistem kontrol edilmiştir. Bulanık ve bulanık-genetik algoritma hibrit algoritması geliştirilerek, 2 adet DA motorunun konum kontrolü ile fotovoltaik güneş panelinin veriminin maksimum yapılmaya çalışılmıştır. Bir gün içerisindeki 3 farklı zaman diliminden elde edilen sonuçlar, enerji veriminin maksimum edilmesinde bulanık-genetik algoritmasının bulanık kontrolden daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir.

**Anahtar kelimeler:** Güneş Takip Sistemi, Genetik Algoritma, Bulanık Denetleyici, LabVIEW

## The Design of Fuzzy-Genetic Algorithm Based Sun Tracking System for Maximizing Output Voltage

### Abstract

The aim of this paper is to develop a fuzzy and fuzzy-genetic based dual-axis sun tracking system for maximizing solar output. Firstly, a dual axis sun tracking system was designed to reach this aim. The system consists of Photovoltaic (PV) solar cell, four sensors for detecting sunlight and two DC motors. LabVIEW software and NI 6009 DAQ assistance were used to control the system. Fuzzy and fuzzy-genetic hybrid algorithms were developed to control position of two DC motor to maximize efficiency of the solar PV cell. The results which are obtained under three different time zone of a day show that fuzzy-genetic algorithm gives better results over fuzzy control for maximizing energy efficiency.

**Keywords:** Sun Tracking System, Genetic Algorithm, Fuzzy Controller, LabVIEW

### 1. Giriş

Son yirmi yılda, güneş enerjisi kullanarak elektrik enerjisi üretme çalışmalarının gittikçe arttığı görülmektedir. Temiz enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisi, insanoğlunun artan enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir yere sahiptir. Endüstri, tarım ve ev gibi birçok alanda PV, güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmede kullanılmaktadır. PV panellerinden maksimum verim alabilmek için sabit takip sistemleri yerine güneşi takip edebilen sistemlere ihtiyaç duyulmaktadır. PV panel ve güneş ışığı arasındaki açı yaklaşık 90° olduğu zaman daha yüksek verim elde edilmektedir [1].

Literatürde birçok araştırmacının bir veya iki eksenli güneş takip sistemi ile ilgili çalışmalar gerçekleştirdikleri görülmektedir.

Lorenzo ve arkadaşları tek eksenli takip sistemi tasarlamış ve azimut açısını kullanarak sistemlerinde maksimum enerji elde etmeyi amaçlamışlardır [2]. Huang ve Sun geliştirmiş oldukları güneş takip sistemleri ile sabah, öğlen ve öğleden sonra olmak üzere üç farklı zaman dilimi için konum kontrolü gerçekleştirmişlerdir [3]. [4]'de yazarlar kuzey-güney eksenlerinde hareket edebilen takip sistemi tasarlamış ve gerçekleştirmiş oldukları bu sistemi su pompalarının enerji ihtiyaçlarını karşılamada kullanmışlardır. Ai ve arkadaşları çalışmalarında

üç pozisyonlu takip edici sistemlerini güneş ışınımının saatlik ve günlük karşılaştırmasını gerçekleştirmişler ve tek eksenli azimut açısı kontrolü ile saatlik açı kontrolü arasında önemli bir farkın olmadığını belirtmişlerdir [5]. [6]'da yazarlar 15 kW'lık PV sistemlerinin tek eksenli kontrolünü gerçekleştirerek bu sistemin sabitlenmiş güneş panellerinden % 20 daha fazla enerji sağladığını göstermişlerdir. Yazidi ve arkadaşları oransal-integral-türev (PID) ve bulanık kontrolör kullanarak düşük maliyetli iki eksenli güneş takip sistemi tasarlamışlardır. Çalışmada, PV panelin iki eksenindeki hareketini iki DA motor kullanarak gerçekleştirmişlerdir [7]. Kaynak [8]'de yazarlar iki eksenli güneş takip sistemini benzetim ve deneysel olarak gerçekleştirmiş ve bu çalışmanın % 30-40 daha fazla enerji sağladığını göstermişlerdir. Baltas ve arkadaşları çalışmalarında sabitlenmiş, adım adım değişen ve sürekli değişen takip sistemlerinde PV panel çıkış güçlerini karşılaştırarak, sürekli değişen takip sisteminin diğer iki duruma göre daha fazla enerji sağladığını göstermişlerdir [9]. Bakos ve arkadaşları iki eksenli güneş takip sistemi için çalışmalarında farklı bir yaklaşım önermişlerdir. Sistemlerinin kontrolü için C++ programlama dilini kullanmışlardır [10].

Batayneh ve arkadaşları, iki eksenli hareket edebilen PV panel ile maksimum verim elde edebilmek için akıllı bulanık tabanlı takip kontrol sistemi tasarlamışlardır. Sistemlerinde PV panel, iki DA motor ve algılayıcı olarak kullanılan dört adet fotovoltaik hücre kullanmışlardır [11]. Yazarlar [12]'de güneş takip sisteminin optimizasyonu için bulanık mantık karar destek sistemi gerçekleştirmişlerdir. Tasarlanan sistem yardımı ile düşük maliyetli yüksek verimli bir takip sistemi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Lu ve Shih, PV panelin verimini artırabilmek için bulanık mantık kontrollü çift eksenli bir güneş takip sistemi tasarlamışlardır [13]. Alata ve arkadaşları bulanık mantık tabanlı çok amaçlı güneş takip sistemi tasarlamış ve çalışmalarında modelleme ve kontrol tasarımı için Sugeno çıkarım sistemi kullanmış, bulanık kuralların belirlenmesi için de ANFIS (Adaptive neuro-fuzzy inference system or Adaptive Network Based Fuzzy Inference Systems) kullanmışlardır [14]. Yazarlar [15]'de PV panelin konum kontrolü için bulanık mantık

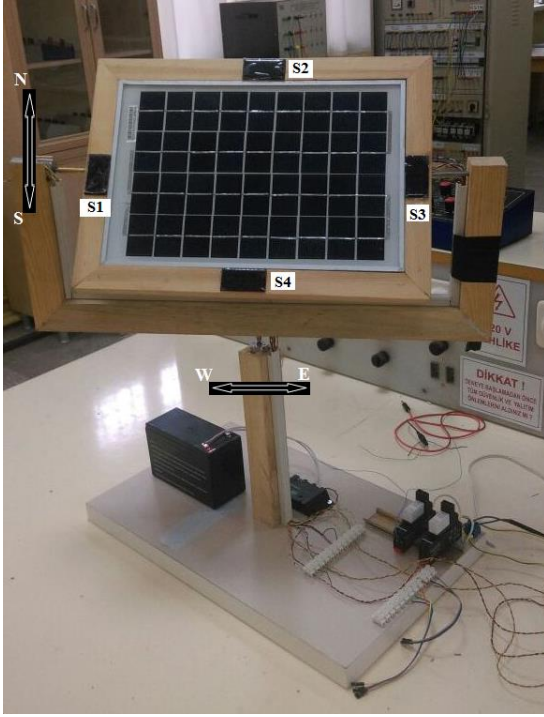
sistem kullanarak yeni bir maksimum güç noktası takibi metodu (MPPT) geliştirmişlerdir. Çalışmada ayrıca enerji verimine göre oransal-integral kontrol (PI) ve bulanık mantık kontrolün performanslarının karşılaştırmaları yapılmıştır.

Akıllı hesaplama yöntemlerinden biri olan Yapay Sinir Ağları (YSA) güneş takip sistemlerinin kontrolünde yaygın bir şekilde kullanılmıştır [16-19]. Fakat YSA ile yapılan çalışmalarda günlük güneş ışınımı verilerine ihtiyaç duyulmasından ötürü güneş takip sistemlerinin sürekli kontrolünde çokça tercih edilmemiştir. Ayrıca literatür incelendiğinde bir diğer akıllı kontrol metodu olan Genetik Algoritma (GA) kullanılarak yapılmış çok az çalışma olduğu görülmektedir [20].

Bu çalışmanın amacı, güneş PV panellerinin verimini maksimum yapmak için akıllı kontrol yapısına sahip çift eksenli güneş takip sistemi geliştirmektir. İki DA motorun konum kontrolünü gerçekleştirmek için bulanık ve bulanık-genetik algoritma geliştirilmiştir. Tasarımı gerçekleştirilen sistem PV panel, iki DA motor ve güneş ışınımını algılayan dört adet algılayıcıdan oluşmaktadır. Kontrol algoritmalarını oluşturmak için LabVIEW yazılımı, motorların kontrolü için ise NI-6009 veri toplama kartı kullanılmıştır. LabVIEW yazılımı akıllı kontrol metodlarının kolayca programlanabilmesi ve kullanıcı ara yüzü ile sistem takibinin kolay yapılabilmesinden ötürü tercih edilmiştir. Çalışmada günün 3 farklı zaman dilimi için sonuçlar alınmış ve elde edilen sonuçlara göre bulanık-genetik algoritmanın aktif olduğu durumlarda daha fazla enerji verimi elde edildiği görülmüştür.

## 2. Yöntem

Şekil 1'de gösterilen sistem çift eksenli güneş takip sistemi 10 W'lık PV panel, iki DA motor ve 4 adet algılayıcıdan oluşmaktadır. Sistem, LabVIEW yazılımının kullanıcı ara yüzüne eklenen bir buton yardımıyla hem bulanık kontrol hem de bulanık-genetik algoritmanın çalıştırılması sağlayacak şekilde tasarlanmıştır. Sistemde kullanılan PV panel iki DA motor yardımıyla hareket ettirilmektedir. İlk DA motor doğu-batı ekseninde açılma hareketi sağlarken ikinci motor kuzey-güney ekseninde açılma hareketi gerçekleştirmektedir.

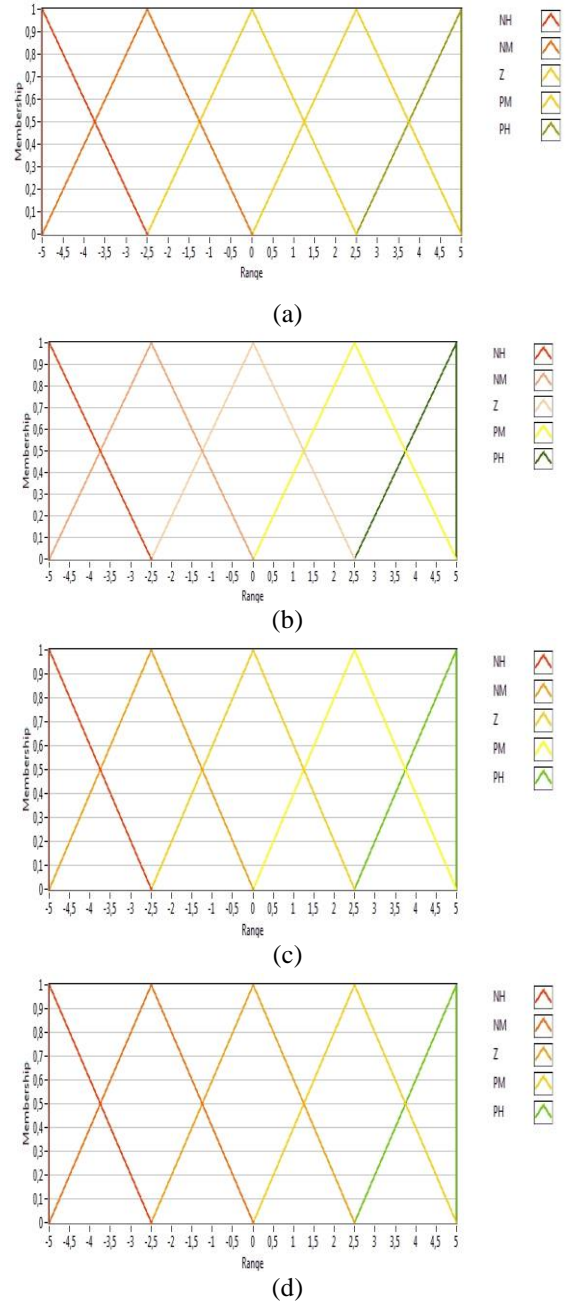


Şekil 1. Geliştirilen çift eksenli takip sistem prototipi.

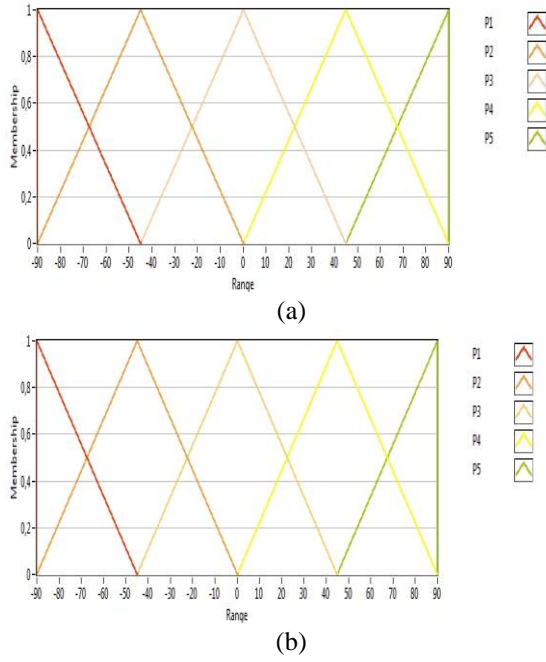
Sistemde S1-S3 ve S2-S4 güneş ışınımı algılayan algılayıcılar karşılıklı olarak yerleştirilmiştir. Sistemde güneş ışınımını algılayıcılar yardımıyla ölçülmekte, eğer algılayıcı çiftleri farklı bir gerilim ölçmeleri durumunda, PV panel ilgili motor yardımıyla daha fazla gerilim üreten algılayıcı tarafına doğru hareket ettirilmektedir. Bulanık mantık kontrolörün ilk girişi S1-S3 ile S2-S4 algılayıcıları arasındaki fark olarak seçilmiş ve bu fark  $e$  olarak gösterilmiştir. Bulanık mantık kontrolörün diğer girişi ise bu hataların türevi olup  $de$  olarak gösterilmiştir. Bulanık mantık kontrolörün çıkışları ise PV paneli hareket ettiren motorlara ait pozisyon açılarıdır.

## 2.1. Bulanık mantık kontrolör tasarımı

Tasarlanan sistem için LabVIEW'de gerçekleştirilen bulanık kontrolör tasarımında PID ve Bulanık mantık araç kutusu kullanılmıştır. Kontrolörde kullanılan giriş ve çıkış değişkenleri için üçgen üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Giriş ve çıkışın değişimleri için kullanılan üyelik fonksiyonları sırasıyla Şekil 2 ve 3'te verilmiştir.



Şekil 2. Giriş değişkenleri için üyelik fonksiyonları  
a) e1, b) de1, c) e2, d) de2



Şekil 3. Çıkış değişkenleri için üyelik fonksiyonları  
a) Motor 1, b) Motor 2

Bulanık kontrolörün her bir çıkışı için ayrı ayrı yirmi beş adet kural oluşturulmuştur. Oluşturulan bu kurallar Tablo 1 ve Tablo 2 de verilmiştir.

Tablo 1. Motor 1 için kural tablosu

e1/de1	NH	NM	Z	PM	PH
NH	P1	P1	P2	P2	P3
NM	P1	P2	P2	P3	P4
Z	P2	P2	P3	P4	P4
PM	P2	P3	P4	P4	P5
PH	P3	P4	P4	P5	P5

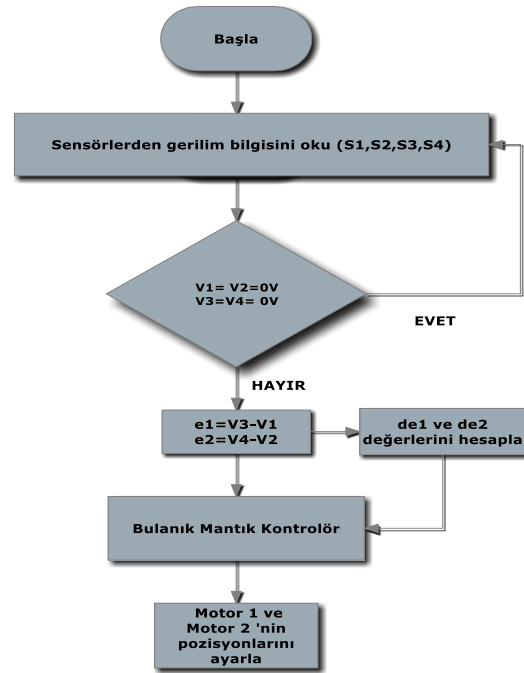
Tablo 2. Motor 2 için kural tablosu

e2/de2	NH	NM	Z	PM	PH
NH	P1	P1	P2	P2	P3
NM	P1	P2	P2	P3	P4
Z	P2	P2	P3	P4	P4
PM	P2	P3	P4	P4	P5
PH	P3	P4	P4	P5	P5

Kural tablolarında, NH negatif yüksek; NM negatif orta, Z sıfır, PM pozitif orta ve PH ise pozitif yüksek değerlerini göstermektedir. P1 değerinden P5 değerine kadar olan değişimler ise motorların pozisyonlarını göstermektedir. Sistemde kullanılan DA motorların hızları Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM, Pulse Width

Modulation) yöntemi yardımıyla kontrol edilmektedir. Bulanık kontrolörün çıkış değerleri  $-90^{\circ}$  ile  $+90^{\circ}$  arasındaki açı değerleridir. Yapılan çalışmada geliştirilen algoritma içerisinde bulanık kontrolör tarafından tahmin edilen açı değerleri, LabVIEW'de gerçekleştirilen sistem için kullanılan PWM'in görev periyodunu ayarlamak için kullanılmaktadır.

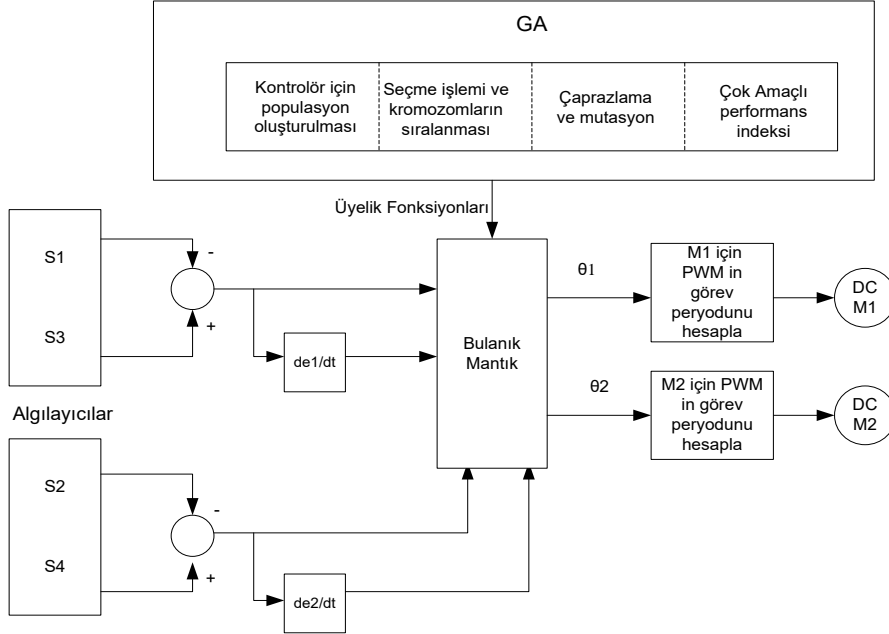
Bulanık kontrollü güneş takip sistemine ait akış diyagramı Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Bulanık kontrolör tabanlı güneş takip sistemine ait akış diyagramı

## 2.2. Bulanık-genetik kontrolör tasarımı

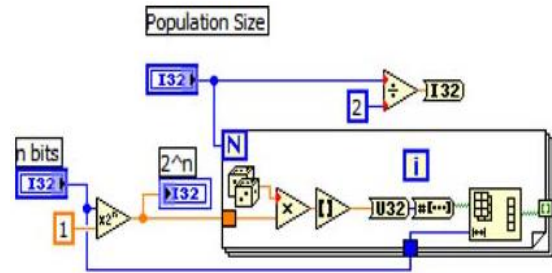
Çalışmada kullanılan Bulanık-Genetik algoritma kontrolör tasarımları için, hem bulanık hem de genetik kontrolörler tasarımları ayrı ayrı olarak LabVIEW'de gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan bu kontrolörlerin giriş ve çıkışları için başlangıç üyelik fonksiyonlarının değerleri ilk bulanık denetleyici ile aynıdır. Ancak, giriş ve çıkış üyelik fonksiyonları için orta değerler genetik algoritma kullanılarak ayarlanmaktadır. Bu sayede de bulanık kontrolör düzgün bir şekilde optimize edilmiştir. Sistemde kullanılan genetik algoritma akıllı kontrol blokları yardımıyla oluşturulmuştur. Genetik algoritma tabanlı bulanık kontrolöre ait akış diyagramı Şekil 5'te gösterilmiştir [21].



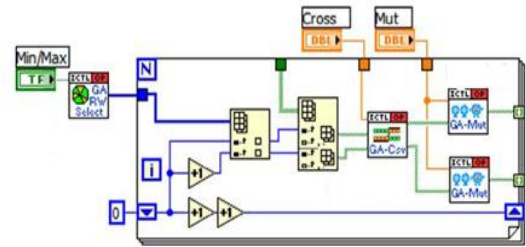
Şekil 5. Güneş takip sistemi için genetik tabanlı bulanık kontrolöre ait akış diyagramı

GA'nın bu çalışmada kullanım amacı, problemin optimizasyonu için genel maksimum ve minimum noktalarının hesaplanmasında kullanmaktır. GA, başlangıç popülasyonu, seçim, çaprazlama ve mutasyon gibi dört temel bileşene sahiptir. Bunlardan başlangıç popülasyonu, yeniden üretim için popülasyon içerisindeki birey adı verilen kromozomların rasgele üretilmesiyle elde edilir. Popülasyon içerisindeki bireylerin uygunluk değerleri belirlendikten sonra uygunluk değeri yüksek olan kromozomlar diğer kromozomlar ile çaprazlama işlemine uğrayacak ve yeni bireyler ile kendilerini gelecek nesillerde temsil edecekken, uygunluk değeri kötü olan kromozomlar gelecek nesillerde daha az yer bulacak belki de yer bulamayarak yok olacaktır. Genetik algoritmanın bir diğer operatörü olan çaprazlama işleminde ise seçilen iki kromozomun yine seçilen bir çaprazlama noktasına göre yeni bireylerin ilk kısımları bu çaprazlama noktasından önceki genlerden alınarak oluşturulurken, çaprazlama noktası sonrasındaki genler ise karşılıklı yer değiştirilerek yapılmaktadır. Böylece yeni iki birey elde edilerek GA'nın arama uzayındaki sonuca ulaşacak birey (kromozomların) çeşitliliği sağlanmış olacaktır [22]. GA'nın son operatörü olan mutasyon işlemi ise arama uzayında sonuca ulaşmak için yeni bireylerin

üretilmesinde çeşitliliğin sağlanamaması durumunda aramanın belirli bir noktada takılmasını önlemek için yapılan bir işlemdir. Popülasyon içerisindeki kromozomların bir veya birkaçı değişikliğe uğratarak (gen değeri değiştirilerek) yeni bireylerin aramaya katılması sağlanmaktadır. GA'nın bu operatörlerinin LabVIEW ortamında gerçekleştirilmesini gösteren yapılar sırasıyla Şekil 6 ve 7'de verilmiştir.



Şekil 6. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması



**Şekil 7.** Seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesi

GA, kaynak [21]'de bahsedildiği gibi bulanık mantık kontrolörün giriş ve çıkışlarına ait üyelik fonksiyonlarının optimizasyonunu yapmak için kullanılmıştır. Geliştirilen sistemde üçgen üyelik fonksiyonları kullanılmış olup dört giriş ve iki çıkış değişkenleri için beş adet bulanık mantık üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Bulanık kontrolörde kullanılan üyelik fonksiyonları y-eksenine göre simetriktir. Kontrolör tasarımında kullanılan GA ise giriş ve çıkışlara ait üyelik fonksiyonlarının merkez noktalarını ayarlamakta kullanılmaktadır. Seçilen kromozomların ilk beş gen değeri Motor 1, son beş gen değeri ise Motor 2 için kullanılmıştır. GA'da başarımlık ölçütü veya başka bir ifadeyle uygunluk fonksiyonu denklem 1'de verilen eşitliğe göre seçilmiştir.

$$F = \int_0^t |e|tdt + \varepsilon \quad (1)$$

Burada F başarımlık ölçütü e, ilgili algılayıcılar arasındaki hata miktarını  $\varepsilon$  ise sistem cevabındaki maksimum aşma miktarını temsil etmektedir.

Bu çalışmada, bulanık kontrolör GA tarafından optimize edilen 10 parametre (Bulanık sistemin giriş-çıkış üyelik fonksiyon sayısı) değerine sahiptir. GA'da başlangıç popülasyonunu oluşturmak için 30 adet kromozom kullanılmış ve bu kromozomlar rastgele olarak seçilmişlerdir. Her bir kromozomun uygunluk değeri her generasyon için denklem 1 kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplanan uygunluk değerlerine göre kromozomlar popülasyon içerisinde iyiden kötüye doğru sıralanırlar. Popülasyon içerisinde kromozomlar kendi aralarında çaprazlama işlemine uğrayarak yeni bireyler oluşturulmakta ve generasyon boyunca popülasyon sayısı sabit tutulmaktadır.

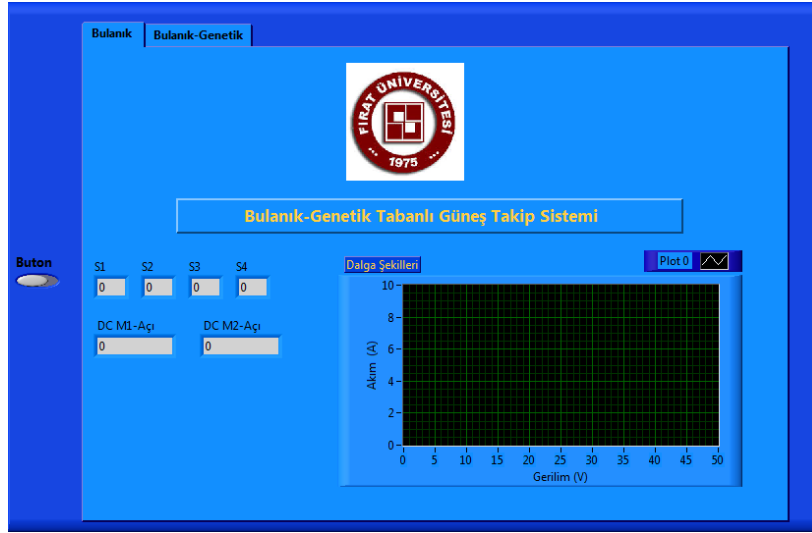
Genetik tabanlı bulanık kontrolör için GA'nın değerleri çalışma sırasında deneme-yanılma yöntemi yardımıyla hesaplanmış ve sistem için en iyi değerler Tablo 3'te gösterilmiştir. Elde edilen bu değerler LabVIEW bulanık-genetik algoritması için sabit olarak kabul edilmiş ve program içerisinde kullanılmıştır.

**Tablo 3.** GA parametreleri

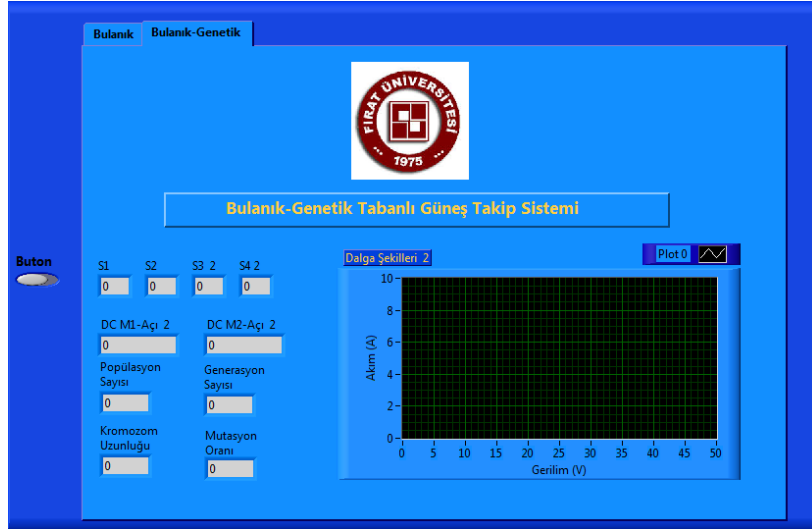
Parametre	Değer/Yöntem
Popülasyon boyutu	30
Generasyon sayısı	150
Kromozom uzunluğu	10
Seçim yöntemi	Rulet tekerleği
Kromozom tipi	Düzgün dağılımlı
Mutasyon oranı	0.1

### 3. Deneysel Sonuçlar

Bu çalışmada, PV panel çıkışında maksimum verim elde edebilmek için akıllı çift eksenli güneş takip sisteminin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla çalışmada, iki farklı akıllı kontrol (bulanık ve bulanık-genetik algoritmaları) iki DA motorun pozisyon kontrolü için tasarlanmıştır. Bu çalışmanın amacı, güneş takip sisteminde bulanık kontrol yapısının üzerine GA ekleyerek bulanık-genetik algoritma kontrol tasarımını gerçekleştirme ve yeni yapının etkinliğini değerlendirmektir. Çalışmada geliştirilen bu iki farklı akıllı kontrolör yapıları LabVIEW ortamında tasarlanmış ve çalışmada kullanılan iki DA motorun kontrolü NI-9600 DAQ kartı yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Kullanılan yazılım yardımıyla geliştirilen bulanık ve bulanık-genetik algoritmaları için kullanıcı arayüzleri sırasıyla Şekil 8 ve 9'da verilmiştir.



Şekil 8. Bulanık kontrol için geliştirilmiş kullanıcı arayüz bölümü

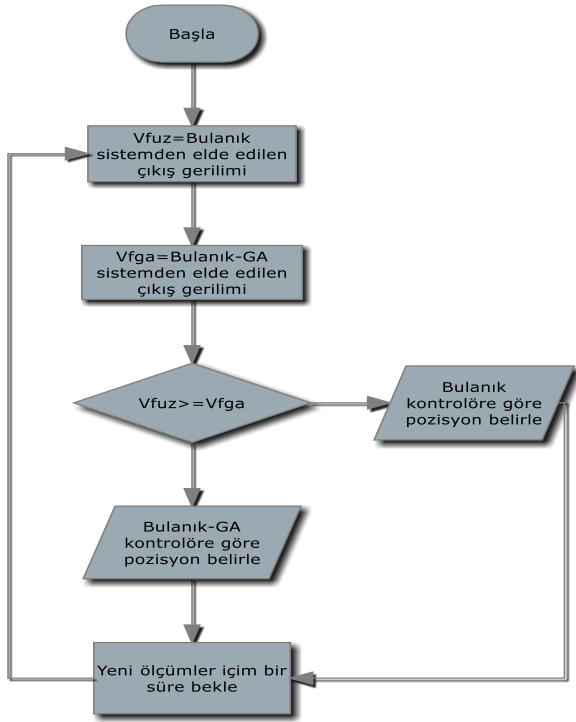


Şekil 9. Bulanık-genetik algoritma kontrolü için geliştirilen kullanıcı arayüz bölümü

Güneş takip sisteminin çalışma prensibini gösteren akış diyagramı Şekil 10'da verilmiştir. Çalışmada kullanılan güneş takip sisteminin çalışma prensibinin temel amacı, PV panel çıkışında elde edilen gerilim değerini maksimum yapabilmektir. Sistemde PV panellerin pozisyonları hangi kontrolörde çıkış gerilimi daha fazla ise o kontrolör tarafından hesaplanan değerlere göre hareket etmektedir.

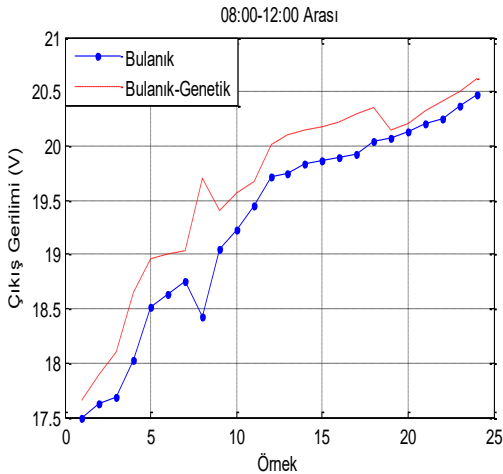
Öyle ki, bulanık kontrolör ile hesaplanan PV panel çıkış gerilimi bulanık-genetik algoritma kontrolör ile hesaplanan çıkış gerilim değerinden daha fazla ise bulanık kontrolör ile bulunan pozisyon konumuna paneller konumlandırılırken bunun tam tersi olduğu durumda ise PV paneller bulanık-genetik kontrolör ile bulunan pozisyona konumlandırılırlar.



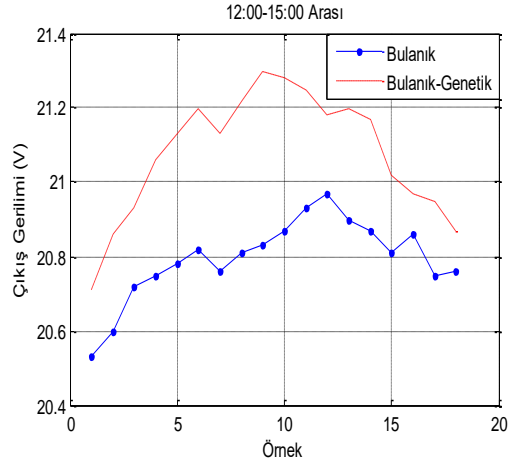


Şekil 10. Güneş takip sisteminin çalışma prensibine ait akış diyagramı

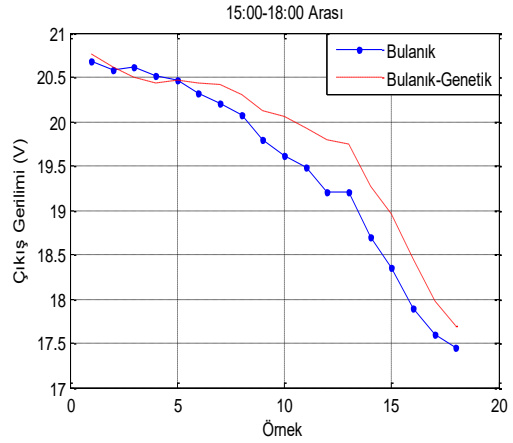
PV panel çıkışından ölçülen gerilim değerinin bulanık ve bulanık-genetik algoritma kontrolör kullanılarak elde edilen değerlerine göre değişim grafikleri Şekil 11-13'te verilmiştir. Elde edilen bu değerler bir günlük için üç farklı zaman dilimi alınarak elde edilmiştir.



Şekil 11. Bulanık ve bulanık-genetik algoritma için ölçülen çıkış gerilimleri, 08:00-12:00 arası



Şekil 12. Bulanık ve bulanık-genetik algoritma için ölçülen çıkış gerilimleri, 12:00-15:00 arası



Şekil 13. Bulanık ve bulanık-genetik algoritma için ölçülen çıkış gerilimleri, 15:00-18:00 arası

#### 4. Sonuç ve Tartışma

Güneş enerjisi sistemleri evlerde, tarım alanlarında ve endüstri gibi çok farklı alanlarda fazlaca kullanılmaktadır. Güneş enerjisi insanoğlunun duyduğu enerji ihtiyacını güneş ışınlarından faydalanarak PV paneller yardımıyla karşılamak için kullanılabilir. Güneş takip sistemleri güneş enerjisinin verimini maksimum yapabilmek için geliştirilmektedirler. Bu sistemlerde PV panel, bir veya iki eksenle hareket edebilmek için sürücü sistemler ve hareket ettirici yapılar ile ışık bilgisini algılamada kullanılan algılayıcılar kullanılmaktadır. Güneş takip sistemlerinde PV panellerin konum kontrolleri için literatürde klasik ve akıllı kontrol teknikleri gibi farklı kontrol teknikleri kullanılmaktadır. Güneş takip



sistemlerinin kontrorlünde kullanılan akıllı kontrol tekniklerinde genellikle bulanık, sinirsel-bulanık gibi hibrit kontrol teknikleri kullanılmaktadır. Ancak literatürde, bu sistemde kullanılan bulanık-genetik algoritma gibi hibrit bir sistemden oluşan çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmada, LabVIEW ortamında PV panel çıkış verimini maksimum yapabilmek için hibrit ve çift eksenli güneş takip sisteminin tasarımı gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, iki DA motorun konum kontrolleri için bulanık ve bulanık-genetik algoritma programları geliştirilmiştir. Sistem, iki adet DA motor, dört adet algılayıcı ve PV panelden oluşmaktadır. Geliştirilen kontrol algoritmaları, PV panellerin konumlarını belirlemek için kullanılırken, her bir algoritma için PV panel çıkış gerilimleri ayrı ayrı ölçülmüştür. Her bir kontrol algoritması ile kontrol edilen PV panel çıkış gerilim değerleri karşılaştırılmış ve en iyi çıkış gerilimini veren kontrol algoritmasının bulunmuş olduğu değerlere göre PV panel konumu ayarlanmaktadır.

Geliştirilen sistem bir gün içerisindeki üç farklı zaman dilimi için çalıştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre (Şekil 11-13) bulanık-genetik algoritma kullanılarak yapılan kontrolde PV panel çıkışında elde edilen gerilim değeri daha fazladır. Ayrıca, üç farklı zaman dilimi içerisinde çalıştırılan sistem için PV panel çıkışında elde edilen ortalama çıkış gerilimi de bulanık-genetik algoritma kullanılarak yapılan kontrol sisteminden daha fazladır. Bu nedenle güneş takip sisteminde bulanık-genetik algoritma kullanılarak yapılan kontrol, tek başına bulanık kontrolör kullanılarak yapılan sistemden daha iyi sonuç verdiği çalışma sırasında gözlemlenmiştir.

### **Teşekkür**

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (FÜBAP) MF.13.21. nolu proje kapsamında desteklenmektedir.

### **5. Kaynaklar**

1. H. Mousazadeh, A. Keyhani, A. Javadi, H. Mobli, K. Abrinia, A. Sharifi. (2009). A Review of Principle and Sun-Tracking Methods for Maximizing Solar Systems Output, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **13**: 1800-1818.

2. E. Lorenzo, M. Perez, A. Ezapeleta, J. Acedo. (2002). Design of Tracking Photovoltaic System with a Single Vertical Axis, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications* **10**: 533-543.
3. B.J. Huang, F.S. Sun. (2007). Feasibility Study of One Axis Three Positions Tracking Solar PV With Low Concentration Ratio Reflector, *Energy Conversion and Management*, **48**: 1273-1280.
4. J. Bione, O.C. Vilela, N. Fraidenraich. (2004). Comparison of the Performance of PV Water Pumping System Driven by Fixed, Tracking and V-Trough Generators, *Solar Energy*, **76**: 703-711.
5. B. Ai, H. Shen, Q. Ban, B. Ji, X. Liao. (2003). Calculation of The Hourly and Daily Radiation Incident on Three Step Tracking Planes". *Energy Conversion and Management*; **44**: 1999-2011.
6. M. Stern, G. Duran, G. Fourer, K. Mackamul, W. Whalen, M.V. Loo. (1998). Development of a low-cost integrated 20-kW-AC solar tracking sub-array for gridconnected PV power system applications" Final technical report. NRELISR- 520-2475 9. National Renewable Energy Laboratory, A National Laboratory of the U.S. Department of Energy Managed by Midwest Research Institute for the U.S. Department of Energy.
7. A. Yazidi, F. Betin, G. Notton, G.A. Capolino.(2006). Low Cost Two-Axis Solar Tracker with High Precision Positioning, in: *International Symposium on Environment Identities and Mediterranean Area- ISEIMA*, pp. 211-216.
8. Pavel YV, Gonzalez HJ, Vorobiev YV. (2004). Optimization of The Solar Energy Collection in Tracking and Non-Tracking PV Solar System. In: *Proceedings of the 1st international conference on electrical and electronics engineering, ICEEE*; pp. 310-314.
9. P. Baltas, M. Tortoreli, P.E. Russell. (1986). Evaluation of Power Output for Fixed and Step Tracking PV Arrays. *Solar Energy*, vol.37-20, 147-163.
10. G.C. Bakos. (2006). Design And Construction of a Two-Axis Sun Tracking System For Parabolic Trough Collector (PTC) Efficiency Improvement", *Renewable Energy*, **31**: 2411-2421.
11. W. Batayneh, A. Owais, M. Nairoukh. (2013). An Intelligent Fuzzy Based Tracking Controller for a Dual-Axis Solar PV System, *Automation in Construction* **29**: 100-106.
12. I. Stamatescu, G. Stamatescu, N. Arghira, I. Făgărăș, S.S. Iliescu. (2012). Fuzzy Decision Support system for Solar Tracking Optimization" 12th International Conference on Development and Application Systems, Suceava, Romania, 16-20.

13. H.C. Lu, T.L. Shih. (2010). Fuzzy System Control Design With Application to Solar Panel Active Dual-Axis Sun Tracker System, in: Proceeding of the IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics (SMC), 1:10-13, pp. 1878–1883.
14. M. Alata, M.A. Al-Nimr, Y. Qaroush. (2005). Developing A Multipurpose Sun Tracking System Using Fuzzy Control, Energy Conversion and Management, **46**: 1229–1245.
15. A.D. Karlis, T.L. Kottas, Y.S. Boutalis, (2007). A Novel Maximum Power Point Tracking Method For PV Systems Using Fuzzy Cognitive Networks (FCN), Electric Power Systems Research, **77**: 315–327.
16. T.A. Ocran, C. Junyi, C. Binggang, S. Xinghua. (2005). Artificial Neural Network Maximum Power Point Tracker For Solar Electric Vehicle, Tsinghua Science and Technology, **10-2**: 204–208.
17. A. Rai, N.D. Kaushika, B. Singh, N. Agarwal. (2011). Simulation Model of ANN Based Maximum Power Point Tracking Controller for Solar PV System, Solar Energy Materials and Solar Cells **95**: 773–778.
18. A.B.G. Bahgat, N.H. Helwa, G.E. Ahmad, E.T. El Shenawy. (2005). Maximum Power Point Traking Controller For PV Systems Using Neural Networks, Renewable Energy, **30**: 1257–1268.
19. A. Sozen, T. Menlik, S. Unvar. (2008). Determination of Efficiency of Flat-Plate Solar Collectors Using Neural Network Approach, Expert Systems with Applications, **35**: 1533–1539.
20. R. Ramaprabha, B.L. Mathu. (2012). Genetic Algorithm Based Maximum Power Point Tracking For Partially Shaded Solar Photovoltaic Array. Int J Res Rev Inf Sci (IJRRIS), **2**: 161–163.
21. N. Ozturk, E. Celik. (2012). Speed Control Of Permanent Magnet Synchronous Motors Using Fuzzy Controller Based On Genetic Algorithms, Electrical Power and Energy Systems, **43**: 889–898.
22. P.P. Cruz, F.D.R. Figueroa. (2010). Intelligent Control Systems with LabVIEW, Springer London Dordrecht Heidelberg New York.