

# Genetik-Bulanık Kontrolörün DC Motora Uygulanması

Mehmet BULUT\*, M. Bahattin KURT\*\*, Metin DEMİRTAŞ\*\*

\*Elektrik Üretim A.Ş. Genel Müdürlüğü APK Daire Başkanlığı, Bahçelievler-ANKARA

\*\*Dicle Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, DİYARBAKIR

## ÖZET

Bulanık PI kontrolör ile klasik PI kontrolör arasında fiziksel bir ilişki vardır. Bulanık kontrolörün ana problemlerinden biri fazla miktarda ayarlanacak parametrelere sahip olmasıdır. İyi ayarlanmış bulanık kontrolör zamanla değişen sistemler için daha kararlı ve daha dayanıklı olmaktadır. Bu makale, genetik algoritmalar kullanılarak kontrol işaretini hesaplamak için uzman bilgisine ihtiyaç duyulmadan, gerekli olan kural tabanların nasıl elde edileceğine dair bir çözüm sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, genetik bulanık kontrolörün klasik kontrolörden çok daha iyi bir performansa sahip olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: PI kontrol, Bulanık Mantık, Genetik Algoritmalar, DC Motor

## Application of Genetic-Fuzzy Controller to a DC Motor

### ABSTRACT

A fuzzy PI controllers are physically related to classical PI controller. One of the main problems of fuzzy controllers is big amount of parameters to be tuned. Because, well tuned fuzzy controller can be also more stable and more robust for the time varying systems. This paper presents a solution how to obtain rule-base needed without expert information for computation of control signal by using genetic algorithms. The results show that the genetic fuzzy controller has superior performance better than the classical fuzzy controller.

**Keywords:** PI control, Fuzzy Logic, Genetic algorithms, DC Motor

### 1. GİRİŞ

Kontrol işlemlerine günlük hayatın hemen her anında rastlanır. Bilinçli yada bilinçsiz olarak kontrol işlemleri uygulanır. Kontrol işlemlerinin birçoğu otomatik olarak bir insan girişimi olmadan gerçekleştirilir. Kontrol işlemlerinin belirlenmesi ve otomatik kontrol mekanizmalarının kurulması, öncelikle bu işlemleri gerektiren amaçların ve istenen davranışların kesin biçimde tanımlanmasını, buna bağlı olarak da, olayların olduğu ortamın, olayların sebep-sonuç ilişkilerinin ve davranış özelliklerinin incelenmesini gerektirir. Bilgisayarların mühendislik uygulamalarında yaygın biçimde kullanılması, kontrol yöntemlerinin daha etkin ve modern olarak uygulanmasına yol açmıştır.

Günümüzde en basit uygulama alanlarından en karmaşık endüstriyel tesis uygulamalarına kadar her yerde yaygın olarak kullanılan otomatik kontrol sistemleri, temelde tüm fiziksel ve kimyasal değişkenlerin insan gücüne bağlı olmaksızın denetlenmesi ve kontrol altında tutulması amacıyla hizmet eder.

Domestik veya endüstriyel ortamda gerçekleştirilmiş bir otomatik kontrol sisteminden,

- Sistemin güvenliği ve kararlılığını sağlaması
- Kolay anlaşılır, tamir edilebilir ve değiştirilebilir olması

- Sistemin performansını istenen düzeye çıkarılması
- Yatırım ve işletme maliyeti açısından ucuz olması istenir.

Sistem elemanlarının seçimi ve ayarı bu ilkeler doğrultusunda yapılır. Yukarıda da belirtildiği gibi bu koşulların gerçekleştirilmesi için kontrol edilecek sistemin yapısının ve dinamik özelliklerinin çok iyi bilinmesi gerekir. Bulanık mantık kullanılarak tasarlanan kontrolörde de, kural tabanların oluşturulabilmesi için, uzman bilgisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle kural tabanları oluşturacak uzman, sistemin yapısını ve dinamik özelliklerini ne kadar iyi bilirse oluşturacağı kural tabanları ve uyguladığı sistemin cevabı da o derece verimli ve dayanıklı olacaktır.

Yapılan çalışmada, Doğru Akım (DC) motorunun hız kontrolünü gerçekleştiren oransal-integral (PI) tipi bulanık kontrolör tasarlanmıştır. Bu nedenle, önce ikinci bölümde bulanık mantık ve genetik algoritmalar hakkında genel bilgi verilmiştir. Üçüncü bölümde, genetik algoritmalar kullanılarak uzman bilgisine gerek kalmaksızın kural tabanların elde edilmesi anlatılmıştır. Dördüncü bölümde ise, deneysel çalışma ve tasarlanan kontrolörün sonuçları verilmiş ve bu sonuçların klasik bulanık kontrolör sonuçlarıyla

karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışmanın neticesi ise sonuç ve öneriler kısmında verilmiştir.

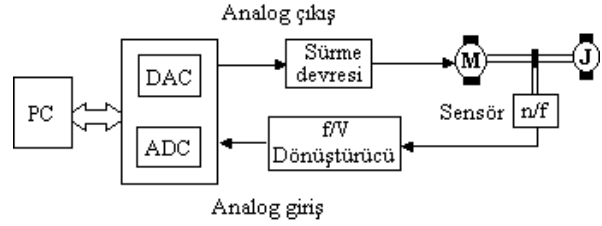
## 2. BULANIK MANTIK VE GENETİK ALGORİTMALAR

Bulanık mantık (Fuzzy Logic) kavramı ilk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Prof. Lotfi A. Zadeh'in bu konu üzerinde ilk makalelerini yayınlamasıyla duyuldu. O tarihten sonra önemi gittikçe artarak günümüze kadar gelen bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışılabilmesi için kurulmuş katı bir matematik düzen olarak tanımlanabilir. Genetik algoritmalar, doğal seçme ilkelerine dayanan bir arama ve optimizasyon yöntemidir. Temel ilkeleri John Holland tarafından ortaya atılmıştır. Temel ilkelerinin ortaya atılmasından sonra, genetik algoritmalar hakkında birçok bilimsel çalışma yayınlanmıştır. Genetik algoritmaların, fonksiyon optimizasyonu, çizelgeleme, mekanik öğrenme, tasarım, hüresel üretim gibi alanlarda başarılı uygulamaları bulunmaktadır. Geleneksel optimizasyon yöntemlerine göre farklılıkları olan genetik algoritmalar, parametre kümesini değil kodlanmış parametreleri kullanırlar. Olasılık kurallarına göre çalışan genetik algoritmalar, yalnızca amaç fonksiyonuna gereksinim duyar. Çözüm uzayının tamamını değil belirli bir kısmını tararlar. Böylece, etkin arama yaparak çok daha kısa bir sürede çözüme ulaşırlar (1). Diğer bir önemli üstünlükleri ise çözümlerden oluşan popülasyonu eş zamanlı incelemeleri ve böylelikle yerel en iyi çözümlere takılmamalarıdır.

## 3. BULANIK KURAL TABANLARININ OLUŞTURULMASI

Günümüzde yaygın olarak endüstride kullanılmaya başlanılan bulanık kontrol yapılarında en önemli kısım, sisteme ait kural tabanının oluşturulmasıdır. Çünkü iyi sonuçlar alınabilecek kural taban, ancak sistemi tanıyan ve sistem hakkında tecrübeye sahip bir uzman tarafından tanımlanabilir. Bu da sistem için gerekli kontrol yapısını oluşturmada, ancak uzun zaman ve denemeler sonucu başarılabilir. Son yıllarda bu ve benzeri problemler nedeniyle kontrol sistem için gerekli kural tabanı otomatik olarak öğrenme veya örneklerden çıkaracak araştırıcı yöntemler kullanma yoluna gidilmektedir (2).

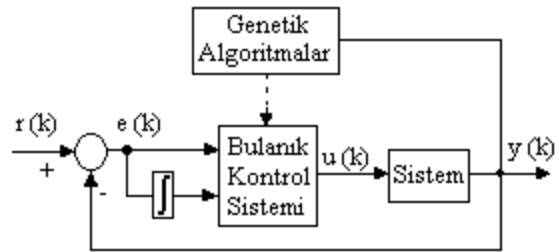
Uzman bilgisi kullanmaksızın genetik algoritmalar kullanılarak PI-tipi bulanık kontrolör gerçekleştirilmiştir. Genetik algoritmalar yoluyla belirlenen yüksek uyumluluk değerli kural taban elde edildikten sonra, bu kural tabanı PI-tipi bulanık kontrolörün yapısına yerleştirilerek direk olarak motora uygulanmaktadır. PC temelli DC motor hız kontrol devresi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. PC temelli DC motor hız kontrol kontrol devresi

Genetik algoritmalar, doğal genetik ve doğal seçme kurallarına dayanan araştırma algoritmalarıdır. Genetik algoritmalar, daha çok sistem hakkındaki deneyim ve sezgisel yaklaşımlara dayanan, bulanık kontrolörün kural taban oluşturma işlemini otomatik olarak tanımlamada kullanılabilir bir güçlü bir algoritmadır.

İnsan tecrübesini kullanmaksızın genetik algoritmalar kullanılarak DC motorun hız kontrolünü gerçekleştirecek PI-tipi bulanık kontrolör Şekil 2'de gösterildiği gibi tasarlanmıştır. Bu öğrenme algoritması uygun genetik ve bulanık formülasyon kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 2. Genetik algoritma temelli PI-tipi bulanık kontrolör öğrenme algoritmasının blok şeması

### 3.1 PI –Tip Bulanık Kontrolör Yapısı

Bir bulanık kontrolörün bilgi-tabanı için IF-THEN kurallar tanımlandığı zaman bazı problemler ortaya çıkmaktadır. Bunlardan en önemlisi hiç kimsenin kuralların doğru olarak tanımlandığından ve belli durumlarda birbiriyle herhangi bir karışıklığa sebep olmayacağından emin olamamasıdır. Bu çalışmada ise sisteme özgü kontrolör öğrenilmektedir. Öğrenme aşaması ve kontrol aşamasında aynı PI-tipi bulanık kontrolör kullanılmaktadır. Öğrenme aşamasında genetik algoritma ile elde edilen kural tabanlar kontrolör üzerinde çalıştırılarak uygunlukları ölçülmektedir. Öğrenme aşaması ya belli bir iteratif döngü (nesil) sayısı kadar veya bir sonlandırma kriterine ulaşıncaya kadar devam etmektedir.

PI-tipi bulanık kontrolör için, hata sinyalinin integralini bulanıklaştırmada ölçekleme güçlükleri çektiğinden literatürdeki uygulamalarda PI-tipi bulanık kontrolör girişleri olarak hata ve hata değişimi kullanılmakta, çıkışta ise kontrol sinyalinin değişimi elde etmek suretiyle PI özelliği kazandırılmaktadır (3).

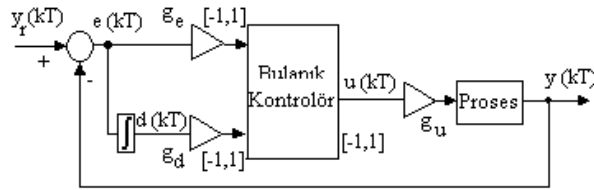
Kontrol etmeye çalıştığımız DC motor sisteminin girişi  $u(kT)$  ve çıkışı  $y(kT)$  olarak kabul edilmiştir. Burada  $T$  örnekleme periyodunu temsil etmektedir. PI-tipi bulanık kontrolörün girişleri ise, proses çıkışı  $y(kT)$  ve referans giriş  $y_r(kT)$ 'nin fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır. PI-tipi bulanık kontrolör girişleri  $e(kT)$  ve hatanın integrali  $d(kT)$  olarak tanımlanırsa

$$e(kT) = y_r(kT) - y(kT) \quad (1)$$

$$d(kT) = \sum e(kT) \cdot Ts \quad (2)$$

olur. Burada  $y_r(kT)$  istenen proses çıkışıdır.

Bu çalışmadaki DC Motor prosesi için kullanılan PI-tipi bulanık kontrol yapısı, giriş ve çıkışlarında kullanılan ölçekleme katsayıları ile Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 3. PI-tipi bulanık kontrol yapısı ve giriş - çıkışlarında kullanılan ölçekleme katsayıları

Bulanık kontrol teorisinde, kontrolörün giriş ve çıkışının alabileceği değerler aralığı, parametre "tanım uzayı" olarak adlandırılır. Daha esnek kontrolör gerçekleştirmek için her bir proses girişi sabit ölçekleme katsayıları kullanılarak  $[-1,1]$  tanım uzayına kaydırılarak normalize edilir. Bulanık kontrol sistemi dizaynında  $g_e$ ,  $g_d$  ve  $g_u$  ölçekleme katsayıları sırasıyla,  $e(kT)$  hata değeri,  $d(kT)$  hatanın integrali ve  $u(kT)$  kontrolör çıkışının çalışma aralığına normalizasyonu için kullanılmaktadır (Şekil3). Bulanık kontrolörün bir girişi  $g_e * e(kT)$ 'dir ve  $g_e$  öyle seçilmelidir ki  $g_e * e(kT)$ 'in alacağı değerler  $[-1, 1]$  tanım uzayı içinde olmalıdır. Kontrolör çıkışı  $g_u$ ,  $u(kT)$ 'yi prosesin kullanabileceği tanım uzayına taşınmalıdır. Hata integrali için ise  $g_d$  katsayısı,  $d(kT)$  nın alacağı normal değerleri belirlemek için sisteme değişik girişler verilerek deneysel olarak belirlenmektedir. Daha sonra bu değerler  $[-1,1]$  aralığına taşınacak şekilde tekrar ayarlanmaktadır.

PI-tipi bulanık kontrolör için kural taban aşağıdaki şekildeki kontrol kurallarından üretilen n.ci proses girişiyle birleştirilir.

IF  $e_1$  is  $E_1^j$  and....and  $e_s$  is  $E_s^k$  and ....and  $d_1$  is  $D_1^l$  and....and  $d_s$  is  $D_s^m$

THEN  $u_n$  is  $U_n^{j,k,l,m}$  (3)

Burada  $e_i$  ve  $d_i$  bulanık kontrolörün girişlerini ifade eden "dilsel değişkenleri" göstermektedir.  $u_n$  kontrolör çıkışı ifade eden dilsel değişkeni gösterir.  $E_i^k$  ve  $D_i^k$  ise sırasıyla  $e_i$  ve  $d_i$  ile ilişkilendiren dilsel

değerleri göstermektedir. Böylece bir bulanık kontrol kuralı şöyle yazılabilir:

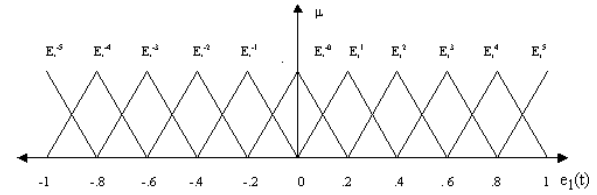
IF hata is positive-large and hatanın integrali is negative-small THEN proses-girişi is positive-big (4)

Burada  $e_1$  = hata ve  $E_1^4$  ="positive-large v.s. Bu şekildeki kurallar kümesi, bir dinamik sistemin nasıl kontrol edildiğini karakterize eden "kural taban"ı oluşturur. Yukarıdaki kontrol kuralı ve bulanık küme teorisi kullanılarak bir bulanık çıkarım formu aşağıdaki şekilde oluşturulabilir.

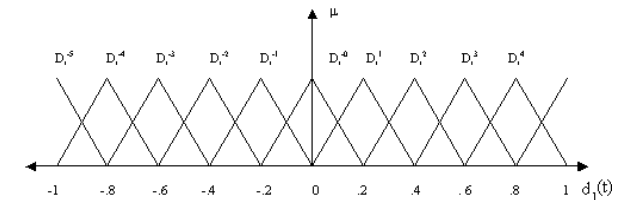
IF  $E_1^j$  and....and  $E_s^k$  and ....and  $D_1^l$  and....and  $D_s^m$  THEN  $U_n^{j,k,l,m}$  (5)

Burada  $E_j^j$ ,  $D^l$  ve  $U^{j,k,l,m}$  sırasıyla "e is  $E^j$ ", "d is  $D^l$ " ve "u is  $U^{j,k,l,m}$ " dilsel durumlarını tanımlayan bulanık kümeleri gösterir. Başlangıçta bulanık kontrolöre ait başlangıç kural taban, genetik öğrenme algoritmasının başlangıcında, rasgele olarak üretilmektedir.

Bulanık kontrolörde ki hata  $e(t)$  ve hatanın integrali  $d(t)$  için tanımlanan tanım uzayındaki bulanık kümeler Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4. Bulanık kontrolörün hata değişkeni  $e(t)$  için tanım uzayındaki bulanık kümeler



Şekil 5. Bulanık kontrolörün hata integrali  $d(t)$  için tanım uzayındaki bulanık kümeler

Sistemimizde iki giriş bir çıkış olduğundan bulanık kontrolörün bütün kuralları aşağıdaki formda oluşturulmuştur.

IF  $E_1^j$  and  $D_1^l$  THEN  $U_n^{j,l}$  (6)

Burada  $E_1^j$  ve  $D_1^l$  üçgen tipi giriş üyelik fonksiyonlarıdır. Aynı şekilde  $U_n^{j,l}$  ise algoritma başlangıcında rasgele olarak merkez değerleri üretilen ve taban genişliği 0.4 olan bir üçgen tipi üyelik fonksiyonudur. Giriş ve çıkış değerlerinin üyelik derecesi hesaplanmasında aşağıdaki üyelik fonksiyonu kullanılmaktadır.

$$\mu_{E^i}(x) = \begin{cases} \max \left( \left[ 0, 1 + \frac{x - c_{E^i}}{w} \right] \right), & x \leq c_{E^i} \quad i = 1 \dots 11 \\ \max \left( \left[ 0, 1 + \frac{c_{E^i} - x}{w} \right] \right), & x > c_{E^i} \quad i = 1 \dots 11 \end{cases} \quad (7)$$

Burada;  $c_{E^i}$ , üçgen tipi  $E^i$  (veya  $D^i$ ) üyelik fonksiyonunun merkezi ve  $w$  ise üyelik fonksiyonunun taban genişliğinin yarısını göstermektedir. Direkt olarak dizayn edilen geleneksel bulanık kontrolör için kontrol kurallarındaki  $U_n^{j,l}$  bilgisi prosesi tanıyan bir uzmanın ortaya koyduğu *ön\_bilgi* olarak ifade edilir. Burada çıkış üyelik fonksiyonlarını gösteren bu bilgi genetik algoritmalar yardımıyla öğrenilmektedir. Burada durulama işleminde standart ağırlık merkezi yöntemi (COG-center of gravity) kullanılmaktadır.

Bulanık kural tabanının kodlanmasında, genetik algoritma havuzunu oluşturan kromozomlar bir PI-tipi bulanık kontrolörün kural tabanlarından oluşturulmaktadır. Genetik algoritmaları istenen şemaya yerleştirmek için, kural tabanı uzun bir dizi içerisine yerleştirilir. Her bir kromozom dizisi, bir bulanık kontrolörün kural tabanını oluşturmaktadır. Her bir nesilde havuzdaki kromozom sayısı kadar kural tabanı araştırılmıştır. Böylece bir bulanık kural-tabanı uzayında, kontrol etmeye çalıştığımız DC motor sistemi için en uygun kural tabanı oluşturulmuştur. Havuzdaki kromozom sayısının fazla olması süreyi artırmakla beraber çözüm uzayında daha fazla vektör araştırılacağından sonuca ulaşmayı yakınlaştıracaktır.

Bu çalışmada kromozomlar ikili taban yerine onluk (0-9) tabanda kodlanmaktadır. Bir kuralı oluşturan karakter, bir gerçel sayı ile ifade edilmektedir. Karakterlerimizin alabileceği değerler [-1,1] aralığında sınırlandırılmaktadır. Her bir kural tabanı toplam 121 kuraldan oluşmaktadır. Kural tabanını oluşturan kromozomların her bir karakteri bir kuralı ifade etmektedir. Populasyon büyüklüğü  $N=20$  ile 40 arasında seçilmiştir. Yani havuzda maksimum 40 kural tabanı bulunmaktadır. Her bir nesilde 40 adet kural tabanı DC motora uygulanarak uyumluluk değeri hesaplanmaktadır.

### 3.2 Uyumluluk Fonsiyonu Belirleme

Genetik bulanık öğrenme algoritmasının öğrenme esnasında elde edilen kromozomlar (kural tabanı) DC motor modeline belirli bir süre (10 sn) uygulanarak hız-zaman eğrileri çıkarılmıştır. Kural tabanının sistemde kullanılmasıyla elde edilen bu çıkış belirli bir uyumluluk fonksiyonuna tabi tutularak, kural tabanlarının performansları ölçülmekte ve sistem için uygunluk derecesi hesaplanmaktadır. Bütün nesiller içinde elde edilen en yüksek uyumluluk değerli kural tabanı kontrolörde kullanılmaktadır.

Bir kontrol sistemi için en iyi performans tanımlamak güçtür. ideal olarak sistemin referans değerini

deki bir değişimle ilgili bir isteği hatasız olarak gerçekleştirilmesi beklenir. Pratikte ise ideal olan bu duruma

yaklaşma nispetinde kontrol etken olur. Genellikle benimsenen yol bir performans kriteri veya indeksinin matematiksel olarak tanımlanması ve bu kriter veya indeks optimum olmasını sağlayan çözümlerin aranmasıdır.

Karakteristik değerlerden bir veya birkaçını birlikte kullanma yerine diğer bir yaklaşımla hatayı esas alan matematiksel kriterler geliştirilmiştir. Bu kriter, kontrol çıkışının değişimi referans giriş değeri arasında kalan hata alanını minimum olmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada sisteme uygun kural tabanı araştırmasında, elde edilen kromozomlar ile temsil edilen kural tabanlarının performanslarını ölçmek için uyumluluk fonksiyonu tanımlanması yapılmıştır. Kontrolörün performansını doğru olarak değerlendirmek için bir  $f(x)$  uyumluluk fonksiyonu kullanılacaktır.  $f(x)$  uyumluluk fonksiyonu, araştırma yapılacak konuya ve uygulama tipine göre tanımlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada en iyi kural tabanı bulmak için kullanılan  $f(x)$  uyumluluk fonksiyonu olarak; küçük kalıcı hal hatası, kısa bir yükselme zamanı  $T_r$ , düşük osilasyon ve maksimum aşım ile iyi kararlılık durumunu yansıtan aşağıdaki fonksiyon alınmıştır (4).

Uyumluluk fonksiyonu;

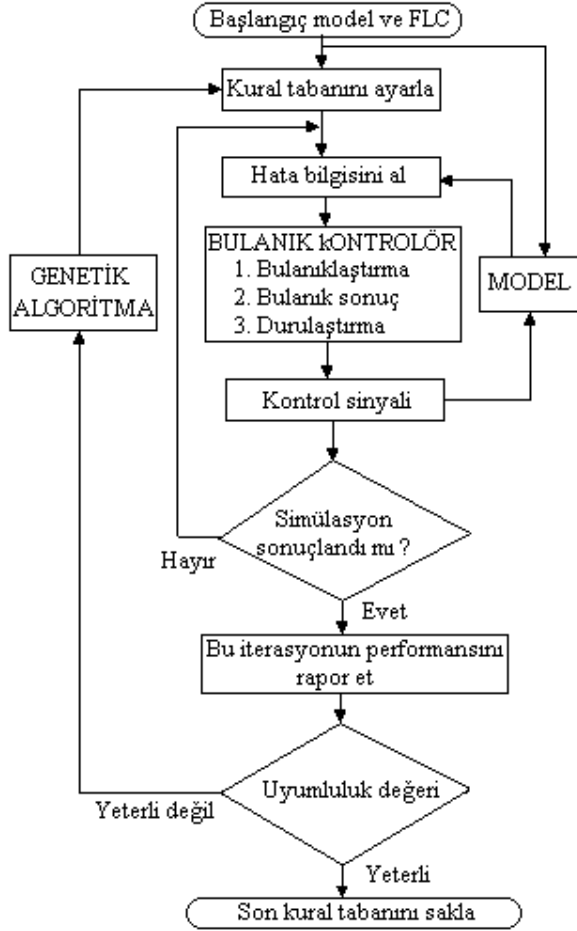
$$f(x) = \exp \left( -\frac{a}{T} \sum_{t=0}^T t^* e^2 + t^* (\Delta e)^2 \right) \quad (8)$$

Burada  $T$ ; Dizayn değerlendirmesinde kullanılan proses modeline uygulanan süredir.  $a$ ; uyumluluk alt ve üst tabanlarını ayarlama için kullanılan pozitif bir sayıdır.  $t$ ; zaman indeksidir.  $e$ ;  $t$  anında ölçülen sinyal ile istenen referans sinyal arasındaki hatadır.  $\Delta e$ ;  $t$  anındaki hata değişimidir. Uyumluluk değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Daha yüksek değerlikli kural tabanları daha iyi kontrolör performansına karşılık gelmektedir.

### 3.3 Genetik Bulanık Sistem Metodolojisi

Bu çalışmada istenilen kural tabanı elde etmek için kullanılan genetik bulanık sistem metodolojisinin oluşturulmasında; İlk işlem, iteratif bir kural öğrenme yaklaşımı üzerine dayalı bir genetik bulanık kural oluşturma işlemidir. İkinci işlem, her bir nesil boyunca elde edilen en uyumlu kural tabanının sisteme uygulanmasıdır. Üçüncü işlem ise istenilen bir uyumluluk değerini gösteren bir sona erdirmeye kriteri veya belli sayıdaki nesilden sonra öğrenme işlemi sona

erdirilerek ve tüm nesil boyunca en uyumlu kural tabanlar arasına en iyi uyumluluk değeri taşıyan kural tabanın sisteme kontrol amacıyla uygulanması işlemidir.



Şekil 6. Genetik algoritmalar yardımıyla kural tabanını öğrenme algoritmasının akış şeması

Bulanık kural taban öğrenme metodu, genetik algoritmanın her bir kromozomunu bir bulanık kural taban olarak gerçek sayılar ile kodlanması yoluyla geliştirilmiştir. Burada kullanılan genetik algoritma her nesilde içerisinde en yüksek uyumluluk değerini veren özellikleri içeren kural tabanı sisteme uygulamak suretiyle bulmaktadır (5).

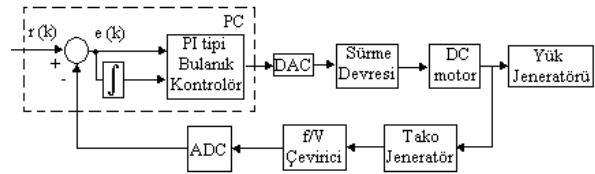
Bu çalışmada genetik algoritmalar, kontrolörde kullanılacak kural tabanını araştırırken aynı zamanda, bulanık kontrolörün performansını artıracak en iyi kalıcı hal hatasına sahip kural tabanını da araştırmaktadır. Böylece genetik algoritmalar, bir bulanık kontrolörün bir sistemi en uyumlu değere sahip kural ile maksimum performans ile kontrol etmesini sağlayacak kuralları tespit etmektedir. Genetik algoritma yardımıyla kural tabanı öğrenme algoritması Şekil 6'da verilmiştir.

Öğrenme işlemi sonunda elde edilen bu kural taban, PI-tipi bulanık kontrol yapısına yerleştirilerek ger-

çek DC motor kontrol sisteminde kullanılmaktadır. Öğrenme algoritmasının öğrenme süresi, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Havuzdaki kromozom sayısı, seçilen sonlandırma kriteri, maksimum nesil sayısı artıca süre uzamaktadır. Ayrıca her bir nesildeki kromozomlara yerleşik kural tabanların DC motora uygulanma süresi de etkili olmaktadır. Bu çalışmada, havuzdaki kromozom sayısı 20 ve nesil sayısı 30 için algoritma çalıştırılarak sonuçlar alınmıştır.

#### 4. MATERYAL VE METOD

Deney düzeneği, bilgisayar üzerinde çalıştırılan ve Turbo C programlama dilinde yazılmış bulanık kontrol programıyla paralel port üzerinden kontrol edilen motor sisteminden oluşmaktadır. Motor kontrol sistemi; kontrol algoritmasının bulunduğu bir PC, paralel bilgi alışverişini sağlamak için ADC-DAC grubu, sürme devresi, yük olarak kullanılan ve jeneratör olarak çalıştırılan bir DC motor, tako-jeneratör ve sinyal çeviriciden oluşmaktadır. Bu çalışmada kullanılan kontrol sistemine ait blok diyagramı Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Kontrol sistemine ait blok diyagramı

Bu çalışmada tasarlanan sistemde, Pentium-120 MHz bir bilgisayarın paralel portunu iki yönlü veri iletişimi (8-bit) kullanacak arabirim ve sürme devresi dizayn edilerek serbest uyarmalı DC motorunun hız kontrolü gerçekleştirilmiştir. Kontrol edilen sistem, mekanik olarak birbirine bağlanmış takometresi üzerinde bir DC motor ve yük olarak kullanılan DC motor-jeneratör grubundan oluşmaktadır. Kontrol edilen DC motor, Sinano Electric Co. (Japonya) firması ürünü, üzerinde fotodiyot-fototransistör ikilisinden oluşan hız sensörü bulunmakta ve 24 V besleme gerilimiyle 1400 dev/dak ile dönmektedir.

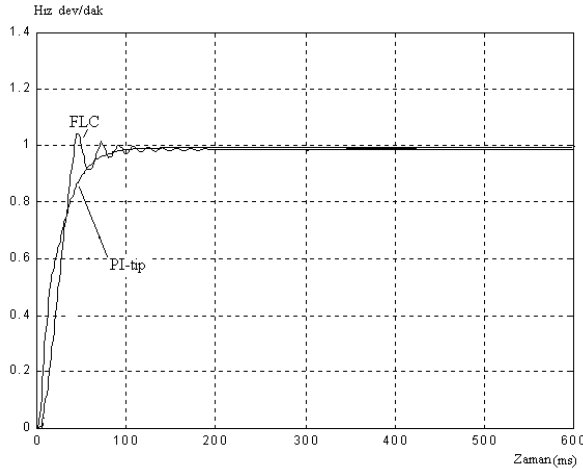
Bu çalışmada çok girişli-tek çıkışlı (MISO) bulanık kontrolör yapısı kullanılmıştır. PI-tipi bulanık kontrolör girişleri, motor hız bilgisi ile referans giriş arasındaki fark olan hata ve hatanın integrali alınmıştır. Kontrolünü yapacağımız motorun maksimum hızı 1400 dev/dak'dır. Bu yüzden hatanın alabileceği değerler [-1400,1400] arasındadır. Genetik algoritmalar ile tasarım esnasında kontrolör için hatanın tanım aralığı, osilasyon etkisini azaltmak ve sistemi referansa daha kararlı bir şekilde oturtmak için [-1000,1000] olarak alınmıştır.

Bulanık kontrolörün çıkışı, kontrol sistemimiz 8-bit giriş-çıkış veri iletişimine sahip olduğundan (0-255) arasında kodlanmaktadır. Yazılan bulanık programda girişlerin değer aralıkları tasarlanan kart özelliği ve pa-

ralet port kullanılmasından dolayı  $[-255,255]$  aralığına kaydırılmıştır. Böylece hata ve hata değişimi programda, motorun maksimum hız değerini olan 1400 dev/dak olduğundan bu parametrelerin alabileceği değerler  $[-1400,1400]$  arasındadır. Bu değer aralığı da 8-bit ile çalışıldığından  $[-255,255]$  arasına kaydırılmıştır.

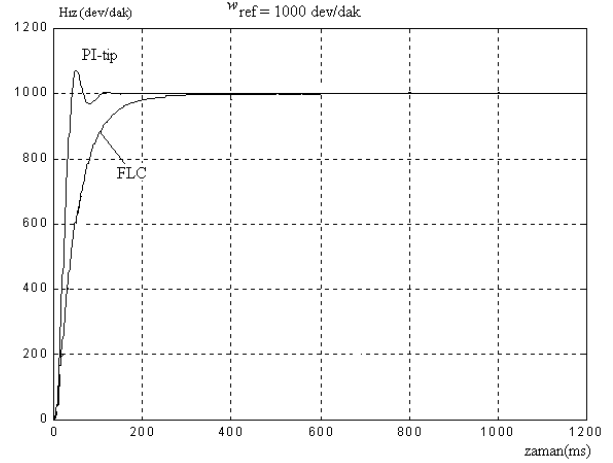
Genetik bulanık sisteminde ilk başlangıç havuzu rasgele olarak oluşturulduğundan dolayı algoritmanın her çalıştırılmasında farklı sonuçlar alınabilmektedir. Genetik bulanık sistemi, uyumluluk değeri yüksek kural tabanları, kontrol edilecek sistemin matematiksel modeli üzerine uygulanarak sonuçları gözlenmiştir. Belirlenen bir sonlandırma kriteri veya belli sayıdaki nesilden sonra, her nesildeki en uyumlu kural tabanları arasında performans değeri en yüksek çıkan kural tabanı öğrenilen kural tabanı olarak alınmıştır. Elde edilen bu en yüksek uyumluluk değerli kromozoma yerleşik kural tabanı, PI-tipi bulanık kontrol yapısına yerleştirilerek kontrol edilecek sisteme uygulanmıştır. Bu işlem offline olarak gerçekleştirilen bir öğrenmedir.

Tasarlanan kontrolörün performansını ölçmek için DC motor sistemini kontrol edecek bir bulanık mantık kontrolör (FLC) manuel olarak geliştirilmiştir. FLC'ye ait kural tabanı tasarlanırken çeşitli uygulamalarda kullanılan simetrik kural tabanı yapıları kullanılmıştır. FLC'ye ait birim basamak cevabı Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Manuel FLC ile PI-tipi bulanık kontrolörlerin birim basamak girişi için hız-zaman eğrisi

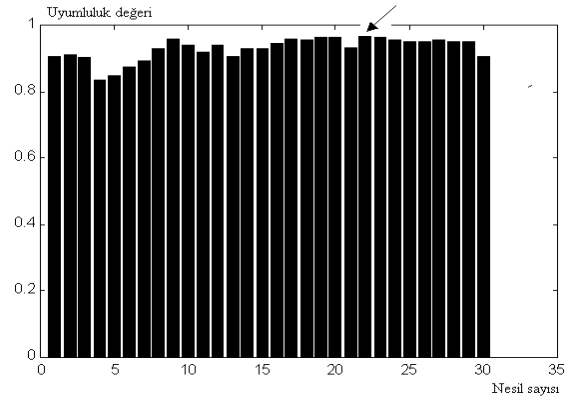
Şekil 8'de görüldüğü gibi salınımlı ve kararlı hal hatası yüksek ve 1000 dev/dak referans girişi için yerleşme zamanı uzun olan bir cevap alınmıştır. İyi bir cevap alınması için kontrol ettiğimiz sistemin özelliklerini daha iyi temsil edecek kural tabanının belirlenmesi gerekmektedir. Bu da ancak uzun zaman alan ve sürekli deneme-yanılma metoduna başvurulmasıyla başarılabilir. Şekil 9 incelendiğinde, tasarlanan sistemin iyi bir performansa sahip olduğu görülmektedir.



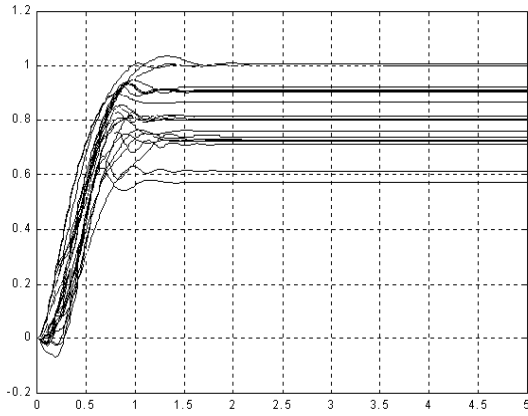
Şekil 9. Manuel FLC ile PI-tipi bulanık kontrolörlerin 1000 dev/dak girişi için hız-zaman eğrisi

Bilgisayar üzerinde çalıştırılan PI-tipi bulanık kontrolör programıyla, referans hız komutları, kontrol sistemine, DAC üzerinden 8-bit olarak verilmektedir. Kontrol edilen motorun maksimum hızı olan 1400 dev/dak değeri sisteme 255 olarak verilmektedir. Aynı şekilde motor sisteminden alınan hız bilgisi de kontrol programına 8-bit olarak verilmektedir.

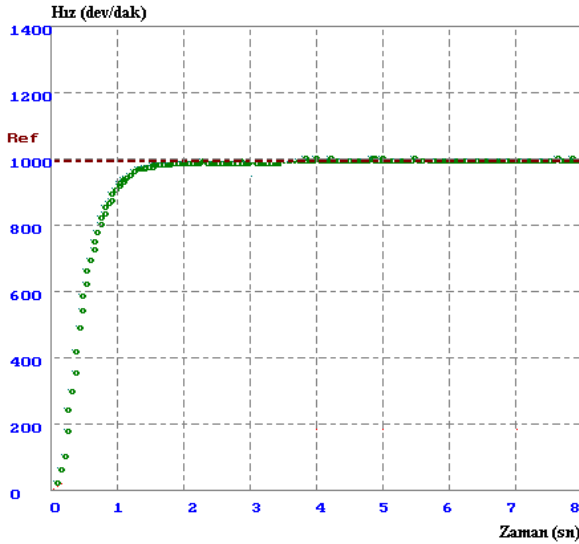
Genetik bulanık sistem ile 30 nesil için öğrenilen kural tabanı 1000 dev/dak referans girişi için uygulanmıştır. 30 nesil içinde en yüksek uyumluluklu kural tabanlarının uyumluluk değerleri Şekil 10.a ve b'de, elde edilen sonuç ise Şekil 11 ve 12'de gösterilmiştir.



Şekil 10. a 30 nesil içinde en yüksek uyumluluklu kural tabanlarının uyumluluk değerleri



Şekil 10. b 30 nesil için her nesilde elde edilen tüm yüksek uyumluluklu kural tabanları için dc motor hız-zaman eğrileri

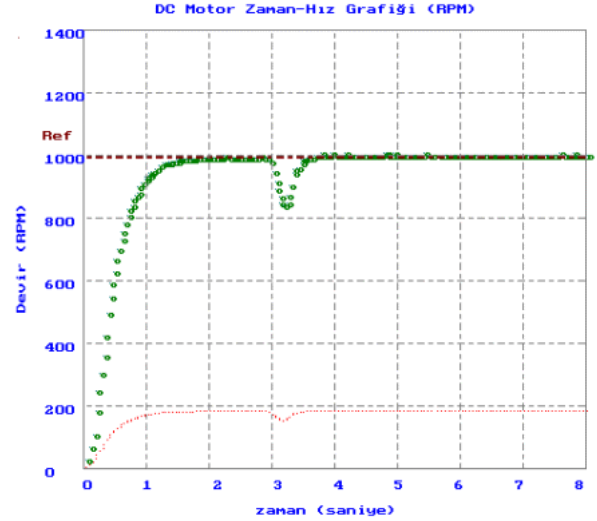


Şekil 11. Motorun 1000 dev/dak'lık referans girişine karşılık gelen hız-zaman eğrisi

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Son yıllarda, insan tecrübe yardımı olmaksızın, performansı yüksek, bulanık kural tabanı geliştirmede birçok araştırma yapılmaktadır. Kural tabanının tasarlanması, kontrol edilecek sistem hakkında uzun süreli insan deneyimi gerektirmektedir. Genetik bulanık sistemler direkt olarak bulanık kontrolörün temel bilgisini otomatik olarak öğrenilmesini sağlayan bir yöntemdir. Bu çalışmada, DC motor kontrolü için otomatik olarak kural tabanının öğrenilmesini sağlayan bir genetik-bulanık sistemi tasarlanmış ve gerçek sisteme uygulanarak iyi bir performans alınmıştır.

Elde edilen sonuçlardan, hedeflenen ve gerçekleştirilen genetik bulanık sistem algoritması, bulanık kontrolör için DC motora uygulanabilir, performansı yüksek, esnek bir yapı ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada



Şekil 12. Genetik Bulanık Sistem ile 30 nesil için öğrenilen kural tabanının yüksüz 1000 dev/dak referans girişi için bozucu etkinin devreye sokulup çıkarılması

tasarlanan yaklaşım, DC motor kontrolünde düşük kalıcı hal hatasına sahip, düşük yerleşme zamanına sahip sistem cevapları sağlayan, bulanık kontrolör dizaynını oluşturmaktadır.

Sonuçlar; genetik algoritmalar vasıtasıyla otomatik olarak tasarlanan kontrolörün performansının, insan bilgi temelli kontrolörünki ile karşılaştırıldığında, daha iyi olduğunu göstermiştir. Daha iyi sonuçlar elde etmek için nesil sayısı artırılabilir. Nesil sayısının artmasıyla daha fazla çözüm noktası araştırılacağından işlem süresi de artmaktadır. İşlem süresinin uzaması istenmeyen bir durum olduğu için, nesil sayısının fazla artırılması, bir dezavantaj olarak ortaya çıkabilir. Bu nedenle istenen kriterler sağlandığında nesil sayısının fazlaca artırılmasına gerek yoktur.

## 6. KAYNAKLAR

1. Goldberg, D.E., "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning", Addison-Wesley, Reading, MA, 1989.
2. Herrera, F., Lozano, M., Verdegay, J.L., "Generating Fuzzy Rules from Examples Using Genetic Algorithms", Department of Computer Science and Artificial Intelligence. University of Granada, Spain, 1995.
3. Chwee N. K, Li Y., "Reduced Rule-base and Direct Implementation of Fuzzy Logic Control Systems", University of Glasgow, United Kingdom, www.gla.ac.uk.
4. K. C. Ng, Y. Li, D. J. Murray-Smith, and K.C.Sharman, "Genetic algorithms applied to fuzzy sliding mode controller design", In Proc. First IEE/IEEE Int. Conf. on GA in Eng. Syst.: Innovations and Appl., 220-225, Sheffield, U.K., 1995.
5. Bulut, M., "Doğru Akım Motorunun Genetik Algoritmalar Yardımıyla Bilgisayar Temelli PI-Tip Bulanık Mantık Kontrolü", Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001.





