

**ARAŞTIRMA MAKALESİ / RESEARCH ARTICLE**

**CEKETLİ KARIŞTIRMA TANKININ SICAKLIĞININ GENETİK ALGORİTMA  
KULLANILARAK BULANIK KONTROLÜ**

**Ayla ALTINTEN<sup>1</sup>, Sebahat ERDOĞAN<sup>2</sup>**

**ÖZ**

Ceketli, ısıtmalı ve kesikli bir karıştırma tankında genetik algoritma kullanan bulanık kontrol yöntemi ile sıcaklık kontrolü teorik ve deneysel olarak incelenmiştir. Tankın sıcaklığı iki farklı sabit set noktasında ve önceden belirlenmiş iki farklı sıcaklık profilinde tutulmaya çalışılmıştır. Ayarlanabilen değişken olarak ısıtıcı akımı seçilmiştir. Bu çalışmada, istenilen reaktör sıcaklık profilini sağlamak üzere, bulanık kontrol üyelik fonksiyon kümeleri ve bunlara bağlı olarak ilişki matrisi genetik algoritma (GA) optimizasyon yöntemi ile oluşturulmuştur. Bulanık kontrol yöntemi ile tank içi sıcaklık kontrol performansının hem sabit sıcaklıkta hem de farklı sıcaklık profillerinde oldukça iyi olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Bulanık Kontrol, Genetik Algoritmalar (GA), Sıcaklık Kontrolü.

**FUZZY CONTROL WITH GENETIC ALGORITHM OF JACKETED MIXING TANK  
TEMPERATURE**

**ABSTRACT**

Temperature control of jacketed heated batch mixing tank using fuzzy control method with genetic algorithm is investigated theoretically and experimentally. The tank temperature was tried to track two different constant temperature set-points and two different predetermined temperature profiles. The heater current was chosen as a manipulated variable. In this work, fuzzy control membership function sets and relation matrix were generated using genetic algorithm (GA) optimization method. It was observed that the fuzzy control provides good performance in tracking constant temperature and different temperature paths.

**Keywords:** Fuzzy Control, Genetic Algorithms (GAs), Temperature Control.

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Maltepe, 06570, Ankara.

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü, Maltepe, 06570, Ankara.

## 1. GİRİŞ

Genetik algoritmalar (GA) doğal seçim ve doğal genetik mekanizmasına dayanan stokastik bir arama yöntemidir (Holland, 1975). Genetik algoritmaların optimizasyon yöntemi olarak kullanılmasında temel düşünce kromozom-tipi bir kodlamada mümkün çözümler ya da modeller yığını göstermek ve bu kodlanmış modelleri yeniden üretim, çaprazlama ve mutasyon simülasyonu aracılığıyla ayarlamaktır (Gallagher ve Sambridge, 1994).

Bulanık mantık kontrol (FLC) ediciler kuralların birikimiyle insanların karar verme prosesini modellerler. Bulanık mantık kümelerinin yardımıyla, bu kuralarda kullanılan dilbilimsel terimler doğru nümerik değerlere dönüştürülür. Kullanılan kurallar ve bulanık mantık kümeleri sistem için oldukça önemli bir rol oynadıklarından, doğru kurallar ve bulanık mantık kümelerinin seçimi önemli bir konu haline gelir (Gürocağ, 1999). Klasik FLC yaklaşımında, üyelik fonksiyonlarının seçimi manuel deneme-yanılma prosesi ile yapılmaktadır. Bu proses oldukça zaman alıcıdır ve öğrenme kapasitesi eksiktir. Bu nedenle, maksimum FLC performansı oluşturan üyelik fonksiyonları bulmak için daha etkili ve sistematik yöntemlere ihtiyaç vardır.

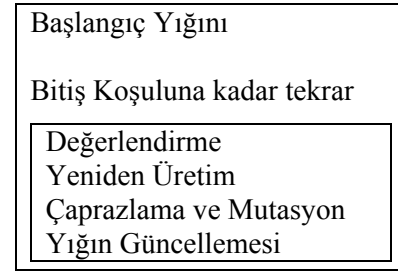
Uygulamaların çoğunda amaç fonksiyonu birkaç maksimum ve minimum nokta içeren lineer olmayan fonksiyonlardır. Klasik arama algoritmalarının çoğu çözüm olarak lokal minimum yada maksimuma yaklaşma tehlikesiyle karşı karşıyadır (Gürocağ, 1999). GA'lar doğal evrim modeline dayanan optimizasyon metotlarıdır. Optimizasyon probleminde aday çözümlerin bir popülasyonu bir amaç fonksiyonuna göre yavaş yavaş düzeltilen çözümlerin elde edilmesi için bir nesilden diğerine geliştirilir. Son yıllarda GA'lar, çok iyi anlaşılabilmiş, düzensiz ve kompleks üyelik fonksiyon uzayını araştırmak için FLC tasarımında kullanılmaktadır (Ng ve Li, 1994). Böylece, genetik algoritmanın öğrenme yeteneği ile bulanık kontrolün proses kontrol yeteneği birleştirilmiştir (Karr vd., 1990).

Yapılan çalışmada, kontrol çalışmalarına geçilmeden önce genetik algoritmalar (GA) üzerinde araştırma yapılmış ve FORTRAN dilinde bir bilgisayar programı oluşturulmuştur. Daha sonra kontrol yöntemi olarak seçilen bulanık kontrol algoritması geliştirilmiştir. Bu çalışmada, bulanık mantık üyelik fonksiyonlarının şekli üçgen tipte ve girdi ve çıktı için üyelik fonksiyonu sayısı beş olarak belirlenmiştir. Her bir üyelik fonksiyonu için sol/sağ genişlik ve pikin konumu optimize edilecek parametreler olarak seçilmiştir. Parametre sayısını artırarak arama etkinliği düşürülmek istenmediğinden, üçgen üyelik fonksiyonlarının simetrik olduğu kabul edilmiştir. Sıcaklık için sapma ve ısı girişi Q için sapma bulanık mantık üyelik fonksiyon kümelerini genetik algoritma ile belirleyen ve buna bağlı olarak üç boyutlu ilişki matrisini de oluşturan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bilgisayar programlarında sistem için tanımlanan enerji denkliklerin-

den faydalanılmıştır. Genetik algoritma için uygunluk fonksiyonu olarak farkların mutlak değerleri toplamı (Integral of the Absolute value of Error, IAE) alınmıştır.

## 2. GENETİK ALGORİTMALAR

Genetik algoritmalar, rasgele Monte Carlo simülasyonuna benzer biçimde modellerin bir başlangıç yığını üretimde stokastik prosesler kullanılır ve model yığına basit ayarlar uygulanır. Model yığına operatörlerin uygulanması sonucunda bir iterasyon yordamıyla yeni model yığınları üretilir (Şekil 1). Bu proses uygun bir model yada model grupları geliştene kadar pek çok kez tekrarlanır (Gallagher ve Sambridge, 1994).



Şekil 1. Genetik algoritma için genel şema

Genetik algoritmalar kromozomların değişimi sayesinde, verilen uygunluk fonksiyonunun duyarlılığında en iyi alternatif için araştırma yapar. İlk önce kromozomların bir başlangıç yığını rastgele seçilir. Daha sonra yığındaki kromozomların her biri uygunluk fonksiyonuyla ifade edilen uygunlukları aracılığıyla değerlendirilir. Daha sonra, mevcut yığındaki yüksek uygunluklu kromozomlar seçilir daha büyük bir değişim verilerek kromozomların yeni bir yığını oluşturulur. Yeni yığın kopyalar içerebilir. Eğer verilen durdurma kriteri (yani, eski ve yeni yığında değişim olmaması, spesifik hesaplama zamanı gibi) karşılanmamışsa, çaprazlama, mutasyon gibi bazı spesifik operasyonlar yeni yığın kromozomları üzerinde uygulanır. Bu operasyonlar yeni kromozomlar üretir. Bu prosesin aynı adımları, değerlendirme ve doğal seçim, daha sonra sonuç yığınının kromozomlarına uygulanır. Tüm proses verilen durdurma kriteri sağlanıncaya kadar tekrarlanır (Srinivas ve Patnaik, 1994).

Genetik algoritmalarda yığın boyutu (N), çaprazlama olasılığı ( $p_c$ ) ve mutasyon olasılığı ( $p_m$ ) kontrol parametreleri olarak bilinir. Bu değerler algoritma çalışmaya başlamadan önce tespit edilir ve işlem boyunca sabit tutulur. Bir probleme GA uygulanmadan önce bu parametrelerin en iyi kombinasyonunun belirlenmesi gerekir (Srinivas and Patnaik, 1994).

Genetik algoritmanın optimal bir çözüm vereceği garanti değildir. Bununla birlikte GA'lar, hem hızlı hem de güçlü olarak optimale yakın çözüm verme yeteneğine sahiptirler. Bu özellik onları optimizasyon metodu olarak yada diğer optimizasyon metotları için parametrelerin ön kestirim değerlerini bulan bir metot

olarak kullanımlarına imkan tanır. Sonuç olarak güçlü özellikleri ve basit yapısıyla, genetik algoritmalar pek çok kompleks optimizasyon problemi için çok uygun görünmektedir.

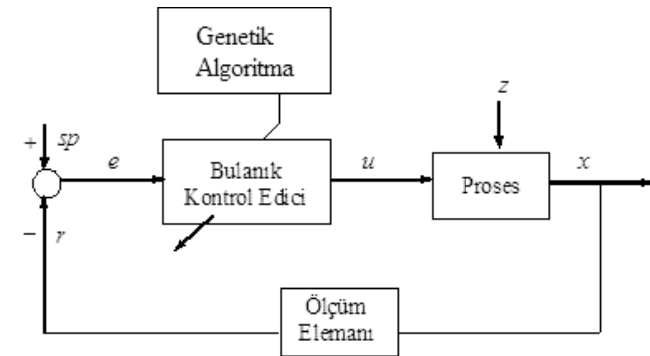
### 3. GENETİK ALGORİTMALAR KULLANILARAK BULANIK MODEL KONTROL TASARIMI

Bir bulanık mantık model pek çok parametreye sahiptir, örneğin üyelik fonksiyonlarının şekli, ölçek faktörleri, dilbilimsel değerlerin sayısı gibi (Newell ve Lee, 1989). Tüm bu bulanık mantık model parametreleri bulanık mantık model kalitesi üzerinde oldukça etkilidir. Bu nedenle, uygun üyelik fonksiyonları tanımlanması önemlidir. Bulanık mantık kurallarının bir seti, karar tablosu ya da ilişki matrisi ile tanımlanabilen kural temelli bulanık mantık model yapısını oluşturur. GA'lar bulanık mantık model parametrelerini değiştirmede ve/ya da bulanık mantık model yapısını öğrenmede kullanılabilirler. Genetik bulanık mantık model tasarımı yaklaşımlarını üç farklı gruba ayırmak mümkündür (Cordon ve Herrera, 1995).

1. Bulanık mantık model parametrelerinin genetik algoritma ile tespiti.
2. Bulanık mantık model yapısının genetik algoritma ile türetilmesi.
3. Bulanık mantık model yapısının ve parametrelerinin genetik algoritma ile bulunması.

Genetik algoritmalar kullanılarak bulanık kontrol tasarımında önceki çalışmaların çoğunda üyelik fonksiyonları ve bulanık kontrol kuralları ardışık biçimde bulunmuştur. Örneğin, önce üyelik fonksiyonları seçilir ve daha sonra bunlar bulanık kontrol kurallarının tasarımında kullanılır. Bu hareket tarzında, bulanık kontrol kuralları sadece özel bir üyelik fonksiyonu için optimal olacaktır. Bazı çalışmalarda (Wu ve Liu, 2000) ise üyelik fonksiyonlarının ve bulanık kontrol kurallarının eş zamanlı olarak tasarımı yapılmıştır.

Genetik algoritma kullanarak bulanık kontrol tasarımı için blok diyagram Şekil 2'de gösterilmiştir.



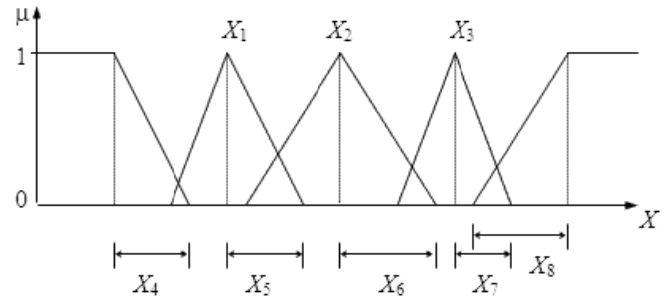
$sp$ =set noktası  
 $x$ =proses çıktısı  
 $u$ =kontrol çıktısı  
 $r$ =ölçülen değer  
 $e$ =hata  
 $z$ =gürültü

Şekil 2. Genetik algoritma kullanılarak bulanık kontrol tasarımı.

### 3.1. Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonları

Üçgenel tip üyelik fonksiyonları kullanıldığını düşünelim. Her bir üyelik fonksiyonu için sol genişlik, sağ genişlik ve pikin konumu optimize edilecek parametreler olarak seçilir. Bu parametrelerin görünümü Şekil 3'de gösterilmiştir.

Eğer girdi ve çıktı için üyelik fonksiyonu sayısı beş kabul edilirse, Şekil 3'den de görüldüğü üzere üç adet üçgen merkezi ve beş adet de üçgen genişliği olmak üzere toplam sekiz adet optimize edilecek parametre olacaktır. Parametre sayısını artırarak arama etkinliği düşürülmek istenmediğinden, üçgen üyelik fonksiyonlarının simetrik olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 3. Sekiz parametrenin bulunacağı beş üyelik fonksiyonu kümesi

### 3.2. Dizi (kromozom) Gösterimleri

İkili düzen kodlama gözönüne alınır, tüm parametreler bir dizide yer alacaktır. Toplam dizi uzunluğu her bir parametre için belirlenen dizi uzunluklarının toplamına eşit olacaktır. Örneğin; her bir parametrenin bit uzunluğu  $L=10$  seçilirse,  $m$  tane optimize edilecek parametre olması durumunda bir dizi şu şekilde kodlanacaktır:

0101010101 011001010 ... 1001011011 1011110100  
 $X_1$   $X_2$   $X_{m-1}$   $X_m$

### 3.3. Algoritma

Genetik algoritma kullanarak bulanık kontrol tasarımı için önerilen metot aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır (Wu ve Liu, 2000).

**Adım 1:** Girdi ve çıktı için üyelik fonksiyonu şeklinin ve sayısının belirlenmesi (ele alınan problemde girdi ve çıktı için beşli üçgenel-tip üyelik fonksiyonu seçilmiştir)

**Adım 2:** Uygunluk fonksiyonunun tanımlanması (ele alınan problem için uygunluk fonksiyonu IAE olarak seçilmiştir)

**Adım 3:** GA parametrelerinin bulunması. Bu çalışmada, bu parametreler aşağıdaki gibi seçilmiştir.

Yığın boyutu (N): 20

Maksimum nesil sayısı (M): 50

Çaprazlama olasılığı ( $p_c$ ): 0.6, uniform çaprazlama.

Mutasyon olasılığı ( $p_m$ ): 0.02

*Adım 4:* İkili dizilerin bir başlangıç neslinin rastgele oluşturulması.

*Adım 5:* Nesildeki her bir üye için, X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8 değerlerine karşılık gelen ikili dizinin çözülmesi.

*Adım 6:* Adım 5'deki X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8'in değerleri için uygunluk değerlendirmesi (ele alınan sistemi tanımlayan madde ve enerji denklileri kullanılarak tüm sistem belirlenen süre boyunca bulanık kontrol yöntemi kullanılarak çalıştırılır ve IAE değeri bulunur).

*Adım 7:* Seçim yöntemi kullanılarak yeni neslin üretilmesi (turnuva seçim yöntemine göre).

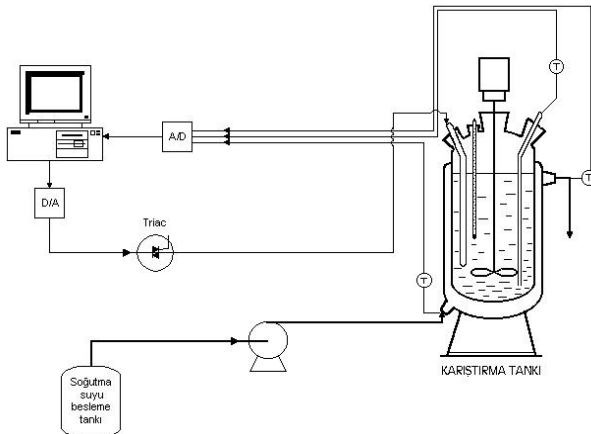
*Adım 8:* Adım 3'deki çaprazlama oranına göre yeni nesildeki üye çiftlerinin çaprazlanması.

*Adım 9:* Adım 3'deki mutasyon oranına göre yeni nesildeki üyelerin mutasyonu.

*Adım 10:* Önceden belirlenen nesil sayısına (M) ulaşmaya kadar Adım 5-9'daki işlemlerin tekrarı

#### 4. DENEYSEL SİSTEM

Deneysel çalışmalarda kullanılan deney düzeneği Şekil 4 'de gösterilmiştir. Karıştırma tankı 1.1 L hacminde ceketli ve camdan yapılmıştır. Tankın içerisine, soğutma suyu giriş ve çıkışına yerleştirilen termociftler, deney sırasındaki sıcaklık değişimlerinin bilgisayardan okunmasını sağlamaktadır. Reaktör içerisindeki karışımı ısıtmakta veya sıcaklık kontrolünde dalgıç ısıtıcı kullanılmıştır. Isıtıcı, yüksek sıcaklıklara dayanıklı kuvars camdan yapılmış olup, bir triyak modülü ve D/A çevirici ile bilgisayara bağlanmıştır. Tanktaki karışım bir mekanik karıştırıcı ile sürekli olarak karıştırılmıştır. Reaktör ceketinden soğutma suyunun sürekli olarak geçirilebilmesi için bir peristaltik pompa kullanılmıştır.



Şekil 4. Deney sisteminin şematik gösterimi

Deneysel önce reaktör içi sıcaklığı yatışkın koşula getirilmiştir. Daha sonra soğutma suyu akış hızına 0.1 ml/s'lik negatif basamak etkisi verilmiş ve parametreleri GA ile bulunan bulanık kontrol yöntemi ile tankın iç sıcaklığı kontrol edilmeye çalışılmıştır.

#### 5. MATEMATİKSEL MODEL

Ceketli karıştırma tankının modellenmesi için bazı varsayımlar yapılmıştır. Bunlar;

- Reaktör içerisinde tam karışma vardır.
- Soğutma suyunun giriş sıcaklığı sabittir.
- Tüm ısı transfer katsayısı sabittir.
- Isı kayıpları ihmal edilebilir.

Reaktör için enerji denkliği :

$$Q - UA(T - \bar{T}_c) = V\rho C_p \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

Ceket için enerji denkliği :

$$\dot{m}_c C_{pc} (T_{ci} - T_{co}) + UA(T - \bar{T}_c) = V_c \rho_c C_{pc} \frac{dT_{co}}{dt} \quad (2)$$

Burada:

$$\bar{T}_c = \frac{T_{ci} + T_{co}}{2} \quad (3)$$

#### 6. SONUÇ VE TARTIŞMA

Ceketli, ısıtmalı ve kesikli bir karıştırma tankında genetik algoritma kullanan bulanık kontrol yöntemi ile sıcaklık kontrolünün incelendiği bu çalışmada, tankın sıcaklığı iki farklı sabit set noktasında ve önceden belirlenmiş iki farklı sıcaklık profilinde tutulmaya çalışılmıştır. Deneysel yatışkın hal koşulları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Deneysel yatışkın hal koşulları

Deney No	T (°C)	T <sub>ci</sub> (°C)	$\dot{V}_{c1}$ (ml/s)	T <sub>co</sub> (°C)	Q (W)
1	89	20	0.5	66.1	241.78
2	92.7	20	0.5	68.8	276.32

Bulanık kontrol parametreleri bulunmadan önce teorik olarak genetik algoritma için kontrol parametreleri araştırılmıştır. Literatürde kullanılan değerler de gözönüne alınarak bazı denemeler yapılmış ve bu denemeler sonucunda N=20, M=50,  $p_c=0.6$ ,  $p_m=0.02$  olarak seçilmiştir.

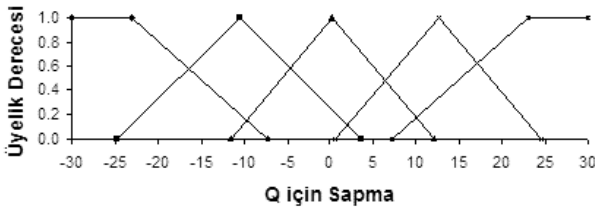
Daha sonra teorik olarak genetik algoritma ile bulanık mantık parametrelerinin bulunmasına geçilmiştir. Bu amaçla programda soğutma suyu akış hızına 0.1 ml/s'lik negatif etki verilmiş ve bu etki altında program çalıştırılarak en iyi bulanık mantık parametreleri

(ilişki matrisi ve üyelik fonksiyonları) bulunmaya çalışılmıştır.  $T=89\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de sabit sıcaklık için oluşturulan T için sapma ve Q için sapma bulanık mantık üyelik fonksiyonları kümesi sırasıyla Şekil 5 ve Şekil 6'da gösterilmiştir.

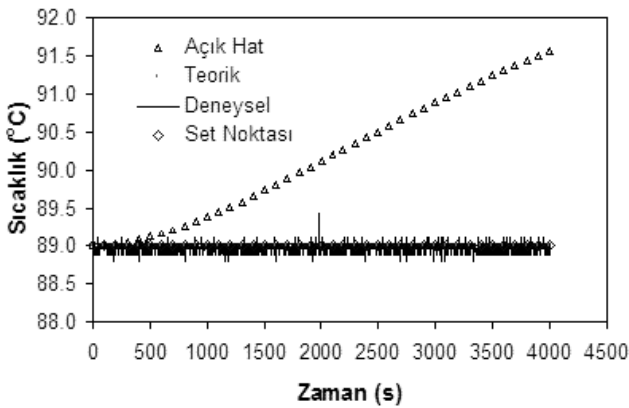
Teorik olarak en iyi kontrolü sağlayan bulanık mantık parametreleri elde edildikten sonra deneysel kontrol çalışmasına geçilmiştir. Bu amaçla reaktör içi su ile doldurulmuş ve Tablo 1'deki 1 nolu yatışkın-hal koşulu sağlanmıştır. Reaktör bir süre bu yatışkın koşulda tutulmuş daha sonra soğutma suyu akış hızı  $0.4\text{ ml/s}$ ' ye düşürülmüştür. Bu şartlar altında reaktör içi sıcaklığının artışı, üyelik fonksiyonları ve ilişki matrisi GA ile bulunan bulanık kontrol yöntemi ile kontrol altında tutulmaya çalışılmıştır. Teorik ve deneysel kontrol sonuçları Şekil 7'de gösterilmiştir. Aynı grafik üzerinde açık hat sıcaklığın nasıl değiştiği de gösterilmiştir. Böylece açık hatla, deneysel ve teorik kontrol sonuçları karşılaştırıldığında bulanık kontrol performansının ne kadar iyi olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5. Sıcaklık için sapma üyelik fonksiyonları kümesi ( $T=89\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de sabit sıcaklık).

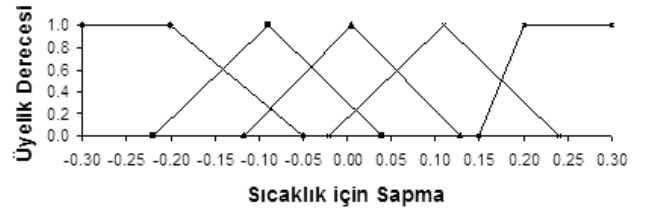


Şekil 6. Q için sapma üyelik fonksiyonları kümesi ( $T=89\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de sabit sıcaklık).

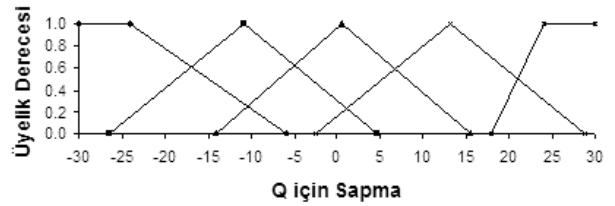


Şekil 7.  $T=89\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de sabit sıcaklık için deneysel ve teorik sonuçlar.

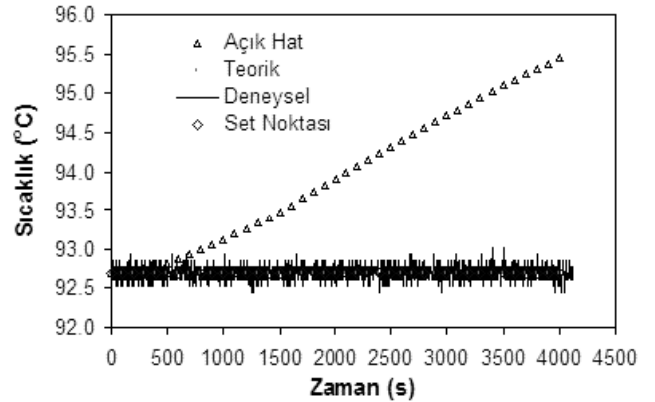
$T=92.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de sabit sıcaklık için bulunan T için sapma ve Q için sapma bulanık mantık üyelik fonksiyonları kümesi sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir. Teorik ve deneysel kontrol sonuçları Şekil 10'da gösterilmiştir. Bu şekilde de, genetik algoritma kullanılarak bulanık kontrolün uygulanmasıyla zamanla hızla artan sıcaklığın, istenilen sıcaklık değerinde sabit tutulduğu gösterilmiştir.



Şekil 8. Sıcaklık için sapma üyelik fonksiyonları kümesi ( $T=92.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de sabit sıcaklık).



Şekil 9. Q için sapma üyelik fonksiyonları kümesi ( $T=92.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de sabit sıcaklık).



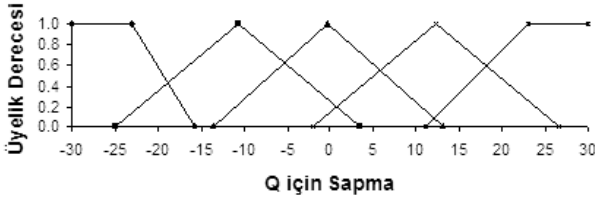
Şekil 10.  $T=92.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de sabit sıcaklık için deneysel ve teorik sonuçlar.

Deney aşamasının ikinci kısmında sabit sıcaklık için yapılan denemelerin benzerleri iki farklı sıcaklık profili (değişken set noktası) için de gerçekleştirilmiştir. Önce  $T_{ilk}=89\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' den başlayan sıcaklık profili üzerinde çalışılmıştır. Bu amaçla Tablo 1'de verilen birinci yatışkın-hal koşulu sağlanmış ve daha sonra soğutma suyuna basamak etkisi verilmesiyle beraber sıcaklık profili devreye sokulmuştur. Bulanık kontrol yöntemi ile reaktör içi sıcaklığının profili takip edip etmediği gözlenmiştir.

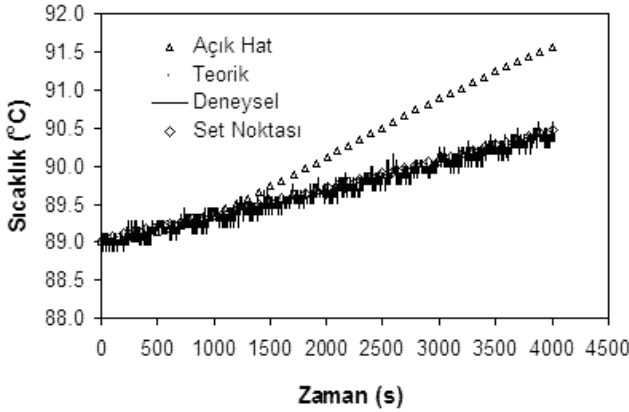
Deneysel çalışma öncesinde, en iyi bulanık mantık parametrelerini bulmak üzere yapılan teorik çalışma sonucunda elde edilen bulanık mantık üyelik fonksiyonu kümeleri Şekil 11 ve 12'de gösterilmiştir. Kontrol sonuçları Şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 11. Sıcaklık için sapma üyelik fonksiyonları kümesi ( $T_{ilk}=89\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de sıcaklık profili).



Şekil 12. Q için sapma üyelik fonksiyonları kümesi ( $T_{ilk}=89\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de sıcaklık profili).

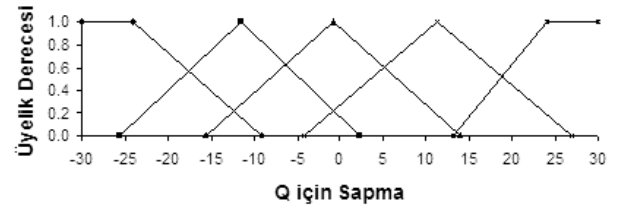


Şekil 13.  $T_{ilk}=89\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de sıcaklık profili için deneysel ve teorik sonuçlar.

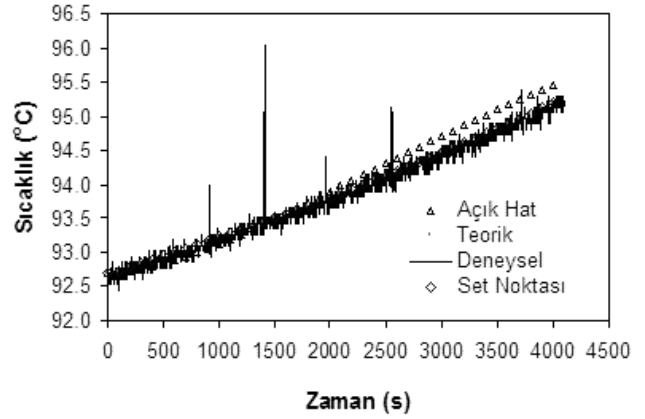
$T_{ilk}=92.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' den başlayan ikinci sıcaklık profili üzerinde yapılan teorik çalışmada elde edilen üyelik fonksiyonu kümeleri Şekil 14-15'de gösterilmiştir. Teorik ve deneysel kontrol sonuçları Şekil 16'da verilmiştir.



Şekil 14. Sıcaklık için sapma üyelik fonksiyonları kümesi ( $T_{ilk}=92.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de sıcaklık profili).



Şekil 15. Q için sapma üyelik fonksiyonları kümesi ( $T_{ilk}=92.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de sıcaklık profili).



Şekil 16.  $T_{ilk}=92.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ' de sıcaklık profili için deneysel ve teorik sonuçlar.

Özellikle parametre değerleri önceden bilinmeyen kontrol sistemlerinde çok iyi sonuçlar verebildiği çeşitli çalışmalarda gösterilmiş olan GA'lar büyük parametre ve yapısal belirsizlikleri tolere edebilirler. Karmaşık matematik hesaplamaları yerine yalnızca giriş-çıkış bilgilerine ihtiyaç duyarlar. Uygun performans indeksi seçimi ile sistemin arzu edilen dinamik davranışı ve kararlılığı elde edilebilir. Bu bilgilerin ışığı altında GA bu çalışmada bulanık kontrol tasarımında kullanılmıştır. Hem sabit sıcaklıkta ve hem de sıcaklık profilinde yapılan denemelerde üyelik fonksiyonu kümeleri ve ilişki matrisi GA ile bulunan bulanık kontrolün hem teorik hem de deneysel olarak reaktör içi sıcaklığını istenen set noktasında tutabildiği gözlenmiştir.

Çalışmanın bundan sonraki aşamasında bulanık kontrol edicinin GA kullanarak on-line optimizasyonu hedeflenmektedir.

## 7. SEMBOLLER

A	Isı aktarım alanı, $\text{m}^2$
$C_p$	Karışımın öz ısısı, $\text{J/mol.}^{\circ}\text{C}$
$C_{p_c}$	Soğutma suyunun öz ısısı, $\text{J/mol.}^{\circ}\text{C}$
$\dot{m}_c$	Soğutma suyu kütleli akış hızı, $\text{kg/s}$
Q	Isıtıcıya verilen ısı, W
t	Zaman, s
T	Sıcaklık, K
$\bar{T}_c$	Soğutma suyu ortalama sıcaklığı, K

$T_i$	Soğutma suyu giriş sıcaklığı, K
$T_\infty$	Soğutma suyu çıkış sıcaklığı, K
$U$	Tüm ısı aktarım katsayısı, $W/m^2 \cdot ^\circ C$
$V$	Toplam karışım hacmi, $m^3$
$V_c$	Soğutma suyu hacmi, $m^3$
$\dot{v}_c$	Soğutma suyu hacimsel akış hızı, ml/s
$\rho$	Karışımın yoğunluğu, $g/cm^3$
$\rho_c$	Soğutma suyu yoğunluğu, $g/cm^3$

## KAYNAKLAR

- Cordon, O ve Herrera, F. (1995). A General Study on Genetic Fuzzy Systems. *Genetic Algorithms in Engineering and Computer Science*, Wiley and Sons, p. 33-57.
- Gallagher, K. ve Sambridge, M. (1994). Genetic Algorithms: a Powerful Tool for Large-Scale Nonlinear Optimization Problems. *Computers & Geosciences*, 20 (7/8), 1229-1236.
- Gürocak, H.B. (1999). A Genetic-Algorithm-Based Method for Tuning Fuzzy Logic Controllers. *Fuzzy Sets and Systems*, 108, p. 39-47.
- Holland, J.H. (1975). *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. Univ. of Michigan Press, Ann Arbor, MI.
- Karr, C.L., Meredith, D.L. ve Stanley, D.A. (1990). Fuzzy Process Control with a Genetic Algorithm. *Minerals and Metallurgical Processing Control 90 Miner Metal Process Control '90-Mineral and Metallurgical Processing*, p. 53-60, February 26-March 1.
- Newell, R.B. ve Lee, P.L. (1989). *Applied Process Control-A case Study*. Prentice Hall, p. 97-111.
- Ng, K.C. ve Li, Y. (1994). Design of Sophisticated Fuzzy Logic Controllers Using Genetic Algorithms. *Proc. 3rd IEEE Int. Conf. Fuzzy Systems*, pp. 1708-1712, Orlando, FL. (University of Glasgow, Technical Report: CSC-94001)
- Srinivas, M. ve Patnaik, L.M. (1994). Genetic Algorithms: A Survey. *Computer*, 27 (6), 17-26.
- Wu, C.J. ve Liu G.Y. (2000). A Genetic Approach for Simultaneous design of Membership Functions and Fuzzy Control Rules. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 28, 195-211.

rumda Araştırma Görevlisi olarak görev yapan Ayla ALTINTEN Şubat 2005'den itibaren aynı bölümde Yardımcı Doçent olarak çalışmalarına devam etmektedir.



**Sebahat ERDOĞAN**, ODTÜ Kimya Mühendisliği Bölümünde 1975 yılında Lisans, 1978 de Yüksek Lisans eğitimini tamamladı. Doktora eğitimini Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünde 1984 de bitirdi. Bu arada 1977 de ADMMA Kimya Mühendisliği Bölümünde asistan olarak işe başladı. 1982 de Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak işine devam ederek, 1985 de Yrd. Doç, 1991 de Doçent ve 2000 yılında profesör ünvanlarını aldı. 1986-1989 yılları arasında Kimyasal Teknolojiler Ana bilim Dalı Başkanlığı görevini üstlenmiş olup, 2004 Kasım ayından itibaren Kimya Mühendisliği Bölüm Başkanı olarak görevine devam etmektedir.



**Ayla ALTINTEN**, 1992 yılında Gazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü'nden mezun oldu. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalından 1996 yılında Yüksek Lisans Derecesini, 2002 yılında Doktora Derecesini aldı. 1994-2005 yılları arasında aynı ku-