

# Nötrosofik Benzerlik Ölçüsü ile PID Katsayılarının Ayarlanması Metodunda Üçgen, Gauss ve Çan Eğrisi Üyelik Fonksiyonlarının Etkilerinin İncelenmesi

Mehmet Serhat Can<sup>1</sup> Ömer Faruk Özgüven<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Zile Meslek Yüksekokulu, Mekatronik Programı

<sup>2</sup> İnönü Üniversitesi, Biyomedikal Mühendisliği Bölümü

[mehmetserhat.can@gop.edu.tr](mailto:mehmetserhat.can@gop.edu.tr)

[omer.ozguven@inonu.edu.tr](mailto:omer.ozguven@inonu.edu.tr)

## Özet

*PID (Proportional Integral Derivative) katsayılarının ayarlanması, PID denetleyici için istenilen sistem çıkışını sağlayacak en uygun  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  katsayılarının bulunması işlemidir. Literatürde, nötrosofik benzerlik ölçüsü ile PID katsayılarının ayarlanmasını sağlayan bir metod önerilmiştir. Bu metotta, kontrol edilmek istenen sisteme birim basamak sinyali uygulanarak sistemin birim basamak cevabı özellikleri elde edilir ve bu birim basamak özellikleri, üyelik fonksiyonlarından geçirilerek nötrosofik üyelik değerlerinden oluşan gerçek nötrosofik küme oluşturulur. Sonrasında, gerçek nötrosofik küme ile önceden belirlenmiş ideal nötrosofik küme arasındaki Nötrosofik benzerlik ölçüsüne bakılarak en uygun PID katsayıları belirlenir. Bu çalışmada, nötrosofik benzerlik ölçüsü kullanılarak PID katsayılarının ayarlanması metodunda üçgen- trapezoid, Gauss eğrisi ve çan eğrisi üyelik fonksiyonlarının etkileri incelenmiştir.*

## 1. Giriş

PID denetleyici ile bulanık mantık denetleyici ve bunlardan oluşturulmuş karma tasarımlar, kontrol uygulamalarında sıkça kullanılan denetleyici türlerindedir. Özellikle PID denetleyici, kolay tasarım, sıfır kalıcı durum hatasının elde edilebilmesi, düşük osilasyonlu ve hızlı bir sistem cevabının elde edilebilmesi gibi önemli özellikleri bir araya getirmesi açısından uygulamalarda çok tercih edilmektedir [1,2]. PID denetleyici tasarımı, hata oranını, toplam hatayı ve hatanın değişimini hesaba dahil eder. Bu üç değer toplamına göre, P, PI, PD ve PID denetleyici yapıları elde edilir. PID denetleyici tasarımında  $K_p$ ,  $K_i$  ve  $K_d$  adı verilen üç temel parametre, PID denetleyicinin performansını belirler. Bu katsayıların, en uygun denetleyici performansını elde etmek üzere belirlenmesi işlemi PID katsayı ayarlama olarak adlandırılır. Başlıca PID katsayı ayarlama yöntemleri kapalı döngü metotları (Ziegler-Nichols metodu, Düzenlenmiş Ziegler-Nichols metodu, Sönümlü osilasyon metodu, Tyreus-Luyben metodu) ve açık döngü metotları (Açık döngü Ziegler-Nichols method, Fertik metodu, Cohen ve Coon metodu, C-H-R metodu, IMC metodu, Ciancone-Marline metodu, Minimum hata kriterleri (IAE, ISE, ITAE) metodu) olarak iki ana sınıfa ayrılır[1].

1965 yılında Zadeh, bulanık mantık yaklaşımını önermiştir [3]. Bulanık mantık veya bulanık küme yaklaşımında bir olgu bir üyelik değeri ile temsil edilir. Bu üyelik değeri mühendislik uygulamalarında çoğunlukla [0,1] kapalı aralığında değerlendirilir. Klasik mantıkta 0 ve 1 değerlerinden birisi ile temsil edilebilen bir olgu, bulanık mantıkta [0,1] aralığında sonsuz değer alabilir. Böylece, bir olgu bulanık mantık yaklaşımında kesin olmayan (belirsiz, gri) değerlere de sahip olabilir. 1974 yılında, Mamdani bulanık mantık yaklaşımını temel alan bir algoritma sunmuştur [4]. Günümüzde bulanık mantık temelli denetleyiciler farklı alanlarda sıkça kullanılmaktadır [5-9].

Zadeh'ten sonra, bulanık mantık yaklaşımı daha da genişletilmiş ve yeni mantık yaklaşımları önerilmiştir. Bunlar, L-bulanık kümeler [10], aralık değerli bulanık kümeler [11-13], dört değerli mantık [14], intuitionistic bulanık kümeler [15], aralık değerli intuitionistic bulanık kümeler [16], vague kümelerdir [17]. Bulanık mantık ve bulanık mantığın genişletilmiş halleri olan diğer mantık yaklaşımlarından sonra, Smarandache nötrosofi ve nötrosofik küme kavramlarını literatüre sunmuştur[18]. Nötrosofide bir olgu, bulanık mantıktan farklı olarak, doğru (Truth =  $T$ ), belirsiz (Indeterminacy =  $I$ ) ve yanlış (Falsity =  $F$ ) şeklinde üç değerle temsil edilir.

Nötrosofik benzerlik ölçüsü, iki veya daha fazla Nötrosofik küme arasındaki benzerlik oranını bulmada kullanılan bir yöntem olup, özellikle karar verme problemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır [19-21]. Karar verme problemlerinde, bir veri veya nesne kümesi içinden, aranan kriterleri mümkün olduğunca yüksek oranda temsil eden birisinin seçilmesi amaçlanır. Örneğin, bir şirkete bir personelin alınması sürecinde, personelin çalıştırılacağı pozisyonun gerektirdiği bir takım kriterler bulunur. Bunlar arasında, esnek çalışma saati, ücretlendirme, çözüm odaklı olma, yenilikçilik v.b sayılabilir. İşe alınacak personelin seçimi bir karar verme problemidir ve işe talip olan adaylar arasından, şirketin istediği kriterleri en çok karşılayacak personel belirlenir. PID kontrolör tasarım süreci de bir karar verme süreci olarak düşünülebilir. Çünkü denetlenen sistemden beklenen çıkış cevabının bazı kriterleri sağlaması beklenir ve bu değerlerin mümkün olduğunca sağlanması amaçlanır. Bu kriterler düşük

aşım oranı, kısa süreli yükselme zamanı, kısa süreli oturma zamanı, düşük osilasyon oranı, sıfır ters aşım oranı ve sıfır kalıcı durum hatasıdır. Bu kriterler sistemin geçici durum karakteristikleri olarak adlandırılır. Denetleyici tasarımında bu kriterler incelendiğinde iyi, kötü, ne iyi ne de kötü diyebileceğimiz durumlar çıkabilmektedir. Örneğin bir geçici durum karakteristiğinin incelenmesi durumunda 2 saniyelik yükselme zamanı iyi, 1.7-3.7 saniye yükselme zaman aralığı belirsiz (ne iyi nede kötü) ve 3.7'nin üzerindeki yükselme zamanları da kötü olarak değerlendirilebilir. Görüldüğü gibi bir adım cevabı yorumu iyi, belirsiz ve kötü durumlarını içermektedir. Bu yorum diğer geçici durum karakteristikleri için de genişletilebilir. Aslında bir sistemin geçici durum karakteristiklerine bakarak denetleyici tasarım işlemi çok kriterli bir karar verme problemi ve belirsiz durumları da içeriyor olması, nütrosifik küme veya nütrosifik mantık yaklaşımlarıyla değerlendirilebileceği anlamına gelmektedir.

Daha önceki bir çalışmada, PID katsayılarının ayarlanması için nütrosifik benzerlik ölçüsü tabanlı bir metod önerilmiştir [22]. Bu bildiri çalışmasında ise, nütrosifik tabanlı PID katsayı ayarlama metodu, üçüncü dereceden bir transfer fonksiyonuna üçgen, Gauss eğrisi ve çan eğrisi üyelik fonksiyonları kullanılarak uygulanmış ve bu üyelik fonksiyonlarının sonuçlar üzerindeki etkileri yorumlanmıştır.

## 2. Ön bilgiler

### 2.1. PID Kontrol

PID kontrol, geri beslemeli bir kontrol tekniğidir. Bu kontrol tekniğinde hata  $K_p$ , toplam hata  $K_i$  ve hata değişimi  $K_d$  adı verilen üç katsayı çarpılır ve bu çarpımlar toplanır. Böylece kontrol işareti elde edilir. PID denetleyici için kontrol işaretinin zaman domenli gösterimi ve bu gösterimin Laplace karşılığı aşağıdaki denklemlerde gösterilmiştir.

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (1)$$

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (2)$$

Burada  $r(t)$  referans değerini,  $e(t)$  hata değerini,  $u(t)$  ise kontrol işaretini ve  $y(t)$  çıkış işaretini gösterir.

### 2.2. Nütrosifik Mantık, Nütrosifik Küme

Nütrosifik mantık veya nütrosifik küme kavramında, bir olgunun bir kümeye ait olma derecesi doğru (True =  $T$ ), belirsiz (Indeterminacy =  $I$ ) ve yanlış (False =  $F$ ) şeklinde üç değerle gösterilir. Örneğin bir  $x$  değişkeninin bir  $E$  evrensel kümesindeki bir  $A$  alt kümesine ait olması (veya üyelik değeri)  $x(0.65, 0.43, 0.27)$  şeklinde olabilir. Bu gösterim  $x(T, I, F)$  gösterimine karşılık gelir. Bu gösterimlere göre,  $x$  değişkeni 0.65 değeri ile  $A$  kümesine dahil, 0.43 değeri ile belirsiz ve 0.27 değeri ile dahil değildir. Burada belirsizlik değeri, "ne dahil ne de değil veya hem dahil hemde değil" belirsizlik durumlarını temsil edebilir. Bu gösterimden de görülebileceği gibi  $T+I+F$  toplamının 1 olma zorunluluğu yoktur [23].  $T$ ,  $I$  ve  $F$  değerleri gerçel değerli olmak üzere, sürekli, ayırık, tek değerli, sonlu (sayılabilen veya sayılamayan), sonsuz veya farklı alt kümelerin kesişimleri veya birleşimleri olabilirler [24]. Nütrosifik mantık ve

Nütrosifik küme ile ilgili temel tanımlamalar ve teoremler aşağıda verilmiştir.

**Tanım 1** [25]  $X$  bir evrensel küme olsun.  $x$  bu evrensel küme içerisinde bir eleman olsun.  $X$  evrensel kümesinde bir  $A$  nütrosifik alt kümesi olsun.  $A$  alt kümesi için;

$T_A(x)$ : Doğruluk üyelik fonksiyonu.

$I_A(x)$ : Belirsizlik üyelik fonksiyonu.

$F_A(x)$ : Yanlışlık üyelik fonksiyonu.

$T_A(x)$ ,  $I_A(x)$  ve  $F_A(x)$  fonksiyonları  $]0^-, I^+[$ 'nın gerçel, standard yada standart olmayan alt kümesidir.

$$T_A(x): X \rightarrow ]0^-, I^+[$$

$$I_A(x): X \rightarrow ]0^-, I^+[$$

$$F_A(x): X \rightarrow ]0^-, I^+[$$

$T_A(x)$ ,  $I_A(x)$  ve  $F_A(x)$  fonksiyonlarının toplamı için bir sınırlama yoktur ve  $0^- \leq \sup T_A(x) + \sup I_A(x) + \sup F_A(x) \leq 3^+$  durumu geçerlidir.

**Tanım 2** [25]  $A$  kümesi,  $X$  içinde bir tek değerli nütrosifik küme (Single Valued Neutrosophic Set=SVNS).  $A = \{x, T_A(x), I_A(x), F_A(x): x \in X\}$ .

$$T_A(x): X \rightarrow [0,1]$$

$$I_A(x): X \rightarrow [0,1]$$

$$F_A(x): X \rightarrow [0,1]$$

$$0 \leq T_A(x) + I_A(x) + F_A(x) \leq 3 \text{ her } x \in X \text{ için geçerlidir.}$$

**Tanım 3** [25]  $A$  bir tek değerli nütrosifik küme (Single Valued Neutrosophic Set=SVNS) olsun.  $A$ 'nın komplementi  $A^c$  ile gösterilir ve her  $x \in X$  için;

$$T_{A^c}(x) = F_A(x)$$

$$I_{A^c}(x) = I - I_A(x)$$

$$F_{A^c}(x) = T_A(x)$$

$$A^c = \{x, F_A(x), 1 - I_A(x), T_A(x): x \in X\} \text{ için geçerlidir.}$$

**Tanım 4** [25] SVNS  $A$  ve SVNS  $B$  kümeleri için,  $A \subseteq B$  ve  $B \subseteq A$  koşulunun sağlanması durumunda  $A = B$ 'dir.

**Tanım 5** [26,27]  $U$  evrensel küme ve  $E$  parametre kümesi.  $P(U)$ ,  $U$ 'nun kuvvet kümesi ve  $A \subseteq E$ .  $(F, A)$   $U$ 'nun esnek kümesi olarak adlandırılır ve  $F, F: A \rightarrow P(U)$  şeklinde bir dönüşümdür.

**Tanım 6** [28]  $U$  evrensel küme,  $E$  parametre kümesi,  $A \subseteq E$  ve  $NS(U)$ ,  $U$ 'nun tüm Nütrosifik kümeleridir.  $(F, A)$   $U$

üzerinden Nötrosifik esnek kümedir (Neutrosophic Soft Set=NSS),  $F, F: A \rightarrow NS(U)$  ifadesiyle bir dönüşümdür.

**Tanım 7** [29]  $U=\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$  evrensel küme ve  $E=\{e_1, e_2, e_3, \dots, e_n\}$  parametre kümesidir.  $NS(U)$ ,  $U$  üzerinden tüm Nötrosifik kümeleri gösterir.  $A$  ve  $B$ ,  $U$  üzerinden Nötrosifik esnek küme,  $A$  ve  $B$ ,  $A, B: E \rightarrow NS(U)$  ifadesiyle gösterilen dönüşümlerdir.  $L_H, L_E$ , sırasıyla Hamming, Öklidyen mesafeleri göstermek üzere,  $A$  ve  $B$  kümeleri arasındaki mesafe Denklem 3 ve Denklem 4'te verildiği gibidir.

$$L_H(A, B) = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left\{ \begin{array}{l} |T_{A(x_i)(e_j)} - T_{B(x_i)(e_j)}| + \\ |I_{A(x_i)(e_j)} - I_{B(x_i)(e_j)}| + \\ |F_{A(x_i)(e_j)} - F_{B(x_i)(e_j)}| \end{array} \right\} \quad (3)$$

$$L_E(A, B) = \sqrt{\frac{1}{6} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left( \begin{array}{l} (T_{A(x_i)(e_j)} - T_{B(x_i)(e_j)})^2 + \\ (I_{A(x_i)(e_j)} - I_{B(x_i)(e_j)})^2 + \\ (F_{A(x_i)(e_j)} - F_{B(x_i)(e_j)})^2 \end{array} \right)} \quad (4)$$

**Tanım 8** [29]  $U$  evrensel küme,  $E$  parametre kümesi,  $A$  ve  $B$   $U$  üzerinden nötrosifik esnek kümeler.  $A$  ve  $B$  arasındaki mesafe tabanlı benzerlik ölçüsü (Similarity Measure=SM):

$$SM(A, B) = \frac{1}{1 + L(A, B)} \quad (5)$$

Başka bir benzerlik ölçüsü ise;

$$SM(A, B) = e^{-\alpha L(A, B)} \quad (6)$$

şeklinde.  $L(A, B)$ ,  $A$  ve  $B$  aralık değerli esnek nötrosifik kümeleri arasındaki mesafedir ve  $\alpha$  diklik ölçüsüdür ve pozitif gerçel bir sayıdır.

**Tanım 9** [29]  $S=\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$  evrensel küme ve  $E=\{e_1, e_2, e_3, \dots, e_n\}$  parametre kümesidir.  $NS(U)$ ,  $S$ 'nin tüm Nötrosifik alt kümeleridir.  $A$  ve  $B$ ,  $S$  üzerinden Nötrosifik esnek kümelerdir.  $A$  ve  $B$ ,  $A, B: E \rightarrow NS(U)$  ifadesiyle bir dönüşümdür.  $A$  ve  $B$  arasındaki küme teorisi yaklaşımı benzerlik ölçüsü (Similarity Measure=  $SM(A, B)$ ):

$$SM(A, B) = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[ \begin{array}{l} (T_{A(x_i)(e_j)} \wedge T_{B(x_i)(e_j)}) + \\ (I_{A(x_i)(e_j)} \wedge I_{B(x_i)(e_j)}) + \\ (F_{A(x_i)(e_j)} \wedge F_{B(x_i)(e_j)}) \end{array} \right]}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \left[ \begin{array}{l} (T_{A(x_i)(e_j)} \vee T_{B(x_i)(e_j)}) + \\ (I_{A(x_i)(e_j)} \vee I_{B(x_i)(e_j)}) + \\ (F_{A(x_i)(e_j)} \vee F_{B(x_i)(e_j)}) \end{array} \right]} \quad (7)$$

**Teorem 1** [29]  $SM(A, B)$ ,  $A$  ve  $B$  kümeleri arasındaki benzerlik ölçüsüdür:

$$i) SM(A, B) = SM(B, A)$$

$$ii) 0 \leq SM(A, B) \leq 1$$

iii)  $SM(A, B) = 1$ , yalnız ve yalnız  $A = B$  durumunda geçerlidir.

**Tanım 10** [30]  $S_J, S_D$ , sırasıyla Jaccard ve Dice vektör benzerlik ölçüleridir. SVNNS için üç vektör benzerlik ölçüsü şöyledir;

$$S_D(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{2(T_A(x_i)T_B(x_i) + I_A(x_i)I_B(x_i) + F_A(x_i)F_B(x_i))}{\left( \begin{array}{l} (T_A^2(x_i) + I_A^2(x_i) + F_A^2(x_i)) + \\ (T_B^2(x_i) + I_B^2(x_i) + F_B^2(x_i)) \end{array} \right)} \quad (8)$$

$$S_J(A, B) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(T_A(x_i)T_B(x_i) + I_A(x_i)I_B(x_i) + F_A(x_i)F_B(x_i))}{\left( \begin{array}{l} (T_A^2(x_i) + I_A^2(x_i) + F_A^2(x_i)) + \\ (T_B^2(x_i) + I_B^2(x_i) + F_B^2(x_i)) - \\ (T_A(x_i)T_B(x_i) + I_A(x_i)I_B(x_i) + F_A(x_i)F_B(x_i)) \end{array} \right)} \quad (9)$$

**Teorem 2** [30] Jaccard, Dice benzerlik ölçülerine göre,  $S_k(A, B)$  ( $k=J, D$ ) benzerlik ölçüsü aşağıda verilen özellikleri sağlar[30-32]:

$$i) 0 \leq S_k(A, B) \leq 1;$$

$$ii) S_k(A, B) = S_k(B, A);$$

iii)  $S_k(A, B) = 1$  eğer  $A = B$ , yada,  $T_A(x_i) = T_B(x_i)$ ,  $I_A(x_i) = I_B(x_i)$ , ve  $F_A(x_i) = F_B(x_i)$  her  $x_i \in X$  için.

### 2.3. Nötrosifik Benzerlik ölçüsü Tabanlı PID Tuning Metodu

Nötrosifik benzerlik ölçüsüne dayanan PID katsayı ayarlama metodunda, önce Ziegler-Nichols PID tuning metodu kullanılarak kaba  $K_p, K_i, K_d$  değerleri elde edilir. Bulunan bu kaba  $K_p, K_i, K_d$  değerlerine göre alt ve üst arama limitleri oluşturulur. Bu arama limitleri arasında iç içe üç döngüden oluşan bir arama algoritması çalıştırılır. Bu algoritmanın her bir adımında,  $K_p, K_i, K_d$  değerleri sırayla birer birer artırılarak, her bir artım sonucunda elde edilmiş yeni  $K_p, K_i, K_d$  değerleri ile PID denetleyici güncellenir ve sisteme birim basamak işareti uygulanarak sistemin geçici durum özellikleri elde edilir. Elde edilen geçici durum özelliklerinin her biri,  $T, I$  ve  $F$  üyelik fonksiyonlarından geçirilir (nötrosifikasyon) ve böylece geçici durum özellikleri nötrosifik değerlere dönüştürülür. Bu yeni nötrosifik değerler kullanılarak gerçek nötrosifik küme oluşturulur. Sonra, önceden oluşturulmuş ideal bir nötrosifik küme ile gerçek nötrosifik küme arasındaki benzerlik ölçüsü Denklem 3,4,5,7,8,9 kullanılarak hesaplanır ve elde edilen nötrosifik benzerlik ölçüsü her adım sonunda bir diziye kaydedilir. Üç döngülü arama algoritması bittiğinde, benzerlik ölçüsü dizisindeki en büyük değer alınarak, en

uygun  $K_p$ ,  $K_i$ ,  $K_d$  değerleri olarak seçilir. Bu metotta kullanılan iç içe döngü aşağıdaki gibi özetlenebilir.

For  $P=1:1:\text{Maksimum\_Kp\_Değeri}$

For  $I=\text{Minumum\_Ki}:1:\text{Maksimum\_Ki\_Değeri}$

For  $D=\text{Minumum\_Kd}:1:\text{Maksimum\_Kd\_Değeri}$

$Kp=P;Ki=I;Kd=D;$

Birim basamak sinyalinin uygula;

Yükselme zamanı değerini  $T,I$  ve  $F$  üyelik fonk. geçir;

Oturma zamanı değerini  $T,I$  ve  $F$  üyelik fonk. geçir;

%Aşım oranı değerini  $T,I$  ve  $F$  üyelik fonk. geçir.

%Ters aşım oranı değerini  $T,I$  ve  $F$  üyelik fonk. geçir.

Tepe zamanı değerini  $T,I$  ve  $F$  üyelik fonk. geçir.

Kal. durum hatası değerini  $T,I$  ve  $F$  üyelik fonk. geçir.

SM değerini hesapla ve SM dizisine kaydet

End

End

End

SM dizisindeki en büyük değeri bul ve değere karşılık gelen  $K_p, K_i, K_d$  değerini seç

Metotta kullanılan ideal nütrosifik küme ve birim basamak değerlerinin  $T, I$  ve  $F$  üyelik fonksiyonlarından geçirilmesiyle elde edilen değerler kullanılarak oluşturulmuş örnek gerçek Nütrosifik küme, sırasıyla Tablo 1 ve Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1: İdeal nütrosifik küme

	Yükselme zamanı	Oturma zamanı	%Aşım oranı	%Ters aşım oranı	Tepe zamanı	Kal. durum hatası
$i$	(1,0,0)	(1,0,0)	(1,0,0)	(1,0,0)	(1,0,0)	(1,0,0)

Tablo 2: Örnek gerçek nütrosifik küme

	Yük. zamanı	Oturma zamanı	%Aşım oranı	%Ters aşım oranı	Tepe zamanı	Kal. dur. hat.
$g$	(0,0,0.0001,0.3995)	(0.1615,0.5144,0.8718)	(0.0105,0.0001,0)	(1,0.0025,0.0004)	(0.4399,0.6271,0.9122)	(1,0,0)

### 3. Nütrosifik Benzerlik Ölçüsü ile PID Katsayı Ayarlama Metodunda Üyelik Fonksiyonlarının Etkileri

Bu bildiri çalışmasında, farklı üyelik fonksiyonlarının etkisini incelemek amacıyla, üçgen-trapezoid üyelik fonksiyonları ile elde edilen sonuçlarla Gauss eğrisi (Gaussian) ve çan eğrisi (bell) üyelik değerleri elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmada üyelik fonksiyon çeşitlerinin etkileri incelendiğinden, üyelik fonksiyonlarının evrensel küme üzerindeki aralıkları tüm üyelik fonksiyonu çeşitlerinde aynı seçilmiştir. Geçici durum özellikleri olarak yükselme zamanı, oturma zamanı, % aşım oranı, % ters aşım oranı, tepe zamanı ve kalıcı durum hatası değerleri kullanılmıştır. Farklı üyelik fonksiyonlarının etkilerini incelemek için kullanılan üçüncü dereceli transfer fonksiyonu Denklem 10’te gösterilmektedir.

$$G(s) = \frac{1}{(s+1)(s+3)(s+5)} \quad (10)$$

şeklinde. Bu transfer fonksiyonuna, Ziegler-Nichols yöntemi uygulanmış ve kaba PID katsayıları,  $K_p=115.2$ ,  $K_i=177.2$  ve  $K_d=18.3$  olarak bulunmuştur. Sonra, nütrosifik benzerlik ölçüsüne dayanan PID katsayı ayarlama yöntemi, üçgen, gauss ve çan eğrili üyelik fonksiyonları ile ayrı ayrı denenmiştir. Geçici durum özelliklerinin nütrosifikasyonu için kullanılan üyelik fonksiyonlarının evrensel kümedeki aralıkları Tablo 3, 4 ve 5’te ve bu değerler kullanılarak bulunmuş  $K_p, K_i$  ve  $K_d$  değerleri Tablo 6’te sunulmuştur.

Tablo 3: Nütrosifikasyon için kullanılan üçgen-trapezoid üyelik fonksiyonlarının evrensel küme üzerindeki aralık değerleri

Geç.durm karakter.	Üyelik fonksiyonlarının evrensel küme üzerindeki aralık değerleri		
	T	I	F
Yükselme zamanı	[0; 1.5; 3] Üçgen	[2.5; 3; 3.5] Üçgen	[3; 4; 10; 10] Trapezoid
Oturma zamanı	[0; 2.5; 5] Üçgen	[4.5; 5; 5.5] Üçgen	[5; 6; 10; 10] Trapezoid
%Aşım oranı	[0; 2; 4] Üçgen	[3; 4; 5] Üçgen	[4; 5; 10; 10] Trapezoid
%Ters aşım oranı	[0; 0; 0] Üçgen	[0; 0.1; 0.2] Üçgen	[0.2; 0.3; 1; 1] Trapezoid
Tepe zamanı	[0; 2; 4] Üçgen	[3; 4; 5] Üçgen	[4; 5; 6] Üçgen
Kalıcı durum hat	[0;0;0.005;0.009] Trapezoid	[0.008;0.009;0.01] Üçgen	[0.009;0.01;0.05;0.05] Trapezoid

Tablo 4: Nötrosifikasyon için kullanılan gauss eğrisi üyelik fonksiyonlarının evrensel küme üzerindeki aralık değerleri

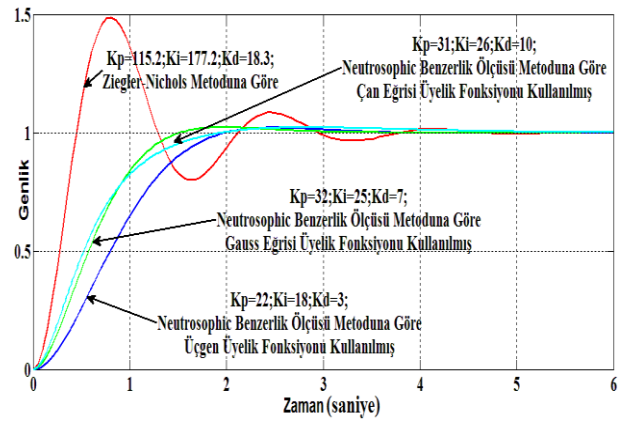
Geç.durm karakter.	Üyelik fonksiyonlarının evrensel küme üzerindeki aralık değerleri		
	T	I	F
Yükselme zamanı	[0.5; 1.5] Gauss	[0.5; 3] Gauss	[1; 6] Gauss
Oturma zamanı	[1; 2.5] Gauss	[1; 5] Gauss	[1; 6] Gauss
%Aşım oranı	[1; 2] Gauss	[1; 4] Gauss	[1; 5] Gauss
%Ters aşım oranı	[0.008; 0] Gauss	[0.04; 0.1] Gauss	[0.08; 0.3] Gauss
Tepe zamanı	[1; 2] Gauss	[1; 4] Gauss	[1; 6] Gauss
Kalıcı durum hat	[0.002; 0] Gauss	[0.002; 0.009] Gauss	[0.002; 0.02] Gauss

Tablo 5: Nötrosifikasyon için kullanılan çan eğrisi üyelik fonksiyonlarının evrensel küme üzerindeki aralık değerleri

Geç.durm karakter.	Üyelik fonksiyonlarının evrensel küme üzerindeki aralık değerleri		
	T	I	F
Yükselme zamanı	[0.5; 3.278; 1.5] Çan	[0.5; 3.278; 3] Çan	[1; 3.278; 6] Çan
Oturma zamanı	[1; 3.278; 2.5] Çan	[1; 3.278; 5] Çan	[1; 3.278; 6] Çan
%Aşım oranı	[1; 3.278; 2] Çan	[1; 3.278; 4] Çan	[1; 3.278; 5] Çan
%Ters aşım oranı	[0.009; 3.278; 0] Çan	[0.04; 3.278; 0.1] Çan	[0.09; 3.278; 0.3] Çan
Tepe zamanı	[1; 3.278; 2] Çan	[1; 3.278; 4] Çan	[1; 3.278; 6] Çan
Kalıcı durum hat	[0.002; 3.278; 0] Çan	[0.002; 3.278; 0.009] Çan	[0.002; 3.278; 0.02] Çan

Tablo 6: Üçgen ve trapezoid, gauss ve çan eğrisi üyelik fonksiyonları kullanılarak bulunmuş PID değerleri

Üyelik Fonk. Çeşiti	Benzerlik ölçüsü kriteri	Farklı üyelik fonksiyonlarına göre elde edilmiş PID katsayıları			
		Kp	Ki	Kd	SM
Üçgen ve trapezoid	Hamming	22	18	3	0.9285
	Öklidyen	22	18	3	0.8889
	Set-theoretic	22	18	3	0.9230
	Jaccard	21	17	2	0.9814
	Dice	22	18	3	0.9905
Gauss	Hamming	32	25	7	0.8627
	Öklidyen	32	26	8	0.8223
	Set-theoretic	32	25	7	0.851
	Jaccard	32	26	8	0.9423
	Dice	32	26	8	0.9674
Çan	Hamming	31	26	9	0.9094
	Öklidyen	31	26	9	0.8465
	Set-theoretic	31	26	9	0.9025
	Jaccard	31	26	10	0.9602
	Dice	31	26	10	0.9789



Şekil 1: Üyelik fonksiyonlarına göre birim basamak yanıtları.

Tablo 7: Geçici durum karakteristiklerine göre üçgen ve trapezoid, Gauss ve çan eğrisi üyelik fonksiyonlarının karşılaştırılması.

Geç.durm karakter.	Üyelik fonksiyonları		
	Üçgen-Trapez.	Guss eğrisi	Çan eğrisi
Yükselme zamanı	1.2178	0.9339	1.0199
	1.2139	0.9509	1.0695
Oturma zamanı	2.5561	2.1620	2.9962
	2.6145	2.4288	3.1934
%Aşım oranı	2.0229	2.1976	2.2553
	2.1739	2.1944	2.1623
%Ters aşım oranı	0	0	0
Tepe zamanı	2.4801	1.9626	2.5713
	2.4396	2.1508	2.8317
Kalıcı durum hat	0	0	0

Şekil 6 ve Tablo 7’den de görüleceği üzere, elde edilen sonuçlar birbirlerine yakın olmakla birlikte, üçgen-trapezoid üyelik fonksiyonu kullanılarak elde edilen adım cevapları, Gauss ve çan eğrisi üyelik fonksiyonu ile elde edilen sonuçlara göre aranan kriterlere yaklaşıma açısından daha iyidir.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Nötrosifik benzerlik ölçüsüne dayanan PID katsayı ayarlama metodunda üçgen, Gauss eğrisi ve çan eğrisi üyelik fonksiyonlarının, kontrol sonuçları üzerindeki etkisi incelenmiştir.  $T$ ,  $I$ ,  $F$  üyelik fonksiyonlarının evrensel küme üzerindeki aralıkları, farklı üyelik fonksiyonları için yaklaşık olarak aynı seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, sonuçlar arasında çok büyük farklılıklar olmayıp, üçgen-trapezoid üyelik fonksiyon tipindeki üyelik fonksiyonunun aranan adım cevabı kriterlerine daha yakın sonuçlar üretmektedir.

#### 5. Kaynaklar

[1] Shahrokhi, M., Zomorodi, A., “Comparison of PID Controller Tuning Methods”, *Proceedings of 8th National Iranian Chemical Engineering Congress*, Ferdowsi University, Mashhad, Iran, 2003.

[2] Hussain, K. M., Zepherin, R. A. R., Kumar, M. S., Kumar, S. M. G., “Comparison of PID Controller Tuning Methods with Genetic Algorithm for FOPTD System”, *Int. Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 4, issue 2 (Version 1), pp. 308-314, 2014.

[3] Zadeh, L. A., “Fuzzy Sets”, *Information & Control*, vol.8, pp. 338-353, 1965.

[4] Mamdani, E.H., “Application of fuzzy logic algorithms for control of simple dynamic plant”, *Proc Inst Elec Eng.*, pp. 1585-1588, 1974.

[5] Jahanshahi, E., Sivalingam, S., Schofield, J. B., “Industrial test setup for autotuning of PID controllers in large-scale processes: Applied to Tennessee Eastman process”, *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, Issue 8, pp. 469-476, 2015.

[6] Ponce, P., Molina, A., Tello G., Ibarra, L., B., MacCleery, Ramirez, M., “Experimental study for FPGA PID position controller in CNC micro-machines”, *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, issue 3, pp 2203-2207, 2015

[7] Reyes, F., Rosado, A., “Polynomial family of PD-type controllers for robot manipulators”, *Control Engineering Practice*, vol. 13, issue 4, pp 441-450, April 2005.

[8] Sondhi, S.i, Hote, Y. V., “Fractional order PID controller for load frequency control”, *Energy Conversion and Management*, vol. 85, pp. 343-353, September 2014

[9] Jingzhuo, Yu, S., Jingtao, L., H., Meiyu, X., Juwei, Z., Lei, Z., “Novel intelligent PID control of traveling wave ultrasonic motor”, *ISA Transactions*, vol. 53, issue 5, pp. 1670-1679, September 2014

[10] Goguen, J. A., “L-fuzzy sets”, *Journal of Mathematical Analysis and Applications*, vol. 18, issue 1, pp. 145-174, April 1967.

[11] Zadeh, L. A., “The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning”, *Journal of Information Sciences* 8, pp. 199-249, 1975

[12] Grattan-Guinness, I., “Fuzzy Membership Mapped onto Interval and Many-valued Quantities”, *Math. Logik. Grundluden Math* 22, pp. 149-160, (1975)

[13] Jahn K.U., “Intervall-wertige Mengen”, *Math. Nach.* 68, pp. 115-132, 1975

[14] Belnap, N., “A Useful Four-Valued Logic”, *Modern Uses of Multiple-Valued Logics. (Eds. Dunn J. M., Epstein, G.) Episteme*, vol. 2, pp. 5-37, 1977. doi: 10.1007/978-94-010-1161-7\_2

[15] Atanassov, K., “Intuitionistic Fuzzy Sets”, *Fuzzy Sets & Systems*, vol. 20, pp. 87-96, 1986

[16] Atanassov, K., Gargov, G., “Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Sets”, *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 31, pp. 343-349, (1989)

[17] Gau, W.L., Buehrer, D.J., “Vague Sets”, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 23, pp. 610-614, 1993

[18] F. Smarandache, “Neutrosophy”, <http://arxiv.org/ftp/math/papers/0010/0010099.pdf>

[19] Ye, J., “A Multicriteria Decision-making Method Using Aggregation Operators for Simplified Neutrosophic Sets,” *J. Intell. Fuzzy Syst.* 26 (5), pp. 2459-2466, 2014.

[20] R. Şahin, M. Karabacak, “A Multi Attribute Decision Making Method Based on Inclusion Measure for Interval Neutrosophic Sets,” *International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS)*, ISSN: 2394-3661, vol.2, issue-2, February 2015.

[21] R. Şahin, A. Küçük, “Subsethood Measure for Single Valued Neutrosophic Sets”, *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2014, doi: 10.3233/IFS-141304.

[22] Can, M.S., Ozguven, O. F., “PID tuning with neutrosophic similarity measure”, *International Journal*

- of *Fuzzy Systems*, 9 February, 2016, doi: 10.1007/s40815-015-0136-y
- [23] Smarandache, F., “Neutrosophy a New Branch of Philosophy”, *Multi. Val. Logic – Special Issue: Neutrosophy and Neutrosophic Logic*, vol. 8(3), pp. 297-384, 2002
- [24] Smarandache, F., “Definition of Neutrosophic Logic, a Generalization of the Intuitionistic Fuzzy Logic”, *Proceeding of the Third Conference of the European Society for Fuzzy Logic and Technology*, 2003
- [25] Wang, H., Smarandache, F., Zhang, Y. Q., Sunderraman, R., “Single Valued Neutrosophic Sets”, *Multispace and Multistructure (4)*, pp. 410-413, 2010
- [26] Molodtsov, D., “Soft Set Theory-First Results”, *Computers & Mathematics with Applications*, vol. 37, issues 4–5, pp. 19–31, 1999
- [27] Maji, P.K., Biswas, R., Roy, A.R., “Soft Set Theory”, *Computers and Mathematics with Applications*, vol. 45, issues 4-5, pp. 555–562, 2003
- [28] Maji, P. K., “Neutrosophic Soft Set”, *Annals of Fuzzy Mathematics and Informatics*, vol. 5, no. 1, pp. 157–168, 2013
- [29] Mukherjee, A., Sarkar, S., “Several Similarity Measures of Neutrosophic Soft Sets and its Application in Real Life Problems”, *Annals of Pure and Applied Mathematics*, vol. 7, no. 1, pp. 1-6, 2014
- [30] Ye, J., “Vector Similarity Measures of Simplified Neutrosophic Sets and Their Application in Multicriteria Decision Making”, *International Journal of Fuzzy Systems*, vol. 16, no. 2, 2014