
GENETİK ALGORİTMA TABANLI PID KONTROLÖR SİMÜLATÖRÜ TASARIMI

Fahri VATANSEVER *
Deniz ŞEN *

Özet: Sistem denetimi alanında PID (oransal-integral-türevsel) kontrolörler önemli yer tutmaktadır. Sistemin zaman veya frekans bölgesi verilerinden faydalanılarak; sistem özelliklerine uygun, belirli ölçütler altında, bu tür kontrolörlerin tasarımı için Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, Chien Hrones Reswick (CHR), Wang-Juang-Chan gibi değişik yöntemler mevcuttur. Bilgisayar ve yapay zekâ alanındaki gelişmelere paralel olarak genetik algoritmaların da kontrol sistemlerindeki uygulamaları artmaktadır. Bu çalışmada, PID kontrolörlerin tasarımları hem klasik yöntemlerle hem de genetik algoritmalarla gerçekleştirilerek karşılaştırmalı sonuçlar analiz edilmiştir. Bu doğrultuda, eğitim amaçlı da kullanılabilen grafiksel arayüz programı tasarlanmıştır. Program ile transfer fonksiyonları girilen sistemler için uygun P, PI ve PID kontrolör katsayıları hem seçilen klasik yöntemlerle hem de genetik algoritmalarla hesaplanmakta; sisteme ait birçok parametre ve cevap eğrileri hem sayısal hem de grafiksel olarak karşılaştırmalı sunulabilmektedir.

Anahtar Kelimeler: PID, Genetik algoritma, Ziegler-Nichols yöntemi, Cohen-Coon yöntemi, Chien Hrones Reswick yöntemi, Wang-Juang-Chan yöntemi.

Design of PID Controller Simulator based on Genetic Algorithm

Abstract: PID (Proportional Integral and Derivative) controllers take an important place in the field of system controlling. Various methods such as Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, Chien Hrones Reswick (CHR) and Wang-Juang-Chan are available for the design of such controllers benefiting from the system time and frequency domain data. These controllers are in compliance with system properties under certain criteria suitable to the system. Genetic algorithms have become widely used in control system applications in parallel to the advances in the field of computer and artificial intelligence. In this study, PID controller designs have been carried out by means of classical methods and genetic algorithms and comparative results have been analyzed. For this purpose, a graphical user interface program which can be used for educational purpose has been developed. For the definite (entered) transfer functions, the suitable P, PI and PID controller coefficients have calculated by both classical methods and genetic algorithms and many parameters and responses of the systems have been compared and presented numerically and graphically.

Keywords: PID, Genetic algorithm, Ziegler-Nichols method, Cohen-Coon method, Chien Hrones Reswick method, Wang-Juang-Chan method.

* Uludağ Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektronik Mühendisliği Bölümü, Görükle 16059, Bursa.
İletişim yazarı: F. Vatansever (fahriv@uludag.edu.tr)

1. GİRİŞ

Sistemlerin, istenilen özelliklerde çalışmasını sağlayan kontrolör/denetleyici devrelerinin analizi ve tasarımı, kontrol teorisinin başlıca alanlarından biridir. Bu alanda, farklı yapı ve karakteristiklerde kontrolörler geliştirilmiştir. Bunlardan birisi de endüstriyel amaçlı en çok kullanılan temel PID (oransal-integral-türevsel) kontrolör yapısıdır. Girişin oran-integral-türev değerlerini ve/veya bunların kombinasyonlarını alarak sistemlerin denetlenmesini sağlayan bu tip kontrolörler genel haliyle P, PI, PD ve PID olarak kullanılmaktadır. PID kontrolörlerin parametreleri hem deneysel hem de analitik olarak elde edilebilmektedir. Ayrıca tasarım aşamaları fazla işlemler içermemektedir. Bu nedenle endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadırlar.

PID kontrolörlerin tasarımları için değişik yöntemler mevcuttur. Ziegler-Nichols (Ziegler ve Nichols, 1942), Cohen-Coon, Chien Hrones Reswick, Wang-Juang-Chan yöntemleri en çok bilinenleridir (Nise, 2004; Kuo, 2006; Xue ve ark., 2007). Bu yöntemlerde; sistemin zaman veya frekans bölgesi cevaplarından faydalanılarak, farklı ölçütlere göre uygun kontrolör katsayıları belirlenebilmektedir.

Teknolojideki gelişmelere paralel olarak bilgisayar destekli analiz ve tasarımlar, kontrol sistemlerinde de yoğun şekilde kullanılmaktadır. Bu alanda yapay zekâ tekniklerinden de yüksek oranda faydalanılmaktadır (Burns, 2001; Zilouchian ve Jamshidi, 2001). Kullanılan yapay zekâ tekniklerinden birisi de genetik algoritmalarıdır (Arora ve ark., 2011; Paz-Ramos ve ark., 2004).

Bu çalışmada; eğitim amaçlı da kullanılabilecek bir PID simülatör programı geliştirilmiştir. Program ile kullanıcı/öğrencinin tanımladığı geribeslemeli sistemler için, seçilen klasik tasarım yöntemleri ve genetik algoritmalar ile istenilen kontrolörler tasarlanabilmektedir. Tasarlanan kontrolörlere göre sistem parametreleri, zaman domeni cevap eğrileri veya frekans domeni diyagramları da karşılaştırmalı olarak kullanıcıya sunulmaktadır. Böylece kullanıcılar/öğrenciler parametrelerin etkilerini inceleyebilmekte, performans analizlerini yapabilmekte ve kullanım alanlarına (amaçlarına) uygun PID kontrolör tasarımlarını gerçekleyebilmektedirler.

2. PID KONTROLÖRLER VE TASARIM YÖNTEMLERİ

2.1. PID Kontrolörler

Endüstriyel alanda çok kullanılan PID kontrolörün genel yapısı Şekil 1’de verilmektedir. PID kontrolörün girişindeki hata (referans ile geribesleme arasındaki fark) işareti $e(t)$ ve çıkışındaki kontrol işareti $d(t)$ ise sürekli ve ayrık zaman domenindeki matematiksel ifadeleri

$$d(t) = K_p \left(e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) \cdot d\tau + T_d \frac{d}{dt} e(t) \right) \quad (1)$$

$$d[n] = K_c \left(e[n] + \frac{T_s}{T_i} \sum_{i=0}^n e[i] + \frac{T_d}{T_s} (e[n] - e[n-1]) \right) \quad (2)$$

şeklinindedir. (1-2) eşitliklerinde T_i integral, T_d türev ve T_s örnekleme zamanıdır. Zaman domeninde

$$d(t) = K_p \cdot e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) \cdot d\tau + K_D \frac{d}{dt} e(t) \quad (3)$$

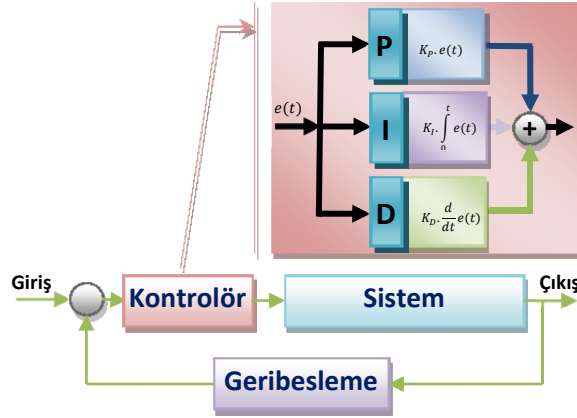
ile ifade edilen PID kontrolörün s -domenindeki transfer fonksiyonu

$$G_c(s) = K_p + \frac{K_I}{s} + K_D s \quad (4)$$

veya (1) ile verilen eşitliğe göre

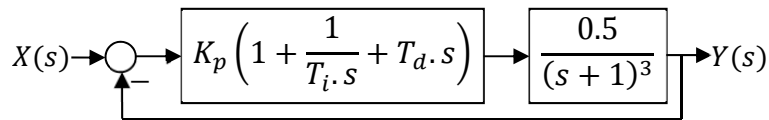
$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i \cdot s} + T_d \cdot s \right) \quad (5)$$

olarak elde edilmektedir.



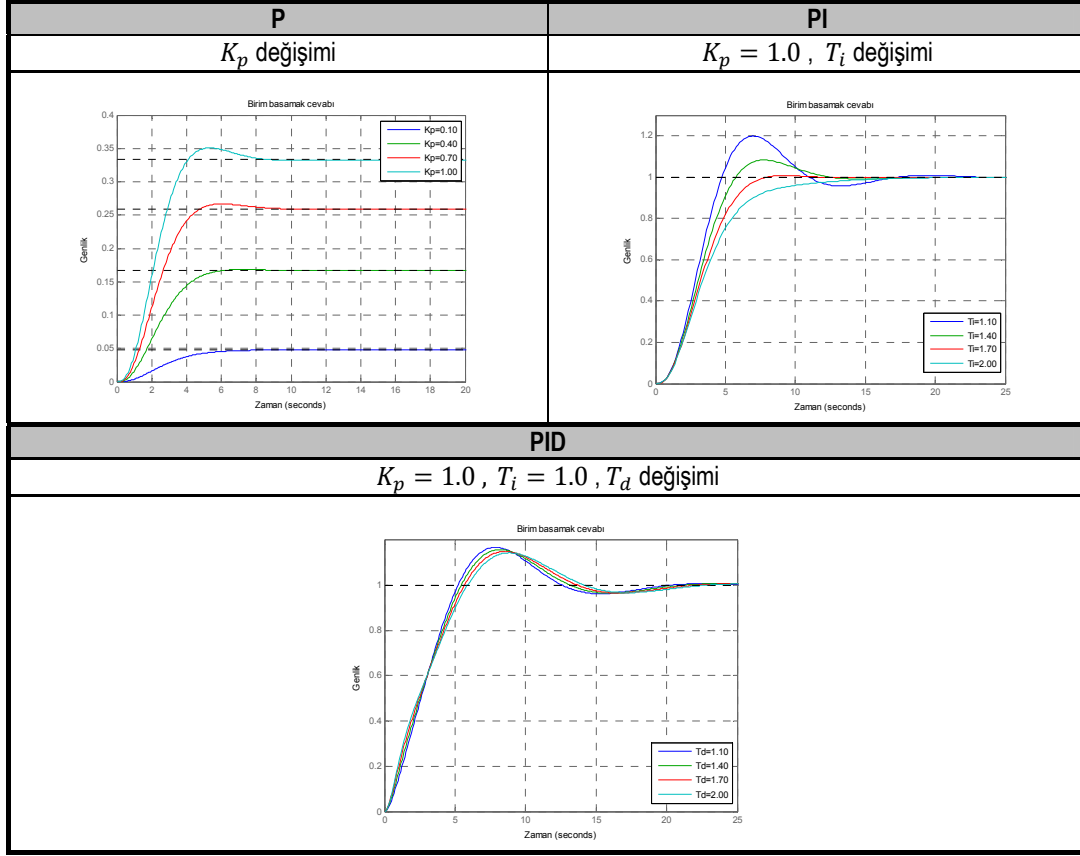
Şekil 1:
Geribeslemeli kontrol sistemi ve PID kontrolör

Herhangi bir kontrol sisteminin genel olarak amacı; denetlediği sistemi, kısa sürede verilen referans değerinde çalıştırmak (referans değere getirmek), yani hemen cevap vererek kararlı halde hatasız çalışmasını sağlamaktır. Bu nedenle kontrolörlerin tasarımı önemli yer tutmaktadır. Şekil 2'deki örnek sistem üzerinde PID kontrolör katsayılarının etkileri, Tablo 1'de verilmektedir. Tablo 1'deki birim basamak cevapları incelendiğinde oran, integral ve türev parametrelerinin (kontrolörlerinin) etkileri Tablo 2'deki gibi özetlenebilmektedir (<http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=Introduction§ion=ControlPID>).



Şekil 2:
Negatif geribeslemeli PID kontrolörlü örnek sistem

Tablo 1. Örnek sistemin değişik PID parametrelerindeki birim basamak cevapları



Tablo 2. PID kontrolör parametrelerinin sistem cevabına olan etkileri

	Oransal (P) (K_p)	İntegral (I) (K_i)	Türevsel (D) (K_D)
<i>Yükselme zamanı</i>	Azılır	Azılır (az)	Az etki
<i>Aşım değeri</i>	Artar	Artar	Azılır
<i>Yerleşme zamanı</i>	Artar (az)	Artar	Azılır
<i>Kararlı hal hatası</i>	Azılır	Azılır (çok)	Az etki

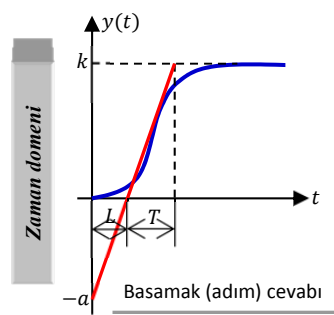
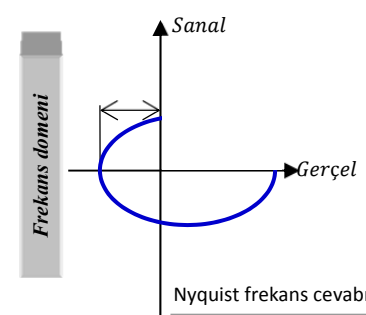
2.2. PID Kontrolör Tasarım Yöntemleri

PID kontrolör parametrelerinin belirlenmesi/hesaplanması için Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, Chien Hrones Reswik (CHR), Wang-Juang-Chan gibi değişik yöntemler mevcuttur.

2.2.1. Ziegler-Nichols yöntemi

PID kontrolör tasarımında en çok kullanılan yöntemlerden birisi Ziegler-Nichols yöntemidir. 1942 yıllarında J.G. Ziegler ve N.B. Nichols tarafından önerilen bu yöntemde PID katsayıları basamak veya frekans cevabı verilerinden hesaplanabilmektedir (Ziegler ve Nichols, 1942). PID katsayılarının Nyquist frekans cevabından elde edilmesi Ziegler-Nichols osilasyon yöntemi ve birim basamak cevabından elde edilmesi de Ziegler-Nichols reaksiyon eğrisi yöntemi olarak da adlandırılmaktadır. Bu katsayıların hesaplanması Tablo 3'te verilmektedir (Ziegler ve Nichols, 1942; Xue ve ark., 2007; Arora ve ark., 2011).

Tablo 3. Ziegler-Nichols yöntemiyle PID katsayılarının elde edilmesi

Kontrolör türü						
	$a = \frac{kL}{T}$			$T_c = \frac{2\pi}{\omega_c}$		
	Sistemin basamak cevabından (Ziegler-Nichols reaksiyon eğrisi yöntemi)			Sistemin frekans cevabından (Ziegler-Nichols osilasyon yöntemi)		
	K_p	T_i	T_d	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{1}{a}$	-	-	$0.5K_c$	-	
PI	$\frac{0.9}{a}$	$3L$	-	$0.4K_c$	$0.8T_c$	
PID	$\frac{1.2}{a}$	$2L$	$\frac{L}{2}$	$0.6K_c$	$0.5T_c$	$0.12T_c$

2.2.2. Cohen-Coon yöntemi

Ziegler-Nichols reaksiyon eğrisi yöntemindeki gibi; sistemin basamak cevabından faydalanılarak PID kontrolör katsayıları, Tablo 4'deki eşitlikler kullanılarak hesaplanabilmektedir (Xue ve ark., 2007).

2.2.3. Chien-Hrones-Reswick (CHR) yöntemi

Chien-Hrones-Reswick (CHR) yönteminde PID katsayıları, sistemin açık çevrim birim basamak cevabından faydalanılarak elde edilmektedir. Bu hesaplamalarda Tablo 5'teki eşitlikler kullanılmaktadır (Xue ve ark., 2007; Arora ve ark., 2011).

2.2.4. Wang-Juang-Chan yöntemi

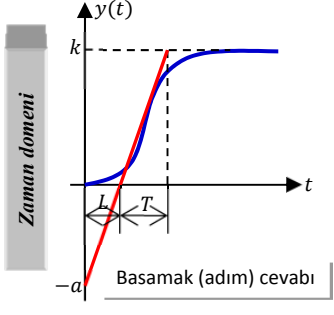
Daha önceden bahsedilen yöntemlerde olduğu gibi k , L ve T parametrelerinin bilinmesi durumunda Wang-Juang-Chan yönteminde PID katsayıları Tablo 6'daki eşitliklerle hesaplanmaktadır (Xue ve ark., 2007).

3. GENETİK ALGORİTMALAR

Evrimsel hesaplamaların parçası olan genetik algoritmalar, ilk defa 1975 yıllarında John Holland tarafından geliştirilmiş ve kullanılmıştır (Holland, 1975). Bu algoritmaların temeli, doğadaki evrim/biyolojik sürece (güçlü/iyi olan nesillerin, yeni şartlara uyum sağlayarak yaşamlarını sürdürmeleri; zayıf/kötü olanların hayatta kalamamaları) dayanmaktadır. Genetik algoritmalar, ilgili sürecin modellenmesiyle ortaya çıkan iterasyonlu ve olasılıklı bir çözüm

yöntemidir. Çözüm için rastlantısal arama tekniklerini kullanan ve parametre kodlama esasına dayanan sezgisel bir yöntem olan genetik algoritmalar; birçok alandaki optimizasyon problemlerinin çözümünde, makine öğrenmesinde, bilgi sistemlerinde vb. kullanılmaktadır (Holland, 1975; Goldberg, 1989; Elmas, 2007; Man ve ark., 1996; Vatansever ve Batık, 2009).

Tablo 4. Cohen-Coon yöntemiyle PID katsayılarının elde edilmesi

Kontrolör türü			
	$a = \frac{kL}{T}, \tau = \frac{L}{L+T}$		
	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{1}{a} \left(1 + \frac{0.35\tau}{1-\tau}\right)$	-	-
PI	$\frac{0.9}{a} \left(1 + \frac{0.92\tau}{1-\tau}\right)$	$\frac{3.3 - 3\tau}{1 + 1.2\tau} L$	-
PID	$\frac{1.35}{a} \left(1 + \frac{0.18\tau}{1-\tau}\right)$	$\frac{2.5 - 2\tau}{1 - 0.39\tau} L$	$\frac{0.37 - 0.37\tau}{1 - 0.81\tau} L$

Tablo 5. CHR yöntemiyle PID katsayılarının elde edilmesi

	Ayar değeri düzenleme						Bozucu bastırma					
	%0 aşım			%20 aşım			%0 aşım			%20 aşım		
	K_p	T_i	T_d	K_p	T_i	T_d	K_p	T_i	T_d	K_p	T_i	T_d
P	$\frac{0.3}{a}$	-	-	$\frac{0.7}{a}$	-	-	$\frac{0.3}{a}$	-	-	$\frac{0.7}{a}$	-	-
PI	$\frac{0.35}{a}$	1.2T	-	$\frac{0.6}{a}$	T	-	$\frac{0.6}{a}$	4L	-	$\frac{0.7}{a}$	2.3L	-
PID	$\frac{0.6}{a}$	T	0.5L	$\frac{0.95}{a}$	1.4T	0.47L	$\frac{0.95}{a}$	2.4L	0.42L	$\frac{1.2}{a}$	2L	0.42L

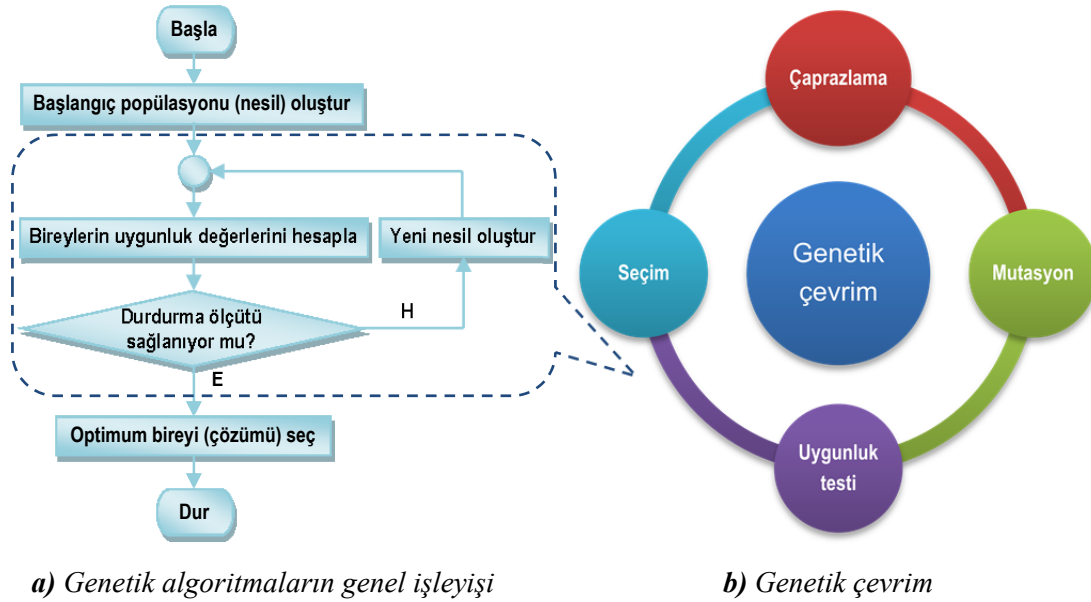
Tablo 6. Wang-Juang-Chan yöntemiyle PID katsayılarının elde edilmesi

	K_p	T_i	T_d
PID	$\frac{\left(0.7303 + \frac{0.5307T}{L}\right)(0.5L + T)}{K(L + T)}$	$0.5L + T$	$\frac{0.5LT}{0.5L + T}$

Genetik algoritmalar ile çözüm aşamaları, aşağıdaki gibi özetlenebilir (Şekil 3a):

- i. *Başlangıç popülasyonunu oluşturma*: İlgili problemin olabilecek çözümlerini gösteren ve genelde rastgele olan bireylerden (kromozomlardan) bir başlangıç popülasyonu (nesil) oluşturulur.
- ii. *Uygunluk değerlerini hesaplama*: Nesildeki her bir bireyin uygunluk değerleri hesaplanır.
- iii. *Durdurma ölçütü sınaması*:
 - o *Sağlanmıyorsa yeni nesil oluşturma ve ikinci adıma dönme*:
 - *Uygunluk değerlerine göre seçme*: Eski nesildeki her bir bireyin hesaplanan uygunluk değerlerine göre seçme işlemi yapılır.
 - *Seçilen bireyleri uygunlaştırma*: Seçilen bireyler, genetik işlemlerle (çaprazlama, mutasyon vb.) uygunlaştırılır.
 - o *Sağlanıyorsa en uygun çözümü seçme*: Popülasyonda hesaplanan uygunluk değerlerine göre en iyi birey (kromozom, çözüm) seçilir.

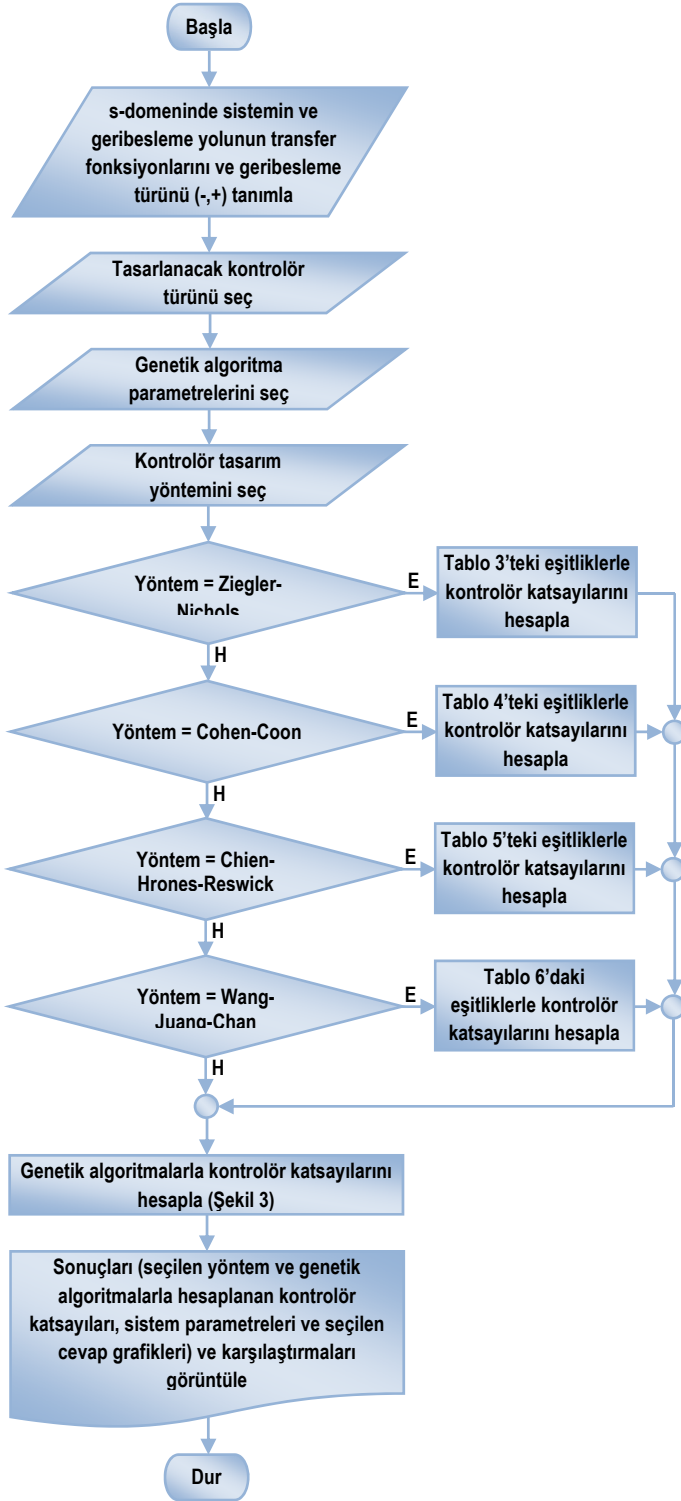
Özetle; Şekil 3b’teki genetik çevrim, en iyi uygunluk değerine sahip birey bulununcaya kadar devam eder.



Şekil 3:
Genetik algoritmaların işleyişi ve genetik çevrim

4. PID SİMÜLATÖR

Bu çalışmada; kullanıcı tarafından tanımlanan geribeslemeli sistemler için otomatik olarak uygun PID kontrolör tasarımı gerçekleştiren yazılım geliştirilmiştir. MATLAB (Mathworks, 2007) ortamında tasarlanan ve eğitim amaçlı kullanılabilir olan etkileşimli PID simülatör programıyla uygun P, PI ve PID kontrolör katsayıları klasik yöntemler (Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, Chien-Hrones-Reswick ve Wang-Juang-Chan) ve genetik algoritmalarla elde edilmektedir. Geliştirilen programın akış diyagramı Şekil 4’te, giriş ekranı da Şekil 5a’da verilmektedir.



Şekil 4:
Tasarlanan simülasyonun akış diyagramı



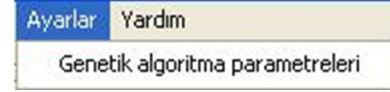
a) Giriş ekranı



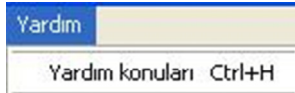
b.1) "Dosya" menüsü



b.2) "Yöntem" menüsü



b.3) "Ayarlar" menüsü



b.4) "Yardım" menüsü



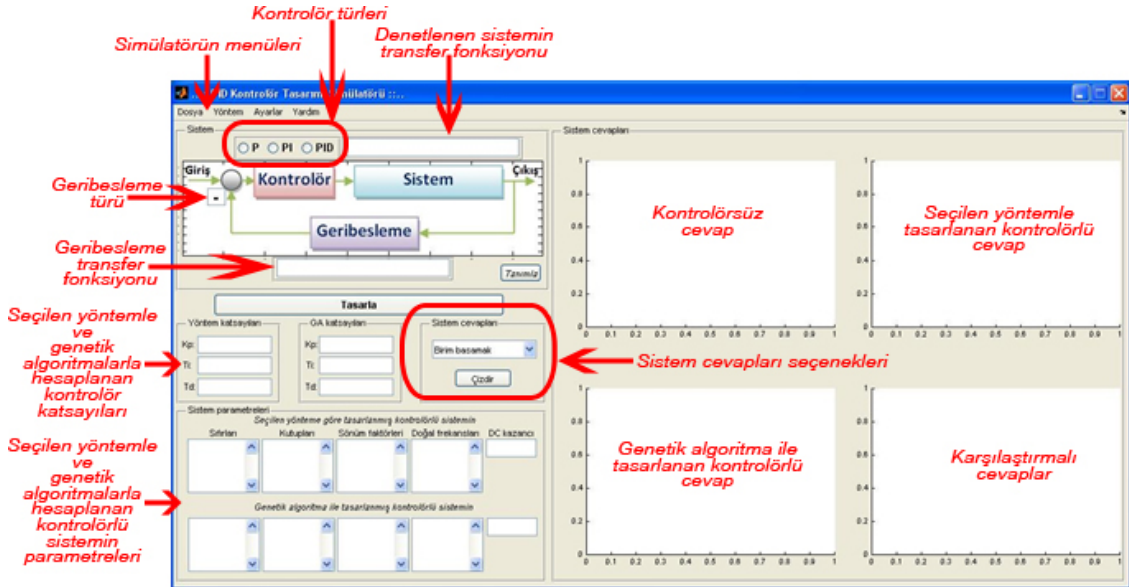
c) Sistem cevabı seçenekleri

Şekil 5:
Tasarlanan simülasyonun giriş ekranı ve menüleri

Programın;

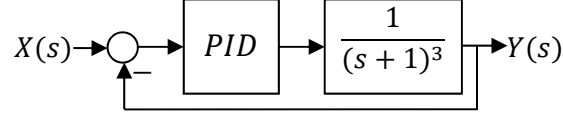
- ✓ “Dosya” menüsüyle (Şekil 5b.1): Tanımlanan sistemler için yeni tasarımlar gerçekleştirilebilmekte, sonuçlar kaydedilebilmekte veya yazdırılabilmektedir.
- ✓ “Yöntem” menüsüyle (Şekil 5b.2): Kontrolör tasarım yöntemi seçilebilmektedir.
- ✓ “Ayarlar” menüsüyle (Şekil 5b.3): Tasarımda kullanılacak genetik algoritmaların özellikleri/ölçütleri belirlenmektedir.
- ✓ “Yardım” menüsüyle (Şekil 5b.4): Program hakkında kullanım ve yardım bilgileri edinilebilmektedir.

Giriş ekranından sonraki aşamada Şekil 6’da verilen ana ekran, kullanıcıya sunulmaktadır. Bu ekranda denetlenecek olan sistemin ve geribesleme yolunun transfer fonksiyonu s-domeninde girilmekte ve aynı zamanda geribesleme türünün pozitif veya negatif oluşu da girilen “+” veya “-” sembolleriyle belirtilmektedir. Bu veriler doğrultusunda “Tanımla” butonuyla sistem tanımlanarak P, PI ve PID onay kutucuklarıyla istenilen/tasarlanacak kontrolör türü seçilmektedir. “Yöntem” ve “Ayarlar” menülerinden ilgili klasik tasarım yöntemi belirlenip genetik algoritma seçenekleri düzenlenerek “Tasarla” butonu ile tasarım işlemi gerçekleştirilmektedir. Geliştirilen program; hem seçilen klasik yöntemle hem de genetik algoritma ile elde edilen kontrolör katsayılarını listelenmektedir. Ayrıca tüm sisteme ait birçok önemli parametre (sistemin sıfırları – kutupları – sönüm faktörleri – doğal frekansları ve DC kazançları) karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 5c’de yer alan “Sistem cevapları” menüsünden seçim yapılarak kontrolörsüz, klasik yöntemle tasarlanan kontrolörlü, genetik algoritmalarla tasarlanan kontrolörlü ve her üçünün de karşılaştırmalı birim basamak, birim dürtü (impulse), kullanıcı tarafından tanımlanan özel işaret cevapları; Bode, Nyquist, Nichols diyagramlarıyla köklerin yer eğrileri çizdirilebilmektedir. Böylece cevap eğrileri üzerinde kullanıcı/öğrenci zaman domeninde yükselme ve yerleşme zamanlarını, aşım, kararlı durum gibi değerleri karşılaştırmalı olarak görebilmektedir. Aynı zamanda diyagramlarla da frekans domeni özelliklerini inceleyebilmektedir.

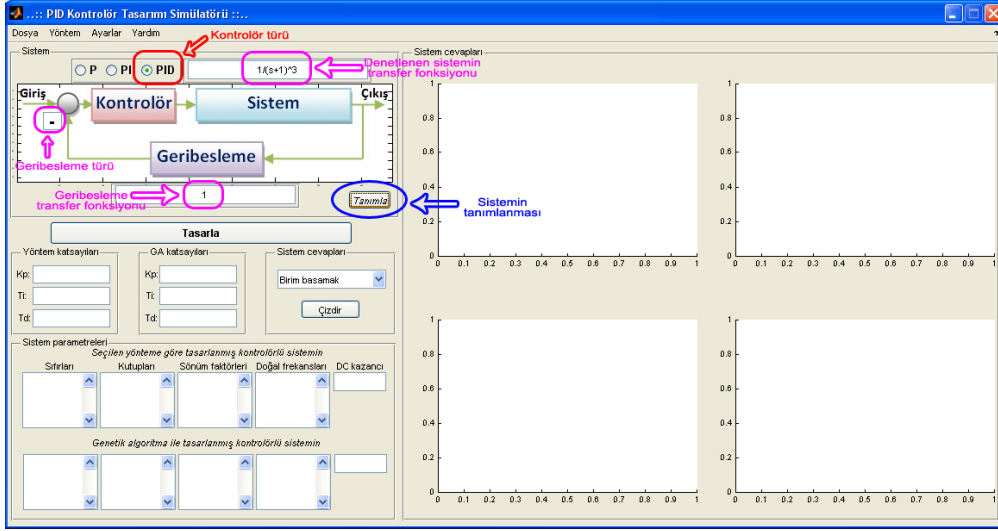


Şekil 6:
Tasarlanan simülasyonun ana ekranı

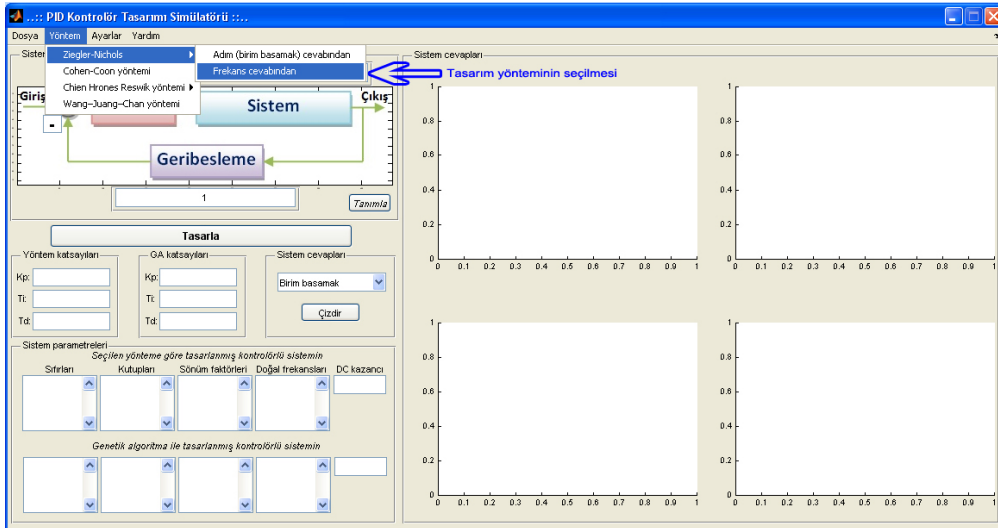
Örnek simülasyon olarak Şekil 7’deki geribeslemeli sistem için Ziegler-Nichols osilasyon yöntemi ve genetik algoritmalar ile PID kontrolör tasarımı aşamaları sırasıyla Şekil 8-12’de verilmektedir.



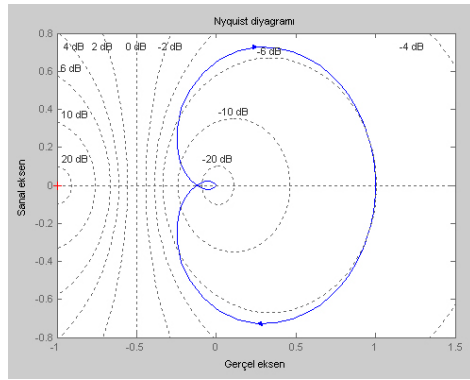
Şekil 7:
Simülasyonu gerçekleştirilen örnek sistem



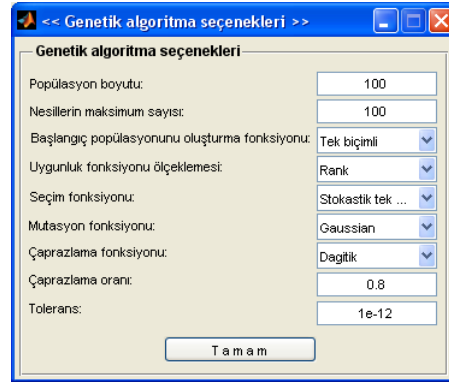
Şekil 8:
Sistemin tanımlanması ve kontrolör türünün seçilmesi



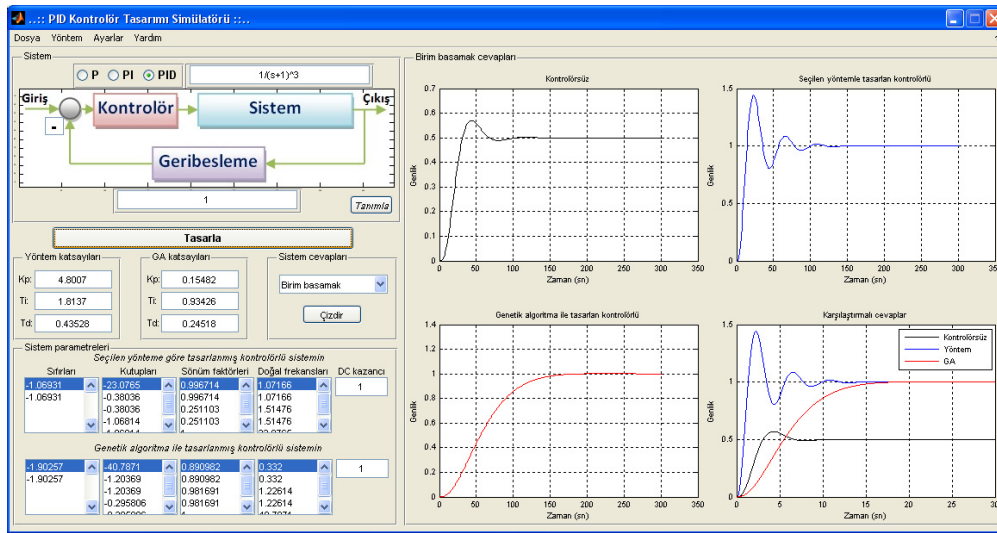
Şekil 9:
Klasik tasarım yönteminin seçilmesi



Şekil 10:
Nyquist diyagramı



Şekil 11:
Genetik algoritma seçenekleri



Şekil 12:
Simülasyon sonuç ekranı

Şekil 12'deki simülasyon ekranında; kullanıcı/öğrenci parametreleri değiştirerek sisteme etkilerini hem sayısal hem de zaman ve frekans bölgesi eğrileri üzerinde grafiksel olarak görebilmektedir. Böylece en uygun seçimleri yapıp tasarımlarını tamamlayabilmektedir.

5. SONUÇLAR

Gerçekleştirilen çalışmada; PID kontrolör tasarımları ve eğitimlerinde kullanılacak bir simülasyon programı geliştirilmiştir. Program ile geribeslemeli sistemler için P, PI ve PID kontrolörler klasik (Ziegler-Nichols, Cohen-Coon, Chien Hrones Reswick, Wang-Juang-Chan) yöntemler ve genetik algoritmalar ile tasarlanabilmektedir. Tasarım sonucu ilgili kontrolör katsayıları ve sisteme ait birçok parametre karşılaştırmalı olarak elde edilebilmektedir. Ayrıca tasarlanan kontrolörlere göre sisteme ait zaman ve frekans bölgesi cevapları/eğrileri yine karşılaştırılmalı olarak kullanıcıya sunulmaktadır. Aynı zamanda parametre değişiklikleri yapılarak sisteme etkileri incelenebilmektedir. Böylece istenilen sistemler için PID türü kontrolörlerin tasarımı etkin bir şekilde, hızlı ve kolaylıkla gerçekleştirilebilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Arora, A., Hote, Y.V., Rastogi, M. (2011). Design of PID Controller for Unstable System, *ICLICC'2011*, 19-26.
2. Burns, R.S. (2001). *Advanced Control Engineering*, Butterworth-Heinemann, USA.
3. Elmas, Ç. (2007). *Yapay Zeka Uygulamaları*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
4. Goldberg, D.E. (1989). *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Company Inc., USA.
5. Holland, J.H. (1975). *Adaption in Natural and Artificial Systems*, Cambridge, MA: MIT Press.
6. <http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/index.php?example=Introduction§ion=ControlPID> (Erişim tarihi: Mart 2013)
7. Kuo, B.C (Çev. Bir, A.) (2006). *Otomatik Kontrol Sistemleri*, Literatür Yayıncılık, İstanbul.
8. Man, K.F., Tang, K.S. and Kwong, S. (1996). Genetic Algorithms: Concepts and Applications, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 43(5), 519-534.
9. Nise, N.S. (2004). *Control Systems Engineering*, 4th Ed., John Wiley & Sons, Inc., USA.
10. Paz-Ramos, M.A., Torres-Jimenez, J., Quintero-Marmol-Marquez, E., Estrada-Esquivel, H. (2004). PID Controller Tuning for Stable and Unstable Processes Applying GA, *GECCO'2004*, 1-10.
11. Xue, D., Chen, Y.Q., Atherton, D.P. (2007). *Linear Feedback Control (Analysis and Design with MATLAB)*, SIAM, USA.
12. Vatansever, F. ve Batık, Z. (2009). Genetik Algoritma Tabanlı Denklem Çözümleri, 5. *Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (İATS'09)*, Karabük, Türkiye, 52-55.
13. Ziegler, J.G. and Nichols N.B. (1942). Optimum Settings for Automatic Controllers, *Transactions of the A.S.M.E.*, 759-768.
14. Zilouchian, A. and Jamshidi, M., (Ed.) (2001). *Intelligent Control Systems Using Soft Computing Methodologies*, CRC Press, USA.

Makale 03.07.2012 tarihinde alınmış, 04.03.2013 tarihinde düzeltilmiş, 13.03.2013 tarihinde kabul edilmiştir.