

KONTROL SİSTEMLERİ ANALİZİ İÇİN MATLAB'DA KULLANICI ARA YÜZ TASARIMI

Ümit SANCAR, Ali Fuat BOZ

Özet-Bu çalışma, kontrol sistemleri analizinde kullanılan yöntemleri bir çatı altında toplayan, Matlab paket programı altında yazılmış bir kullanıcı ara yüzünü(GUI) tanıtmaktadır. Bilindiği gibi kontrol sistemlerinde kontrolör, kontrol edilen sistem ve geri besleme elemanları bulunmaktadır. Kontrol sistemlerinde amaç bir kontrolör vasıtasıyla bir sistemi sürekli veya belli bir zaman diliminde kontrol etmek ve sürekli istenen değerlerde, yani kararlı halde tutmaktır. Bu amaçların ne oranda gerçekleştiğini test etmek artık günümüz bilgisayar teknolojisi ile çok kolay hale gelmiştir. Öte yandan, sistemi test etmek için kullanılan yazılımların öğrenilmesi ve uygulanması hem zaman kaybına neden olmakta hemde asıl amaçtan uzaklaşmamıza neden olmaktadır. Bu amaçla Matlab'da hazırlanan kullanıcı ara yüzü, kullanıcıların derin matematik, kontrol ve programlama bilgisine ihtiyaç duymadan, kontrol sistemlerinin analizi ve tasarımına olanak vermiştir. Hazırlanan ara yüz hem sürekli zaman ve hemde ayırık zamanda çalışmaya imkan vererek, klasik kontrol sistemlerinin yanı sıra, günümüzde hızla yayılan modern kontrol sistemlerinin incelenmesini de mümkün kılmıştır.

Anahtar Kelimeler- Kontrolör, MATLAB, Geri Besleme

Abstract-This application presents a basic GUI for using the analysis of control systems. Software is written in Matlab. The aim of any control system is to control the plant to follow a given reference and maintain the stability. In this study it is aimed to observe the control system performance criteria and stability by using different analysis techniques, which are implemented in the software. Analyzed plant or controller can work both discrete and continuous time applications. Therefore one can easily analyses and studies a control system and compare the results obtained theoretically from Control System Courses by using the software.

Key Words- Controller, MATLAB, GUI, Software

Ü.Sancar, A.F. Boz; SAÜ, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektronik-
Bilgisayar Eğitimi Bölümü
54040- Esentepe Kampüsü- ADAPAZARI

1.GİRİŞ

Çok eski çağlardan beri insanoğlunun çok basit de olsa 'kendi kendine çalışma sistemine' göre çalışan makineler yaptığı bilinmekteydi. Bu aletler daha çok hayvan taklitleri yapan oyuncaklar, su saati ve su kemerlerindeki su seviyesini sabit tutmaya yarayan sistemlerdi (M.Ö 430). Sanayi devriminin başlangıç yıllarında bulunan geri beslemeli sistemler olarak sıcaklık düzenleyicisi, buhar kazanları için geliştirilen basınç düzenleyicisi gibi örnekler sayılabilir.

Endüstriyel alanda kullanılan ilk geri beslemeli denetim organı ise James Watt'ın 1769 da geliştirdiği toplu hız düzenleyicisidir (Regülatör). Bir denetim sistemine ilişkin ilk Kuramsal çözümleme 19. Yüzyılda Watt regülatörünün bir diferansiyel denklem modelini geliştiren İskoçyalı Fizikçi James Clerk Maxwell gerçekleştirdi. Bu kuram kısa sürede geliştirilerek bir çok başka bilim adamlarının da katkılarıyla (Minorsky, Nyquist, Hazen v.b.) denetim kuramı geliştirildi. Bu genel kuramın gelişimine bağlı olarak sırasıyla servo mekanizmalar, pnömatik denetim organları ve analog bilgisayarlar gelişim gösterdi. Tüm bu ilerlemeler II. Dünya Savaşında Uçaksavar bataryaları ve atış denetim sistemleri gibi uygulamalara zemin hazırladı.

Klasik denetim sisteminin özünü teşkil eden Frekans Cevabı yöntemi 1940'lı yıllarda kök-yer eğrileri yöntemi 1950'li yıllarda gelişmelerini tamamlamış ve yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu yıllardan sonra denetim sistemlerinin tasarımında sayısal bilgisayarlar kullanılmaya başlandı ve geri beslemenin belirli bir sürecin birçok noktasından başlayabileceği ve gerekli ayarların birçok noktadan yapılabileceği fikri ortaya atıldı. Sayısal bilgisayarların işin içine girmesiyle daha karmaşık sistemler denetlenmeye başlandı ve bunları eski yöntemlerden ayırmak için modern denetim kuramı olarak adlandırıldı. Bu kuram durum uzayı yaklaşımına dayanır. 1970'li yıllarda durum yaklaşımına dayanan modern denetim kuramının, frekans cevabı ve Laplace dönüşümüne dayanan klasik denetim kuramının tamamen yerini alamayacağı gerçeğine varıldı.1980' li yıllarla birlikte artık denetim sistemlerinde mikrobilgisayarlar aktif olarak görev almıştır. İyi bir kontrolcünün hem

klasik hemde modern denetim sistemlerini çok iyi bilmesi gerekmektedir. [1]

Bugün modern ev ve bürolardaki ısıtma ve havalandırma sistem ya da düzenleri otomatik kontrol sistemleri yardımıyla ısıyı ya da ortamın nemini ayarlar. Endüstride modern araç ve gereçlerde otomatik kontrol sistemlerinin sayısız uygulamaları vardır. Örneğin üretilen ürünün kalitesinin kontrolü, ulaşım araçlarının kontrolü, gerilim regülatörleri, insansız araçların kontrolü, bilgisayarla kontrol, trafik kontrolü ve robotlar ve kontrolleri v.b. geniş bir görüş açısından bakıldığında kontrol sistemleri teorisi elektrik, makine, inşaat v.b. mühendisliklerin kapsamına giren sistemlerin kontrolüne uygulanabildiği gibi değişik bilim dallarını ilgilendiren çevre sağlığı kontrolünde toplumsal ve ekonomik olayların kontrolünde canlıların incelenmesinde de kullanılabilir. Görüldüğü gibi kontrol insanın ve teknolojinin olduğu her yerde vardır ayrıca insanlık ve gelişimi için de vazgeçilmezdir. [2]

Eğitim sisteminde öğrenciler için en büyük sorun anlatılan dersi günlük hayatla ilişkilendirememektir. Sorunun temelinde teoriyle pratiği bir potada eritememek yatmaktadır. Kontrol dersi eğitiminde hem içerdiği konular hem çok farklı bilimleri ilgilendirmesi hemde içermiş olduğu yüksek matematik bilgisiyle öğrenciler için zor ve ağır olarak tabir edilen derslerden biri olmuştur. Analizi istenen bir kontrol sistemi blok şemasında, analize ulaşmak için yapılması gereken bir çok zorlu adım vardır. Daha önemlisi sistemin kararlı hale getirilmesi için kullanılacak kontrolörün dizaynında deneme yanılma yoluyla sonuca ulaşılmaktadır. İşte bu noktada yapılmış olan bu çalışma çok büyük kolaylık sağlayacaktır. Çok yüksek matematik ve kontrol bilgisi gerekmeden kullanıcı sadece sistemdeki elemanların parametrelerini girerek sistem kararlılığını test edebilir.

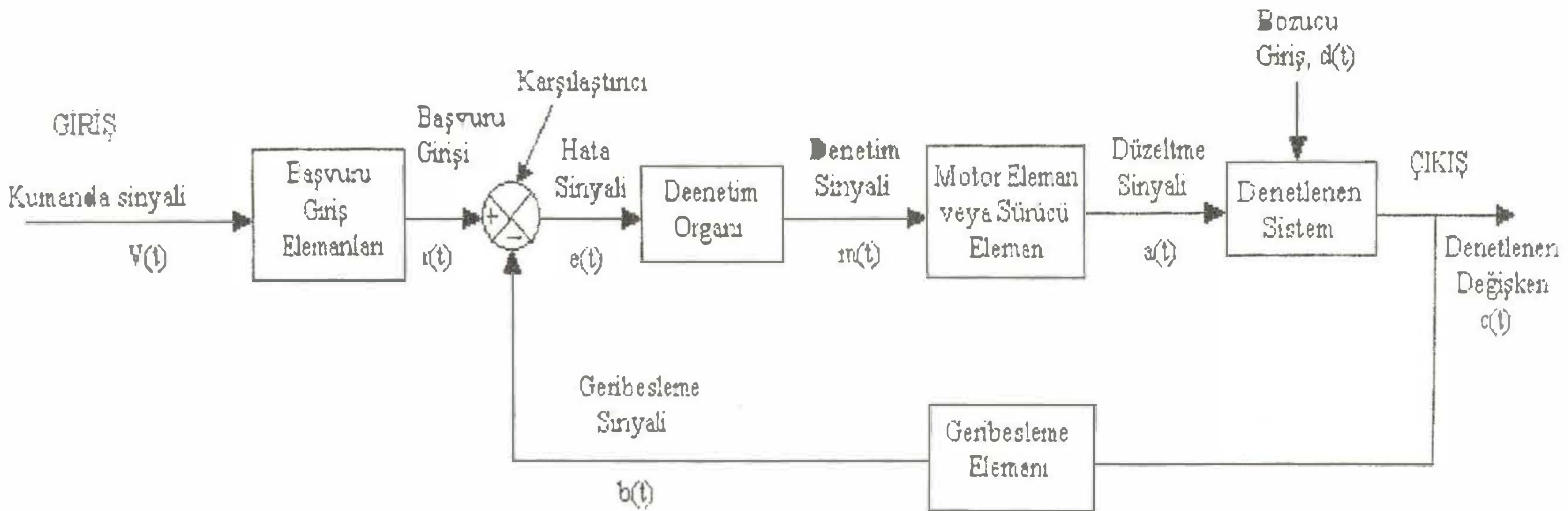
sonucunu görmesi birkaç saniyeyle sınırlıdır. Ayrıca bu programı Matlab gibi kontrol, elektronik ve endüstri mühendisliği gibi bir çok alanda sık karşılaşılan bir programda yazıldığından ayrıca kullanıcıya Matlab hakkında da üst düzey bir örnek teşkil edecektir.

Yapılmış olan bu çalışma daha önceden Control Kit[9] adı ile bilinen Matlab yazılımının genişletilmesi ve geliştirilmesi esasına dayanmaktadır. Geliştirilen program Matlab'ın 6. sürümünde çalıştırılmıştır. Genişleme sürecinde programa ayrık zaman analiz metotları da eklenerek, günümüz modern kontrol sistemlerinin incelenmesine fırsat verilmiştir.

II. KONTROL SİSTEMLERİ

Kontrol; incelenen davranışların belirli istenen değerler etrafında tutulması veya istenen değişimleri göstermesi için yapılan işlemler olarak tanımlanabilmektedir. Bu durumda Otomatik Kontrol; kontrol işlemlerinin, kontrol edilmek istenen olay etrafında kurulmuş bir karar mekanizması tarafından, doğrudan insan girişimi olmadan gerçekleştirebilir [3].

Yukarıda ki tanıma göre bir kontrol sistemi bir takım elemanların karşılıklı şekilde birbirine bağlanmasından meydana gelmiştir. Sistem elemanları birbirlerine giriş ve çıkışlar yoluyla bağlanmıştır. Sistem elemanlarının işlevleri, bireysel giriş ve çıkışları ve sistem elemanları arasındaki bilgi akışı işlevsel blok şemaları ile gösterilir. Bu şemalar sistem elemanlarının etki neden sonuç ilişkilerine göre sıralanmalarını sistemin yapısının incelenmesini sağlar. İşlevsel bloklar bir kara kutu elemanı olarak ele alınır ve bir sistem elemanını temsil eden bir kara kutunun davranışı giriş çıkış bağıntısı ile belirlenir. Burada giriş bir neden çıkışta girişin neden olduğu bir sonuçtur. Bu nedenle giriş çıkış bağıntısı elemanın neden sonuç davranışı olarak ifade edilir.



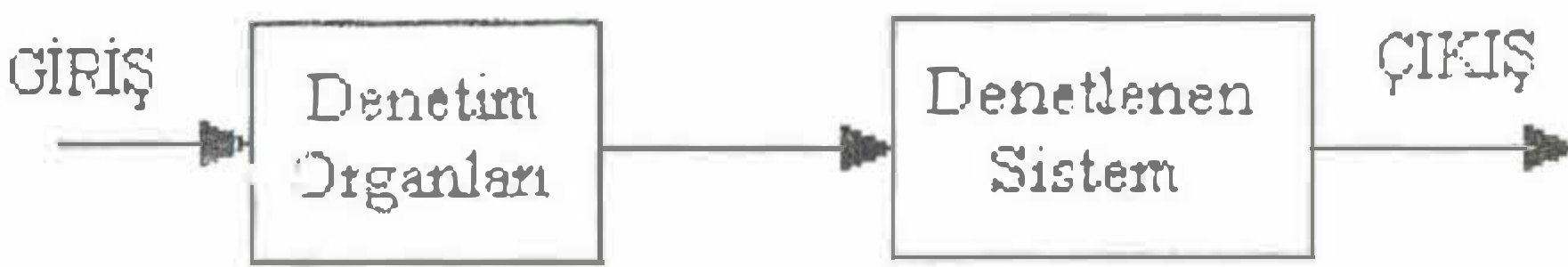
Şekil 1 Temel tanımları gösteren genelleştirilmiş geribeslemeli sistem blok şeması

Bunu yaparken en iyi çözüm için denetim sistemleri analizinde kullanılan tüm analiz yöntemlerini (Nyquist, Bode v.b.) kullanabileceği gibi kontrolör seçiminde de özgürdür. Bunları yaparken yaptığı değişikliklerin

Denetim sistemleri denetim etkisi açısından iki ana sınıfa ayrılır. Bunlar; (i) Açık-döngü denetim sistemleri ve (ii) Kapalı-döngü denetim sistemleri.

II.1 Açık Döngü Kontrol Sistemi

Açık döngü kontrol sistemlerinde denetim olayı sistem çıkışından bağımsızdır. Açık-döngü sistemlerde çıkışın ölçülmesi ve geri beslemesi söz konusu değildir, dolayısıyla sistemin girişi çıkış bilgisinden haberdar olmaz. Uygulamada açık-döngü kontrol sistemleri giriş-çıkış bağıntıları önceden belli olan ve iç veya dış bozuculara maruz kalmayan sistemlerde kullanılır. Çıkış ve girişin bir karşılaştırması yapılmadığından sistemin çalışma doğruluğu yapılan kalibrasyonun (ayarlama) derecesine bağlıdır. Açık döngü kontrol sistemleri ya zamanlama ya da sıralama esasına göre çalışırlar. Örneğin otomatik çamaşır makinelerinde olduğu gibi, sistem girişi bir program şeklinde verilir ve sistem program sırasını izler. Trafik ışıklarının kontrolü örneğinde ise program zaman esasına göredir. Işıkların yanıp sönmeleri belli bir sırada belli bir zaman süresi kadardır.

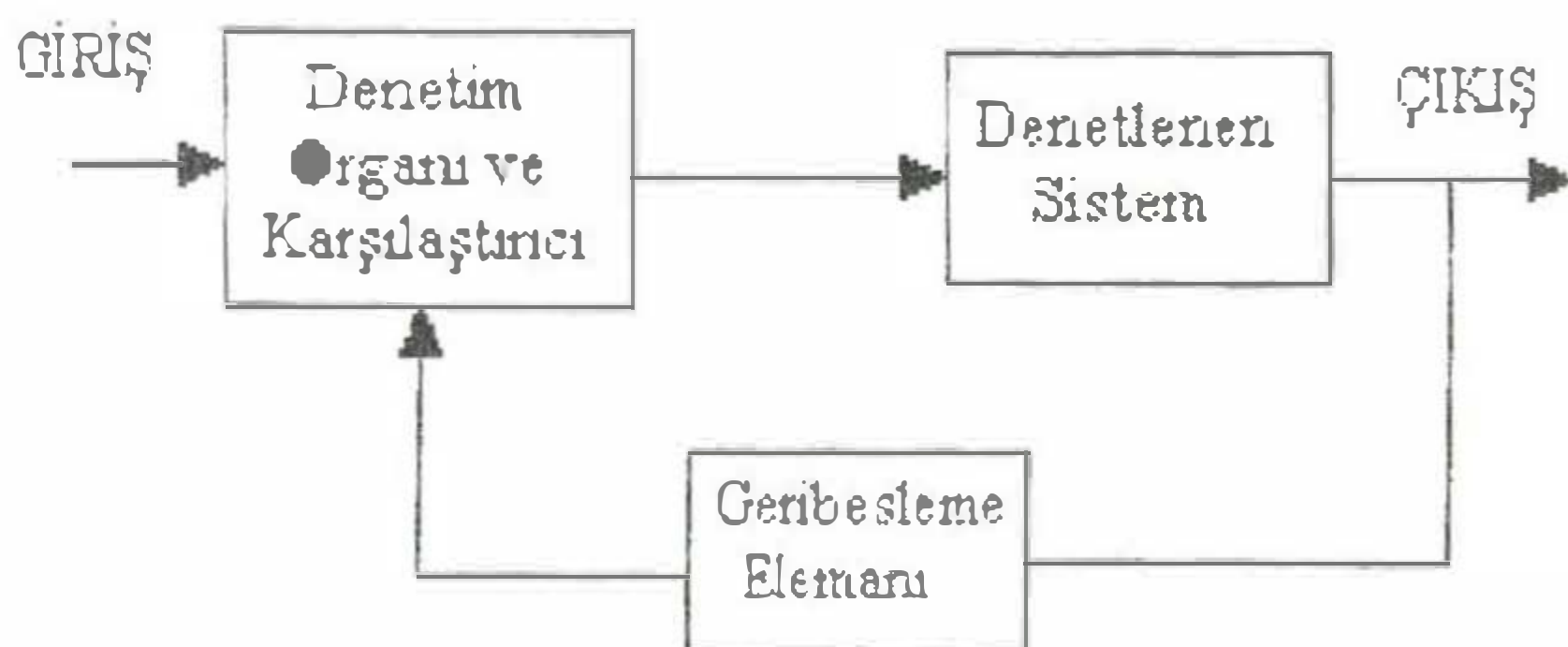


Şekil-2 Açık-döngü kontrol sistemi

II.2. Kapalı Döngü Kontrol Sistemi

Kapalı döngü kontrol sisteminde denetim etkisi sistem çıkışına bağlıdır. Sistemin çıkışı ölçülüp geri beslendikten sonra istenilen giriş değeri ile karşılaştırılır. Böylece sistemin girişi çıkıştan haberdardır. Sistem çıkışı geri beslenerek girişe uygulandığından bu tür sistemlere geri beslemeli sistemler de denir. Açık-döngü sistem ile Kapalı-döngü sistemi birbirinden ayıran en önemli unsur geri besleme etkisidir. Geri besleme etkisi pozitif geri besleme ve negatif geri besleme olmak üzere iki şekilde olur.

Negatif geri beslemede çıkıştaki değişimler girişe ters yönde etki eder. Böyle bir sistemde çıkış, arzu edilen girişe göre bir artış gösterecek olursa denetim etkisinin azaltılarak çıkışın istene değere geri dönmesi sağlanır. Pozitif geri beslemede çıkış girişe aynı yönde etki eder. Buna göre çıkışta herhangi bir artış meydana gelirse bu girişle toplanarak hata sinyalinde bir artış dolayısıyla da denetim sinyalinde bir artış meydana getirir. Bu sistemde çıkışı daha da arttıracak bir etki yaratır. Sonuçta artış sistemin fiziksel sınırlamalarına kadar devam eder ve sistem denetlenebilirliğini kaybeder. Pozitif geri besleme iç döngüler hariç bir kapalı-döngü kontrol sisteminde kullanılmaz.



Şekil-3 Kapalı-döngü kontrol sistemi

II.3. Kontrolör Çeşitleri Ve Dizaynı

Bir kapalı döngü denetim sistemi içinde kontrol elemanının görevi ölçme elemanı üzerinden geri beslenen çıkış büyüklüğünü, başvuru giriş büyüklüğü ile karşılaştırmak ve karşılaştırmadan ortaya çıkabilecek hata değerinin yapısına ve kendi kontrol etkisine bağlı olarak uygun bir kumanda veya kontrol sinyali üretmektir. Kontrolör organlarında kullanılan belli başlı dört temel kontrol etkisi vardır. Bunlar;

1. İkili veya aç-kapa kontrol etkisi
2. Orantı kontrol etkisi (P)
3. İntegral kontrol etkisi (I)
4. Türev kontrol etkisi (D)

Bu temel kontrol etkilerinin bir yada birkaçının bir arada kullanılmasıyla değişik kontrol etkilerinde çalışan kontrol elemanları oluşturulur. [1]

II.3.1 İki Konumlu Veya Aç-Kapa Tipi Kontrolör

Aç-kapa kontrol etkisi kullanan kesikli çalışan kontrol organları oldukça basit yapıda ve ucuz olması nedeniyle daha çok evlerde ve endüstride yaygın olarak kullanılırlar. İkili kontrol elemanı sadece iki belirli konumda bulunurlar. Hata değerine bağlı olarak kontrolör ve buna bağlı olarak da motor eleman ya devrede yada devrede değildir. İki konumlu kontrolörler bang-bang kontrolör olarak bilinirler. Bunlar genellikle izleyici veya servo mekanizma deneti biçiminde kullanılırlar.

$$m(t) = K_p e(t)$$

II.3.2 Orantı Tipi Kontrolör (P)

Orantı etkide kontrolör çıkışı bir oransal sabit yoluyla kontrolör girişine oranlanır. Kontrolör çıkışı $m(t)$ ile kontrolör girişi hata sinyali arasındaki bağıntı

Şeklinde verilir. Burada K_p orantı kazancıdır. Orantı etkide herhangi bir anda kontrolör çıkışı, $m(t)$ hatanın büyüklüğüne bağlıdır ve o anda hata ne kadar büyük olursa düzeltici kontrol sinyali o oranda büyük olur. Hata çok küçük olduğunda ise kontrolör yeteri kadar etkili düzeltici sinyal üretemez. Bu nedenle oran etki ile çalışan Tip0 sistemleri kalıcı-durum hatası verirler. Kazanç katsayısı K_p nin arttırılmasıyla kalıcı-durum hatasının giderilmesi mümkündür.

II.3.3 İntegral Tipi Kontrolör (I)

Orantı etkide ortaya çıkan kalıcı-durum hatasını gidermenin yolu, kontrolöre hatanın integrali ile orantılı bir kontrol etkisi ilave etmektir. İntegral kontrol yasası

$$m(t) = K_i \int_0^t e(t) dt$$

veya

$$m(t) = \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

şeklinde ifade edilir. Kontrolör çıkışı $m(t)$, hata $e(t)$ nin zaman integrali ile orantılıdır. Burada K_i integral etki kazancı, T_i integral zaman sabiti adını alır. İntegral etkinin çıkışı geçmişte meydana gelen hatanın birikimi ile orantılıdır ve herhangi bir anda hatanın integrali büyük olursa büyük bir düzeltme etkisi sağlanır. Teorik olarak integral etki tipi kontrolörün tek başına kullanılması mümkün ise de uygulamalarda daha çok oransal etkiyle birlikte kullanılır. Kontrolöre bir integral ilavesi hata sıfır olana kadar değişimi sürdüren bir kontrol etkisi sağlamaktadır.

11.3.4. Türev Tipi Kontrolör (D)

Türev etki çıkışı $m(t)$, hata $e(t)$ nin zamana bağlı türevi ile orantılıdır. İdeal olarak

$$m(t) = K_d \frac{de}{dt} \quad m(t) = T_d \frac{de}{dt}$$

Şeklinde ifade edilir. Burada K_d türev denetim organı kazancı, T_d türev etki zamanı adını alır.

Türev etkinin en önemli üstünlüğü hatanın büyümesini önceden kestirmesi ve büyük bir hata ortaya çıkmadan bir düzeltme etkisi sağlamasıdır. Türev etki açık-döngü transfer fonksiyonu payına 's' çarpanı getirerek sisteme s-düzlemi orijininde bir sıfır ilave eder. Bu ise sistemin kararlılığı üzerinde iyileştirici bir etki yapar. Paydaki 's' çarpanı aynı zamanda sisteme 90° lik ileri faz farkı getirir. Türev etki yalnızca hatanın zamana karşı değişimi karşısında etkili olduğundan kontrolörlerde yalnız başına kullanılmaz ancak diğer kontrol elemanlarıyla birlikte kullanılır.

11.3.5. Kontrolör Dizaynı

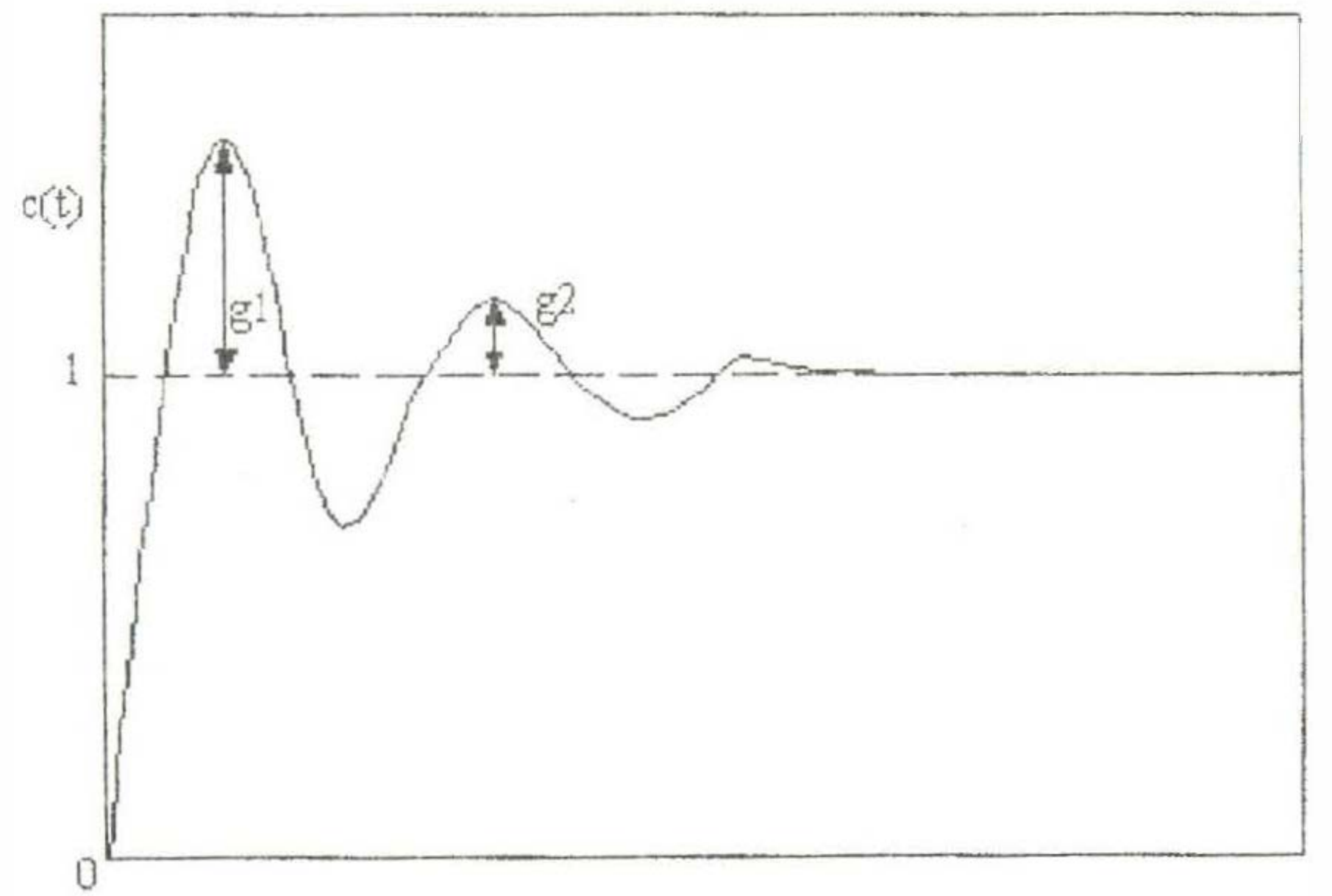
Bir sistemde kullanılacak kontrolör veya kontrolör ayarlarına etki eden iki önemli parametre vardır. Bunlar sistemin bir basamak giriş karşısında gösterdiği cevap eğrisinden ortaya çıkan zaman gecikmesi veya tüm sistemin zaman sabiti T_s ve ölü zaman gecikmesi T_δ dür. Eğer ölü zaman gecikmesi T_δ , sistemin zaman sabiti T_s den çok küçük kalıyorsa böyle bir sistem, P, PI veya PID tipi kontrol organlarından birisiyle kolaylıkla denetlenebilir. Eğer buna karşılık ölü zaman gecikmesi T_δ sistemin zaman sabiti yanında önemsenmeyecek kadar küçük değilse böyle bir sistem tek bir kontrol elemanı ile denetlenemez. Bu konuyla ilgili genel kurallar şu şekilde ifade edilebilir.

$T_s / T_\delta \geq 10$ ise; sistem tek döngülü bir kontrolörle denetlenebilir.

$T_s / T_\delta = 6$ ise; tek bir kontrol döngüsü ile denetlenmesi zordur.

$T_s / T_\delta \leq 3$ ise; sistem yalnızca karmaşık kontrol döngüleri ile denetlenebilir.

Kapalı döngü denetim sisteminin başvuru girişine bir basamak fonksiyonunun uygulanması halinde sistem cevabının yeni kalıcı-durum değerine en kısa zamanda ve kararlı bir şekilde erişmesini sağlayan kontrol organı ayarı en uygun ayar kabul edilir. Bu amaçla Ziegler ve Nichols (1942) tarafından bir ölçüt geliştirilmiş olup bu ölçüte göre, $c(t)$ zaman alanı cevap eğrisinin g_2 ikinci aşama genliğinin, g_1 birinci aşama genliğine oranının 1/4 olması gerekir. Şekil-4 de gösterildiği gibi cevap eğrisinde ikinci aşama genliği g_2 nin birinci aşama genliği g_1 e oranının 1/4 üne düşmesi yük değişimleri için düzenleyici (regulatory) türünden denetleyiciler için en uygun ayar olarak kabul edilir. Bu ölçütün matematiksel bir dayanağı olmamakla birlikte hızlı cevap ve çabuk sönümlenme sağladığı dencilerle ispatlanmıştır.



Şekil-4 Titreşimli cevap eğrisi

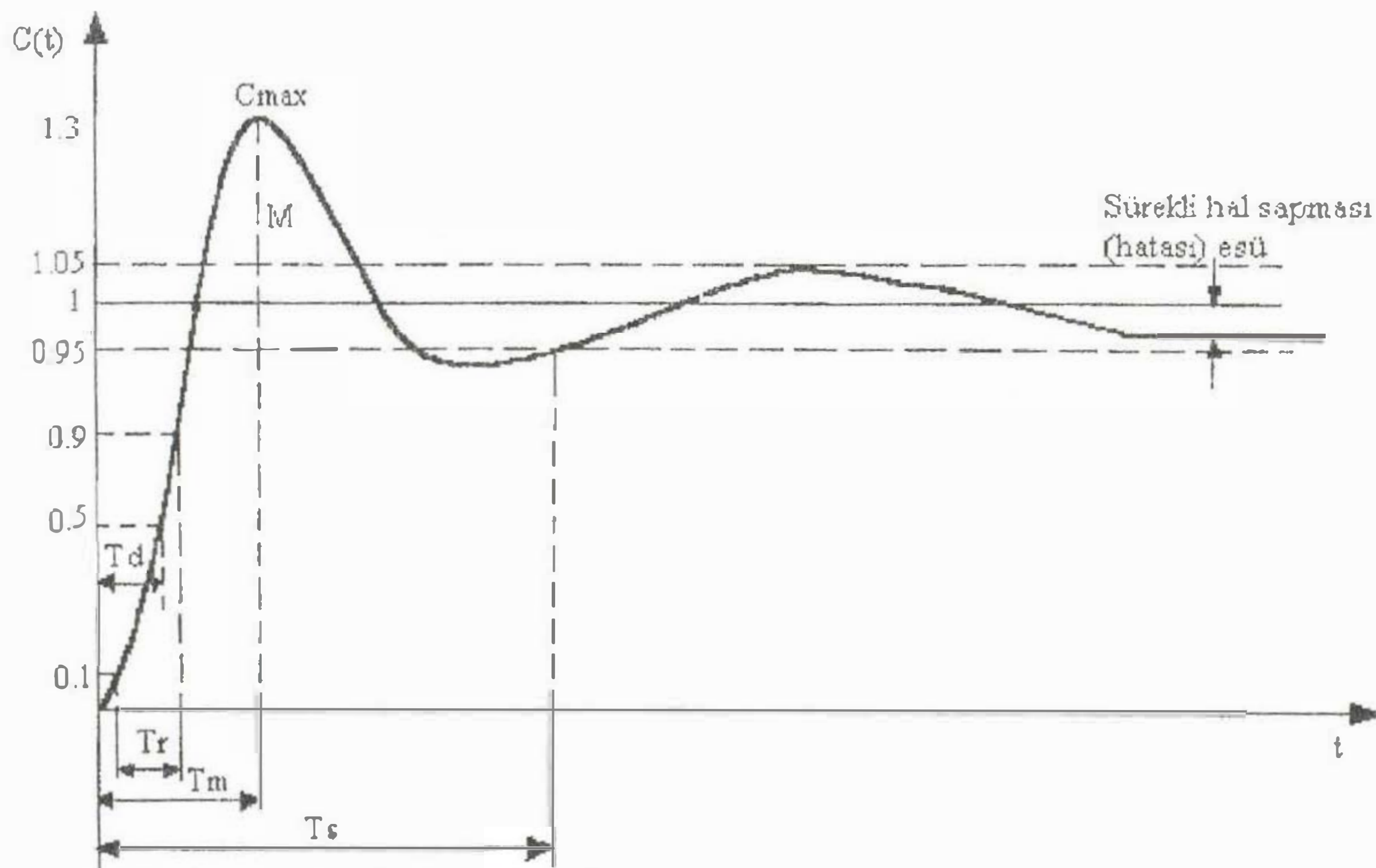
Ayrıca Ziegler-Nichols sistem cevap eğrisi yöntemine göre de bir başka kontrolör ayarı şu şekilde yapılabilir. Kontrol edilecek sistem hakkında herhangi bir ön bilgi gerektirmeyen işlemler aşağıdaki sıraya göre yapılabilir. bu yöntem özellikle ölü zaman gecikmesi çok küçük olan sistemler için uygundur

- (i) Orantı kazancı K_p sıfıra, integral zamanı T_i en yüksek değerine ve türev sabiti T_d sıfıra ayarlanır.
- (ii) Sistem cevap eğrisinde sürekli salınımlar ortaya çıkana kadar orantı kazancı K_p arttırılır.
- (iii) İntegral zaman sabiti T_i orantı etkiden ortaya çıkan kalıcı-durum hataları ortadan kalkana ve ayar değeri etrafında düşük frekans düşük genlikli salınımlar ortaya çıkana kadar yavaş yavaş arttırılır.
- (iv) Daha sonra tüm titreşimler ortadan kalkana kadar türev zaman sabiti adım adım arttırılır. T_d 'nin büyük tutulması orantı kazancı K_p 'nin de büyük tutulmasına olanak verir. Birkaç sınamadan sonra kontrolör parametreleri en uygun değerine ayarlanmış olur.

Analitik yöntemlerde bir diğer yolda sistemin kapalı döngü çalışmasına ait bazı belli arzu edilen değerlerini belirlemek ve bu değerleri sağlayan kontrolör parametrelerini tespit etmektir. Örneğin zaman alanı cevabında, sönüm oranı, oturma zamanı, frekans alanı cevabında kazanç ve faz payları ve kök-yer eğrileri yönteminde köklerin karmaşık sayı düzlemindeki yerleri. Analitik kontrolör ayarında en kestirme yol ise Routh-Hurwitz kararlılık yöntemi yolu ile sistemin maksimum kazancının bulmak ve bu kazanç karşılık gelen sürekli titreşim periyodunu belirlemektir.

II.4. Sistem Performansı

Kontrol sistemlerinin zaman boyutunda davranışını tanımlama ve sistem performansını görme açısından sistem girişine birim basamak fonksiyon uygulanır. Birim basamak fonksiyonun üretimi kolaydır ve sisteme uygulanması da güçlük doğurmaz. Bundan başka basamak fonksiyonu bütün frekansları içeren bir işarettir. Ayrıca birim basamak fonksiyonuna ilişkin çıkış bilince



Şekil-5 lineer kontrol sisteminin birim basamak fonksiyonuna ilişkin c(t) çıkışının değişimini ve önemli bazı zaman domeni verileri

bunun türevi alınarak impulse fonksiyonuna ilişkin çıkış ve bunun Laplace dönüşüme de alınarak sistemin transfer fonksiyonu bulunur. Darbe cevabı bilinince herhangi bir girişe ilişkin çıkış belirlenmiş olur.

Genel olarak bir kontrol sisteminin birim basamak fonksiyonuna ilişkin çıkışı Şekil-5'de gösterilmiştir. Bu değişime ilişkin bazı önemli tanım verileri aşağıda açıklanmıştır.

11.4.1. Aşım (Tepe Değeri)

Birim basamak girişine ilişkin çıkışın, bunun son değerinden olan en büyük ayrılmasıdır. Şekil-5'de bu değer M ile gösterilmiştir. Yüzde olarak aşım dır. Aşıma erişmek için kontrol sisteminin harcadığı zaman T_m 'dir. Aşım değeri %5;%10;%20 olabilir.

11.4.2. Gecikme Zamanı (T_d)

$$M(\text{yüzde olarak}) = 100 \frac{C_{\max} - C_{\text{son}}}{C_{\text{son}}} =$$

$$100 \frac{C_{\max} - 1}{1} = (M)100$$

Birim basamak girişine ilişkin çıkışın son değerinin %50'sine ulaşınca kadar geçen zamandır.

11.4.3. Yerleşme Zamanı (t_s)

Birim basamak fonksiyonuna ilişkin çıkışın son değerinin belli bir yüzdesine gelmesi ve o değer içinde kalması için

$$t_s = \frac{4}{\xi \omega_n}$$

geçen zamandır. bu değer çoğu zaman %95 olarak alınır. İkinci dereceden bir sistemde

II.4.4 Yükselme Zamanı (T_r)

Birim basamak fonksiyonuna ilişkin çıkışın son değerinin %10'undan %90'ına yükselmesi için geçen zamandır.

Bir kontrol sisteminden zaman boyutunda birim basamak fonksiyonu girişi için elde olunacak c(t) çıkışının şu özellikleri sağlaması istenir.

- (i) Küçük aşım değeri
- (ii) Küçük yükselme zamanı
- (iii) Küçük gecikme zamanı
- (iv) Küçük yerleşme zamanı
- (v) $r(t) - c(t) = e(t)$ ile tanımlanan sapma ya da hatanın küçük kalması

t_s , T_r , T_m , T_d zamanlarının sistem transfer fonksiyonuna ya da parametrelerine bağlayan ifadeleri, küçük dereceli sistemlerin dışındaki sistemler için elde etmek oldukça güçtür.

Kesin bir çalışma kriteri olmamakla beraber hata fonksiyonu $e(t)$ 'nin minimum yapılmasının, yukarıda açıklanan zamanları küçülteceği yada minimum yapacağı söylenebilir. Hata fonksiyonu $e(t)$ 'nin minimum yapılması için literatürde bugüne dek birçok önerilerde bulunulmuştur. [4]

Buradan ilk akla gelen hatanın integralinin minimum yapılmasıdır. Ancak hata fonksiyonu bazen pozitif bazen de negatif olmakta ve integrali de küçültmektedir. Böylelikle küçük bir büyüklüğü minimum yapma sorunu ortaya çıkmaktadır, bu nedenle hatanın mutlak değerinin integralinin minimumu yapılması için bazı kriterler ortaya atılmıştır.

III. MATLAB YAZILIMI

MATLAB yüksek performanslı sayısal hesaplamalar ve grafiksel programlamalar için geliştirilen bir teknik programdır. Matlab sayısal analiz, matris işlemleri, sinyal işleme ve grafik çizimlerini kullanımı kolay bir ortamda bir bütün olarak sunar. [5]

Matlab (MATrix LABoratory); ilk defa 1985'de C.B. Moler tarafından geliştirilmiş ve özellikle de matris esaslı matematik ortamında kullanılabilen etkileşimli bir paket programlama dili olarak tanımlanmıştır. Başlangıçta Matlab özellikle mühendislik alanında iyi grafik özelliklere sahip daha çok sayısal hesaplamalarda kullanılmak amacı ile geliştirilmiş bir paket programlama dili olarak ortaya çıkmıştır. İlk başlarda Fortran dilinde uzun zaman alan programlama işlemlerine bir alternatif olarak ortaya atılmıştır. İlk sürümleri Fortran diliyle yazılmış olmakla beraber son sürümleri C diliyle yazılmıştır. Bugün Matlab teknik hesaplamalarda kullanılan yüksek başarımlı bir dil olarak tanımlanmaktadır. Matlab'ın belli başlı kullanım alanları;

- (i) Matematik ve hesaplama işlemleri, algoritma geliştirme
- (ii) Modelleme, benzetim ve prototipleme
- (iii) Verilerin analizi, incelenmesi ve görüntülenmesi
- (iv) Bilimsel ve mühendislik alanında grafik işlemleri
- (v) Grafik kullanıcı ara yüz yapısını da içine alan uygulama geliştirme

Matlab veri elemanı için boyutlandırma gerektirmeyen dizim etkileşimli bir sistemdir. Matlab sistemi beş ana kısımda incelenir.

Matlab dili, şartlı deyimler, fonksiyonlar, veri yapıları, giriş-çıkış ve nesneye yönelik programlama özellikleri içeren yüksek seviyeli bir matris dilidir.

Matlab çalışma ortamı, Matlab kullanıcısı veya programcısı olarak çalışma imkanı sağlayan bir araç veya gereçler takımıdır. Çalışma ortamındaki değişkenleri kontrol etmeyi ve verileri çalışma ortamından başka bir ortama aktarmayı ve başka bir ortamdaki verileri çalışma ortamına aktarmayı kolaylaştırır. Ayrıca Matlab

uygulamalarının geliştirilmesi, kontrol edilmesi, hata bulunması ve M-dosyalarının biçimlendirilmesi için gerekli araçları da kapsar.

Grafik sistemi, 2-boyutlu ve 3-boyutlu veri görüntülemesi, görüntü işleme, animasyon ve grafik sunumu için gerekli yüksek seviyeli komutları kapsar.

Matlab matematiksel fonksiyon kütüphanesi, elemansal fonksiyondan ve karmaşık aritmetikten, matris tersi, matris öz değerleri, Bessel fonksiyonları ve hızlı Fourier dönüşümlerine kadar değişen geniş bir hesaplama algoritmaları toplamıdır.

Matlab uygulama programı arabirimi (API), Matlab ile etkileşimli çalışan C ve Fortran programları yazılmasına olanak tanıyan bir kütüphanedir. [6]

III.1. Matlab Araç Kutuları (Toolbox)

Matlab'ın işlevselliği ve çok yönlülüğü, uygulamalara özgü çeşitli araç kutuları eklemekle geliştirilebilir. Araç kutuları çeşitli bilimsel alan ve konularda yazılan Matlab fonksiyon dosyalarından oluşurlar. Aşağıda konumuzla alakalı araç kutuları hakkında genel bilgi verilmiştir.

III.1.1. Sinyal İşleme Araçkutusu (Signal Processing Toolbox)

1-boyutlu ve 2-boyutlu sayısal sinyal işleme, zaman serilerinin analizi ile ilgili fonksiyonlardan oluşmaktadır. Ayrıca sayısal filtreler için geliştirilen analiz ve tasarım fonksiyonları ve güç spektrumu analizine ilişkin fonksiyonları da içermektedir.

III.1.2. Kontrol Sistemleri Araçkutusu (Control System Toolbox)

Durum uzayı tekniklerini kullanarak kontrol mühendisliği ve sistemler teorisi ile ilgili fonksiyonlardan oluşmaktadır.

III.1.3. Sistem Tanımlama Araçkutusu (System Identification Toolbox)

Parametrik düzenleme ve sistem tanımlama ile ilgili fonksiyonlardan oluşmaktadır. Zaman serilerinden veya giriş-çıkış verilerinden yararlanarak bir sisteme ilişkin kestirim modelini belirlemede kullanılacak fonksiyonları da içermektedir.

III.1.4. Optimizasyon Araçkutusu (Optimization Toolbox)

Optimizasyon ile ilgili genel lineer veya lineer olmayan fonksiyonlardan oluşmaktadır. Lineer olmayan optimizasyonlarla ilgili serbest veya sınırlı minimax,

lineer olmayan en küçük kareler yöntemi, çok nesneli veya yarı sonsuz optimizasyon ile ilgili fonksiyonları da içermektedir.

IV. KONTROL SİSTEMLERİ ANALİZİ YAZILIMININ TANITIMI

Yapılmış olan bu çalışmada, verilen bir otomatik kontrol sisteminde bulunan sistem (plant), kontrolör, geri besleme elemanı ve gecikme elemanı bulunmaktadır. Oluşturulan analiz ara yüzü, kontrol sisteminde karşılaşılabilecek genel olarak tüm problemlere ve inceleme aşamalarına cevap verebilecek şekilde yazılmıştır. Kontrol sisteminde karşılaşılabilecek farklılıklardan, açık-döngü kapalı döngü ayırımı, kontrol sisteminde bulunacak elemanların tespiti, model tipinin transfer fonksiyonu veya durum uzayı olup olmayacağı, kontrolör tipi, analizin frekans alanı cevabına göre mi yoksa kök-yer eğrilerine göre mi yapılacağı gibi durumların hepsi için çözümler getirilmiştir.

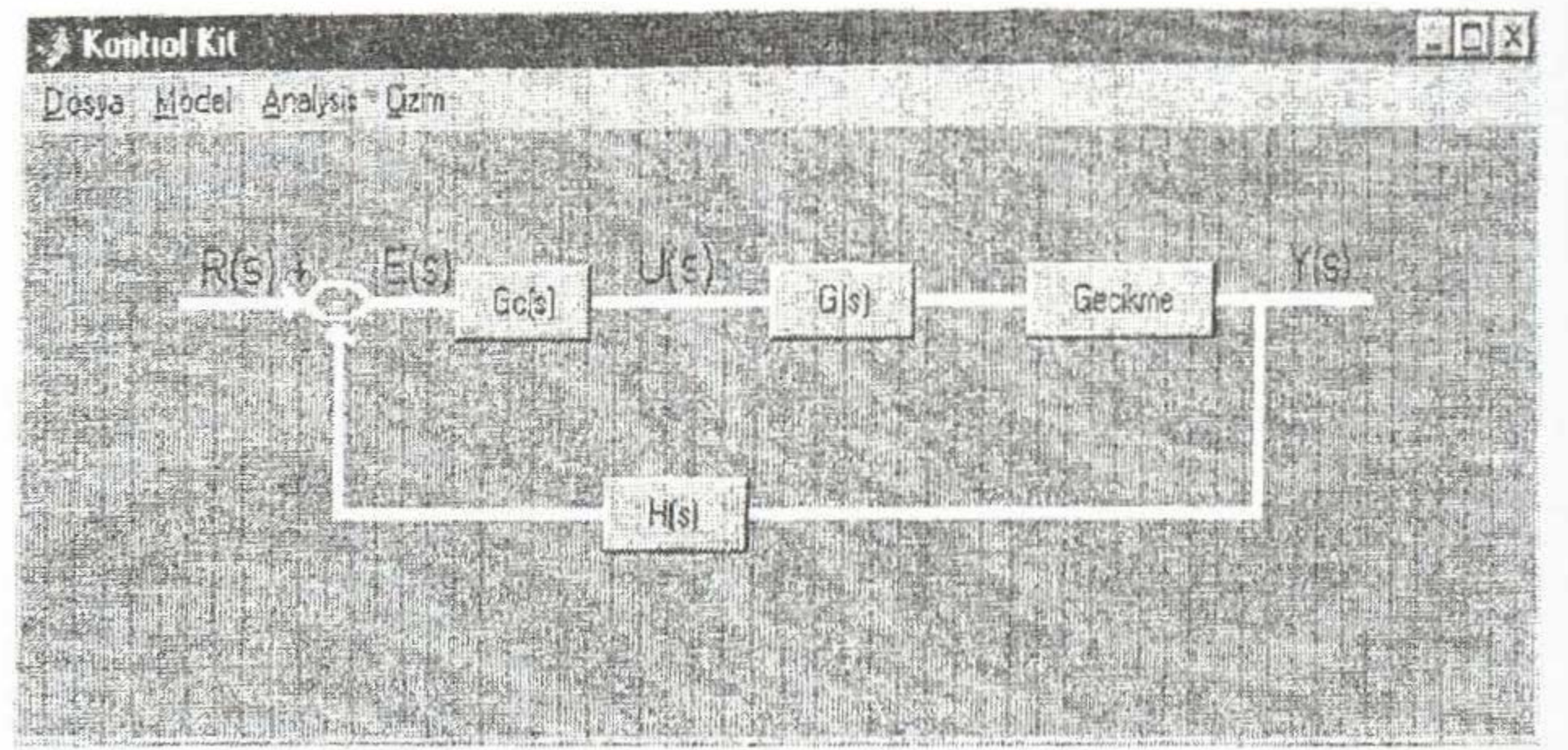
Ayrıca bir temel özellikte yazılım sadece sürekli zamanla sınırlı kalmamış ayrık zaman çalışması ve analizleri de eklenmiştir.

IV.1. Yazılımın Temel Özellikleri

- (i) Oluşturulan ara yüz yazılımı elektronğin en temel ayırımı olan analog ve dijital elektronğin kontrol sistemlerinde ki yansımaları olan sürekli zaman ve ayrık zamanda analiz yapmaktadır.
- (ii) Yazılım bir ana program (ctrlkit.m) dosyası ve onun alt programları olan diğer *.m dosyalarının yeri geldiğinde çağırılmalarıyla oluşturulmuştur.
- (iii) Tüm bir kontrol sistemi inceleneceği için ilk başta yapılması gereken kontrol sisteminde bulunan elemanların yani kontrolör, sistem ve geri besleme elemanının parametreleri girilirken uygulanacak model yaklaşımını belirlerken transfer fonksiyonu veya durum uzayı formatı seçilebilmektedir.,
- (iv) Oluşturulan kontrol sisteminde bulunacak elemanlar ve bağlantı yapıları belirlenebilmektedir. Yani sistemin açık-döngü veya kapalı döngü seçenekleri belirlenebilmektedir.
- (v) Sistemde kullanılacak kontrolör P, PI, PID veya transfer fonksiyonu olarak seçilebilmektedir.
- (vi) Frekans alanı cevabı (Bode, Nyquist, Darbe) yada zaman alanı cevabı (köklerin yer eğrisi, basamak cevabı) modellerinden birisi seçilebilmektedir.
- (vii) Sistem çıkış verileri elde edildikten sonra çıkış verileri üzerinde görsel düzenlemeler yapılabilmektedir
- (viii) Sistem çıkışları görsel olarak elde edilebildiği gibi genlik ve faz marjini parametreleri bir tabloyla da elde edilebilmektedir. [7,8]

IV.2. Yazılımın Menüleri

Program Matlab komut satırından 'Ctrlkit' komutunun girilmesi ile aktif duruma geçer ve Şekil-6'da verilen ana program çerçevesi görünür. Şekilden görüldüğü gibi, ana çerçevede bir adet sistem ve zaman gecikmesi, bir adet ileri yön ve bir adette geri yön kontrolör blokları vardır. Her blok üzerine fare ile tıklandığında o blok aktif hale geçerek, parametre girişi için ilgili pencereleri açar. Ana çerçeve üzerinde bulunan menülerde ise, girilen parametre ve modelleri kaydetme, analiz metotları ve sistem konfigürasyonlarının belirlenmesi gibi fonksiyonlar vardır. Programın çalışmasının anlaşılabilmesi için, örnek sistemler üzerinde programı anlatalım.



Şekil-6 : Ana program çerçevesi

IV.3. Örnek Sistem Üzerinde Uygulamalar

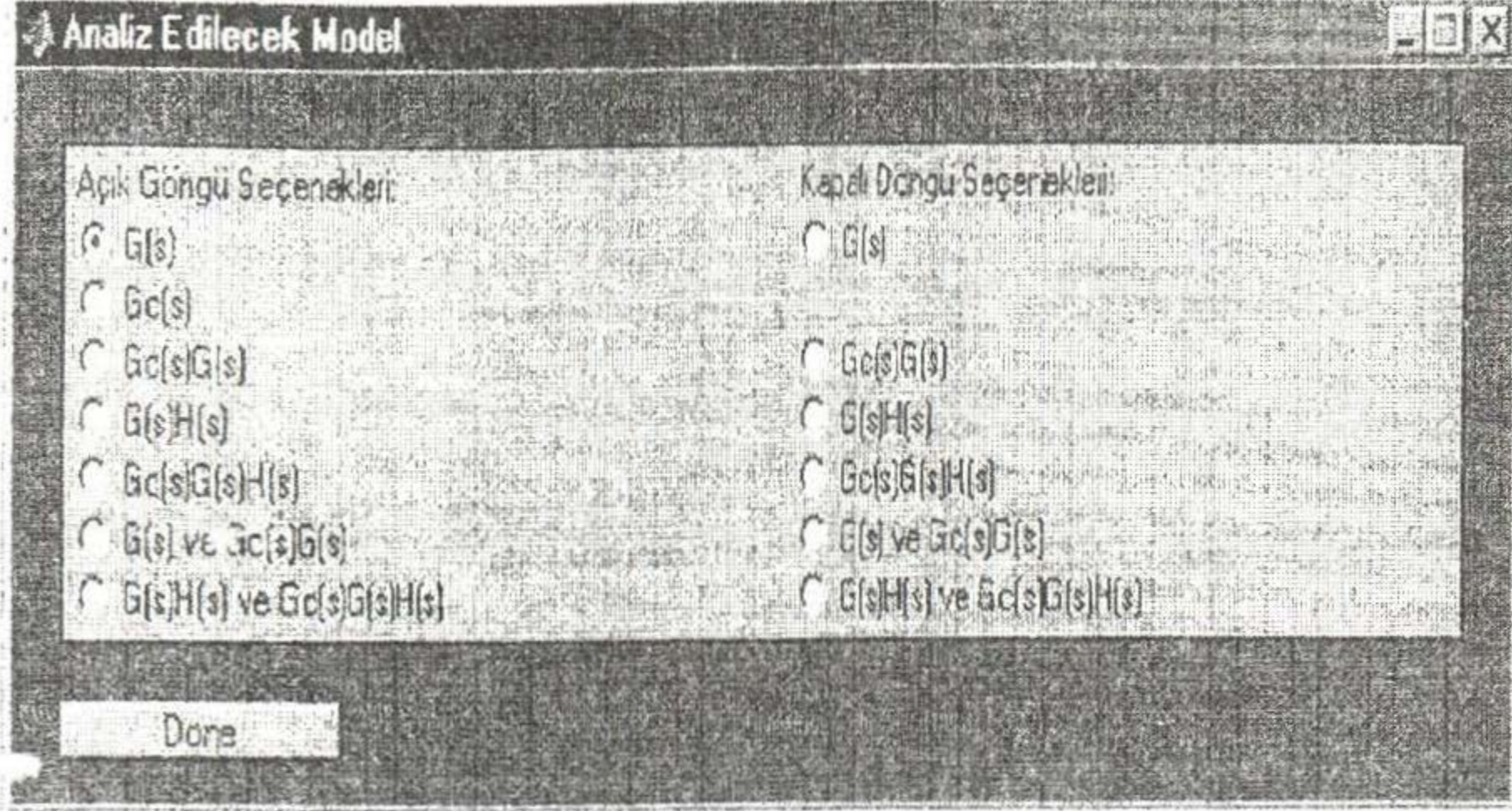
Uygulama 1:

$G(s) = 1.4 / s(s+1)(0.25s+1)$ sistemini ele alalım. Bu sistemin performansını, ileri yön kontrolör olarak dizayn ettiğimiz ve $\alpha=0.27$, $T=1.333$ parametrelerine sahip ileri faz (phase-lead) kontrolörü ile test edelim. Öncelikle ilgili sistem parametrelerini programa girebilmek için, sistem bloğu üzerine tıklayalım ve transfer fonksiyonunu Şekil-7'de görüldüğü gibi sisteme girelim.

Şekil-7 : Sistem transfer fonksiyonu girişi

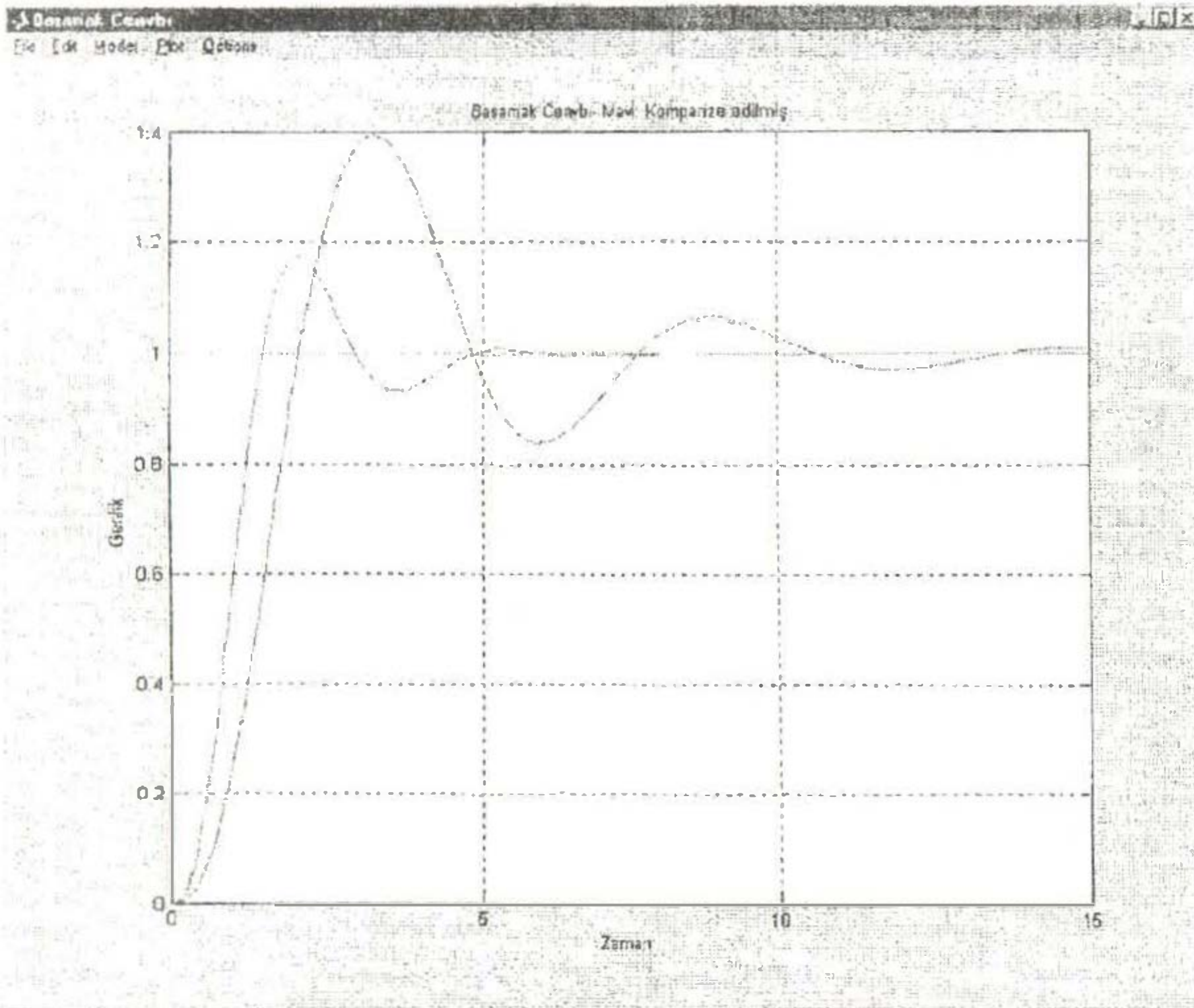
Aynı şekilde kontrolör butonuna tıklayarak, ilgili transfer fonksiyonunu girelim. Bundan sonra sistemin hem

kontrolörlü ve hemde kontrolörsüz olarak birim basamak cevabını çizdirelim. Bunun için öncelikle basamak cevabını kapalı döngüde çizdirmeniz gerekmektedir. Bu yüzden ana pencerede bulunan Model menüsünden 'Analiz edilecek model' seçeneği seçilir. Şekil-8'de karşımıza gelen pencerede istediğiniz kapalı döngüde $G(s)$ ve $G(s)G_C(s)$ seçeneği işaretlenir.

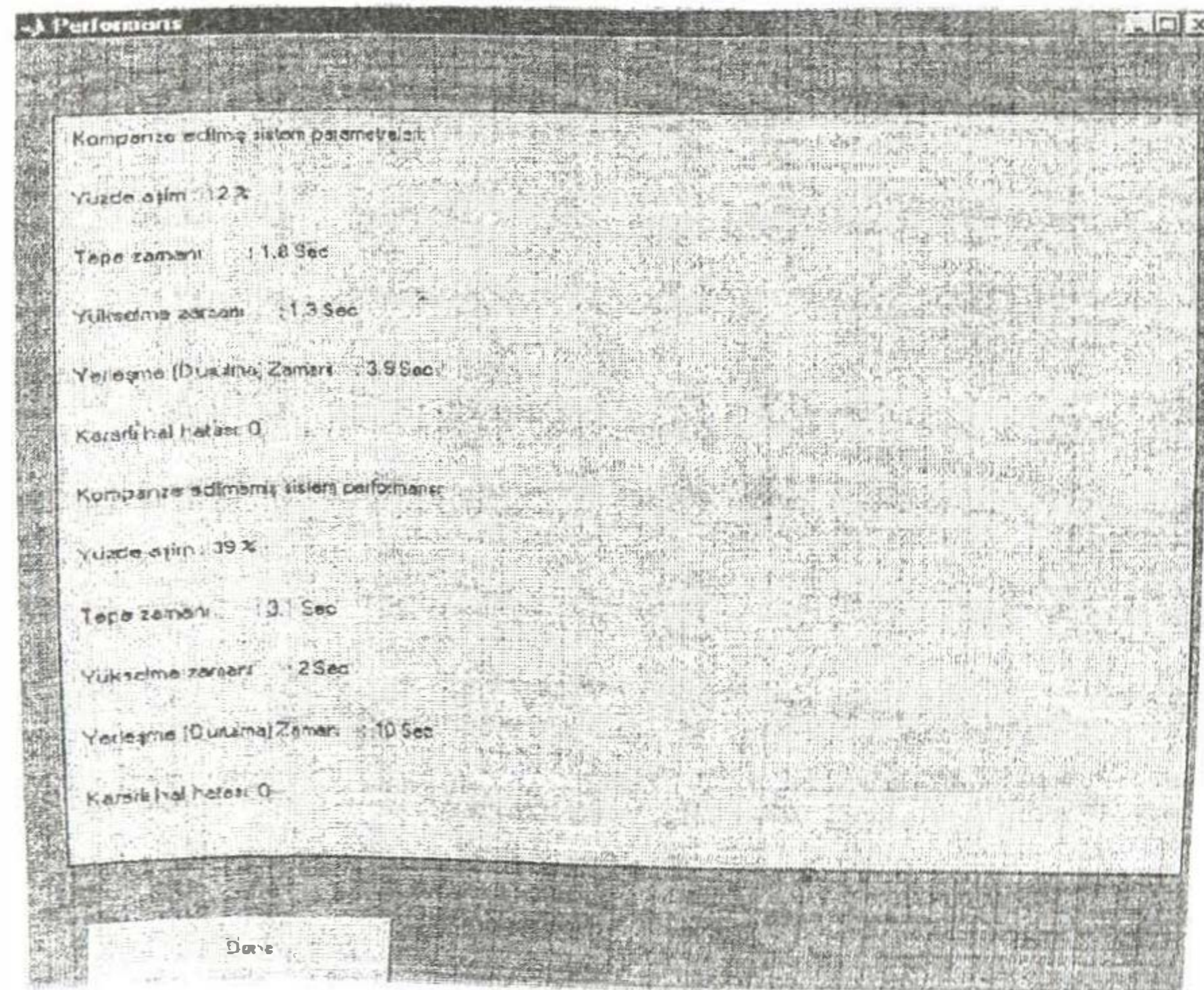


Şekil-8 : Analiz edilecek model penceresi

Bundan sonra analiz menüsünden basamak cevabı (step response) seçilir ve Şekil-9'da görülen basamak cevabı eğrisi elde edilir.

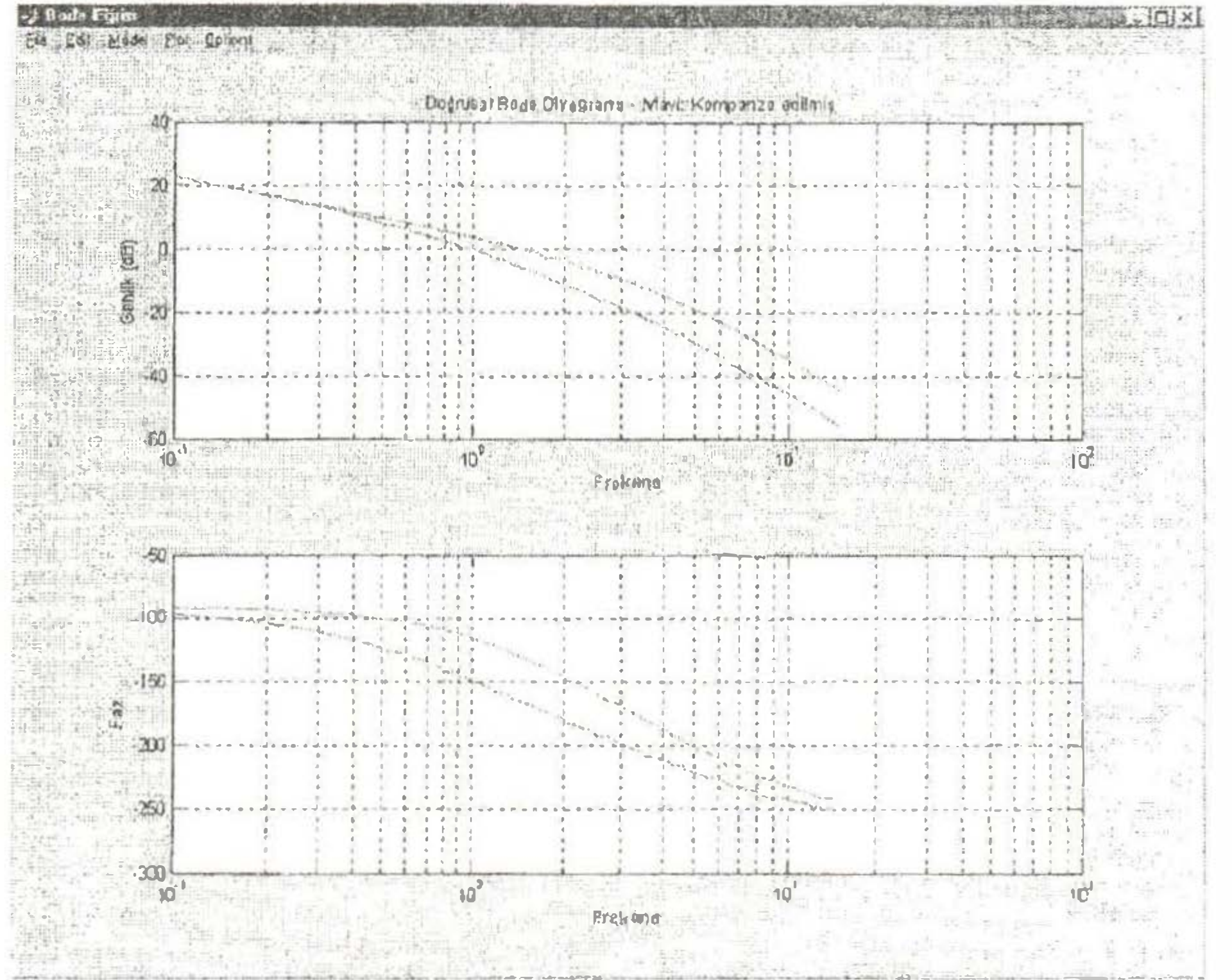


Şekil-9'dan görüldüğü gibi program kontrolörün sistem performansı hakkında bize fırsat vermektedir. Bunun yanı sıra sayısal olarak performans değerlerini elde etmemizde mümkündür. Bunun için Şekil-9'da görülen pencerede bulunan performans menüsü seçilir ve karşımıza Şekil-10'da görülen performans değerleri gelir.



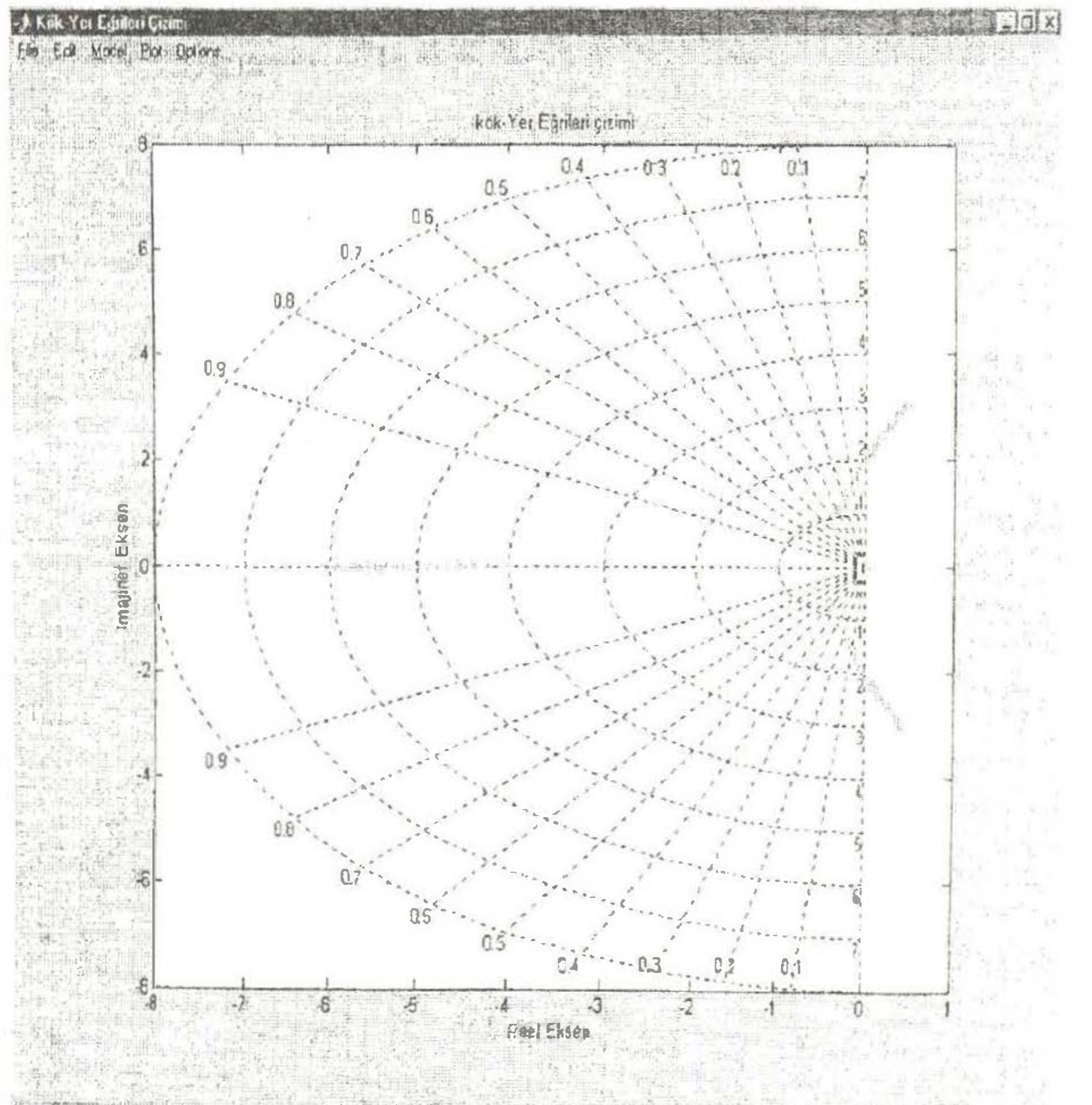
Şekil-10 : Performans değerleri

Aynı sistemin Bode eğrisini çizdirmek içinse, öncelikle Şekil-8'de görülen analiz edilecek model penceresinden, açık döngü ' $G(s)$ ve $G(s)G_C(s)$ ' seçeneği işaretlenir. Bundan sonra analiz menüsünden Bode seçilerek, çizimi (plot) menüsünden Bode eğrisi çizdirilebilir. Bu örnek için sonuç Şekil-11'de verilmiştir.



Şekil-11 : Bode eğrisi

Sistemin köklerinin yer eğrisini çizdirmek için yine Şekil-8'den açık döngü $G(s)$ seçeneğini işaretleyelim. Analiz menüsünden köklerin yer eğrisi (Root-locus)'ni seçip, çizdir seçeneğine basarsak, Şekil-12'de görülen köklerin yer eğrisini elde ederiz.

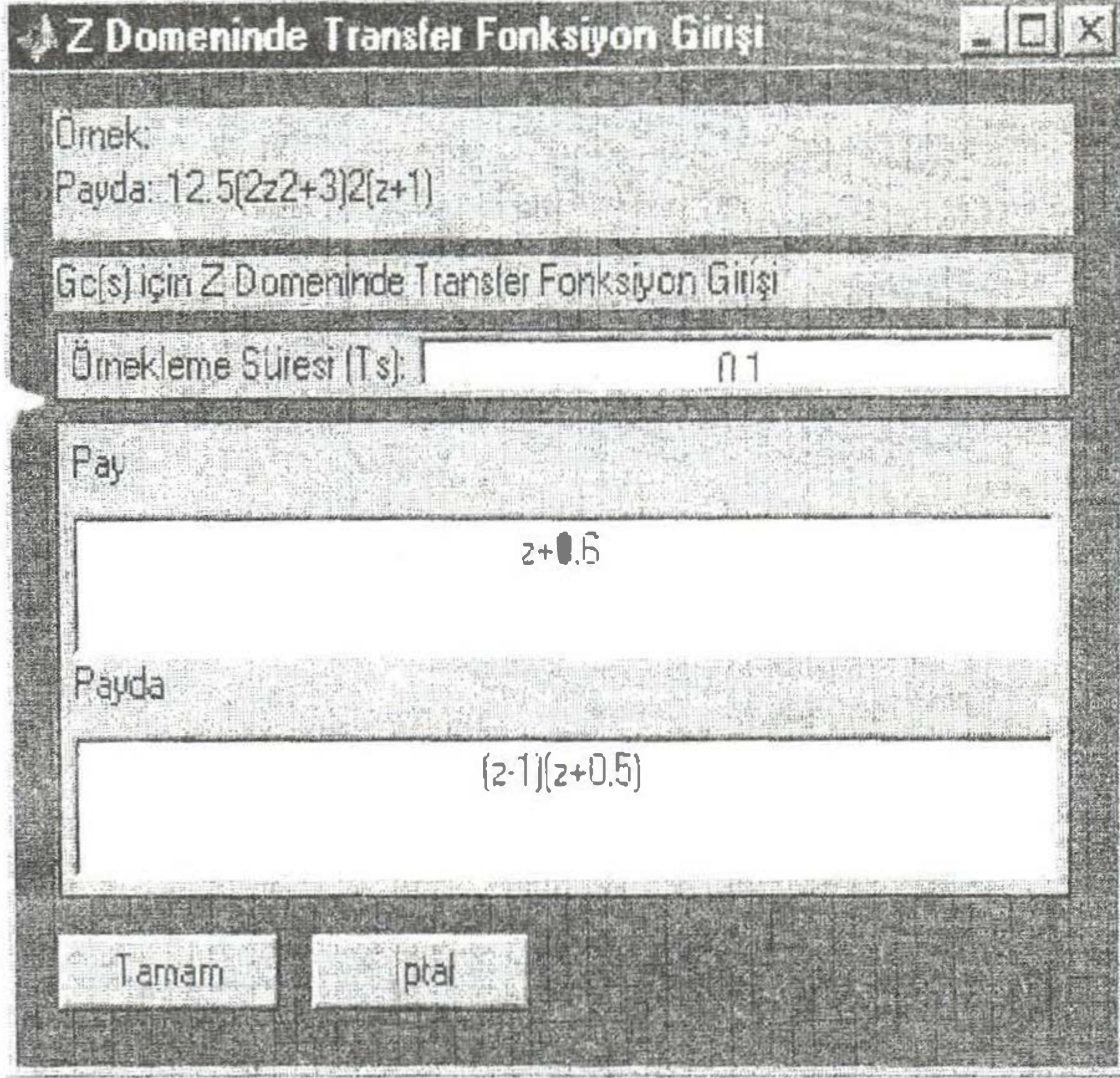


Şekil-12 : Köklerin yer eğrisi

Uygulama 2:

Bu örnekte de ayrık zamanlı bir sistemi ele alalım.

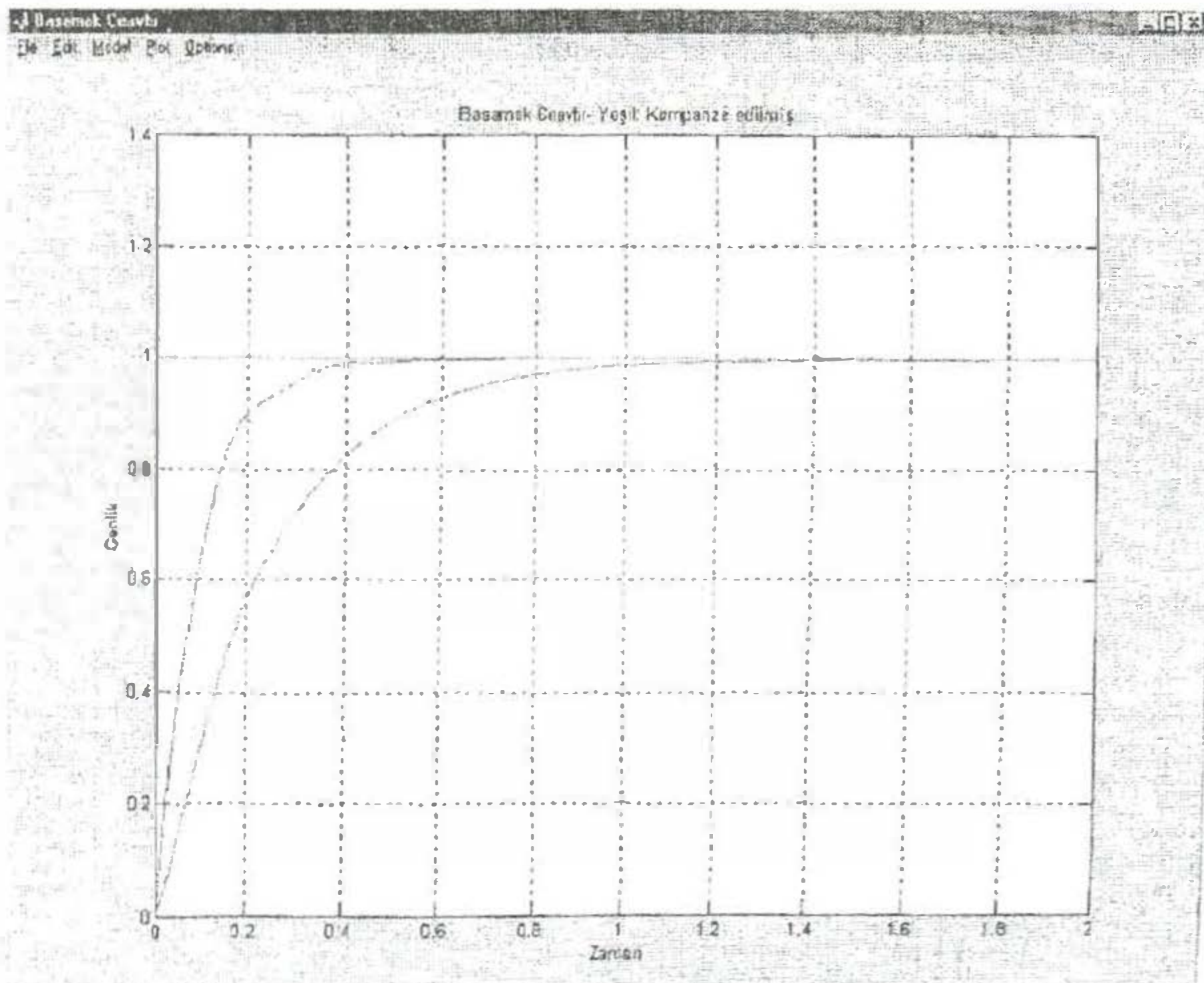
$G(z) = (z+0.6) / (z-1)(z+0.5)$ sistemini ve $G_c(z) = 0.25(z+0.5) / (z-0.05)$ sistemini ele alalım. Bu sistemin performansını, normal giriş olarak adlandırdığımız kontrolör ile test edelim. Burada ayrıca örnekleme zamanı $T_s=0.1$ olarak alınmıştır. Öncelikle ilgili sistem parametrelerini programa girebilmek için, sistem bloğu üzerine tıklayalım ve z transfer fonksiyonunu Şekil-13'de görüldüğü gibi sisteme girelim



Şekil- 13 : Sistem transfer fonksiyonu girişi

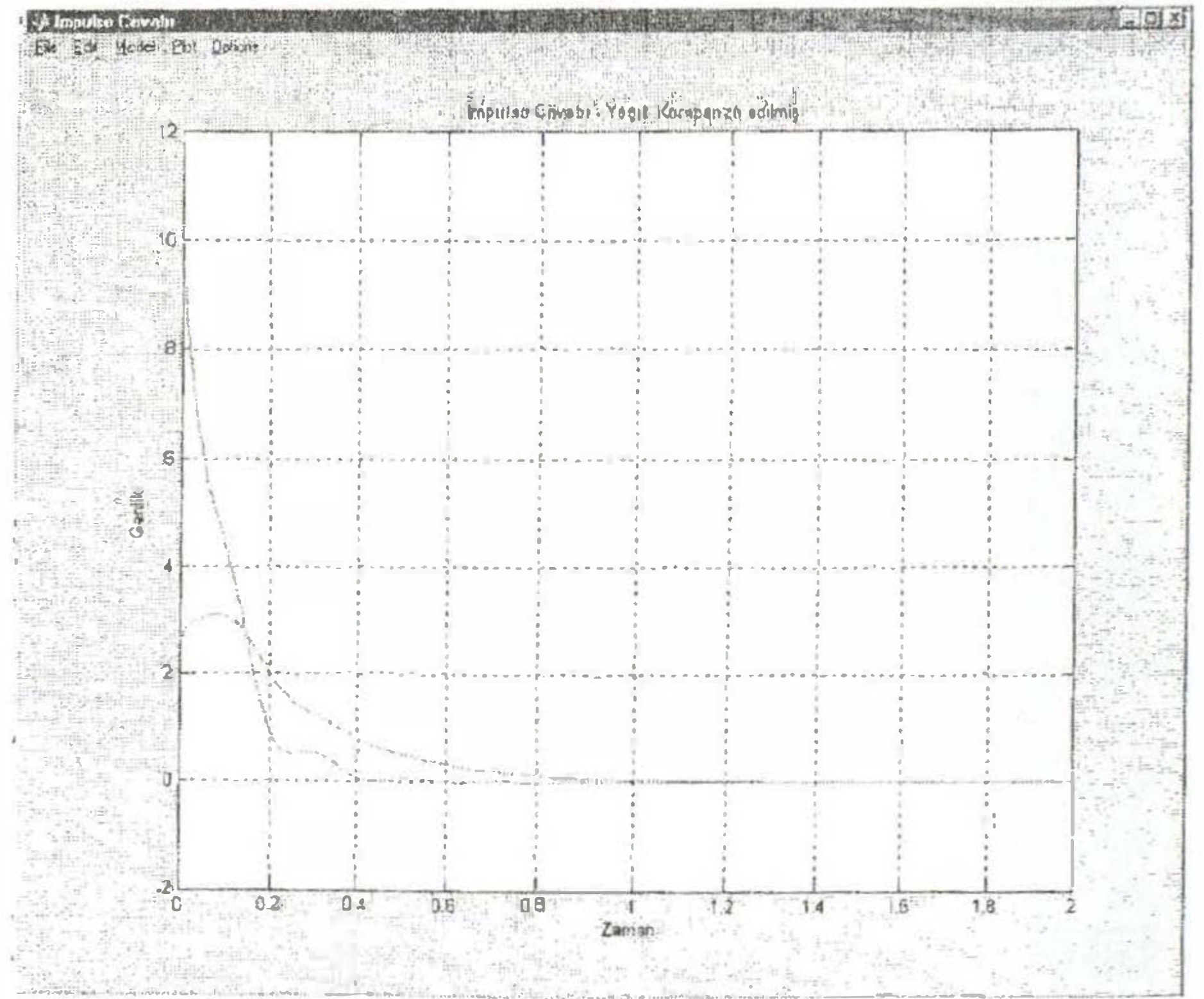
Uygulama 1'de olduğu gibi bu uygulamada da aynı şekilde kontrolör butonuna tıklayarak, ilgili transfer fonksiyonunu girelim. Bundan sonra sistemin hem kontrolörlü ve hemde kontrolörsüz olarak birim basamak cevabını çizdirelim. Bunun için öncelikle basamak cevabını kapalı döngüde çizdirmemiz gerekmektedir. Bu yüzden ana pencerede bulunan Model menüsünden 'Analiz edilecek model' seçeneği seçilir. Şekil-8'de karşınıza gelen pencerede istediğimiz kapalı döngüde $G(s)$ ve $G(s)G_c(s)$ seçeneği işaretlenir.

Bundan sonra analiz menüsünden step basmak cevabı (step response) seçilir ve Şekil-14'de görülen basamak cevabı eğrisi elde edilir



Şekil- 14 : Basamak Cevabı

Yine aynı şekilde kontrol sisteminin darbe (impulse) cevabı da incelenmek istenirse yukarıdaki işlemler tekrar edilerek önce şekil-8'den sistemin kapalı döngü seçenekleri işaretlenir daha sonra analiz menüsünden darbe cevabı seçilir ve şekil-15'de görülen darbe cevabı elde edilir.



Şekil- 15 : Darbe Cevabı

V. SONUÇ

Bilindiği gibi kontrol sistemi dizaynında bilinmesi gereken en önemli parametrelerden biriside sistem performans değerleridir. 1940'lı yıllardan günümüze kadar kaydedilen gelişmeler bu konunun yani sitem performansının test edilmesini sistematik hale getirmiştir. Bu gelişmeler ışığında kontrol mühendisi Nyquist, Bode ve köklerin yer eğrisi gibi analiz metodlarını kullanarak ilgili sistemi hakkında bilgi toplayabilir. Öte yandan bu metotların uygulaması analitik işlemlerin uzun ve

karmaşık olmasından nispeten uzun bir süre almaktaydı. Yine işlemler sırasında hata yapma riski yüksek olmakta idi. Günümüz bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler tüm bu sorunlara çözüm olabilecek cevaplar içermektedir. Özellikle yazılım sektöründeki gelişmeler, kontrol sistemleri analizini çok hızlı ve kolay hale getirmektedir. Öte yandan bu yazılımların öğrenilmesi ve özel uygulamalara yönelik hale getirilmesi ise ayrı bir sorun teşkil etmektedir. İşte bu sorunun çözümüne yönelik olarak hazırlanan ve kontrol kiti adını verdiğimiz program, tüm bu problemlere pratik fakat güçlü bir çözüm getirmektedir. Bilindiği gibi Matlab yazılımının kontrol sistemlerine yönelik özel komutları, sistem analizinde büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Yine bu paket programın genişletilebilir olması ve güçlü bir GUI ara birimine sahip olması, uygulamada bu programı seçmemizde büyük bir rol oynamıştır. Hazırlanan kullanıcı ara yüzü (GUI), kontrol sistemleri ile ilgilenen geniş bir yelpazeye hitap etmektedir. Program, kullanıcının Matlab programlama bilgisine veya derin matematik bilgisine gerek duymadan, onun herhangi bir sistemi incelemesine, o sisteme yönelik kontrolör tasarlamasına ve sonuçların birçok farklı yöntem kullanılarak test edilmesine imkan vermektedir. Böylece hem zamandan büyük kazanç elde edilmekte, hemde analitik yolda var olan hata yapma riskini en alt düzeye indirmektedir. Bunun sonucu olarak da kullanıcı, analiz yöntemlerinde analitik uygulama için harcayacağı zaman ve emeği asıl amaçta, yani performans iyileştirme üzerinde harcayabilmekte ve ayrıca sonuçları anında karşılaştırmalı olarak inceleyerek büyük bir avantaj elde etmektedir.

Programın kontrol sistemleri eğitimine yönelik faydaları da büyüktür. Özellikle ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerin eğitime ayırdıkları kaynakların kıtlığı, kontrol

sistemleri gibi uygulamaya yönelik derslerin öğretilmesini güçleştirmektedir. Bunun yanı sıra hazırlanan program sayesinde öğrenciler sistemleri kolayca test edebilmekte, performanslarını ölçebilmekte ve çözüme yönelik kontrolör tasarlayabilmektedir. Bunun sonucu olarak da hem zamandan hemde paradan tasarruf edilmektedir. Bunu yaparken eğitimden ödün vermekten ziyade, konuların daha iyi anlaşılması da sağlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] YÜKSEL, İbrahim, Otomatik Kontrol, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, Bursa, 2001
- [2] SARIOĞLU, Prof. Dr. M. Kemal, Otomatik Kontrol 1, Birsan Yayınevi, İstanbul, 1997.
- [3] YÜKSEL, İbrahim, Otomatik Kontrol, Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No:21, Bursa, 1997.
- [4] ÖZDAŞ, Nimet, A. Talha DİNİBÜTÜN ve Ahmet KUZUCU, Otomatik Kontrol Temelleri, Birsan Yayınevi, İkinci Baskı, İstanbul, Mart 1995.
- [5] GÜNEŞ, Adem, YILDIZ, Köksal, Matlab for Windows, Türkmen kitabevi, İstanbul 1997
- [6] YÜKSEL, İbrahim, Matlab ile Mühendislik Sistemlerinin Analizi ve Çözümü, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, Bursa 2000
- [7] FREDERICK, Dean K., CHOW, Joe H. Feedback Control Problems, PWS Publishing Company, Boston, USA
- [8] BOZ, Ali Fuat, Matlab ders notları, Sakarya Üniversitesi
- [9] Zhuang, M, Computer Aided PID Controller Design, DPhil. Thesis, School of Engineering, the University of Sussex, 1992.