

**KONTROL SİSTEMLERİ LABORATUARI İÇİN MATLAB TABANLI
EĞİTİM SETİ**

Mehmet Fatih ÖZLÜK

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2011
ANKARA**

Mehmet Fatih ÖZLÜK tarafından hazırlanan “KONTROL SİSTEMLERİ
LABORATUARI İÇİN MATLAB TABANLI EĞİTİM SETİ” adlı bu tezin
Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin SAYAN
Tez Danışmanı, Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek
Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. Mustafa BURUNKAYA
Elektronik Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin SAYAN
Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Yrd. Doç. Dr. Ali SAYGIN
Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Tarih: 04 / 02 / 2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini
onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yaptığımı bildiririm.

Mehmet Fatih ÖZLÜK

**KONTROL SİSTEMLERİ LABORATUVARI İÇİN MATLAB TABANLI
EĞİTİM SETİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Mehmet Fatih ÖZLÜK

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Şubat 2011**

ÖZET

Bu çalışma, kontrol sistemleri derslerinde işlenen konular ile ilgili analiz ve deneyleri içeren Matlab tabanlı arayüz (GUI) ve Simulink uygulamalarını tanıtmaktadır. Sistemleri test etmek için kullanılan yazılımların öğrenilmesi ve uygulaması hem zaman kaybına neden olmakta hem de asıl amaçtan uzaklaşmamıza neden olmaktadır. Bu amaçla Matlab’da hazırlanan kullanıcı arayüzü ve simulink uygulamaları, kullanıcıların derin matematik, kontrol ve programlama bilgisine ihtiyaç duymadan, kontrol sistemlerinin tasarımına ve analizine imkan sağlamıştır. Hazırlanan arayüz uygulamaları hem sürekli zaman ve hem de ayırık zamanda analiz yapmaya olanak sağlamakla birlikte, simulink uygulamaları da kontrol sistemleri derslerindeki deneyleri daha kolay ve anlaşılır hale getirmiştir.

Bilim Kodu : 703.1.084
Anahtar Kelimeler : GUI, Simulink, Matlab, Kontrol Sistemleri
Sayfa Adedi : 91
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin SAYAN

**MATLAB BASED EDUCATIONAL TOOLBOX FOR CONTROL SYSTEM
LABORATORY
(M.Sc. Thesis)**

Mehmet Fatih ÖZLÜK

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
February 2011**

ABSTRACT

In this study, MATLAB based user interface (GUI) and Simulink applications, which include analyses and experiments for control system courses have been introduced. Learning these softwares in order to test systems both takes long time and gets the users away from the main aim. Therefore, the user interface developed in this investigation in MATLAB and associated Simulink applications have provided the facilities for users to analyse and design control systems without requiring depth knowledge about advanced engineering mathematics, control system theories and programming. The user interface developed has not only provided opportunity to test both continuous and discrete time applications but also made control system experiments more comprehensible and understandable.

Science Code : 703.1.084

Key Words : GUI, Simulink, Matlab, Control Systems

Page Number : 91

Adviser : Assist. Prof. Hasan Hüseyin SAYAN

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren Hocam Yrd. Doç. Dr. Hasan Hüseyin SAYAN' na yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım hocalarım Doç. Dr. İbrahim SEFA' ya, Yrd. Doç. Dr. Ali SAYGIN' a, manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli ÖZLÜK ailesine ve Şahabettin CANPOLAT' a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
2. EĞİTİM SETLERİ	4
2.1. Kontrol Sistemleri Laboratuvarı İçin Eğitim Seti	4
2.2. Kontrol Sistemleri Yazılımı	5
2.3. Yazılımın Temel Özellikleri	6
3. KONTROL SİSTEMLERİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	8
3.1. Matematiksel Modelleme	9
3.2. Kontrol Yöntemleri	9
3.2.1. Açık çevrim (open-loop) kontrol yöntemleri	9
3.2.2. Kapalı çevrim (closed-loop) kontrol yöntemleri	9
3.3. Belli Başlı Standart Giriş Sinyalleri	10
3.4. Kontrol Sistemlerinin Geçici ve Kalıcı Durum Davranışları	11
3.5. Sistemlerin Kararlılığı ve Analizi	14
3.5.1. Sürekli zaman sistemlerinin analizi	14
3.5.2. Ayrık zaman sistemlerinin analizi	18

Sayfa

3.6. Denetleyiciler	18
3.6.1. P- Kontrol (Orantı Kontrol)	18
3.6.2. PI- Kontrol (Orantı ve Integral Kontrol).....	19
3.6.3. PID- Kontrol (Orantı , Integral ve Türev Kontrol).....	20
4. KONTROL SİSTEMLERİ LABORATUARI İÇİN HAZIRLANAN MATLAB TABANLI EĞİTİM SETİNİN TANITIMI.....	22
4.1. Değişkenlerin Sistemlere Etkileri	22
4.1.1. Blok diyagramları işlemleri.....	22
4.1.2. RLC devre analizi	23
4.1.3. Kazancın sisteme etkisi.....	24
4.1.4. Sönüm katsayısı ve doğal frekansın sisteme etkisi.....	25
4.1.5. Kazanç katsayısının sistemlere etkisi.....	26
4.1.6. Kütle-Damper-Yay sistemlerinin analizi.....	27
4.1.7. DA motor analizi	28
4.1.8. Laplace dönüşümü	38
4.1.9. Denetleyicili sistem(açık/kapalı döngü) uygulaması.....	39
4.2. Sürekli Zaman Modeli Uygulamaları.....	40
4.2.1. Dönüşüm modelleri.....	40
4.2.2. Frekans alanı, Kontrol edilebilirlik, Gözlenebilirlik ve Kararlılık analizleri.....	41
4.2.3. Zaman alanı analizi	42
4.2.4. Sistem sinyal tepkisi.....	43

Sayfa

4.3. Kesikli(Ayrık) Zaman Modeli Uygulamaları	44
4.3.1. Transfer fonksiyonu modeli.....	44
4.3.2. Durum uzay modeli.....	46
4.4. Simulink Uygulamaları.....	46
4.4.1. Sistemin açık ve kapalı döngü durumu.....	47
4.4.2. Açık döngü sisteme yükün etkisi	48
4.4.3. Kapalı döngü sisteme yükün etkisi.....	49
4.4.4. Kütle-damper-yay sistemleri.....	49
4.4.5. Kütle-damper-yay sistemleri (sürtünmeli-sürtünmesiz).....	51
4.4.6. Sürtünmeli ve Sürtünmesiz sarkaç	52
4.4.7. DA motor benzetimi simulink uygulaması.....	54
4.4.8. Açık döngü sisteme kazancın etkisi	54
4.4.9. Sistemin P denetleyici ile kontrolü	55
4.4.10. Sistemin PD denetleyici ile kontrolü	56
4.4.11. Sistemin PI denetleyici ile kontrolü.....	58
4.4.12. Sistemin PID denetleyici ile kontrolü	60
4.4.13. PID Tasarım.....	62
4.4.14. DA motorun PID ile kontrolü.....	62
5. EĞİTİM SETİNİN KULLANIMININ TANITIMI.....	65
5.1. Ana Menü ve Alt Menülerin Kullanımı.....	65
5.2. Arayüzlerin Genel Kullanımı.....	70

Sayfa

5.2.1. Transf�r fonksiyonu formu.....	70
5.2.2. Durum uzay formu.....	72
5.2.3. Sıfır-Kutup-Kazanç formu.....	75
5.3. Kesikli (Ayrık) Zaman Modeli.....	77
5.4. Sönüm Katsayısı ve Doğal Frekans	78
5.5. Kazancın Sisteme Etkisi.....	80
5.6. Açık/Kapalı Döngü Kontrol Sistemi.....	81
5.7. Blok Diyagram İşlemleri	83
5.8. Laplace Dönüşümü	85
5.9. DA Motorun PID Denetleyici İle Kontrolü Analizi.....	87
6. SONUÇLAR VE �NER�LER.....	88
6.1. Sonuçlar	88
6.2. �neriler	88
KAYNAKLAR	89
�ZGE�M��	92

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1. Kontrol sistem mimarisi	8
Şekil 3.2. Temel bir kontrol sistemi.....	9
Şekil 3.3. Kapalı çevrim kontrol sistemi.....	10
Şekil 3.4. Zaman alanı cevabı parametreleri	12
Şekil 4.1. Blok diyagramı işlemleri arayüzü.....	23
Şekil 4.2. RLC devre analizi benzetimi.....	24
Şekil 4.3. Kazanç ve faz marjin analizi arayüzü	25
Şekil 4.4. Doğal frekans ve sönüm katsayısının sisteme etkisi arayüzü.....	25
Şekil 4.5. Kapalı döngü bir kontrol sistemi blok diyagramı.....	26
Şekil 4.6. Kazanç katsayısı değişiminin sisteme etkisi analizi arayüzü	27
Şekil 4.7. Mekanik sistem	27
Şekil 4.8. Mekanik sistem analizi arayüzü	28
Şekil 4.9. DA motor eşdeğer devre	29
Şekil 4.10. DA motor hız kontrol analizi arayüzü.....	31
Şekil 4.11. DA motor pozisyon kontrolü eşdeğer devresi.....	31
Şekil 4.12. DA motor açık çevrim pozisyon analizi arayüzü	33
Şekil 4.13. DA motorun P denetleyici ile kontrolü arayüzü ($K_p = 1.7$)	34
Şekil 4.14. DA motorun P denetleyici ile kontrolü arayüzü ($K_p = 17$)	34
Şekil 4.15. DA motorun PI denetleyici ile kontrolü arayüzü ($K_p = 17, K_i = 300$)	35
Şekil 4.16. DA motorun PI denetleyici ile kontrolü arayüzü ($K_p = 7, K_i = 300$)	36

Şekil	Sayfa
Şekil 4.17. DA motorun PID denetleyici ile kontrolü arayüzü ($K_p = 17, K_i = 300, K_d = 0,05$)	37
Şekil 4.18. DA motorun PID denetleyici ile kontrolü arayüzü ($K_p = 3, K_i = 300, K_d = 0,05$)	37
Şekil 4.19. Diferensiyel denklemin derecesini belirleyen arayüz	38
Şekil 4.20. 2.dereceden diferensiyel denklemlerin laplace dönüşümü arayüzü	38
Şekil 4.21. Kapalı döngü denetleyicili kontrol sistemi blok diyagramı	39
Şekil 4.22. Kapalı döngü denetleyicili kontrol sistemi analizi arayüzü	39
Şekil 4.23. Dönüşüm modelleri seçimi arayüzü	40
Şekil 4.24. Transfer fonksiyonu formunun dönüşüm modeli arayüzü	41
Şekil 4.25. Kontrol edilebilirlik, gözlenebilirlik ve kararlılık analizi ve eğri çizimleri için model seçim arayüzü	41
Şekil 4.26. Kontrol edilebilirlik, gözlenebilirlik, kararlılık analizi ve eğri çizimleri arayüzü	42
Şekil 4.27. Zaman alanı analizi model seçim arayüzü	42
Şekil 4.28. Transfer fonksiyonu formunun zaman alanı analizi arayüzü	43
Şekil 4.29. Sistem sinyal tepkisi model seçim arayüzü	44
Şekil 4.30. Transfer fonksiyonu modeli sistem sinyal tepkisi arayüzü	44
Şekil 4.31. a) Kesikli zaman transfer fonksiyonu modeli analizi arayüzü (bode eğrisi) b) Kesikli zaman transfer fonksiyonu modeli analizi arayüzü (basamak tepkisi eğrisi)	45
Şekil 4.32. Kesikli zaman durum uzay modeli analizi arayüzü	46
Şekil 4.33. Açık ve kapalı döngü sistemlerin simulink uygulaması	47
Şekil 4.34. Açık döngü sisteme yükün etkisi simulink uygulaması	48
Şekil 4.35. Kapalı döngü sisteme yükün etkisi simulink uygulaması	49

Şekil	Sayfa
Şekil 4.36 Mekanik sistem.....	50
Şekil 4.37. Kütle-damper-yay sistemleri simulink uygulaması.....	50
Şekil 4.38. Sürtünmeli-sürtünmesiz kütle-damper-yay sistemleri simulink uygulaması.....	51
Şekil 4.39. Sarkaç.....	52
Şekil 4.40. Sürtünmeli sarkaç simulink uygulaması.....	53
Şekil 4.41. Sürtünmesiz sarkaç simulink uygulaması	53
Şekil 4.42. Doğru akım motoru simulink uygulaması	54
Şekil 4.43. Açık döngü sisteme kazancın etkisi simulink uygulaması.....	55
Şekil 4.44. Sistemin P denetleyici ile kontrolü simulink uygulaması	56
Şekil 4.45. a) Sistemin PD denetleyici ile kontrolü simulink uygulaması b) Sistemin PD denetleyici ile kontrolü çıkışları(hız-cevabı)	57
Şekil 4.46. a) Sistemin PI denetleyici ile kontrolü simulink uygulaması b) Sistemin PI denetleyici ile kontrolü çıkışları(hız-cevabı)	58
Şekil 4.47. a) Sistemin PID ile kontrolü simulink uygulaması.....	60
Şekil 4.47. Devamı b) Sistemin çıkışları(hız-cevabı) c) Sistemin çıkışları(hız-cevabı)	61
Şekil 4.48. PID tasarımı simulink uygulaması.....	62
Şekil 4.49. DA motorun PID ile kontrolü simulink uygulaması.....	64
Şekil 5.1. Matlab(R2008b) ikonu.....	65
Şekil 5.2. Matlab komut penceresi.....	65
Şekil 5.3. Ana menü arayüzü	66
Şekil 5.4. Kontrol sistemleri işlemleri arayüzü.....	66
Şekil 5.5. Sürekli zaman modeli uygulamaları arayüzü	67

Şekil	Sayfa
Şekil 5.6. Kesikli zaman modeli uygulamaları arayüzü.....	68
Şekil 5.7. Simulink uygulamaları arayüzü.....	68
Şekil 5.8. Simulink uygulaması penceresi.....	69
Şekil 5.9. SISOTOOL uygulamaları ana sayfası.....	69
Şekil 5.10. Dönüşüm modelleri seçimi arayüzü.....	70
Şekil 5.11. Transfer fonksiyonu formunun dönüşüm modeli arayüzü.....	71
Şekil 5.12. Kontrol edilebilirlik, gözlenebilirlik ve kararlılık analizi ve eğri çizimleri için model seçim arayüzü.....	73
Şekil 5.13. Kontrol edilebilirlik, gözlenebilirlik, kararlılık analizi ve eğri çizimleri arayüzü.....	74
Şekil 5.14. Zaman alanı analizi model seçim arayüzü.....	75
Şekil 5.15. Sıfır-kutup-kazanç formunun zaman alanı analizi arayüzü.....	76
Şekil 5.16. Kesikli zaman transfer fonksiyonu modeli analizi arayüzü (bode eğrisi).....	78
Şekil 5.17. Doğal frekans ve sönüm katsayısının sisteme etkisi arayüzü.....	79
Şekil 5.18. Kapalı döngü bir kontrol sistemi blok diyagramı.....	80
Şekil 5.19. Kazanç katsayısı değişimi analizi arayüzü.....	80
Şekil 5.20. Kapalı döngü denetleyicili kontrol sistemi blok diyagramı.....	81
Şekil 5.21. Kapalı döngü denetleyicili kontrol sistemi analizi arayüzü.....	82
Şekil 5.22. Kapalı döngü bir sistemin blok diyagramı.....	83
Şekil 5.23. Blok diyagramı işlemleri arayüzü.....	84
Şekil 5.24. 2.dereceden diferansiyel denklemlerin laplace dönüşümü arayüzü.....	86
Şekil 5.25. DA motorun PID denetleyici ile kontrolü arayüzü.....	87

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
B	Mekanik sönümlleme
$e(t)$	Hata fonksiyonu
J	Rotor atalet momenti
K_p	Orantı kazancı
K_i	İntegral kazancı
K_d	Türev kazancı
K_f	Sürtünme sabiti
K_b	EMK sabiti
K_m	Moment sabiti
L	Motor endüktansı
M_p	Maksimum aşma
R	Motor omik direnci
T_i	İntegral zaman sabiti
T_d	Türev zaman sabiti
T_s	Örnekleme zamanı
t_c	Gecikme zamanı
t_d	Gecikme zamanı
t_p	Tepe zamanı
t_r	Yükselme zamanı
t_s	Yerleşme zamanı
$u(t)$	Kontrol organı çıkışı
ζ	Sönüm oranı

Kısaltmalar	Açıklama
DA	Doğru Akım
dB	Desibel
GUI	Grafiksel Kullanıcı Arayüzü(Grafical User Interface)
LTİ	Doğrusal Zaman Sabiti(Linear Time Invariant)
MIMO	Çok Girişli Çok Çıkışlı (Multi Input Multi Output)
P	Orantı (Proportional)
PD	Orantı Türev (Proportional Derivate)
PI	Orantı İntegral (Proportional Integral)
PID	Orantı İntegral Türev (Proportional Integral Derivate)
RLC	Direnç-Bobin –Kondansatör (Res.-Ind.-Cap.)
SISO	Tek Girişli Tek Çıkışlı (Single Input Single Output)

1. GİRİŞ

Endüstriyel alanda kullanılan ilk geri beslemeli denetim organı, James Watt'ın 1769 da geliştirdiği toplu hız düzenleyicisidir (Regülatör). Bir denetim sistemine ilişkin ilk kuramsal çözümleme, 19.Yüzyılda Watt regülatörünün bir diferensiyel denklem modelini geliştiren İskoçyalı Fizikçi James Clerk Maxwell tarafından gerçekleştirildi. Bu kuram birçok başka bilim adamlarının katkılarıyla (Minosky, Nyquist, Hazen, v.b.) denetim kuramı olarak geliştirildi.

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 beslemeli belirli bir sürecin birçok noktasında 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 denetim sistemlerinde mikro bilgisayar aktif olarak görev almıştır. İyi bir kontrolcünün hem klasik hem de modern denetim sistemlerini çok iyi bilmesi gerekmektedir [3].

Yeung ve Huang tarafından yapılan bir çalışmada, kontrol deneylerinin kullanıcılar tarafından internet üzerinden yapılabildiği uzaktan erişimli bir kontrol sistemi geliştirilmiştir. Sistem yerel ağ üzerinde veri toplama kartı ile uyumlu çalışan uygulama setinden oluşmaktadır. Sunucu istemci mimarisini esas alan bu sistemde web-sunucusu, video sunucu ve LabVIEW yazılım/donanım ürünleri kullanılmıştır [7].

Gustavsson tarafından yapılan sanal laboratuvar çalışması Blekinge Institue of Technology öğrencileri tarafından kullanılmaktadır. Öğrenciler deneyle ilgili

istedikleri tüm parametreleri kendi istemci bilgisayarlarında hazırlayarak laboratuvar sunucusuna göndermektedirler. Sunucu istenilen ölçümlerden elde ettiği verileri istemciye tekrar göndermektedir. Bu işlem 1-2 saniye sürmekte ve aynı anda birden fazla istemci deneye ulaşabilmektedir. Tasarlanan sanal laboratuvar, kampüs öğrencilerinin normal derslerinde de kullanılabilmekte, ayrıca laboratuvara kampüs içinden veya dışından da erişilebilmektedir [8].

Alaska Fairbanks Üniversitesi'nde Kontrol Laboratuvarı'nda MATLAB/Simulink yazılımının kullanıldığı, bir robot kolunun deneysel amaçlarla uzaktan kontrol edilebildiği bir sunucu-istemci yöntemi geliştirilmiştir. Geliştirilen ve halen bu laboratuvarda kullanımda bulunan sistemde, MATLAB/Simulink'te hazırlanan uygulamanın internet üzerinden veri alışverişinde bulunabilmesi için C/C++ dili ile ayrıca bir program oluşturulmuştur [9].

Texas A&M Üniversitesinde Ali Abur ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada, güç sistemlerinin analizini gerçekleştirmek için Visual C++ ve Fortran programlama dilleri kullanılarak bir eğitim seti hazırlanmıştır. Bu eğitim seti sistemlerin akış şemalarının, belirli bileşenlerinin, benzetimin parametrelerinin oluşturulmasına ve çıkışlarının izlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu set ile durum tahmini analizleri, güç akış analizleri, en iyi güç analizleri ve geçici kararlılık analizleri yapılabilmektedir [10].

Saffet Ayasun ve diğerleri tarafından MATLAB programı ile eğitimde ve araştırmada kullanılmak üzere güç sistemlerinde voltaj kararlılığı problemleri için bir eğitim seti hazırlanmıştır. Yük akışı, küçük sinyal ve geçici kararlılık analizleri açısından Gerilim Kararlılığı Araç kutusunun (Voltage Stability Toolbox-(VST)) esnekliğinden faydalanılarak farklı arayüzler oluşturulmuştur [11].

Laurent Foulloy, ve diğerleri tarafından MATLAB/Simulink programı kullanılarak kontrol mühendisliği müfredatında yer alan Fuzzy Kontrol uygulamalarını içeren kütüphaneye sahip bir eğitim seti hazırlanmıştır [12].

Armando A. Rodriguez, ve diğerleri tarafından MATLAB ve C++ programlama dilleri kullanılarak klasik kontrol sistemlerinin analizi için internet tabanlı bir eğitim seti hazırlanmıştır [13].

Chung Kuo, ve diğerleri tarafından MATLAB/Simulink-Gui kullanılarak üniversitelerde düzeyinde etkileşimli bir güç elektroniği eğitim seti hazırlanmıştır. Bu set ile güç elektroniği derslerinde gösterilen doğrultma, evirme ve çevirme işlemleri benzetimleri gerçekleştirilmektedir [14].

Costas D. Vournas, ve diğerleri tarafından MATLAB/Simulink ile güç sistemleri kontrolü ve kararlılığı dizayn problemleri için üniversite düzeyinde bir eğitim seti hazırlanmıştır [15].

Xiao Jian, ve diğerleri tarafından FORTRAN ve C++ programlama dilleri kullanılarak güç sistemleri kararlılığı çalışmaları için etkileşimli bir eğitim seti hazırlanmıştır. Bu eğitim seti; güç akış hesaplamaları, statik gerilim kararlılığı, geçici kararlılık, küçük sinyal kararlılığı ve çatallanma analizlerini yapmaya olanak sağlamaktadır [16].

Orta Doğu Teknik Üniversitesinde “Kontrol Dersleri için Matlab Tabanlı Eğitim Seti” (A Matlab Based Educational Tool For Control Courses) [5], Sakarya Üniversitesinde “Kontrol Sistemleri Analizi İçin Matlabla Kullanıcı Arayüzü Tasarımı” [3] ve İstanbul Teknik Üniversitesinde “Kontrol Sistemlerinin Modellenmesi ve PID Kontrolü” [17] tezleri hazırlanmıştır.

2. EĞİTİM SETLERİ

Günümüzde öğretimin internet üzerinden yapılması her geçen gün daha yaygın hale gelmektedir. Böylelikle zaman ve mekandan bağımsız, bireysel öğrenime olanak sağlanmaktadır. Bu nedenle bu tür eğitim setlerine, uzaktan eğitim çalışmalarına bir taban oluşturması bakımından ihtiyaç duyulmaktadır.

Mühendislik derslerinde; deneysel modelleme ve benzetimleri, dinamik sistemlerdeki fiziksel parametrelerin doğrudan tahmini için kullanılan bir yöntemle kurulur [18]. Bu yüzden bilgisayar ve donanım benzetimleri ile bu tür stratejiler geliştirilmesi bir ihtiyaçtır. Ayrıca farklı dinamik sistemlerin benzetiminde, bilgisayar benzetimleri ve yazılım tabanlı setler ve bunların birleştirilmesi ile oluşturulan uygulamalara bağlı sistemler kullanılmaktadır [19, 20, 21]. Mühendislik eğitimi, kavramsal ve deneysel olduğundan; öğrenenlerin ve öğreticilerin ellerinde kontrol sistemleri teorileri eğitimi ve öğretimi için bir set olması eğitim daha iyiye götürecektir [4, 22, 23].

Teorik derslerin laboratuvar uygulamalarında, eğitim setleri derslerin daha verimli geçmesinde önemli rol oynar. Eğitim setleri;

- Soyut kavramların daha somut hale getirilerek anlaşılmasını kolaylaştırır,
- Dersin daha etkili bir şekilde anlatılarak performansın yükseltilmesini sağlar,
- Daha dikkatli analiz yapılabilmesi ile verimliliğin arttırılmasına olanak verir,
- Ekonomik açıdan imkan yeterliliği sağlar,
- Matematiksel modellerin oluşturulması ile kavramlar arası ilişki ve bağlantıların kurulmasını kolaylaştırır.

2.1. Kontrol Sistemleri Laboratuvarı İçin Eğitim Seti

Kontrol sistemlerinde kullanılan kavramların soyut kavramlar olması, hesaplamaların yapılmasında çok sayıda bağıntı ve işlemlerin kullanılmasına, yapılan bu işlemlerin çok uzun çözümlerinin olmasına ve aşırı zaman kaybına neden olur. Bu nedenle

kontrol sistemleri dersi için MATLAB tabanlı bir eğitim setinin hazırlanması; soyut kavramların somutlaştırılmasını, çözümü uzun süren problemlerin daha hızlı çözümlenmesini ve daha doğru sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır. Böylece dersin daha etkili ve verimli bir şekilde işlenmesi sağlanacaktır.

Yapılan çalışma; üniversitelerde lisans düzeyinde okutulan kontrol sistemleri dersi laboratuvarına yönelik bilgisayar destekli eğitim setidir. Bu sanal laboratuvar The Mathworks Inc. Natick, firmasına ait MATLAB programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Kontrol Sistemleri dersinin kapsamında olan frekans tepkisi eğrisi çizimleri, blok diyagram işlemleri, kütle-damper-yay sistemleri ... vb. konuların modelleri bu eğitim setinde yer almıştır.

Bu modellerin hazırlanmasında MATLAB'ın GUI(Grafiksel Kullanıcı Arayüzü) ve SIMULINK(Benzetim) araç kutularından yararlanılmıştır.

2.2. Kontrol Sistemleri Yazılımı

Eğitim sisteminde öğrenciler için en büyük sorun anlatılan dersi günlük hayatla ilişkilendirememeleridir. Sorunun temelinde dersin teorisi ile pratiğinin kavram olarak anlaşılamaması yatmaktadır. Kontrol teori dersinin içerdiği konular hem çok farklı bilim dallarını ilgilendirdiğinden, hem de yüksek matematik bilgisi gerektirdiğinden öğrenciler için zor tabir edilen derslerden biri olmuştur. Analizi istenen bir kontrol sisteminin blok şemasının gerçekleştirilmesinde birçok zorlu adım vardır. Daha önemlisi sistemin kararlı hale getirilebilmesi için kullanılacak denetleyicinin parametrelerinin bulunmasında deneme yanılma yoluyla sonuca ulaşılmaktadır. İşte bu noktada yapılmış olan bu lisans üstü çalışma çok büyük kolaylık sağlayacaktır. Kullanıcı, çok yüksek matematik ve kontrol bilgisi gerekmeden sadece sistemdeki elemanların parametre değerlerini girerek sistemi analiz edebilir.

Bu çalışmada Matlab 7. sürümü kullanılmıştır. Çalışma, 37 adet GUI nesnesi, 37 adet m.file ve 16 adet simulink uygulaması içermektedir.

Çalışmada, oluşturulan arayüzler ile, modeller arası dönüşümler, blok diyagramı işlemleri, sistemlerin frekans alanı analizi yapılarak eğrilerin çizdirilmesi, kararlılık, kontrol edilebilirlik ve gözlenebilirlik durumlarının testleri, Laplace dönüşümleri, DA motor ve PID kontrol parametrelerinin değişimine göre basamak cevabının incelenmesi işlemleri yapılabilmektedir.

2.3. Yazılımın Temel Özellikleri

- Sistemin transfer fonksiyonu veya sıfır-kutup-kazanç formu veya durum uzay formu verilmesi durumunda diğer modellere dönüşüm yapılabilir.
- Kapalı veya açık döngü bir sistemin, kazanç katsayısı değişimine göre frekans alanı cevabı analizleri yapılabilir ve eğrileri çizdirilebilir. Denetleyici parametre değerleri, transfer fonksiyonu şeklinde girilebilir ve geri besleme işlem noktası işareti değiştirilebilir.
- 1., 2., 3., 4., 5. mertebeden diferensiyel denklemlerin Laplace dönüşümü alınarak başlangıç değerlerine göre çözümü yapılabilir.
- Blok diyagram işlemleri yapılabilir.
- DA motorun; P, PI, PID denetleyiciler ile pozisyon kontrolünde DA motorun parametreleri ve K_p , K_i , K_d değerleri değiştirilerek basamak-cevabında meydana gelen değişimler incelenebilir.
- Tasarlanan arayüzler ile sürekli ve ayrık zaman analizleri yapılabilir.
- Sistemlerin kökleri bulunarak, basamak ve ani darbe cevap eğrileri çizdirilebilir.

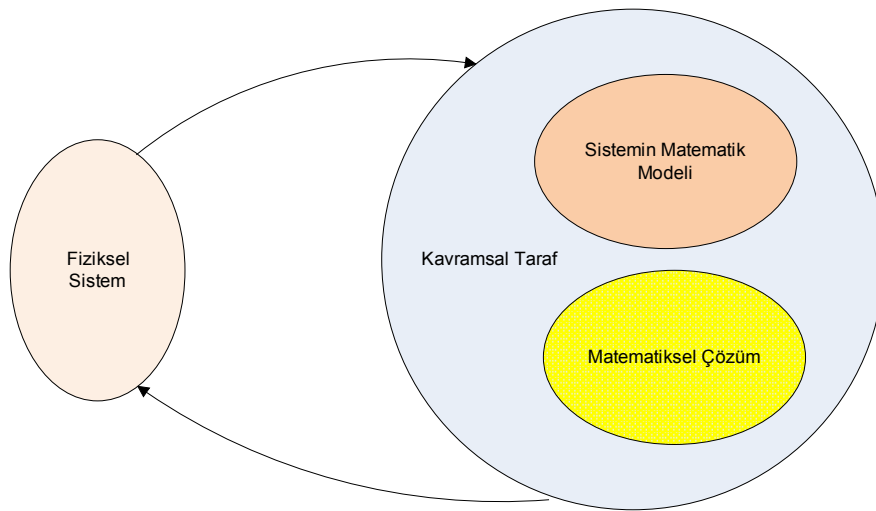
- Verilen bir sisteme sinusoidal, kare dalga veya darbe sinyallerinden biri uygulanması durumunda sistemin çıkışları incelenebilir.
- Sönüm katsayısı ve doğal frekans değişimlerine göre sistemin kararlılığı incelenebilir.
- Kütle-damper-yay sistemleri analizleri yapılabilir.
- Analizler sonucunda elde edilen eğrilerin ifade ettiği değerler, birim-ölçek (per-unit) cinsindendir.

3. KONTROL SİSTEMLERİ İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

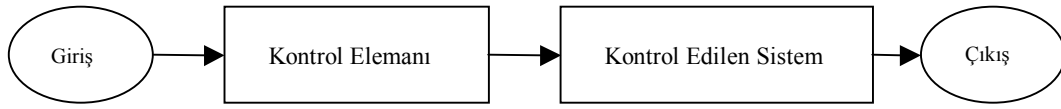
Bir sistemin davranışının istenilen bir iş akışı doğrultusunda çalışmasını sağlamak amacı ile yapılan denetlemeye "kontrol" denir. Davranışları kontrol edilen sistemler ise "Kontrol Sistemleri" olarak adlandırılır. Dinamik sistemlerin kontrolünün temelini oluşturan geri besleme kavramının bilincine 19. yüzyılın sonunda varılmış olmasına rağmen eski çağlardan beri bilindiği ve başarı ile uygulandığı anlaşılmaktadır [2].

Bir kontrol sistemi genel anlamda üç temel ögeden oluşur;

- Giriş Birimleri (amacı anlatanlar)
 - Kontrol Sistemi Elemanları (amacı uygulayacak birimler)
 - Çıkış (sonuç)
-
- Kontrol edilen sistem: Çıkışları kontrol edilecek sistem
 - Kontrol Elemanı: Kontrol edilen sistemin verilen amaca yönelik çıkışları üretmesi için gerekli olan kontrol işaretlerini üreten elemanlar topluluğu (genelde elektronik bir devre ve/veya bu devre üzerinde döngüsel çalışan programlardır).



Şekil 3.1. Kontrol sistem mimarisi



Şekil 3.2. Temel bir kontrol sistemi

3.1. Matematiksel Modelleme

Sistemi oluşturan elemanlar, bu elemanların birbiri ile nasıl bağlı olduğu, her bir elemana ilişkin denklemler, sistemin matematiksel modelini oluşturur. Bilinen fizik, kimya vb. kanunları kullanılarak sistem içerisindeki işaretlerin birbiri ile ilişkileri matematiksel olarak ifade edilir. Sistemin girişi ile çıkışı arasındaki bağıntıyı ifade eden matematiksel modele “Transfer Fonksiyonu” denir.

3.2. Kontrol Yöntemleri

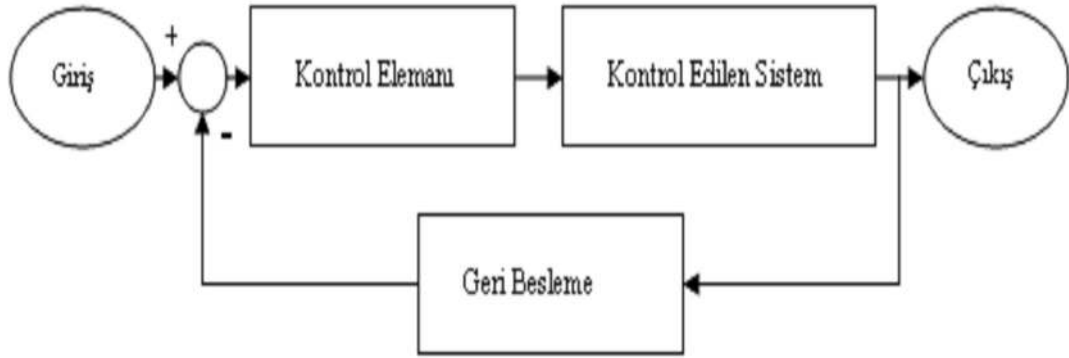
Matematik modelini belirlediğimiz bir sistemi kontrol etmek için kullanılabilecek kontrol yöntemleri açık çevrim ve kapalı çevrim olarak iki ana gruba ayrılır.

3.2.1. Açık çevrim (open-loop) kontrol yöntemi

Çıkış sinyalinden etkilenmeyen sistemlere açık çevrim kontrol sistemleri denir. Şekil 3.1’deki temel kontrol sistemi bir açık çevrim kontrol sistemidir.

3.2.2. Kapalı çevrim (closed-loop) kontrol yöntemi

Sisteme etkiyen kontrol sinyalinin, sistem çıkışının da göz önüne alınarak üretildiği kontrol sistemlerine kapalı çevrim(geri beslemeli) kontrol sistemleri denir. Çıkışı ise şekil 3.4’te gösterilen sistem girişini etkilemesine ise geri besleme (feedback) denir [2].



Şekil 3.3. Kapalı çevrim kontrol sistemi

3.3. Belli Başlı Standart Giriş Sinyalleri

Basamak fonksiyonu, fiziksel anlamda bir elemana veya sisteme, aniden sabit değere yükselen bir sinyal uygulanmasını ifade eder. *Darbe fonksiyonu*, fiziksel olarak çok kısa bir zaman içinde ortaya çıkan ve sonra kaybolan bir sinyali ifade eder. *Rampa fonksiyonu*, fiziksel olarak zamana bağlı olarak kademeli şekilde sürekli artan bir giriş sinyalini ifade eder [1].

Sistem karakteristiklerinin incelenmesi yolu ile ölçülü test sinyallerinden hangisinin veya hangilerinin kullanılacağı sistemin normal çalışma koşulu altında, çoğunlukla etkin giriş uyarısının biçimine göre belirlenir. Buna göre denetim sistemi normal çalışma koşulları altında referans giriş veya bozucu giriş uyarısı olarak, zamana bağlı giderek doğrusal artan bir sinyalin etkisinde kalıyorsa test sinyali olarak rampa fonksiyonu kullanılması en uygun olur. Benzer şekilde eğer sistem, ani olarak belli bir değere kadar artan uyarı etkisinde kalıyorsa, basamak test sinyali; buna karşılık sistem ani olarak şok uyarısının etkisinde kalıyorsa ani darbe test sinyali kullanılır. Sistemin gerçek giriş sinyallerine göre davranışı, denetim sisteminin test sinyallerine göre incelenip, bu sinyallere göre tasarlanmasıyla yaklaşık olarak belirlenir. Bu tür test sinyallerini kullanmak suretiyle aynı esasa dayanan tüm sistemlerin dinamik davranışları karşılaştırılabilir [3].

3.4. Kontrol Sistemlerinin Geçici ve Kalıcı Durum Davranışları

Dinamik sistemlerde, biri geçici-durum ve diğeri kalıcı-durum olmak üzere iki tür davranış görülür. Geçici-durum davranışı, sistemin belli bir dış uyarı karşısında belli bir başlangıç değerinden bir nihai duruma kadar zaman değişimine bağlı olarak gösterdiği davranıştır. Kalıcı-durum davranışı ise, sistemin geçici-durum davranışı tamamlandıktan sonra zaman sonsuza giderken koruduğu davranıştır.

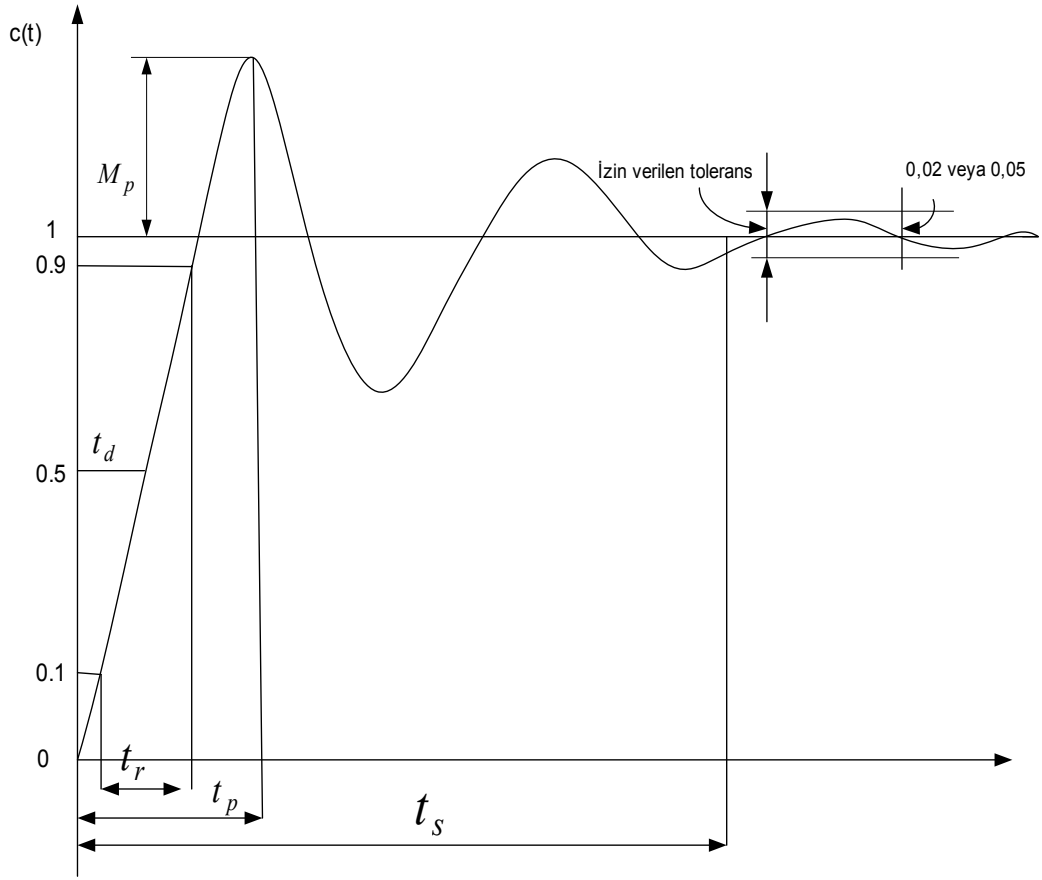
Çoğunlukla, bir denetim sisteminin dinamik davranış özellikleri, sistemin birim basamak girişine karşı gösterdiği geçici-durum davranış parametreleri cinsinden belirlenir. Pratik olarak birim basamak giriş fonksiyonu üretmek kolay olup, sistemin birim basamak giriş cevabının bilinmesi halinde matematiksel olarak sistemin diğer herhangi bir giriş cevabı kolaylıkla hesaplanabilir.

Pratik bir denetim sisteminin geçici-durum cevabı, kalıcı duruma erişene kadar genellikle sönümlü titreşimli bir davranış gösterir. Bir denetim sisteminin birim basamak girişine karşı gösterdiği geçici-durum cevabı, davranış karakteristiğinin belirlenmesi Şekil 3.5 de gösterilen ve aşağıda belirlenen parametrelerle tanımlanabilir. Bu parametreler sistemin geçici-durum cevabını belirleyen temel parametrelerdir [2].

Zaman cevabının incelenmesinde kullanılan parametreler Şekil 3.5. üzerinde gösterilmiştir. Bunların tanımları aşağıdaki gibidir.

Gecikme Zamanı (t_d): Gecikme zamanı, cevabın son değerinin yarısına ilk ulaşması için geçen zamandır. Birinci dereceden gecikmeli sistemlerde gecikme zamanı, t_c zaman sabiti T ya eşit olarak alınabilir.

Yükselme Zamanı (t_r): Yükselme zamanı, cevabın son değerinin %10 dan %90 nına, %5 den %95 ine veya %0 dan %100 üne kadar ulaşması için geçen zamandır. Aşırı sönümlü birinci dereceden sistemler için %0-100 yükselme zamanı kullanılır. Salınımlı sönümlü sistemlerde ise genel olarak % 10-90 yükselme zamanı kullanılır.



Şekil 3.4. Zaman alanı cevabı parametreleri

Tepe Zamanı (t_p): Tepe zamanı cevabın son değerini ilk defa alarak bir tepe yaptığı noktaya erişmesi için gerekli zamandır.

Maksimum Aşma (M_p): Cevap eğrisinin $t = t_p$ iken aldığı genlik değeridir. Maksimum aşmanın miktarı doğrudan doğruya sistemin bağlı kararlılığını belirler. Birinci dereceden gecikmeli sistemlerde cevap eğrisi, hiçbir zaman olması gerektiği nihai değeri aşmadığından maksimum aşma tanımlanmaz, yani sıfırdır.

Yerleşme Zamanı (t_s): Cevap eğrisindeki salınım genliklerinin izin verilen tolerans değeri sınırlarına erişmesi için geçen zamandır. İzin verilen tolerans değerleri ise genellikle nihai değerin %5 veya %2 lik aşma değerleri olarak tanımlanır. Oturma

zamanı denetim sisteminde tanımlanan en büyük zaman sabitidir. Birinci dereceden gecikmeli sistemlerde oturma zamanının yükselme zamanına eşit olduğu kabul edilebilir.

Sönüm Oranı (ζ): Kararlı sistemler için $0 < \zeta < 1$ arasındadır. ζ küçüldükçe aşım artar [2].

Burada tanımlanan tüm özelliklerin verilen herhangi bir duruma uygulanması gerekli değildir. Örneğin aşırı sönümlü ikinci derece ve birinci derece sistemler için tepe zamanı ve maksimum aşma tanımları geçerli değildir. Çok düşük genlikli titreşimlerin dahi müsaade edilmediği belli uygulamalar dışında, sistemin geçici durum cevabının yeteri kadar hızlı ve yeteri kadar sönümlü olması gerekir. Buna göre ikinci dereceden bir sistemden arzu edilen bir geçici durum cevabı elde edilebilmesi için sönüm oranının 0,4 ile 0,8 arasında olması gerekir. 0,4 den küçük sönüm oranı değerlerinde geçici durum cevabında aşma değeri büyük olup ve buna karşılık sönüm oranının değerinin 0,8'den büyük olduğu durumlarda ise sistem cevabı çok yavaştır. Gerçekte ise maksimum aşma değeri ile yerleşme zamanı değeri birbirine göre zıtlık gösterir.

Diğer bir deyişle sistemin aynı anda hem maksimum aşma ve hem de yerleşme zamanı değerleri küçük tutulamaz. Eğer bunlardan birisi küçük tutulacak olursa diğerinin büyük tutulması gerekir. Bir kontrol sisteminde zaman alanında, $c(t)$ çıkışının; yükselme süresinin, gecikme zamanının, oturma zamanının ve maksimum aşım değerinin küçük olması istenir.

Kesin bir çalışma kriteri olmamakla birlikte, hata fonksiyonu $e(t)$ ' nin minimum yapılmasının, sürekli hal hatasını ve oturma zamanını da küçülebileceği ya da minimum yapacağı söylenebilir. Ancak hata fonksiyonunu minimum yapmak için literatürde birçok önerilerde bulunulmuştur. Bunlardan ilk akla gelen hatanın integralinin minimum yapılmasıdır. Ancak hata fonksiyonu sadece pozitif değil negatif değerler de alabileceği için hatanın mutlak değerinin integralinin minimum yapılması gerekir. Burada minimumlaştırma sistem parametrelerine göre yapılır.

Parametrelere göre integral etkinin minimum yapılmasına parametre optimizasyonu denir [6].

3.5. Sistemlerin Kararlılığı ve Analizi

Kurulan modellere göre transfer fonksiyonu elde edilen bir sistemin dinamik davranışı geçici-durum cevabından saptanır. Bir denetim sisteminin dinamik davranışının en önemli özelliği kararlılığıdır. Kararlı sistem, sınırlı bir cevaba sahip sistem olarak tanımlanır. Diğer bir deyişle, eğer sistem sınırlı bir referans girişi ve bozucu giriş karşısında sınırlı bir cevap veriyorsa kararlıdır denir. Kararlı bir sistem bir bozucu giriş karşısında geçici-durum davranışını gösterdikten sonra tekrar denge konumuna dönen sistemdir [2].

Routh-Hurwitz ölçütü, sistemin mutlak kararlılığı hakkında bilgi verir. Kararlı bir sistemin mutlak kararsızlık durumuna ne oranda yakın olduğunu ve köklerin sanal eksene yakınlığının ölçütüne *bağıl kararlılık* denir[3].

3.5.1. Sürekli zaman sistemlerinin analizi

Kullanılan modelin türüne bağlı olarak modelde yer alan veriler SISO (tek giriş-tek çıkışlı sistemler) transfer fonksiyonları için basit bir pay/payda çifti, durum uzayı modelleri için 4 adet matris ve MIMO (çok giriş-çok çıkışlı sistemler) için çoklu sıfır ve kutup akımları veya frekans alanı modelleri için frekans ve cevap vektörleridir.

Kontrol sistemleri araç kutusu kullanım kolaylığı açısından, her tür model için LTI (Doğrusal Zaman Sabiti) nesneleri olarak isimlendirilen hazır veri yapıları sağlamaktadır. Bu nesneler *tf* (transfer fonksiyonu), *zpk* (sıfır-kutup-kazanç), *ss*(durum uzay), *frd* (frekans alanı) nesneleri adını alır. Bu 4 adet LTI nesnesi model verilerini bir kapsül içine alır ve LTI sistemleri üzerinde veri vektörü ve matrislerinin bir toplamı yerine tek bir bütünlük gibi işlem yapma imkanı sağlar [4].

Zaman alanı analizi

Zaman alanı analizi; bir sistemin bir giriş uyarısı karşısında gösterdiği zamana bağlı dinamik davranışının incelenmesini ve değişiminin çözümünü sağlar. Bir sistemin zaman alanı cevabı, o sistemi tanımlayan diferensiyel denklemin çözümünden elde edilebilir ve bu bir benzetim işlemidir.

Basamak cevabı

Kontrol sistemi araç kutusunda, bir sistemin basamak, anidarbe ve herhangi bir giriş karşısında zaman alanı cevabının incelenmesini sağlayan fonksiyonlar mevcut olup bu fonksiyonların en önemlisi ve kullanışlısı da “step” fonksiyonudur. Grafıksel bir yöntem olup özellikle kontrolör tasarımının ilk aşamasında oldukça kullanışlıdır. Bir sistemin dinamik davranış özellikleri (titreşimli veya aşırı sönümlü) ve kararlılık gibi durumları basamak cevabı yolu ile incelenebilir.

Step fonksiyonu bir LTI modelinin basamak cevabını bulur. Bu fonksiyonun kullandığı algoritma sayısal hesaplama tekniği çerçevesi içerisinde sürekli zaman sistemini, kendisine denk bir kesikli zaman sistemine dönüştürür. Bundan elde edilen sonuçlar bir çıkış matrisi olarak saklanır ve daha sonra gerekli değişkenler matris içinden çağırılarak değerlendirilir.

Aslında step fonksiyonu sıfır başlangıç koşullarından birim giriş ayarlı, doğrusal özel bir benzetim fonksiyonudur. Ayrıca step fonksiyonunun önüne bir çarpım katsayısı koyarak birim şiddeti dışında uyarıların (girişlerin) da basamak cevabını elde etmek mümkündür [3].

Anidarbe cevabı

Anidarbe cevabı fonksiyonu “impulse” dir. Impulse fonksiyonunun komut söz dizimi tamamen yukarıda açıklanan step fonksiyonu komut söz dizimi ile benzerdir. Burada step yerine impulse kelimesini değiştirmek yeterlidir [3].

Frekans alanı analizi

Bir sistemin frekans cevabı, sistemin sinusoideal giriş sinyaline gösterdiği kalıcı durum cevabı olarak tanımlanır. Sistemin sinusoideal giriş sinyaline karşı gösterdiği çıkış cevabı, geçici-durum hali ortadan kalktıktan sonra yine bir sinusoideal sinyal şeklinde olup yalnızca genlik ve faz açısı bakımından girişten farklıdır.

Sistemlerin frekans alanı analizinde, zaman değişimi yerine frekans değişimine karşılık gelen modül ve faz açısı değişimleri incelenir. Frekans alanı cevabı eğrilerinden sistemlerin çalışma frekansı aralığı yanında mutlak ve bağıl kararlılık durumları da çözümlenir. Frekans alanı cevabında;

- Bode eğrileri
- Nichols eğrileri
- Nyquist eğriler yöntemleri kullanılır.

Sistem parametre değerlerinin değişim etkilerini belirlemek, zaman alanında çok zor iken frekans alanında kolay olması, Nyquist kararlılık yoluyla bağıl kararlılığında incelenebilmesi frekans alanı analizinin üstünlüklerinden birkaçıdır. Geçici durum cevabı ile frekans cevabının bazı parametreleri arasındaki dolaylı ilişki biliniyorsa frekans cevabı tercih edilebilir [3].

Frekans alanı çözümleme işlemi; giriş sinusoideal frekansına karşılık bir transfer fonksiyonunun genlik oranı ve faz açısı değerlerinin hesaplanmasından ibarettir. Bu hesaplanan değerlerin çiziminde aşağıdaki eğrilerden yararlanılır.

Bode eğrileri

Bode eğrileri, frekans değişimine karşılık çizilen genlik oranı ve faz açısı eğrilerinden oluşur. Burada, genellikle yatay eksen de logaritmik ölçekte genlik oranının 10 tabanına göre logaritma değeri ve faz açısı değerleri yer alır. 10 tabanına

göre genlik oranı logaritması çok küçük olduğundan, genellikle bunun 20 katı olan desibel (dB) cinsinden değerler yer alır.

Kesikli zaman modelleri için ayrıca başka bir bode çizim fonksiyonu mevcut değildir. Yalnız bu durumda, bode fonksiyonu “ T_s ” örnekleme zamanı ile birlikte birim çemberi gerçek frekans eksenine haritalamak için $z = \exp(j * \omega * T_s)$ dönüşümü kullanılır. Bu durumda frekans cevabı eğrisi π/T_s Nyquist frekansından daha küçük frekanslar için çizilir ve T_s belirlenmediği zaman var sayılan değer 1 saniye kabul edilir.

Nyquist eğrileri

Nyquist eğriler frekansı, ω değişimlerine karşılık gelen modül ve faz açısı değişimlerinin eğrisini verir. Kontrol sistemleri araç kutusunda yer alan nyquist fonksiyonu bir frekans cevabı fonksiyonu olup, bode fonksiyonunda yer alan argümanları kullanır. İki fonksiyon arasındaki fark çıkış argümanlarıdır. Nyquist fonksiyonu farklı frekans değerleri için açık-döngü transfer fonksiyonunun sanal bileşenine karşılık gelen gerçek bileşenin eğrisini çizer. Nyquist eğrisi genellikle kararlılık çözümlemesi için kullanılır.

Kök-yer eğrileri

Kök-yer eğrisi tek giriş, tek çıkışlı sistemler için kullanılan bir kararlılık çözümleme aracıdır. Kök-yer eğrisi W.R.Evans tarafından geliştirilen bir grafiksel yöntem olup bir sistemin kararlılığı ve geçici cevabını tayin etmek için kullanılır. Kök-yer eğrisi bir sistemin özyapısal kökleri denkleminin karmaşık sayı düzlemindeki yerinin eğrisidir. Özyapısal denklemin kökleri sistemin kararlılığını ve genel olarak sistemin bir girişe nasıl cevap vereceğini belirler. Kök-yer eğrisinin çözülmesi ile sistem tasarımcısı köklerin nerede yer aldığını ve arzu edilen kararlılık ve cevap için transfer fonksiyonunda ne tür değişiklikler yapılması gerektiğini belirler [3].

3.5.2. Ayırık zaman sistemlerinin analizi

Günümüzde kullanılan kontrol sistemlerinin önemli bir kısmı sayısal (digital) denetim sistemleridir. Sayısal denetim sistemlerinde, benzeşik sistemlerin aksine ayırık zaman sinyali kullanılır. Sayısal denetim sistemlerinin tümü bilgisayarlı denetim sistemleri olmamakla beraber, tüm bilgisayar denetimli sistemlerde ayırık zaman sinyali kullanılır.

Ayrık zaman sistemlerinde periyodik ve periyodik olmayan örnekleme kullanılmakla beraber daha çok örneklerin düzgün biçimde dağıldığı periyodik örnekleme kullanılır. Periyodik örnekleme sürekli zaman sistemleri ile benzerlik gösterir. Diğer taraftan sürekli zaman sistemlerinin sayısal çözümlerinde de bir tür periyodik örnekleme yöntemi kullanılır [3] .

3.6. Denetleyiciler

Denetleme organları P, PI, PID denetleyici olmak üzere üçe ayrılır.

3.6.1. P- Kontrol (Orantı kontrol)

P kontrolde, kontrol organı çıkışı bir oransal sabit yoluyla kontrol organı girişine oranlanır. Kontrol organı çıkışı $u(t)$ ile giriş hata işareti $e(t)$ arasındaki bağıntı;

$$u(t) = K_p e(t) \quad (3.1)$$

şeklinde verilir. Burada K_p orantı kazancı olup bu etkinin transfer fonksiyonu;

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_p \quad (3.2)$$

şeklinde orantı kazancı olan bir sabite eşittir.

Orantı etkide, herhangi bir anda kontrol organı çıkışı $u(t)$ hatanın büyüklüğüne bağlıdır ve o anda hata ne kadar büyük olursa düzeltici kontrol işareti $u(t)$ o oranda büyük olur. Hata çok küçük olduğunda ise kontrol organı yeteri kadar etkili düzeltici işaret üretemez. Bu nedenle P kontrol ile çalışan sistemler kalıcı-durum hatası verirler. Kazanç katsayısı K_p 'nin artırılması suretiyle kalıcı-durum hatasını azaltmak mümkündür. P kontrolün en önemli üstünlüğü, yapısının basitliğidir. Basit bir kuvvetlendirici yardımıyla dahi P kontrode çalışan kontrol organı gerçekleştirmek mümkündür [1].

3.6.2. PI- Kontrol (Orantı ve Integral kontrol)

Orantı kontrolde ortaya çıkan kalıcı-durum hatasını gidermenin yolu, kontrol organına hatanın integrali ile orantılı bir kontrol ilave etmektir. I kontrolün transfer fonksiyonu;

$$\frac{U(s)}{E(s)} = \frac{K_i}{s} \quad \text{veya} \quad \frac{U(s)}{E(s)} = \frac{1}{T_i s} \quad (3.3)$$

olarak ifade edilebilir.

Burada K_i integral kazancı, T_i integral zaman sabiti adını alır. $K_i = 1/T_i$ olarak bilinir. Teorik olarak integral tipi bir kontrolün tek başına kullanılması mümkün ise de uygulamalarda integral daha çok P ile birlikte kullanılır. PI tipi kontrol, orantı ve integral kontrolün birleştirilmesinden meydana gelir [6].

PI kontrolörün transfer fonksiyonu;

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_P \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (3.4)$$

şeklinde de ifade edilir. T_i integral zaman sabitidir. Kontrolör çıkışı ise;

$$U(t) = K_P \left\{ e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \right\} \quad (3.5)$$

şeklinde yazılabilir.

3.6.3. PID- Kontrol (Orantı , Integral ve Türev kontrol)

PID Kontrol, üç temel kontrol etkisinin (P,I,D) birleşiminden meydana gelmiştir.

PID kontrol transfer fonksiyonu;

$$\frac{U(s)}{E(s)} = K_P \left(1 + \frac{I}{T_i s} + T_d s \right) \quad (3.6)$$

olarak yazılır.

PID kontrol işaretinin çıkış işareti ise;

$$U(t) = K_P \left\{ e(t) + \frac{I}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{d}{dt} e(t) \right\} \quad (3.7)$$

olarak yazılabilir.

PID kontrol; üç temel kontrolün üstünlüklerini tek bir birim içinde birleştiren bir kontrolördür. İntegral kontrol, sistemde ortaya çıkabilecek kalıcı-durum hatasını sıfırlarken türev kontrol, yalnızca PI kontrol etkisi kullanılması haline göre sistemin aynı bağıl kararlılığı için cevap hızını artırır. Buna göre PID kontrol organı sistemde sıfır kalıcı-durum hatası olan hızlı bir cevap sağlar. PID kontrolör diğerlerine göre daha karmaşık yapıda olup o oranda pahalıdır. Burada K_P , T_i ve T_d parametrelerinin uygun bir ayarı ile uygun bir kontrol sağlanabilir. Eğer bu katsayılar

uygun bir şekilde ayarlanmayacak olursa, PID kontrolün sağlayacağı üstün özelliklerden yararlanılamaz.

Düşük şiddetli bozucu girişlere maruz bir sistemin PI etki ile denetlenmesi halinde PB orantı bandı ayarının geniş ve türev etki kazancı ($K_i = 1/T_i$) ayarının düşük tutulması tercih edilir. Bu ayarlar altında, sisteme geniş zaman aralıkları içerisinde büyük şiddetli bozucu girişler etki edecek olursa, PI etki tek başına hatada meydana gelen değişimleri izlemeye ve düzeltmeye yeterli olamaz. Bu durumda bir türev etki ilavesi orantı kazancı ayarının daha yüksek tutulmasına (orantı bandının daralması) olanak tanıyarak kontrol organı tepki süresini hızlandıracaktır [1].

4. KONTROL SİSTEMLERİ LABORATUVARI İÇİN HAZIRLANAN MATLAB TABANLI EĞİTİM SETİNİN TANITIMI

Aşağıda eğitim setinde yer alan konular genel başlıklar halinde sıralanmıştır;

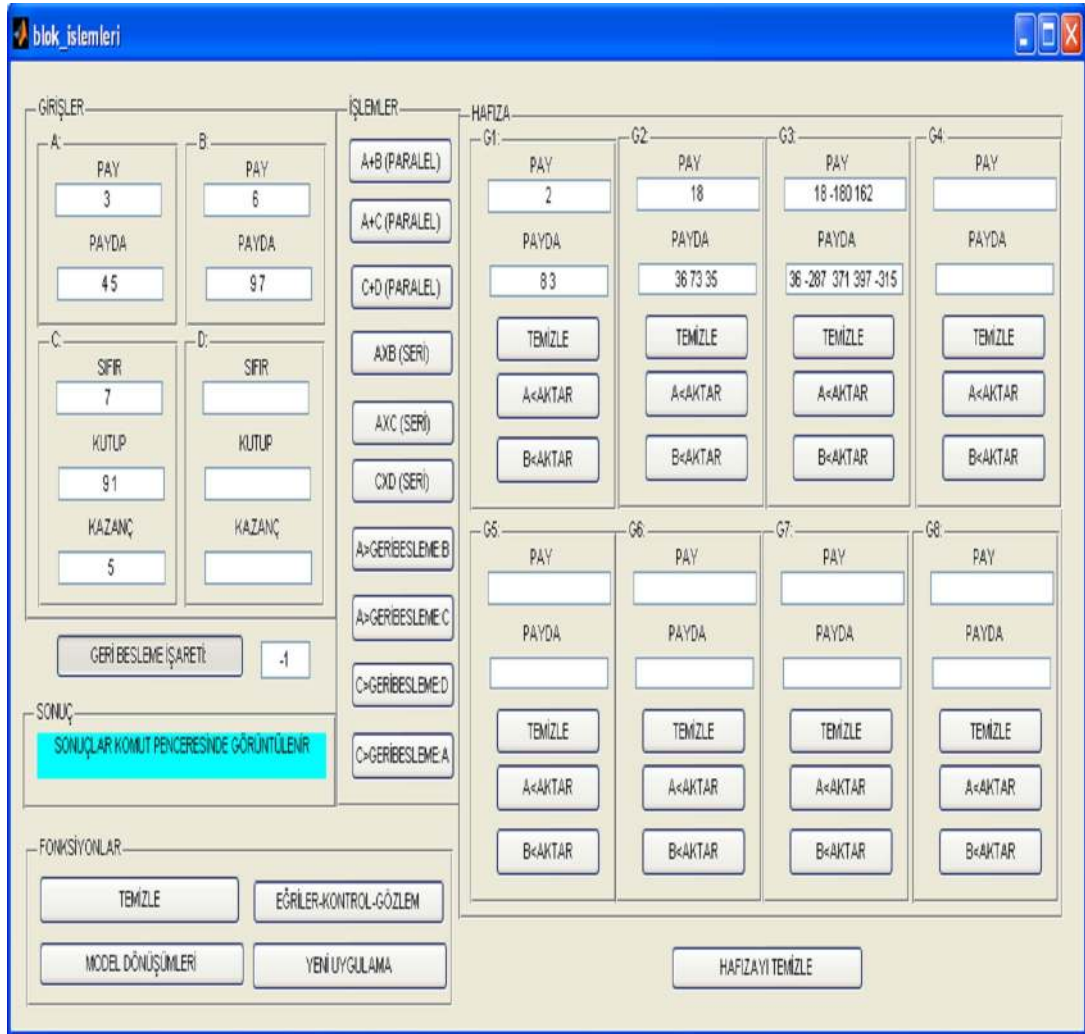
- Değişkenlerin Sistemlere Etkileri
- Sürekli Zaman Modeli Uygulamaları
- Kesikli(Ayrık) Zaman Modeli Uygulamaları
- SIMULINK Uygulamaları
- SISOTOOL Uygulamaları

4.1. Değişkenlerin Sistemlere Etkileri

- Blok Diyagramı İşlemleri
- RLC Devre Analizi
- Kazancın Sisteme Etkisi
- Sönüm Katsayısının ve Doğal Frekansın Sisteme Etkisi
- Kazanç Katsayısının Sistemlere Etkisi
- Kütle-Damper-Yay Sistemlerinin Analizi
- DA Motor Analizi
- Laplace Dönüşümü
- Denetleyicili Sistem(Açık/Kapalı Döngü) Uygulaması

4.1.1. Blok diyagramları işlemleri

Tasarlanan bu arayüz ile seri(çarpma), paralel(toplama) ve feedback(geri besleme) ifadelerini içeren, blok diyagramı verilen bir sistemin işlemleri yapılabilmektedir. Elde edilen sonuçların muhafaza edilebilmesi ve işlemlerin daha sade hale getirilebilmesi için sekiz adet hafıza oluşturulmuştur.



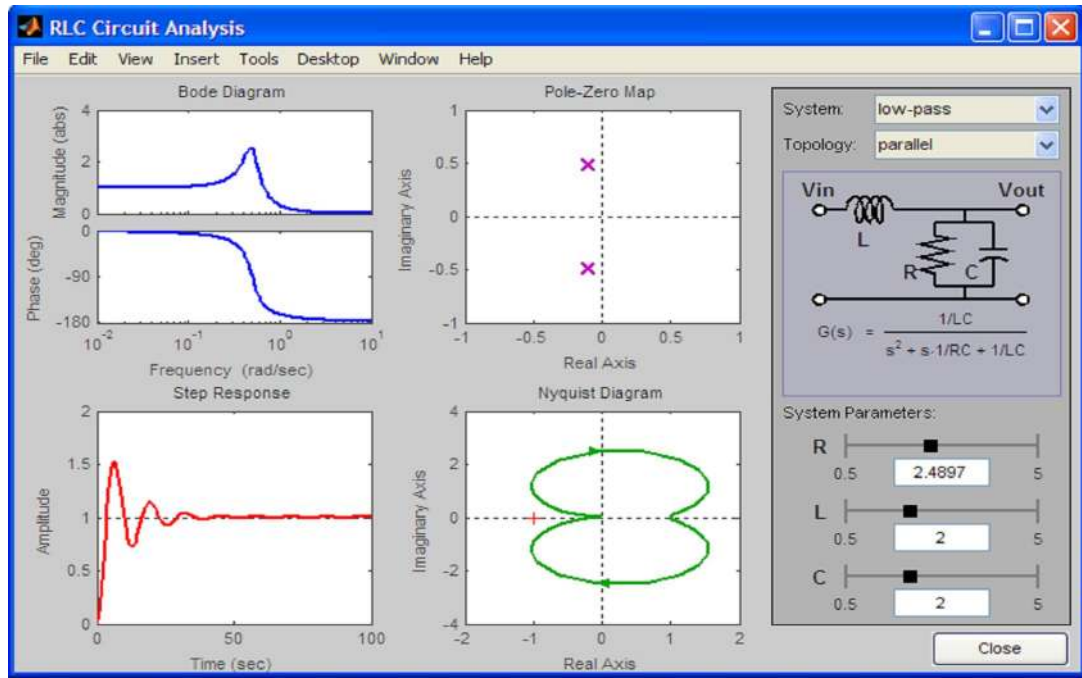
Şekil 4.1. Blok diyagramı işlemleri arayüzü

Blok şemasında sistem elemanlarının transfer fonksiyonunun veya sıfır-kutup-kazanç formunun verilmesi durumunda da işlemler aynı kolaylıkla yapılabilmektedir. Arayüzün sol alt köşesinde bulunan fonksiyon tuşları ile elde edilen transfer fonksiyonlarının sıfır-kutup-kazanç ve durum uzay formları elde edilebildiği gibi Bode, Nyquist, Köklerin-Yer Eğrileri çizdirilebilmekle birlikte kararlılık, kontroledilebilirlik ve gözlenebilirlik analizleri de yapılabilmektedir.

4.1.2. RLC devre analizi

Kontrol sistemlerinde RLC devrelerinin analizini yapabilmek için Mathworks firması tarafından hazırlanmış Matlab Programına ait bir ara yüz bulunmaktadır. Bu

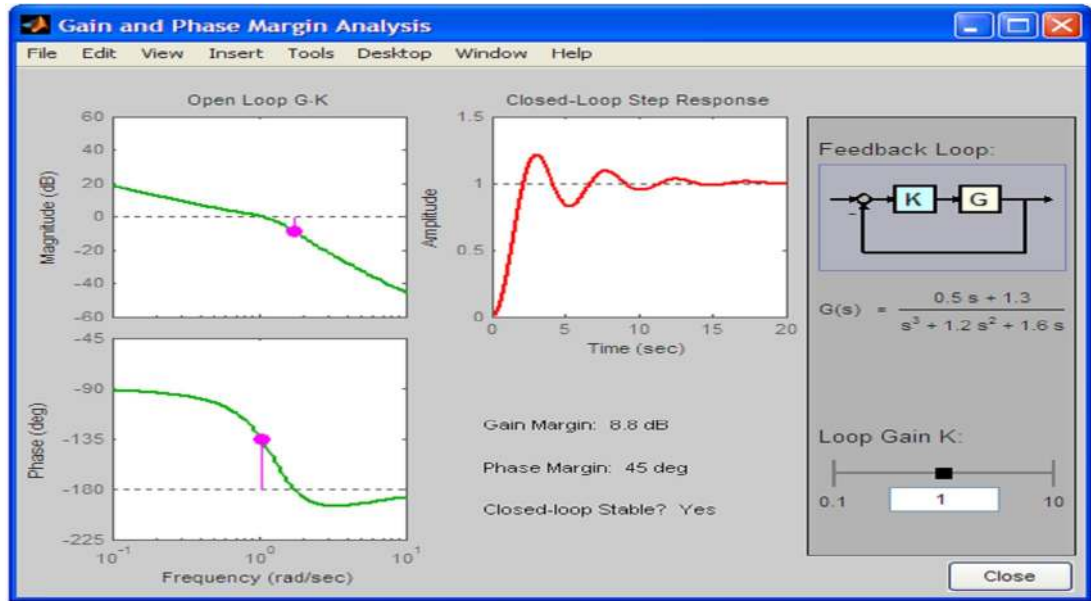
eğitim setinde bu arayüzün çalıştırılabilmesi için link oluşturulmuştur. Bu arayüz direnç-kondansatör-bobinden oluşan seri ve paralel devrelerdeki R-L-C değerlerinin değişimlerine bağlı olarak sistemlerin bode diyagramlarında, basmak tepkilerinde, nyquist diyagramlarında, kutup-sıfır değerleri konumlarında meydana gelen değişimlerin izlenebilmesine olanak sağlar.



Şekil 4.2. RLC devre analizi benzetimi

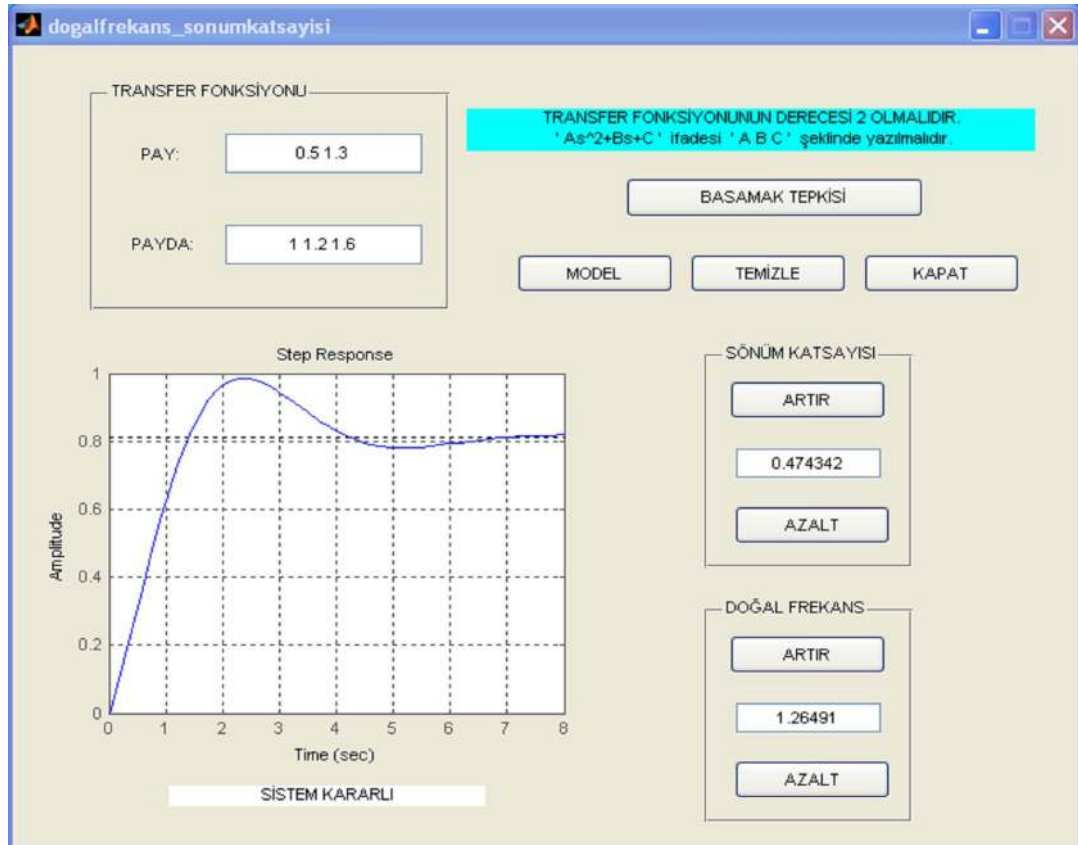
4.1.3. Kazancın sisteme etkisi

Kazanç ve faz marjın analizi arayüzü Mathworks firması tarafından hazırlanmış Matlab Programına ait bir arayüzdür. Eğitim setinde arayüzün çalıştırılabilmesi için link oluşturulmuştur. Transfer fonksiyonu verilen bir sistemin üzerinde kazanç değerinin değişimine bağlı olarak sistemin frekans tepkisinin, basamak tepkisinin ve kararlılık durumunun incelenebilmesine olanak sağlar.



Şekil 4.3. Kazanç ve faz marjın analizi arayüzü

4.1.4. Sönüm katsayısı ve Doğal frekansın sisteme etkisi



Şekil 4.4. Doğal frekans ve sönüm katsayısının sisteme etkisi arayüzü

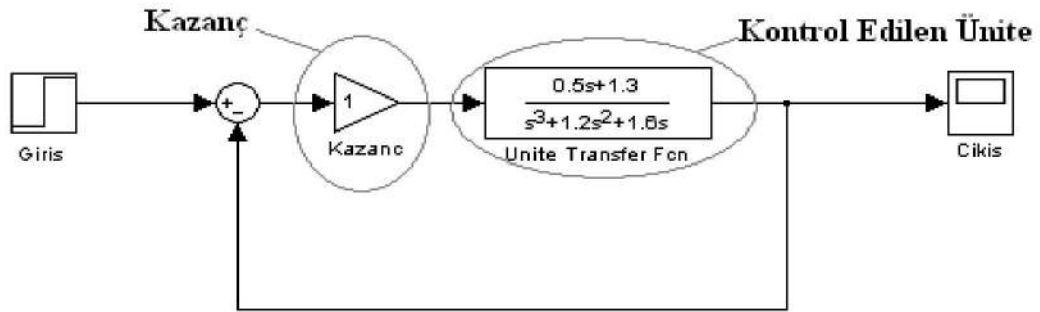
Oluşturulan bu arayüz vasıtası ile verilen bir transfer fonksiyonunun katsayı değerleri girilerek basamak tepkisi incelenebilmektedir. Sistem transfer fonksiyonunun “2.” dereceden olmasına dikkat edilmelidir. Bununla beraber transfer fonksiyonunun sönüm katsayısı ve doğal frekans değerlerinin değişimi durumunda basamak tepkisinde meydana gelen değişimler ve sistemin kararlılık durumu da incelenebilmektedir.

$$s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2$$

Doğal Frekans
↓
Sönüm Katsayısı

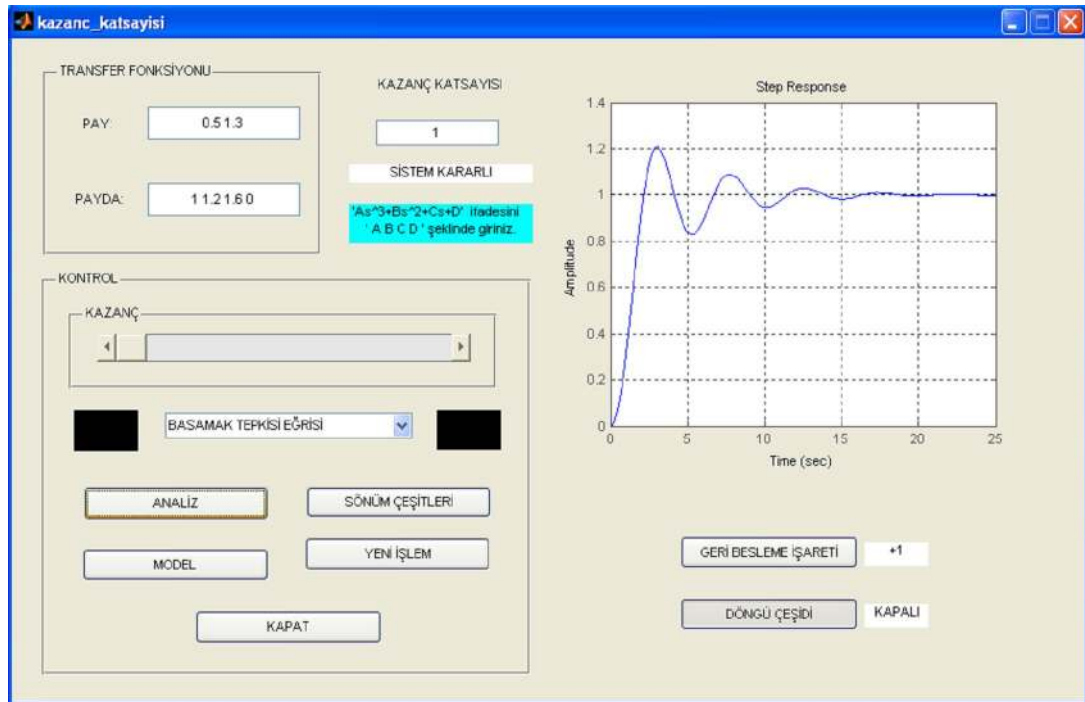
4.1.5. Kazanç katsayısının sistemlere etkisi

Kazanç katsayısı değişimi analizi arayüzü Şekil 4.5’ deki gibi bir sistemin frekans tepkisi eğrilerinin çizdirilmesine ve kararlılık analizinin yapılmasına olanak sağlar.



Şekil 4.5. Kapalı döngü bir kontrol sistemi blok diyagramı

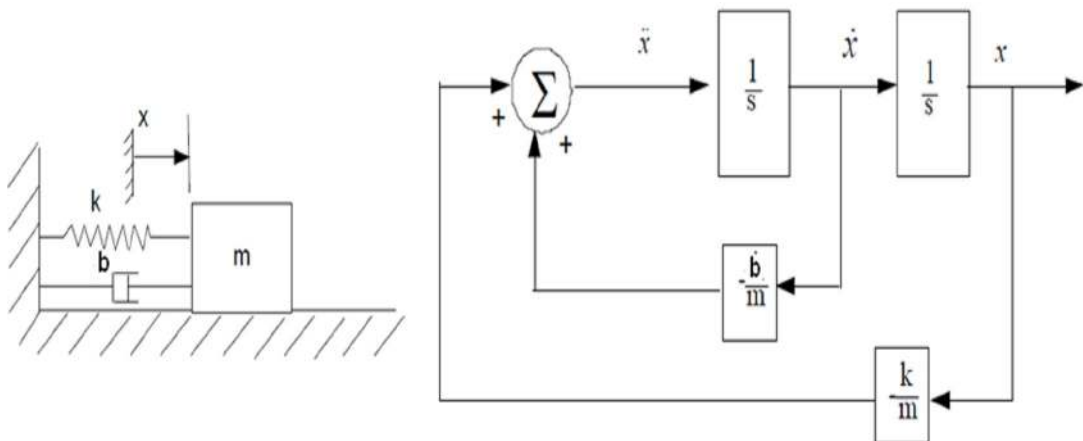
Kontrol edilen ünitenin transfer fonksiyonunun katsayı değerleri girildikten sonra, sistemin açık veya kapalı döngü olma durumu ve geri besleme işareti belirlendikten sonra analiz butonuna basılarak kazanç değerinin değişmesine bağlı olarak meydana gelen basamak tepkisi, bode eğrisi, nyquist eğrisi, kök-yer eğrisi çizdirilebilir.



Şekil 4.6. Kazanç katsayısı değişiminin sisteme etkisi analizi arayüzü

4.1.6. Kütle-Damper-Yay sistemlerinin analizi

Tasarımlanan Şekil 4.8' deki arayüz ile Şekil 4.7' deki gibi bir mekanik sistemin analizi gerçekleştirilmektedir.



Şekil 4.7. Mekanik sistem

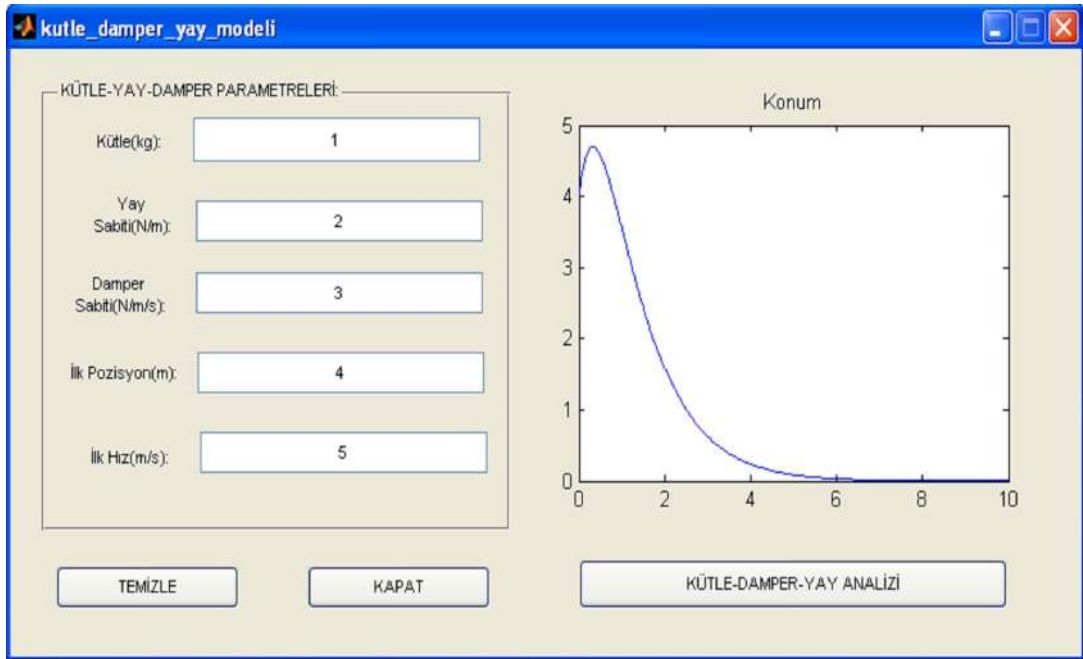
$$m\ddot{x} + b\dot{x} + kx = 0 \quad (4.1)$$

x : Konum

$\dot{x}$: İlk Konum

$\ddot{x}$: İlk Hız

Kütle-Damper-Yay elemanlarının değerleri girilip, ilk konumları ve ilk hızları belirlenir ise sistemin sönüm grafiği çizdirilebilir. Burada kütle-damper-yay elemanlarının değerleri, ilk pozisyon, ilk hız değerleri değiştirilerek grafik üzerinde meydana gelen değişimler incelenebilir.



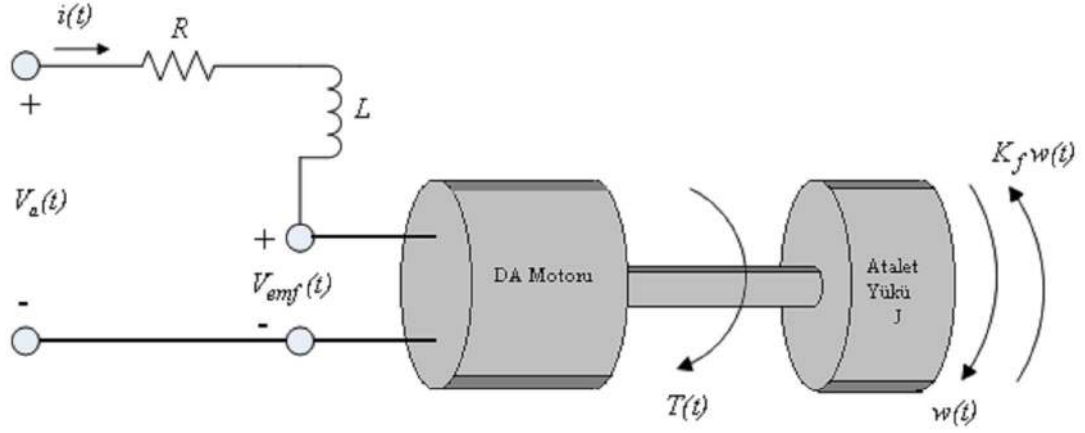
Şekil 4.8. Mekanik sistem analizi arayüzü

4.1.7. DA motor analizi

DA motor analizlerinin yapılabilmesi için oluşturulan bu arayüzler vasıtasıyla; DA motorun açısal hız kontrolü, konum kontrolü yapılabilmektedir. P, PI, veya PID ile konum kontrolü yapıldığında ne gibi farklılıklar olabildiği incelenebilmektedir.

Matematiksel modelin çıkartılmasında kullanılan DA motor modeli Şekil 4.9’da verilmiştir. Bu modelde, motorun dinamik davranışları ideal şartlar olarak alınmıştır. Yani; mantetik alanın, R-motor omik direncinin-, L-motor endüktansının- sabit

olduğu kabul edilmiştir. Böylelikle motorun elektromekanik davranışı için gerekli olan eşitlikler Faraday ve Ampere kanunlarını kullanarak çıkartılmıştır.



Şekil 4.9. DA motor eşdeğer devre

Uygulama hazırlanırken kullanılan DA motorun parametreleri ve matematiksel modeli;

- T : Üretilen Manyetik Moment (Nm)
- R : Endüvi Sargısı Omik Direnci(Ohm)
- L : Endüvi Sargısı Endüktansı(Henry)
- V_a : Terminal Gerilimi(Volt)
- i : Endüvi Akımı(Amper)
- J : Rotor Atalet Momenti(kgm²/s²)
- B : Mekanik Sürtünme(Nms)
- ω : Rotor Açısal Hızı(rad/s)
- K_b : Emk Sabiti(Volt/(rad/s))
- K_m : Endüvi Sabiti
- V_{emf} : Üretilen Endüvi Gerilimi(Volt)
- $K_f w$: Doğrusal Tahmini Sürtünme

şeklinde verilmiştir.

Moment akım ile orantılı,

$$T(t) = K_m i(t) \quad (4.1)$$

$$V_{emf}(t) = K_b w(t) \quad (4.2)$$

Motor milindeki toplam moment atalet yükünün zamana göre türevine eşittir.

$$J \frac{dw}{dt} = \sum T_i = -K_f w(t) + K_m i(t) \quad (4.3)$$

$$V_a(t) - V_{emf}(t) = L \frac{di}{dt} + R i(t) \quad (4.4)$$

Terminal gerilimi hesaplanır ise ;

$$V_a(t) = L \frac{di}{dt} + R i(t) + K_b w(t) \quad (4.5)$$

Buradaki iki denklemden birincisinde indüklenen akım;

$$\frac{di}{dt} = -\frac{R}{L} i(t) - \frac{K_b}{L} w(t) + \frac{1}{L} V_{app}(t) \quad (4.6)$$

İkinci denklem ise açısal hız;

$$\frac{dw}{dt} = -\frac{1}{J} K_f w(t) + \frac{1}{J} K_m i(t) \quad (4.7)$$

şeklindedir.

Durum-uzay modeli gösterimi:

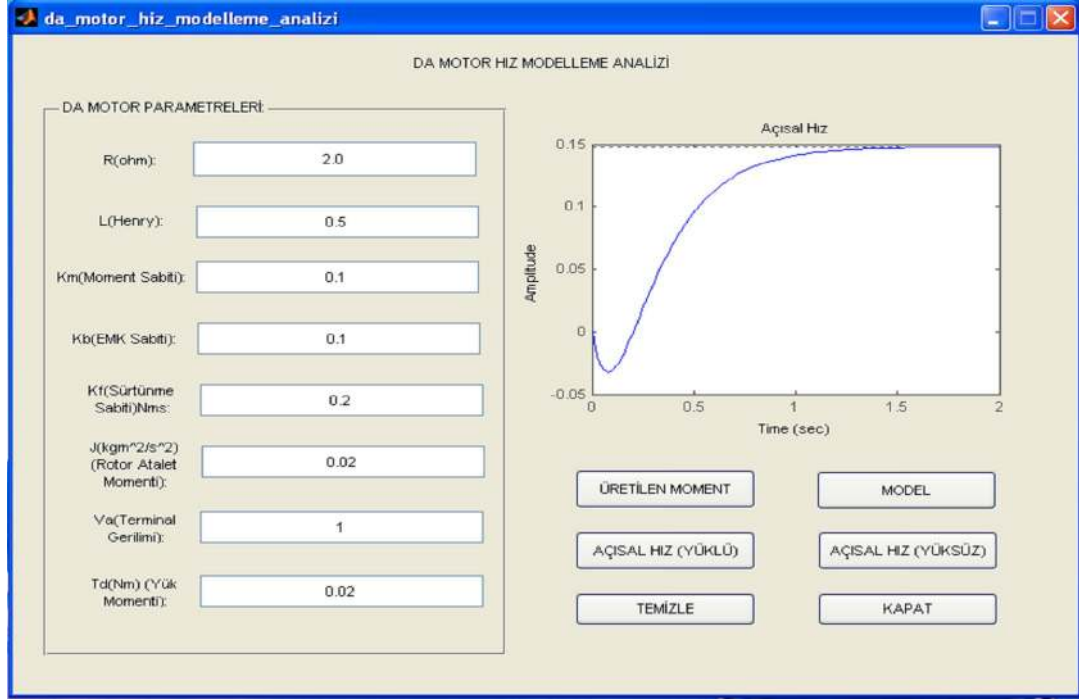
$$\frac{di}{dt} \begin{bmatrix} i \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{K_b}{L} \\ \frac{K_m}{J} & -\frac{K_f}{J} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i \\ w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot V_a(t) \quad (4.8)$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 0 & I \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i \\ w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} \cdot V_a(t) \quad (4.9)$$

DA Motor Hız Kontrol Analizi

Burada basit bir DA motorun açısal hızının uygulanan terminal gerilimi ile kontrolünün sağlanması amaçlanmaktadır. Endüvi-kontrollü DA motorların açısal hızı, uygulanan terminal gerilimi ile kontrol edilir. Bu uygulama, yük çeşitliliğine bağlı olarak açısal hızın hassasiyetinin incelenmesine olanak sağlamaktadır.(motor

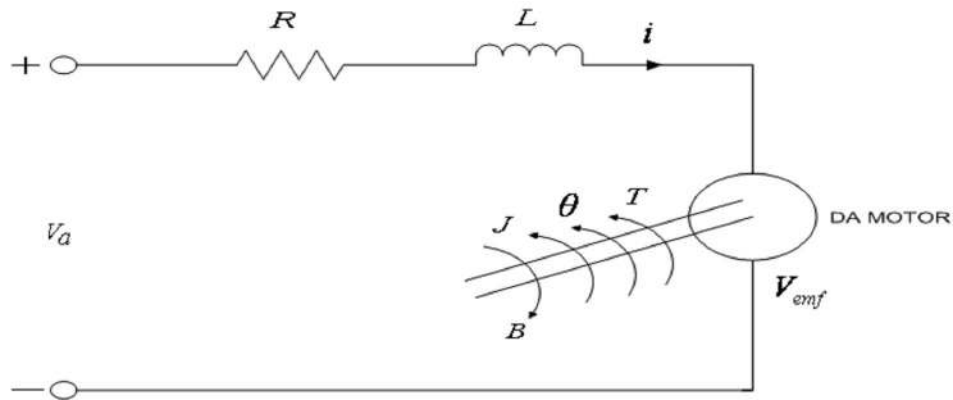
yüküne göre momentte meydana gelen değişim) Bu nedenle giriş gerilimi ve yük momentini olmak üzere iki ayrı giriş ve açısal hız olmak üzere bir adet çıkış mevcuttur.



Şekil 4.10. DA motor hız kontrol analizi arayüzü

DA Motor Açık Çevrim Konum Kontrol Analizi

Uygulama hazırlanırken kullanılan DA motorun parametreleri ve matematiksel modeli;



Şekil 4.11. DA motor pozisyon kontrolü eşdeğer devresi

- T : Üretilen Manyetik Moment (Nm)
 R : Endüvi Sargısı Omik Direnci(Ohm)
 L : Endüvi Sargısı Endüktansı(Henry) $V_a(t)$
 V_a : Terminal Gerilimi(Volt)
 i : Endüvi Akımı(Amper)
 J : Rotor Atalet Momenti(kgm²/s²)
 B : Mekanik Sürtünme(Nms)
 θ : Rotor Konumu(rad/s)
 K : Emk Sabiti(Volt/(rad/s))
 V_{emf} : Üretilen Endüvi Gerilimi(Volt)

şeklinde verilmiştir.

$$T = K * i \quad (4.10)$$

$$V_{emf} = K * \theta \quad (4.11)$$

$$J * \ddot{\theta} + B * \dot{\theta} = K * i \quad (4.12)$$

$$L \frac{di}{dt} + R * i = V_a - K * \dot{\theta} \quad (4.13)$$

$$\frac{di}{dt} \begin{bmatrix} i \\ \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{B}{J} & -\frac{K}{J} \\ \frac{K}{L} & -\frac{R}{L} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \theta \\ i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{1}{L} \end{bmatrix} \cdot V_a(t) \quad (4.14)$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \theta \\ i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} \cdot V_a(t) \quad (4.15)$$

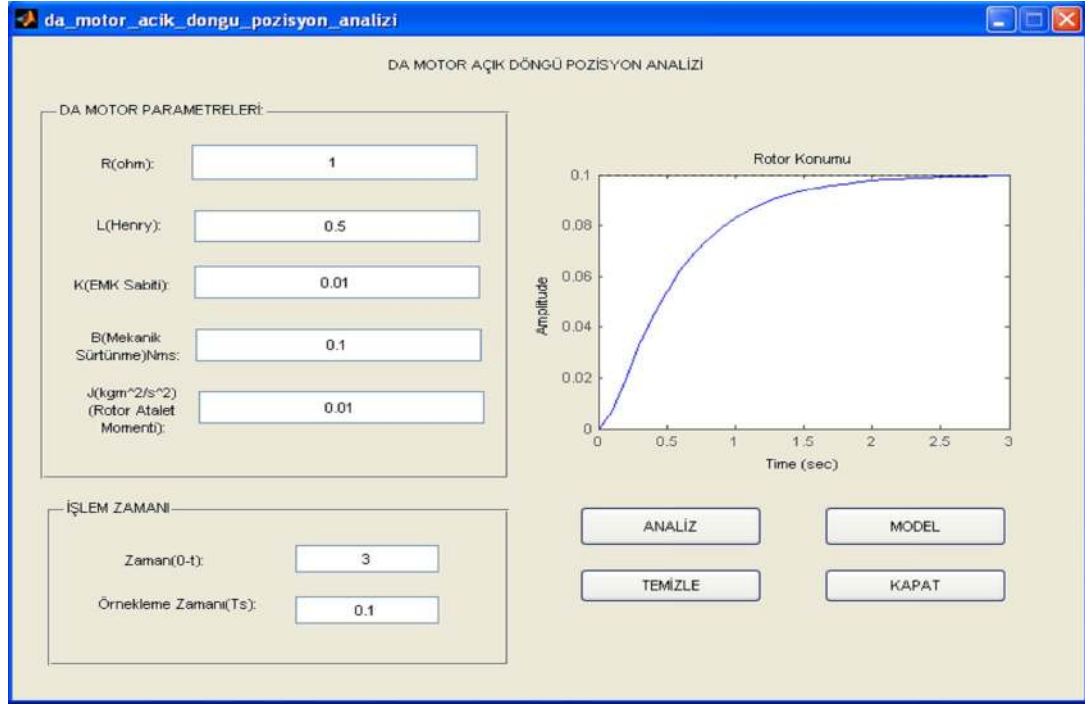
DA Motor Transfer Fonksiyonu;

$$\frac{Q}{V} = \frac{K}{(Js + B)(Ls + R) + K^2} \quad (4.16)$$

şeklindedir.

Benzetimde kullanılan DA motor 1 Volt uygulandığında 0.1 rad/sec dönebilen bir motordur. Kararlı-hal hatasının %1 den az, yerleşme zamanının 2 saniyeden az, aşmanın da %5'den az olması istendiğinden ve performans gereksinimlerinden dolayı bu şekilde bir motor kullanılmıştır. Bu motorun parametre değerleri, aslı

Carnegie Mellon's kontrol laboratuvarında bulunan bir motordan alınmıştır. Şekil 4.12' de açık-çevrim DA motorun pozisyon analizi arayüzü verilmiştir.



Şekil 4.12 DA motor açık çevrim pozisyon analizi arayüzü

P Denetleyici ile DA Motor Konum Kontrol Analizi

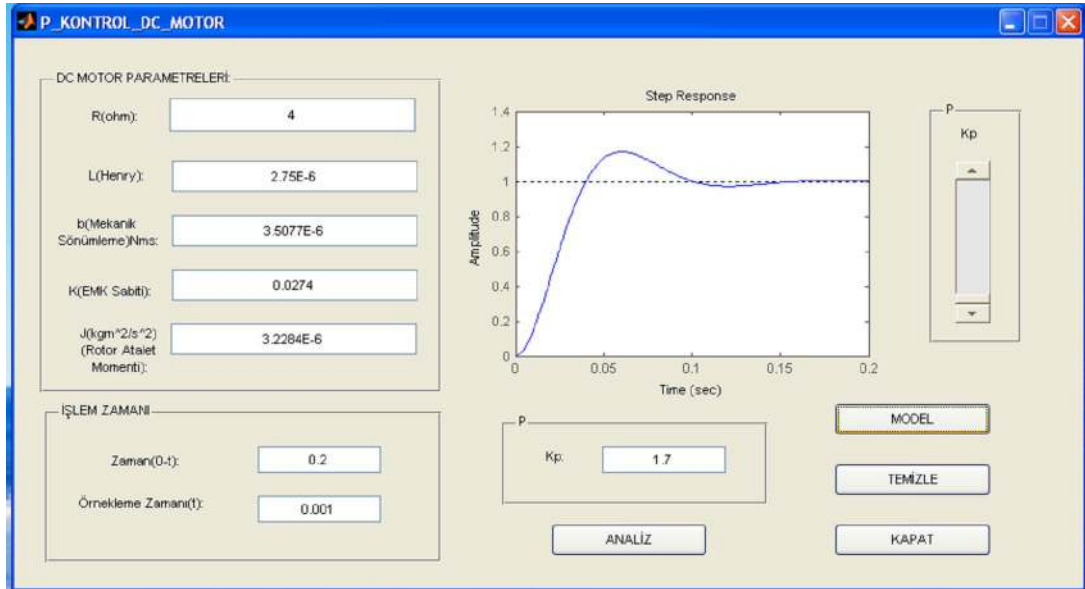
Kapalı-döngü denetimde kullanılacak olan DA motorun transfer fonksiyonu;

$$\frac{Q}{V} = \frac{K}{s((Js + B)(Ls + R) + K^2)} \quad (4.17)$$

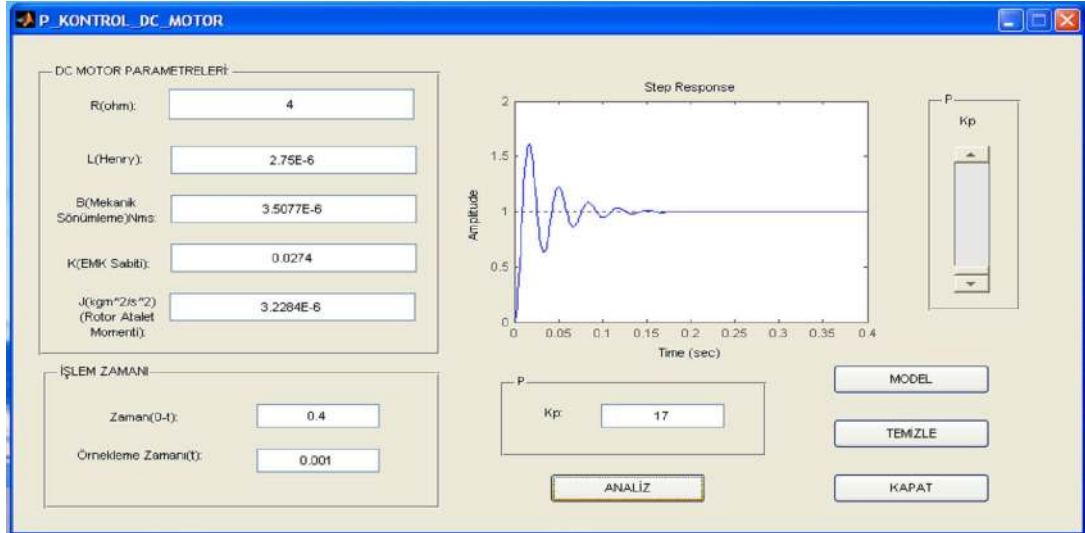
şeklindedir.

Şekil 4.13' deki arayüzde bir DA motorun P denetim elemanı ile kontrolü tasarlanmıştır. İstenildiği takdirde DA motorun parametreleri değiştirilebilmektedir. P denetim elemanının K_p değerinin değiştirilmesi ile DA motorun konum basamak cevabındaki değişimler incelenebilir.

P Denetim ile çalışan sistemler kalıcı-durum hatası verirler. Kazanç katsayısı K_p 'nin artırılması suretiyle kalıcı-durum hatasını azaltmak mümkündür. Kazancın değeri orantı kontrolde büyütülürse, kontrol sisteminin yükselme zamanı küçülür.



Şekil 4.13. DA motorun P denetleyici ile kontrolü arayüzü ($K_p = 1,7$)

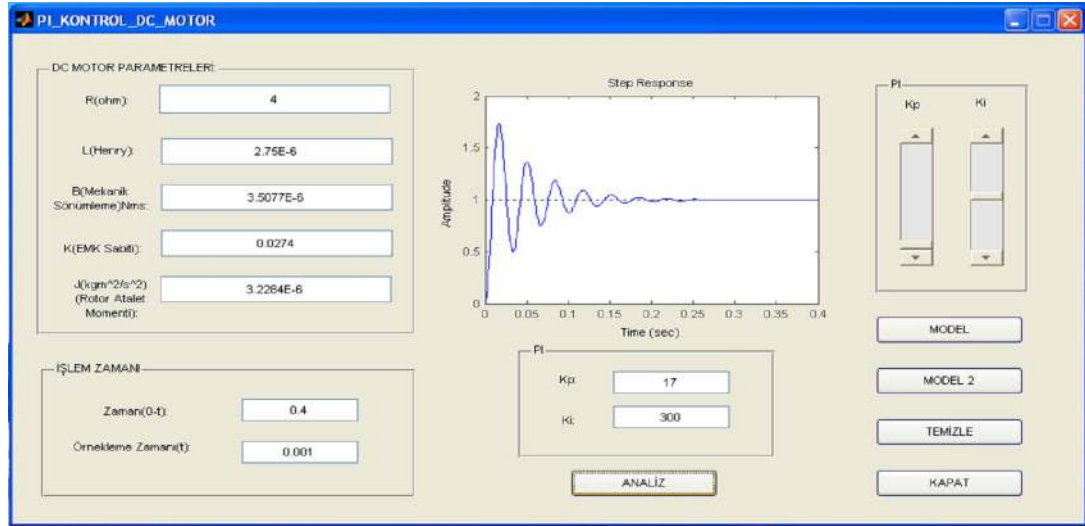


Şekil 4.14 DA motorun P denetleyici ile kontrolü arayüzü ($K_p = 17$)

DA motor parametreleri sabit kalmak şartıyla K_p değeri arttırıldığında salınım miktarı artmakla beraber kalıcı-durum hatasının azaldığı gözlenmektedir. P Denetleyicide; oransal kazanç değeri arttıkça yükselme zamanı azalır, sistem

kararlılığı azalırken aşma artar. P denetleyici sistemi gereksinimlerini karşılamakla birlikte sistemin geçici kararsızlığını arttırır.

PI Kontrol DA Motor Analizi

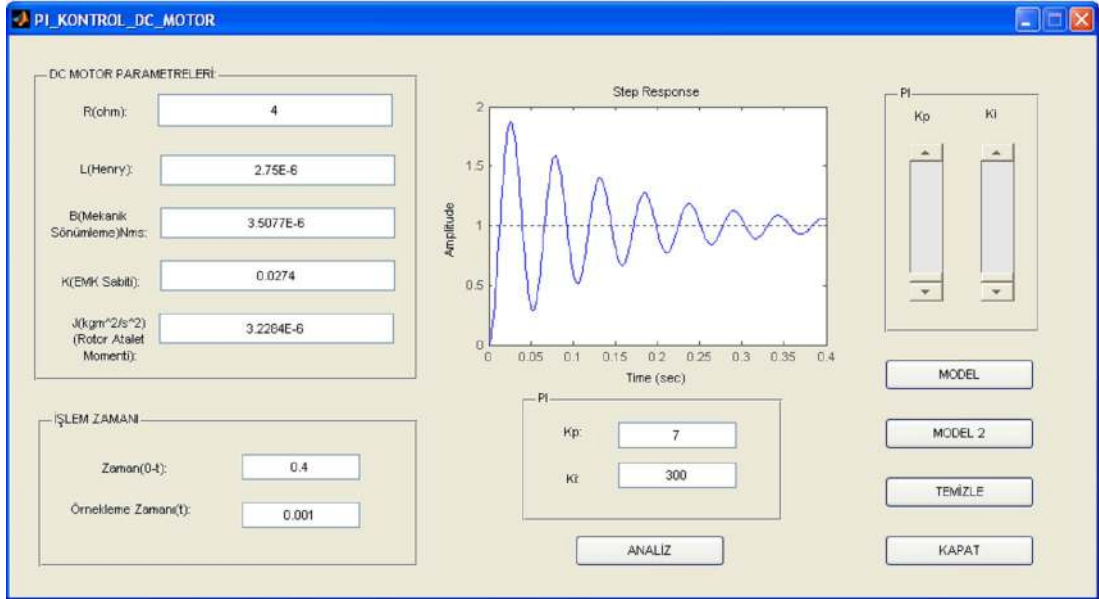


Şekil 4.15. DA motorun PI denetleyici ile kontrolü arayüzü ($K_p = 17, K_i = 300$)

Şekil 4.15’ deki arayüzde bir DA motorun PI denetim elemanı ile kontrolü tasarlanmıştır. İstenildiği takdirde DA motorun parametreleri değiştirilebilmektedir. PI denetim elemanının K_p ve K_i değerlerinin değiştirilmesi ile DA motorun basamak cevabındaki değişimler incelenebilir.

PI kontrol halinde, benzer biçimde bir cevap eğrisi elde edilmekle beraber kalıcı-durum halinde bir sapma meydana gelmez. Bununla beraber orantı etkiye türev etki ilavesi sistemin kararsızlığa yatkınlığını artırır. Bu durumu denkleştirmek için orantı kazancı, yalnızca orantı etki uygulamasına göre azaltılmalıdır. Bu durumda da hatadaki düzeltme işlemi, yalnız orantı etkide olduğu kadar hızlı olmaz ve başlangıç hatası da daha yüksek olarak ortaya çıkar [1].

İntegral etki denetlenen çıkış büyüklüğünde meydana gelebilecek kalıcı-durum hatalarını ortadan kaldırır [6]. Fakat K_i değeri sabit tutulup K_p değeri düşürülür ise sistemin kararsızlığa yatkınlığı artar.

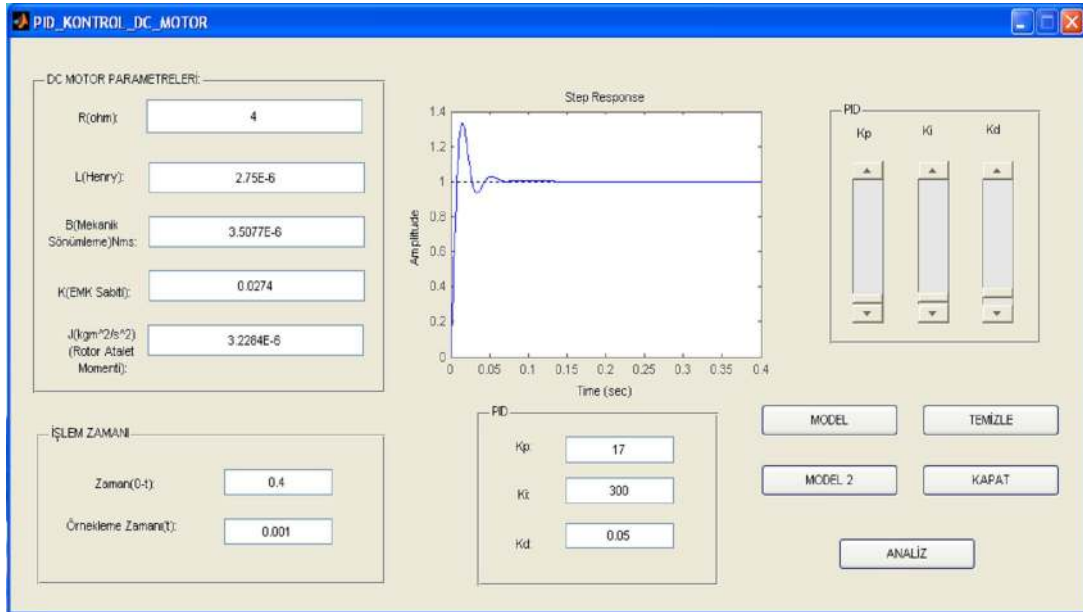


Şekil 4.16. DA motorun PI denetleyici ile kontrolü arayüzü ($K_p = 7, K_i = 300$)

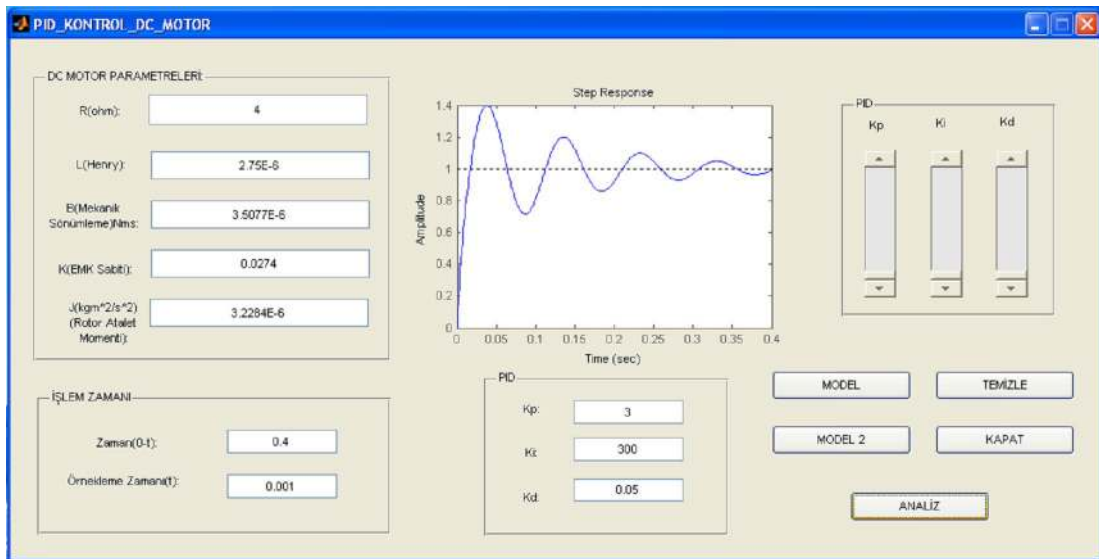
PID Kontrol DA Motor Analizi

Şekil 4.17'deki arayüzde bir DA motorun PID denetim elemanı ile kontrolü tasarlanmıştır. İstenildiği takdirde DA motorun parametreleri değiştirilebilmektedir. PID denetim elemanının K_p , K_i , ve K_d değerlerinin değiştirilmesi ile DA motorun konum basamak cevabındaki değişimler incelenebilir.

Çok küçük sönüm katsayısına sahip servo mekanizmalarda PI kontrol yeterli olmamaktadır. Bu durumda da türev etki ilavesi, sistemde fazla bir kararsızlık problemi oluşturmadan K_p orantı kazancının yüksek tutulmasını sağlayarak sistemin kararsızlığa yatkınlığı önlenmiş olur. Böylece PID kontrol etkisi ile bir taraftan kalıcı-durum hatası sıfırlanırken diğer taraftan da sistemin geçici-durum davranışı iyileştirilmiş olur [1].



Şekil 4.17. DA motorun PID denetleyici ile kontrolü arayüzü
 $(K_p = 17, K_i = 300, K_d = 0,05)$



Şekil 4.18. DA motorun PID denetleyici ile kontrolü arayüzü
 $(K_p = 3, K_i = 300, K_d = 0,05)$

K_i ve K_d değeri sabit tutularak K_p değeri küçültülür ise sistem kararsızlığa yakınlılaşır. En hızlı yerleşme zamanı K_p değeri K_d değerinden daha büyük olduğu durumdadır. K_i 'nin etkisi yerleşme zamanının üzerinde çok azdır.

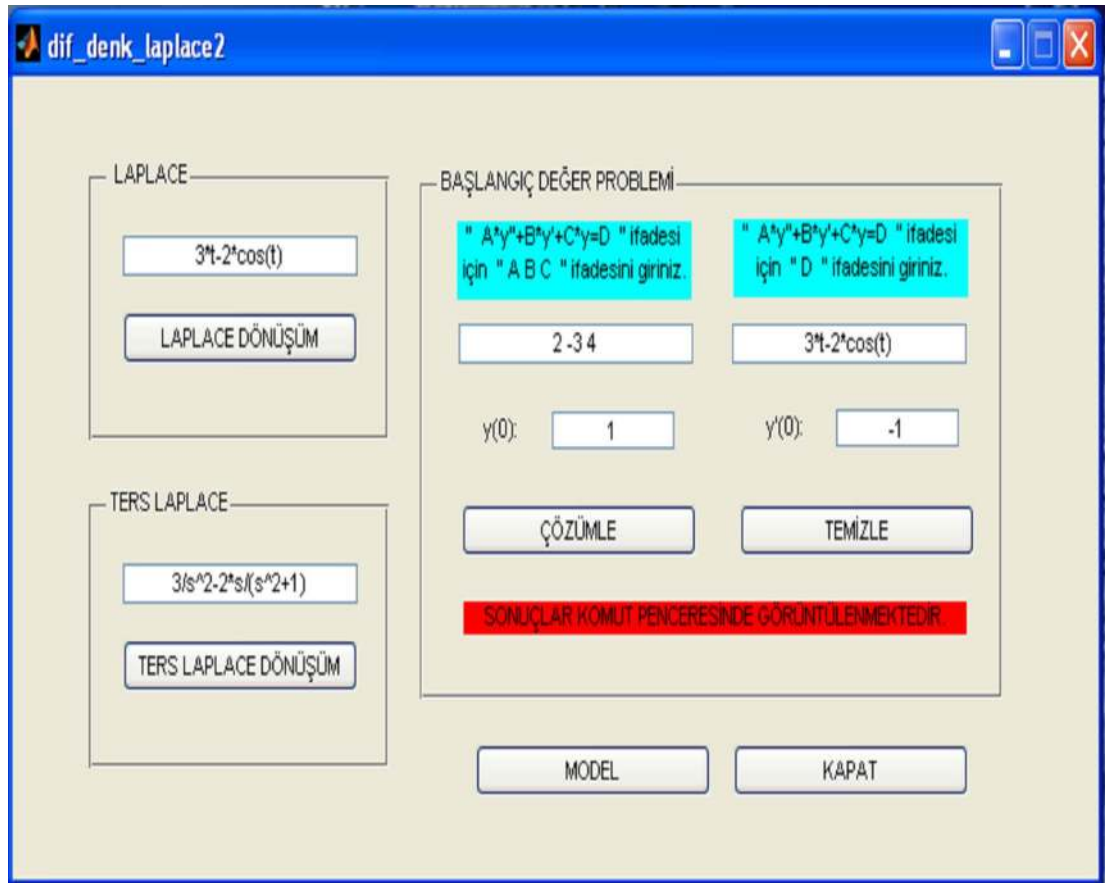
Kapalı-döngü sistemlerde kararlı hale ulaşma sürecinde; P denetleyici sistemin yükseliş zamanının azalmasını sağlar, I denetleyici sistemi aşmaya ve kararsızlığa yönlendirir, D denetleyici sistemin aşma ve kararsızlığını azaltır.

4.1.8. Laplace dönüşümü

Bu arayüz Laplace, Ters Laplace ve başlangıç değerleri verilen diferensiyel denklemlerin Laplace dönüşümlerini yapabilmektedir. 2., 3., 4. ve 5. dereceden diferensiyel denklemlerin laplace dönüşümleri yapılabilir.

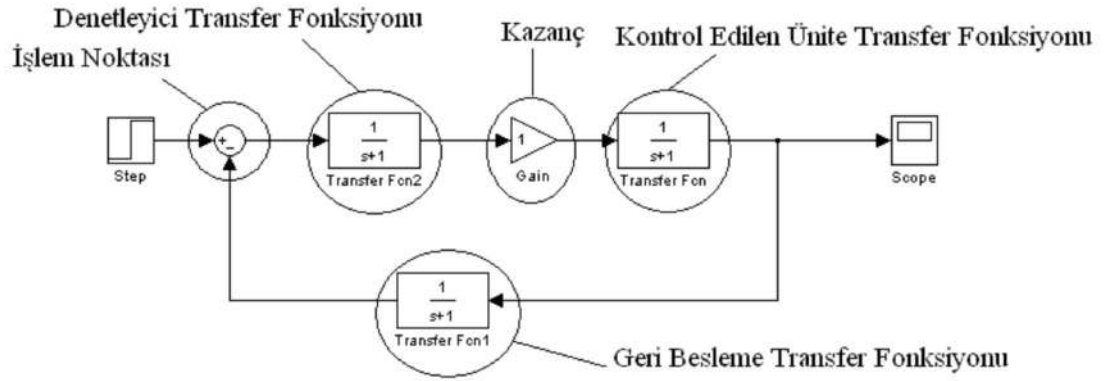


Şekil 4.19. Diferensiyel denklemin derecesini belirleyen arayüz

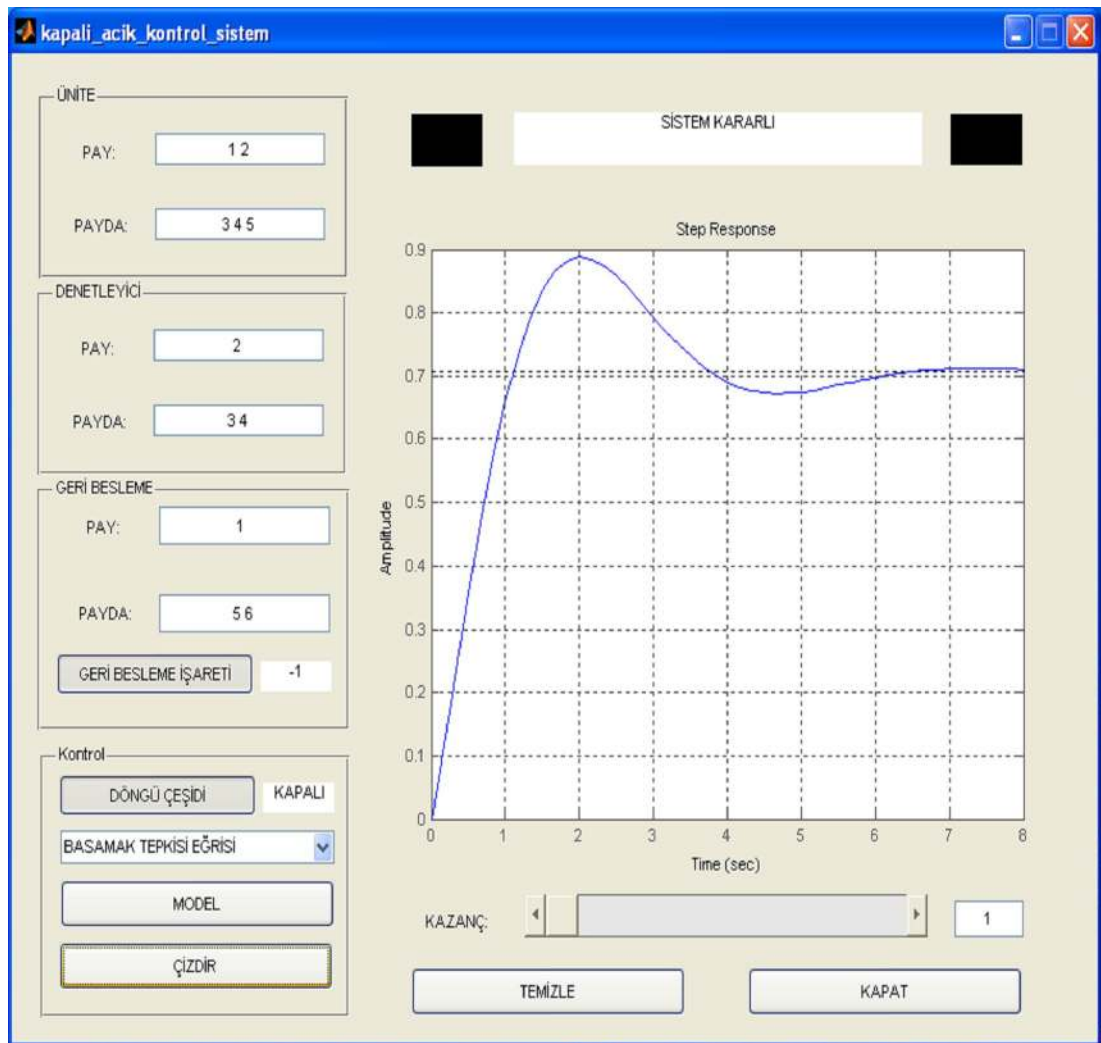


Şekil 4.20. 2.dereceden diferensiyel denklemlerin laplace dönüşümü arayüzü

4.1.9. Denetleyicili sistem(açık/kapalı döngü) uygulaması



Şekil 4.21. Kapalı döngü denetleyicili kontrol sistemi blok diyagramı



Şekil 4.22. Kapalı döngü denetleyicili kontrol sistemi analizi arayüzü

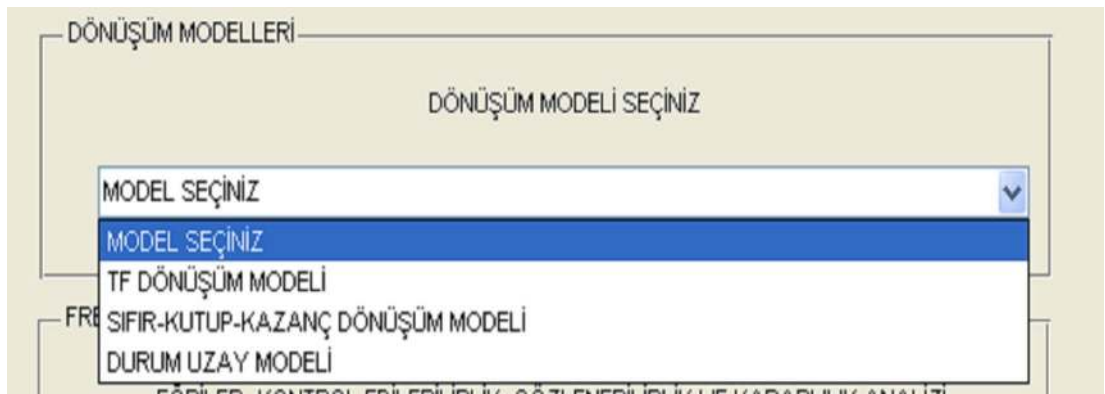
Tasarlanan şekil 4.22'deki arayüz ile şekil 4.21.'deki gibi bir sistemin açık veya kapalı döngü durumlarında frekans alanı eğrileri ve kök-yer eğrileri çizdirilebilmektedir. Bu arayüzde denetlenen sistemin, denetleyicinin ve geri besleme elemanlarının transfer fonksiyonları katsayıları, kazanç katsayısı ve geri besleme işareti değiştirilebilmektedir. Böylelikle Basamak Tepkisi, Bode, Nyquist, Kök-Yer Eğrileri çizdirilerek incelenebilmektedir.

4.2. Sürekli Zaman Modeli Uygulamaları

- Dönüşüm Modelleri
- Frekans Alanı, Kontrol edilebilirlik, Gözlenebilirlik ve Kararlılık Analizleri
- Zaman Alanı Analizi
- Sistem Sinyal Tepkisi

4.2.1. Dönüşüm modelleri

Şekil 4.24' deki arayüz tasarımı ile transfer fonksiyonu veya sıfır-kutup-kazanç formu veya durum uzay formu verilen bir sistemin diğer iki forma ve kısmi kesir formuna dönüşümü sağlanmaktadır.



Şekil 4.23. Dönüşüm modelleri seçimi arayüzü

tf_model

TRANSFER FONKSİYONU

PAY: 234

PAYDA: 5678

DURUM UZAY MODELİ

SIFIR-KUTUP-KAZANÇ MODELİ

KİSMİ KESİR MODELİ

YENİ UYGULAMA

TEMİZLE

DURUM UZAY MODELİ

SONUÇLAR

A MATRİSİ

-1.2	-1.4	-1.6
1	0	0
0	1	0

B MATRİSİ

1
0
0

C MATRİSİ

0.4	0.6	0.8
...	...	...
...	...	...

D MATRİSİ

0
...
...

Şekil 4.24. Transfer fonksiyonu formunun dönüşüm modeli arayüzü

4.2.2. Frekans Alanı, Kontrol edilebilirlik, Gözlenebilirlik ve Kararlılık Analizleri

FREKANS ALANI ANALİZİ

EĞRİLER- KONTROL EDİLEBİLİRLİK, GÖZLENEBİLİRLİK VE KARARLILIK ANALİZİ

MODEL SEÇİNİZ

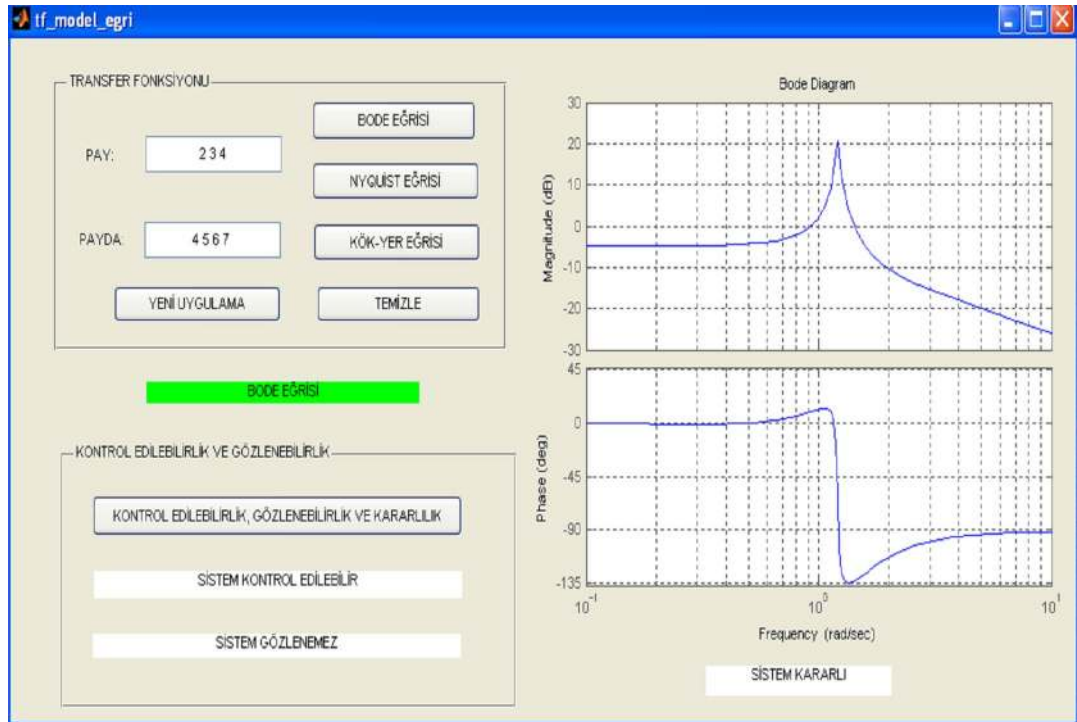
MODEL SEÇİNİZ

TF KONTROL-GÖZLEM ANALİZİ VE EĞRİLER

SIFIR-KUTUP-KAZANÇ KONTROL-GÖZLEM ANALİZİ VE EĞRİLERİ

DURUM UZAY KONTROL-GÖZLEM ANALİZİ VE EĞRİLERİ

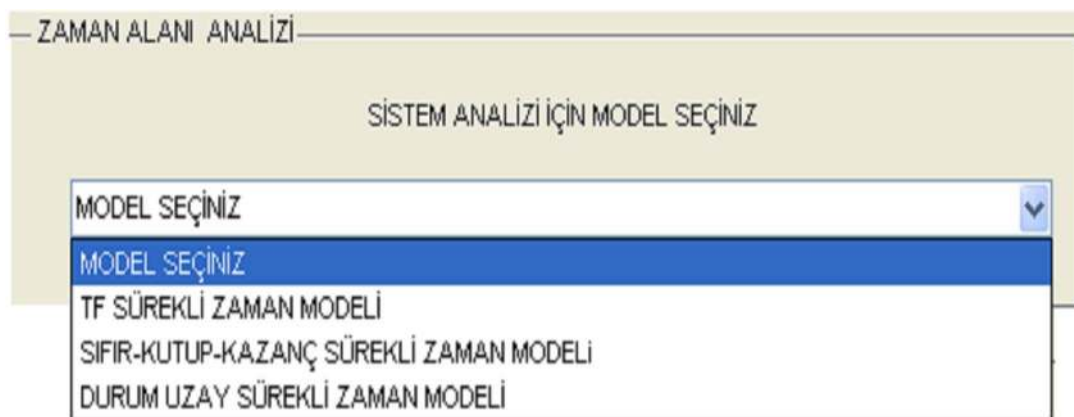
Şekil 4.25. Kontrol edilebilirlik, gözlenebilirlik ve kararlılık analizi ve eğri çizimleri için model seçim arayüzü



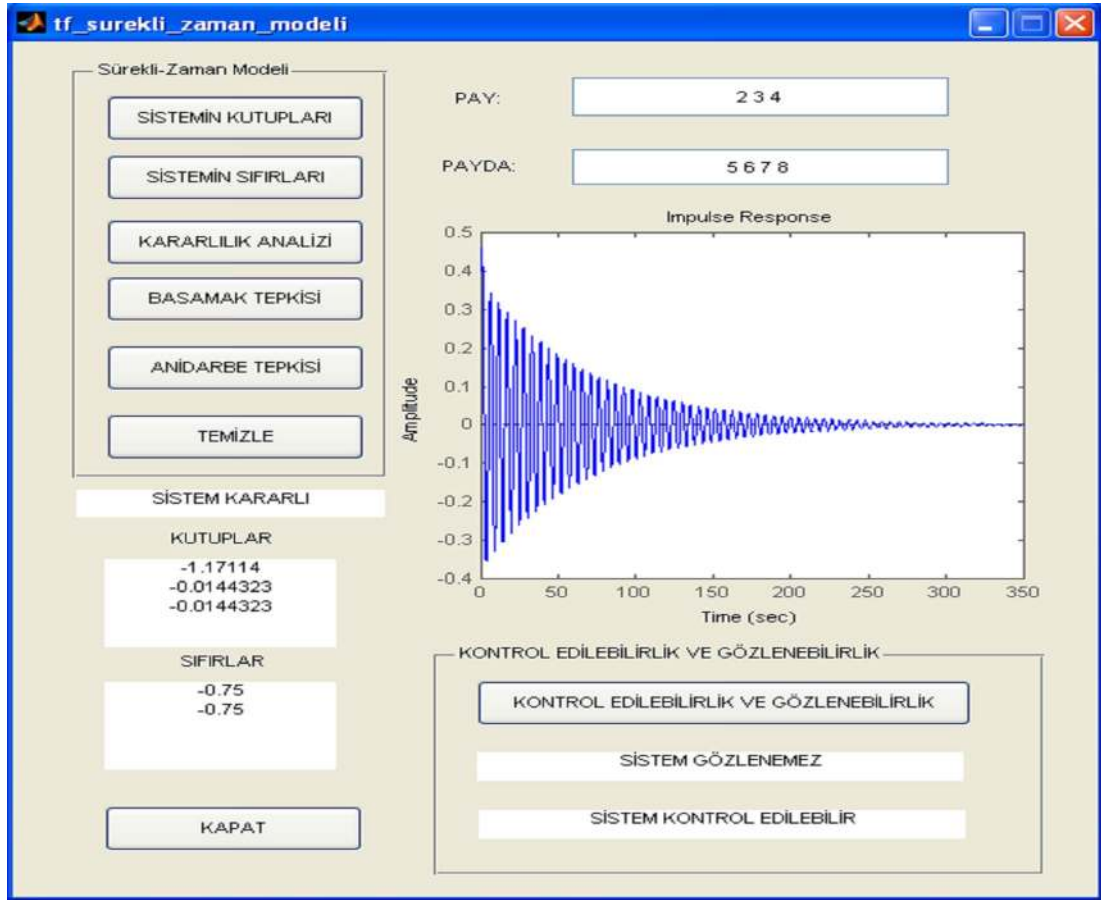
Şekil 4.26. Kontrol edilebilirlik, gözlenebilirlik, kararlılık analizi ve eğri çizimleri arayüzü

Şekil 4.26'deki arayüz tasarımında, transfer fonksiyonu veya sıfır-kutup-kazanç formu veya durum uzay formu verilen bir sistemin, bode, nyquist ve kök-yer eğrileri çizdirilebilmekte, sistemin kontrol edilebilirliği, gözlenebilirliği ve kararlılık durumu test edilebilmektedir.

4.2.3. Zaman alanı analizi



Şekil 4.27. Zaman alanı analizi model seçim arayüzü

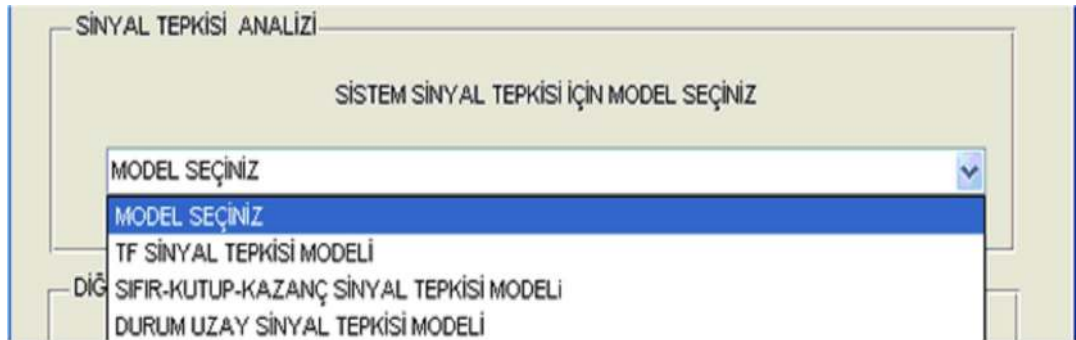


Şekil 4.28. Transfer fonksiyonu formunun zaman alanı analizi arayüzü

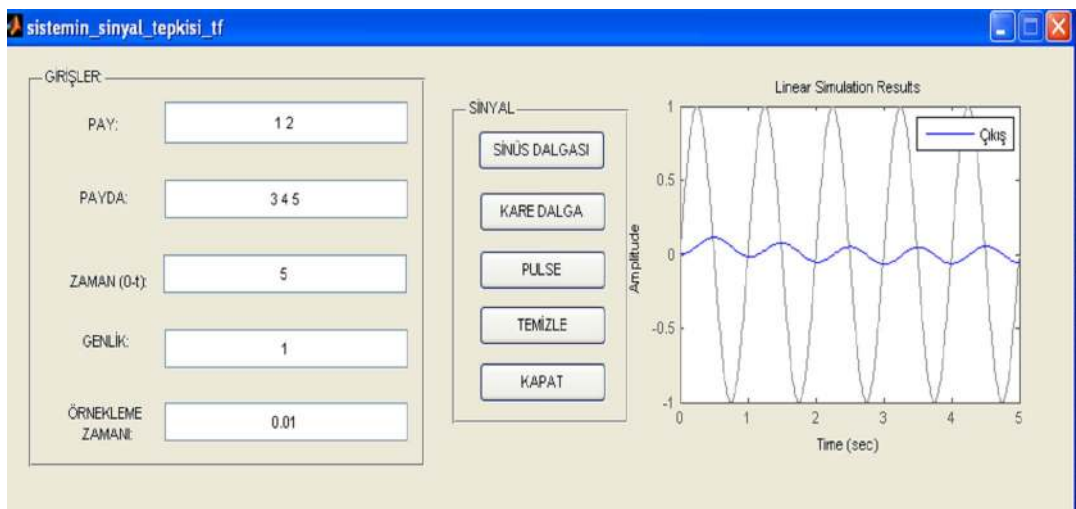
Şekil 4.28'deki arayüz tasarımında, transfer fonksiyonu veya sıfır-kutup-kazanç formu veya durum uzay formu verilen bir sistemin, kutup ve sıfırları bulunabilmekte, kontrol edilebilirliği, gözlenebilirliği ve kararlılığı test edilebilmekte ve basamak tepkisi, ani darbe (impulse) tepkisi incelenebilmektedir.

4.2.4. Sistem sinyal tepkisi

Bu arayüz tasarımında, transfer fonksiyonu veya sıfır-kutup-kazanç formu veya durum uzay formu verilen bir sisteme, uygulanacak genliği ve uygulama süresi belirlenmiş sinüs dalgası veya kare dalga veya da pulse sinyallerine karşı sistemin vereceği tepki gözlenmektedir.



Şekil 4.29. Sistem sinyal tepkisi model seçim arayüzü



Şekil 4.30. Transfer fonksiyonu modeli sistem sinyal tepkisi arayüzü

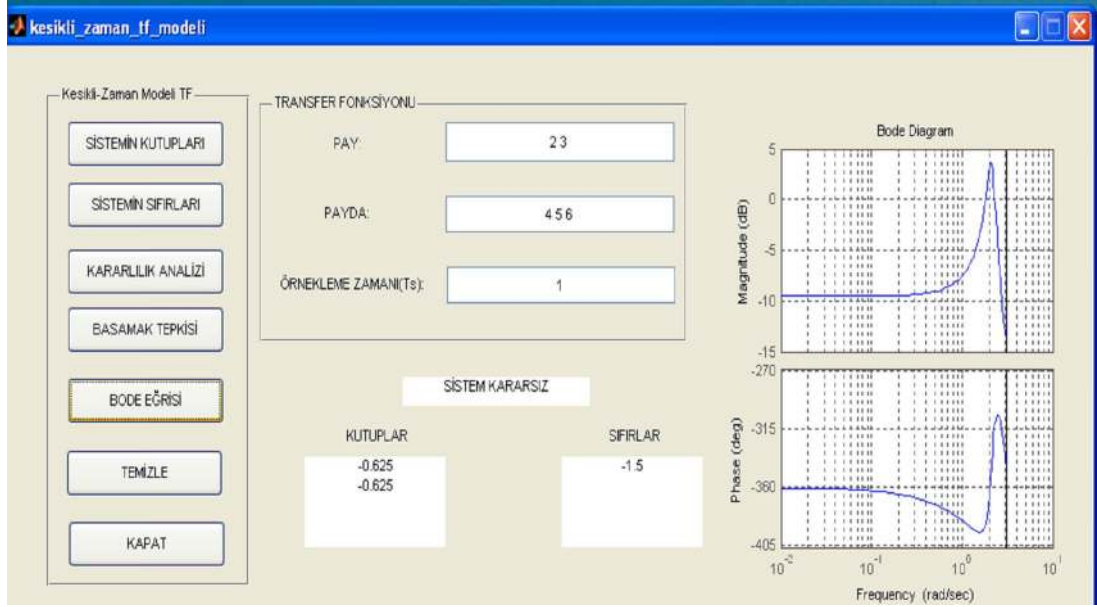
4.3. Kesikli(Ayrık) Zaman Modeli Uygulamaları

- Transfer Fonksiyonu Modeli
- Durum Uzay Modeli

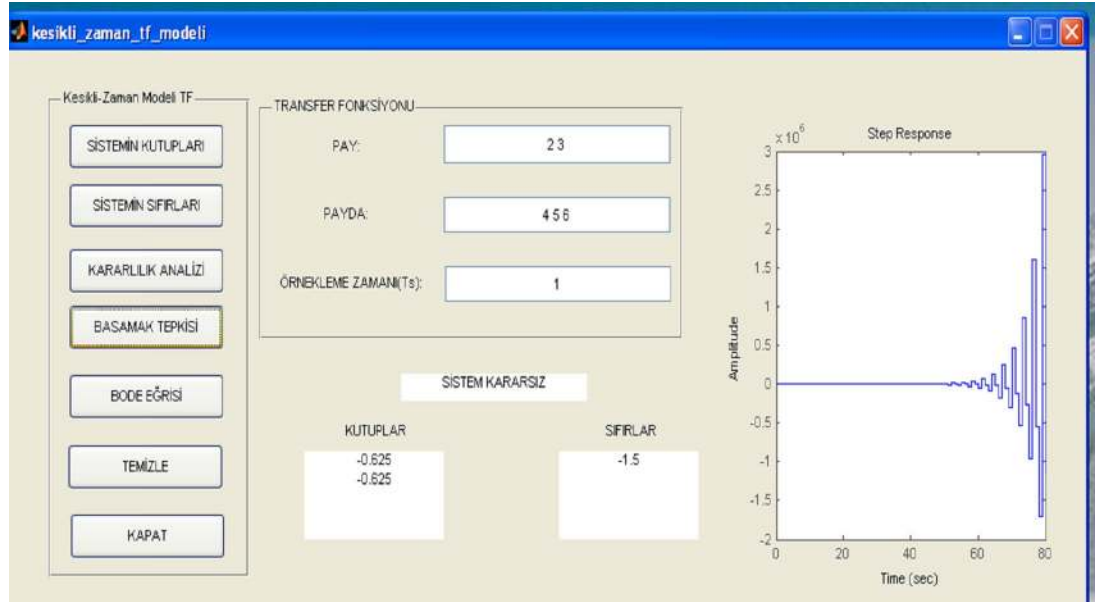
4.3.1. Transfer fonksiyonu modeli

Transfer fonksiyonu verilen bir sistemin kutupları ve sıfırları bulunabilmekte, kararlılık analizi yapılabilmekte, basamak tepkisi ve bode eğrileri çizdirilebilmektedir. Şekil 4.31’de görüldüğü gibi kesikli zaman modelinde, sürekli zaman modelinden farklı olarak bode eğrisi çiziminde çizimin en sağ tarafında bir çizgi belirmektedir. Basamak tepkisi eğrisinde ise, örnekleme zamanına bağlı olarak

alınan değerlere göre çizim yapıldığı için oluşan grafik sürekli sistemde oluşan grafikten farklı olarak parabolik değil düz çizgiler şeklindedir.



(a)

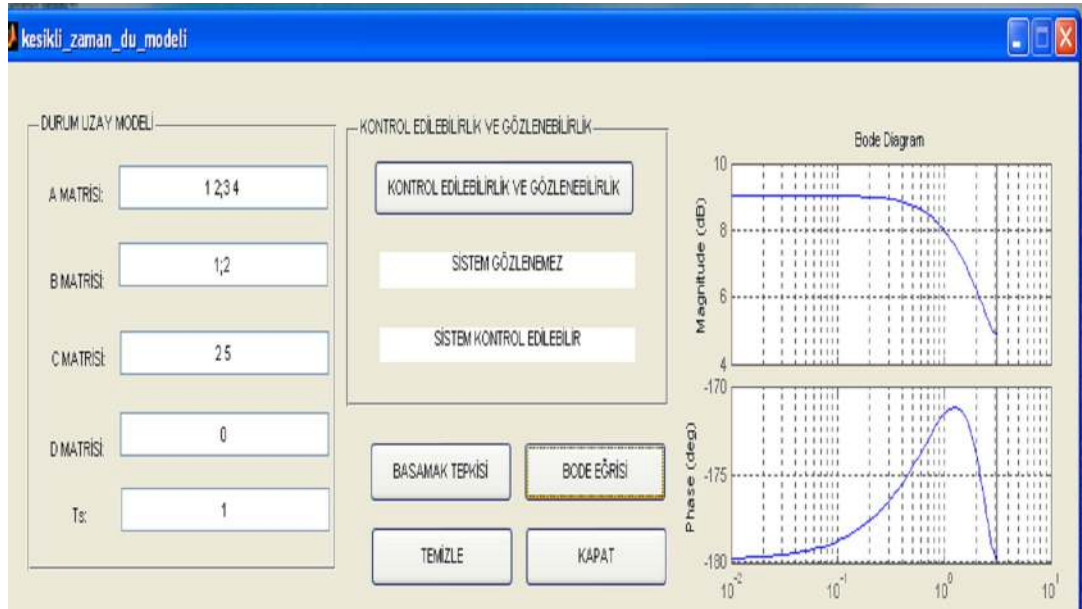


(b)

Şekil 4.31. a) Kesikli zaman transfer fonksiyonu modeli analizi arayüzü (bode eğrisi)
b) Kesikli zaman transfer fonksiyonu modeli analizi arayüzü (basamak tepkisi eğrisi)

4.3.2. Durum uzay modeli

Durum-Uzay formu verilen bir sistemin kontrol edilebilirlik ve gözlenebilirlik analizi, basamak tepkisi ve bode eğrisi çizimleri yapılabilmektedir. Kesikli sistemlerde, basamak tepkisi ve bode eğrilerinin çizimi için sistemin transfer fonksiyonuna veya durum-uzay formuna ihtiyaç duyulmakta iken kararlılık analizi için transfer fonksiyonuna, kontrol edilebilirlik ve gözlenebilirlik analizi için ise durum-uzay formuna ihtiyaç duyulmaktadır.



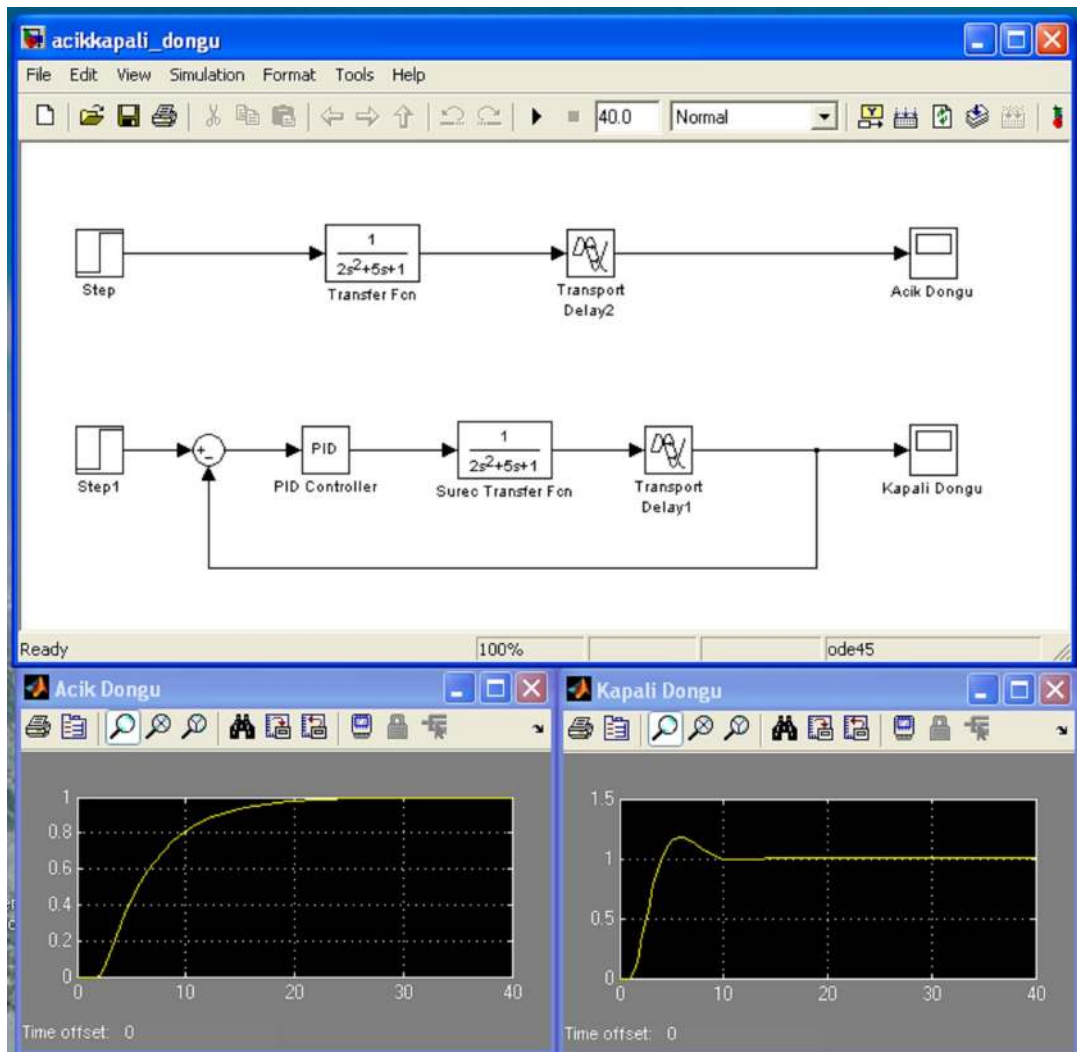
Şekil 4.32. Kesikli zaman durum uzay modeli analizi arayüzü

4.4. Simulink Uygulamaları

- Sistemin Açık ve Kapalı Döngü Durumu
- Açık Döngü Sisteme Yükün Etkisi
- Kapalı Döngü Sisteme Yükün Etkisi
- Kütle-Damper-Yay Sistemleri
- Kütle-Damper-Yay Sistemleri (Sürtünmeli-S.siz)
- Sarkaç (Sürtünmeli-S.siz)

- Açık Döngü Sisteme Kazancın Etkisi
- DA Motor Benzetimi
- Sistemin P İle Kontrolü
- Sistemin PI İle Kontrolü
- Sistemin PD İle Kontrolü
- Sistemin PID İle Kontrolü
- PID Tasarımı
- DA Motorun PID İle Kontrolü

4.4.1. Sistemin açık ve kapalı döngü durumu

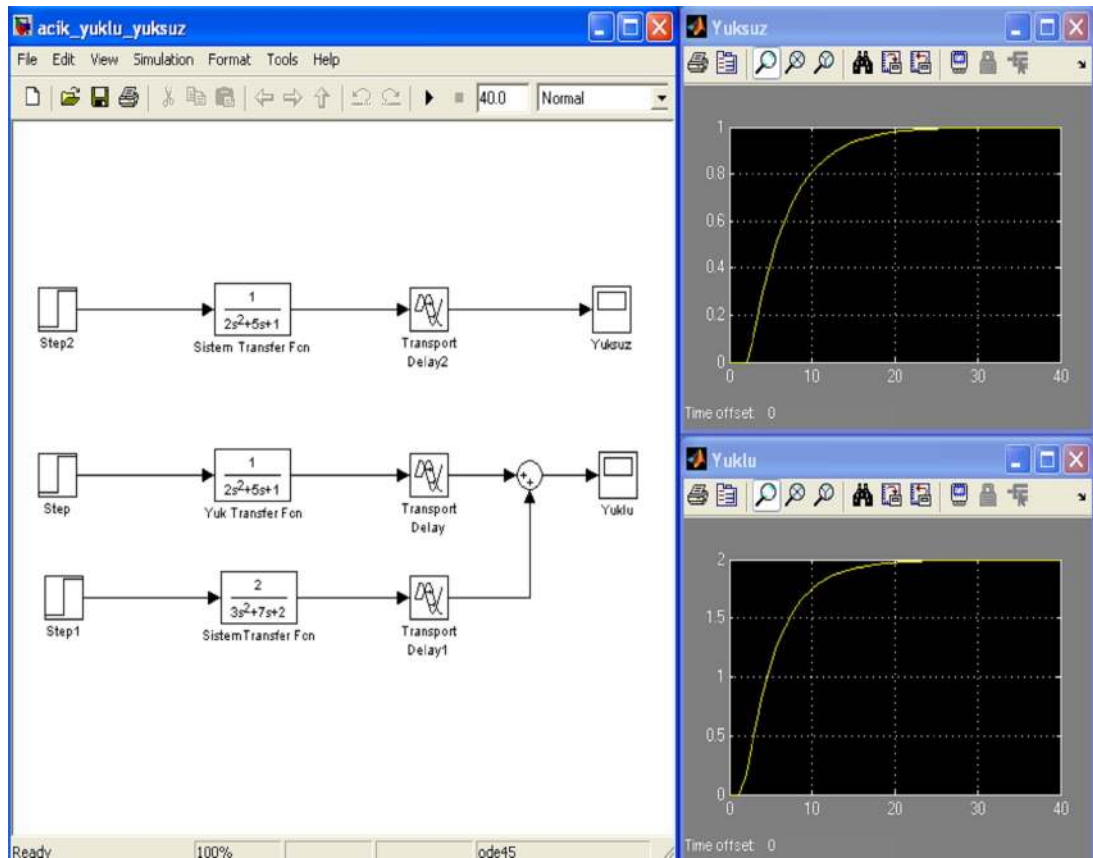


Şekil 4.33. Açık ve kapalı döngü sistemlerin simulink uygulaması

Kontrol sistemleri derslerinde, sistemlerin açık ve kapalı döngü durumlarının incelenebilmesi ve kararlı hale gelmeleri esnasında meydana gelen farklılıkların anlaşılabilmesi için bu benzetim hazırlanmıştır. Bu benzetimde sistemlerin transfer fonksiyonları, kapalı döngü sistemin PID denetleyici parametre değerleri, sistemlerin basamak tepkisi değerleri değiştirilerek açık ve kapalı döngü sistemler üzerindeki etkileri incelenebilmektedir.

4.4.2. Açık döngü sisteme yükün etkisi

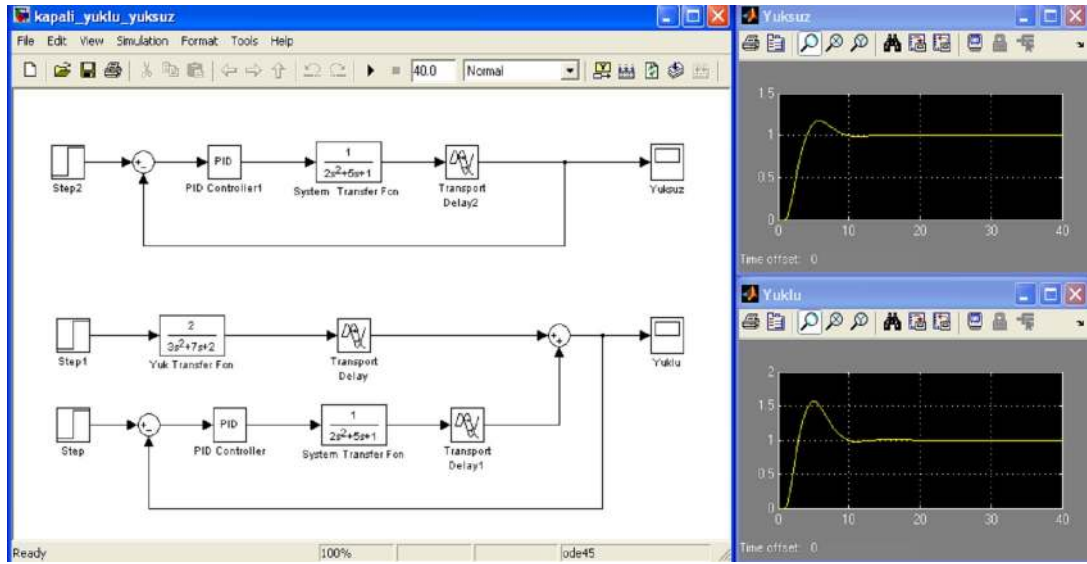
Kontrol sistemleri derslerinde, bir sistemin açık döngü yüklü ve yüksüz durumlarının incelenebilmesi ve kararlı hale gelmeleri esnasında meydana gelen farklılıkların anlaşılabilmesi için bu benzetim hazırlanmıştır. Bu benzetimde sistemlerin transfer fonksiyonları, sistemin basamak tepkisi başlangıç değerleri ve yük transfer fonksiyonları değiştirilerek sistemler üzerindeki etkileri incelenebilmektedir.



Şekil 4.34. Açık döngü sisteme yükün etkisi simulink uygulaması

4.4.3. Kapalı döngü sisteme yükün etkisi

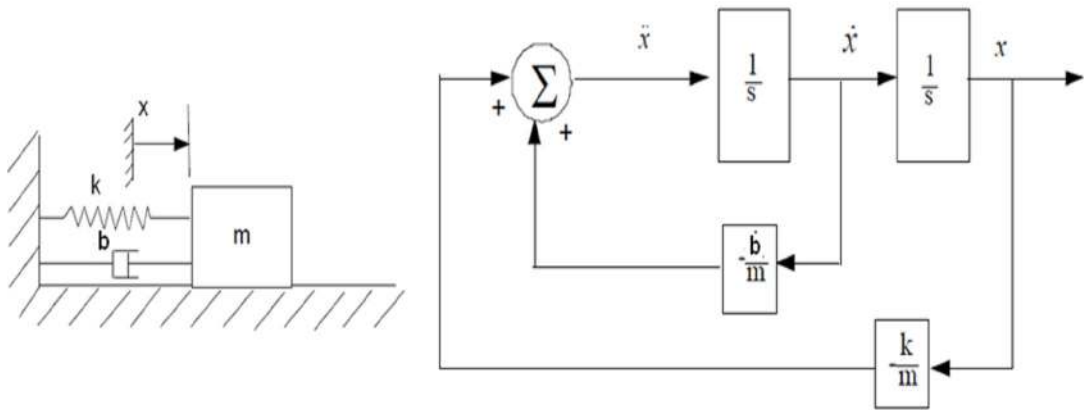
Kontrol sistemleri derslerinde, bir sistemin kapalı döngü yüklü ve yüksüz durumlarının incelenebilmesi ve kararlı hale gelmeleri esnasında meydana gelen farklılıkların anlaşılabilmesi için bu benzetim hazırlanmıştır. Bu benzetimde sistemlerin transfer fonksiyonları, sistemlerin basamak tepkisi başlangıç değerleri, sistemlerdeki PID denetleyici parametre değerleri ve yük transfer fonksiyonları değiştirilerek sistemler üzerindeki etkileri incelenebilmektedir.



Şekil 4.35. Kapalı döngü sisteme yükün etkisi simulink uygulaması

4.4.4. Kütle-Damper-Yay sistemleri

Kontrol teori derslerinde, mekanik sistem modellerinden birisi olan kütle-damper-yay sistemlerinin, elemanların değerlerindeki ve sistem parametrelerindeki değişikliklere bağlı olarak konumda meydana gelen değişimlerin incelenebilmesi için bu benzetim hazırlanmıştır. Bu benzetimde kütle-damper-yay elemanlarının değerleri ve sistemin başlangıç koşulları olan ilk hız ve ilk konum değerleri de değiştirilebilmektedir.



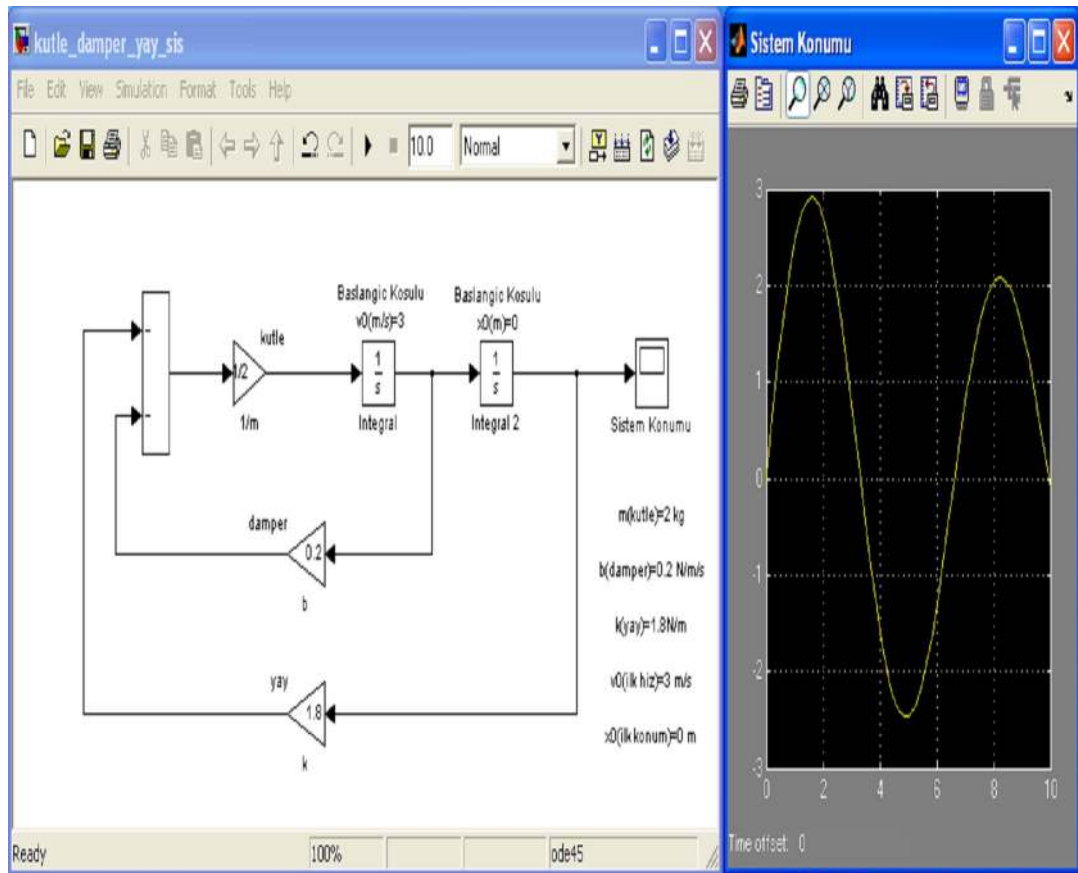
Şekil 4.36 Mekanik sistem

$$m \ddot{x} + b \dot{x} + kx = 0 \quad (4.18)$$

x : Konum

$\dot{x}$: İlk Konum

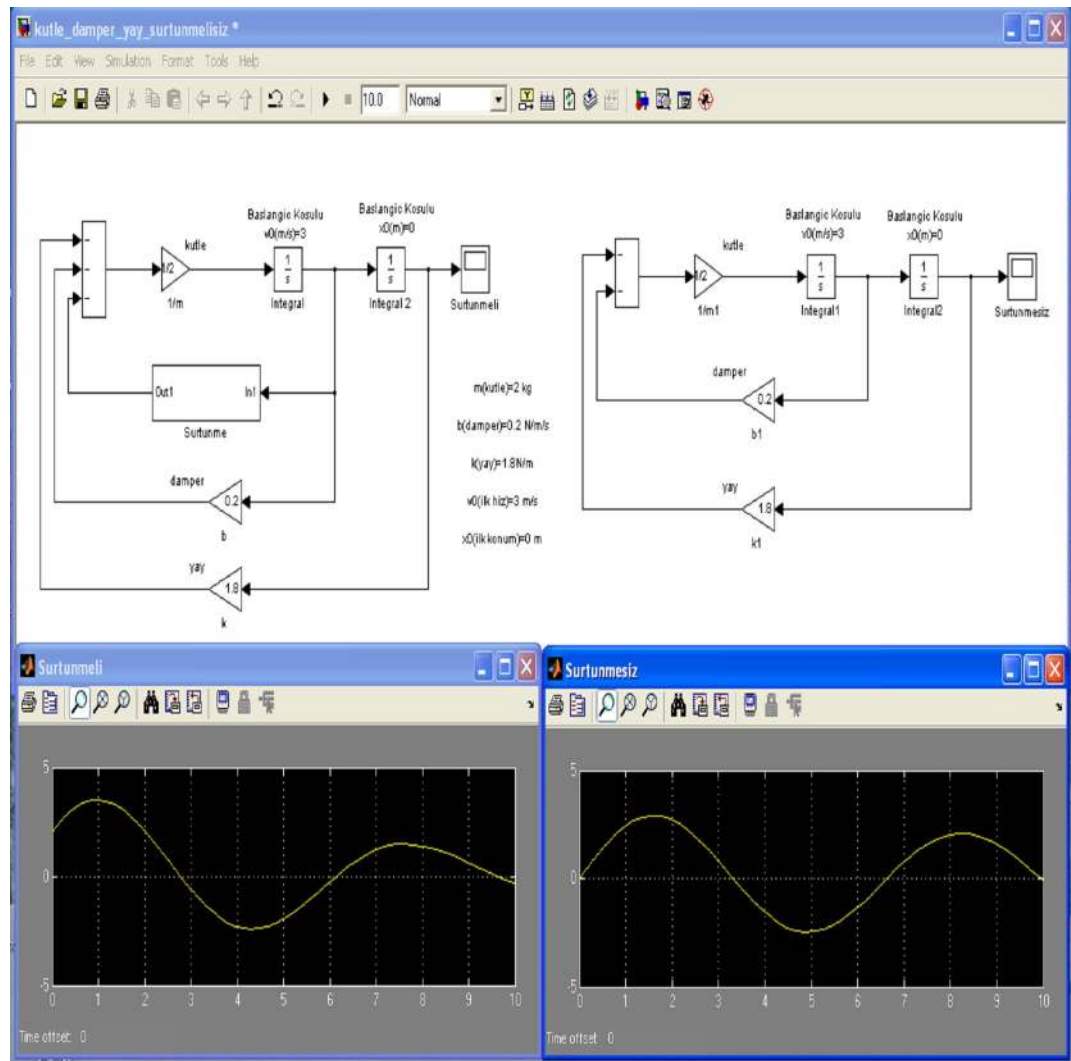
$\ddot{x}$: İlk Hız



Şekil 4.37. Kütle-damper-yay sistemleri simulink uygulaması

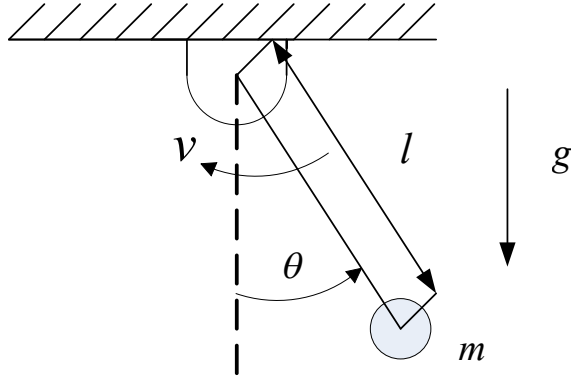
4.4.5. Kütle-Damper-Yay sistemleri (sürtünmeli-sürtünmesiz)

Kontrol sistemleri derslerinde, mekanik sistem modellerinden birisi olan kütle-damper-yay sistemlerinin sürtünmeli ve sürtünmesiz modelleri arasındaki, parametre ve sistem elemanları değerlerindeki değişikliklere bağlı olarak meydana gelen farklılıkların karşılaştırılabilmesi için bu benzetim hazırlanmıştır. Bu benzetimde kütle-damper-yay elemanlarının değerleri, sistemin başlangıç koşulları olan ilk hız ve ilk konum değerleri ve sürtünmeli sistemin sürtünme fonksiyonunun değerleri de değiştirilebilmektedir.



Şekil 4.38. Sürtünmeli-sürtünmesiz kütle-damper-yay sistemleri simulink uygulaması

4.4.6. Sürtünmeli ve Sürtünmesiz sarkaç



Şekil 4.39. Sarkaç

$$ml^2 \ddot{\theta} + v \dot{\theta} + mgl \sin(\theta) = 0 \quad (4.19)$$

m: Sarkacın Kütlesi

l: Sarkacın İp Uzunluğu

v: Sarkacın İlk Hızı

g: Yer Çekimi İvmesi

θ : Sarkacın Konum Açısı

Kontrol sistemlerinde sistemlerin kararlı hale gelmelerinin anlaşılabilmesi için simulink toolbox' ı ile sürtünmeli ve sürtünmesiz sarkaç tasarlanmıştır. Sarkaç parametrelerinden olan; sarkaç ip uzunluğu(l), başlangıç koşullarından olan ilk hız($\dot{Q}(0)$) ve ilk konum değerleri($Q(0)$), sürtünmeli sarkaçta ek olarak sürtünme etkenlerine etkiyen sarkacın kütlesi(m), damper etkisi(b) değerleri de değiştirilebilmektedir.

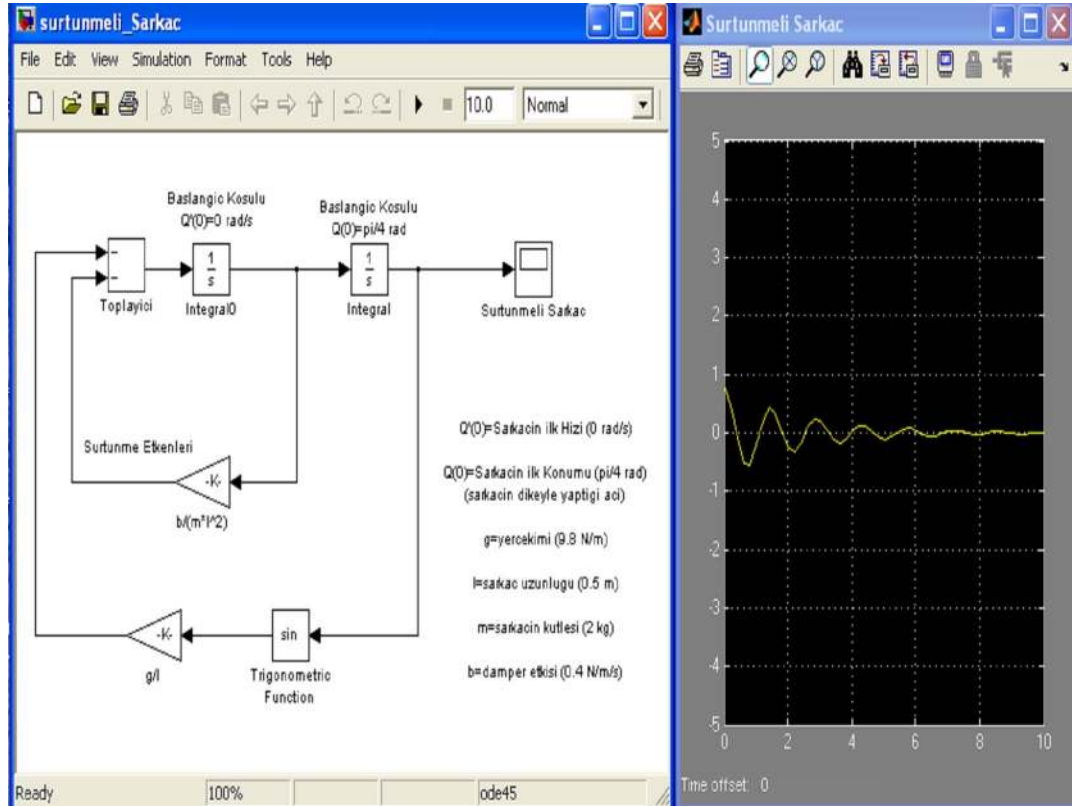
Sürtünmesiz Sarkaç Denklemi;

$$ml^2 \ddot{\theta} + v \dot{\theta} + mgl \sin(\theta) = 0 \quad (4.20)$$

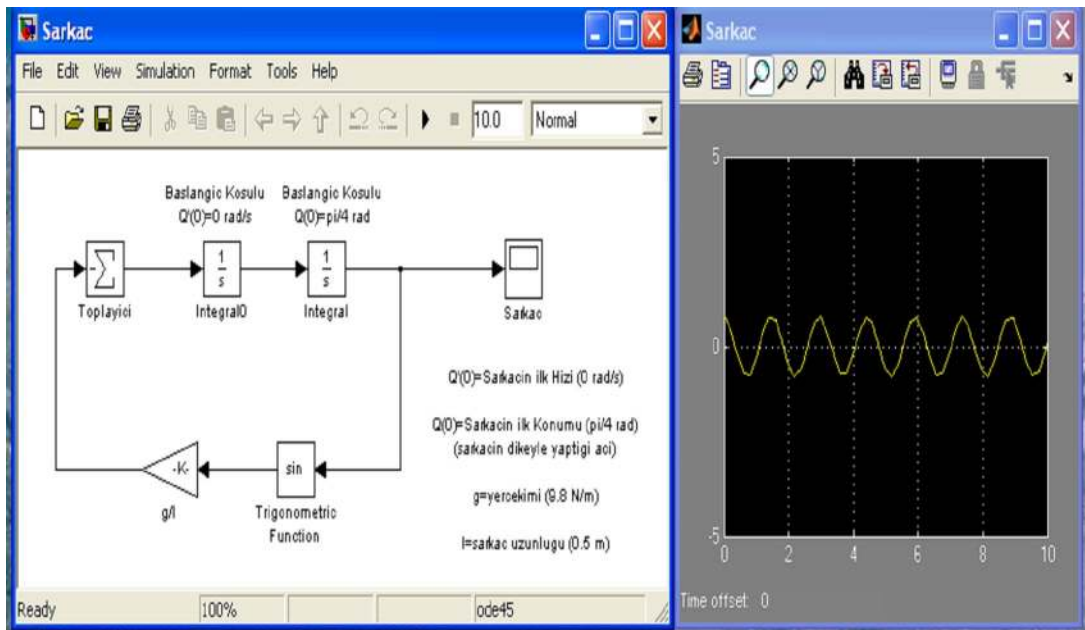
Sürtünmeli Sarkaç Denklemi;

$$ml^2 \ddot{\theta} + v \dot{\theta} + mgl \sin(\theta) + b/(m * l^2) = 0 \quad (4.21)$$

şeklinde verilmiştir.



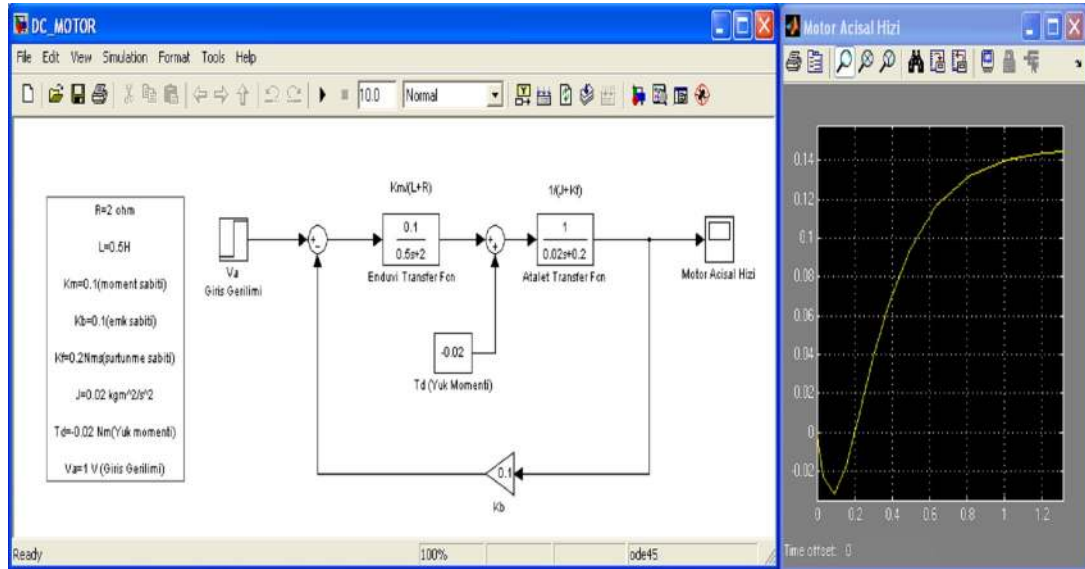
Şekil 4.40. Sürtümlü sarkaç simulink uygulaması



Şekil 4.41. Sürtünmesiz sarkaç simulink uygulaması

4.4.7. DA motor benzetimi simulink uygulaması

Bu benzetim ile ilgili gerekli teorik bilgiler bu benzetimin arayüz tasarımında anlatıldığı için burada tekrarlanmamıştır. Bu benzetim DA motorun terminal gerilimine ve rotor yüküne göre açısal hızındaki değişimlerin izlenmesine imkan sağlar. Burada DA motor omik direnci(R), motor endüktans(L), rotor atalet momenti(J), sürtünme sabiti(K_f), emk sabiti(K_b) değerleri de değiştirilebilmektedir. Yük momenti(T_d) ve giriş terminal gerilimi (V_a) değerleri de değiştirilebilmektedir.



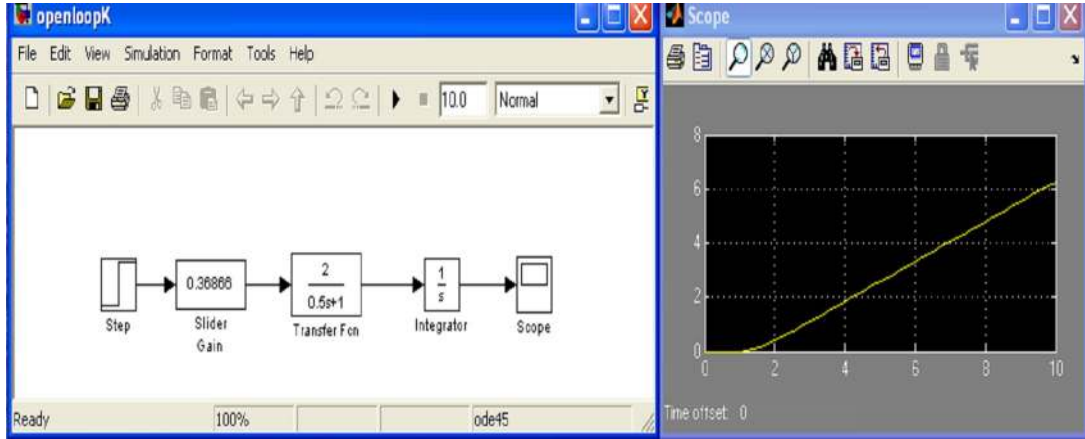
Şekil 4.42. Doğru akım motoru simulink uygulaması

4.4.8. Açık döngü sisteme kazancın etkisi

Açık döngü bir sistemde kazanç katsayısının değişimi ile sistemin hız-cevabı eğrisindeki değişimlerin incelenebilmesi için bu benzetim hazırlanmıştır. Uygulamada verilmiş olan transfer fonksiyonu, alan-kontrollü-motor-yükü sistemine aittir. Aşağıda kapalı döngü kontrol sistemlerinde verilen transfer fonksiyonu da alan-kontrollü-motor-yükü sistemine aittir. Alan-kontrollü-motor-yükü sisteminin transfer fonksiyonunun;

$$G(s) = \frac{2}{s(0.5s + 1)}$$

basitleştirilmiş şekli verilmiştir.

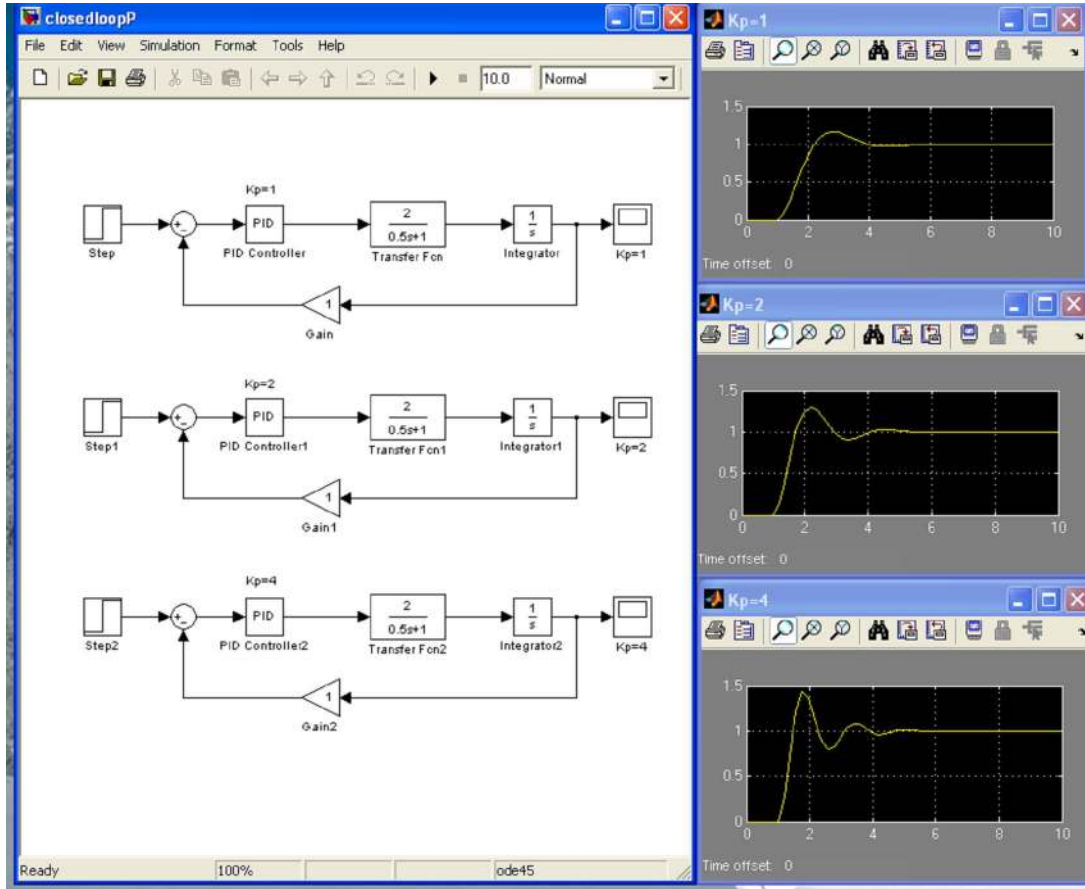


Şekil 4.43. Açık döngü sisteme kazancın etkisi simulink uygulaması

Kapalı-Döngü bir sistem, 4 ayrı denetleyici çeşidi ile denetlenebilmektedir. Bu denetleyicileri oluşturan parametrelerin temel özellikleri; P denetleyici sistemin yükseliş zamanını azalmaya yöneltir, I denetleyici sistemi aşmaya ve kararsızlığa yönlendirir, D denetleyici sistemin aşma ve kararsızlığını azaltır. Kapalı-döngü kontrolde kontrol edilen sistem ve transfer fonksiyonu açık döngü sistemde olduğu gibidir.

4.4.9. Sistemin P denetleyici ile kontrolü

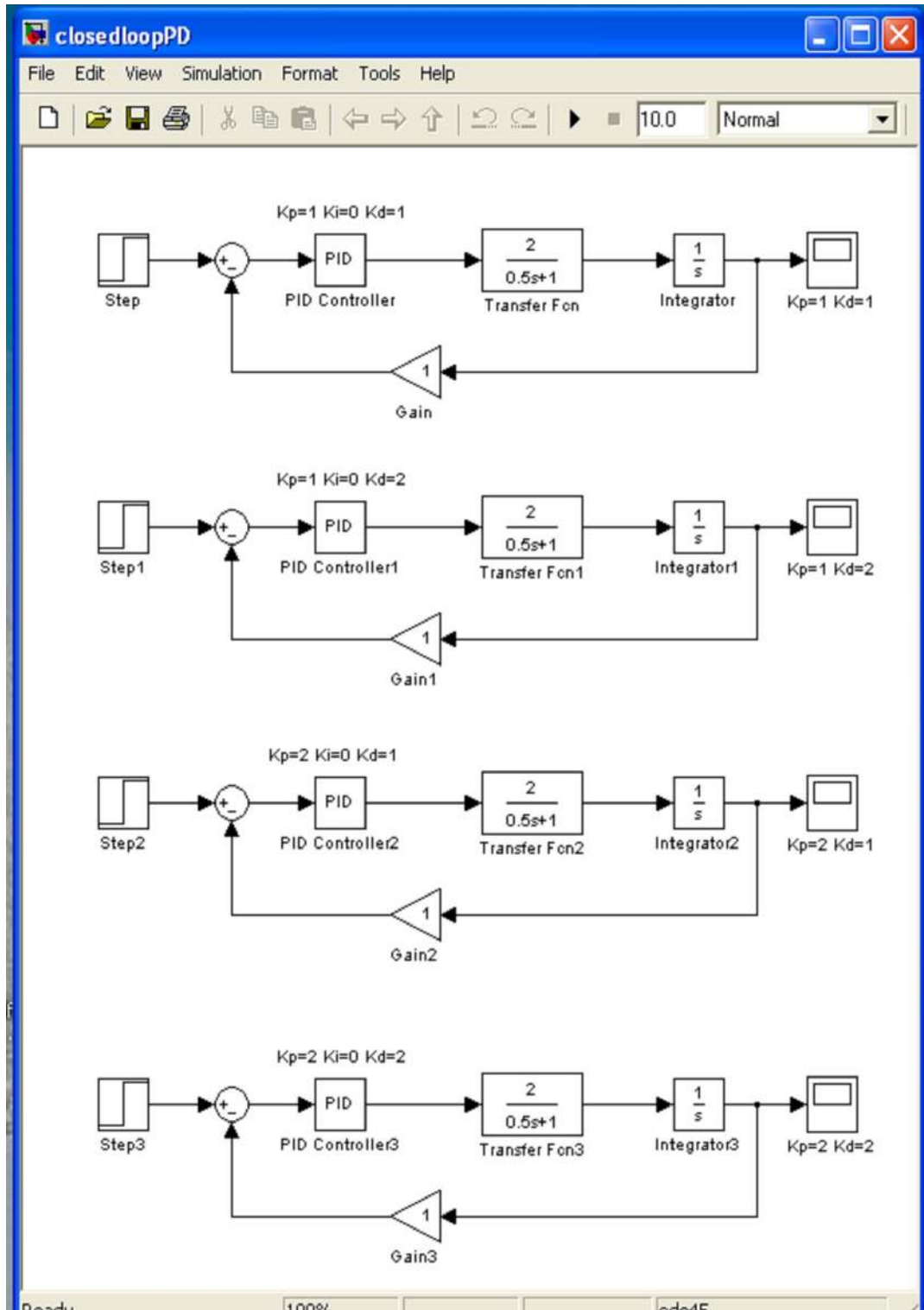
Hazırlanan bu benzetimde, P denetim elemanı kullanılarak kontrol edilen alan-kontrollü-motor-yükü sisteminin hız-cevabı eğrileri incelenebilmektedir. P Denetleyicide; oransal kazanç değeri arttıkça yükselme zamanı azalır, sistem kararlılığı azalırken aşma artar. Tüm kazanç değerleri için sistem aynı noktada kararlı hale ulaşır (6 sn). P denetleyici sistemi gereksinimlerini karşılamakla birlikte sistemin geçici kararsızlığını artırır.



Şekil 4.44. Sistemin P denetleyici ile kontrolü simulink uygulaması

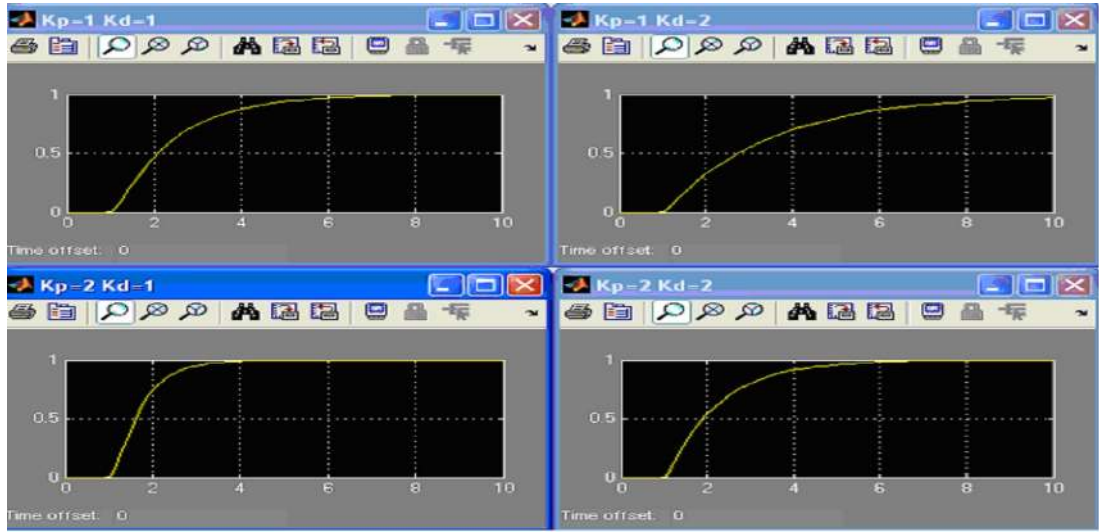
4.4.10. Sistemin PD denetleyici ile kontrolü

Bu benzetimde, PD denetim elemanı kullanılarak kontrol edilen alan-kontrollü-motor-yükü sisteminin hız-cevabı eğrileri incelenebilmektedir. Türevsel ve oransal kontrol kazançları birbirine eşit olduğunda sistem çıkışı daima aynıdır. Bu nedenle $K_p = K_d = 1$ ve $K_p = K_d = 2$ değerleri durumunda sistem çıkışı aynı olur. Orantı kontrolün neden olduğu aşma ve kararsızlığı türevsel kontrol izale eder. K_d 'nin değeri daha yüksek olduğunda sisteme olan etkisi K_p 'nin etkisinden daha büyüktür. K_p 'nin değeri daha yüksek olur ise sisteme olan etkisi K_d 'nin etkisinden daha büyük olur.



(a)

Şekil 4.45 a) Sistemin PD denetleyici ile kontrolü simulink uygulaması
 b) Sistemin PD denetleyici ile kontrolü çıkışları(hız-cevabı)

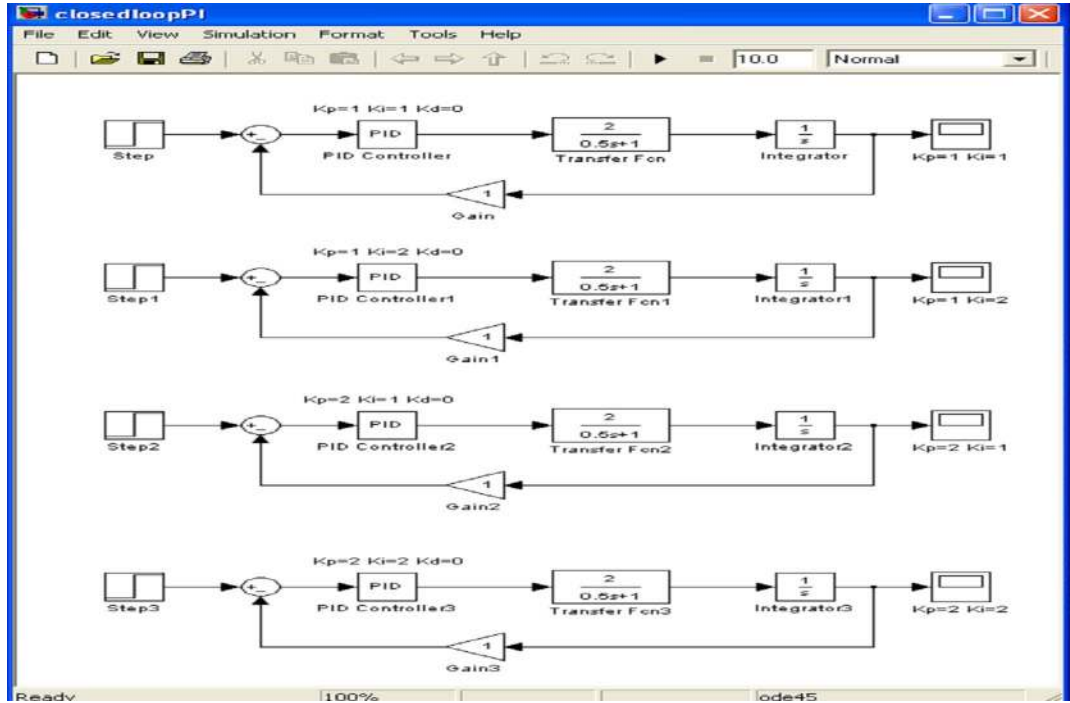


(b)

Şekil 4.45. (Devam)

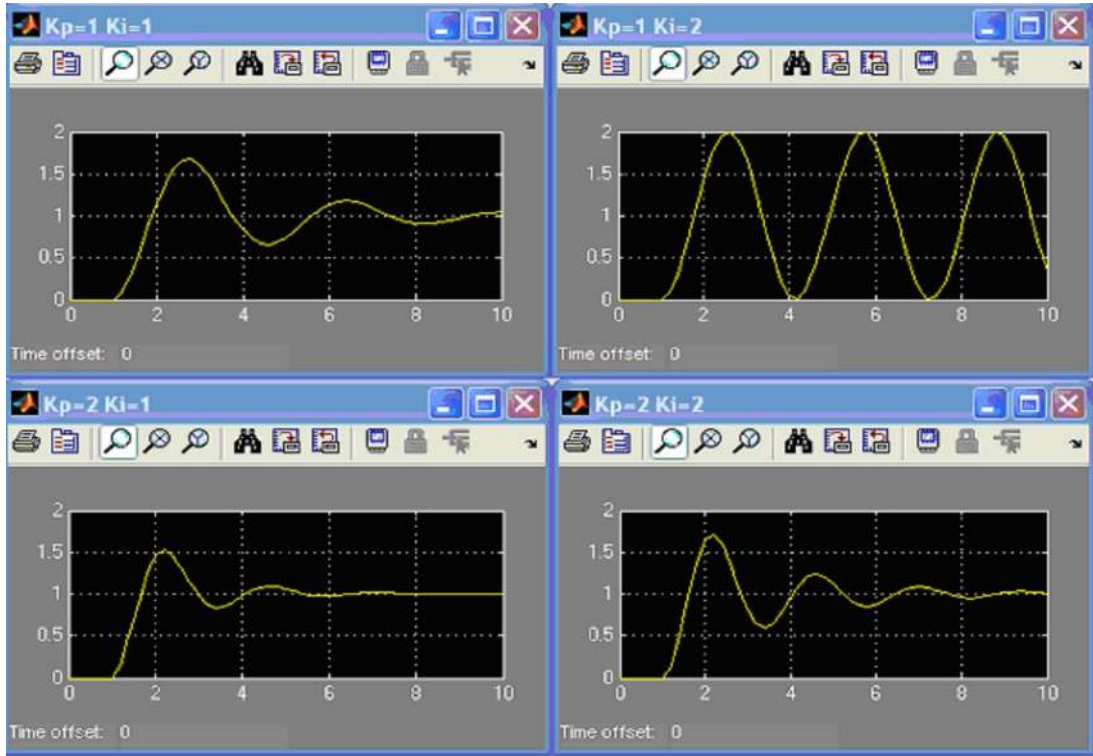
- a) Sistemin PD denetleyici ile kontrolü simulink uygulaması
b) Sistemin PD denetleyici ile kontrolü çıktıları(hız-cevabı)

4.4.11. Sistemin PI denetleyici ile kontrolü



(a)

- a) Sistemin PI denetleyici ile kontrolü simulink uygulaması
b) Sistemin PI denetleyici ile kontrolü çıktıları(hız-cevabı)



(b)

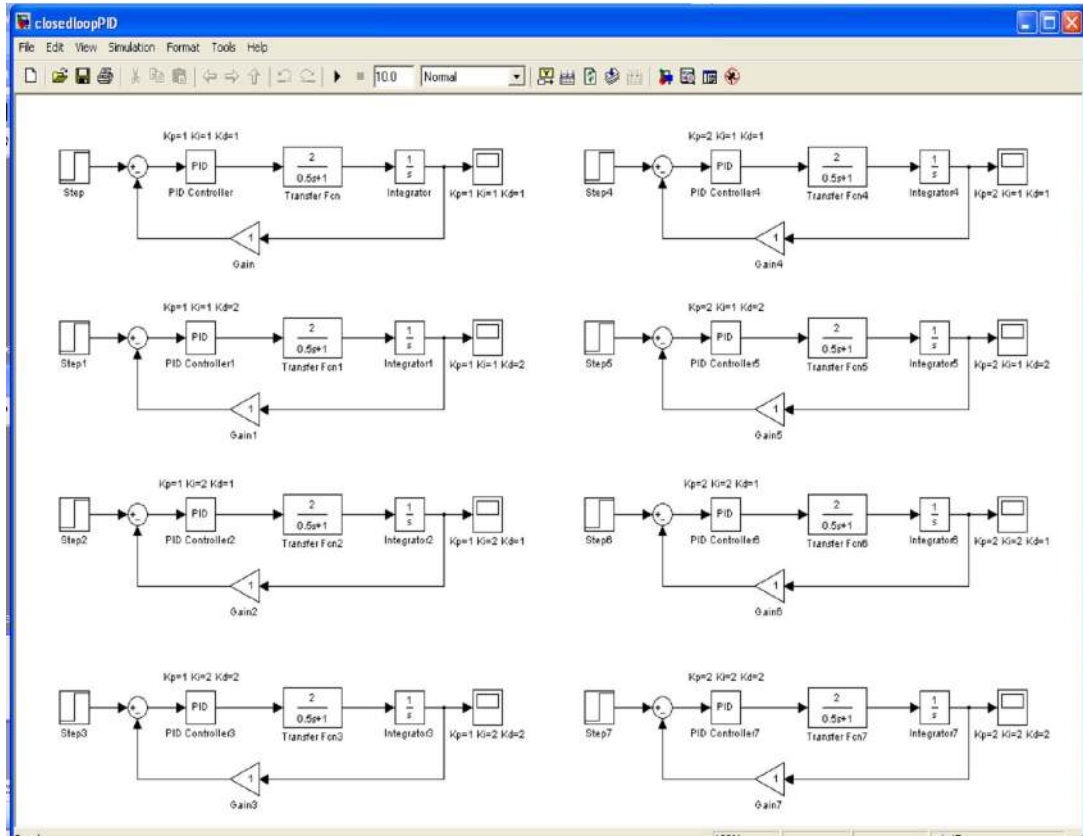
Şekil 4.46. (Devam)

- a) Sistemin PI denetleyici ile kontrolü simulink uygulaması
 b) Sistemin PI denetleyici ile kontrolü çıkışları(hız-cevabı)

Bu benzetimde, PI denetim elemanı kullanılarak kontrol edilen alan-kontrollü-motor-yükü sisteminin hız-cevabı eğrileri incelenebilmektedir. $K_p = K_i = 1$ değerinden $K_p = K_i = 2$ değerine geçildiğinde, yükselme zamanının kısaldığı ve aşmanın yükseldiği salınım adedinin arttığı gözlenmektedir. $K_p = K_i = 4$ olduğunda sistem frekansı daha da yükselir fakat $K_p = K_i = 2$ değerinin 2 katı olmaz. K_p değerinin daha büyük olduğu durumlarda yerleşme zamanındaki salınım P kontrolün çıkışına benzer. K_i değeri 0'dan 1'e giderken aşmada artış olmaktadır. $K_i=2$ değeri $K_p=1$ değerinden büyük olduğunda orantı kontrolün etkisi az olur, böylelikle sistemin en yüksek dereceli salınımı meydana gelir.

4.4.12. Sistemin PID denetleyici ile kontrolü

Bu benzetimde, PID denetim elemanı kullanılarak kontrol edilen alan-kontrollü-motor-yükü sisteminin hız-cevabı eğrileri incelenebilmektedir. $K_p = K_i = K_d = 1$ ’ den $K_p = K_i = K_d = 2$ olduğunda kazanç değerlerinin artması ile yükseliş zamanı azalmaktadır. K_d , K_p ve K_i daha fazla sistemi etkilemektedir. Bu yükselişten yerleşme zamanı etkilenmediği gözlenmektedir. K_d değeri en küçük olduğunda en hızlı yükselme zamanı elde edilir. Bu durumda en hızlı yükselme zamanı $K_p = K_i = 2$, $K_d = 1$ değerlerinde olur. En hızlı yerleşme zamanı K_p değeri K_d değerinden daha büyük olduğu durumdadır. K_i ’ nin etkisi yerleşme zamanının üzerinde çok azdır.

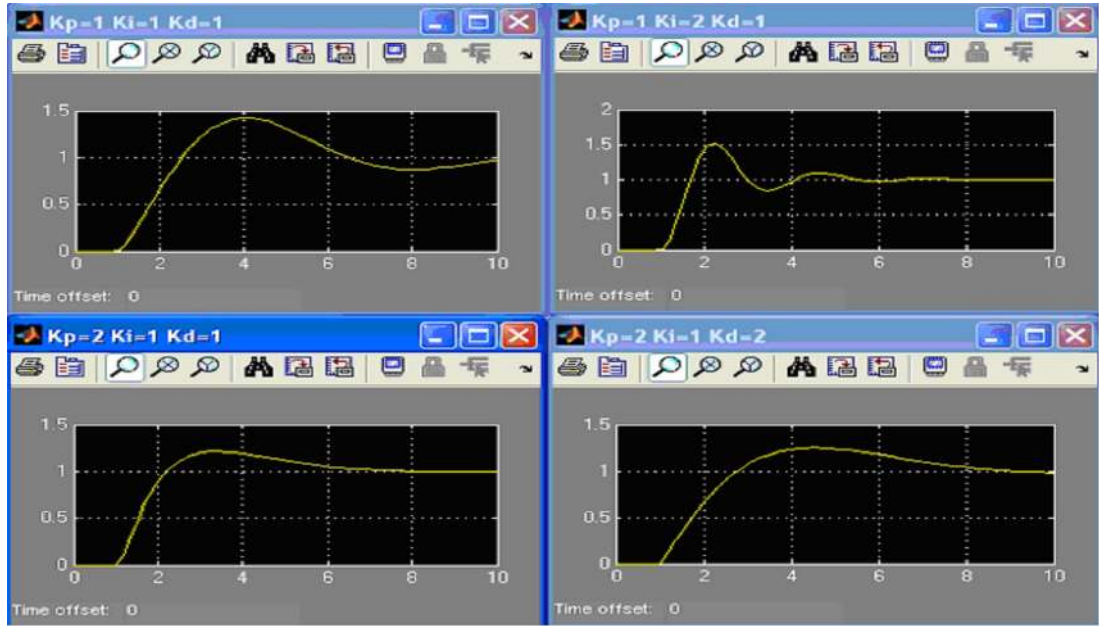


(a)

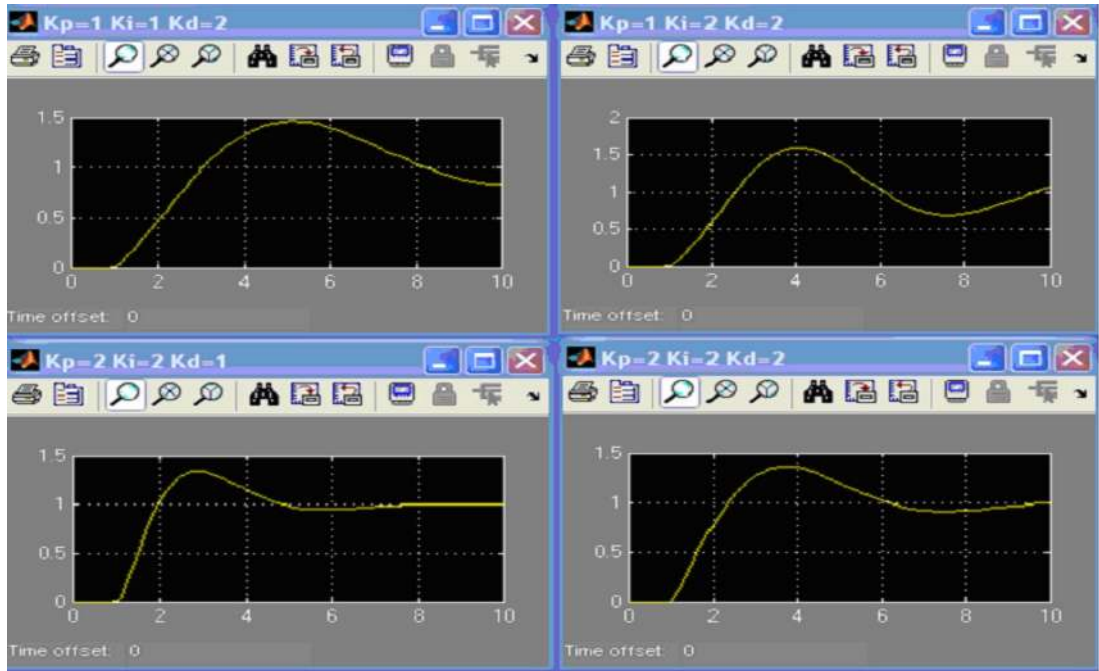
Şekil 4.47. a) Sistemin PID ile kontrolü simulink uygulaması

b) Sistemin çıkışları(hız-cevabı)

c) Sistemin çıkışları(hız-cevabı)



(b)

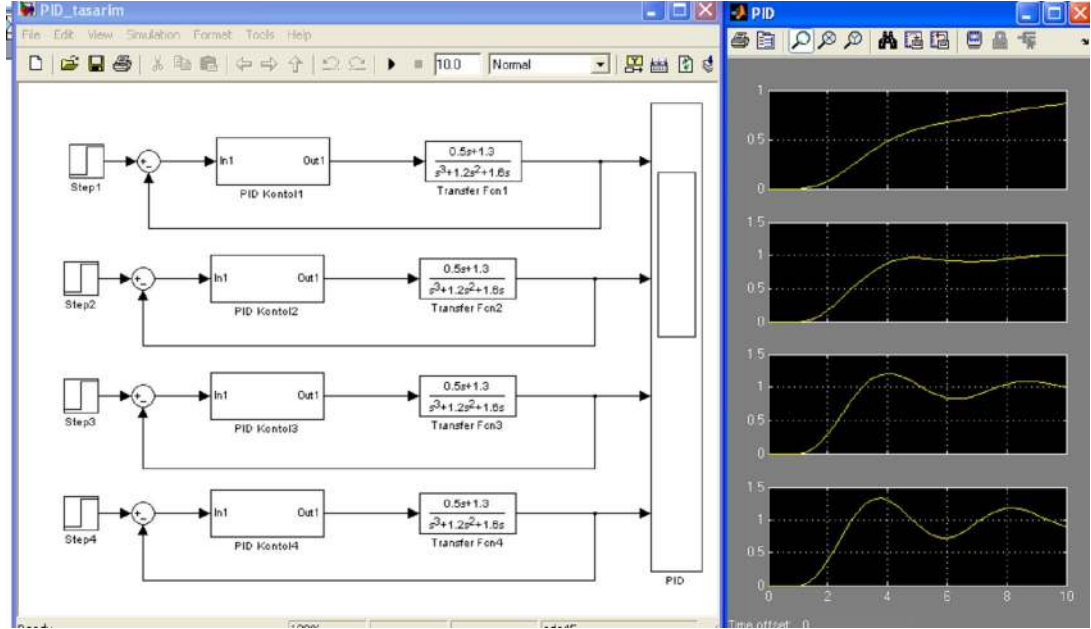


(c)

Şekil 4.47. (Devam)

- a) Sistemin PID ile kontrolü simulink uygulaması
- b) Sistemin çıkışları(hız-cevabı)
- c) Sistemin çıkışları(hız-cevabı)

4.4.13. PID tasarımı



Şekil 4.48. PID tasarımı simulink uygulaması

Her hangi bir sistem için bir PID denetleyici tasarlanmak istenildiğinde bu benzetimi kullanılarak PID denetleyici parametrelerinin değişimlerine bağlı olarak, sistemin tepkileri kıyaslanarak en uygun K_p , K_i ve K_d değerleri belirlenebilir.

4.4.14. DA motorun PID ile kontrolü

Bu benzetimde, DA motorun PID kontrol ile denetiminde konum basamak tepkisi eğrilerinin çizdirilmesi amaçlanmaktadır. Ziegler-Nichols metoduyla veya genetik algoritma yöntemi ile bulunan K_p , K_i , K_d PID parametre değerlerinin kullanılarak basamak tepkisi eğrilerinin çizilebilmektedir.

Uygulamada DA şönt motor kullanılmıştır. Çünkü DA şönt motor endüvi ve kutup sargısı birbirinden ayrı olduğu için hız ve pozisyon kontrolünün yapılması için oldukça elverişlidir. Aşağıdaki eşitlikler DA motorun dinamik davranışını tanımlamaktadır [24].

Üretilen manyetik moment(T),

$$V_{emf} = V_{emf}(t) = K_b \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (4.22)$$

$$V_{app} = R i(t) + L \frac{di}{dt} + V_{emf} \quad (4.23)$$

$$T = J \frac{d^2\theta(t)}{dt^2} + B \frac{d\theta(t)}{dt} \quad (4.24)$$

DA Motor Transfer Fonksiyonu;

$$\frac{Q(s)}{V(s)} = \frac{K_b}{[J * L s^3 + (R * J + B * L) s^2 + (K_b^2 + R * B) s]} \quad (4.25)$$

a) Motor Etiket Değerleri

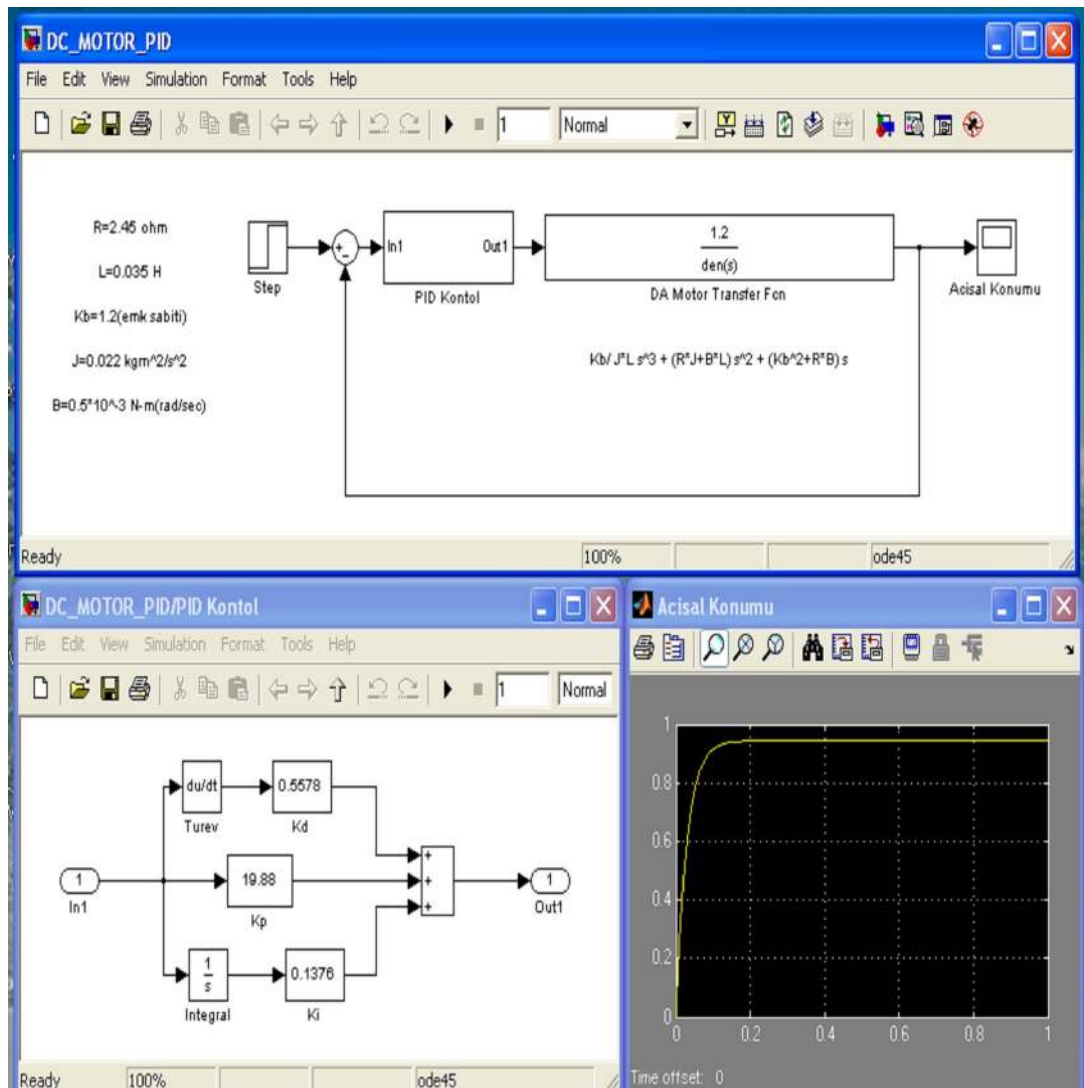
2hp, 230 volt, 8,5 amper, 1500rpm

b) Motor Parametreleri

Ra=2,45 ohm, La=0,035 H, Kb=1,2 volt/(rad/sec),

J=0,022Kg-m²/rad ,B=0,5*10⁻³ N-m/(rad/sec).

Hazırlanan bu benzetimde, PID denetleyici ile kontrol edilen bir DA motorun konum basamak tepkisi eğrisi oluşturulabilmektedir. Burada DA motorun; R :Endüvi Sargısı Omik Direnci, L :Endüvi Sargısı Endüktansı, K_m :Moment Sabiti, J :Motor Atalet Momenti, K_b (EMK Sabiti), PID Denetleyici parametre değerleri(K_p , K_i , K_d) değiştirilebilmektedir.



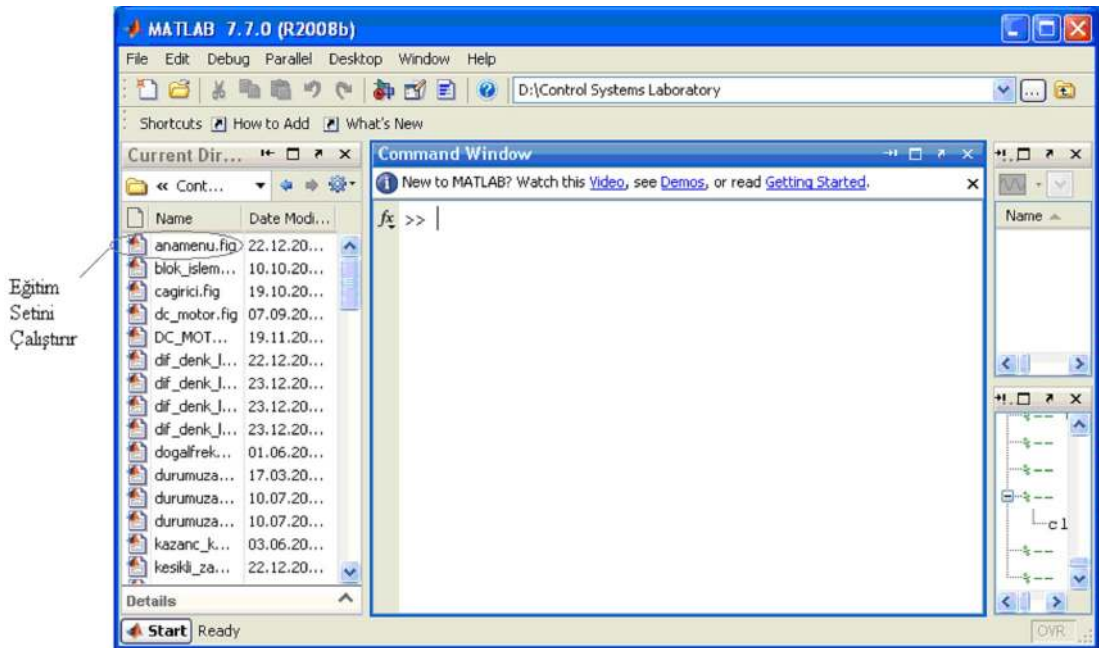
Şekil 4.49. DA motorun PID ile kontrolü simulink uygulaması

5. EĞİTİM SETİNİN KULLANIMININ TANITIMI

“MATLAB(R2008b)” ikonuna tıklanılınca gelen pencereden sol bölmedeki “Current Directory” alt penceresindeki “anamenu.fig” dosyası çalıştırılır. Şekil 5.2 ‘de verilen pencere görünür.



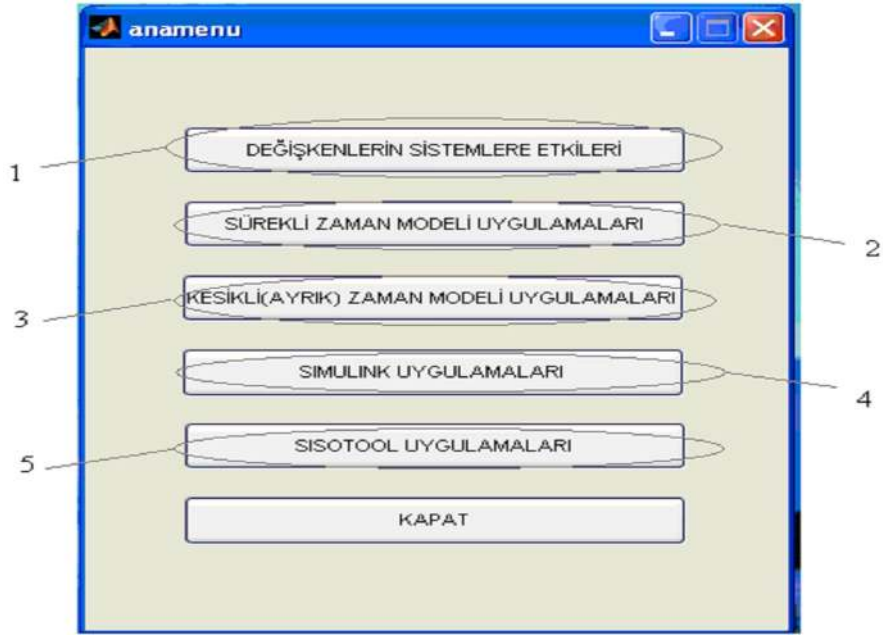
Şekil 5.1. Matlab(R2008b) ikonu



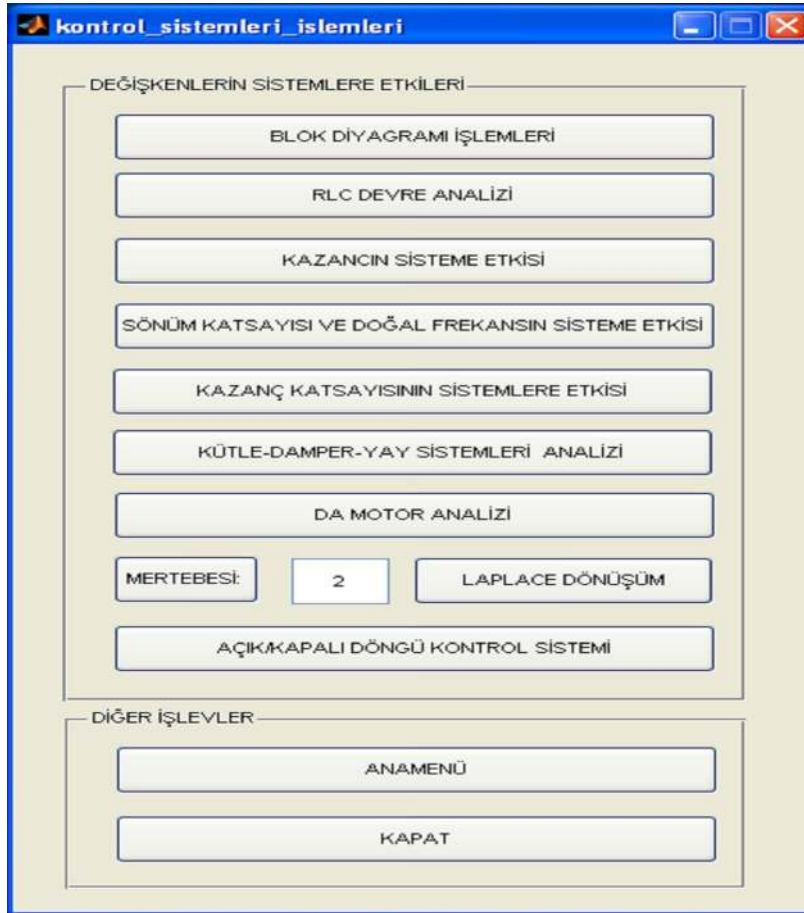
Şekil 5.2. Matlab komut penceresi

5.1. Ana Menü ve Alt Menülerin Kullanımı

Gelen “anamenu” penceresinden(Şekil 5.3),“1” numaralı butona basıldığında; her bir uygulamayı başlatmak için konu başlıklarının yer aldığı butonları içeren “Kontrol Sistemleri İşlemleri” olarak adlandırılmış arayüz (Şekil 5.4) ekrana gelecektir. Bu arayüzdeki her bir uygulamanın ne işe yaradığı üçüncü bölümde anlatılmıştır.



Şekil 5.3. Ana menü arayüzü



Şekil 5.4. Kontrol sistemleri işlemleri arayüzü

“2” numaralı butona basıldığında; “Sürekli Zaman Modeli” uygulamalarını içeren arayüz (Şekil 5.5) ekrana gelecektir. Bu arayüzdeki her bir uygulamanın ne işe yaradığı üçüncü bölümde anlatılmıştır.

The screenshot shows a software window titled "SÜREKLİ ZAMAN MODELİ UYGULAMALARI" (Continuous Time Model Applications). The window has a blue title bar with the "cagirici" logo and standard Windows window controls (minimize, maximize, close). The main content area is divided into five sections, each with a title and a dropdown menu for model selection:

- DÖNÜŞÜM MODELLERİ**: DÖNÜŞÜM MODELİ SEÇİNİZ. The dropdown menu shows "MODEL SEÇİNİZ".
- FREKANS ALANI ANALİZİ**: EĞRİLER- KONTROL EDİLEBİLİRLİK, GÖZLENEBİLİRLİK VE KARARLILIK ANALİZİ. The dropdown menu shows "MODEL SEÇİNİZ".
- ZAMAN ALANI ANALİZİ**: SİSTEM ANALİZİ İÇİN MODEL SEÇİNİZ. The dropdown menu shows "MODEL SEÇİNİZ".
- SİNYAL TEPKİSİ ANALİZİ**: SİSTEM SİNYAL TEPKİSİ İÇİN MODEL SEÇİNİZ. The dropdown menu shows "MODEL SEÇİNİZ".
- DİĞER İŞLEVLER**: This section contains two buttons: "ANAMENÜ" and "KAPAT".

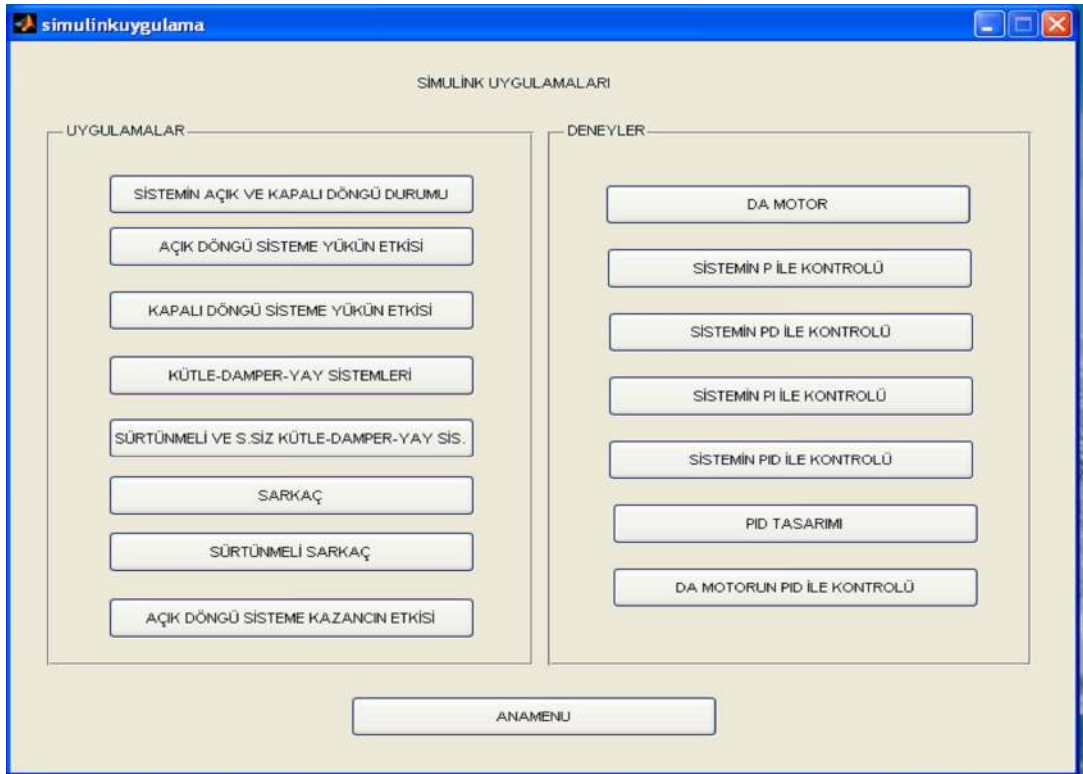
Şekil 5.5. Sürekli zaman modeli uygulamaları arayüzü

“3” numaralı butona basıldığında; “Kesikli(Ayrık) Zaman Modeli” uygulamalarını içeren aşağıdaki arayüz(Şekil 5.6) ekrana gelecektir. Bu arayüzdeki her bir uygulamanın ne işe yaradığı üçüncü bölümde anlatılmıştır.



Şekil 5.6. Kesikli zaman modeli uygulamaları arayüzü

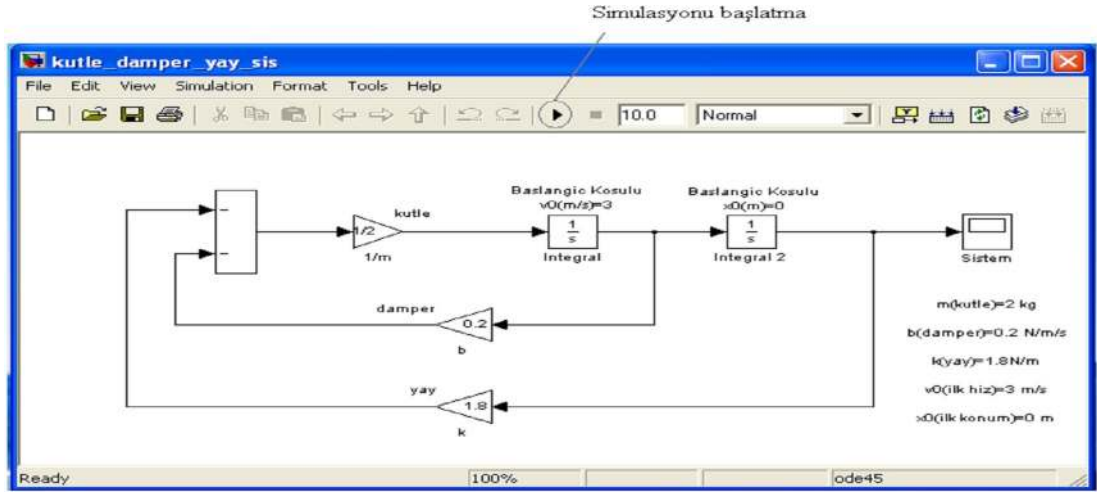
“4” numaralı butona basıldığında; “Simulink” uygulamalarını başlatmak için konu başlıklarının yer aldığı butonları içeren “Simulink Uygulamaları” olarak adlandırılmış aşağıdaki arayüz(Şekil 5.7) ekrana gelecektir. Bu arayüzdeki her bir uygulamanın ne işe yaradığı üçüncü bölümde anlatılmıştır.



Şekil 5.7. Simulink uygulamaları arayüzü

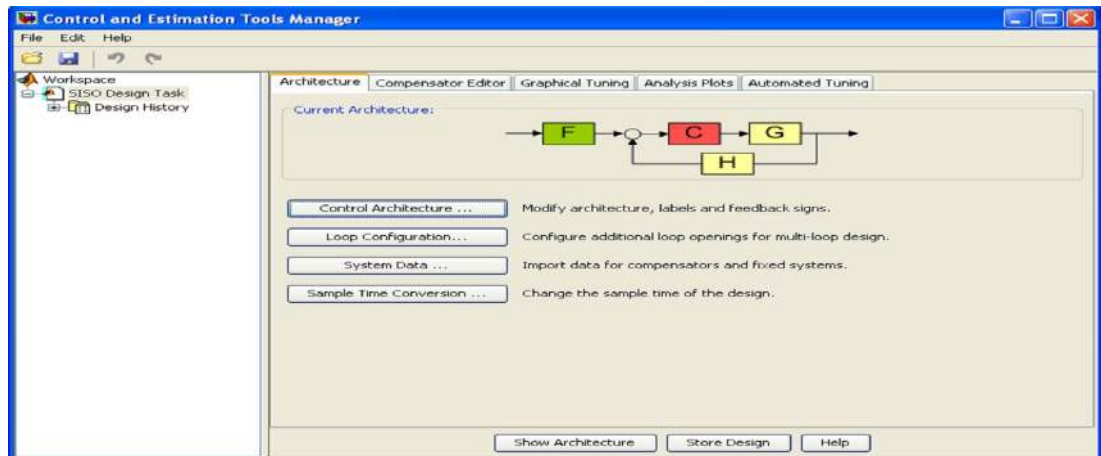
Simulink uygulamalarında, değiştirilmek istenen parametrenin, bulunduğu simulink elemanının üzerine çift tıklanır ve açılan pencereden istenilen değişiklikler yapılır.

“Simulink” uygulamalarını başlatmak için pencerenin üst kısmında bulunan  butona basılması gerekmektedir. Böylelikle sistemlerin çıkış grafikleri çizdirilebilir.



Şekil 5.8. Simulink uygulaması penceresi

“5” numaralı butona basıldığında; “SISOTOOL” uygulaması başlayacak ve ana sayfa olan aşağıdaki arayüz ekrana gelecektir. Bu tezde SISOTOOL (tek-girişli ve tek-çıkışlı sistemler) uygulamaları anlatılmamıştır. Fakat kullanıcılara ulaşım kolaylığı açısından link oluşturulmuştur. SISOTOOL uygulamaları, sistem kararlılığı ve istenilen geçici cevap karakteristikleri için kompanzator tasarlamak amacı ile kullanılmaktadır [5].



Şekil 5.9. SISOTOOL uygulamaları ana sayfası

Eğitim Setinde mevcut olan arayüzlerin kullanımı genellikle benzer olduğundan burada, arayüzlerdeki farklılıklara göre genel kullanımlar ve kullanımı karmaşık olan arayüzlerin nasıl kullanılacağı anlatılmıştır..

5.2. Arayüzlerin Genel Kullanımı

Hazırlanan arayüzlerin birçoğunda verilen sistemin, transfer fonksiyonunun veya sıfır-kutup- kazanç formunun yada durum-uzay formunun katsayıları girilerek işlem yapılmaktadır. Burada bunlar birer örnek ile açıklanmıştır.

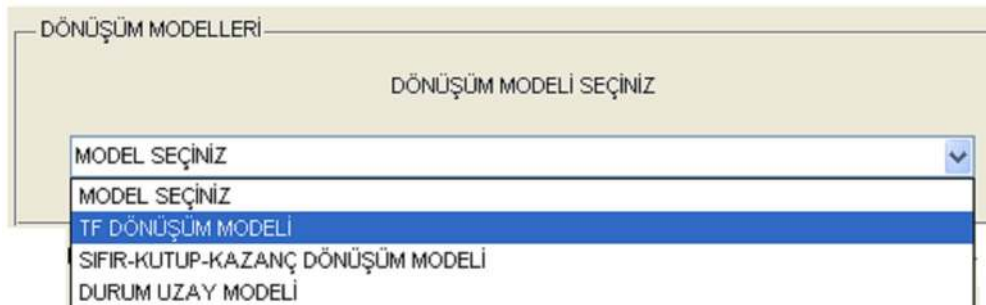
5.2.1. Transfer fonksiyonu formu

Transfer fonksiyonu;

$$G(s) = \frac{2s^2 + 3s + 4}{5s^3 + 6s^2 + 7s + 8}$$

şeklinde verilmiş olan bir sistemin, sıfır-kutup-kazanç modelini, kısmi kesir modelini veya durum-uzay modeli ele alınabilir. Burada durum-uzay modeli tercih edilmiş ve ekran görüntüsü verilmiştir. Bunun için ilk önce aşağıdaki komut sırası izlenerek dönüşüm modeli uygulamalarını içeren arayüz çalıştırılır.

```
>>anamenu\sürekli zaman modeli uygulamaları\dönüşüm modelleri\tf dönüşüm modeli
```



Şekil 5.10. Dönüşüm modelleri seçimi arayüzü

Yukarıdaki gibi transfer fonksiyonu verilen bir sistemin matlab ortamındaki gösterimi;

Transfer fonksiyonu:

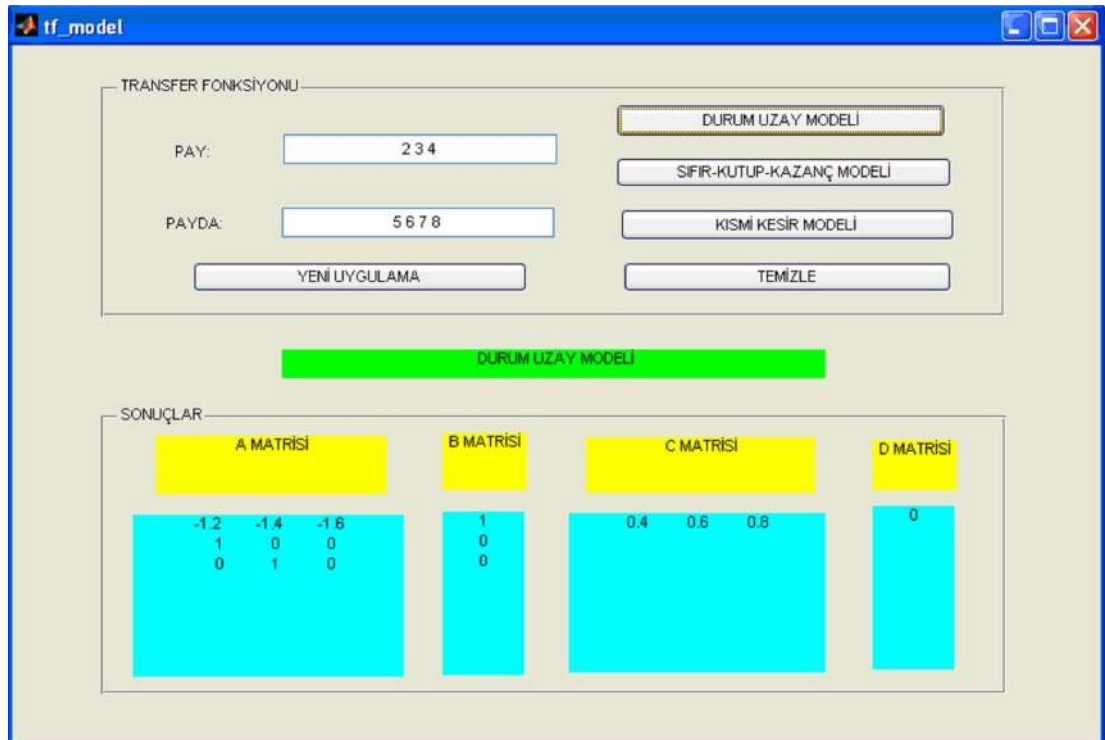
$$\frac{2s^2 + 3s + 4}{5s^3 + 6s^2 + 7s + 8}$$

şeklindedir. Bu ifade “Control Toolbox” kullanımlarında vektörel olarak ifade edilmektedir. Yani verilen transfer fonksiyonunun pay ve paydasının katsayı değerleri vektörel ifade olarak yazılmaktadır.

Pay=[2 3 4];

Payda=[5 6 7 8];

Yukarıdaki vektörel ifadelerin arayüzdeki kullanımı Şekil 5.11’de verilmiştir.



Şekil 5.11. Transfer fonksiyonu formunun dönüşüm modeli arayüzü

Burada durum-uzay modeli elde edilmek istenildiği için katsayı değerleri gerekli yerlere girildikten sonra “DURUM UZAY MODELİ” yazan butona basılır. Hangi model elde edilmek isteniliyor ise o modelin isminin yazılı olduğu butona basılır.

Elde edilen sonuçlar durum-uzay formunda gösterilmek istenilir ise;

$$\begin{aligned} \dot{X} &= A.x + B.u \\ \begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -1.2 & -1.4 & -1.6 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} .u \end{aligned}$$

$$y = C.x + D.u$$

$$y = \begin{bmatrix} 0.4 & 0.6 & 0.8 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + 0.u$$

şeklinde olur.

5.2.2. Durum uzay formu

Durum-uzay formu;

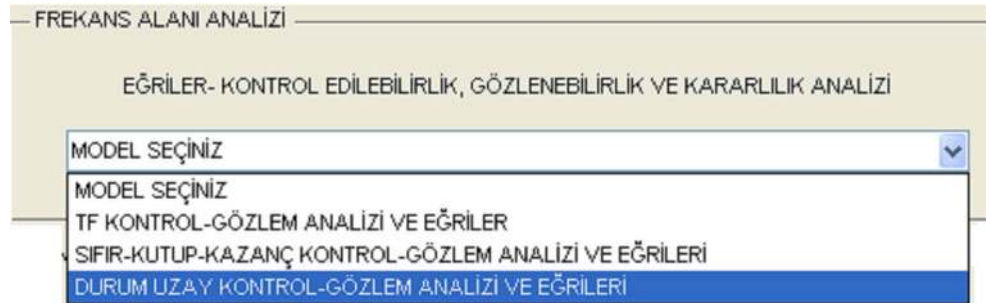
$$\begin{aligned} \dot{X} &= A.x + B.u \\ \begin{bmatrix} \dot{X}_1 \\ \dot{X}_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -5 & -2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \end{bmatrix} .u \end{aligned}$$

$$y = C.x + D.u$$

$$y = \begin{bmatrix} 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} + 0.u$$

şeklinde verilen bir sistemin; kontrol edilebilirliği, gözlenebilirliği ve kararlılığı test edilebilir veya bode veya nyquist ya da kök-yer eğrilerinden birisi çizilebilir. Burada bode eğrisi çizdirilmiş ve ekran görüntüsü verilmiştir. Bunun için ilk önce aşağıdaki komut sırası izlenerek bu analizleri yapan ve eğrileri çizdiren uygulamalarını içeren arayüz çalıştırılır.

>>anamenu\sürekli zaman modeli uygulamaları\frekans alanı analizi\durum uzay kontrol-gözlem analizi ve eğrileri



Şekil 5.12. Kontrol edilebilirlik, gözlenebilirlik ve kararlılık analizi ve eğri çizimleri için model seçim arayüzü

Yukarıdaki gibi durum-uzay formu verilen bir sistemin matlab ortamındaki matrisel gösterimi;

a =

	x1	x2
x1	0	1
x2	-5	-2

b =

	u1
x1	0
x2	3

c =

	x1	x2
y1	0	1

d =

	u1
y1	0

Sürekli-zaman modeli

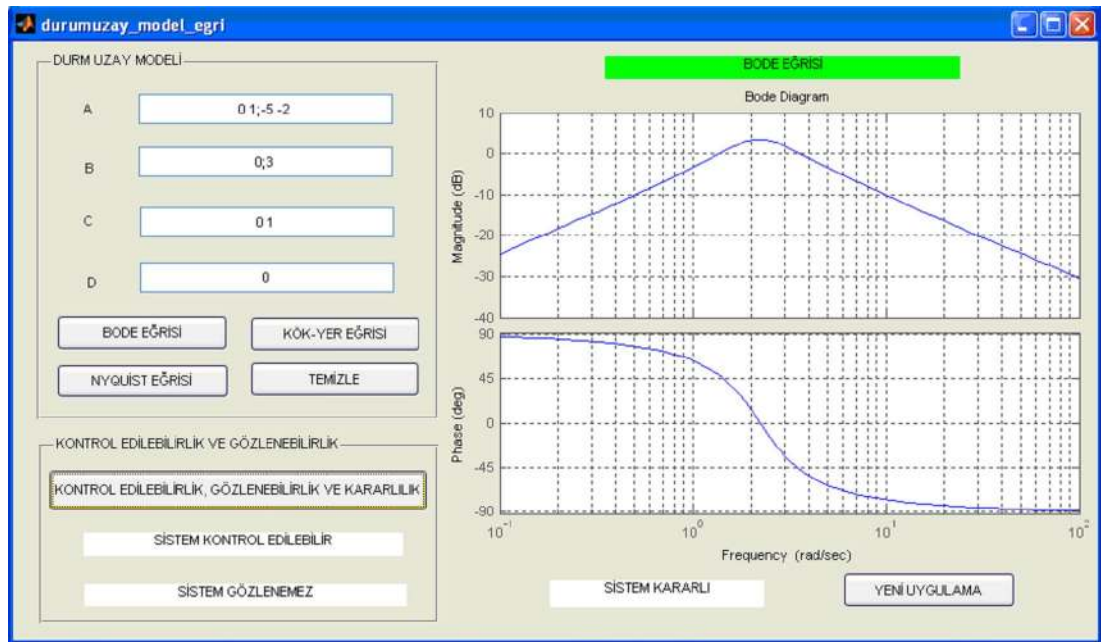
şeklindedir. Bu ifade “Control Toolbox” kullanımlarında matrisel olarak aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$[0 \ 1; -5 \ -2], [0; 3], [0, 1], 0$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -5 & -2 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 3 \end{bmatrix}$$

$$C = [0 \ 1] \quad D = 0$$

Sürekli zaman modeli olarak arayüzde bulunan kısımlara bu katsayılar yazılarak, çizdirilmek istenilen eğri türünün butonuna basıldığında çizim işlemi gerçekleştirilecektir. “BODE EĞRİSİ” yazan butona basıldığında bode eğrisi çizdirilir. Aynı arayüzde bulunan “KONTROL EDİLEBİLİRLİK, GÖZLENEBİLİRLİK VE KARARLILIK” yazan butona basılarak sistemin kontrol edilebilirliği, gözlenebilirliği ve kararlılığı da test edilir.



Şekil 5.13. Kontrol edilebilirlik, gözlenebilirlik, kararlılık analizi ve eğri çizimleri arayüzü

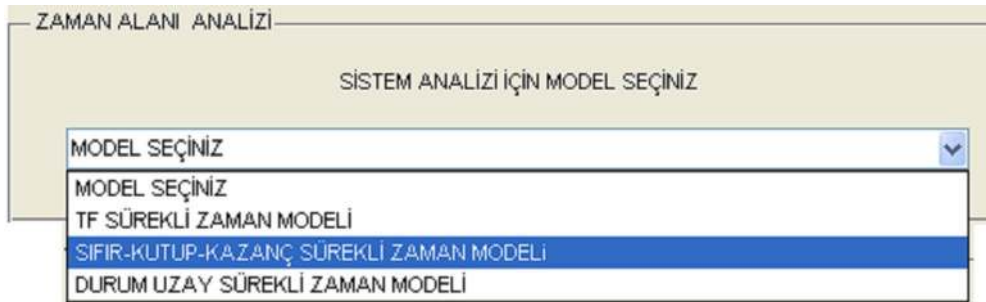
5.2.3. Sıfır-Kutup-Kazanç formu

Sıfır-kutup-kazanç formunda transfer fonksiyonu;

$$G(s) = \frac{(s+5)}{(s+1)(s+2)}$$

şeklinde verilmiş olan bir sistemin, kontrol edilebilirliğini, gözlenebilirliğini ve kararlılığını test edebilir ve basamak veya ani darbe tepkilerinden birisi çizdirilebilir. Burada basamak tepkisi çizdirilmiş ve ekran görüntüsü verilmiştir. Bunun için ilk önce aşağıdaki komut sırası izlenerek dönüşüm modeli uygulamalarını içeren arayüz çalıştırılır.

>>anamenu\sürekli zaman modeli uygulamaları/zaman alanı analizi\sıfır-kutup-kazanç sürekli zaman modeli



Şekil 5.14. Zaman alanı analizi model seçim arayüzü

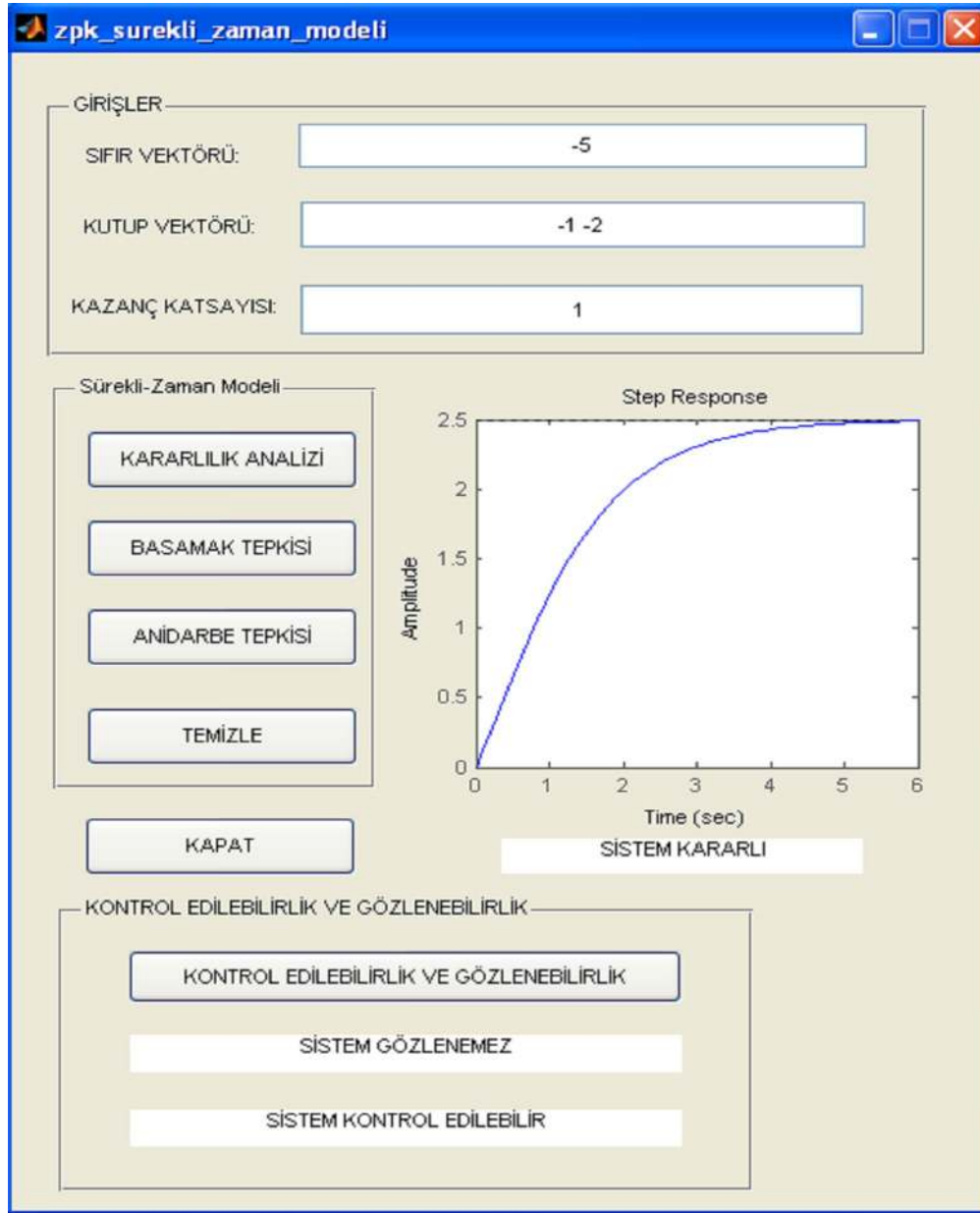
Yukarıdaki gibi transfer fonksiyonu verilen bir sistemin matlab ortamındaki gösterimi;

$$\frac{(s+5)}{(s+1)(s+2)}$$

şeklinde dir. Bu ifade Control Toolbox kullanımlarında vektörel olarak ifade edilmektedir.

```
sıfır=[-5]
kutup=[-1 -2]
kazanç=[1]
```

Yukarıdaki vektörel ifadelerin arayüzdeki kullanımı şekil 5.15’de olduğu gibidir.



Şekil 5.15. Sıfır-kutup-kazanç formunun zaman alanı analizi arayüzü

Hangi işlemler yapılmak isteniliyor ise o işlemlerin butonlarına basılır. Sistemin kararlılığını test etmek için “KARARLILIK ANALİZİ” yazan butona, basamak tepkisini çizdirmek için “BASAMAK TEPKİSİ” yazan butona, ani darbe tepkisini çizdirmek için “ANİDARBE TEPKİSİ” yazan butona basılır. Kontrol edilebilirliği ve gözlenebilirliğini test etmek için “KOTROL EDİLEBİLİRLİK VE GÖZLENEBİLİRLİK” yazan butona basılır.

5.3. Kesikli (Ayrık) Zaman Modeli

Transfer fonksiyonu;

$$G(z) = \frac{2z^2 - 3}{z^3 - 3z^2 + z + 3.3}$$

$$T_s = 0.01;$$

şeklinde verilmiş olan kesikli (ayrık) sistemin, örnekleme zamanı 0.01 sn olacak şekilde; kararlılığı test edilebilir, bode eğrisini çizdirilebilir ve sistemin kutup ve sıfırları bulunabilir. Bunun için ilk önce aşağıdaki komut sırası izlenerek kesikli (ayrık) zaman modeli uygulamalarını içeren arayüz çalıştırılır.

```
>>anamenu\kesikli(ayrık) zaman modeli uygulamaları\transfer fonksiyonu modeli
```

Yukarıdaki gibi transfer fonksiyonu verilen bir ayrık sistemin matlab ortamındaki gösterimi;

$$\frac{2z^2 - 3}{z^3 - 3z^2 + z + 3.3}$$

Örnekleme zamanı: 0.01

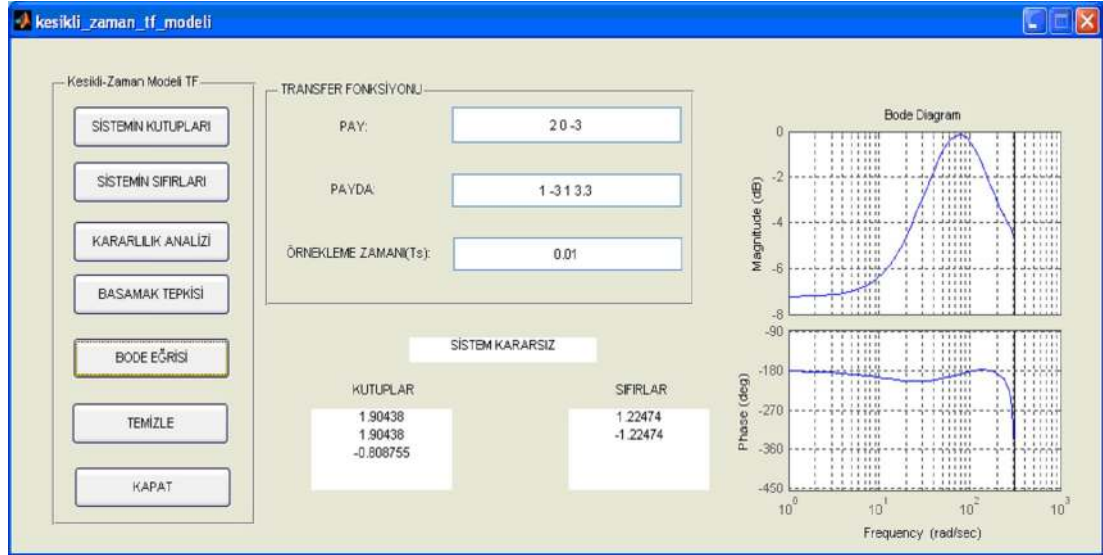
şeklindedir. Bu ifade Control Toolbox kullanımlarında vektörel olarak ifade edilmektedir.

$$\text{Pay} = [2 \ 0 \ -3]$$

$$\text{Payda} = [1 \ -3 \ 1 \ 3.3]$$

Örnekleme Zamanı=0.01

Yukarıdaki vektörel ifadelerin arayüzdeki kullanımı şekil 5.16’da olduğu gibidir.



Şekil 5.16. Kesikli zaman transfer fonksiyonu modeli analizi arayüzü (bode eğrisi)

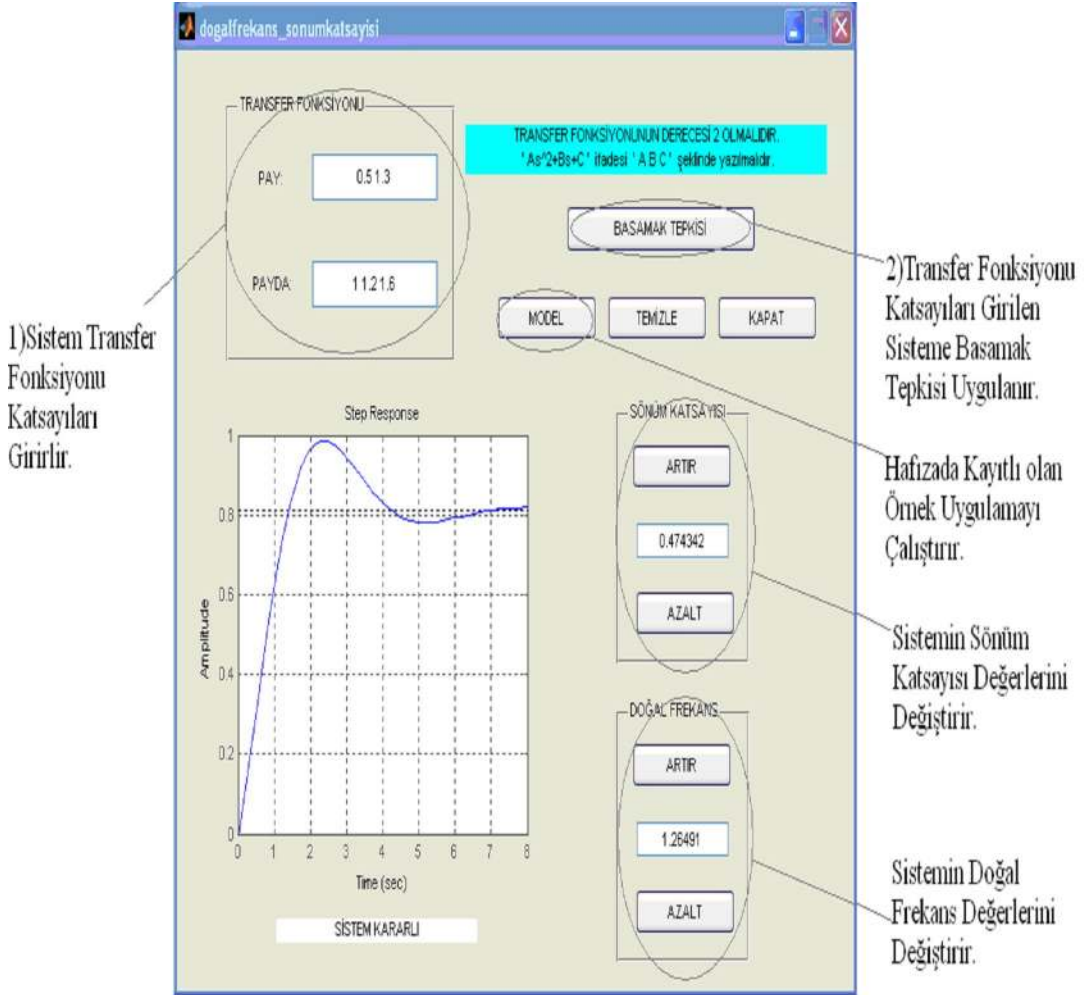
5.4. Sönüm Katsayısı ve Doğal Frekans

Sönüm katsayısı ve doğal frekansın değişimlerinin sisteme etkilerinin değişimlerini incelemek için ilk önce aşağıdaki komut sırası izlenerek bu işlemleri yapacak olan ara yüz çalıştırılır.

```
>>anamenu\değişkenlerin sistemlere etkileri\sönüm katsayısı ve doğal frekansın sistemlere etkileri
```

Burada ilk olarak verilmiş olan sistemin transfer fonksiyonunun katsayıları girilir. “BASAMAK TEPKİSİ” yazan butona basıldığında sistemin basamak tepkisi grafiği çizdirilerek sönüm katsayısı ve doğal frekans değerleri hesaplanacaktır. Sönüm katsayısı ve doğal frekans değerlerini değiştirmek için “ARTIR” ve “AZALT” butonları kullanılır ve böylelikle basamak tepkisindeki değişimleri incelenebilir. Arayüzün kullanımının anlaşılmasını kolaylaştırmak için “MODEL” yazılı butona basıldığında hafızada kayıtlı olan transfer fonksiyonu katsayı değerleri girilecek,

sönüm katsayısı ve doğal frekans değerleri hesaplanarak görüntülenecek ve basamak tepkisi eğrisi çizdirilecektir.



Şekil 5.17. Doğal frekans ve sönüm katsayısının sisteme etkisi arayüzü

Burada katsayıları girilecek olan transfer fonksiyonunun 2. dereceden olmasına dikkat edilmesi gerekir. Çünkü arayüzde üzerinde işlem yapılan sistemin matematiksel modeli aşağıda olduğu gibidir.

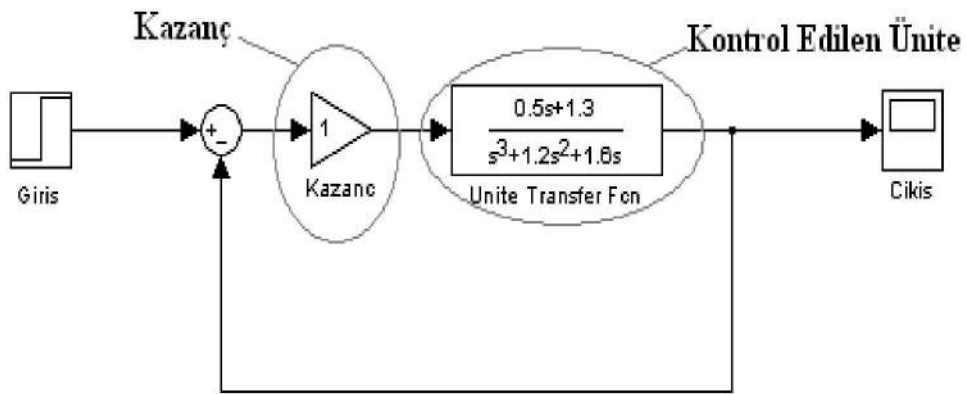
$$s^2 + 2\delta\omega_n s + \omega_n^2 \quad (5.1)$$

Burada ζ 'nin sönüm katsayısı ve ω_n 'nin doğal frekans olduğu unutulmamalıdır.

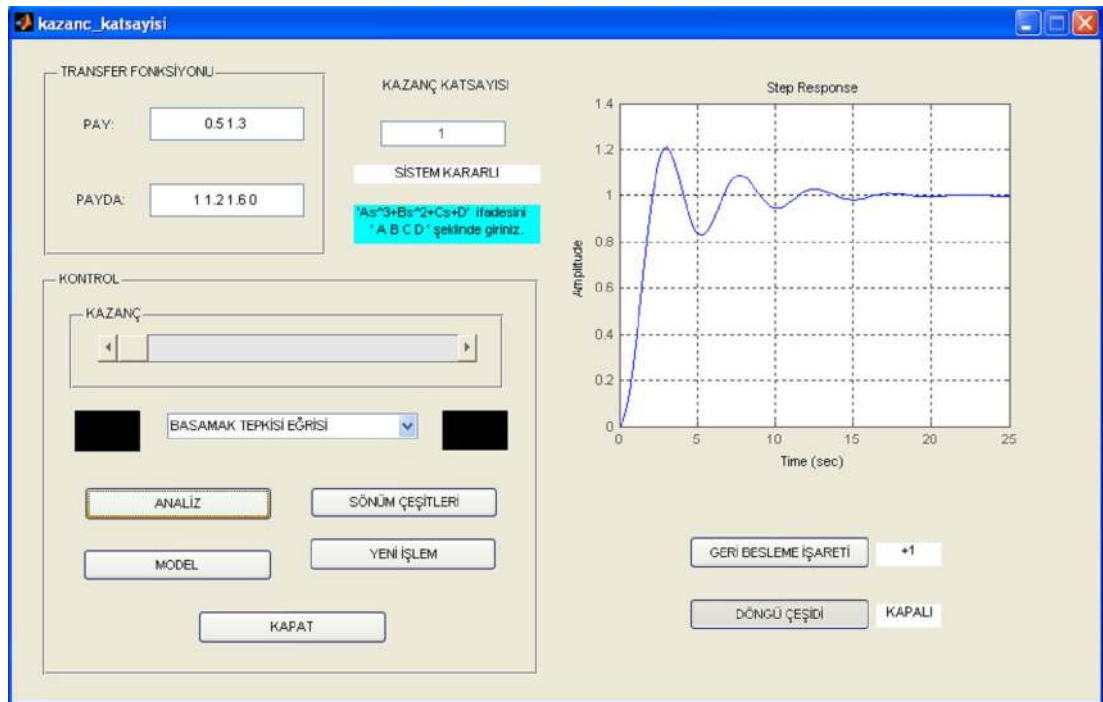
5.5. Kazancın Sisteme Etkisi

Kazancın bir sisteme etkisini kapalı döngü bir sistem üzerinde açık ve kapalı döngü olacak şekilde incelenecek olursa ilk önce aşağıdaki komut sırası izlenerek bu işlemleri yapacak olan arayüz çalıştırılır.

>>anamenu\değişkenlerin sistemlere etkileri\kazancın sisteme etkisi



Şekil 5.18. Kapalı döngü bir kontrol sistemi blok diyagramı



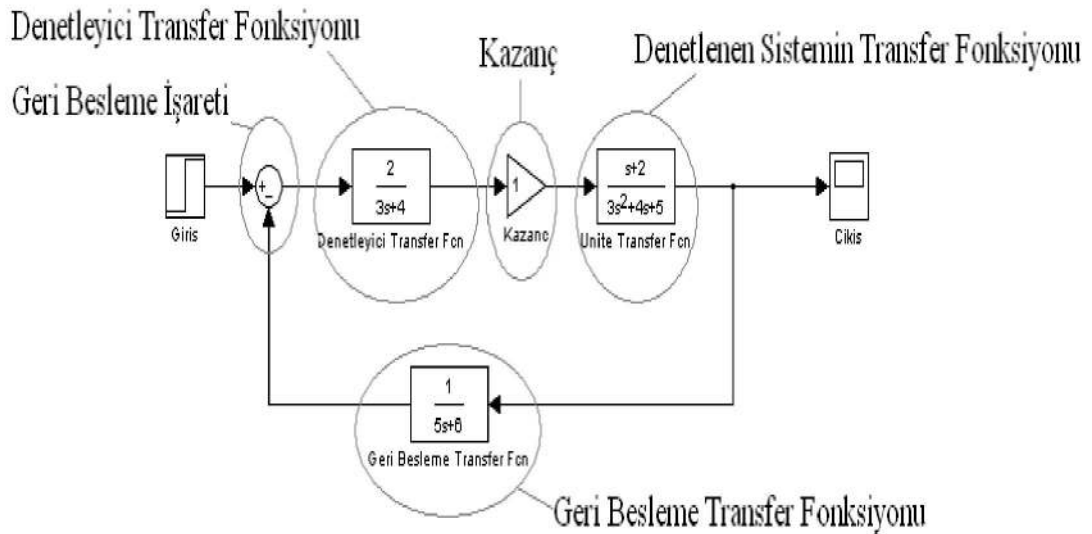
Şekil 5.19. Kazanç katsayısı değişimi analizi arayüzü

Şekil 5.18.'deki sistemde kontrol edilen ünitenin transfer fonksiyonunun katsayıları Şekil 5.19'da görünen arayüzdeki "TRANSFER FONKSİYONU" paneline yazılır. Geri besleme işareti ve sistemin açık veya kapalı döngü olma durumu belirlenir. "ANALİZ" butonuna basılarak sistemin basamak tepkisi çizdirilir. Kazanç değerleri "KAZANÇ" kaydırma çubuğu ile değiştirilerek sistem tekrar analiz edilir. İstenildiği takdirde kazanç değeri klavyeden de girilebilir. Böylelikle kazanç katsayısının değişimine bağlı olarak basamak tepkisinde meydana gelen değişimin ve kazancın sistem üzerindeki etkisinin izlenmesine olanak sağlar.

5.6. Açık/Kapalı Döngü Kontrol Sistemi

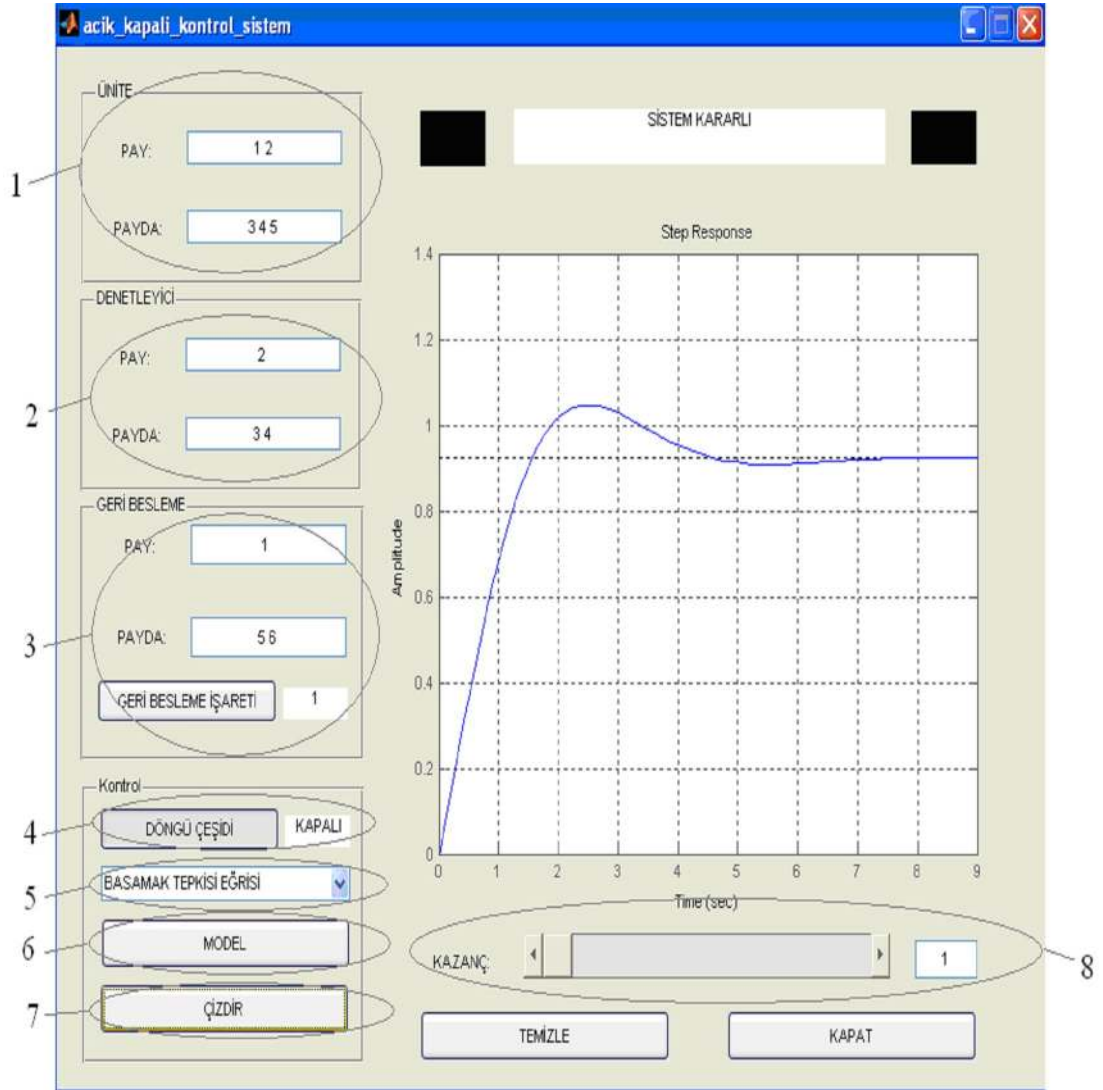
Aşağıdaki gibi denetleyicili, geri besleme transfer fonksiyonu içeren, kazanç değeri değiştirilebilen ve kontrol edilen ünitenin mevcut olduğu bir sistemin eğrileri çizdirilip ve kararlılığı test edilecektir. Bunun için önce aşağıdaki komut sırası izlenerek bu işlemleri yapacak olan arayüz çalıştırılır.

>>anamenu\değişkenlerin sistemlere etkileri\ Denetleyicili Sistem(Açık/Kapalı Döngü) Uygulaması



Şekil 5.20 Kapalı döngü denetleyicili kontrol sistemi blok diyagramı

Yukarıda verilmiş olan kapalı döngü bir sistemin açık ve kapalı döngü durumlarında, Basamak Tepkisi, Bode, Nyquist, Kök-Yer Eğrileri çizimini yapan arayüzdeki; “1” numaralı panele denetlenen ünitenin transfer fonksiyonunun katsayıları, “2” numaralı panele denetleyicinin transfer fonksiyonunun katsayıları, “3” numaralı panele geri besleme transfer fonksiyonunun katsayıları girilir ve geri besleme işareti(+/-) belirlenir. “4” numaralı buton vasıtası ile sistemin açık veya kapalı döngü olma durumu ayarlanır. “5” numaralı kısımda çizdirilmek istenen eğri çeşidi belirlenir. “8” numaralı kısımda sistemin kazanç katsayısı ayarlanır. “7” numara ile gösterilen butona basıldığında istenilen eğri çizdirilerek görüntülenir. “6” numaralı buton kullanılarak hafızaya kayıt edilmiş olan sistem modeli çalıştırılabilir.

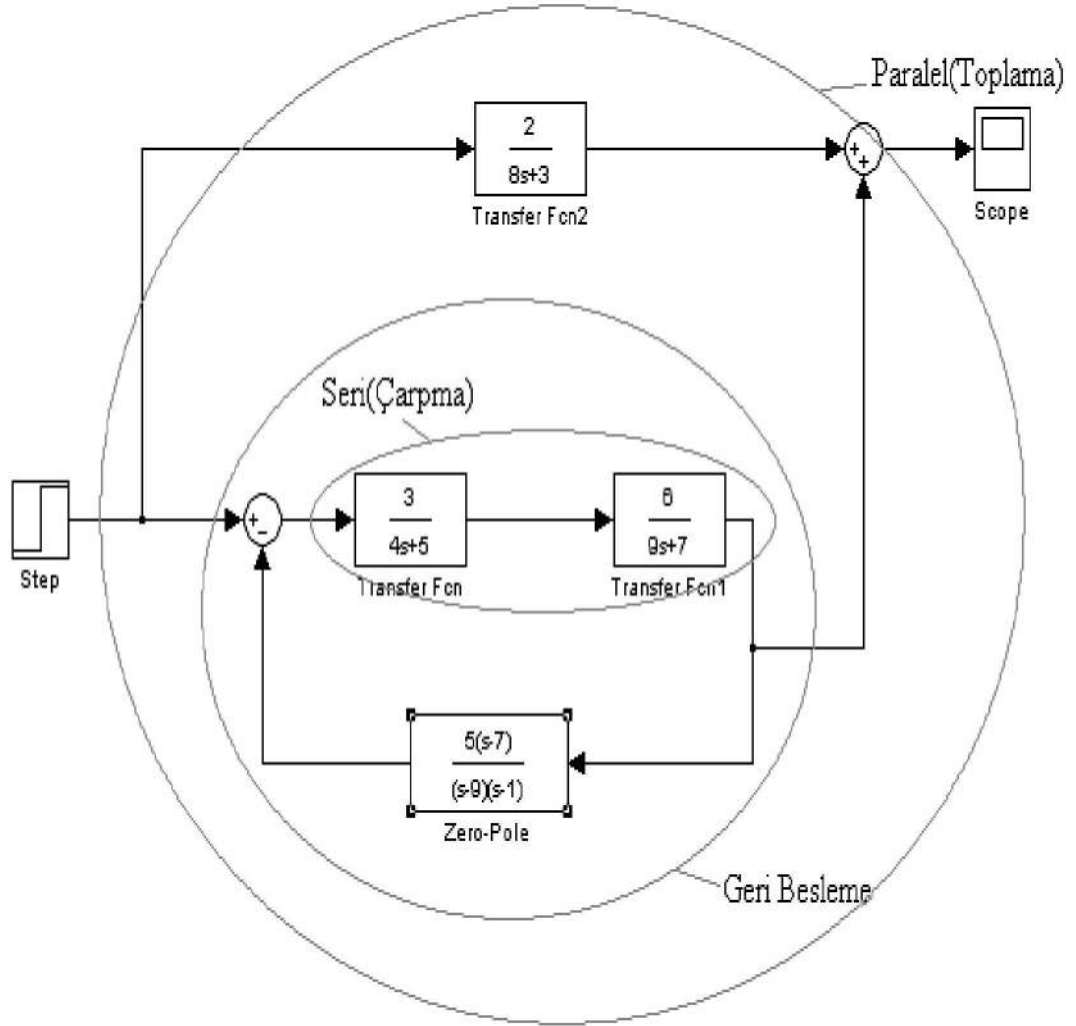


Şekil 5.21. Kapalı döngü denetleyicili kontrol sistemi analizi arayüzü

5.7. Blok Diyagram İşlemleri

Kontrol sistemlerinde blok diyagramları işlemleri üç çeşittir.

Seri(Çarpım), Paralel(Toplama), Geri Besleme(Feedback) 'dir.



Şekil 5.22. Kapalı döngü bir sistemin blok diyagramı

Şekil 5.22'deki gibi blok diyagramı verilen sistemlerin işlemlerinin yapılabilmesi için bu arayüz tasarlanmıştır. Yapılan işlemlerin sonuçları komut penceresinde görüntülendiği unutulmamalıdır. Bu arayüzde seri(çarpma) işleminin yapılabilmesi için A ve B panellerine transfer fonksiyonları katsayıları yazılır. AxB(seri) butonuna basılarak çarpma işlemi yapılır.

blok_islemleri

GİRİŞLER

A:

PAY: 3

PAYDA: 45

B:

PAY: 6

PAYDA: 97

C:

SIFIR: 7

KUTUP: 91

KAZANÇ: 5

D:

SIFIR:

KUTUP:

KAZANÇ:

İŞLEMLER

A+B (PARALEL)

A+C (PARALEL)

C+D (PARALEL)

AXB (SERİ)

AXC (SERİ)

CXD (SERİ)

A>GERİBESLEME B

A>GERİBESLEME C

C>GERİBESLEME D

C>GERİBESLEME A

HAFIZA

G1:

PAY: 2

PAYDA: 83

TEMİZLE

A<AKTAR

B<AKTAR

G2:

PAY: 18

PAYDA: 36 73 35

TEMİZLE

A<AKTAR

B<AKTAR

G3:

PAY: 18 -180 162

PAYDA: 36 -287 371 397 -315

TEMİZLE

A<AKTAR

B<AKTAR

G4:

PAY:

PAYDA:

TEMİZLE

A<AKTAR

B<AKTAR

G5:

PAY:

PAYDA:

TEMİZLE

A<AKTAR

B<AKTAR

G6:

PAY:

PAYDA:

TEMİZLE

A<AKTAR

B<AKTAR

G7:

PAY:

PAYDA:

TEMİZLE

A<AKTAR

B<AKTAR

G8:

PAY:

PAYDA:

TEMİZLE

A<AKTAR

B<AKTAR

SONUÇ

SONUÇLAR KOMUT PENCERESİNDE GÖRÜNTÜLENİR

FONKSİYONLAR

TEMİZLE

EĞRİLER-KONTROL-GÖZLEM

MODEL DÖNÜŞÜMLERİ

YENİ UYGULAMA

Şekil 5.23. Blok diyagramı işlemleri arayüzü

Seri(Çarpma) İşlem Sonucu:

Transfer function:

$$\frac{18}{36 s^2 + 73 s + 35}$$

elde edilen yeni transfer fonksiyonu katsayıları G2 hafızasına kayıt edilir. Geri besleme işlemi için sıfır-kutup-kazanç formundaki fonksiyon C paneline yazılır. G2 hafızasındaki transfer fonksiyonu katsayı değerleri A paneline aktarılarak geri besleme işareti belirlendikten sonra geri besleme işlemi yapılır ve elde edilen yeni transfer fonksiyonu katsayı değerleri G3 hafızasına kayıt edilir.

Geri Besleme İşlem Sonucu:

```
Transfer function:
      18 s^2 - 180 s + 162
-----
36 s^4 - 287 s^3 - 371 s^2 + 397 s - 315
```

paralel(toplama) işlemi yapılması için G1 hafızasında kayıtlı transfer fonksiyonu katsayı değerleri A paneline, G3 hafızasındaki transfer fonksiyonu katsayı değerleri B paneline aktarılır. A+B(paralel) butonuna basılarak sistemin transfer fonksiyonu elde edilmiş olur.

Paralel Toplam İşlem Sonucu = Sistem Transfer Fonksiyonu:

```
Transfer function:
      72 s^4 - 430 s^3 - 644 s^2 + 1550 s - 144
-----
288 s^5 - 2188 s^4 + 2107 s^3 + 4289 s^2 - 1329 s - 945
```

5.8. Laplace Dönüşümü

Laplace dönüşümü yapılacak fonksiyon girilir ve “LAPLACE DÖNÜŞÜM” butonuna basılır ise;

“3*t-2*cos(t)” fonksiyonu için komut penceresinde;

“L = 3/s^2 - (2*s)/(s^2 + 1)” ifadesi yer alır.

“3/s^2-2*s/(s^2+1)” ifadesi için ters Laplace dönüşümü alınırsa komut penceresinde;

“TERS_L = $3*t - 2*\cos(t)$ ” fonksiyonu görüntülenir.

Başlangıç değerleri verilen denklemin Laplace dönüşümü alınacak olursa;

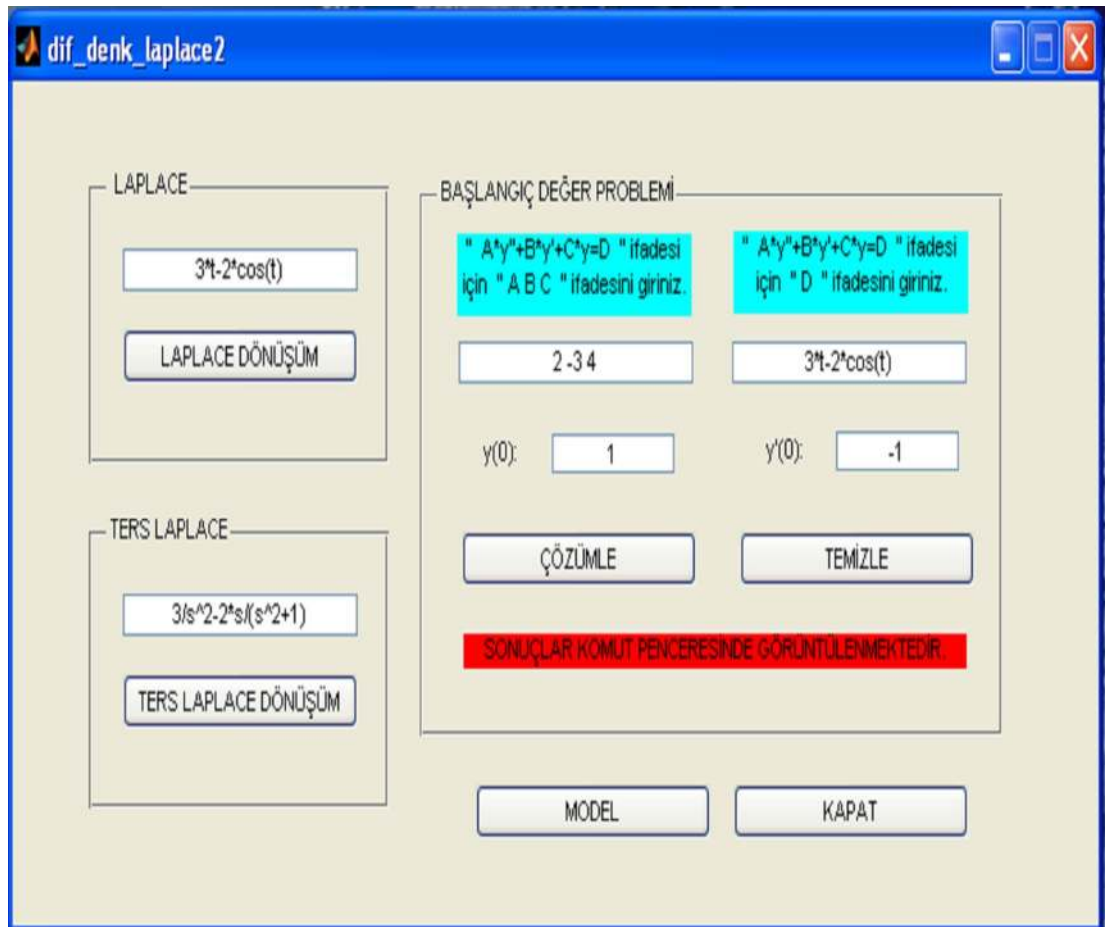
“ $2*y'' - 3*y' + 4*y = 3*t - 2*\cos(t)$, $y(0)=1$, $y'(0)=-1$ ” ifadesi için,

Komut penceresinde;

“SONUC =

$(3*t)/4 - (4*\cos(t))/13 + (6*\sin(t))/13 + (155*\exp((3*t)/4)*(\cos((23^{1/2}*t)/4) - (461*23^{1/2}*\sin((23^{1/2}*t)/4))/713)/208 + 9/16$ ”

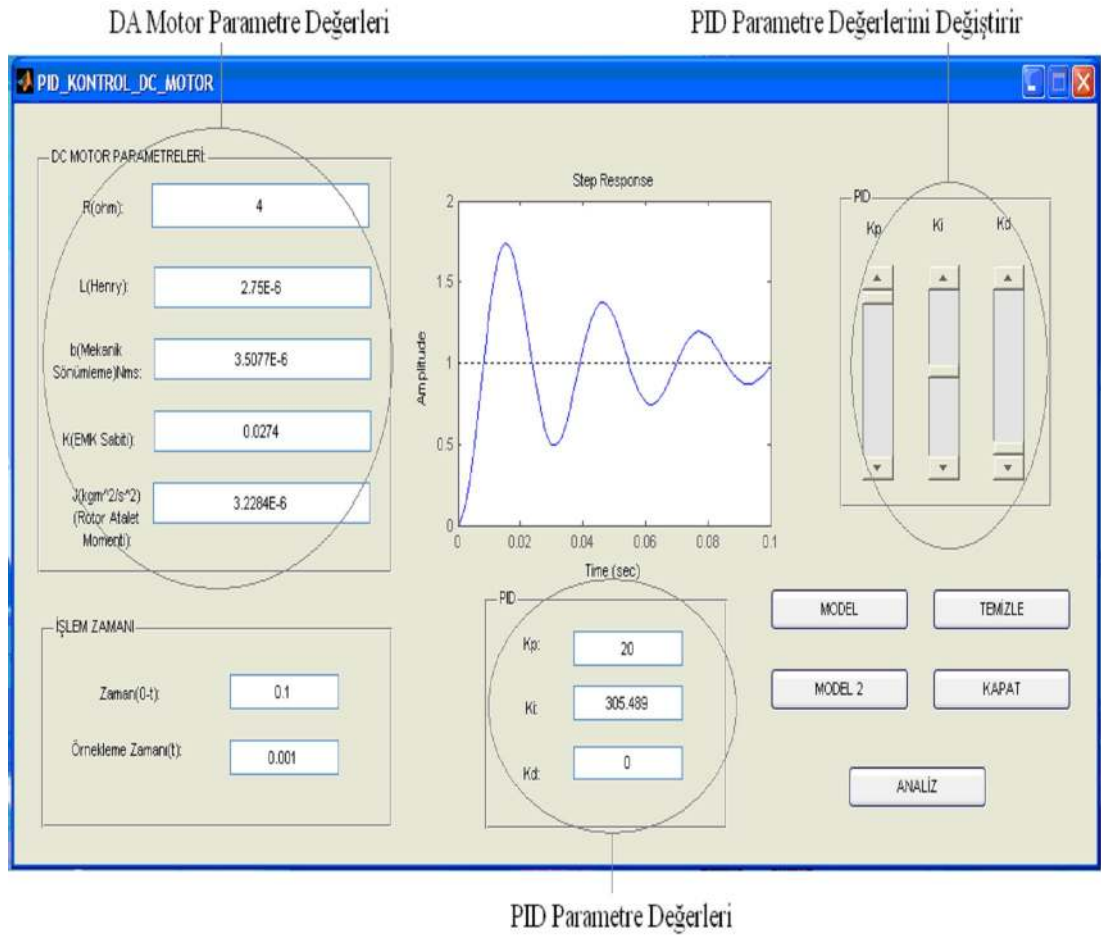
ifadesi görüntülenir.



Şekil 5.24. 2.dereceden diferensiyel denklemlerin laplace dönüşümü arayüzü

5.9. DA Motorun PID Denetleyici İle Kontrolü Analizi

DA motorunun parametreleri girilerek analiz bitiş ve örnekleme zamanı belirlenir. PID denetleyici parametre değerlerini değiştirmek için kullanılan kaydırma çubukları ile PID denetleyici parametre değerleri belirlenir. İstenilirse bu değerler klavyeden de girilebilir. “ANALİZ” butonuna basılarak basamak cevabı eğrisi çizdirilir. Kaydırma çubukları ile PID parametre değerleri değiştirilerek basamak cevabı üzerindeki değişimler incelenebilir. Arayüzün kullanımını kolaylaştırmak için “MODEL” butonlarına farklı örnekler de kayıt edilmiştir.



Şekil 5.25. DA motorun PID denetleyici ile kontrolü arayüzü

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Matlab GUI ve Simulink de yapılan arayüz ve benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Kontrol sistemleri derslerinde sistemlerin analizlerinde yapılan işlemler bilgisayar ortamında çözdürülerek daha doğru ve zaman kaybı olmaksızın sonuçlara ulaşılabilmesi için imkân sağlanmıştır. Öğrenciler tarafından anlaşılması zor olan soyut kavramlar somutlaştırılarak daha anlaşılır hale getirilmiştir. Hesaplamalar sonucunda logaritmik kağıda çizdirilen grafikler bilgisayar ortamında çizdirilerek daha net sonuçlara ulaşılabilmesine imkan sağlanmıştır. Sistemlerin analizleri için yapılan işlemlerdeki parametre değerlerinde meydana gelen değişikliklerin sonuçları nasıl etkilediğinin izlenmesine ve karşılaştırılmasına imkân sağlanmıştır. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen deneyler sanal ortamda gerçekleştirilerek ekonomik açıdan fayda sağlanmıştır. Bu çalışmanın daha önceden yapılan eğitim setlerinden en büyük farkı, simulink uygulamaları içermesidir.

6.2. Öneriler

Matlab GUI ve Simulink de yapılan arayüz ve benzetim çalışmalarından elde edilen sonuçlara göre öneriler aşağıda verilmiştir.

Yapılan bu arayüz ve benzetim çalışmalarının internet tabanlı kullanılır hale getirilmesi ve son yıllarda büyük gelişmeler gösteren uzaktan eğitim modelinde ilgili modelinde ilgili bölümlerin kontrol teori derslerinde kullanılabilir hale getirilmesi düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Yüksel, İ., “Otomatik Kontrol”, *Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı VIPAŞ Yayınları*, Bursa, 31-35, 196-210 (2001).
2. Yağsan, O. “Bir Operatörsüz Vinç İçin PID Ve Genetik Algoritma Temelli Minimum Salımlı Konum Kontrolü”, Yüksek lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üni. F. B. E.*, İstanbul, 13-18 (2006).
3. Sancar, Ü. “Kontrol Sistemleri Analizi İçin Matlab’da Kullanıcı Arayüzü Tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi F. B. E.*, Sakarya, 1-3, 14-15, 90-98 (2002).
4. Emmanuel, A., Gonzalez, M., Christian G., Leonor, P., Anne, T. M., Mangulabnan, John Jessie S. Lu Chui Kau, Marlon Wilson U. Reyes, “An Educational Tool for Teaching Linear and Control Systems”, *37. ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*, October 10 – 13 (2007).
5. Saydere, Ş. “A Matlab Based Educational Tool For Control Courses”, Yüksek Lisans Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi F. B. E.*, Ankara, 22-23 (2002).
6. Dumanay, A.B., “PID, Bulanık Mantık Ve Kayan Kip Kontrol Yöntemleri İle İnternet Üzerinden DC Motor Hız Kontrolü”, Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Balıkesir, 15-25 (2009).
7. Yeung, K., Huang, J., “Development of a remote access laboratory: a dc motor control experiment”, *Computers in Industry*, 52 (3): 305-311 (2003).
8. Gustavsson, I., “Remote laboratory experiments in electrical engineering education”, *Proceedings of the 4th. IEEE International Caracas Conference on Devices, Circuits and Systems*, Aruba, 1-5 (2002).
9. Turan, A., Bogosyan, S., Gokasan, M., “Development of a client-server communication method for MATLAB/Simulink based remote robotics experiments”, *Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Montreal, Quebec*, Canada, 3201-3206 (2006).
10. Abur A., Magnago F., Lu Y., “Educational Toolbox For Power System Analysis”, *Texas A&M Üniversitesi*, America, 31-35 (2000).
11. Ayasun S., Nwankpa C.O., ve Kwatny H. G., “Voltage Stability Toolbox for Power System Education and Research”, *IEEE Transactions On Education*, November, 49(4):432-442 (2006).
12. Foulloy L., Boukezzoula R., ve Galichet S., “An Educational Tool for Fuzzy Control”, *IEEE Transactions On Fuzzy Systems*, April, 14(2):217-221 (2006).

13. Armando, A. Rodriguez, Mark F. DeHerrera, Richard P. Metzger Jr. "An Interactive MATLAB-Based Tool for Teaching Classical Systems and Controls", ***Department of Electrical Engineering Center for System Science and Engineering Arizona State University*** Tempe, June AZ 85287-7606,(1996).
14. Kuo, C., Hsieh, J., Zare F., Ledwich, G., "An Interactive Educational Learning Tool for Power Electronics", ***Queensland University of Technology***, Australia 1-6 (2005)
15. Costas D., Vournas, E. G., Potamianakis, C. M., Thierry Van Cutsem, "An Educational Simulation Tool for Power System Control and Stability", ***IEEE Transactions On Power Systems***, February, 19(1):48-55 (2004).
16. Xiao, J., Dai, B, Chung, C.Y., Wong K.P., "An Educational Simulation Tool for Power System Stability Studies", ***DRPT2008***, Nanjing China April 6-9 (2008)
17. Erkan, Ö., "Kontrol Sistemlerinin Modellenmesi ve PID Kontrolü" Yüksek Lisans Tezi, ***İstanbul Teknik Üniversitesi F.B.E.***, İstanbul, 1-103 (2006).
18. Knudsen, M. H., "Experimental modeling of dynamic systems: and educational approach", ***IEEE Transactions on Education***, February, 49(1): 29-38 (2006).
19. Leva, A., "A hands-on experimental laboratory for undergraduate courses in automatic control," ***IEEE Transactions on Education***, May, 46(2):263-272 (2003).
20. Schaufelberger, W., "Design and implementation of software for control education", ***IEEE Transactions on Education***, Augst, 33(3): 291-297 (1990).
21. Koku, A. B. ve Kaynak, O., "An Internet-assisted experimental environment suitable for the reinforcement of undergraduate teaching of advanced control techniques", ***IEEE Transactions on Education***, February, 44(2): 24-28 (2003).
22. Gonzalez, E. A., Caluyo, F. S., Coronel, J. B., "An assessment on the built-in control education in the electronics and communications engineering curriculum of De La Salle University – Manila (May 2000 to December 2005)," ***Proc. AUN-SEED-NET Fieldwise Seminar in Contr. Eng. Chulalongkorn University***, Bangkok, Thailand, Mar. 16-17, (2006).
23. Bernstein, D. S., "Enhancing undergraduate control education", ***IEEE Contr. Syst. Mag.***, Oct, 40-43 (1999).
24. Thomas, N. Poongodi, P., "Position Control of DC Motor Using Genetic Algorithm Based PID Controller", ***Proceedings of the World Congress on Engineering***, Vol II WCE 2009, London, U.K. July, 1 – 3 (2009).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÖZLÜK, Mehmet Fatih
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 01.07.1984
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (505) 659 06 40
e-mail : mfatih.ozluk@gmail.com

Eğitim Derece

Eğitim Birimi

Mezuniyet tarihi

Lisans	Gazi Üniversitesi/ Elektrik öğrt.	2008
Lise	Karabük Anadolu Meslek Lisesi	2002

İş Deneyimi

Yıl

Yer

Görev

2005	Tesla Elektrik Proje	Staj
2006	Burç Asansör	Staj

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Hobiler

Kitap okuma, Bilgisayar teknolojileri, Spor