

T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GENETİK ALGORİTMA YÖNTEMİ İLE KASKAD SİSTEMLER
İÇİN
OPTİMUM KONTROLÖR TASARIMI

Meltem Ayzer ERDOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

DİYARBAKIR
Temmuz 2011

T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GENETİK ALGORİTMA YÖNTEMİ İLE KASKAD SİSTEMLER
İÇİN
OPTİMUM KONTROLÖR TASARIMI

Meltem Ayzer ERDOĞAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK - ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DIYARBAKIR
Temmuz 2011

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ
DİYARBAKIR

Meltem Ayzer ERDOĞAN tarafından yapılan “Genetik Algoritma Yöntemi İle Kaskad Sistemler İçin Optimum Kontrolör Tasarımı” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. İbrahim KAYA

Üye : Yrd.Doç.Dr. Mustafa NALBANTOĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Sezai ASUBAY

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 27.06.2011

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

..../...../.....

Prof. Dr. Hamdi TEMEL

Enstitü Müdürü

TEŐEKKÖR

Bu tezin hazırlanmasında; çalıőmalarımın baőından sonuna kadar desteğini, yardımlarını ve önerilerini benden esirgemeyen; bilgi birikimlerini ve değerli zamanını benimle paylaőan Sayın Doç. Dr. İbrahim KAYA'ya teőekkÖrlerimi sunarım.

Ayrıca tezin hazırlanmasında benden yardımlarını esirgemeyen Sayın Yrd. Doç. Dr Mustafa NALBANTOğLU'na katkıları için çok teőekkÖr ederim.

YÖksek Lisans Eęitimim sırasında tezimi tamamlayabilmem için gÖsterdiği mÖsamaha, anlayıő ve eğitime verdiği değer için Diyarbakır Valiliği İl Yazı İőleri MÖdÖrÖmÖz Sayın Filiz AKMEN ve mesai arkadaşlarıma ve hayatımın her anında olduğu gibi tez çalıőmalarım boyunca da; desteklerini ve sevgilerini benden esirgemeyen değerli AİLEM' e ve tÖm sevdiklerime teőekkÖr ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	VI
ABSTRACT	VII
ÇİZELGE LİSTESİ	VIII
ŞEKİL LİSTESİ	IX
EK LİSTESİ	XII
KISALTMA VE SİMGELER	XIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı Önemi ve Yöntemi.....	1
1.2. Tezin Yapısı.....	3
2. OTOMATİK KONTROL SİSTEMLERİ	5
2.1. Bir Kontrol Sisteminin Elemanları.....	5
2.1.1 Açık Çevrim Kontrol Sistemleri.....	5
2.1.2 Kapalı Çevrim Kontrol Sistemleri.....	5
2.2. Geçiş Fonksiyonu.....	6
2.2.1 İleri Yöndeki Geçiş Fonksiyonu.....	9
2.2.2 Açık Çevrim Geçiş Fonksiyonu	9
2.2.3 Hata Çevrim Geçiş Fonksiyonu	9
2.2.4 Kapalı Çevrim Geçiş Fonksiyonu	9
2.3 Sistemler.....	10
2.3.1 Kararlı Sistemler.....	10
2.3.2 Kararlılık Analizi.....	10
2.3.2.1 Routh-Hurwitz Kararlılık Kriteri.....	11
2.3.2.2 Nyquist Eğrisi.....	12
2.3.2.3 Bode Diyagramları.....	13
2.3.3 Kararsız Sistemler.....	14

2.3.4	İntegratörlü Sistemler.....	15
2.4	PID Kontrolör Yapı Kombinasyonları.....	15
2.4.1	P Kontrolör Yapısı.....	16
2.4.2	I ve PI Kontrolör Yapısı.....	16
2.4.3	D ve PD Kontrolör Yapısı.....	18
2.4.4	PID Kontrolör Yapısı.....	19
2.4.5	Kaskad Kontrol Sistemler.....	21
3.	GENETİK ALGORİTMA.....	25
3.1.	Genetik Algoritmanın Tarihçesi.....	25
3.2.	Genetik Algoritma Nedir.....	25
3.3.	Genetik Algoritmalar Sözlüğü.....	27
3.4.	Genetik Algoritmanın Uygulama Alanları.....	29
3.5.	Genetik Algoritma ile Geleneksel Yöntemler Arasındaki Farklar.....	30
3.6.	Genetik Algoritmanın Avantajları.....	32
3.7.	Kodlama.....	33
3.7.1	İkili Kodlama.....	33
3.7.2	Dizilim Kodlaması.....	34
3.7.3	Reel Gerçel Kodlama.....	34
3.7.4	Ağaç Kodlaması.....	35
3.7.5	İlk Popülasyonun Oluşturulması.....	36
3.7.6	Uygunluk Değerinin Hesaplanması.....	36
3.7.7	Çoğalma İşleminin Uygulanması.....	37
3.7.8	Çaprazlama İşleminin Uygulanması.....	37
3.7.9	Mutasyon İşleminin Uygulanması.....	38
3.7.10	Yeni kuşağın oluşturulması ve döngünün durdurulması.....	38
3.8.	Genetik Algoritma Parametre Seçimi.....	39
3.8.1	Populasyon Büyüklüğü.....	39
3.8.2	Çaprazlama Olasılığı.....	39
3.8.3	Mutasyon olasılığı.....	39

3.8.4	Kuşak Aralığı.....	40
3.8.5	Seçim Stratejisi.....	40
3.8.6	Fonksiyon Ölçeklemesi.....	40
3.9.	Genetik Algoritma Uygulmasına Bir Örnek	41
4	OPTİMUM KASKAD SİSTEM İÇİN KONTROLÖR TASARIM.....	43
4.1.	Amaç.....	43
4.2	Kararlı Kaskad Kontrol Sistem için Uygulama Sonuçları.....	45
4.2.1	Kararlı Kaskad Kontrol Sistemin Dış Döngü(PI)- İç Döngü (PI) Parametreleri Ayrı Ayrı Optimize edilerek elde edilen sonuçlar.....	45
4.2.2	Kararlı Kaskad Kontrol Sistemin Dış Döngü(PID)-İç Döngü (PI) Parametreleri Ayrı Ayrı Optimize edilerek elde edilen sonuçlar.....	47
4.2.3	Kararlı Kaskad Kontrol Sistemde Bütün Parametreler Birlikte Optimize Edilerek elde edilen PI-PI Kontrolör Sonuçları	48
4.2.4	Kararlı Kaskad Kontrol Sistemde Bütün Parametreler Birlikte Optimize Edilerek elde edilen PID-PI Kontrolör Sonuçları	50
4.3.	Kararsız Kaskad Kontrol Sistem için Uygulama Sonuçları.....	52
4.3.1	Kararsız Kaskad Kontrol Sistemin Dış Döngü(PI)-İç Döngü (PI) Parametreleri Ayrı Ayrı Optimize edilerek elde edilen sonuçlar.....	53
4.3.2	Kararsız Kaskad Kontrol Sistemin Dış Döngü(PID)- İç Döngü (PI) Parametreleri Ayrı Ayrı Optimize edilerek elde edilen sonuçlar.....	54
4.3.3	Kararsız Kaskad Kontrol Sistemde Bütün Parametreler Birlikte Optimize Edilerek elde edilen PI-PI Kontrolör Sonuçları	56
4.3.4	Kararsız Kaskad Kontrol Sistemde Bütün Parametreler Birlikte Optimize Edilerek elde edilen PID-PI Kontrolör Sonuçları	58
4.4	İntegratörlü Kaskad Kontrol Sistem İçin Uygulama Sonuçları.....	60
4.4.1	İntegratörlü Kaskad Kontrol Sistemin Dış Döngü(PI)- İç Döngü (PI) Parametreleri Ayrı Ayrı Optimize edilerek elde edilen sonuçlar.....	60
4.4.2	İntegratörlü Kaskad Kontrol Sistem Dış Döngü (PID) – İç Döngü (PI) Parametreleri Ayrı Ayrı Optimize Edilerek Elde Edilen Sonuçlar.....	62
4.4.3	İntegratörlü Kaskad Kontrol Sistem Bütün Parametreler Birlikte Optimize Edilerek Elde Edilen PI-PI Kontrolör Sonuçları.....	64

4.4.4	İntegratörlü Kaskad Kontrol Sistemde Bütün Parametreler Birlikte Optimize Edilerek Elde Edilen PID-PI Kontrolör Sonuçları.....	65
5	SONUÇLAR.....	67
6.	KAYNAKLAR.....	69
	EKLER.....	72
	ÖZGEÇMİŞ.....	81

ÖZET

GENETİK ALGORİTMA YÖNTEMİ İLE KASKAD SİSTEMLER İÇİN OPTİMUM KONTROLÖR TASARIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Meltem Ayzer ERDOĞAN

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

2011

Uzun zaman gecikmeli ve standart geri beslemeli kontrol sistemleri, güçlü bozucular karşısında iyi performans verememektedirler. Kaskad kontrol, özellikle öngörülme-yen bozucuların varlığında bir kontrol sisteminin performansını arttırmak için tek geri beslemeli kontrol sistemlerinin bir alternatifidir.

Literatürdeki çalışmalarda, kaskad kontrol sistem tasarımında referans giriş ele alınarak kontrolörlerin ayar parametreleri elde edilmiştir. Bu çalışmada ise, bozucu sinyal referans alınarak kontrolörler tasarlanmıştır.

Yapılan çalışmada kaskad kontrol sistemi, kararlı, kararsız ve integratörlü sistemler için GA kullanılarak bozucu ve referansa göre ayrı ayrı optimize edilmiş, sistemin referans+bozucunun varlığında nasıl bir sonuç gösterdiği gözlemlenmiştir.

Sonuçta bozucu referans alınarak optimize edilen kaskad kontrol sistemlerin bozucular karşısında daha üstün performans sağladığı gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaskad Kontrol Sistemi, Genetik Algoritma, Kararlı Sistem, Kararsız Sistem, İntegratörlü Sistem, PI Kontrolör, PID Kontrolör.

ABSTRACT

OPTIMUM CASCADE SYSTEMS DESIGNS USING GENETIC ALGORITHM MASTER THESIS

Meltem Ayzer ERDOĞAN

DİCLE UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING

2011

Long time delay and standart feed back control systems cannot result in good performances in the case of strong disturbances. Cascade control is an alternative to conventional single feedback control to improve the performance of a control system, particularly in the presence of disturbances.

In Literature, Tuning parameters of controllers in cascade control scheme are obtained using referance input. In this study, controllers are designed assuming that the disturbance is more important than referance.

In this study, cascade control system has been optimized seperatley for each disturbance and referance by using genetic algorithm for stable, unstable, integratör systems. The system has been observed how to give result in the presence of the referance ve disturbance.

In result, it is shown that cascade control systems, which are optimized by the referance of disturbance, provide higher performance against the disturbances.

Key Words: Cascade Control System , Genetic Algorithm, Stable System, Unstable System, İntegrator System, PI Controller , PID Controller.

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 Routh Tablosu	1
Çizelge 3.2 İkili kodlama kullanılarak oluşturulan bireyler	33
Çizelge 3.3 Dizilim Kodlaması kullanılarak oluşturulan bireyler	34
Çizelge 3.4 Gerçek kodlama kullanılarak oluşturulan bireyler	35
Çizelge 3.5 Ağaç yapı kodlaması kullanılarak oluşturulan bireyler	35
Çizelge 3.6 Genetik Algoritmalar	41
Çizelge 3.7 Çaprazlama işlemi uygulanmış durum	41

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 2.1	Açık çevrim kontrol sistemi blok diyagramı	5
Şekil 2.2	Kapalı çevrim kontrol sistemi blok diyagramı	6
Şekil 2.3	a) Zaman domeni, b) Laplace domeni gösterimi	6
Şekil 2.4	Geçiş fonksiyonları belirlenecek sistemin blok diyagramı	9
Şekil 2.5	g_m ve Φ_m değerlerinin Nyquist eğrisinde gösterimi	13
Şekil 2.6	Kararlı bir sistemin a)Bode genlik b)Bode faz diyagramlarında g_m ve Φ_m değerlerinin gösterimi	13
Şekil 2.7	Kontrolör ve Sistemden oluşmuş geri beslemeli yapı	15
Şekil 2.8	İntegral işleminin kontrol sistemi içerisindeki konumu	17
Şekil 2.9	Adaptif kontrol edicinin basit bir şematik gösterimi	20
Şekil 2.10	Kaskad Kontrol Sistemi.	22
Şekil 3.1	İkili kodlama yapısındaki birey	26
Şekil 3.2	Genetik algoritma programı şeması	27
Şekil 3.3	$f(x) = x^2$ amaç fonksiyonu $f(x)=x^2$ amaç fonksiyonu	31
Şekil 3.4	Kapalı kutu örneği	31
Şekil 4.1	Kaskad kontrol sistem blok diyagramı	44
Şekil 4.2	İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek kararlı kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarım sonuçları ve klasik sistem ile karşılaştırması (pi-pi)	46
Şekil 4.3	İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek sisteme sadece bozucu verildiğinde kararlı kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarım sonuçları(pi-pi)	46
Şekil 4.4	İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek kararlı kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarım sonuçları ve klasik sistem ile karşılaştırması (pid-pi) için	47
Şekil 4.5	İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek sisteme sadece bozucu verildiğinde kararlı kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı (pid-pi)	48

Şekil 4.6	Bütün parametreler birlikte optimize edilerek kararlı kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarım sonuçları ve klasik sistem ile karşılaştırması (pi-pi)	49
Şekil 4.7	Bütün parametreler birlikte optimize edilerek sisteme sadece bozucu verildiğinde kararlı kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı (pid-pi)	50
Şekil 4.8	Bütün parametreler birlikte optimize edilerek kararlı kaskad kontrol sistem için optimum tasarım sonuçları ve klasik sistem ile karşılaştırması (pid-pi)	51
Şekil 4.9	Bütün parametreler birlikte optimize edilerek sisteme sadece bozucu verildiğinde kararlı kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı (pid-pi)	51
Şekil 4.10	İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek kararsız kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarım sonuçları ve klasik sistem ile karşılaştırması(pi-pi)	53
Şekil 4.11	İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek sisteme sadece bozucu verildiğinde kararsız kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı (pi-pi)	54
Şekil 4.12	İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek kararsız kaskad sistem için optimum kontrolör tasarım sonuçları ve klasik sistem ile karşılaştırması (pid-pi)	55
Şekil 4.13	İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek sisteme sadece bozucu verildiğinde kararsız kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı (pid-pi)	56
Şekil 4.14	Bütün parametreler birlikte optimize edilerek kararsız kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarım sonuçları ve klasik sistem ile karşılaştırması (pi-pi)	57
Şekil 4.15	Bütün parametreler birlikte optimize edilerek sisteme sadece bozucu verildiğinde kararsız kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı (pi-pi)	58
Şekil 4.16	Bütün parametreler birlikte optimize edilerek kararsız kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarım sonuçları ve klasik sistem ile karşılaştırması (pid-pi)	59
Şekil 4.17	Bütün parametreler birlikte optimize edilerek sisteme sadece bozucu verildiğinde kararsız kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı (pi-pi)	59
Şekil 4.18	İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek giriş referans alınarak integratörlü kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı ve klasik sistem ile karşılaştırması (pi-pi)	61

Şekil 4.19	İç döngü-dış döngü parametreleri GA kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı (pi-pi)	62
Şekil 4.20	İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek giriş referans alınarak integratörlü kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarım ve klasik sistem ile karşılaştırması (pid-pi) için	63
Şekil 4.21	İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek bozucu referans alınarak integratörlü kaskad kontrol sistem kontrolör tasarımı ve klasik sistem karşılaştırması (pid-pi) için	63
Şekil 4.22	Bütün parametreler birlikte optimize edilerek giriş referans alınarak İntegratörlü Kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı ile klasik sistem karşılaştırma sonuçları (pi-pi)	64
Şekil 4.23	Bütün parametreler birlikte optimize edilerek bozucu referans alınarak İntegratörlü Kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı (pi-pi)	65
Şekil 4.24	Bütün parametreler birlikte optimize edilerek giriş referans alınarak İntegratörlü Kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı ile klasik sistem karşılaştırma sonucu (pid-pi)	66
Şekil 4.25	Bütün parametreler birlikte optimize edilerek bozucu referans alınarak İntegratörlü Kaskad kontrol sistem kontrolör tasarımı ve klasik sistemlerle karşılaştırma sonuçları (pid-pi)	66

EKLER LİSTESİ

EK-1 :Genetik Algoritmanın Akış Diyagramı

EK-2 : Sistem kutuplarına göre kararlılık analizi

EK-3 : Kararlı Kaskad kontrol sistem Modeli

EK-4 : Kararsız Kaskad kontrol sistem Modeli

EK-5 : İntegratörlü Kaskad kontrol sistem Modeli

EK-6 : Kararlı Klasik Sistem Modeli

EK-7 : Kararsız Klasik Sistem Modeli

EK-8 : İntegratörlü Klasik Sistem Modeli

KISALTMA VE SİMGELER

$r(t)$: Zaman domeni giriş sinyali
$y(t)$: Zaman domeni çıkış sinyali
$g(t)$: Zaman domeni sistem gösterimi
$r(s)$: Laplace domeni giriş sinyali
$y(s)$: Laplace domeni çıkış sinyali
$G(s)$: Laplace domeni sistem transfer fonksiyonu
$C(s)$: Kontrolörün Laplace domeni gösterimi
$\Delta(s)$: Karakteristik denklem
g_m	: Kazanç payı
Φ_m	: Faz payı
t	: sn
ω	: Frekans
ω_{cp}	: Faz kesim frekansı
ω_{cg}	: Kazanç kesim frekansı
$G_c(s)$: Kazanç – Faz payı test edicisi transfer fonksiyonu
e	: Hata sinyali
G_{c1}	: Kaskadın ana denetleyicisi
G_{c2}	: İkincil denetleyici
d_1	: İç döngüdeki bozucu

d_2 :	: Dış döngüdeki bozucu
ISE	: Hatanın karesinin integralidir
ISTE	: Hatanın karesi ile zamanın karesinin çarpımının integralidir.
GA	: Genetik algoritma
EP	: Evrimsel programlama
ES	: Evrimsel strateji
GP	: Genetik programlama
f	: Uygunluk fonksiyonu.

1.GİRİŞ

1.1.Tezin Amacı, Önemi ve Yöntemi

Kontrol teorisi ve kontrol mühendisliği; uçak, uzay, gemi, tren ve otomobiller gibi dinamik sistemler; dönen mil, damıtma sütunları gibi kimyasal ve endüstriyel prosesler; motor, jeneratör ve güç sistemleri gibi elektriksel sistemler; nümerik kontrollü torna tezgâhı (CNC) ve robotlar gibi makinelerle ilgilenmektedir (Datta ve ark. 2000). Kontrol hayatın her alanı ile ilgilidir. Zaman içerisinde kararlı çalışması gereken tüm sistemler için gereklidir. Her bir alanın kontrol probleminde:

1. Bağımlı değişkenler vardır. Bu değişkenler “çıkış” olarak adlandırılan ve belirtilen doğrultuda davranması gerekenler “kontrol edilenler” grubudur.

2. Kesin bağımsız değişkenler vardır. Bu değişkenler “giriş” olarak adlandırılır. Örneğin; motor terminaline uygulanan gerilim veya valf pozisyonu ayarlamak ve kontrol etmek için sistemin elde edilebilir değerleridir. Diğer bağımlı değişkenler; örneğin pozisyon, hız veya sıcaklık gibi sistemden dinamik ölçümler ile elde edilebilecek değerlerdir.

3. Sisteme bilinmeyen ve tahmin edilemeyen gürültülerin de etkisi vardır. Örneğin; bir güç sistemindeki yükün dalgalanması, bir makineye ani rüzgâr esmesinin etkisi oluşan gürültünün etkisi, hava koşullu düzlemde harici hava koşullarının etkisi veya bir asansör motorunda yük torkunun yolcuların giriş çıkışı ile dalgalanması.

4. Denklemler sistem dinamiklerini tanımlamakta kullanılmaktadır ve parametreler bu denklemler içerisinde. Bu parametrelerden oluşan denklemlerle; fiziksel kurallar içerip bu kurallarla işlemler gerçekleştiren nonlineer bir sistemi ifade edebilmek olanaksızdır. Çünkü fiziksel sistemler belirsizlikler içermektedir. Örneğin; denklemler ile bir işlem noktası hakkında gereken veriler; nonlineer bir sistemin lineerleştirilmesiyle elde edilebilir. Yani işlem noktası değişirse; sistem parametreleri de değişmektedir (Datta ve ark. 2000). Bu noktada kontrolün amacı: verilmiş bir sistemin istenilen koşullarda belirli veya belirsiz zaman süresince stabil çalışabilmesini sağlamaktır. Sistemin uzun süreli çalışma performansı göstermesi gerekse bile; bu durum kararlı çalışmasını etkilememelidir. Lakin sistemler üzerinde tahmin edemediğimiz değişkenlerin etkileri de göz önüne alınırsa, ideale yakın bir çalışma verimliliği gösteren ve ihtiyaca cevap verebilen nitelikte çalışan bir sistem iyi

bir sistemdir.

Tez konusu olan Kaskad kontrol sistemleri son yıllarda endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılmaya başlandı. Bunun nedenleri olarak: 1) Birincil değişkenin daha iyi kontrol edilebilir olması ve bozuculardan daha az etkilenmesi, 2) Kaskad Kontrol Sisteminin bozuklukları daha hızlı bir şekilde yok etmesi ve sistemin dinamik performansını artırması, 3) Sistemin doğal frekansını artırması, 4) Zaman gecikmesinden kaynaklanan etkileri azaltması, sayılabilir (Yıkan 2005).

Kaskad kontrol sistemleri bir sıcaklık kontrol sisteminde doğrusal olmayan vana ve diğer kontrol elemanlarından kaynaklı problemleri ele almak için kullanılabilir ayrıca çalışma noktası değişikliklerini içeren bozucuları yok etmek için mümkün olan en hızlı yanıt ile birden fazla olan süreçleri etkinleştirmek için kullanılır (Jiangjiang ve ark. 2008).

Literatürdeki yayınlara baktığımız zaman Merkezi Klima Sistemleri için Kaskad Kontrol Sistemi tasarlanmış ve sonuçlar PID kontrolör kullanılarak Klasik Kontrol Sistemleri ile karşılaştırılmış, Nonliner Kaskad Kontrol Sistemler için Lyapunov fonksiyonları ve sabitleştirilmiş denetim yasaları kullanılmıştır, SISO Sistemlerle Optimum Kaskad PID kontrolör tasarımı yapılmış ve çift giriş ve çift çıkışlı sistemlerle auto-tuning yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır.

Lee ve diğerleri P-PI(İç döngü P dış döngü PI)ve PID-PID(iç döngü PID dış döngü PID) kontrolörlerini aynı anda hem iç hem dış döngü için optimize etmeyi sağlayan bir metod geliştirmiştir (Lee ve Park 1998). Bu metod, özellikle kullanıcı tarafından performans kriterlerini seçme avantajına sahiptir. GA'nın yerel optimuma yakalanmadan, birden çok optimum nokta bularak en iyi sonucu tespit etmede çok etkili olduğu kanıtlanmıştır (Lee ve Park 1998).

Ayrıca kaskad kontrol sistemler ile yapılan tüm çalışmalar giriş referans alınarak yapılmış bozucu referans alınarak herhangi bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışmada, Kaskad kontrol sistemin ayar parametreleri, kontrol uygulamalarında sıklıkla kullanılan optimal yaklaşım kullanılarak elde edilmiştir. Optimal yaklaşımda, ISTE (Integral of Time Squared Error) kullanılarak hata sinyalinin minimum yapacak, optimum kontrolör ayar parametreleri belirlenmeye çalışılır.

1.2. Tezin Yapısı

Tezin ikinci bölümünde kontrolün gerekliliği, kontrol sistemlerinin nitelikleri, sistemin matematiksel ifadesi olan transfer fonksiyonları, kararlılık incelemesi, hata incelemesi anlatılmıştır. Ayrıca Kararlı, Kararsız, İntegratörlü Sistemlerin tanımı, P-PI-PID kontrolör parametrelerini belirleme yöntemleri, P-I-D kontrolör yapı kombinasyonları ve kontrolör parametrelerinin kararlılık bölgeleri analizinde kullanılabilen metotlardan bahsedilmiştir.

Tezin üçüncü bölümünde Genetik Algoritmanın tarihçesi, tanımı, temel teoremi, kullanım alanları, Genetik Algoritmalar ile geleneksel yöntemler arasındaki farklar hakkında kısa bilgiler mevcuttur.

Tezin dördüncü bölümünde kaskad kontrol sistemin optimizasyon sonuçları MATLAB/Simulink ortamında gösterilmiştir, kararlı, kararsız ve integratörlü kaskad kontrol sistemlerin PI-PID parametreleri kullanılarak cevap eğrileri elde edilmiş ve klasik kontrol sistemlerle karşılaştırmaları yapılmıştır.

Tezin son bölümü olan beşinci bölüm ise sonuç kısmıdır. Bu bölümde tez genelinde yapılmış çalışmaların amaçlarından bahsedilmiş, sonuç olarak varılan nokta hakkında açıklama yapılmış, tezin getirdiği yeni çalışma noktalarından bahsedilmiş ve ileriki zamanlarda yapılabilecek çalışmaların yönü hakkında bir kanıya varılmıştır.

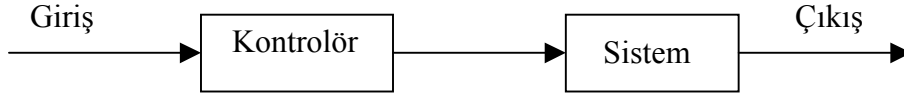
2. OTOMATİK KONTROL SİSTEMLERİ

2.1. Bir Kontrol Sisteminin Elemanları

Kontrol mühendisliğinde kullanılan 2 çeşit otomatik kontrol sistemi bulunmaktadır.

2.1.1 Açık çevrim kontrol sistemleri

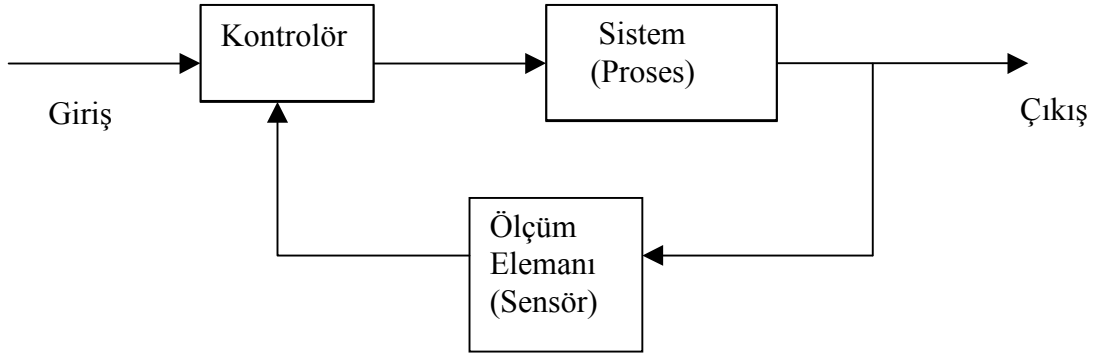
Bu çeşit kontrol sistemlerinde; çıkışın giriş üzerinde herhangi bir etkisi yoktur. Sisteme giriş sinyali verilir, sistem çalışır ve bir çıkış elde edilir. Fakat çıkış sinyalinin konumu ile giriş arasında herhangi bir alaka yoktur. Örneğin; bulaşık makinesi ile bulaşık yıkanır iken, yıkama işlemi sonucunda bulaşıkların temizliği test edilmiyor ise sistemde açık çevrim kontrolör var demektir. Açık çevrim kontrol sisteminin blok diyagramı Şekil 2.1' de görülmektedir:



Şekil 2.1 Açık çevrim kontrol sistemi blok diyagramı

2.1.2 Kapalı çevrim kontrol sistemleri

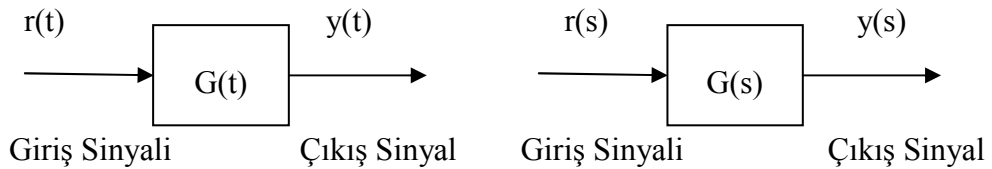
Bu çeşit kontrol sistemlerinde; sistemdeki çıkış değeri ölçülür ve girişle karşılaştırılır. Oluşan hata sinyali kontrolörü aktif hale getirerek sistemin istenilen şekilde çalışmasını sağlar. Birçok kontrol sistemi bu yapıdadır. Çünkü giriş sinyali ile çıkış sinyali farkı olan hata sinyali sistemin çalışma performansı hakkında önemli bir bilgidir. Sistem bu veriyi değerlendirerek çalışmasını kontrolör ile ayarlayabilmektedir. Geri beslemeli sistemlerde sıkça kullanılan kontrolör yapılarından biri de PID kontrolördür. Sistemde geri besleme mevcut ise bu kontrolör tipi fazlaca kullanılmaktadır. Bu yapı; sistemde hem otomatik kontrolün gerçekleşmesini sağlamaktadır hem de kapalı çevrim sisteminin kararlı çalışmasında büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Kapalı çevrim bir sistemin blok diyagramı şekilde görülmektedir:



Şekil 2.2 Kapalı çevrim kontrol sistemi blok diyagramı

2.2 Geçiş Fonksiyonu

Kontrol sistemleri tasarımında ve hesaplamalarında zaman domeni çok sık kullanılmamaktadır. Sistemlere ait diferansiyel denklemlerin yüksek dereceli oluşu ve bu yüksek dereceli diferansiyel denklemlerin çözümlerinin fazla zaman alması nedeni ile; sistemler “Laplace” yani “s (Dorf ve Bishop 2004) domeninde çözülür ve elde edilen denklemler istenilirse zaman domenine dönüştürülür. Laplace domeninde sistemlerin yüksek dereceli olmaları çok büyük bir işlem karmaşası yaratmamaktadır. Bu da s domeninde çalışmanın avantajlarından bir tanesidir. Kontrol teorisinde; bir sistemin çıkış sinyalinin Laplace dönüşümünün giriş sinyalinin Laplace dönüşümüne oranına, o sistemin “Geçiş fonksiyonu” veya “Transfer fonksiyonu” adı verilmektedir. Geçiş fonksiyonu hesaplamalarında ilk koşullar sıfır kabul edilmektedir (Park ve ark 1998, Dorf ve Bishop 2004). Bu durum Şekil 2,3’deki blok diyagramlarından incelenebilir.



Şekil 2.3 Sistemin a) Zaman domeni, b) Laplace domeni gösterimi

Bir sistemin zaman domenindeki diferansiyel denklemi (2.1a) bağıntısında verilmiştir:

$$a^n(y)^n + a_{n-1}y^{(n-1)} + \dots + a_1y^{(1)} + a_0y = b^m(y)^m + b_{m-1}y^{(m-1)} + \dots + b_1y^{(1)} + b_0y \quad (2.1a)$$

Burada $(y)^n$; n. dereceden türev anlamındadır. Bu diferansiyel denklemin Laplace dönüşümü alınır (2.1b) bağıntısındaki sistemin geçiş fonksiyonu s domeninde elde edilmiş olur:

$$\frac{y(s)}{r(s)} = G(s) = \frac{b^m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a^n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0} \quad (2.1b)$$

Geçiş fonksiyonunda; paydanın derecesi sistemin derecesini vermektedir.

Genelde $n \geq m$ dir. Şayet sistem uygun değilse ($m \geq n$) sistemin derecesi m olur (Bishop 1997, Dorf ve Bishop 2004).

Bu bölümün alt başlıklarında önemli geçiş fonksiyonlarının özellikleri verilecektir. Bundan önce dinamik sistemlerin büyük çoğunluğunda etkiye sahip zaman gecikmesinden bahsedilmesi faydalıdır. Bilindiği gibi sistemler kontrolörler kullanılarak denetlenmektedir. Bu kontrolörler ihtiyaca göre mikroişlemcilerle veya devre analizinden bilinen devre elemanları ile tasarlanabilmektedirler. Sistemler mekanik elemanlardan oluştuğu için ya da başka bir ifade ile sistem çalışırken giriş sinyalinin işlenmesi zaman gerektirdiğinden tüm sistemlerde zaman gecikmesi mevcuttur. Bu gecikme mekanik aksamdan kaynaklanıyor ise biraz daha hissedilebilir bir hal alabilir. Dijital olarak bir verinin işlenmesi mikro saniyeler seviyesinde olabilir iken, analog olarak bir motorun sürülmesi aşamasında giriş sinyalinin işlenmesi aşamasında birkaç saniyelik zaman gecikmesi olabilmektedir. İşte bu durumda sistemlerdeki zaman gecikmesi oransal olmayan fonksiyon olarak e^{-st} ile tanımlanmış ve bu tip sistemlere zaman gecikmesi (time delay) ne sahip sistemler denilmiştir. Bu fonksiyondaki T; saniye olarak zaman gecikmesine karşılık gelmektedir. Üstel bir fonksiyon olan zaman gecikmesinin oransal olmayan bir yapısı mevcuttur. Bu yapıyı oransal olması ve sistemlerle ilgili hesaplamalar yapılırken kolaylık sağlaması amacı ile Pade yaklaşımı kullanılarak oransal bir

2.OTOMATİK KONTROL SİSTEMLERİ

fonksiyona yaklaştırılmış olmaktadır (Yıkan 2005). Bu yaklaşım; McLauren serisi (Bishop 1997) kullanılarak elde edilmiştir. Fonksiyonun genel formu:

$$e^{-st}=1-sT+\frac{(sT)^2}{2!}-\frac{(sT)^3}{3!} \quad (2.2)$$

Bu formun gerçek değere yakın oluşu yaklaşımın derecesi olarak adlandırılmaktadır. Genel olarak Pade yaklaşımının 1. ve 2. derecesi kullanılmaktadır. e^{-st} nin birinci ve ikinci dereceden Pade Yaklaşımı ile elde edilen denklemleri aşağıdaki bu formun gerçek değere yakın oluşu yaklaşımın derecesi olarak adlandırılmaktadır. Genel olarak Pade yaklaşımının 1. ve 2. derecesi kullanılmaktadır. e^{-st} nin birinci ve ikinci dereceden Pade Yaklaşımı ile elde edilen denklemleri aşağıdaki (2.3) ve (2.4) bağıntılarında verilmiştir. Ek olarak istenilirse 3. dereceden olan da kullanılabilir ve bağıntısı (2.5) te verilmiştir.

1.dereceden Pade yaklaşımı ile

$$e^{-st}=\frac{-Ts+2}{Ts+2} \quad (2.3)$$

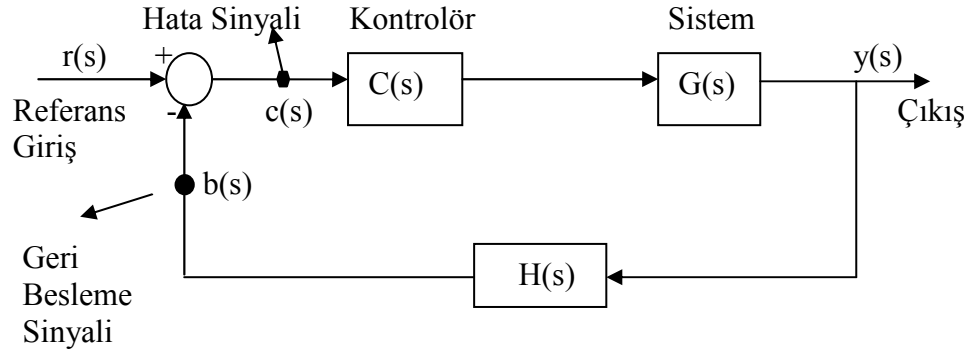
2.dereceden Pade yaklaşımı ile

$$e^{-st}=\frac{T^2s^2-6Ts+12}{T^2s^2+6Ts+12} \quad (2.4)$$

3.dereceden Pade yaklaşımı ile

$$e^{-st}=\frac{T^3s^3+12T^2s^2-60Ts+120}{T^3s^3+12T^2s^2+60Ts+120} \quad (2.5)$$

Bir sisteme ait geri besleme ve kontrolörden oluşmuş yapının blok diyagramı Şekil 2.4' de verilmiştir:



Şekil 2.4 Geçiş fonksiyonları belirlenecek sistemin blok diyagramı

Bu sisteme ait önemli geçiş fonksiyonları ve bu yapıların transfer fonksiyonları sonraki kısımlarda incelenmiştir.

2.2.1 İleri yöndeki geçiş fonksiyonu

İleri yöndeki transfer fonksiyonu; çıkış sinyalinin hata sinyaline oranıdır.

$$ig(s) = \frac{y(s)}{e(s)} = C(s)G(s) \quad (2.6)$$

2.2.2 Açık çevrim geçiş fonksiyonu

Geri besleme sinyalinin hata sinyaline oranı; açık çevrim geçiş fonksiyonunu vermektedir.

$$açg(s) = \frac{b(s)}{e(s)} = C(s)G(s)H(s) \quad (2.7)$$

2.2.3 Hata geçiş fonksiyonu

Hata sinyalinin giriş sinyaline oranı; hata geçiş fonksiyonunu vermektedir.

$$hg(s) = \frac{e(s)}{r(s)} = \frac{1}{C(s)G(s)H(s)} \quad (2.8)$$

2.2.4 Kapalı çevrim geçiş fonksiyonu

Kapalı çevrim geçiş fonksiyonu; sistemin çıkış sinyalinin giriş sinyaline oranıdır. Bu fonksiyon kontrol sistemleri açısından önemlidir. Çünkü sistemlerin karakteristik denklemi bu fonksiyondan elde edilmektedir ve bu fonksiyonun paydası

sistemlerin karakteristik denklemini vermektedir. Karakteristik denklem ile de sistemlerin kararlılık analizi yapılmaktadır.

$$kçg(s) = \frac{y(s)}{r(s)} = \frac{C(s)G(s)}{1+C(s)G(s)H(s)} \quad (2.9)$$

Sistemin karakteristik denklemi

$$\Delta(s)=1+1+C(s)G(s)H(s)=0 \quad (2.10)$$

2.3. Sistemler

Kontrol teorisi sistemleri incelerken; transfer fonksiyonu bilinen sistemlerin transfer fonksiyonlarından, karakteristik denklemlerinden, sistem tipine bağlı olarak transfer fonksiyonu bilinen veya bilinmeyen sistemlerin; birim basamak cevap eğrilerinden sistemlere ait kararlılık analizinde kullanılacak birçok veri elde etmektedir (Yıkan 2005).

2.3.1 Kararlı Sistemler

Kararlılık, geçici rejim cevabı ve sürekli hal hatası gibi kontrol tasarımcısının üç temel unsurundan önemli olanıdır. Lineer zamanla değişmeyen sistemlerin doğal cevabı zamanla sifira gidiyorsa sistem kararlıdır denir (Yıkan 2005).

$$c(t)=c_{zor}(t)+c_{öz}(t) \quad (2.11)$$

Sistem toplam cevabı doğal(öz) ve zorlanmış çözümün toplamı olduğu için kararlı sistemlerde doğal çözüm zamanla sifira ulaşacağı için toplam cevap zorlanmış cevap olur. Lineer sistemlerde kararlılık sistemin kendi özelliğidir. Kararlı bir lineer sistemin denge noktasına bir bozucu etki tesir ederse, sistem zamanla kendiliğinden denge noktasına döner.

Kararlılığın bir diğer tanımı da; sistemin girişine uygulanan bütün sınırlı giriş işaretleri için çıkışta sınırlı kalıyorsa sistem kararlıdır denir.

Lineer zamanla değişmeyen sistemlerde, sistem kutupları sol yarı düzlemde ise kararlı, diğer durumlarda ise kararsızdır denir (Yıkan 2005).

2.3.2 Kararlılık Analizi

Kontrol sistemlerinin, kararlılık, hızlı cevap ve küçük kalıcı hal hatası şeklinde asgari üç özelliği sağlaması gerekir. Bir kontrol sisteminin dinamik davranışının en önemli özelliği kararlılığıdır.

Sistemlerin istenilen performansta çalışabilmesi için sabit davranış sergilemeleri gerekmektedir. Kurulan modellere göre transfer fonksiyonu elde edilen bir sistemin dinamik davranışı geçici durum cevabından saptanır. Bu noktada transfer fonksiyonların kararlılıkları incelenir iken birçok metot kullanılmaktadır. Tezin bu bölümünde en bilinen kararlılık metotlarına özetle değinilecektir.

2.3.2.1 Routh – Hurwitz Kararlılık Kriteri

Transfer fonksiyonu verilmiş bir sistemin kararlılığı incelenirken bu yöntem sıkça kullanılmaktadır. Yöntem; sistemin karakteristik denkleminin katsayıların incelemektir (Routh 1877, Hurwitz 1964). Sistemin karakteristik denklemi aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$\Delta(s) = a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + a_{n-2} s^{n-2} + \dots + a_1 s^1 + a_0 = 0 \quad (2.12)$$

Bu denklemde: i) $a_n \neq 0$ ve ii) Tüm katsayıların aynı işaretle olması gerekmektedir. Sonraki aşamada Routh tablosu oluşturulur. Bu tablo:

Çizelge 1.1 Routh Tablosu

s^n	a_n	a_{n-2}	a_{n-4}
s^{n-1}	a_{n-1}	a_{n-3}	a_{n-5}
s^{n-2}	b_1	b_2	b_3
.....			
s^1	f_1		
s^0	g_1		

Burada;

$$b_1 = \frac{a_{n-1} a_{n-2} - a_n a_{n-3}}{a_{n-1}} \quad b_2 = \frac{a_{n-1} a_{n-4} - a_n a_{n-5}}{a_{n-1}} \quad \dots \dots \dots$$

$$c_1 = \frac{b_1 a_{n-3} - b_2 a_{n-1}}{b_1} \quad c_2 = \frac{b_1 a_{n-5} - b_3 a_{n-1}}{b_1} \quad \dots \dots \quad (2.13)$$

ifadeleri ile elde edilirler.

Routh – Hurwitz kriterine göre verilen bir karakteristik denklem polinomunun kararlı olabilmesi için Routh tablosunun ilk kolonunu oluşturan terimlerin hepsinin sıfırdan büyük olması gerekmektedir. Eğer polinom kararsız ise; o halde sağ taraftaki köklerin sayısı ilk kolondaki işaret değişimi kadardır.

Routh tablosu oluşturulurken 2 özel durumla karşılaşılabilir:

1. İlk kolonu oluşturan elemanlardan herhangi birinin sıfır olması: Bu durumda sıfır yerine ϵ gibi çok küçük bir pozitif sayı konular ve tablo oluşturulmaya devam edilir.

2. Tabloyu oluşturan sıralardan herhangi birinin tüm sıra elemanlarının sıfır olma durumu: Bu durumda sıfır olan sıranın hemen üstündeki sıra kullanılarak yardımcı bir polinom oluşturulur. Yardımcı polinomun s' e göre türevi alınır ve sıfır olan sıra elemanları yerine türevi alınmış yardımcı polinomun katsayıları yazılarak tablo oluşturulmaya devam edilir (Routh 1877, Hurwitz 1964).

2.3.2.2 Nyquist eğrisi

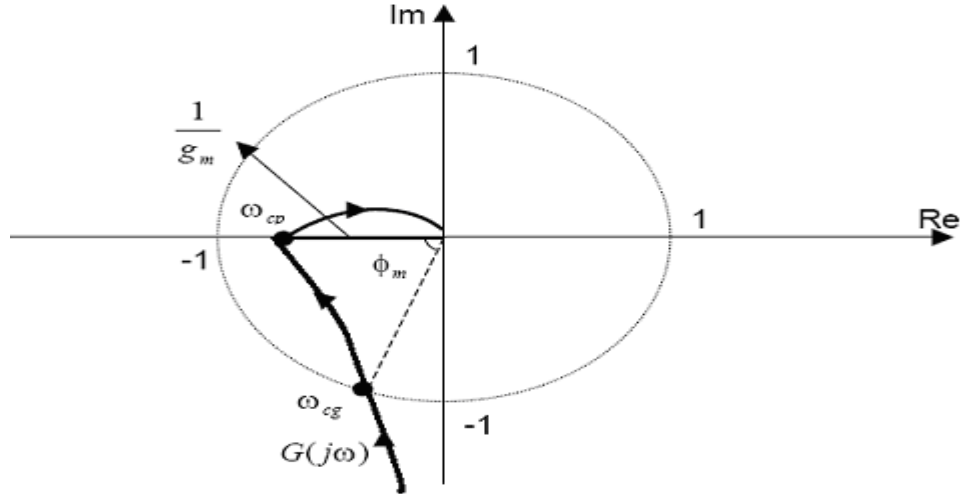
Nyquist kararlılık kriteri; bir kontrol sisteminin kararlı olabilmesi için açık çevrim geçiş fonksiyonu $G(s)H(s)$ ' in yapılacak Nyquist çiziminin $(-1,0)$ noktasını saat yönünün tersi yönde $G(s)H(s)$ ' in kompleks düzlemin sağ tarafındaki kutup sayısı kadar çevrelemesi gerekmektedir. Eğer $G(s)H(s)$ ' in kompleks düzlemin sağ tarafında kutbu yok ise, sistem açık çevrim kararlıdır. Açık çevrim kararlılık; bir sistemin açık çevrim geçiş fonksiyonunun yani $G(s)H(s)$ ' in kararlı olmasıdır. Sistemin kapalı çevrim kararlı olması için $G(s)H(s)$ ' in Nyquist çiziminin $(-1,0)$ noktasını çevrelemesi gerekir (Nyquist 1924).

Nyquist eğrisinden kazanç–faz payı, kazanç–faz kesim frekans değerleri de elde edilebilir.

Sistemin Nyquist eğrisinin negatif reel eksenini kestiği noktadaki genlik değerinin çarpmaya göre tersi o sistemin Kazanç payı değerini verir. $g_m = \frac{1}{G(j\omega_{cp})}$ bağıntısı ile hesaplanır. Bu bağıntıdaki ω_{cp} sistemin Kazanç kesim frekansıdır. Sistemin Nyquist eğrisinin birim çemberi kestiği noktaya orijinden çizilen doğru ile negatif reel eksen arasında kalan açı değeri; sistemin Faz payını vermektedir.

$\phi_m = G(j\omega_{cg}) \pm 180$ bağıntısı ile hesaplanır. Bu bağıntıdaki ω_{cg} ; sistemin Faz kesim frekansıdır.

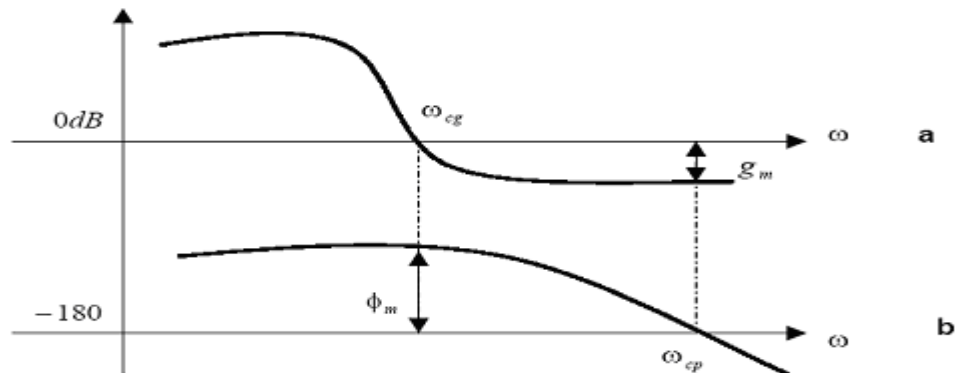
Kazanç ve faz payı değerleri sistemlerin kararlılığı hakkında bilgi verirler. Ayrıca sistemlerin görsel kararlılığı için de gereklidirler. Grafikselle olarak diyagramlardan da okunabilirler.



Şekil 2.5 g_m ve Φ_m değerlerinin Nyquist eğrisinde gösterimi

2.3.2.3 Bode Diyagramları

Bode diyagramları Genlik grafiği ve Faz grafiği olmak üzere iki tanedir. Bu diyagramların her ikisi de frekansa göre değişmektedir. Kararlılık için çokça kullanılan ve Nyquist eğrisinden de elde edilen kazanç – faz payı, kazanç – faz kesim frekans değerleri bu diyagramlardan da elde edilebilmektedir. Bode diyagramlarında bu değerler şu şekilde yerleşmektedir:



Şekil 2.6 Kararlı bir sistemin a)Bode genlik b)Bode faz diyagramlarında g_m ve Φ_m değerlerinin gösterimi

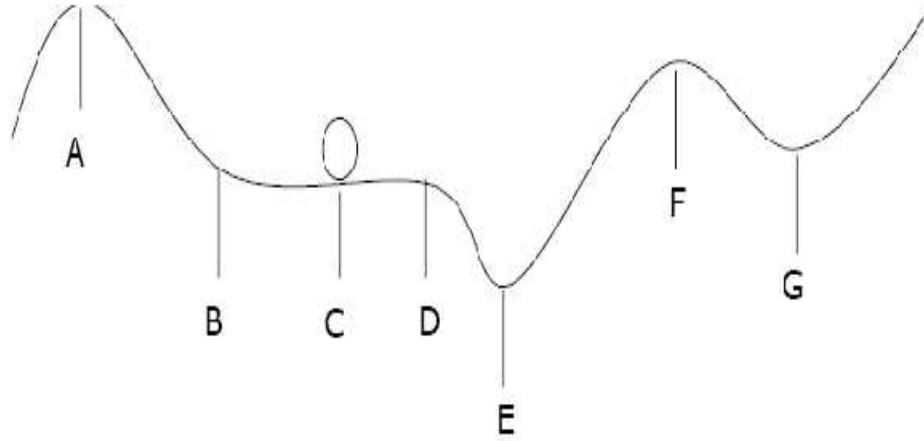
Diyagramlardan elde edilen bu değerler hesaplamalarla da elde edilebilir.

2.3.3 Kararsız Sistemler

Lineer zamanla değişmeyen sistemlerin doğal cevabı zamanla sonsuza gidiyorsa sistem kararsızdır denir.

Fiziksel olarak, doğal cevabı sınırsız olan kararsız sistemler kendilerine, etrafındaki araç gereçlere veya insanlara zarar verebilirler.

Lineer zamanla değişmeyen sistemlerde, sistem kutupları sol yarı düzlemde ise kararlı, diğer durumlarda ise kararsızdır denir.



Top A ve F noktalarında iken küçük bir kuvvet uygulanırsa, A ve F noktalarına bir daha dönmez. Bu durumda A ve F noktaları kararsız noktalardır. Top E ve G noktalarında iken küçük bir kuvvet uygulanırsa, E ve G noktalarına salınım yaparak geri döner. Bu durumda E ve G noktaları kararlı noktalardır. Sağ yarı düzlemdeki kutuplar ya üstel artımla ya da üstel artan sinüzoidal doğal cevap oluşturur ki doğal cevap zamanla sonsuza kadar artar. Ayrıca, imajiner eksen üzerinde katlı kök varsa $At^n \cos(\omega t + \Phi)$ şeklinde bir cevap üretir ki buda zamanla sonsuza gider ve sistem bu durumda yine kararsızdır (Rotstein ve Lewin 1991). Burada A sabit sayı, t zaman, w kesim frekansı, Φ açısı değerini ifade etmektedir.

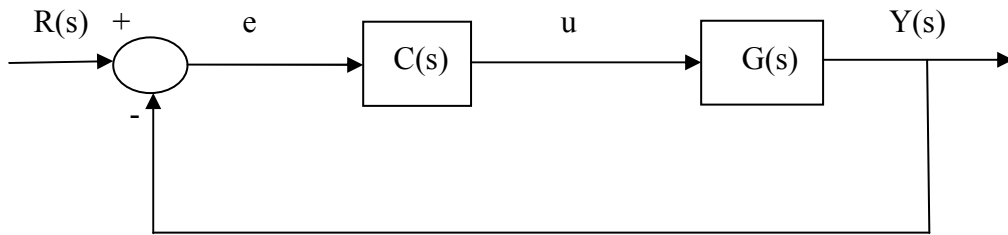
Demek ki bir sistemin kararsız olması için en az bir kutbunun sağ yarı düzlemde yada imajiner eksen üzerinde katlı kökünün olması yeterlidir. İmajiner eksen üzerinde bir kök varsa sistem cevabı osilasyonludur. Bu tip sistemlere marjinal kararlı sistemler denir.

2.3.4 İntegratörlü Sistemler

İntegral kontrol referans ve çıkış işareti arasındaki hata değerini sıfırlamak için kullanılabilir. İntegral işlemine ait çıkış değeri, (giriş.zaman) olarak elde edileceğinden dolayı, hata değeri sıfırlanıncaya kadar integratöre ait çıkış işareti artış gösterecektir. İntegratörü de içeren bir kontrol sistemi oluşturulduğunda, elde edilecek olan kontrol işareti hata değerini sıfırlayacaktır. Sıfır değerli hata değerinin elde edilmesi için geçecek olan zaman değeri ise integratörün zaman sabitine bağlı olacaktır (Tyreus ve Luyben, 1992).

2.4. P – I – D Kontrolör Yapı Kombinasyonları

Kontrolör ve sistemden oluşmuş geri beslemeli bir yapının blok diyagramı Şekil 2.8 'deki gibidir. Kontrol sistemlerinin varoluş gerekçesi, sistemin girişte verilen sinyali aynı anda olamasa da en kısa sürede yakalaması; yani hızlı cevap vermesi ve bu cevap sinyali olan çıkışın da mümkün olduğu kadar az bozulmaya uğramasıdır. İdealde hatanın sıfır yapılmak istenmesine karşın gerçek hayatta sistemlere etki eden birçok durumun etkisini minimuma indirmek kontrolün amaçları arasındadır. İşte bu durumda P-I-D kontrolör yapıları (Ho ve ark. 1996, Tan 2001) bize sistemin en iyi çalışma koşullarını yaratmada büyük kolaylıklar sunmaktadır. PID kontrolör yapısı oluşturulurken bazı kontrol algoritmaları gibi fazla işlem içermemesi ve parametrelerin hem analitik hem de deneysel yöntemlerle bulunabilmesi onu yaygın kullanım alanına sahip kılmıştır.



Şekil 2.7 Kontrolör ve Sistemden oluşmuş geri beslemeli yapı

Blok diyagramından da görüleceği gibi kontrol edilen sisteme, giriş sinyali gelmeden önce kontrolörden geçmektedir ve sisteme kontrolörden geçmiş u sinyali gelmektedir. Yapıdaki geri beslemeden dolayı giriş ile çıkış sinyalinin farkı alınarak sisteme verilmektedir. Kontrolöre gelen sinyal, e hata sinyalidir.

2.4.1 P Kontrolör Yapısı

Şekil 2.8' deki blok diyagramında $C(s) = K_p$ alınarak elde edilen kontrolör yapısıdır. Kontrol sistemlerinin amacı sistemi en iyi performansta çalıştırmaktır ve oransal kazanç; sistemlerin vazgeçilmez parçasıdır. Çünkü birçok sistemin ilk ve en öncelikli amacı kazanç sağlamaktır. Lakin yüksek değerdeki çevrim kazancı sistemi yük gürültüsüne karşı duyarsız yapar. Kazancı sonsuz yapmak imkânsızdır. Ancak sistemin karakteristiğini değiştirmeyen bir sınır değerinde ayarlama yapılabilir. Pratikte maksimum çevrim kazancı sistemin durum dinamiğinden belirlenir. Sistemin step girişe karşılık osilasyon üretmesi, kazancın sınırlı olacağını göstergesidir (Aström ve Hagglund 1995).

Şekil 2.7' de verilen sistemde kontrolörün oransal olduğunu kabul edersek; sistem için oransal kazanç bağıntıları aşağıdaki gibidir:

$$u = K_p e \quad \text{ve} \quad C(s) = K_p \quad (2.13)$$

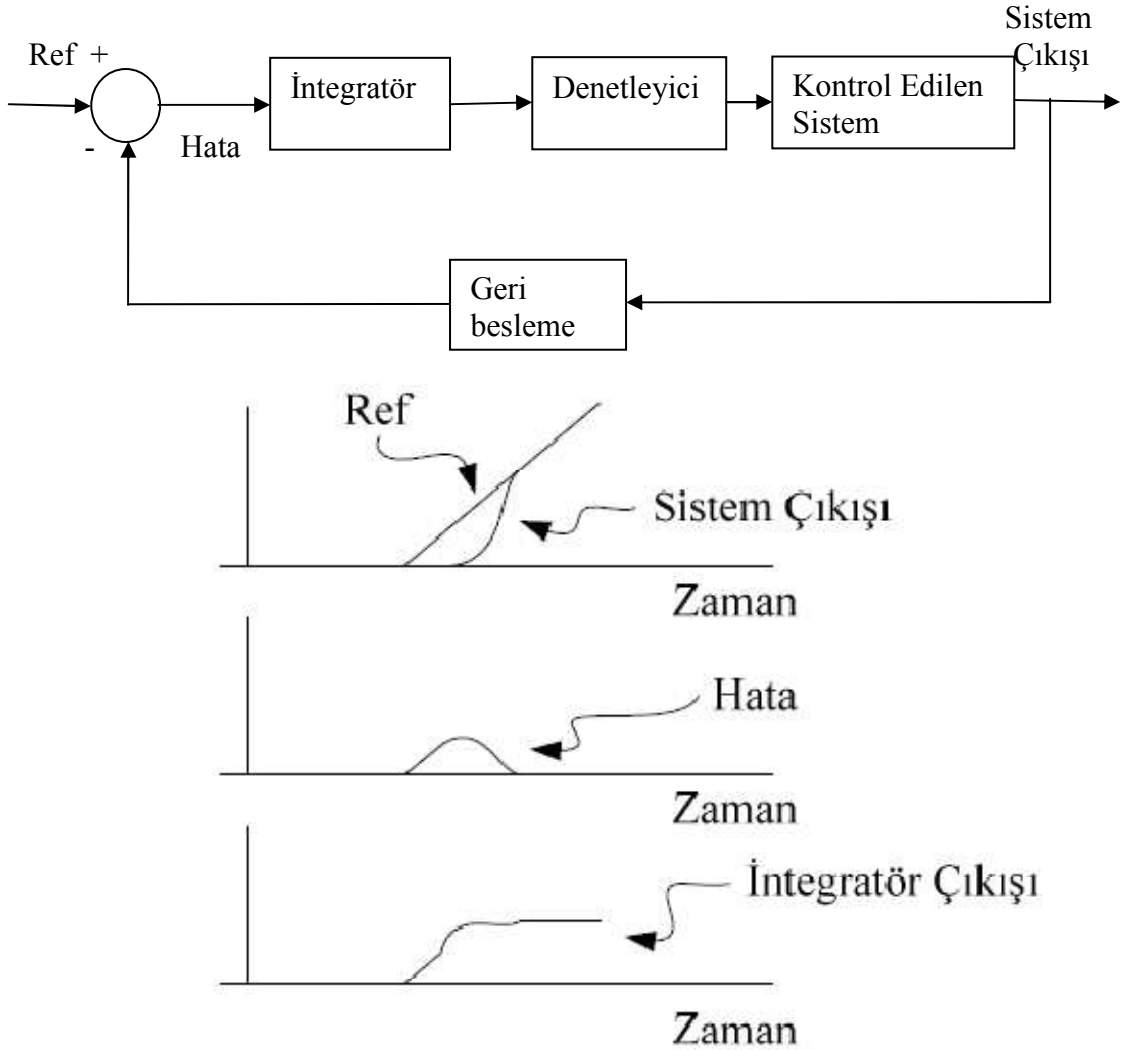
P kontrol kullanıldığında, sistemin kazancı bir düğmeden ayarlanmışçasına azaltılıp artırılabilir. Sönüm oranında iyileştirmeler sağlar, sistemin hızlı cevap vermesini sağlar (Kaya ve ark. 2007). Lakin kazancın artması, sistemdeki parametre duyarlılığını azaltır. Kalıcı hal hata artış gösterir. Bunun nedeni kontrolsüz sistemdekine nazaran, sistemin kazancının artırılması ile sistemin girişine gelen hatanın kazançla çarpılıp sisteme verilmesidir. İşte bu durumda sistemin kalıcı hal hatasını elimine etmek için ek yapıya ihtiyaç vardır (Yıkan 2005).

2.4.2 I ve PI Kontrolör Yapısı

İntegratörler, endüstriyel alanın çokça kullanılan devre yapılarındandır. Fiziksel olarak, kontrol endüstrisinde integral kontrol, en genel şekilde dayanıklı servo mekanizmaların tasarımında kullanılır. İntegral etkisi bilgisayar kontrolü tarafından en kolay şekilde uygulanır. Yani bilgisayar sistemleri aracılığı ile programlanarak tasarlanan lojik kontrolörde integratif etki komutlar aracılığı ile gerçekleştirilebilir. Bu da kontrol sistemlerinde sıklıkla kullanılan hidrolik, pnömatik, elektronik ve mekaniksel integratörleri meydana getirmektedir (Datta ve ark. 2000). Bir kontrolör yapısında I kontrolör kullanıldığında kalıcı hal hatası azalır ya da elimine edilir. Lakin integratörün sönüme kötü etkisi de olabilmektedir. Sistemin derecesini bir arttırmaktadır (Yıkan 2005).

Şekil 2,8'de açıklamaları yapılan işlemlere ve sinyallere ilişkin görsel yapı verilmiştir.

Şekilde rampa giriş fonksiyonu için integratör kontrolörün tepkisi verilmiştir. Hata sinyali oluşması halinde integratör içerikli yapı kontrolör çıkışının artışı sağlamakta ve de hata değerinin düzeltilmesi gerçekleştirilmektedir. Hata sinyalinin sıfırlanması ile birlikte integratör çıkışı da sabit bir değerde kalacaktır.



Şekil 2.8 İntegral işleminin kontrol sistemi içerisindeki konumu (Görgün ve ark 2010).

Görüldüğü gibi hız kontrolü, integratör içerikli olmayan bir kontrolör ile sıfır hata değerini sağlayamayacaktır. Oluşabilecek daha yüksek değerli bir hata sinyali de integratör devresinin kapasitesine bağlı olmak koşulu ile otomatik olarak sıfırlanacaktır. Genelde integratör kontrol yapıları oransal kontrolör ile

birleştirilmektedir. Oransal kontrolör temel yapı olup, integratör ise kontrol işareti için son ayarlamayı gerçekleyen kısmı oluşturmaktadır.

Yapı olarak yalnızca I kontrolörü uygulamaktan ziyade PI yapısı tercih edilmektedir. Çünkü sistemin girişe verdiği cevap ideale uzak ise; önce kazanç sağlamak gerekir. Oransal kazancın sistemler için vazgeçilmez olduğu belirtilmişti. Şekil 2.8' deki blok diyagramda kontrolör kısmının sırasıyla; I ve PI yapısında olduğu kabul edilirse, sistemin bu kontrolör tipleri için bağıntıları:

I kontrolör için:

$$u = K_i \int e dt \quad \text{ve} \quad C(s) = K_i / s \quad (2.14)$$

PI kontrolör için:

$$u = K_p e + K_i \int e dt \quad \text{ve} \quad C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} = \frac{K_p s + K_i}{s} \quad (2.15)$$

2.4.3 D ve PD Kontrolör Yapısı

D kontrolörün amacı, kapalı çevrim kararlılığını iyileştirmektir. Kararsız mekanizmanın önsezi ile aşağıda tanımlandığı gibi davranacağı söylenebilir: Durum dinamiklerinden ötürü, proses çıkışında fark edilebilir kontrol değişimindeki bir farklılık biraz gecikerek çıkışa iletilmiş olabilir. Yani sistem sinyale daha geride kalarak cevap vermektedir. Sonuç olarak kontrol sinyali bir hata için beklenilenden daha geç düzelme göstermektedir. P ve D ile tasarlanmış bir kontrolör ile türevsel etki sayesinde hatanın tanjant eğrisi üzerinde kaydırıldığı noktada hata belirlenerek önceden müdahale edilmiş, oransal etki ile de belirlenen durum çıkışı veren kazanç değeri sağlanmış olmaktadır. Sistemde yüksek frekans ölçüm gürültüsü var ise türevsel kısım bir takım zorlamalara neden olabilmektedir (Aström ve Hagglund 1995).

D kontrolör kullanıldığında kararlılıkta düzelmeler görülür. Hatanın türevinin alınması cevap hızını ve sönümü düzeltebilir, lakin kalıcı hal hatasını azaltmaz. Genel olarak I yapısında olduğu gibi sistemin iyi performansı için PD formda kullanılır.

Şekil 2.8’ de görülen blok diyagramında kontrolörün sırasıyla; D ve PD yapısında olduğu kabul edilirse, yapılar için bağıntılar:

D yapısı için bağıntılar:

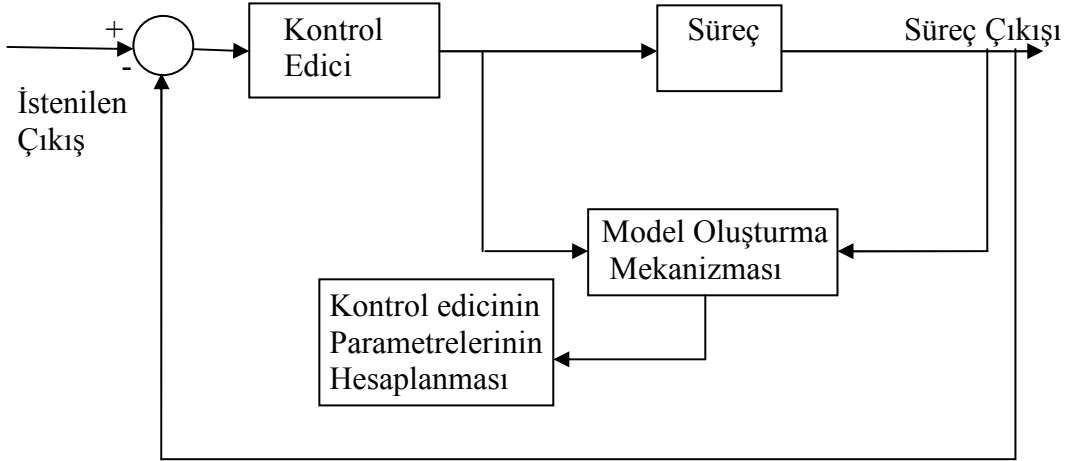
$$u = K_d \frac{de}{dt} \quad \text{ve} \quad C(s) = K_d s \quad (2.16)$$

PD yapısı için bağıntılar:

$$u = K_p e + K_d \frac{de}{dt} \quad \text{ve} \quad C(s) = K_p + K_d s \quad (2.17)$$

2.4.4 PID Kontrolör Yapısı

Üç terimli kontrol edici olan PID kontrol ediciler şu an için endüstride kullanılan otomatik geri beslemeli kontrol cihazlarının %90’ında kullanılmaktadır (Shinsky 1967). Bunlar geçmişte frekans analiz metotları yardımı ile ayarlanır iken şu an modern yaklaşımda ise PID kontrol edicinin ayarları süreç modeline bağlı olarak oluşturulmaktadır. Kolayca gösterilebileceği gibi PI (oransal+ integral) kontrol edici birinci dereceden doğrusal zamanla değişmeyen sistemler için optimum bir çözüm sunmaktadır. Benzer olarak da PID (oransal + integral + türevsel) kontrol edici de ikinci dereceden doğrusal zaman gecikmesi içermeyen sistemler için optimum çözüm sunmaktadır. Fakat gerçek hayattaki sistemler çoğu zaman doğrusal değildir ve zamanla süreç karakteristikleri değişiklik göstermektedir. Dolayısıyla doğrusal bir model için seçilmiş başlangıç kontrol edici sistemin zaman ile değişerek farklı bir bölgede işlemeye başladığı durumlarda uygulanabilirlikten çıkacaktır. Buna bir çözüm birden fazla kontrol edici tanımlamalarının daha önceden hafızaya alınması veya bir yerde tutulması ve süreç çalışma bölgesini değiştirdikçe buna uygun kontrol edicinin devreye girmesinin sağlanmasıdır. Bu strateji parametrik-veya kazanç- tarifli kontrol olarak adlandırılır ve çalışma bölgesinin değiştiği süreçlerde oldukça yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır. Daha zarif bir teknik ise kontrol ediciyi adaptif olacak şekilde ayarlamaktır. Bu şekilde doğrusal modelin parametreleri o anki sürecin karakteristiklerine bağlı olarak sürekli güncellenecek, yenilenecektir (Yağsan 2005). Buna ilişkin olarak, parametrelerin nasıl kontrol edicinin ayarlarının hesaplanmasında kullanılabileceği Şekil 2.9’ da görülmektedir.



Şekil 2.9 Adaptif kontrol edicinin basit bir şematik gösterimi (Gündoğdu 2005)

Bu yöntemden kontrol edicinin ayarları sürekli olarak süreç modelindeki değişimlere bağlı olarak güncellenmektedir. Bu gibi yapılar genelde otomatik-ayarlı/adaptif/ kendinden ayarlı gibi tanımlamalar ile nitelendirilir.

PID kontrol ediciler geri beslemeli kontrol edicilerde en çok kullanılan algoritmalarıdır. Basit PID algoritması performansının ve çalışmasının çok dayanıklı bir şekilde gelişmesini ve çalışmasını sağlayan birçok varyasyon mevcuttur (Datta ve ark. 2000, Astrom ve Hagglund 1995, Ogota 1990). Şekil 2.8' de görülen blok diyagramda kontrolörün PID yapısında olduğu kabul edilirse:

PID yapısı için bağlantılar

$$u = K_p e + K_i \int e dt + K_d \frac{de}{dt} \quad \text{ve}$$

$$C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = \frac{K_p s + K_i}{s} + K_d s = \frac{K_d s^2 + K_p s + K_i}{s} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.18)$$

Burada $T_i = \frac{K_p}{K_i}$ ve $T_d = \frac{K_d}{K_p}$ şeklinde hesaplanabilecek PID parametrelerinin diğer bir gösterimidir.

2.4.5 Kaskad Kontrol Sistemler

Kaskad Kontrol sistemleri bundan yıllar önce Franks ve Worley tarafından bulundu. Amaç özellikle bozucunun varlığında sistem performansını geliştirmektir. Uzun zaman gecikmeli ve standart geri beslemeli kontrol sistemleri, güçlü bozucular karşısında iyi performans verememektedirler (Kaya 2001). Kaskad kontrol sistemleri, özellikle öngörülmeleyen bozucuların varlığında bir kontrol sisteminin performansını arttırmak için tek geri beslemeli kontrol sistemlerinin bir alternatifidir.

Klasik kontrol sistemleri bozucular karşısında iyi cevap veremeyebilirler. Kaskad kontrol sistemler için optimum kontrolör tasarımı, kaskad kontrol sistemlerin bozucuları yok etmede klasik kontrol sistemlere göre çok daha iyi performans verdiği genetik algoritma yöntemi kullanılarak benzetim örnekleri ile gösterilmiştir. Literatürde kaskad kontrol sistemlerinin ayarı ile ilgili çok az metod vardır.

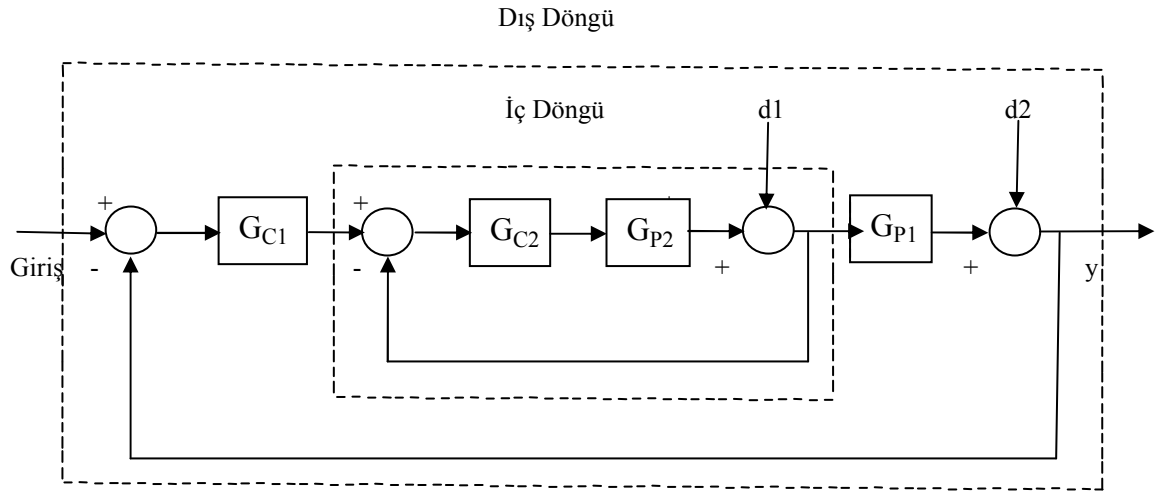
Lee ve diğerleri P-PI(iç döngü P dış döngü PI) ve PID-PID(iç döngü PID dış döngü PID) kontrolörlerini aynı anda hem iç hem dış döngü için ayarlamayı sağlayan bir metod geliştirmiştir (Lee ve Park 1998). Bu metod ilk olarak Macluren serisi kullanılarak ideal kontrolörü bulmayı sağlıyor. Bunlar yöntemlerini frekans cevap metodu (Edgar ve ark 1982) ve, ITAE minimizasyon metodu ile karşılaştırmaktadırlar (Krishnaswamy ve ark. 1990). Lee'nin metodu, diğer metotlardan çok daha iyi performans vermektedir. Bu metotta P-PI ve PID-PID kontrolörlerini aynı anda hem iç hem de dış döngüde ayarlaması için genetik algoritma[GA] kullanılmıştır. Bu metod, özellikle kullanıcı tarafından performans kriterlerini seçme avantajına sahiptir. GA'nın Global Optimal bulumunda çok etkili olduğu kanıtlanmıştır (Lee ve Park 1998).

Kaskad kontrol strateji kendi iç döngüsünde var olan bozucuları engellemek için kullanılabilir. Kaskad kontrol sistemleri bozucuların varlığında tek döngülü sistem performansı geliştirir. Kaskad kontrol 2 kontrol döngüsü sağlar. İkincil yada iç döngü, birincil dış döngü ile birlikte bağlantılıdır.

Kaskad kontrol teknikleri tek girişli sistemlerle karşılaştırdığımızda daha iyi bir kontrol performans sergilediği için proses kontrol mühendisliğinde sıklıkla kullanılır Geleneksel olarak tek geri beslemeli kontrolörlerde, kontrol edilen değişken set edildiği noktadan sapana kadar bozucular için düzeltici etki başlamaz.

2.OTOMATİK KONTROL SİSTEMLERİ

Şekil 2.10 'da gösterilen ikinci bir ölçüm noktası ve ikincil bir kontrolör olan G_{c2} , Kaskad'ın ana kontrolörü olan G_{c1} sistemin cevabında olan değişiklikleri geliştirmek için kullanılır (Kaya ve ark. 2007). Fakat bugüne kadar, kaskad kontrol stratejileri ile ilgili yayımlanmış birçok yazıda kaskad kontrol sistemleri ile ilgili bilindik yöntemler anlatılmıştır. Kaskad kontrol sistemleri process kontrol endüstrisinde sıcaklık, akış ve basınç kontrolü için yaygın olarak kullanılmaktadır (Lee ve ark 2002).



Şekil 2.10 Kaskad Kontrol Sistemi

Kaskad kontrol sistemi son kontrol elemanı olan ikincil kontrolörün setpoint noktasını işlemek için birincil kontrolörün çıkışını, ikinci döngüdeki bozucuları ele almak için ise ikinci kontrolörü kullanır.

Bir Kaskad kontrol stratejisi, iç döngüde var olan bozucuları yok ederek daha iyi bir başarı sağlamak için kullanılabilir (Franks ve Worley 1956, Jankovic ve ark. 1956). Kaskad kontrol, sistem performansını;

(1) Birincil proses çıkışını doğrudan etkileyen ikincil proses çıkışını bozucu faktörler olduğunda

(2) İkincil proses çıkışının kazancı nonlineer olduğunda tek döngülü kontrole göre daha iyi geliştirebilir.

Çünkü Birinci durumda bir kaskad kontrol sistemi temel çıkış üzerindeki ikincil değişkene giren bozucuların etkisini sınırlandırabilir. İkincil durumda ise ikincil bir proses kontrol sistem performansı üzerindeki değişimleri elde eder. Bu kazanç çeşitleri genellikle kalıcı bozuklukları veya setpoint değişimleri nedeniyle

işletim sistemi üzerindeki değişiklikleri ortaya çıkarır (Lee ve Park 1998, Kaya ve ark. 2007).

Kaskad kontrol sistemlerinin son yıllarda endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılmasının nedenleri olarak:

1. Birincil değişkenin daha iyi kontrol edilebilir olması ve bozuculardan daha az etkilenmesi,
2. Sisteme bozucu etki tesir ettiği durumda bozucuları daha hızlı bir şekilde yok etmesi ve sistemin dinamik performansını arttırması,
3. Sistemin doğal frekansını arttırması,
4. Zaman gecikmesinden kaynaklanan etkileri azaltması, sayılabilir.

Kaskad kontrol daha çok, ısıtıcılar ve sıcaklık değiştiriciler gibi kimyasal işlemlerde kullanılır (Lee ve Park 1998). Bir sıcaklık kontrol sisteminde doğrusal olmayan vana ve diğer kontrol elemanlarından kaynaklı problemleri ele almak için kullanılabilir ayrıca sistemin çalışma performansını düşüren bozucuları yok etmek için mümkün olan en hızlı yanıt ile birden fazla olan süreçleri etkinleştirmek için kullanılır (Jiangjiang ve ark. 2008).

Literatürdeki yayınlara bakıldığında Merkezi Klima Sistemleri için Kaskad Kontrol Sistemi tasarlanmış ve sonuçlar PID kontrolör kullanılarak Klasik Kontrol Sistemleri ile karşılaştırılmış, Nonliner Kaskad kontrol sistemler için Lyapunav fonksiyonları ve stabilize denetim yasaları kullanılmıştır, SISO Sistemlerle Optimum Kaskad pid kontrollör tasarımı yapılmış ve çift giriş ve çift çıkışlı sistemlerle auto-tuning yöntemi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Tasarım yaparken, Kaskad kontrol sistemin ayar parametreleri, kontrol uygulamalarında sıklıkla kullanılan optimal yaklaşım kullanılarak elde edilmiştir. Optimal yaklaşımda, hata sinyalini minimum yapacak kontrolör ayar parametreleri belirlenmeye çalışılır. Hata sinyalini ISE, ISTE v.b. cinsinden minimum yapacak farklı algoritmalar kullanılabilir. Genetik algoritma (GA) bu amaç için yaygın kullanılan optimizasyon tekniklerinden biridir (Alander 2008). GA'nın modelden bağımsız olması, yalnızca uygunluk fonksiyonunu kullanması ve çok tepeli arama uzayında daha iyi sonuçlar vermesi nedeni ile bu tezde kullanılması tercih edilmiştir (Goldenberg 1989). ISTE kriterinde yüzde aşması daha az ve oturma zamanı daha kısa olan kapalı çevrim cevaplar elde edilir.

2.OTOMATİK KONTROL SİSTEMLERİ

Dolayısıyla, Kaskad kontrolörün ayar parametreleri GA ile hata sinyalini ISTE cinsinden minimum yapacak şekilde belirlenmiştir.

3.GENETİK ALGORİTMA

3.1 Genetik Algoritmanın Tarihçesi

Michigan Üniversitesinde psikoloji ve bilgisayar bilimi uzmanı olan John Holland bu konuda ilk çalışmaları yapan kişidir. Makine öğrenmesi konusunda çalışan Holland, Darwin'in evrim kuramından etkilenerak canlılarda yaşanan genetik süreci bilgisayar ortamında gerçekleştirmeyi düşündü. Tek bir mekanik yapının öğrenme yeteneğini geliştirmek yerine böyle yapılarda oluşan bir topluluğun çoğalma, çiftleşme, mutasyon vb. genetik süreçlerden geçerek başarılı yeni bireyler oluşturabildiğini gördü. Çalışmalarının sonucunu açıkladığı kitabın 1975'te yayınlanmasından sonra geliştirdiği yöntemin adı Genetik Algoritmalar (ya da kısaca GA) olarak yerleşti. Ancak 1985 yılında Holland'ın doktora öğrencisi olan David E. Goldberg adlı İnşaat Mühendisi 1989 da konusunda bir klasik sayılan kitabını yayınlamaya dek GA' ların pek pratik yararı olmayan bir araştırma konusu olduğu düşünülüyordu. Hâlbuki Goldberg' in gaz boru hatlarının denetimi üzerine yaptığı doktora tezi ona sadece 1985 National Science Foundation Genç Araştırmacı ödülünü kazandırmakla kalmadı, GA' ya dayalı tam 83 uygulamaya yer vererek GA'nın dünyanın her yerinde çeşitli konularda kullanılmakta olduğunu gösterdi (Valenzuela 1995).

3.2. Genetik Algoritma Nedir

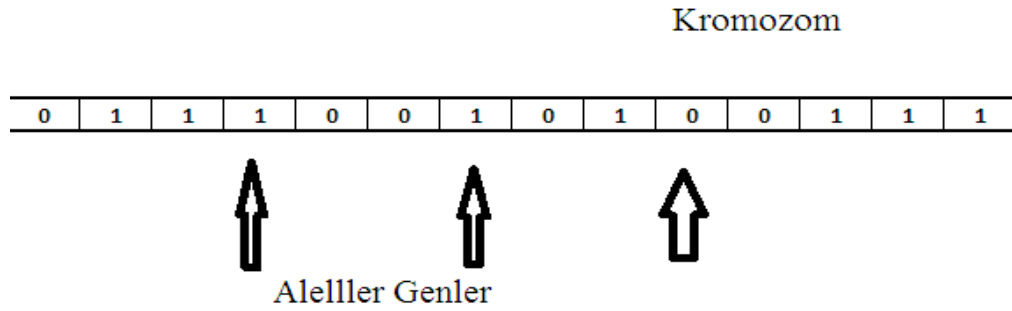
Doğadaki evrim kuramının yapay sistemlere uygulanması sürecinde evrimsel hesaplamalar başlığı altında genetik algoritmalar (GA), evrimsel programlama (EP) ve evrimsel stratejiler (ES) olmak üzere 3 yöntem ortaya çıkmıştır. Bunlar arasında günümüzde en çok bilinen ve en çok kullanılan yöntem genetik algoritmalarıdır. Az önceki açıklamalardan da anlaşılacağı gibi genetik algoritmalar doğal seçim ve doğal kalıtım kurallarına dayanır. Doğal seçim, çevre koşullarına uyum sağlamış olan canlıların yaşamlarını sürdürmesi, uyum sağlayamamış olanların ise elenmesi yani ölmesi anlamına gelir (Holland 1975, Karr ve Freeman 1999). Doğal kalıtım ise, seçilmiş olan bireylerin birbirleri ile çiftleşerek yeni yavrular meydana getirmesi olarak kısaca özetlenebilir. Genetik algoritmalarla problem çözümünde ilk topluluğu oluşturan n adet birey tamamen rastlantısal belirlenir. Daha sonraki aşamalar ise iki çatı altında toplanabilir.

a)Genetik işlemler: Çaprazlama ve Mutasyon

b) Evrimsel işlem: Seçim

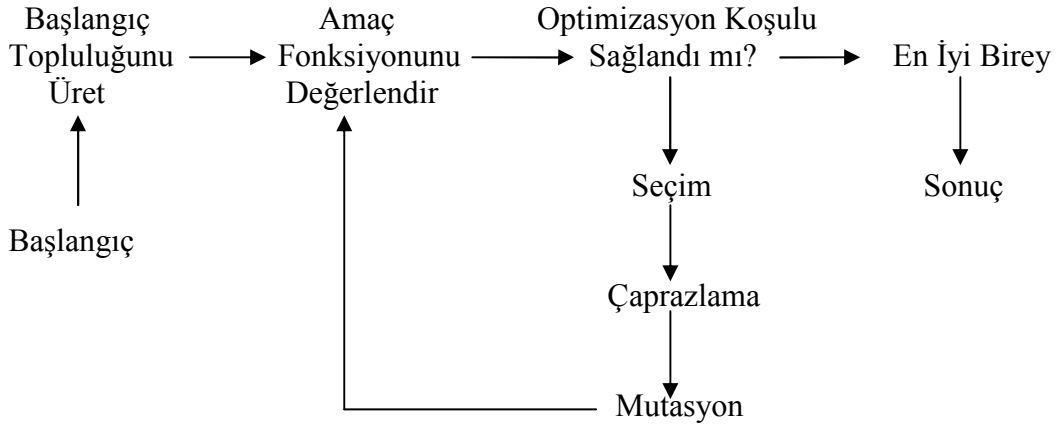
Problem çözümüne noktalar topluluğundan başlayan genetik algoritmalar öncelikle bu noktaları kodlarlar. Farklı tipte kodlama sistemleri olmakla birlikte genelde ikili kodlama kullanılır. Çözüm kümesini oluşturan her bir birey “kromozom” olarak adlandırılır. Kromozomlar gen adı verilen sembol katarlarından oluşur. Örneğin Şekil 3.1’ de ikili kodlama yapısına sahip 0 ve 1 sembollerinden oluşan “birey” görülüyor

Kodlama Bilgisi:



Şekil 3.1 İkili kodlama yapısındaki birey(Yağsan 2005).

Topluluğu oluşturan her bir bireyin temsil ettiği değer “amaç fonksiyonu” nda yerine konarak bireylerin “uygunluk değerleri” yani bir sonraki nesilde yaşama olasılıkları bulunur. Bir sonraki adım, uygunluk değerleri göz önünde bulundurularak bir sonraki topluluğu meydana getirecek “ebeveynler” seçilmesidir. Önceden belirtilen oranda ebeveyn çaprazlamaya girerek birbirleri ile gen alışverişinde bulunurlar ve ortaya bir sonraki toplumun bireylerini oluşturacak olan “yavrular” çıkar. Yine önceden tanımlanmış mutasyon oranları nedeniyle ortaya çıkan yavrularda başkalaşım meydana gelir. Bu aşamadan sonra yeni topluluğu meydana getirecek bireyler hazırdır. Bu döngü istenilen koşullar sağlanıncaya kadar devam eder ve her bir yenileme işlemi “nesil adını alır. Bu döngü Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Probleme başlarken kullanılacak topluluk rastlantısal olarak üretilir. Genetik algoritmalar rastlantısal kuraları kullanarak gittikçe daha iyi bir çözüme yönelirler.



Şekil 3.2 Genetik algoritma programı şeması (Yağsan 2005)

1. [Başlatma] n bireyli bir topluluğu rastlantısal olarak üret.(problem için uygun çözüm)
2. [Uygunluk] Topluluktaki her bir bireyin uygunluk değerini kaydet.
3. [Yeni Topluluk] Yeni topluluk tamamlanana kadar aşağıdaki döngüye bağlı olarak yeni topluluğu yarat.
 - a) [Seçim] Uygunluk değerlerine göre topluluk içinden 2 ebeveyn birey seç.
 - b) [Çaprazlama] Çaprazlama olasılıklarına bağlı olarak yeni yavru oluşturacak ebeveynleri çaprazlamaya sok. Eğer çaprazlama olmayacaksa yavru ebeveynlerinin tamamen aynısıdır.
 - c) [Mutasyon] Mutasyon olasılığına bağlı olarak mutasyonunu gerçekleştir.
- 4) [Kabul] Oluşan yavruları yeni topluluğa yerleştir.
- 5) [Yerleşim] Yeni üretilen topluluğu algoritmanın tekrar islemesi için kullanıma hazırla.
- 6) [Sınama] Eğer istenilen koşullar sağlanmışsa, dur ve o anki topluluğun en iyi çözümünü döndür.
- 7) [Döngü] Adım 2' ye dön.

3.3 Genetik Algoritmalar Sözlüğü

Algoritma Kavramı: Verilen bir problemin çözümü için izlediğimiz sistemli yöntem algoritma denir. Verilebilecek en basit örnek Euklides' in (Oklit) iki sayının ortak bölenini bulma algoritmasıdır.

Biyolojik Temeller: Biyolojinin kalıtımla ilgilenen dalına genetik denir. Kalıtım, bazı genetik özelliklerin bir kuşaktan diğer kuşağa aktarılma sürecidir.

3.GENETİK ALGORİTMA

Modern genetik bilimin temelleri Gregor Mendel (1822-1884) tarafından gerçekleştirilen deneylere dayanmaktadır. Bu deneyler sonucunda, bir sonraki kuşağa aktarılabilecek özelliklerin bir takım kurallara uyduğu ortaya çıkmıştır. Genetik biliminde kullanılan ve tezde sözü edilen bazı kavram ve terimler aşağıda açıklanmıştır.

Allel (Allele): Bir özelliği temsil eden bir genin alabileceği değişik değerlerdir.

Çaprazlama (Cross-over): İki kromozomun bir araya gelerek genetik bilgi değişimi yapması

Örnek: 1 0 0 0 1 1 1 0 1 ve 0 1 0 1 1 0 0 0 1 kromozomları üzerinde 4. ayırımdan başlayarak tek noktalı çaprazlama yapıldığında;

1 0 0 1 1 0 0 0 1 ve 0 1 0 0 1 1 1 0 1 kromozomları elde edilir.

Evrimsel Algoritma (Evolutionary Algorithm EA): Genetik algoritmalarını da içine alan bir algoritmik yöntem.

Evrilmek (Evolve): Bir evrim sürecinden geçmek

Evrim (Evolution): Genetik bilgi taşıyan bir topluluk üzerinde genetik işlemlerin uygulanması süreci.

Gen (Gene): Kendi başına anlamlı genetik bilgi taşıyan en küçük genetik yapı

Örnek: 101 bit dizisi bir noktanın x koordinatının ikilik düzende kodlandığı bir gen olabilir.

Locus: Kromozom üzerindeki her bitin yerine verilen isimdir.

Genetik Programlama (Genetic Programming GP): Genlerinde program parçacıklarının kodlandığı kromozomlar üzerinde çalışan, bir genetik algoritma yolu ile istenilen işi yapan bir programın oluşturulması.

Tersinme (Inversion): Bir kromozomu oluşturan genlerden ardışık bir grubun kendi içerisinde birbirleri ile yer değiştirerek ters dizilmesi

Örnek: 0 1 1 1 1 0 1 0 1 kromozomu (her genin bir konum olduğu varsayımı ile) 5. ve 8. Gen konumları arasında tersindiğinde ortaya 0 1 1 1 0 1 0 1 1 kromozomu çıkar.

Esleme (Matching): İki kromozomun çaprazlanma amacıyla seçilmesi

Mutasyon (Mutation): Bir kromozomun taşıdığı genetik bilgide bir nedene bağlı olmaksızın (rastgele) değişme olması.

Örnek: 1 0 0 1 1 0 0 0 0 kromozomunun 3. konumunun değişmeye uğraması sonucunda 1 0 1 1 1 0 0 0 0 kromozomu oluşur.

Çoğalma, Kopyalama (Reproduction): Bir kromozomun kendisi ile aynı genetik bilgiyi taşıyan bir kopyasının oluşturulması

Örnek: 1 0 0 1 1 1 0 1 1 kromozomu çoğaltıldığında 1 0 0 1 1 1 0 1 1 ve 1 0 0 1 1 1 0 1 1 kromozomları elde edilir.

Seçme (selection): Bir kromozom havuzundaki kromozomlardan hangilerinin yeni yaratılacak havuza aktarılacağına, kromozomların başarı değerlerine bağlı olarak belirlenmesi.

En iyileme (Optimizasyon): Matematiksel bir terim olarak optimizasyon en iyinin tanımlanması ve çözülmesi anlamına gelir. Optimizasyon teorisi, en uygunun, sayısal olarak elde edilmesi için kullanılan tüm yöntemleri içerir. Matematiksel olarak ifade etmek gerekirse, optimizasyon bilinen bir fonksiyonun (amacın) belirli kısıtlar altında ya da kısıtlar olmaksızın optimumunun bulunması demektir.

3.4. Genetik Algoritma Uygulama Alanları

Genetik Algoritma uygulamaları genel olarak üç gruba ayrılır:

- (1) Optimizasyon,
- (2) Sınıflandırılmış sistemlerin öğrenimi kapsamındaki makine öğretisi,
- (3) Genetik programlama.

Amaç fonksiyonu ile ifade edilen optimizasyon uygulamaları, arzu edilen herhangi bir sonuca ulaşmada yol gösterici konumundadırlar. Bu tip uygulamalara örnek olarak kâr payının en yüksek seviyeye çekilmesi veya herhangi bir hata teriminin minimuma getirilmesi verilebilir. İkinci gruba giren uygulamalar ise genetik algoritmalar, etkin çözüme ulaşmak için, makinelerin işleyiş kurallarını düzenleyen yapıyı oluşturur. Genetik programlama yapılan bir işte kullanılan programın geliştirilmesi ve daha verimli bir hale getirilmesine olanak sağlar. Bu işlemi yaparken de uygunluk fonksiyonu kullanılır. Genetik Algoritma yaklaşımının endüstrideki uygulama alanları ise kısaca şöyledir (Yağsan 2005):

Mühendislik: Elektrik enerji sistemleri, reaktif güç kompanzasyonu, bina tasarımı (kirişlerin büyüklükleri), çeşitli elektriksel tasarımlar, mekanik tasarımlar (ağırlık, hacim ve fiyat), proses kontrolü, ağ tasarımları (bilgisayar ağları), hücreyel otomatların ve sıralama ağlarının tasarımı.

Yönetim: Dağıtım, planlama, proje yönetimi, kurye yönlendirme (courier routing), paketleme, görev atama, zaman çizelgeleri.

Finans: Portfolyo dengelemesi, bütçeleme, tahmin, yatırım analizi ve ödeme takvimi, yaratıcı girişimin modellenmesi, pazarlık ve açık artırma stratejilerinin geliştirilmesi, ekonomik pazarların doğumunun modellenmesi.

Arastırma-Gelistirme (R&D): Eğri ve yüzey uydurma, yapay sinir ağları, bağlantı matrisleri, fonksiyon optimizasyonu, bulanık mantık, topluluk modellemesi, moleküler modelleme ve ilaç hazırlama.

3.5. Genetik Algoritma ile Geleneksel Yöntemler Arasındaki Farklar

Genetik algoritmaların temel özellikleri, aşağıdaki gibi dört maddede toplanabilir;

- GA, parametrelerin kendileri ile değil, parametrelerin kodlanmış halleriyle çalışırlar.
- GA tek bir nokta yerine noktalar topluluğundan hareket eder.
- GA türev ve daha farklı bilgileri değil sadece amaç fonksiyonu değerlerini kullanır.
- GA belirgin (deterministik) değil, olasılık kurallara dayanır.

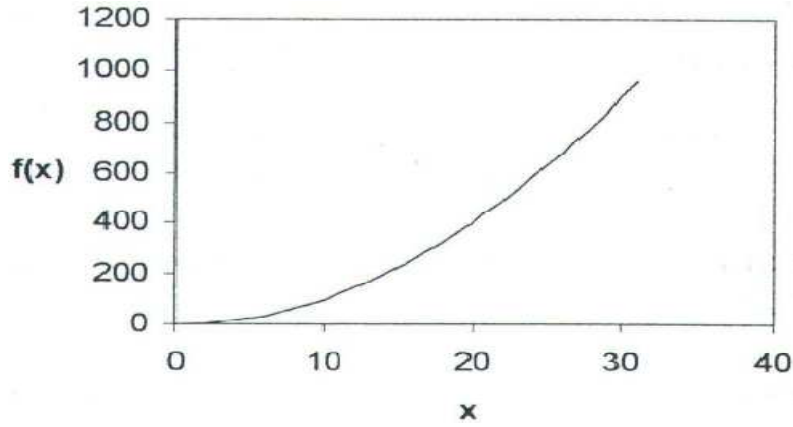
Aramaya tek bir noktadan değil de birçok noktadan başlamanın en büyük yararı yerel optimuma yakalanma olasılığını ortadan kaldırmasıdır. Geleneksel yöntemler aramaya tek bir noktadan başladıkları için ilk buldukları yerel optimum noktasında aramayı sonlandırırlar. Dolayısıyla birden çok optimuma sahip fonksiyonlar için kullanışlı değildir. Genetik algoritmalar ise tüm optimum noktaları bularak bunları karşılaştırır ve fonksiyonun evrensel optimum noktasına ulaşır.

Genetik algoritmalarda diğer yöntemlerde olduğu gibi türev bilgilerine ihtiyaç yoktur, yalnızca amaç fonksiyonu ve uygunluk değerleri yaklaşımın hangi yönde ilerleyeceğini belirler.

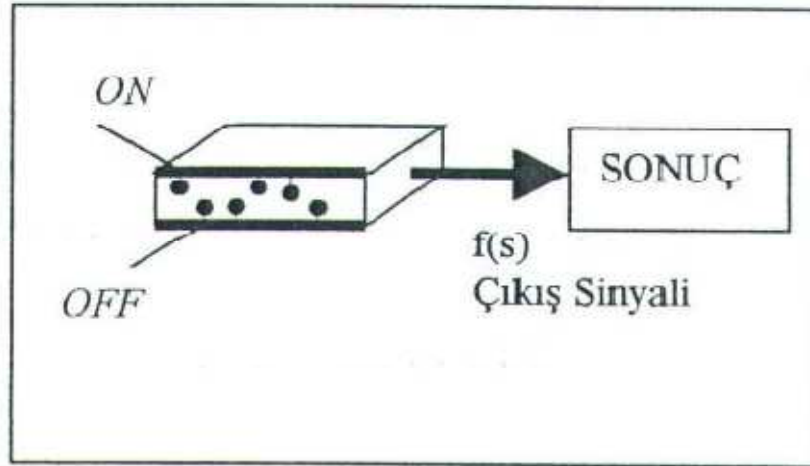
Rastlantısal geçiş kurallarına bağlı olarak çalıştığından model değiştirilmese bile her çalıştığında farklı çözümler elde edilir. Geleneksel yöntemler ise aynı değerler ile her çalıştığında aynı çözüme ulaşır.

Genetik algoritmalarda parametreler sonlu uzunlukta diziler ile gösterilirler. Örnek olarak Şekil 3.3' te gösterilen $[0,31]$ aralığındaki optimizasyon problemi ele alınsın. İlk olarak x parametresi açık kapalı biçimde iki farklı değer alan bir değişkenle kodlanır. Daha sonra açık kapalı yerine "bir" ve "sıfır" lar kullanılır .

Şekil 3.4' de gösterildiği gibi bir kapalı kutu olarak düşünülebilir (Yağsan 2005).



Şekil 3.3 $f(x)=x^2$ Şekil3.3 $f(x) = x^2$ amaçfonksiyonu



Şekil 3.4 Kapalı kutu örneği

Kapalı kutu örneğinde beş adet giriş anahtarı bir adet f çıkış işareti bulunmaktadır. Amaç fonksiyonu, matematiksel olarak s belli bir anahtar

kombinasyonu olmak üzere $f = f(s)$ (örneğin $f = x^2$) şeklinde yazılabilir. Problemin amacı, bu beş anahtarın mümkün olan en yüksek f değerini elde edecek uygun kombinasyonunu bulmaktır. Diğer arama yöntemleri anahtarların durumları ve bir durumdan diğerine nasıl geçileceğini araştırırken, genetik algoritmalarda önce anahtarların durumları kodlanır. Bu kodlama beş bitlik sayı dizileriyle yapılabilir. Tek bir nokta ele alıp, bu noktadan diğer bir noktaya belli bir kural kullanarak geçmek yanlış bir yerel en iyi noktaya yerleşmeye sebep olabilir. GA tek bir noktalar topluluğundan yararlandığı için, yapılacak ikinci adım bu noktalar topluluğunu belirlemektir. Böylece global en iyi noktaya yakınsamaansı artacaktır. GA'da nesil adı verilen bu noktalar topluluğundan, yeni bir nesil yani yeni bir noktalar topluluğu elde edilir. Örnekte birey sayısı $n = 4$ alınmıştır ki bu sayı GA standartları için küçük bir sayıdır.

0 1 1 0 1

1 1 0 0 0

0 1 0 0 0

1 0 0 1 1

Bu dört noktadan hareketle GA kullanılarak yeni nesiller bulunmaktadır. Bir nokta topluluğu üzerinde paralel çalışmanın, gürbüzlüğü sağlama yolunda olumlu etkileri olmaktadır.

3.6. Genetik Algoritmanın Avantajları

Genetik algoritmaların temel avantajı optimize etmeye çalıştıkları problemle ilgili herhangi bir bilgiye ihtiyaç duymamalarıdır. Sistemin matematik model bilgilerini gerektirmez. Karmaşık matematik hesaplamaları yerine yalnızca giriş-çıkış bilgilerine ihtiyaç duyar. Bu avantajından dolayı karmaşık problemlerin optimizasyonu için tercih edilebilir bir yöntemdir. Büyük parametre ve yapısal belirsizlikleri tolere edebilir. Yine uygun performans endeksi seçimi ile sistemin arzu edilen dinamik davranışları ve kararlılığı elde edilebilir. (Zuo, 1995) Oluşturulan başlangıç popülasyonu girdiği genetik algoritma döngüsü sonucunda en uygun çözümü kolayca bulabilir. Genetik algoritma evrim teorisinin adımlarını kullanarak çalışır. Bir veri grubundaki özel bir veriyi bulmak için kullanılır. Genetik algoritma

klasik yöntemlerin çok uzun zamanda bulabileceği çözümü yeterli doğrulukla çok kısa zamanda bulabilir. Optimal değeri bulmayı garanti etmez, fakat uzun nesiller sonucunda en uygun değere çok yakın çözümler bulunmasını sağlar. Genetik algoritmalar özellikle araştırmacının kesin, konu uzmanı olmadığı zamanlarda araştırmacıya o alanda bilgi edindirmede başarılıdır (Valenzuela 1995, Muzoğlu 2005).

Temel başlıklar halinde genetik algoritmaların avantajlarını şu şekilde sıralayabiliriz:

- Sürekli ve ayrık parametreleri optimize eder.
- Türevsel bilgiler gerekmez.
- Amaç fonksiyonunu geniş bir yelpazede araştırır.
- Çok sayıda parametrelerle çalışma imkânı vardır.
- Paralel PC'ler kullanılarak çalıştırılabilir.
- Karmaşık amaç fonksiyon parametrelerini, yerel ekstramumlara takılmadan optimize edebilir.
- Birden fazla parametrenin optimum çözümlerini elde edebilir.

3.7. Kodlama (Encoding)

Genetik algoritmaları kullanarak problem çözümüne başlanıldığında, bireylerin kodlanması sorunu karşımıza çıkar. Kodlama türleri, çalışılan problemin türüne bağlı olarak çeşitlilik gösterir.

3.7.1 İkili Kodlama (Binary Encoding)

En yaygın olarak kullanılan kodlama biçimidir. Bunun en önemli sebebi, genetik algoritmalar ile ilgili ilk çalışmalarda kullanılmış olmasıdır. Bu tür kodlamada her bir birey 0 ve 1 bitlerinden oluşmuş bir katar olarak ifade edilir, (Çizelge 3.2)

Çizelge 3.2 İkili kodlama kullanılarak oluşturulan bireyler

Kromozom A	101100101100101000000000
Kromozom B	111111100000110000000000

İkili kodlamada çok küçük değerli alellere rağmen çok çeşitli bireyler yaratmak mümkündür. Diğer bir yandan da bazı problemler için kodlama türü yeterince uygun (doğal) olmadığı için çaprazlama veya mutasyon aşamasından sonra düzeltme yapılması gerekebilir. Knapsack problemlerinde olduğu gibi, değeri ve büyüklüğü sabit cisimlerin hacmi ve boyutları belli olan uzay parçasına maksimum sayıda yerleştirilmesi problemi için bu kodlama tipi kullanılabilir.

3.7.2 Dizilim (Permütasyon) Kodlaması

Dizilim (permütasyon) kodlaması seyyar satıcı (travelling salesman) problemleri ve görev sıralama problemleri gibi sıralamayı gerektiren problemlerde kullanılır. Bu tür kodlamada her bir birey, sıralama gösteren sayılardan oluşan katar ile ifade edilir, (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3 Dizilim Kodlaması kullanılarak oluşturulan bireyler

Kromozom A	1 5 3 2 6 4 7 9 8
Kromozom B	8 5 6 7 2 3 1 4 9

Dizilim kodlaması yalnızca sıralama problemlerinde kullanışlıdır. Bu kodlaya seyyar satıcı problemi örnek olarak verilebilir. Birçok şehre gitmesi gereken bir seyyar satıcının, kat edeceği mesafenin en kısa olması için izlemesi gereken yol üzerindeki şehirlerin sırası ne olmalıdır? Bu problem için bir birey kodu, satıcının ziyaret edeceği şehirlerin sırasını gösterir.

3.7.3 Reel (Gerçel) Kodlama

Gerçel kodlama karışık değerlerin (örneğin reel sayıların) bulunduğu problemlerde kullanılır. Bu tür problemlerde ikili kodlama kullanılması problemin daha zor bir biçim almasına neden olur. Gerçel kodlamada her bir birey problemle bağlantılı olan form numaralarının, reel sayılar veya karakterlerin oluşturduğu katarla ifade edilir. (Çizelge 3.4)

Çizelge 3.4 Gerçek kodlama kullanılarak oluşturulan bireyler

Kromozom A	1.2324 5.3243 0.4556 2.3293 2.4545
Kromozom B	ABDJEIFJDHDIERJFDLDFLFEGT
Kromozom C	(back), (back), (right), (forward), (left)

Gerçek kodlama bazı özel problemler için çok iyi sonuçlar vermekle birlikte, bu tür kodlama kullanıldığında, yeni çaprazlama ve mutasyon tanımlamaları yapılması gereklidir (Yağsan 2005). Örneğin, yapay sinir ağlarında istenilen çıkışların elde edilmesi için girişlerin ağırlıklarının bulunması. Bu problemde bireyi temsil eden katarı oluşturan reel sayılar giriş ağırlıklarını temsil eder.

3.7.4 Ağaç Kodlaması

Ağaç kodlaması genellikle genetik programlama için gerekli ifadelerin daha kolay geliştirilmesini sağlamak amacıyla kullanılan bir yöntemdir. Bu tip kodlamada her bir birey, programlama dilinde kullanılan fonksiyonlar veya komutlar, nesnelere birbirileri ile bağlantılarını gösteren ağaç yapıdan oluşmaktadır. (Çizelge 3.5)

Çizelge 3.5 Ağaç yapı kodlaması kullanılarak oluşturulan bireyler (Yağsan 2005).

Kromozom A	Kromozom B
(+x(/5y))	do until step time)

Daha önceden de sözü edildiği gibi ağaç yapı kodlaması programlarının değiştirilmesi ve geliştirilmesi için oldukça elverişlidir. Ağaç yapı nedeniyle çaprazlama ve mutasyon olacağı zaman, kullanılan programı oluşturan bölümler kolayca parçalanabilir, bu yüzden LISP programlama dili sık sık bu kodlama biçimini kullanmaktadır. Giriş ve çıkış değerleri verilen bir fonksiyonun bulunması

örnek olarak verilebilir. Burada amaç tüm giriş değerlerine en yakın sonucu sağlayacak fonksiyonun hesaplanmasıdır.

3.7.5 İlk Popülasyonun Oluşturulması

Olası çözümlerin kodlandığı bir çözüm grubu oluşturulur. Çözüm grubu popülasyon, çözümlerin kodları da kromozom olarak adlandırılır. İkili alfabenin kullanıldığı kromozomların gösteriminde, ilk popülasyonun oluşturulması için rastsal sayı üreticileri kullanılabilir. Rastsal sayı üreticisi çağrılır ve değer 0.5'den küçükse konum 0'a değilse 1 değerine ayarlanır (Huang ve Wang 2000). Birey sayısının ve kromozom uzunluğunun az olduğu problemlerde yazı-tura ile de konum değerleri belirlenebilmektedir. Genetik algoritmalarda ikili kodlama yöntemi dışında, çözümü aranan probleme bağlı olarak farklı kodlama yöntemleri de kullanılmaktadır (Goldberg 1989).

3.7.6 Uygunluk Değerinin Hesaplanması

Bir kuşak oluşturulduktan sonraki ilk adım, popülasyondaki her üyenin uygunluk değerini hesaplama adımıdır. Örneğin, bir maksimizasyon problemi için i. üyenin uygunluk değeri $f(i)$, genellikle o noktadaki amaç fonksiyonunun değeridir (De Jong 1998). Çözümü aranan her problem için bir uygunluk fonksiyonu mevcuttur. Verilen belirli bir kromozom için uygunluk fonksiyonu, o kromozomun temsil ettiği çözümün kullanımıyla veya yeteneğiyle orantılı olan sayısal bir uygunluk değeri verir. Bu bilgi, her kuşakta daha uygun çözümlerin seçiminde yol göstermektedir. Bir çözümün uygunluk değeri ne kadar yüksekse, yaşama ve çoğalma şansı o kadar fazladır ve bir sonraki kuşakta temsil edilme oranı da o kadar yüksektir (Yeniay 1999). Nesli oluşturan her bireyin problemin çözümündeki seviyesi bir uygunluk fonksiyonu ile belirlenmektedir. Uygunluk fonksiyonu yüksek değere sahip olan bireylere, nüfustaki diğer bireyler ile çoğalma şanslarını yüksek tutulur. Kaskad kontrol sistem tasarımında kullanılan uygunluk fonksiyonu kontrol hatasının ISTE değeri ile aşağıdaki gibi ilişkilendirilmiştir.

$$e^{-st} = \frac{T^3s^3 + 12T^2s^2 - 60Ts + 120}{T^3s^3 + 12T^2s^2 + 60Ts + 120}$$

(3.1)

Denklemden f uygunluk fonksiyonu, a sabit katsayı olarak tanımlanmıştır. Bu a katsayısı, uygunluk fonksiyonunun 1'e yakın değerler verecek şekilde ve ISTE'nin büyüklüğü dikkate alınarak seçilir.

Yapılan çalışmada, K_p , T_i , K_d ve T_d katsayılarının çözüm uzayı Kararlı, Kararsız ve İntegratörlü sistemlerin en iyi sonuç verdikleri aralıklar dikkate alınarak;

Kararlı sistemler için 0.01 ile 5 arasında,

Kararsız sistemler için 0.1 ile 200 arasında,

İntegratörlü sistemler için 0.01 ile 50 arasında alınmıştır.

Kullanılan algoritmada tek noktalı çaprazlama oranı 0.9 olarak, mutasyon oranı 0.06 olarak, nüfus büyüklüğü 40 ve nesil sayısı 75 olarak seçilmiştir.

3.7.7 Çoğalma İşleminin Uygulanması

Çoğalma operatöründe diziler, amaç fonksiyonuna göre kopyalanır ve iyi kalıtsal özellikleri gelecek kuşağa daha iyi aktaracak bireyler seçilir. Üreme operatörü yapay bir seçimdir. Dizileri uygunluk değerlerine göre kopyalama, daha yüksek uygunluk değerine sahip dizilerin, bir sonraki kuşaktaki bir veya daha fazla yavruya daha yüksek bir olasılıkla katkıda bulunması anlamına gelmektedir. Çoğalma, bireyleri seçme işleminden, seçilmiş bireyleri bir eşleme havuzuna kopyalama işleminden ve havuzda bireyleri çiftler halinde gruplara ayırma işleminden oluşur.

Uygunluk değerinin hesaplanması adımından sonra mevcut kuşaktan yeni bir popülasyon yaratılmalıdır. Seçim işlemi, bir sonraki kuşak için yavru üretmek amacıyla hangi ailelerin yer alması gerektiğine karar vermektedir. Bu doğal seçimdeki en uygunun yaşaması durumuna benzerdir. Bu yöntemin amacı, ortalama uygunluğun üzerindeki değerlere çoğalma fırsatı tanımadır. Bir dizinin kopyalanma şansı, uygunluk fonksiyonuyla hesaplanan dizinin uygunluk değerine bağlıdır (De Jong 1998). Seçim yöntemlerine rulet tekerleği seçimi, turnuva seçimi ve sıralama seçimi gibi seçim yöntemleri örnek verilebilir.

3.7.8 Çaprazlama İşleminin Uygulanması

Mevcut gen havuzunun potansiyelini araştırmak üzere, bir önceki kuşaktan daha iyi nitelikler içeren yeni kromozomlar yaratmak amacıyla çaprazlama operatörü

kullanılmaktadır. Çaprazlama genellikle, verilen bir çaprazlama oranına eşit bir olasılıkla seçilen aile çeşitlerine uygulanmaktadır (De Jong 1998).

Genetik algoritmanın performansını etkileyen önemli parametrelerden biri olan çaprazlama operatörü doğal popülasyonlardaki çaprazlamaya karşılık gelmektedir. Çoğalma işlemi sonucunda elde edilen yeni popülasyondan rastsal olarak iki kromozom seçilmekte ve karşılıklı çaprazlama işlemine tabi tutulmaktadır. Çaprazlama işleminde dizi uzunluğu L olmak üzere, $1 \leq k \leq L-1$ aralığında k tamsayısı seçilmektedir. Bu tamsayı değerine göre dizi çaprazlamaya uğratılır. En basit çaprazlama yöntemi tek noktalı çaprazlama yöntemidir. Tek noktalı çaprazlama yapılabilmesi için her iki kromozomun da aynı gen uzunluğunda olması gerekir. İki noktalı çaprazlamada ise kromozom iki noktadan kesilir ve karşılıklı olarak pozisyonlar yer değiştirilir (Fığlalı 2003).

3.7.9 Mutasyon İşleminin Uygulanması

Çaprazlama mevcut gen potansiyellerini araştırmak üzere kullanılır. Fakat popülasyon gerekli tüm kodlanmış bilgiyi içermez ise, çaprazlama tatmin edici bir çözüm üretmez. Bundan dolayı, mevcut kromozomlardan yeni kromozomlar üretme yeteneğine sahip bir operatör gerekmektedir. Bu görevi mutasyon gerçekleştirir. Yapay genetik sistemlerde mutasyon operatörü, bir daha elde edilemeyebilir iyi bir çözümün kaybına karşı koruma sağlamaktadır (Goldberg 1989). İkili kodlama sisteminin kullanıldığı problemlerde mutasyon, düşük bir olasılık değeri altında bir bit değerini (0 veya 1 olabilir) diğer bit değerine dönüştürür. İkili kodlama sisteminin kullanılmadığı problemlerde ise daha farklı mutasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, mutasyonun genel amacı, genetik çeşitliliği sağlamak veya korumaktır (Braysy 2001).

3.7.10 Yeni Kuşağın Oluşması ve Döngünün Durdurulması

Yeni kuşak çoğalma, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden sonra tanımlanmakta ve bir sonraki kuşağın ebeveynleri olmaktadır. Süreç yeni kuşakla çoğalma için belirlenen uygunluk ile devam eder. Bu süreç, önceden belirlenen kuşak sayısı kadar veya bir hedefe ulaşıncaya kadar ya da başka bir durdurma kriteri sağlanana kadar devam eder (Huang ve Wang 2000). İstenen hassasiyet derecesine göre de maksimum iterasyon sayısı belirlenebilmekte ve iterasyon bu sayıya

ulaştığında döngü durdurulabilmektedir. Durdurma kriteri iterasyon sayısı olabileceği gibi hedeflenen uygunluk değeri de olabilmektedir (Michalewicz 1992).

3.8. Genetik Algoritmalarda Parametre Seçimi

Parametreler, genetik algoritma performansı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Optimal kontrol parametreleri bulmak için birçok çalışma yapılmıştır fakat tüm problemler için genel olarak kullanılacak parametreler bulunamamıştır (Dengiz ve Altıparmak 1998). Bu parametreler kontrol parametreleri olarak adlandırılmaktadır. Kontrol parametreleri popülasyon büyüklüğü, çaprazlama olasılığı, mutasyon olasılığı, kuşak aralığı, seçim stratejisi ve fonksiyon ölçeklemesi olarak sayılabilir. Bu parametreler aşağıda açıklanmıştır (Yeniay 1999).

3.8.1 Popülasyon Büyüklüğü

Genetik algoritma kullanıcısı tarafından verilen en önemli kararlardan birisidir. Bu değer çok küçük olduğunda, genetik algoritma yerel bir optimuma takılabilmektedir. Popülasyonun çok büyük olması ise çözüme ulaşma zamanını arttırmaktadır. Bu konuda Goldberg 1985’de, yalnızca kromozom uzunluğuna bağlı bir popülasyon büyüklüğü hesaplama yöntemi önermiştir. Ayrıca Schaffer ve arkadaşları 1989’da çok sayıda test fonksiyonları üzerinde yaptıkları araştırmalar sonucunda, 20-30 arası bir popülasyon büyüklüğünün iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

3.8.2 Çaprazlama Olasılığı

Çaprazlamanın amacı, mevcut iyi kromozomların özelliklerini birleştirerek daha uygun kromozomlar yaratmaktır. Kromozom çiftleri $P(c)$ olasılığı ile çaprazlamaya uğramak üzere seçilirler. Çaprazlamanın artması, yapı bloklarının artmasına neden olmakta fakat aynı zamanda bazı iyi kromozomların da bozulma olasılığını arttırmaktadır.

3.8.3 Mutasyon Olasılığı

Mutasyonun amacı popülasyondaki genetik çeşitliliği korumaktır. Mutasyon $P(m)$ olasılığı ile bir kromozomdaki her bitte meydana gelebilir. Eğer mutasyon

olasılığı artarsa, genetik arama rastsal bir aramaya dönüşür. Fakat bu aynı zamanda kayıp genetik malzemeyi tekrar bulmada yardımcı olmaktadır.

3.8.4 Kuşak Aralığı

Her kuşaktaki yeni kromozom oranına kuşak aralığı denmektedir. Genetik operatörler için kaç tane kromozomun seçildiğini gösterir. Yüksek bir değer birçok kromozomun yer değiştirdiği anlamına gelmektedir.

3.8.5 Seçim Stratejisi

Eski kuşağı yenilemenin çeşitli yöntemleri mevcuttur. Kuşaksal stratejide, mevcut popülasyondaki kromozomlar tamamen yavrular ile yer değiştirir. Popülasyonun en iyi kromozomu da yenilediğinden dolayı bir sonraki kuşağa aktarılamaz ve bu yüzden bu strateji en uygun (elitist) stratejisiyle beraber kullanılmaktadır. En uygun stratejisinde, popülasyondaki en iyi kromozomlar hiçbir zaman yenilenmemektedir, bundan dolayı çoğalma için en iyi çözüm her zaman elverişlidir. Denge durumu stratejisinde ise, her kuşakta yalnızca birkaç kromozom yenilenmektedir. Genellikle, yeni kromozomlar popülasyona katıldığında en kötü kromozomlar yenilenir.

3.8.6 Fonksiyon Ölçeklemesi

Doğrusal ölçekleme, üstsel ölçekleme gibi yöntemler mevcuttur. Probleme göre en uygun ölçekleme yönteminin seçilmesi genetik algoritmanın etkin işlemesi açısından önem taşımaktadır.

3.9. Genetik Algoritma Uygulamasına Bir Örnek

Burada, örnek amaç fonksiyonu olarak $f(x) = x^2$ fonksiyonu ele alınmıştır. x değişkeni 0 ile 31 arasında değerler almakta ve ikilik düzende 5 bit ile ifade edilmektedir. Sayılar işaretli ve tam sayı olsun. Bu durumda $000002 = 010$ ve $111112 = 3110$ olur. Başlangıç olarak rastgele oluşturulmuş bir dizi topluluğu ele alınsın. Bunun için daha önceki kapalı kutu örneğinde ele alınmış topluluk düşünölsün. Bu topluluğun elemanları çizelge 3.6'nın sol tarafında gösterilmiştir. Çizelgede soldan sağa doğru x 'in onluk tabanındaki değeri, amaç fonksiyon değeri, seçilme olasılığı, buna göre bir sonraki nesildeki tahmin sayısı ve rulet çarkı döndüröldükten sonraki sayı bulunmaktadır.

Çizelge 3.6 Genetik Algoritmalar

Dizi No	İlk Nesil	x değeri	$f(x)=x^2$	$\frac{f_1}{\sum f_1}$	$\frac{f_1}{f}$	Sayı
1	0 1 1 0 1	13	169	0.14	0.58	1
2	1 1 0 0 0	24	576	0.49	1.97	2
3	0 1 0 0 0	8	64	0.06	0.22	0
4	1 0 0 1 1	19	361	0.31	1.23	1
Toplam			1170	1.00	4.00	4.0
Ortalama			293	0.25	1.00	1.0
Maksimum			576	0.49	1.97	2.0

İlk nesildeki dizilerin ortalama uygunluk değeri 293 ve en iyi uygunluk değeri ise 576'dır. Bir sonraki adım bu dizilerden işlem havuzunun oluşturulması ve çaprazlama işleminin uygulanmasıdır. Bunlar Çizelge 3.7' de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7 Çaprazlama işemi uygulanmış durum

İşlem	Eşil	Yer	Yeni Nesil	X	f(x)
0 1 1 0-1	2	4	0 1 1 0 0	12	144
1 1 0 0-0	1	4	1 1 0 0 1	25	625
0 1-0 0 0	4	2	1 1 0 1 1	27	729
1 0-0 1 1	3	2	1 0 0 0 0	16	256
Toplam					1754
Ortalama					439
Maksimum					729

Çizelge 3.7' de üreme ve çaprazlama işlemleri uygulanmıştır. Mutasyon olasılığı 0.001 olarak alındığından dolayı ve küçük bir değer olduğundan yukarıdaki dizilerin $5 \times 4 = 20$ bitinde görülmemiştir. Sonuçta hiçbir bit mutasyon sonucu değişmemiştir.

Çizelge 3.6 ve çizelge 3.7' deki diziler (ve dolayısıyla temsil ettikleri onluk düzendeki sayılar) karşılaştırıldığında en iyi sonuca yaklaşıldığı görülmektedir.

3.GENETİK ALGORİTMA

Ortalama ve en yüksek uygunluk değeri yükselmiştir. Örneğin ortalama 293'ten 439'a yükselmiştir. Ancak genetik algoritmalar olasılığa da dayalı olduğu için bir nesilden diğerine geçerken iyileşme bu kadar hızlı olmayabilir. Hatta yeni neslin ortalaması bir öncekinden daha düşük olabilir. Fakat uzun vadede bulunacak sayılar mutlaka ilk nesli oluşturanlardan daha iyi amaç fonksiyon değerleri vereceklerdir. Genetik algoritmalarındaki en son adım, bulunan yeni nesildeki elemanları, ilk nesil gibi ele alarak işlemleri bunların üzerinde yeniden uygulamaktır. Bu işlemler tekrar ve tekrar belli bir durma kriteri sağlanana kadar yürütülür. En sonra bulunan sayı tekrar onluk düzene çevrilerek kullanılır (Üstün 2001).

4. KASKAD KONTROL SİSTEMLER İÇİN OPTİMUM KONTROLÖR TASARIMI

4.1. Amaç

Uzun zaman gecikmeli ve standart geri beslemeli kontrol sistemleri, güçlü bozucular karşısında iyi performans verememektedirler (Kaya 2001).

Kaskad kontrol, özellikle öngörülmeyen bozucuların varlığında bir kontrol sisteminin performansını arttırmak için tek geri beslemeli kontrol sistemlerinin bir alternatifidir. Klasik kontrol sistemleri bozucular karşısında iyi cevap veremeyebilirler. Literatürde kaskad kontrol sistemlerinin ayarı ile ilgili az sayıda metod vardır. Lee ve diğerleri P-PI (iç döngü P dış döngü PI) ve PID-PID (iç döngü PID dış döngü PID) kontrolörlerini aynı anda hem iç hem dış döngü için ayarlamayı sağlayan bir metod geliştirmiştir. Bu metod, özellikle kullanıcı tarafından performans kriterlerini seçme avantajına sahiptir. GA'nın yerel optimuma yakalanmadan, birden çok optimum nokta bularak en iyi sonucu tespit etmede çok etkili olduğu kanıtlanmıştır (Lee ve Park 1998).

Kaskad Kontrol Sistemlerle ilgili bugüne kadar yapılan bütün çalışmalarda giriş referans alınarak sistem optimize edilmiş, sistemin bozucu karşısında nasıl bir cevap vereceği ile ilgili olarak herhangi bir çalışma yapılmamıştır.

Yapılan çalışmada, kaskad kontrol sistemi, referans ve bozucuya göre ayrı ayrı optimize edilmiş, kaskad kontrol sisteminin en iyi parametreleri hesaplanmış ve sisteme bozucu girdiğinde, bozucuya göre optimize edilen kaskad kontrol sistemlerin bozucuları yok etmede referansa göre optimize edilmiş kaskad kontrol sistemlere ve klasik kontrol sistemlere göre daha iyi bir performans gösterdiği G.A yöntemi kullanılarak benzetim örnekleri ile gösterilmiştir.

Verilen örneklerde kararlı, kararsız ve integratörlü kaskad kontrol sistemlerin kontrolör tasarımı yapılmış ve bulunan optimizasyon sonuçları klasik kontrol sistemlerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, sisteme bozucu bir etki tesir ettiğinde bozucuya göre optimize edilen kaskad kontrol sistemlerin, klasik kontrol sistemlere ve referansa göre optimize edilen kaskad kontrol sistemlere göre biraz daha iyi bir performans sağladığı açıkça ortaya konmuştur.

Çalışmamızı yaparken iki farklı yöntemle sonuca gidilmeye çalışılmıştır. Birinci yöntemde Kaskad Kontrol Sistemleri için, öncelikle iç döngüde bulunan kontrolör G_{c2} 'nin bozucu ve referansa göre PI kontrol parametreleri hesaplanmış ve bulunan

4. KASKAD SİSTEMLER İÇİN OPTİMUM KONTROLÖR TASARIM

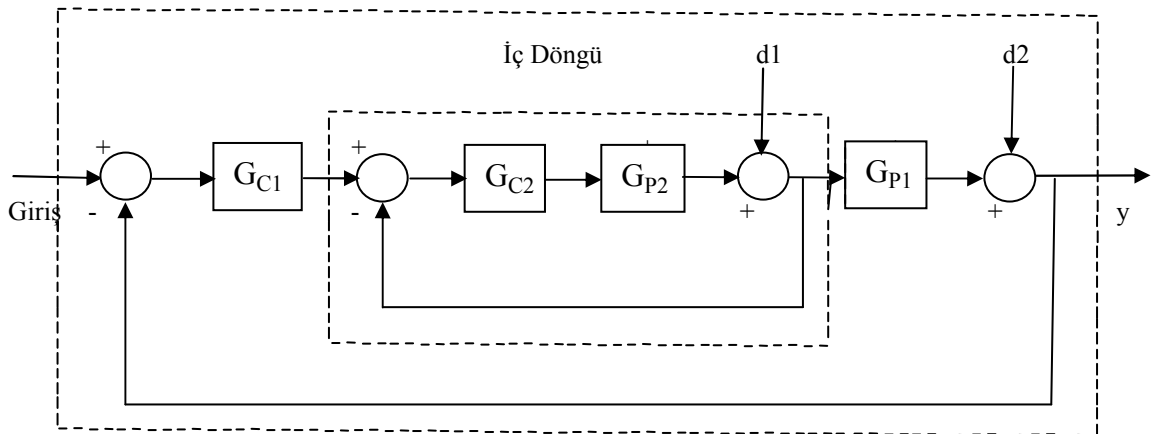
sonuçlar kaskad kontrol sisteminde yerine yazılarak kaskad kontrol sistemin ana kontrolörü olan G_{c1} için tekrardan PI ve PID parametreleri hesaplanmıştır.

İkinci yöntemde ise G_{c2} ve G_{c1} genetik algoritma yöntemiyle aynı anda hesaplanmış ve bulunan sonuçlar klasik kontrol sistemler ile karşılaştırmıştır. Her iki yöntemde de bozucuya göre optimize edilmiş kaskad kontrol sistemlerin bozucuların etkisini yok etmede referansa göre optimize edilmiş kaskad kontrol sistemlere ve klasik kontrol sistemlere göre daha iyi bir performans sağladığı görülmüştür.

Tasarım yapılırken, Kaskad kontrol sistemin ayar parametreleri, kontrol uygulamalarında sıklıkla kullanılan optimal yaklaşım kullanılarak elde edilmiştir. Optimal yaklaşımda, hata sinyalini minimum yapacak kontrolör ayar parametreleri belirlenmeye çalışılır. Hata sinyalini ISE, ISTE v.b. cinsinden minimum yapacak farklı algoritmalar kullanılabilir.

Genetik algoritma (GA) bu amaç için yaygın kullanılan optimizasyon tekniklerinden biridir (Alander 2008). GA'nın modelden bağımsız olması, yalnızca uygunluk fonksiyonunu kullanması ve çok tepeli arama uzayında daha iyi sonuçlar vermesi nedeni ile bu tezde kullanılması tercih edilmiştir (Goldenberg 1989). ISTE kriterinde yüzde aşması daha az ve oturma zamanı daha kısa olan kapalı çevrim cevaplar elde edilir. Dolayısıyla, Kaskad kontrolörün ayar parametreleri GA ile hata sinyalini ISTE cinsinden minimum yapacak şekilde belirlenmiştir.

Dış Döngü



Şekil 4.1 Kaskad kontrol sistem blok diyagramı

4.2. Kararlı Kaskad Kontrol Sistem İçin Uygulama Sonuçları

Yapılan çalışmada, kaskad kontrol sistemin ikincil ve iç döngü kontrolörü G_{c2} 'nin PI kontrolör parametreleri (K_{pi} , T_{ii}) ve birincil, dış döngü kontrolörü G_{c1} 'in PID kontrolör parametreleri (K_{pd} , T_{id} ve K_{dd}) katsayılarının çözüm uzayı kararlı kaskad kontrol sistemin en iyi sonuç verdiği aralıklar dikkate alınarak;

Kararlı sistemler için çözüm uzayı yani iç döngü ve dış döngü parametrelerinin en iyi sonuç verdiği aralıklar 0,01 ile 5 arasında bulunmuştur.

Kullanılan algoritmada tek noktalı çaprazlama oranı (crossover rate) 0,9 olarak, mutasyon oranı (mutation rate) 0,06 olarak, nüfus büyüklüğü (population size) 40 olarak ve nesil sayısı 75 olarak seçilmiştir.

Kontrol edilen sistemin iç ve dış döngü transfer fonksiyonları aşağıda verilmiştir.

$$G_{p1} = \frac{e^{-9s}}{(8s+1)(7s+1)} \quad (4.1)$$

$$G_{p2} = \frac{4}{(s+1)^3} \quad (4.2)$$

4.2.1 Kararlı Kaskad Kontrol Sistemin Dış Döngü (PI) - İç Döngü (PI)

Parametreleri Ayrı Ayrı Optimize Edilerek Elde Edilen Sonuçlar

Kararlı kaskad kontrol sistemde öncelikle iç döngü parametreleri optimize edilmiş ve bulunan sonuçlardan yararlanılarak, kaskad kontrol sistemin dış döngü parametreleri hesaplanmıştır. Optimizasyon ISTE'nin minimum değerini kriter alan GA ile gerçekleştirilmiştir.

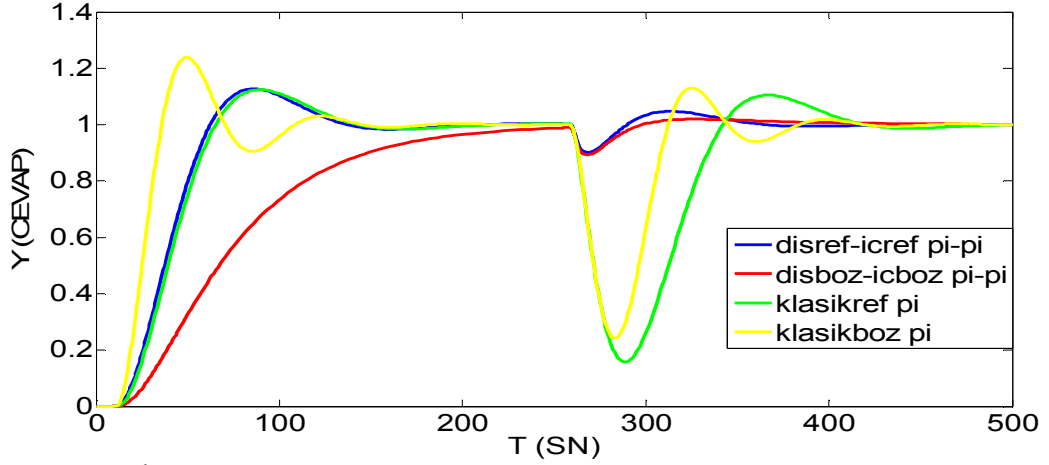
Kararlı kaskad kontrol sistemde PI-PI kontrolör kullanılarak elde edilen iç ve dış döngü kontrolör parametreleri aşağıdadır.

	K_{pi}	T_{ii}	K_{pd}	T_{id}	ISTE
İç Referans Dış Referans (pi-pi)	0.2944	2.5700	0.1522	5	39444
İç Bozucu Dış Bozucu (pi-pi)	0.2983	2.5638	0.0374	3	12081

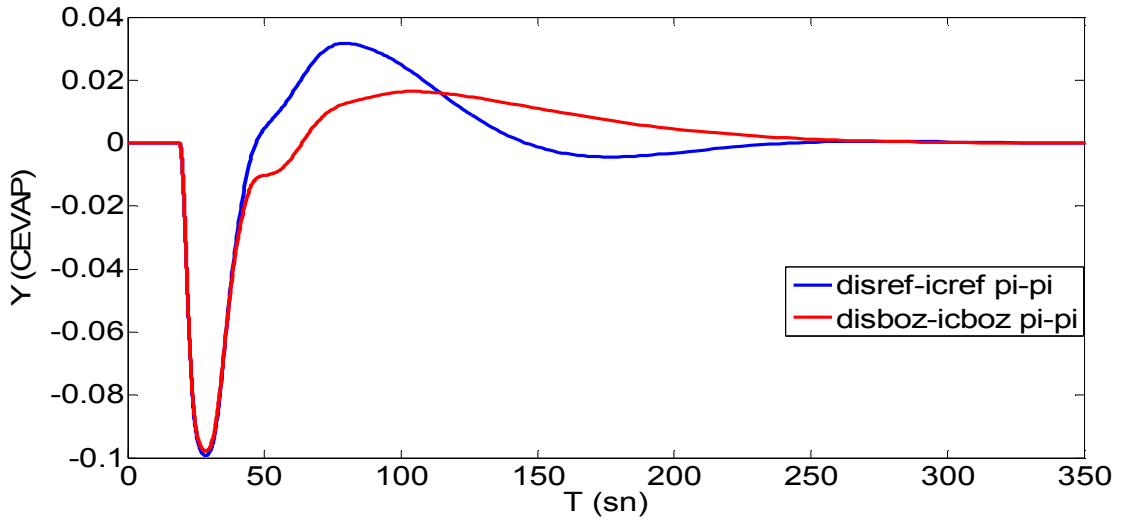
4. KASKAD SİSTEMLER İÇİN OPTİMUM KONTROLÖR TASARIM

Klasik kontrol sistemde PI kontrolör kullanılarak elde edilen iç ve dış döngü kontrolör parametreleri aşağıdadır.

	K_p	T_i	ISTE
Klasik PI kontrolör bozucu (D1)	0.1744	15	1119800
Klasik PI kontrolör referans	0.0362	5	2184500



Şekil 4.2 İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek kararlı kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarım sonuçları ve klasik kontrol sistem ile karşılaştırması (pi-pi)



Şekil 4.3 İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek sisteme sadece bozucu girdiğinde, kararlı kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarım sonuçları (pi-pi)

Şekillerden de görüldüğü gibi sisteme bozucu girdiğinde bozucuya göre optimize edilen kaskad kontrol sistem, referansa göre optimize edilen kaskad kontrol sistemden ve klasik kontrol sistemden daha iyi sonuç vermektedir.

4.2.2 Kararlı Kaskad Kontrol Sistemin Dış Döngü (PID) - İç Döngü (PI)

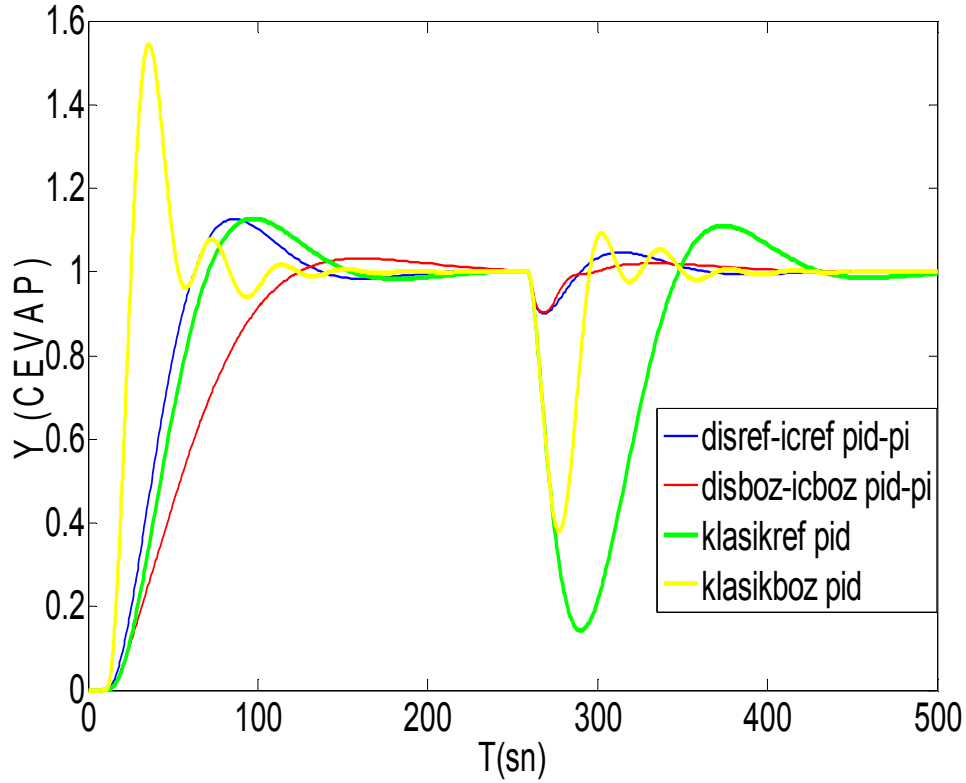
Parametreleri Ayrı Ayrı Optimize Edilerek Elde Edilen Sonuçlar

Kararlı kaskad kontrol sistemde PID-PI kontrolör kullanılarak elde edilen iç ve dış döngü kontrolör parametreleri aşağıdadır.

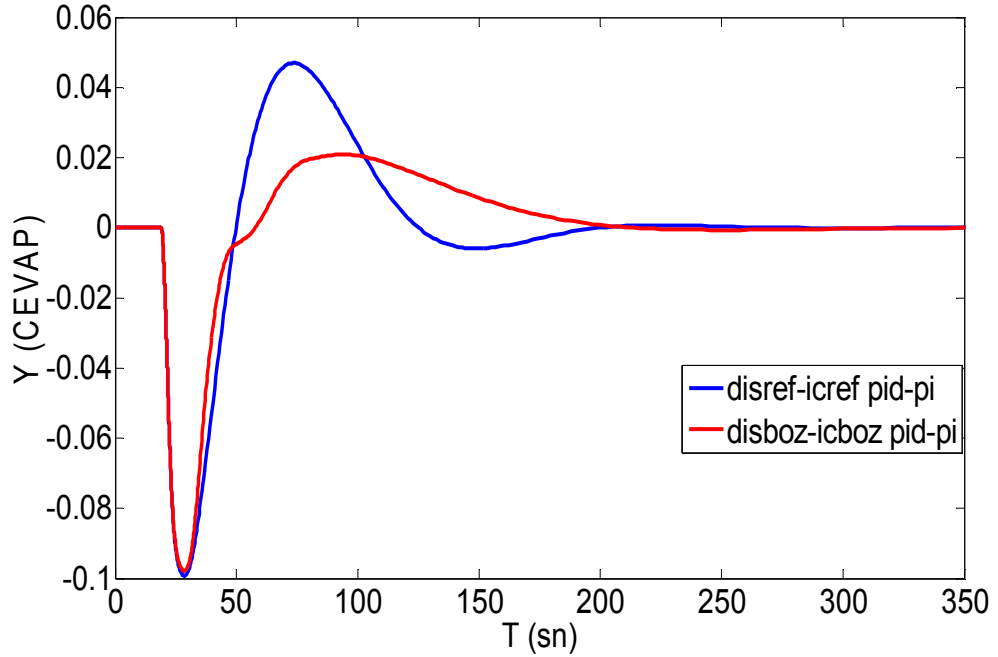
	K_{pi}	T_{ii}	K_{pd}	T_{id}	K_{dd}	ISTE
İç Referans Dış Referans (pid-pi)	0.2944	2.5700	0.1519	5	0.0100	34742
İç Bozucu Dış Bozucu (pid-pi)	0.2983	2.5638	0.0906	5	5	56102

Klasik kontrol sistemde PID kontrolör kullanılarak elde edilen kontrolör parametreleri aşağıdadır.

	K_p	T_i	K_d	ISTE
Klasik PID kontrolör bozucu (D1)	0.3430	15	2.4885	466760
Klasik PID kontrolör referans	0.0200	3	0.0100	247220



Şekil 4.4 İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek kararlı kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarım sonuçları ve klasik kontrol sistem ile karşılaştırması (pid-pi) için



Şekil 4.5 İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek sisteme sadece bozucu girdiğinde, kararlı kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı (pid-pi)

Şekillerden de görüldüğü gibi sisteme bozucu girdiğinde, bozucuya göre optimize edilen kaskad kontrol sistem, referansa göre optimize edilen kaskad kontrol sistemden ve klasik kontrol sistemden daha iyi sonuç vermektedir.

4.2.3 Kararlı Kaskad Kontrol Sistemde Bütün Parametreler Birlikte Optimize Edilerek PI-PI Kontrolör Sonuçları

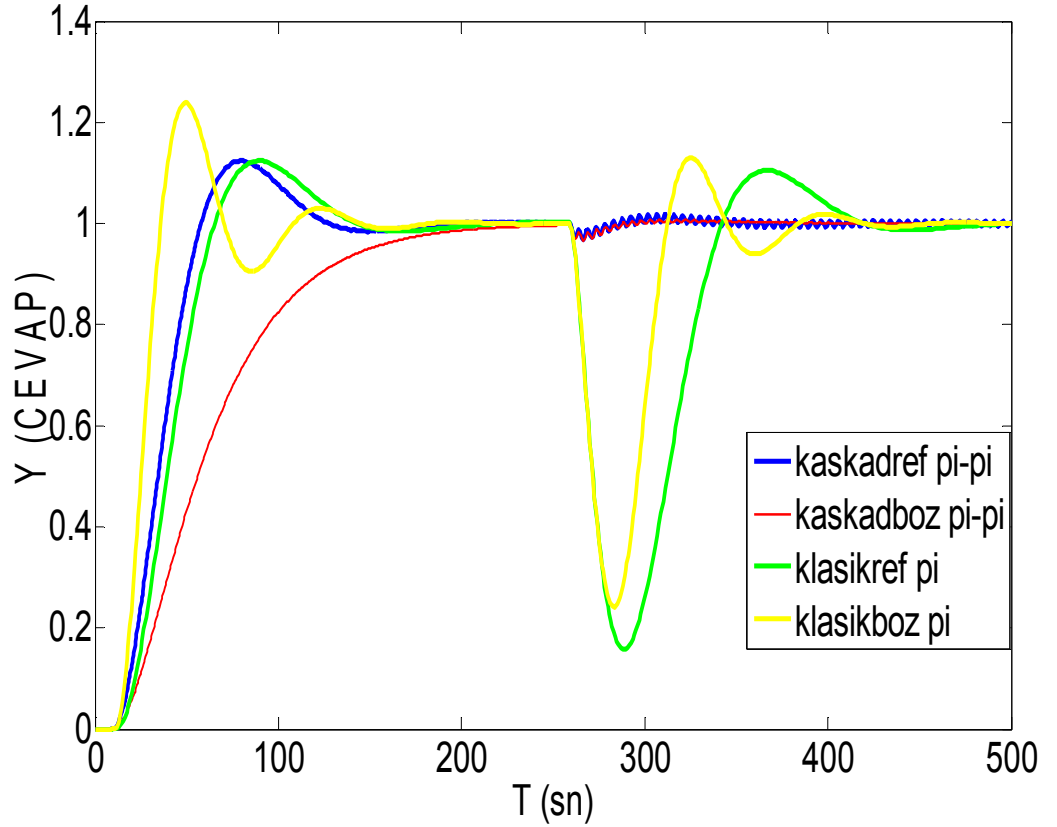
Kararlı kaskad kontrol sistemde iç döngü ve dış döngüde bulunan PI-PI kontrolör parametreleri GA ile aynı anda optimize edilerek bulunan sonuçlar bu kısımda gösterilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi kaskad kontrol sisteme bozucu girdiğinde, bozucuya göre optimize edilen kaskad kontrol sistemin bozucunun etkisini yok etmede referansa göre optimize edilen kaskad kontrol sisteme ve klasik kontrol sisteme göre daha iyi bir performans sergilediği görülmektedir.

Kararlı kaskad kontrol sistemde PI-PI kontrolör kullanılarak elde edilen iç ve dış döngü kontrolör parametreleri aşağıdadır.

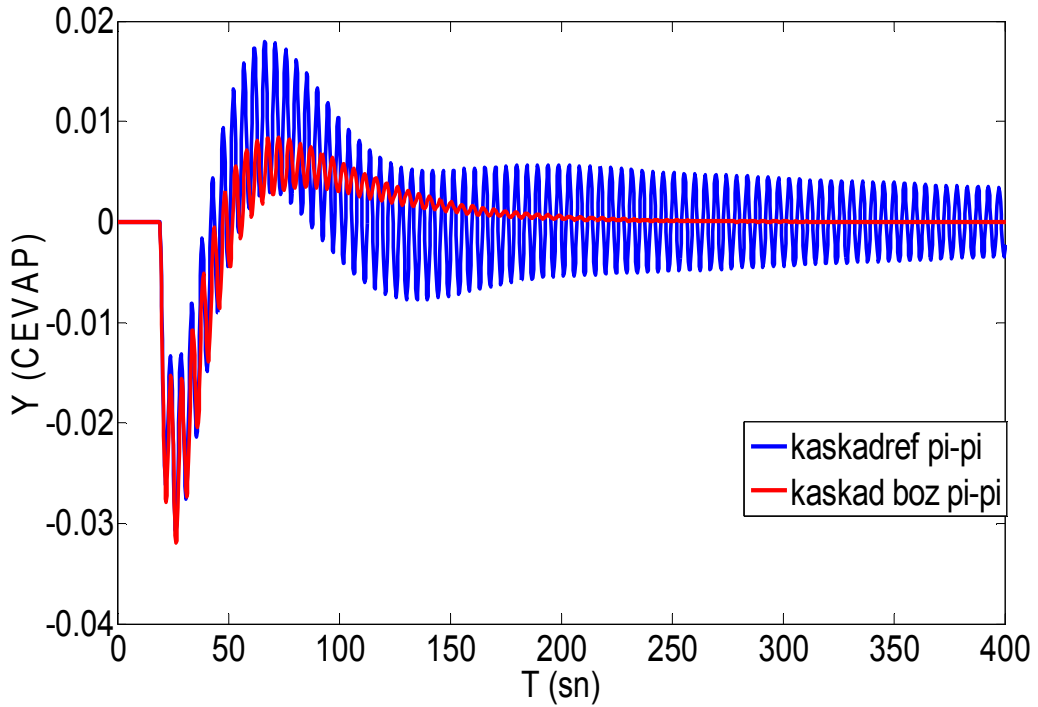
	K_{pi}	T_{ii}	K_{pd}	T_{id}	ISTE
Referansa göre (pi-pi)	1.0760	2.0009	0.1657	5	14872
Bozucuya göre (pi-pi)	1.0000	2.0020	0.0753	5	61172

Klasik kontrol sistemde PI kontrolör kullanılarak elde edilen kontrolör parametreleri aşağıdadır.

	K_p	T_i	ISTE
Klasik PI kontrolör bozucu (D1)	0.1744	15	1119800
Klasik PI kontrolör referans	0.0362	5	2184500



Şekil 4.6 Bütün parametreler birlikte optimize edilerek kararlı kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarım sonuçları ve klasik kontrol sistem ile karşılaştırması (pi-pi)



Şekil 4.7 Bütün parametreler birlikte optimize edilerek sisteme sadece bozucu verildiğinde kararlı kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı (pid-pi)

Şekillerden de görüldüğü gibi sisteme bozucu girdiğinde, bozucuya göre optimize edilen sistemin referansa göre optimize edilen kaskad kontrol sistem ve klasik kontrol sisteme göre daha iyi sonuç verdiği gözlemlenmektedir. Özellikle Şekil 4.7'de bozucunun varlığında giriş referans alınarak optimize edilen kaskad kontrol sistemin, bozucuyu yok etmek için daha uzun bir zamana ihtiyaç duyduğu ve sistemin osilasyonlu olduğu görülmektedir.

4.2.4 Kararlı Kaskad Kontrol Sistemde Bütün Parametreler Birlikte Optimize Edilerek PID-PI Kontrolör Sonuçları

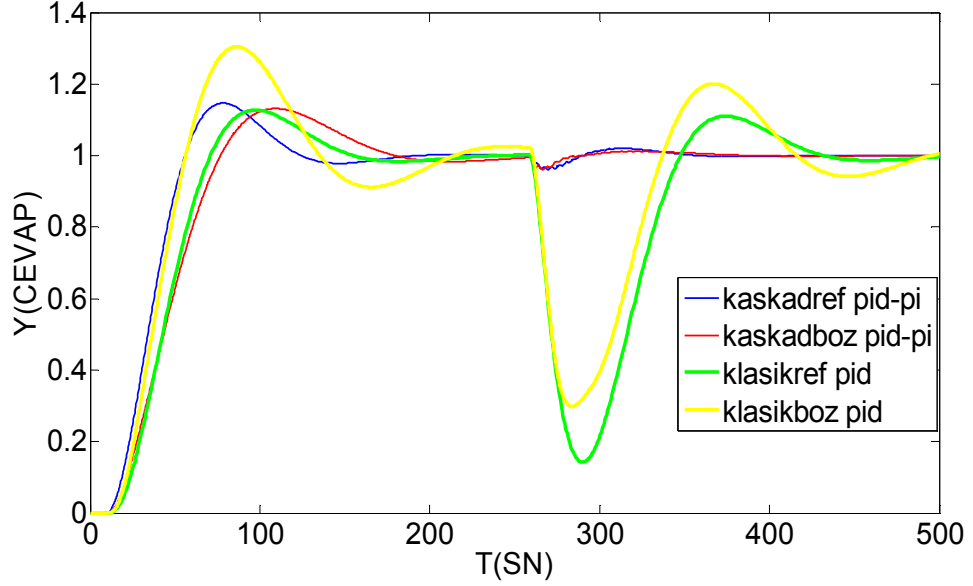
Kararlı kaskad kontrol sistemde dış döngü ve iç döngüde bulunan PID-PI kontrolör parametreleri GA ile aynı anda optimize edilerek bulunan optimizasyon sonuçları bu kısımda gösterilmiştir.

Kararlı kaskad kontrol sistemde PID-PI kontrolör kullanılarak elde edilen iç ve dış döngü kontrolör parametreleri aşağıdadır.

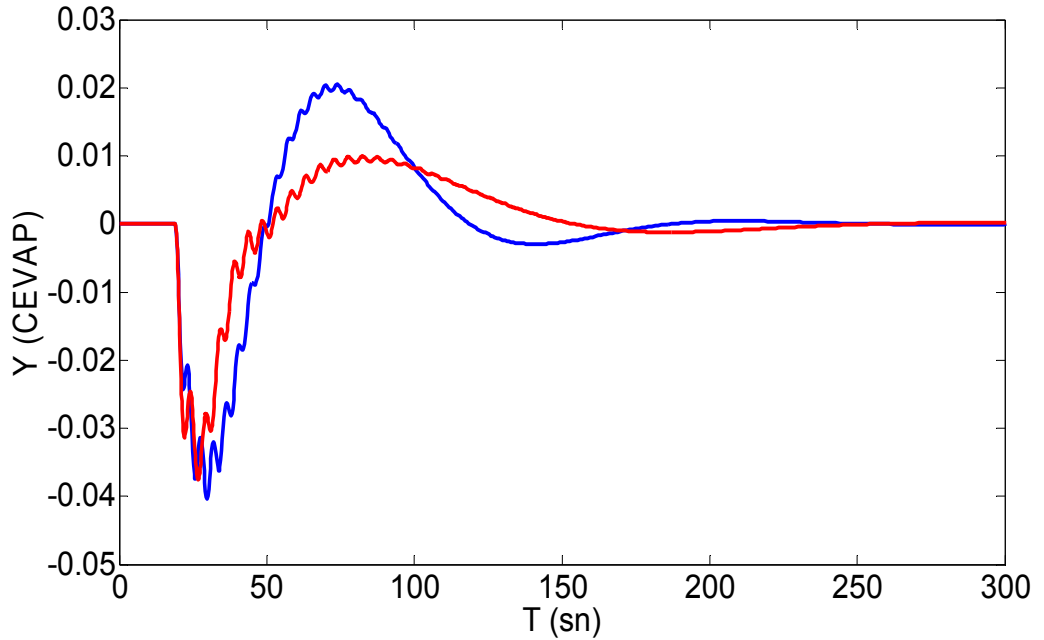
	K_{pi}	T_{ij}	K_{pd}	T_{jd}	K_{dd}	ISTE
Referansa göre (pid-pi)	1.3864	5	0.1717	5	0.0100	17080
Bozucuya göre (pid-pi)	0.9313	2.6133	0.0705	2.6049	4.9997	32725

Klasik kontrol sistemde PI kontrolör kullanılarak elde edilen kontrolör parametreleri aşağıdadır.

	K_p	T_i	K_d	ISTE
Klasik PID kontrolör bozucu (D1)	0.3430	15	2.4885	466760
Klasik PID kontrolör referans	0.0200	3	0.0100	247220



Şekil 4.8 Bütün parametreler birlikte optimize edilerek kararlı kaskad kontrol sistem için optimum tasarım sonuçları ve klasik kontrol sistem ile karşılaştırması (pid-pi)



Şekil 4.9 Bütün parametreler birlikte optimize edilerek sisteme sadece bozucu verildiğinde kararlı kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı (pid-pi)

Şekillerde de görüldüğü gibi bozucuya göre optimize edilmiş kararlı bir kaskad kontrol sisteme bozucu girdiğinde, referansa göre optimize edilmiş kaskad kontrol sisteme göre daha az taşmayla ve daha kısa süreli bir oturma zamanı ile sistemin istenilen duruma geldiği izlenmektedir.

4.3 Kararsız Kaskad Kontrol Sistem İçin Uygulama Sonuçları

Lineer zamanla değişmeyen sistemlerin doğal cevabı zamanla sonsuza gidiyorsa sistem kararsızdır denir.

Fiziksel olarak, doğal cevabı sınırsız olan kararsız sistemler kendilerine, etrafındaki araç gereçlere veya insanlara zarar verebilirler.

Lineer zamanla değişmeyen sistemlerde, sistem kutupları sol yarı düzlemde ise kararlı, sağ-yarı düzlemde ise kararsızdır denir.

Bir sistemin kararsız olması için en az bir kutbunun sağ yarı düzlemde yada sanal eksen üzerinde katlı kökünün olması yeterlidir. Sanal eksen üzerinde bir kök varsa sistem cevabı osilasyonludur. Bu tip sistemlere marjinal kararlı sistemler denir.

Yapılan çalışmada, kaskad kontrol sistemin ikincil ve iç döngü kontrolörü G_{c2} 'nin PI kontrolör parametreleri K_{pi} , T_{ii} ve birincil, dış döngü kontrolörü G_{c1} 'in PID kontrolör parametreleri K_{pd} , T_{id} ve K_{dd} katsayılarının çözüm uzayı kararsız kaskad kontrol sistemin en iyi sonuç verdiği aralıklar dikkate alınarak;

Kararsız sistemler için çözüm uzayı yani iç döngü ve dış döngü kontrolör parametrelerinin en iyi sonuç verdiği aralıklar 0,01 ile 200 arasında bulunmuştur.

Kullanılan algoritmada tek noktalı çaprazlama oranı (crossover rate) 0,9 olarak, mutasyon oranı (mutation rate) 0,06 olarak, nüfus büyüklüğü (population size) 40 ve nesil sayısı 75 olarak seçilmiştir.

Kontrol edilen sistemin transfer fonksiyonu aşağıdaki gibi kabul edilmiştir.

$$G_{p1} = \frac{e^{-3s}}{(10s-1)} \quad (4.3)$$

$$G_{p2} = \frac{2e^{-2s}}{(s+1)} \quad (4.4)$$

4.3.1 Kararsız Kaskad Kontrol Sistemin Dış Döngü (PI) - İç Döngü (PI)

Parametreleri Ayır Ayır Optimize Edilerek Elde Edilen Sonuçlar

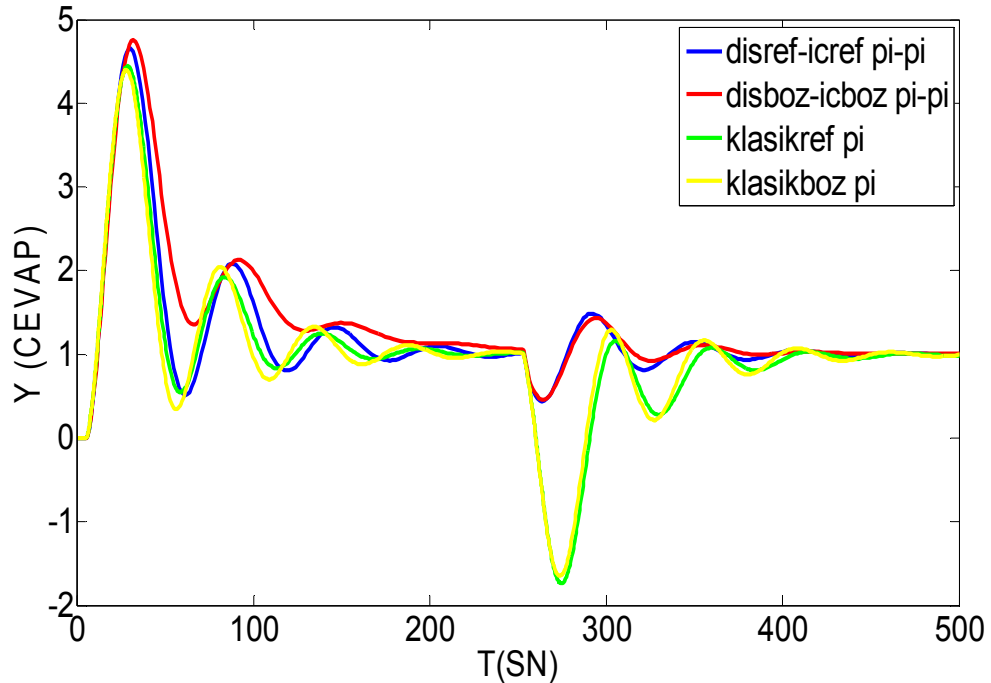
Kararsız kaskad kontrol sistemde öncelikle iç döngü parametreleri optimize edilmiş ve bulunan sonuçlardan yararlanılarak, kaskad kontrol sistemin dış döngü parametreleri hesaplanmıştır. Optimizasyon ISTE'nin minimum değerini kriter alan GA ile gerçekleştirilmiştir.

Kararsız kaskad kontrol sistemde PI-PI kontrolör kullanılarak elde edilen iç ve dış döngü kontrolör parametreleri aşağıdadır.

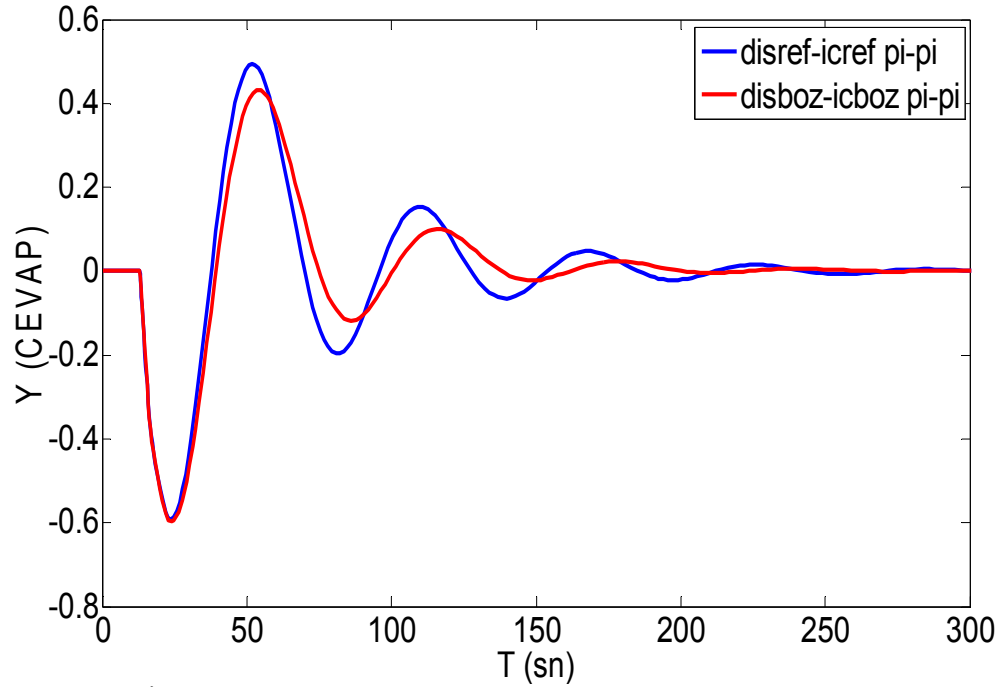
	K_{pi}	T_{ii}	K_{pd}	T_{id}	ISTE
İç Referans Dış Referans (pi-pi)	0.2703	1.7587	1.4660	159	1186200
İç Bozucu Dış Bozucu (pi-pi)	0.2699	1.7481	1.4131	200	1242300

Klasik kontrol sistemde PI kontrolör kullanılarak elde edilen kontrolör parametreleri aşağıdadır.

	K_p	T_i	ISTE
Klasik PI kontrolör bozucu (D1)	0.7620	125.2034	11474000
Klasik PI kontrolör referans	0.7457	136.800	17699000



Şekil 4.10 İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek kararsız kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarım sonuçları ve klasik kontrol sistem ile karşılaştırması(pi-pi)



Şekil 4.11 İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek sisteme sadece bozucu girdiğinde, kararsız kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı (pi-pi)

Şekil 4.10'da görüldüğü gibi ilk 250 sn'de, referans ve bozucuya göre ayrı ayrı optimize edilmiş kaskad kontrol sisteminin optimum sonuçları giriş referans alınarak elde edilmiştir. Referansa göre optimize edilen ve şekilde mavi olarak gösterilen sinyal, bozucuya göre optimize edilen kaskad kontrol sistemi ve klasik kontrol sisteminden daha iyi bir sonuç vermiştir. Fakat, 250 sn'den sonra sisteme bozucu girdiğinde, bozucuya göre optimize edilen sistemin daha iyi bir sonuç verdiği görülmektedir. Şekil 4.11'de ise kaskad kontrol sisteme sadece bozucu verilmiş ve bozucuya göre optimize edilen sistemin bozucunun varlığında azda olsa iyi bir performans sergilediği gösterilmiştir.

4.3.2 Kararsız Kaskad Kontrol Sistemin Dış Döngü (PID) - İç Döngü (PI) Parametreleri Ayrı Ayrı Optimize Edilerek Elde Edilen Sonuçlar

Kararsız kaskad kontrol sistemde öncelikle iç döngü parametreleri optimize edilmiş ve bulunan sonuçlardan yararlanılarak, kaskad kontrol sistemin dış döngü

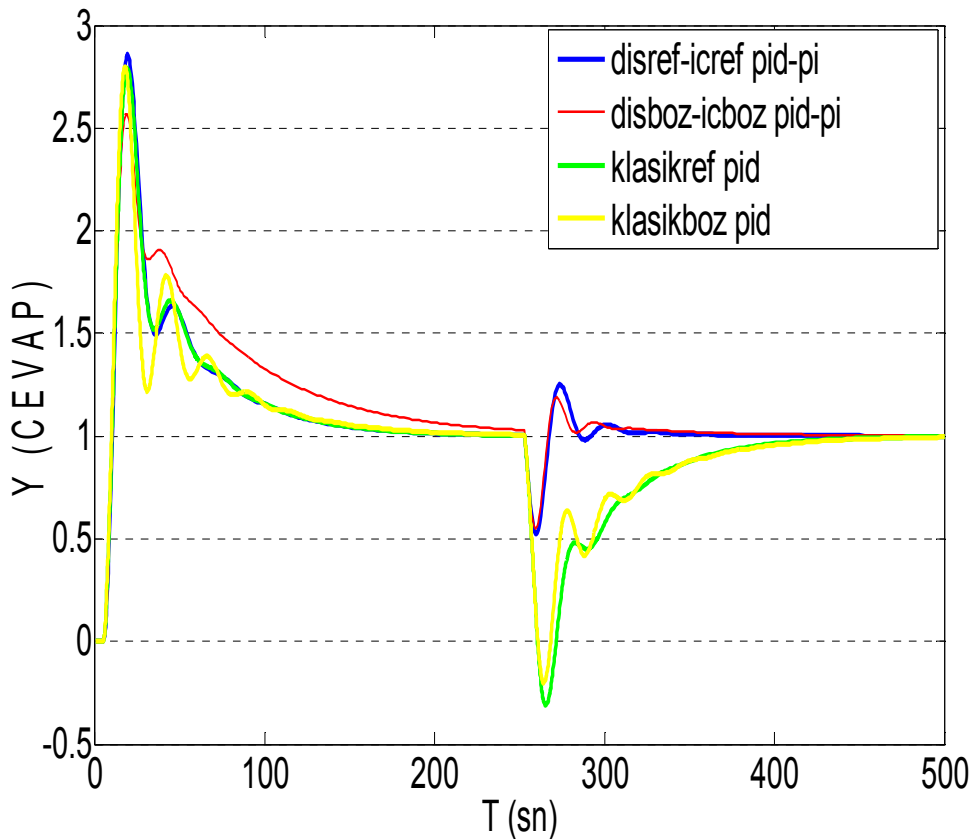
parametreleri hesaplanmıştır. Optimizasyon ISTE'nin minimum değerini kriter alan GA ile gerçekleştirilmiştir.

Kararsız kaskad kontrol sistemde PID-PI kontrolör kullanılarak elde edilen iç ve dış döngü kontrolör parametreleri aşağıdadır.

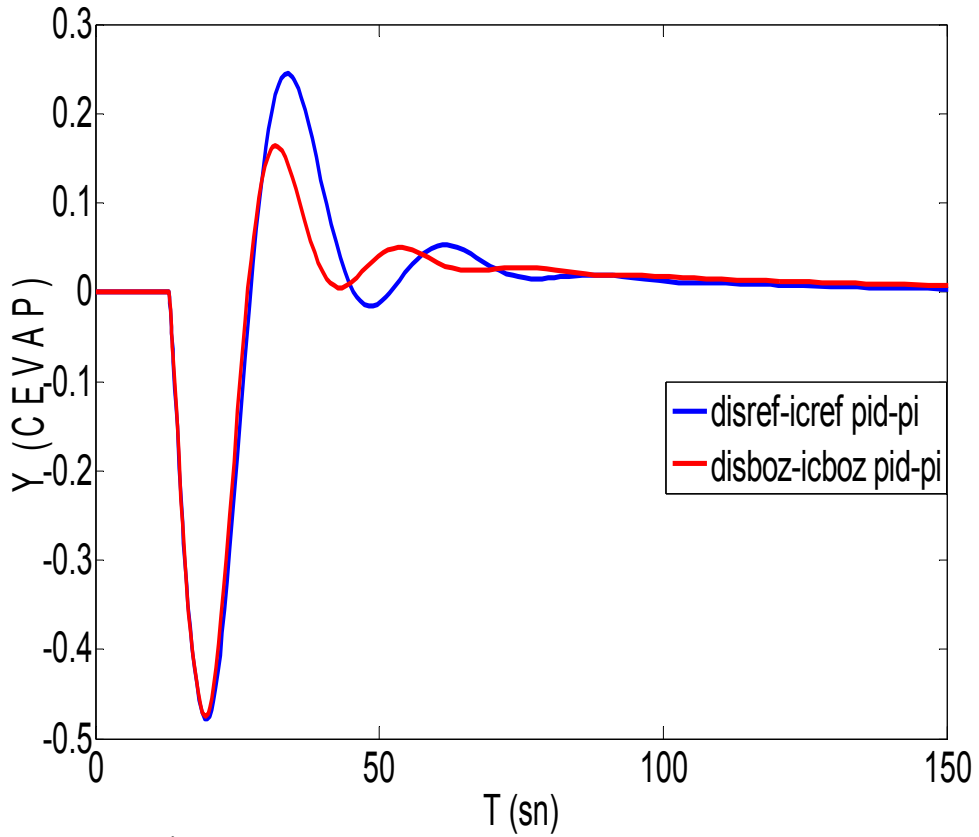
	K_{pi}	T_{ii}	K_{pd}	T_{id}	K_{dd}	ISTE
İç Referans Dış Referans (pid-pi)	0.2703	1.7587	1.9884	100	4.1549	204400
İç Bozucu Dış Bozucu (pid-pi)	0.2699	1.7481	1.9467	149	4.9984	271990

Klasik kontrol sistemde PI kontrolör kullanılarak elde edilen kontrolör parametreleri aşağıdadır.

	K_p	T_i	K_d	ISTE
Klasik PID kontrolör bozucu (D1)	1.0987	100.1314	2.2793	1910500
Klasik PID kontrolör referans	0.9961	100.0010	2.0155	2490800



Şekil 4.12 İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek kararsız kaskad sistem için optimum kontrolör tasarım sonuçları ve klasik kontrol sistem ile karşılaştırması (pid-pi)



Şekil 4.13 İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek sisteme sadece bozucu girdiğinde, kararsız kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı (pid-pi)

Kaskad kontrol sisteme bozucu girdiğinde, bozucuya göre optimize edilen kaskad kontrol sistemin, referansa göre optimize edilen kaskad kontrol sistemine göre azda olsa iyi bir performans sergilediği görülmektedir.

4.3.3 Kararsız Kaskad Kontrol Sistemde Bütün Parametreler Birlikte Optimize Edilerek PI-PI Kontrolör Sonuçları

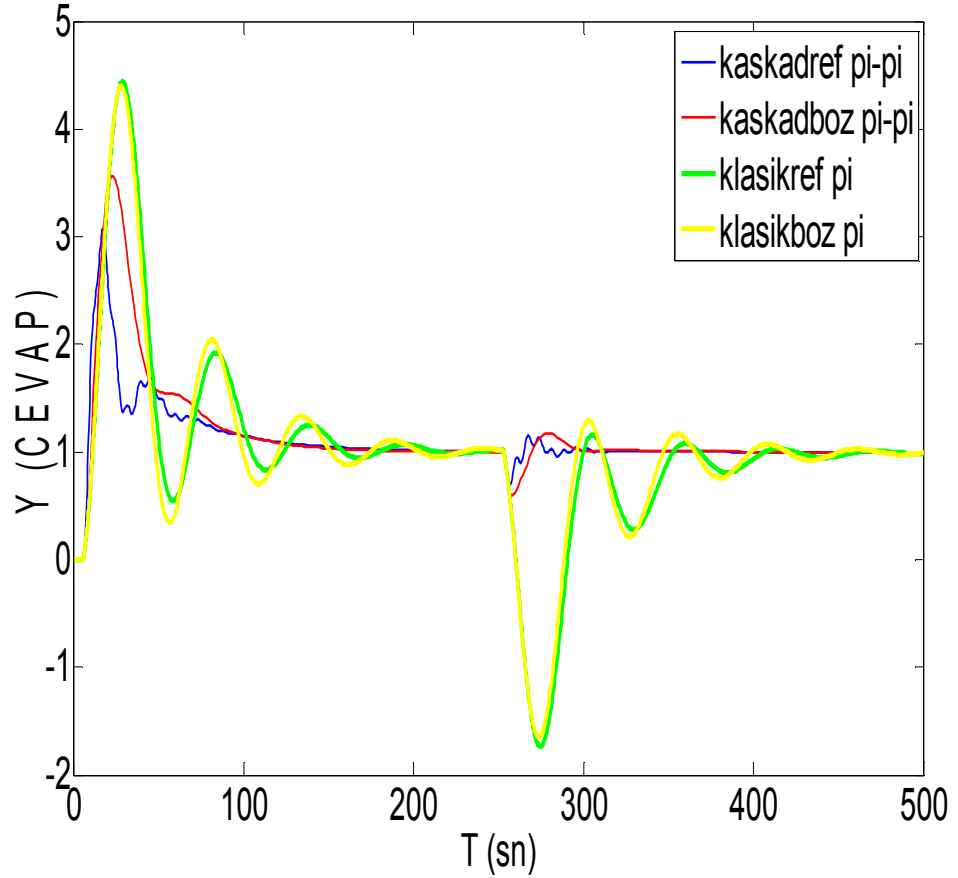
Kararsız kaskad kontrol sistemde iç döngü ve dış döngüde bulunan PI-PI kontrolör parametreleri GA ile aynı anda optimize edilerek bulunan optimizasyon sonuçları bu kısımda gösterilmiştir. Şekillerden de görüldüğü gibi kaskad kontrol sisteme bozucu girdiğinde, bozucuya göre optimize edilen kaskad kontrol sistemin bozucunun etkisini yok etmede referansa göre optimize edilen kaskad kontrol sisteme ve klasik kontrol sisteme göre iyi bir performans sergilediği görülmektedir.

Kararsız kaskad kontrol sistemde PI-PI kontrolör kullanılarak elde edilen iç ve dış döngü kontrolör parametreleri aşağıdadır.

	K_{pi}	T_{ii}	K_{pd}	T_{id}	ISTE
Referansa göre (pi-pi)	0.4479	1.0272	1.9893	100	49470
Bozucuya göre (pi-pi)	0.2080	0.7595	1.5655	116.0022	22362

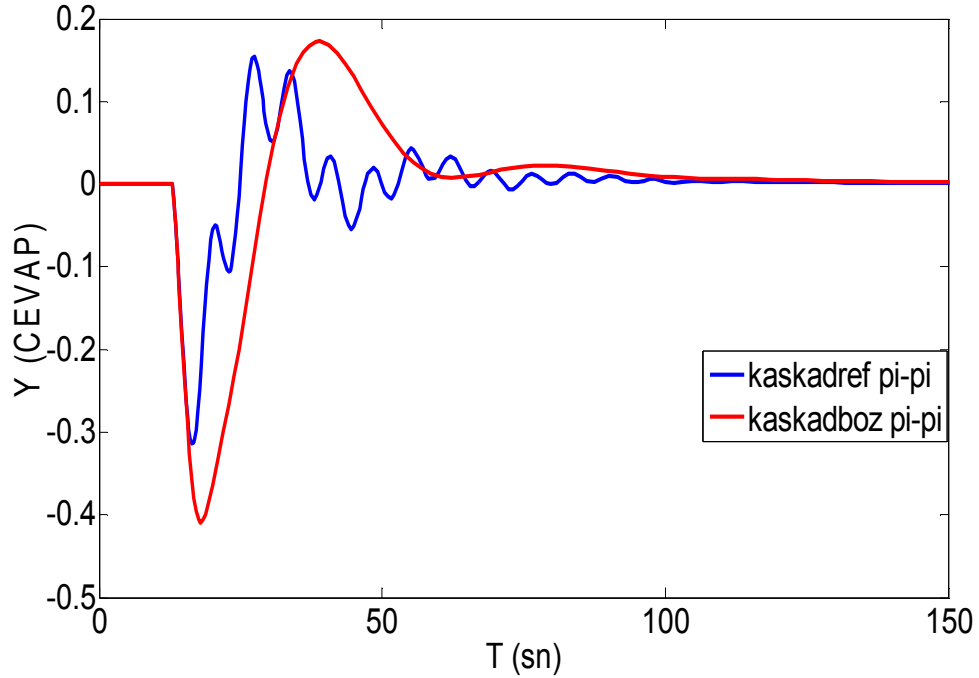
Klasik kontrol sistemde PI kontrolör kullanılarak elde edilen kontrolör parametreleri aşağıdadır.

	K_p	T_i	ISTE
Klasik PI kontrolör bozucu (D1)	0.7620	125.2034	11474000
Klasik PI kontrolör referans	0.7457	136.800	17699000



Şekil 4.14 Bütün parametreler birlikte optimize edilerek kararsız kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarım sonuçları ve klasik kontrol sistem ile karşılaştırması (pi-pi)

4. KASKAD SİSTEMLER İÇİN OPTİMUM KONTROLÖR TASARIM



Şekil 4.15 Bütün parametreler birlikte optimize edilerek sisteme sadece bozucu verildiğinde kararsız kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı (pi-pi)

Şekillerden de görüldüğü gibi sisteme bozucu girdiğinde, bozucuya göre optimize edilen kaskad kontrol sistemin referansa göre optimize edilen kaskad kontrol sistem ve klasik kontrol sisteme göre iyi sonuç verdiği gözlemlenmektedir.

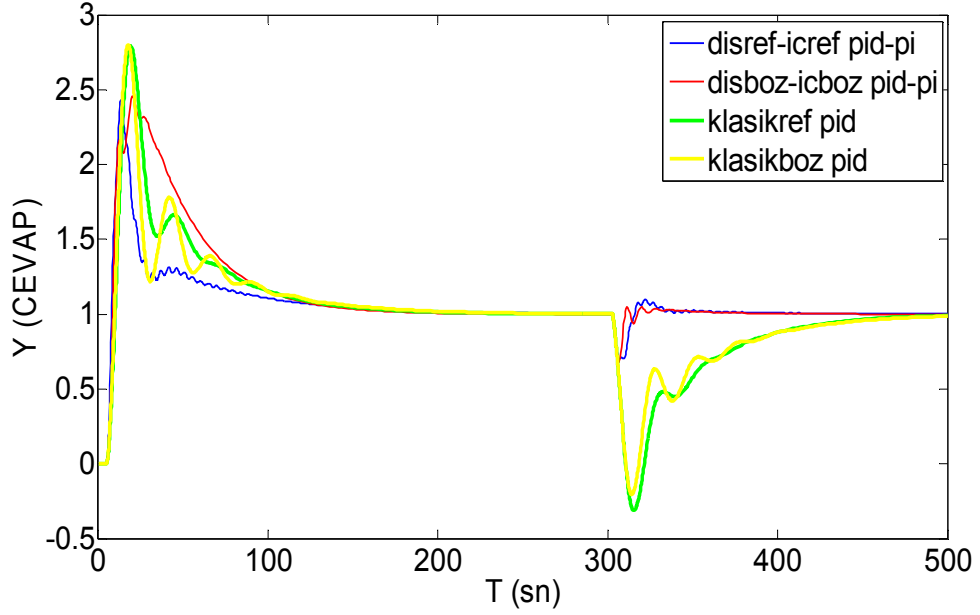
4.3.4 Kararsız Kaskad Kontrol Sistemde Bütün Parametreler Birlikte Optimize Edilerek PID-PI Kontrolör Sonuçları

Kararsız kaskad kontrol sistemde iç döngü ve dış döngüde bulunan PID-PI kontrolör parametreleri GA ile aynı anda optimize edilerek bulunan parametreler aşağıdadır.

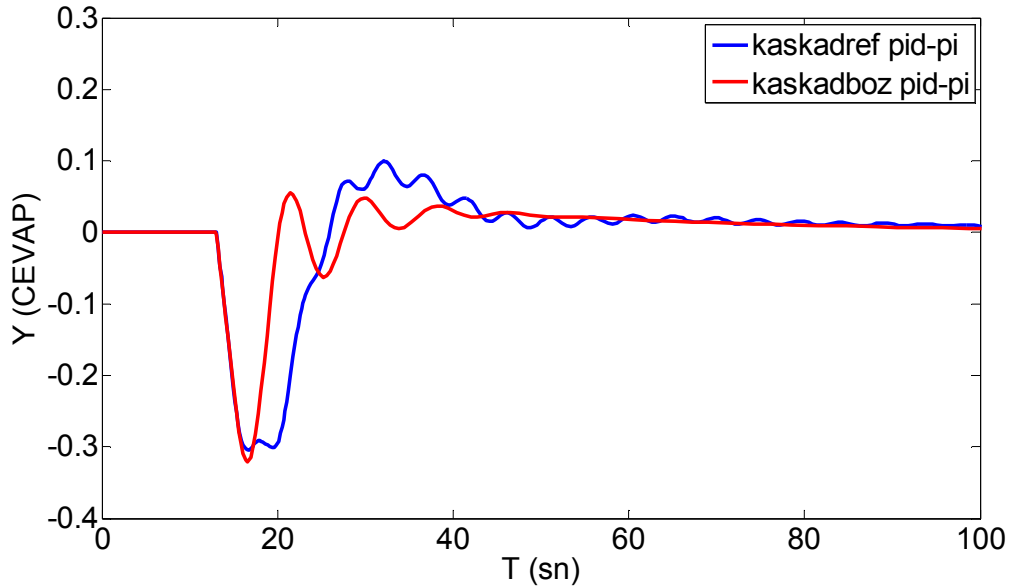
	K_{pi}	T_{ii}	K_{pd}	T_{id}	K_{dd}	ISTE
Referansa göre (pid-pi)	0.6901	6	3	90	5.0030	85054
Bozucuya göre (pid-pi)	0.3845	0.8297	1.7315	105.6509	1.4977	107020

Klasik kontrol sistemde PI kontrolör kullanılarak elde edilen kontrolör parametreleri aşağıdadır.

	K_p	T_i	K_d	ISTE
Klasik PID kontrolör bozucu (D1)	1.0987	100.1314	2.2793	1910500
Klasik PID kontrolör referans	0.9961	100.0010	2.0155	2490800



Şekil 4.16 Bütün parametreler birlikte optimize edilerek kararsız kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarım sonuçları ve klasik kontrol sistem ile karşılaştırması (pid-pi)



Şekil 4.17 Bütün parametreler birlikte optimize edilerek sisteme sadece bozucu verildiğinde kararsız kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı (pi-pi)

Şekil 4.16'da görüldüğü gibi ilk 300 sn'de, referans ve bozucuya göre ayrı ayrı optimize edilmiş kaskad kontrol sistemin optimum sonuçları giriş referans alınarak elde edilmiştir. Referansa göre optimize edilen ve şekilde mavi olarak gösterilen sinyal, bozucuya göre optimize edilen kaskad kontrol sistemi ve klasik kontrol sisteminden daha iyi bir sonuç vermiştir. Fakat 300 sn'den sonra sisteme bozucu girdiğinde,

bozucuya göre optimize edilen sistemin iyi bir sonuç verdiği aşikârdır. Şekil 4.17’de ise kaskad kontrol sisteme sadece bozucu verilmiş ve bozucuya göre optimize edilen sistemin bozucunun varlığında referansa göre optimize edilmiş sisteme göre azda olsa iyi bir performans sergilediği gösterilmiştir.

4.4. İntegratörlü Kaskad Kontrol Sistem İçin Uygulama Sonuçları

İntegral kontrol referans ve çıkış işareti arasındaki hata değerini sıfırlamak için kullanılabilir. İntegral işlemine ait çıkış değeri, giriş x zaman olarak elde edileceğinden dolayı, hata değeri sıfırlanıncaya kadar integratöre ait çıkış işareti artış gösterecektir. İntegratörü de içeren bir kontrol sistemi oluşturulduğunda, elde edilecek olan kontrol işareti hata değerini sıfırlayacaktır. Sıfır değerli hata değerinin elde edilmesi için geçecek olan zaman değeri ise integratörün zaman sabitine bağlı olacaktır.

Yapılan çalışmada, İntegratörlü Kaskad kontrol sistemin ikincil ve iç döngü kontrolörü G_{c2} nin PI kontrolör parametreleri (K_{pi} , T_{ii}) ve birincil, dış döngü kontrolörü G_{c1} ’in PID kontrolör parametreleri (K_{pd} , T_{id} ve K_{dd}) katsayılarının çözüm uzayı İntegratörlü kaskad kontrol sistemin en iyi sonuç verdiği aralıklar dikkate alınarak;

İntegratörlü sistemler için çözüm uzayı yani iç döngü ve dış döngü parametrelerinin en iyi sonuç verdiği aralıklar 0.01 ile 50 arasında bulunmuştur.

Kullanılan algoritmada tek noktalı çaprazlama oranı (crossover rate) 0,9 olarak, mutasyon oranı (mutation rate) 0,06 olarak, nüfus büyüklüğü (population size) 40 olarak ve nesil sayısı 75 olarak seçilmiştir.

Kontrol edilen sistemin iç ve dış döngü transfer fonksiyonları aşağıda verilmiştir.

$$G_{p1} = \frac{2e^{-2s}}{s} \quad (4.5)$$

$$G_{p2} = \frac{4e^{-s}}{(s+1)} \quad (4.6)$$

4.4.1 İntegratörlü Kaskad Kontrol Sistemin Dış Döngü (PI) - İç Döngü (PI)

Parametreleri Ayrı Ayrı Optimize Edilerek Elde Edilen Sonuçlar

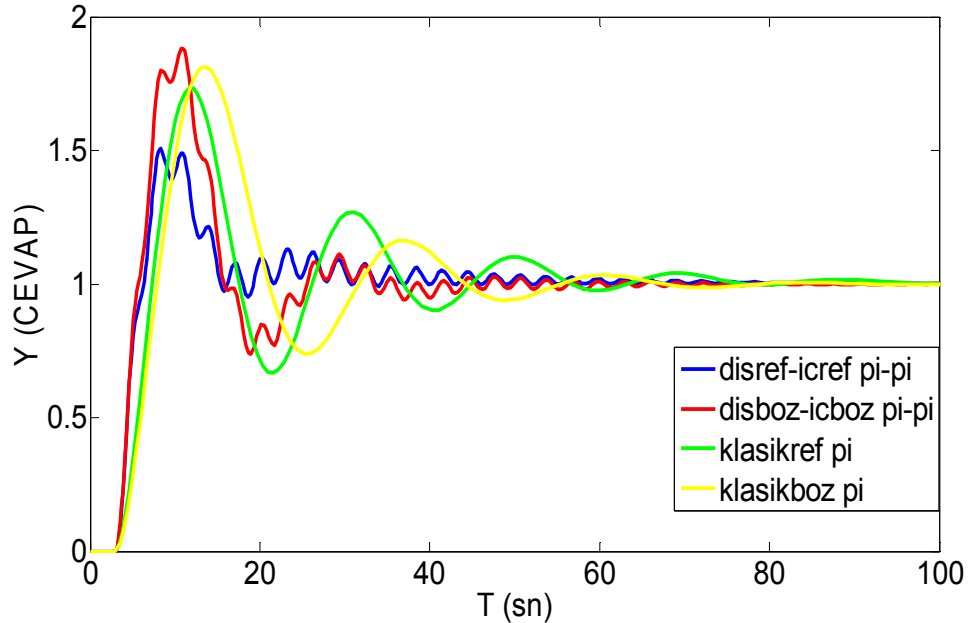
İntegratörlü kaskad kontrol sistemde öncelikle iç döngü parametreleri optimize edilmiş ve bulunan sonuçlardan yararlanılarak, kaskad kontrol sistemin dış döngü parametreleri hesaplanmıştır. Elde ettiğimiz parametrelere göre, önce kaskad kontrol sisteminde giriş referans alınarak sonuçlar bulunmuş, daha sonra kaskad kontrol sisteme bozucu girdiği durumda sistemin vereceği cevap gösterilmiştir.

İntegratörlü kaskad kontrol sistemde PI-PI kontrolör kullanılarak elde edilen iç ve dış döngü kontrolör parametreleri aşağıdadır

	K_{pi}	T_{ii}	K_{pd}	T_{id}	ISTE
İç Referans Dış Referans (pi-pi)	0.4833	15	0.2006	38.4909	3951000
İç Bozucu Dış Bozucu (pi-pi)	0.4823	15	0.1993	10.0005	3996100

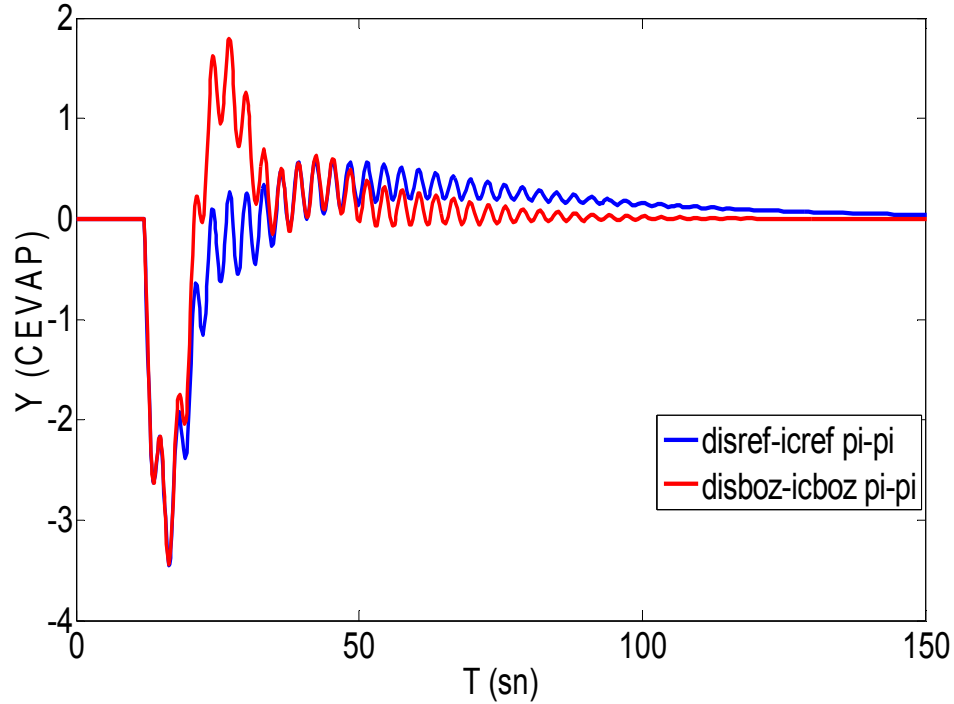
Klasik kontrol sistemde PI kontrolör kullanılarak elde edilen parametreler aşağıdadır.

	K_p	T_i	ISTE
Klasik PI kontrolör bozucu (D1)	0.0287	15.2082	76323000
Klasik PI kontrolör referans	0.0360	40.8899	97020000



Şekil 4.18 İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek giriş referans alınarak integratörlü kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı ve klasik kontrol sistem ile karşılaştırması (pi-pi)

4. KASKAD SİSTEMLER İÇİN OPTİMUM KONTROLÖR TASARIM



Şekil 4.19 İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek bozucu referans alınarak integratörlü kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı (pi-pi)

Şekillerden de görüldüğü gibi sisteme bozucu girdiğinde, bozucuya göre optimize edilen sistem, referansa göre optimize edilen kaskad kontrol sisteme ve klasik kontrol sisteme göre iyi sonuç vermektedir.

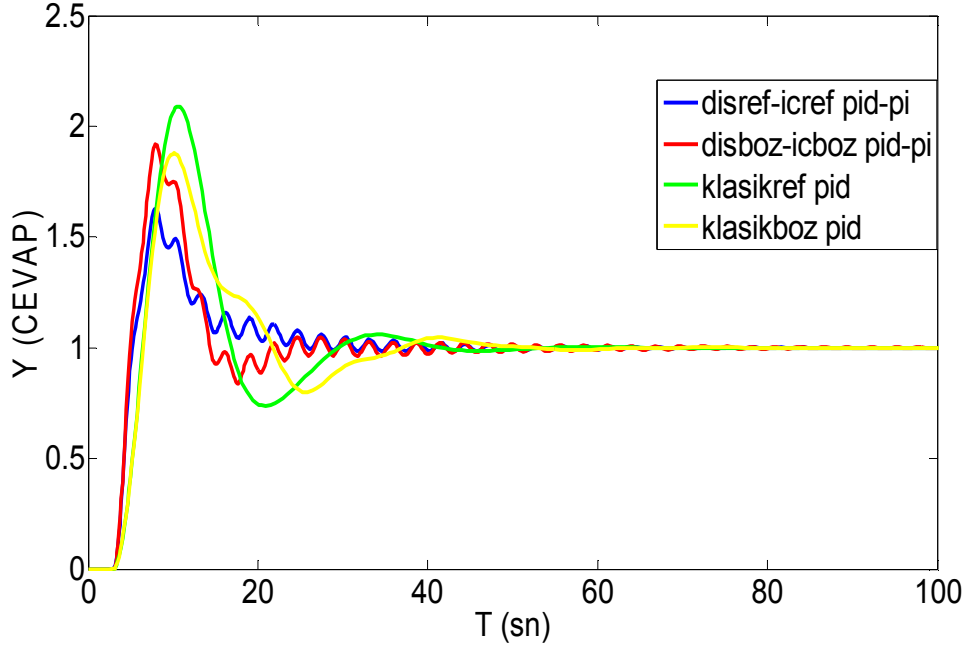
4.4.2 İntegratörlü Kaskad Kontrol Sistemin Dış Döngü (PID) - İç Döngü (PI) Parametreleri Ayrı Ayrı Optimize Edilerek Elde Edilen Sonuçlar

İntegratörlü kaskad kontrol sistemde PID-PI kontrolör kullanılarak elde edilen iç ve dış döngü kontrolör parametreleri aşağıdadır.

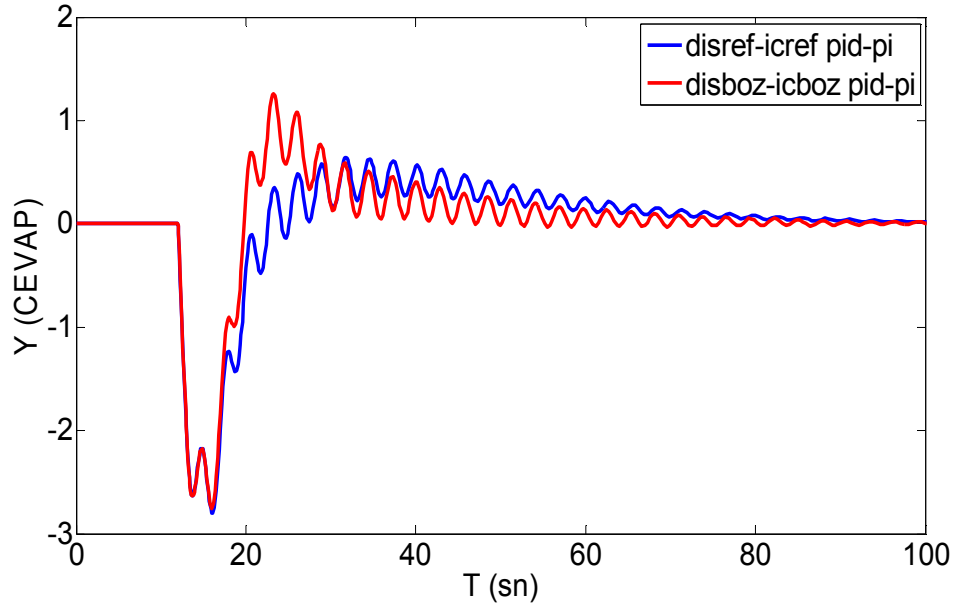
	K_{pi}	T_{ii}	K_{pd}	T_{id}	K_{dd}	ISTE
İç Referans Dış Referans (pid-pi)	0.4833	15	0.2310	15	0.1390	181.9063
İç Bozucu Dış Bozucu (pid-pi)	0.4823	15	0.2435	8.0500	0.1506	2339600

Klasik kontrol sistemde PI kontrolör kullanılarak elde edilen kontrolör parametreleri aşağıdadır.

	K_p	T_i	K_d	ISTE
Klasik PID kontrolör bozucu (D1)	0.0463	6	0.1006	16913000
Klasik PID kontrolör referans	0.0410	6	0.0754	23262000



Şekil 4.20 İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek giriş referans alınarak integratörlü kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı ve klasik kontrol sistem ile karşılaştırması (pid-pi) için



Şekil 4.21 İç döngü-dış döngü parametreleri GA ile ayrı ayrı optimize edilerek bozucu referans alınarak integratörlü kaskad kontrol sistem kontrolör tasarımı ve klasik sistem karşılaştırması (pid-pi) için

Şekil 4.20'de görüldüğü gibi kaskad kontrol sisteminde sadece giriş referans alınarak sonuçlar elde edilmiştir. Referansa göre optimize edilen ve şekilde mavi olarak gösterilen sinyalimiz bozucuya göre optimize edilenden daha iyi bir sonuç vermiştir.

4. KASKAD SİSTEMLER İÇİN OPTİMUM KONTROLÖR TASARIM

Fakat Şekil 4.21’de sisteme sadece bozucu girdiğinde, bozucuya göre optimize edilen sistemin biraz daha iyi bir sonuç verdiği aşikârdır.

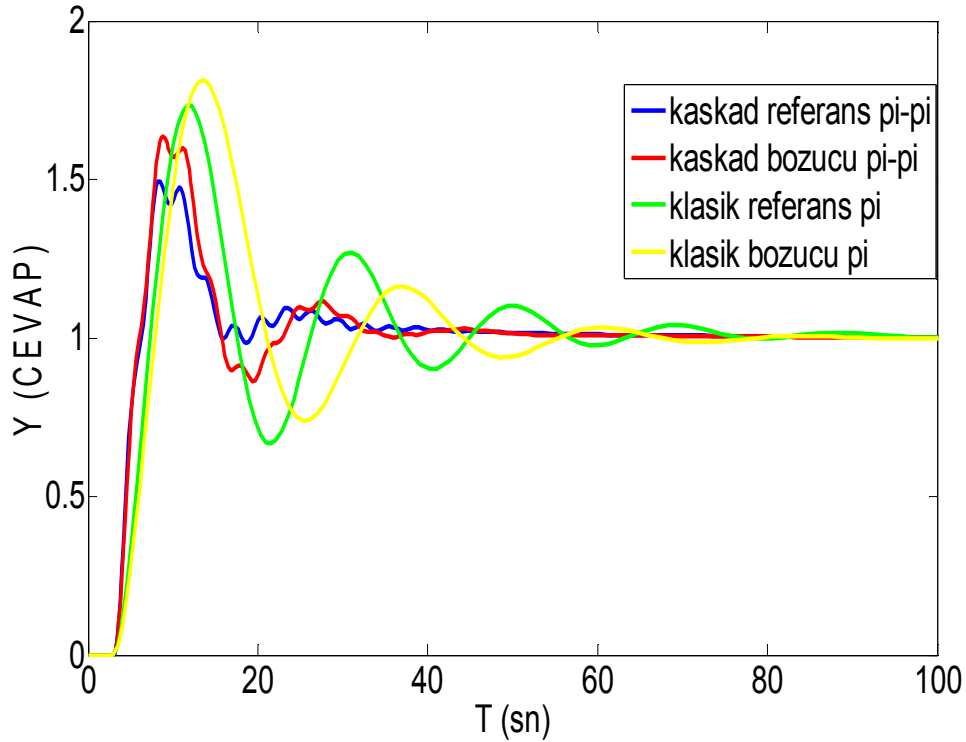
4.4.3 İntegratörlü Kaskad Kontrol Sistemde Bütün Parametreler Birlikte Optimize Edilerek PI-PI Kontrolör Sonuçları

İntegratörlü kaskad kontrol sistemde iç döngü ve dış döngüde bulunan PI-PI kontrolör parametreleri GA ile aynı anda optimize edilerek bulunan parametreler aşağıdadır.

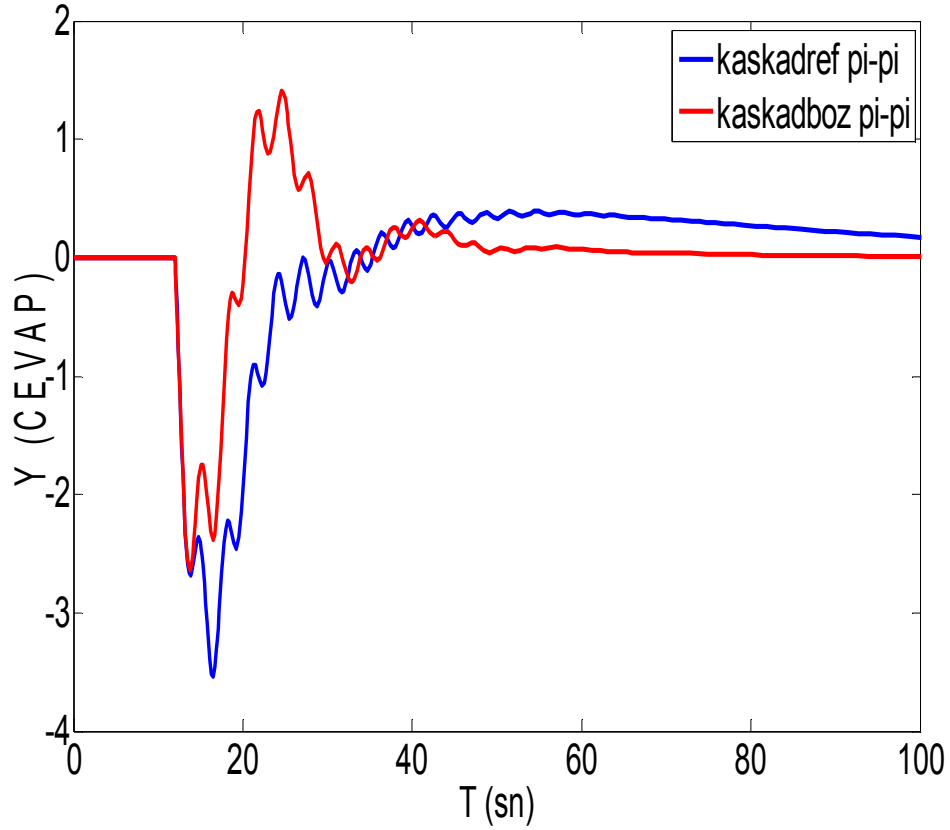
	K_{pi}	T_{ii}	K_{pd}	T_{id}	ISTE
Referansa göre (pi-pi)	0.4532	16	0.2056	40	805260
Bozucuya göre (pi-pi)	0.4424	3	0.1666	25	2125600

Klasik kontrol sistemde PI kontrolör kullanılarak elde edilen kontrolör parametreleri aşağıdadır.

	K_p	T_i	ISTE
Klasik Pİ kontrolör bozucu (D1)	0.0287	15.2082	76323000
Klasik Pİ kontrolör referans	0.0360	40.8899	97020000



Şekil 4.22 Bütün parametreler birlikte optimize edilerek giriş referans alınarak İntegratörlü Kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı ile klasik kontrol sistem karşılaştırma sonuçları (pi-pi)



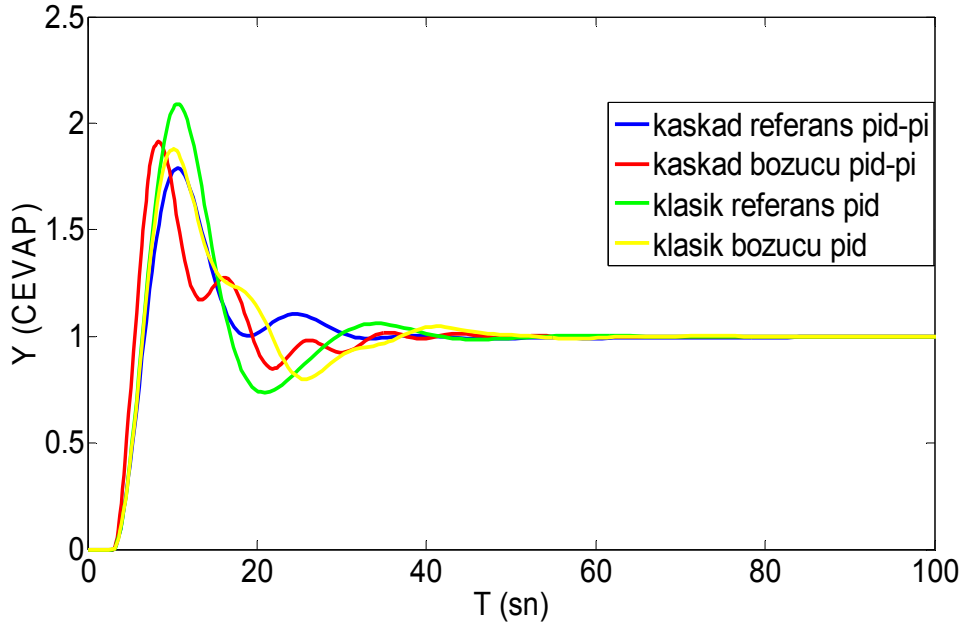
Şekil 4.23 Bütün parametreler birlikte optimize edilerek bozucu referans alınarak İntegratörlü Kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı (pi-pi)

4.4.4 İntegratörlü Kaskad Kontrol Sistemde Bütün Parametreler Birlikte Optimize Edilerek PID-PI Kontrolör Sonuçları

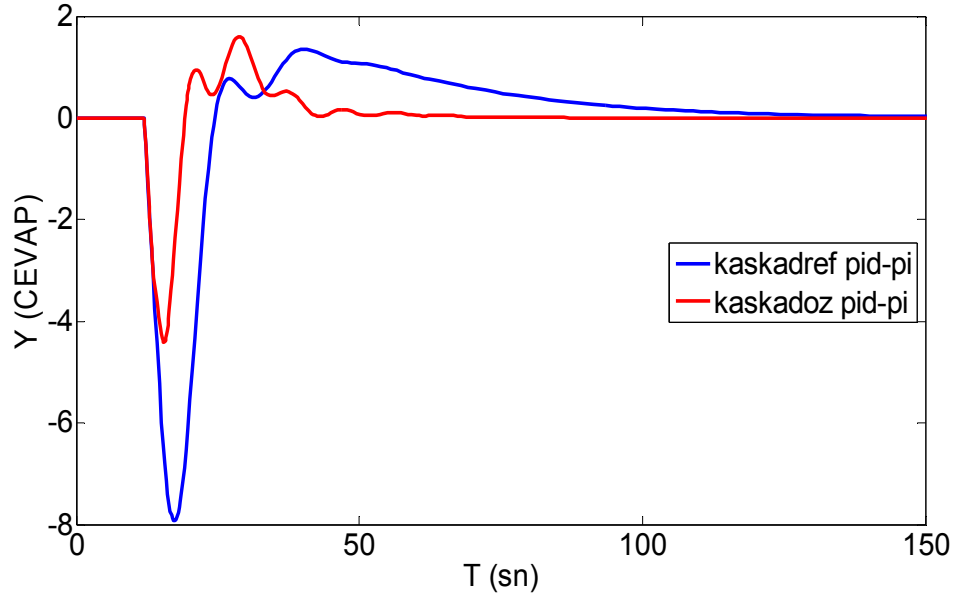
İntegratörlü kaskad kontrol sistemde dış döngü ve iç döngüde bulunan PID-PI kontrolör parametreleri GA ile aynı anda optimize edilerek bulunan parametreler aşağıdadır.

	K_{pi}	T_{ii}	K_{pd}	T_{id}	K_{dd}	ISTE
Referansa göre (pid-pi)	0.0187	20	2.2000	20	3	2607800
Bozucuya göre (pid-pi)	0.1997	12	0.3684	8.0099	0.6081	5305500
	K_p	T_i	K_d	ISTE		
Klasik PID kontrolör bozucu (D1)	0.0463	6	0.1006	16913000		
Klasik PID kontrolör referans	0.0410	6	0.0754	23262000		

4. KASKAD SİSTEMLER İÇİN OPTİMUM KONTROLÖR TASARIM



Şekil 4.24 Bütün parametreler birlikte optimize edilerek giriş referans alınarak İntegratörlü Kaskad kontrol sistem için optimum kontrolör tasarımı ile klasik kontrol sistem karşılaştırma sonucu (pid-pi)



Şekil 4.25 Bütün parametreler birlikte optimize edilerek bozucu referans alınarak İntegratörlü Kaskad kontrol sistem kontrolör tasarımı ve klasik kontrol sistemlerle karşılaştırma sonuçları (pid-pi)

Şekillerden de görüldüğü gibi bozucuya göre optimize edilen kaskad kontrol sistemin, referansa göre optimize edilen kaskad kontrol sisteme göre bozucuları yok etmedeki başarısı bir kez de integratörlü sistem kullanılarak gösterilmiştir.

SONUÇLAR

Hazırlanmış yüksek lisans tezinde öncelikli amaç; ilerisi için de faydalı verileri bünyesinde toplayan, bilgi birikiminin tek noktada toplandığına inanıldığı bir kaynak oluşturabilmektir. Tez içerisinde otomatik kontrol konularından başlanarak; genetik algoritma ve tezin çalışma konusu olan kaskad kontrolör tasarımına gelinmiştir.

Kontrolün uygulama alanları çok çeşitlidir. Çünkü neredeyse tüm sistemler kontrol edilme gereksinimindedirler. Sistemden istenilen verimin en iyi şekilde sağlanabilmesi yani en az kayıpla çalışma koşullarına sahip sistemler için kontrol gereklidir. Çalışma konusu olan Kaskad kontrolör yapısı son yıllarda endüstriyel uygulamalarda sıkça kullanılmaya başlandı. Bunun nedenleri olarak: 1) Birincil değişkenin daha iyi kontrol edilebilir olması ve bozuculardan daha az etkilenmesi 2) Kaskad kontrol sistemin bozuklukları daha hızlı bir şekilde yok etmesi ve sistemin dinamik performansını arttırması 3) Sistemin doğal frekansını arttırması, 4) Zaman gecikmesinden kaynaklanan etkileri azaltması, sayılabilir. Akademik anlamda da yapının analizinde kompleks noktaların veya bilinmezliklerin fazla olmaması, bir takım kabullerden yola çıkılarak hesaplama yapma ihtiyacının olmaması yapının en iyi noktalarıdır.

Maalesef bu yapının hala bazı koşullarda deneme–yanılma yöntemleri ile uygulanması bir talihsizliktir. Sonuç olarak analog koşullarla da sonuç verebilen bu yapının, dijital uygulamalarının çok iyi performans verebileceği açıktır. Yapılan bu çalışmalar sonucunda varılan sonuçlar şu şekildedir.

- Kaskad kontrolör yapısının daha iyi şartlarda uygulanabilmesi için yapının detaylı analizi gerekmektedir.
- Uzun zaman gecikmeli ve standart geri beslemeli kontrol sistemleri, güçlü bozucular karşısında iyi performans verememektedirler. Kaskad kontrol, özellikle öngörülmeleyen bozucuların varlığında bir kontrol sisteminin performansını arttırmak için tek geri beslemeli kontrol sistemlerinin bir alternatifidir.

- Yapılan çalışmada sistem Kararlı, Kararsız ve İntegratörlü kaskad kontrol sistemler için GA kullanılarak bozucu ve referansa göre ayrı ayrı optimize edilmiş, sistemin referans+bozucunun varlığında nasıl bir sonuç gösterdiği gözlemlenmeye çalışılmıştır. Sonuçta sisteme bozucu girdiğinde, referansa göre optimize edilen sistemin daha kötü sonuç verdiği gözlemlenmiştir.
- Şekillerden de görüldüğü gibi kaskad kontrol sisteme bozucu girdiğinde, bozucuya göre optimize edilen sistemin referansa göre optimize edilen kaskad kontrol sistem ve klasik kontrol sisteme göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.
- Kaskad kontrol sistemin dış ve iç döngü parametrelerinin GA ile ayrı ayrı optimize edilerek sonuçların elde edilmesi ile tüm parametrelerin aynı anda optimize edilmesi sistemin bozucu karşısında gösterdiği performansın sonucunu değiştirmez fakat tüm parametrelerin birlikte optimize edilmesi sistemin daha iyi bir performansla çalışmasını sağlar.
- Kaskad kontrol teknikleri tek girişli sistemlerle karşılaştırdığımızda daha iyi bir kontrol performans sergilediği için proses kontrol mühendisliğinde sıklıkla kullanılır.
- Daha önceden çeşitli yöntemlerle kaskad kontrol sistemlerin klasik kontrol sistemlere göre (iki sistemde referansa göre optimize edilerek) daha iyi bir sonuç verdiği görülmüştü. Yapılan çalışmada ise kaskad kontrol sistemi, referans ve bozucuya göre ayrı ayrı optimize edilmiş olup sisteme bozucu girdiğinde bozucuya göre optimize edilen kaskad kontrol sistemin referansa göre optimize edilen kaskad kontrol sisteme ve klasik kontrol sisteme göre az da olsa iyi bir performans gösterdiği gözlemlenmiştir.
- Kaskad kontrol sistemin öngörülmeleyen bozucuların varlığında sistemin performansını yükseltmekteki başarısını elde edebilmek için MATLAB programa dili kullanılarak Genetik Algoritma yöntemi kullanılarak programlar yazılmış ve gerekli kısımlarda MATLAB'ın sanal laboratuvarı olan SIMULINK ten de faydalanılmıştır.
- Kaskad sistemler ile ilgili yöntemler ileriki çalışmalarda özerkleştirilerek yeni dayanıklı Kaskad kontrolör tasarım metotları geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- ALANDE, J.T. 2008. An indexed bibliography of genetic algoritms in control- Report Series No. 94-1-Control. Erişim: [ftp.uwasa.fi/directory/cs/report94-1/filecontrol/bib.pdf]. Erişim Tarihi: 11.10.2008
- Åström, K. J., Hägglund, T. 1995. PID Controllers Theory, Design, and Tuning. Instrument Society of America.
- Bishop, R.H. 1997. Modern Control Systems Analysis and Design Using MATLAB and SIMULINK, Addison Wesley Longman.150.
- Datta, A., Ho, M. T. ,Bhattacharyya, S. P. 2000. Structure and Synthesis of PID controlers, Springer.
- De Jong, K.A. 1998. An analysis of the behaviour genetic adaptive systems, PID Dissertation, University of Michigan.
- Dengiz, B., Altıparmak F. 1998. Genetik Algoritmalar Genel Bakış. Doktora tezi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Endüstri Mühendisliği.
- Dorf, R. C., Bishop, R. H. 2004. Modern Control Systems, Prentice Hall.142
- Edgar, T. F., Heeb, R. C., Hougen, J. O. 1982. Computer-aided process control system design using iterative graphics, Comput. Chem Engng, 5, 225-232.
- Franks,R.G., Worley, C.W. 1956. Quantitive Analysis of Cascade Control. Ind. Eng. Chem. 48(6): 1074-1079
- Fredarick, D. K., Chow, J.H. 2000. Feedback Control Problems Using MATLAB and The Control System Toolbox, USA.
- Goldenberg, D.E. 1989.Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning,Addison-WesleyLongman
- Gündogdu, Ö. 2005. Optimal-Tuning of PID controller gains using genetic algorithms, Pamukkale Üniversitesi.
- Ho, M. T., Datta, A., Bhattacharyya, S. P. 1996. A new approach to feedback stabilization, Proc. of the 35th CDC, pp. 4643-4648.

- Ho, M. T. , Datta, A., Bhattacharyya S. P. 1998. Design of P PI PID controllers for interval plants, Proc. of Amer. Contr. Conf, June Philadelphia.
- Holland, J.H. 1975. Adaptation in Natural and Artificial System Ann Arbor, The Universty of Michigan, USA.
- Hurwitz, A. 1964. On the conditions under which an equation has only roots with negative real parts, Selected Papers on Mathematical Trends in Control Theory.
- Huang, Y. J., Wang, Y. J. 2000. Robust PID tuning strategy for uncertain plants based on the Kharitonov theorem, ISA Transactions, vol. 39, pp. 419-431
- Jankovic, M., Sepulchre, R., Kokotovi'c, P.V. 1996. Constructive Lyapunov Stabilization of Nonlinear Cascade Systems, IEEE Trans. on Automatic Control, vol. 41, pp.1723-1735, Dec.
- Jiangjiang, W., Youyin, J., Chunfa, Z. 2008. Robust Cascade Control System Design for Central Airconditioning System
- Karr, C.L., Freeman, M. 1999. Industrial Applications of Genetic Algorithms, CRC Pres, New York,
- Kaya, I. 2001. Improving performance using cascade control and Smith predictor, ISA Trans., 40,223-234.
- Kaya, I., Tan , N., Atherton, D.P. 2006. A refiment procedure for PID controllers, Electrical Engineering, Cilt: 88, No: 3, s:215-221,
- Kaya, I., Tan, N., Atherton, D.P.2007. Improved Cascade Control Structure for Enhanced Performance. J.Process Control, 17,3-16.
- Krishnaswamy, P. R., Rangaiah, G. P., Jha, R. K., Deshpande, P. B. 1990. When to use cascaded control
- Lee, Y., Park,S. 1998. PID controller tuning to obtain desired closed loop responses for cascade control systems, Ind.Eng.Chem.Res.,vol.37,pp.1859-1865,
- Lee,Y., S, Park. 2002. Enhanced Control with a General Cascade Control Structure. Ind. Eng. Chem. Res. 41, 2679-26
- Michalewicz, Z. 1992. Genetic Algorithm + Data Structures = Evolution Programs, Springer-Werlag

Muzoglu, N. 2005. Genetik Algoritmalar Kullanılarak PID katsayılarının Optimizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Nyquist, H. 1924. Certain Factors Affecting Telegraph Speed, Bell System Technical Journal, Vol. 3, pp. 324-346.

Ogata, K. 1990. Modern Control Engineering, Longman Higher Education

Park, J.H. Sung, S.W. Lee, I. 1998. An enhanced PID control strategy for unstable processes, Automatica Cilt:34, No:6, s:751-756.

Routh, E.J. 1877. A Treatise on the Stability of a Given State of Motion, Particularly Steady Motion.

Rotstein, G.E., Lewin, D.R. 1991. Simple PI and PID tuning for open-loop unstable systems', Industrial Engineering and Chemical Research.

Shinskey, F.G.1967. Process-control systems, McGraw-Hill Book Company

Tan, N. 2001. Computation of stabilizing PI and PID controllers for process with time delay, to appear in ISA Transactions

Tyreus, B.D., Luyben, W.L. (1992). Tuning PI Controllers for Integral/Dead Time Processes, Industrial Engineering and Chemistry Research, 31, 2625-2628.

Valenzuela, C.L. 1995. Evolation Divide and Conquer; a novel genetic to the TSP, Imperil College.

Yağsan, O. 2005. Genetik Algoritma Yöntemi Kullanılarak PID Kontrolör Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

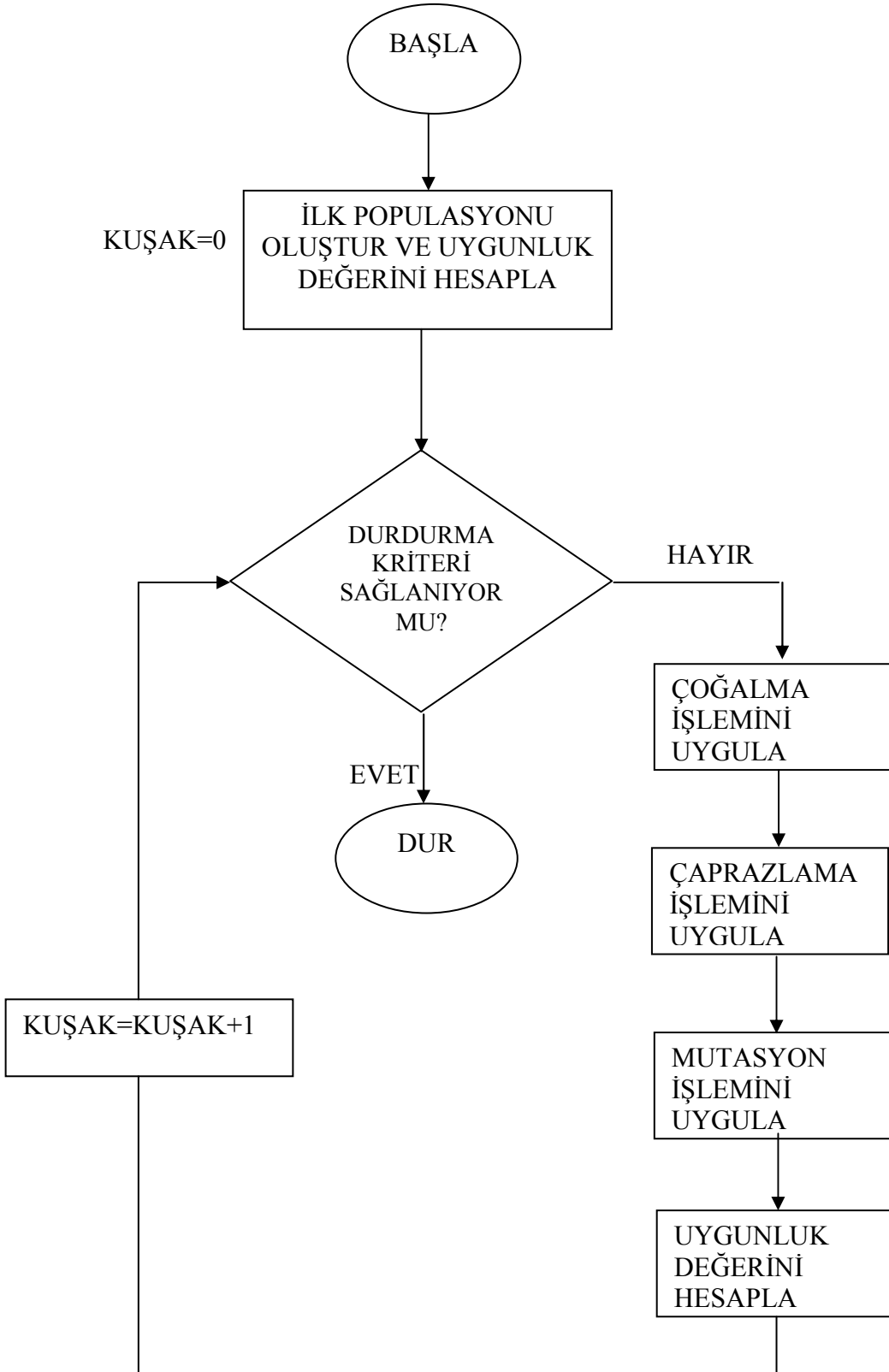
Yeniay, M.Ö.1999. Taguchi Deney Tasarımı Problemlerine Genetik Algoritma Yaklaşımı, Doktora Tezi , Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

Yıkan, F.2005. Dayanıklı PID Kontrolör Tasarım Metotlarının Araştırılması ve Geliştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

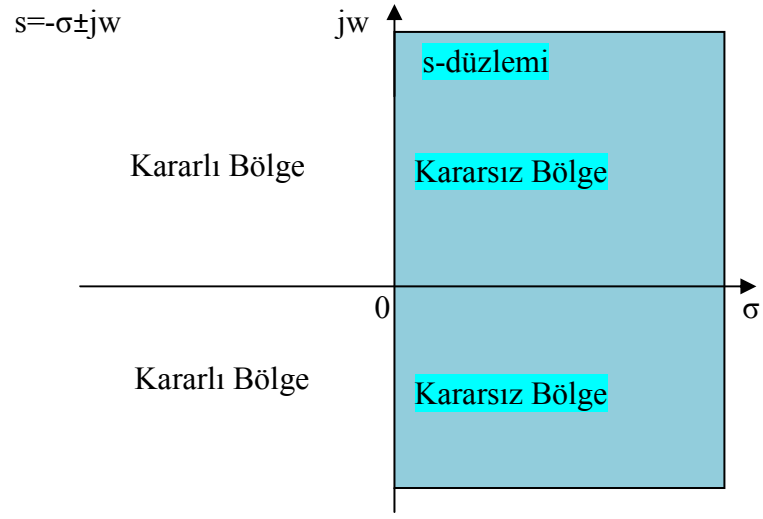
GORGUN, H., ALIŞKAN, İ., YAVUZ,EREN.2010. Kontrol Sistemleri Laboratuvarı [http://www.yildiz.edu.tr/~yeren/KSTLab_deneysel_3_.pdf]. Erişim Tarihi: 22.02.2010.

7.EKLER

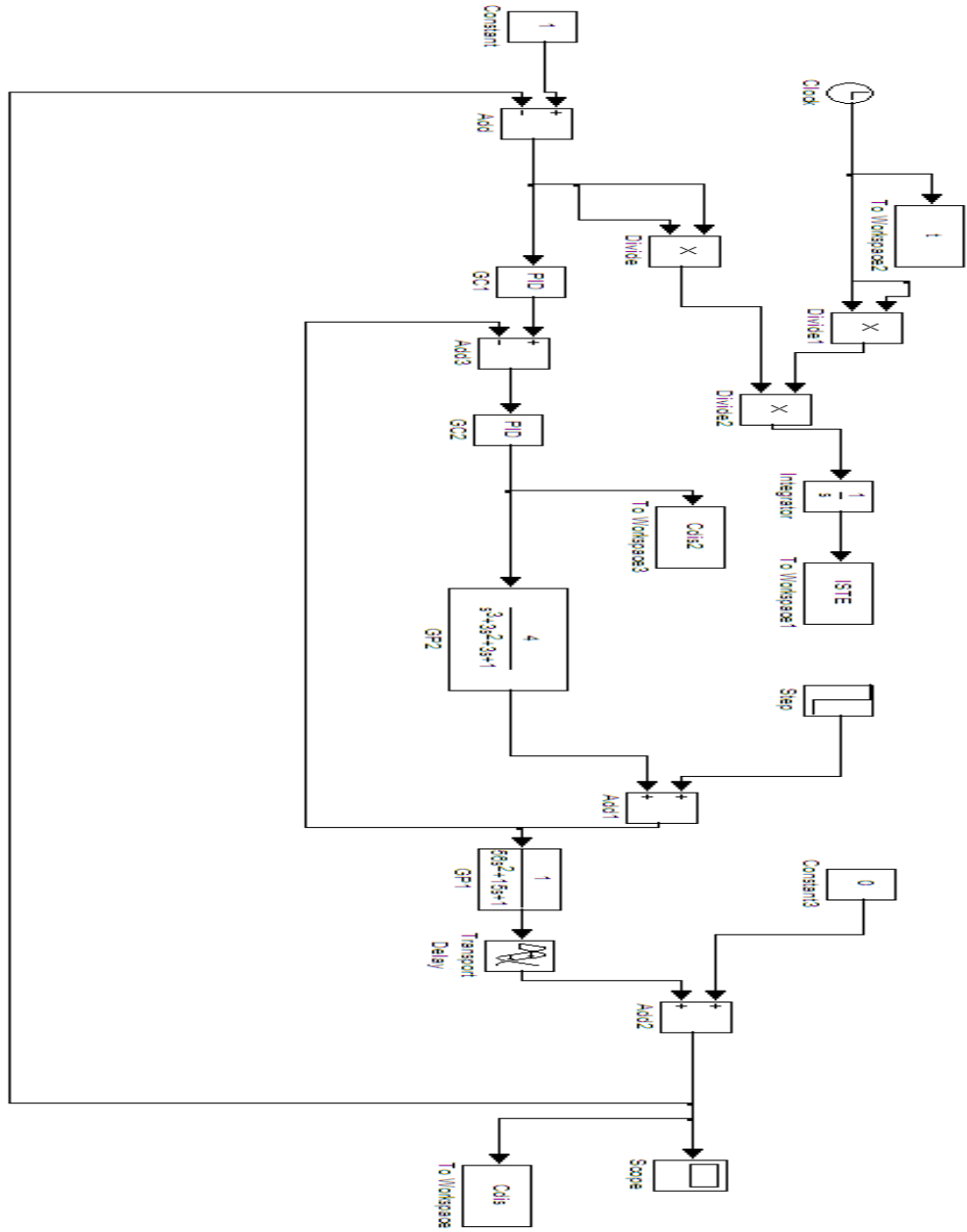
EK-1 :Genetik Algoritmanın Akış Diyagramı



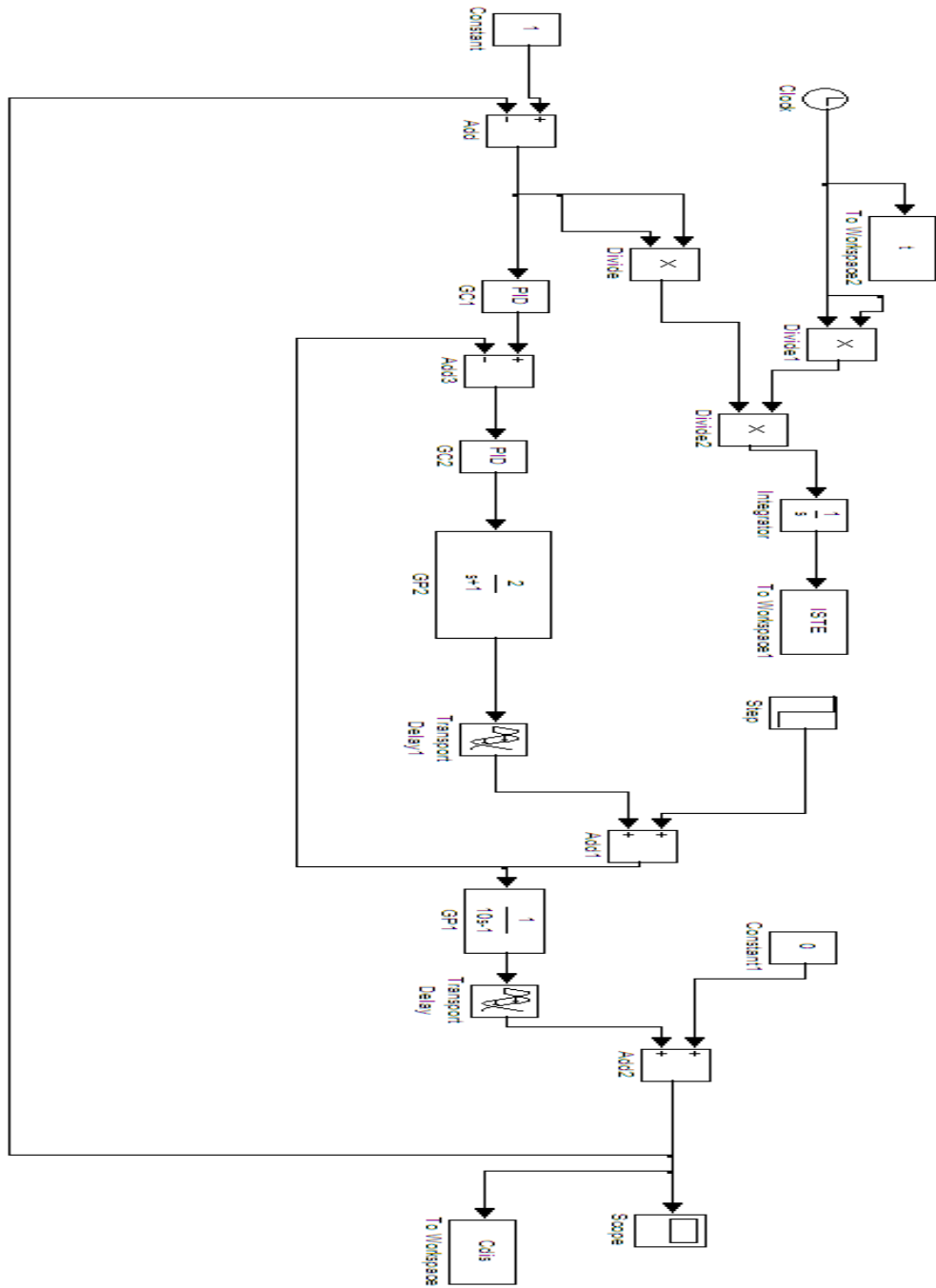
EK-2: Sistem kutuplarına göre kararlılık analizi



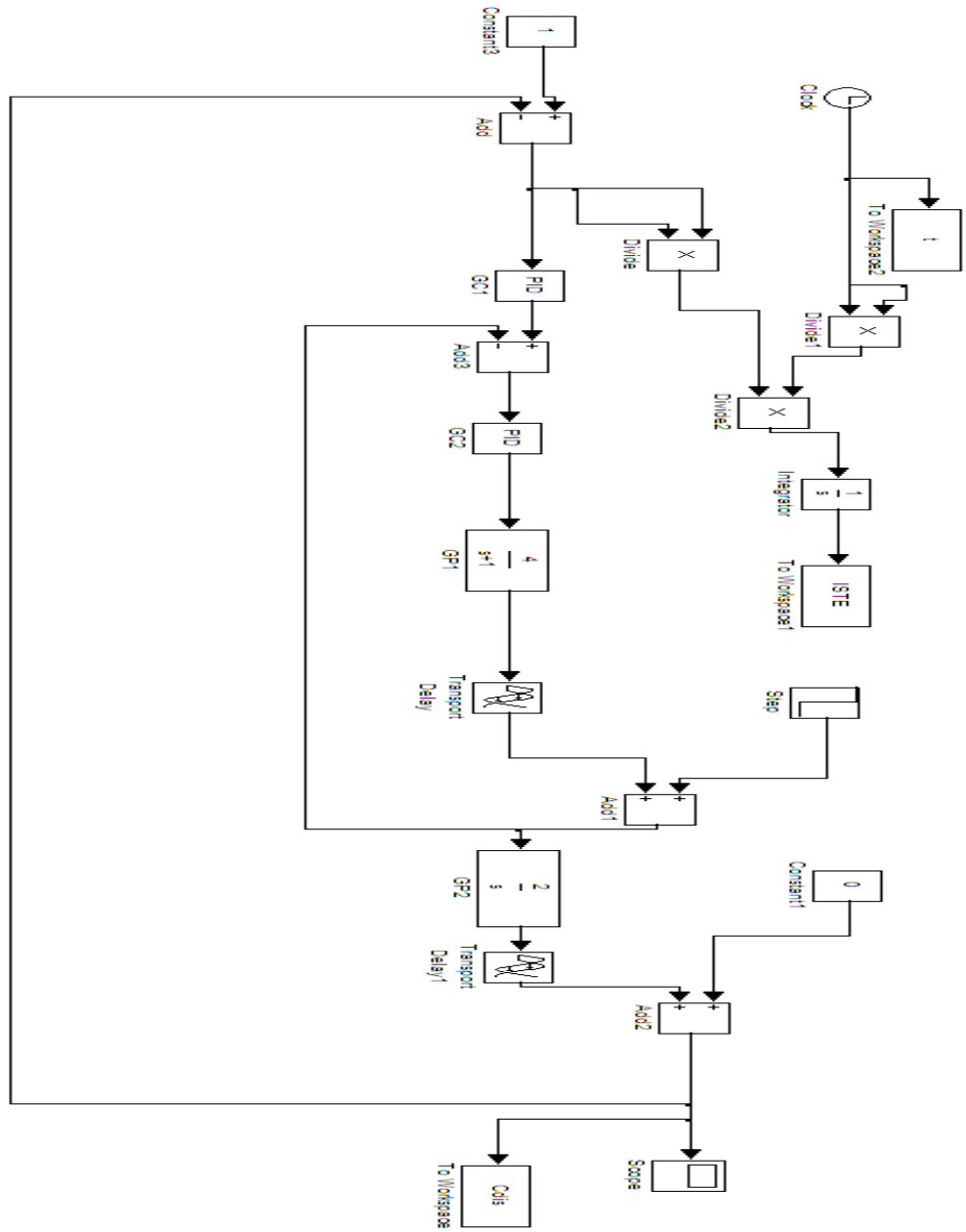
EK 3: Kararlı Kaskad kontrol sistem Modeli



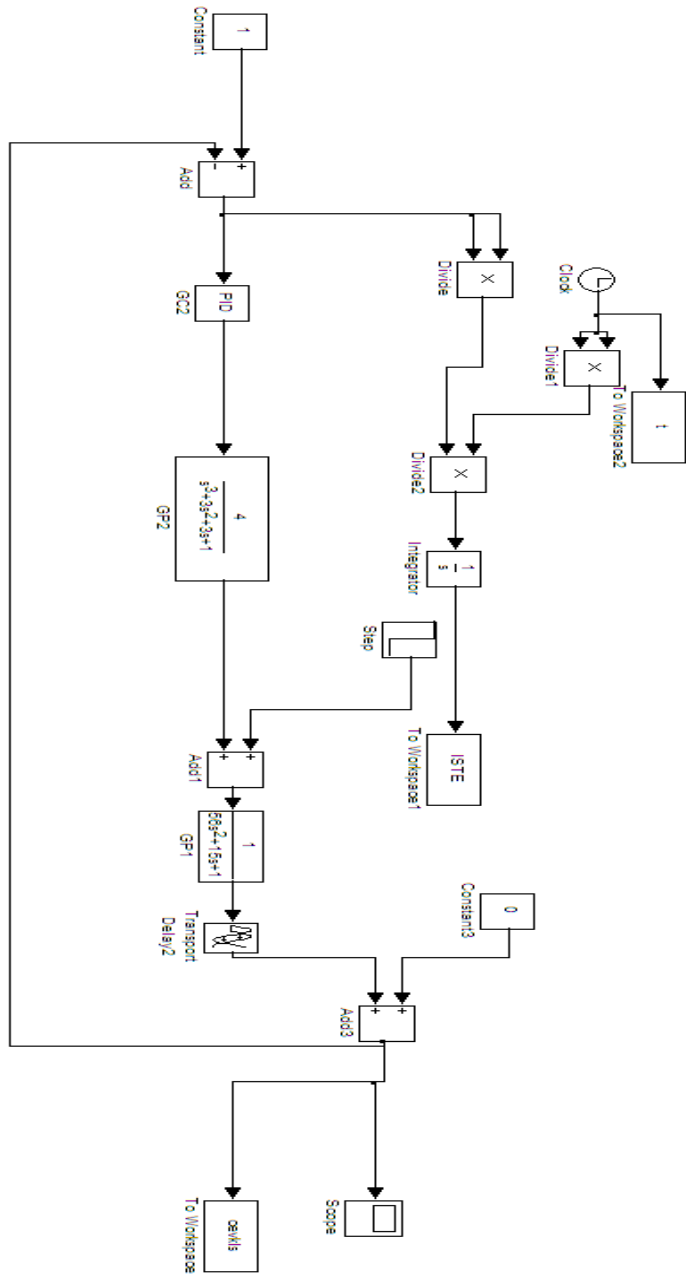
EK 4: Kararsız Kaskad kontrol sistem Modeli



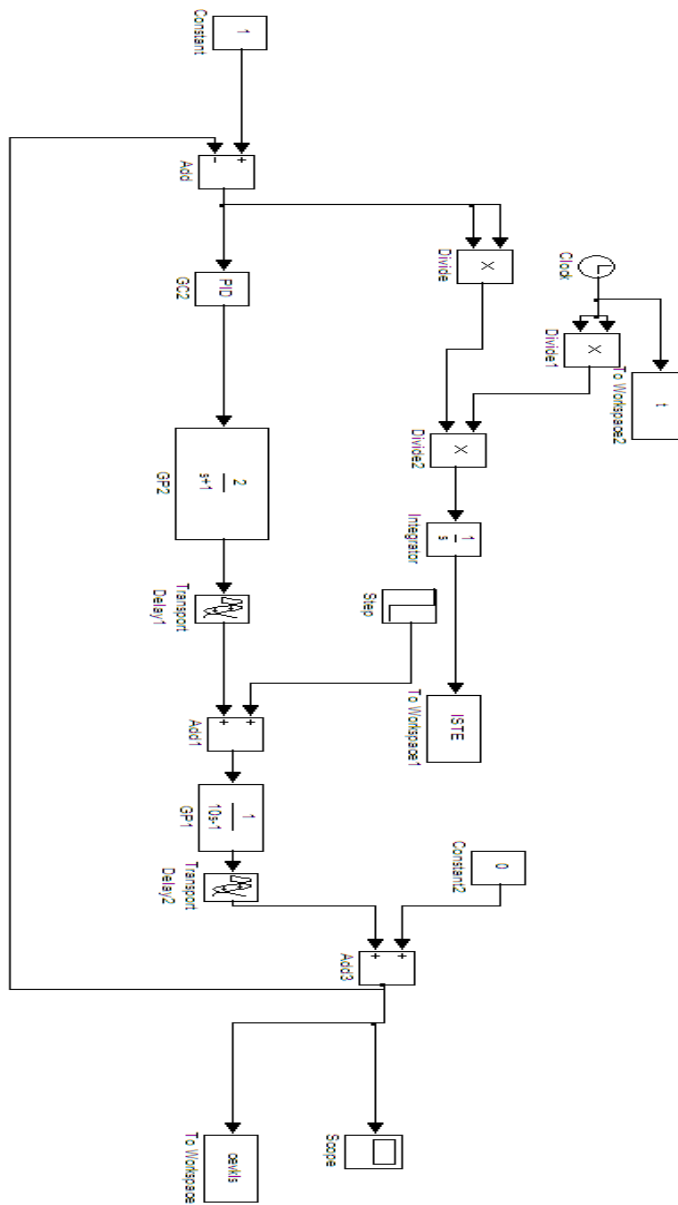
EK-5 : İntegratörlü Kaskad kontrol sistem Modeli



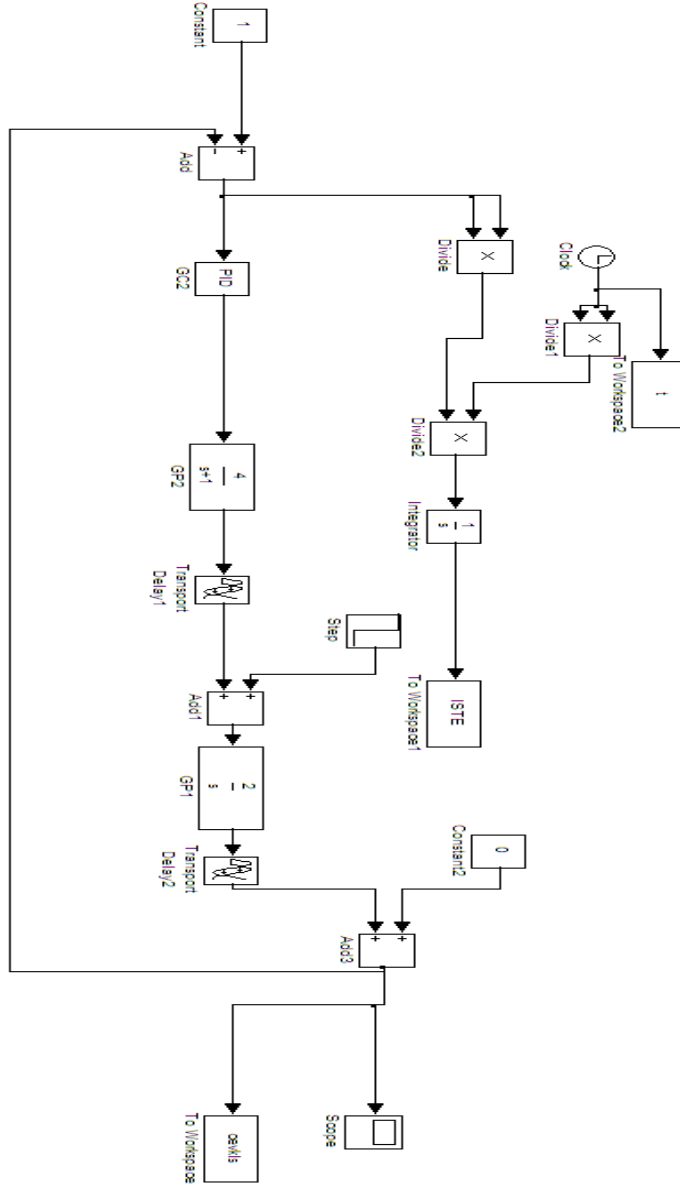
EK-6: Kararlı Klasik kontrol sistem



EK-7: Klasik Kararsız Sistem Modeli



EK-8: İntegratörlü Klasik kontrol sistem Modeli



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER:

Adı Soyadı: Meltem Ayzer ERDOĞAN

Doğum Yeri: Diyarbakır

Doğum Tarihi: 11.10.1985

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce

EĞİTİM DURUMU (KURUM VE YIL):

Lise : Ziya Gökalp Süper Lisesi, (2003)

Lisans : Dicle Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği, 2008

Yüksek Lisans : Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

ÇALIŞTIĞI KURUMLAR VE YIL:

Turkcell Diyarbakır, 07-2008, 01- 2010

Asur İletişim Diyarbakır, 01-2010, 04-2010

Diyarbakır Valiliği, 04-2010, Devam