

**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜÇ SİSTEMLERİNDE KARARLILIK ANALİZİ İÇİN
PID KONTROLÖR PARAMETRELERİNİN GENETİK
ALGORİTMA KULLANARAK BELİRLENMESİ**

SERHAT DUMAN

ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**HAZİRAN 2010
DÜZCE**



**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜÇ SİSTEMLERİNDE KARARLILIK ANALİZİ İÇİN
PID KONTROLÖR PARAMETRELERİNİN GENETİK
ALGORİTMA KULLANARAK BELİRLENMESİ**

Serhat DUMAN

ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**HAZİRAN 2010
DÜZCE**

Serhat DUMAN tarafından hazırlanan GÜÇ SİSTEMLERİNDE KARARLILIK ANALİZİ İÇİN PID KONTROLÖR PARAMETRELERİNİN GENETİK ALGORİTMA KULLANARAK BELİRLENMESİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK.....

Tez Danışmanı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

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

Doç. Dr. Nedim TUTKUN.....

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK.....

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Resul KARA.....

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Düzce Üniversitesi

Tarih: .28./06./2010.

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Refik KARAGÜL

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Serhat DUMAN

Her zaman yanımda olmasını çok istediğim sevgili babamın aziz ruhuna...

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması süresince bana yol gösteren ve tecrübesi ile bana her zaman yardımcı olan hocam Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK'e ve bu zaman zarfı içinde yardımlarını esirgemediği değerli vakitlerini ayıran bölüm hocalarıma ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması süresince her zaman destek olan nişanlım Özlem SEZGİN'e ve başta tüm öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili annem Samiye DUMAN'a, ablam ve eniştem Neşe ve Erol AYGÜN'e ayrıca ağabeyim Murat DUMAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Haziran 2010

Serhat DUMAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiv
SEMBOL LİSTESİ	xv
KISALTMA LİSTESİ	xvi
ÖZ	xvii
ABSTRACT	xix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER.....	3
2.1. GÜÇ SİSTEMLERİ	10
2.2 GÜÇ SİSTEMLERİNDE KARARLILIK.....	12
2.2.1 Rotor Açısı Kararlılığı.....	15
2.2.1.1 Küçük Sinyal Kararlılığı	17
2.2.1.2 Geçici Hal Kararlılığı.....	19
2.2.2 Gerilim Kararlılığı.....	20
2.2.2.1 Büyük Bozucu Etki Gerilim Kararlılığı	20
2.2.2.2 Küçük Bozucu Etki Gerilim Kararlılığı	21
2.3 GÜÇ SİSTEMLERİ BİRİMLERİ	21
2.3.1 Senkron Generatörler	21
2.3.2 Uyarım Sistemleri.....	23

2.3.2.1 <i>Uyartım Sistemi Çeşitleri</i>	24
2.3.3 Otomatik Gerilim Regülatörü	27
2.3.4 Güç Sistemi Kararlı Kılıcı	28
2.4. SİSTEMİN MODELLENMESİ	31
2.4.1 Salınım Denklemi Modeli	31
2.4.2 SMIB Güç Sisteminin Phillips-Heffron Modeli	35
3. MATERYAL VE YÖNTEM	39
3.1 PID KONTROL	39
3.2 GENETİK ALGORİTMA (GA)	41
3.2.1 Genetik Algoritmanın Çalışması	43
3.2.2 Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması	44
3.2.3 Uygunluk Değerinin Hesaplanması	44
3.2.4 Kodlama Yöntemleri	45
3.2.4.1 <i>İkili (Binary) Kodlama</i>	45
3.2.4.2 <i>Permütasyon Kodlama</i>	45
3.2.4.3 <i>Gerçel (Reel) Kodlama</i>	45
3.2.4.4 <i>Ağaç Kodlama</i>	46
3.2.5 Elit Bireylerin Seçimi	46
3.2.6 Seçim Operatörleri	47
3.2.6.1 <i>Rulet Çarkı Metodu</i>	47
3.2.6.2 <i>Turnuva Seçim Metodu</i>	48
3.2.6.3 <i>Sıralı Seçim Metodu</i>	48
3.2.7 Çaprazlama Operatörleri	48
3.2.7.1 <i>Tek Noktalı Çaprazlama</i>	48
3.2.7.2 <i>Çift Noktalı Çaprazlama</i>	49
3.2.7.3 <i>Çok Noktalı Çaprazlama</i>	49

3.2.7.4 Düzgün Çaprazlama	49
3.2.7.5 Ayrık Çaprazlama	50
3.2.7.6 Ara Çaprazlama	50
3.2.7.7 Doğrusal Çaprazlama	51
3.2.7.8 Aritmetik Çaprazlama	51
3.2.8 Mutasyon Operatörü	51
3.2.9 Genetik Algoritma İle GSKK ve PID Kontrolör Parametrelerinin Belirlenmesi	52
3.3 BULANIK MANTIK (BM)	54
3.3.1 Bulanık Kümeler	54
3.3.2 Bulanık Küme İşlemleri	55
3.3.2.1 Birleşme (Birleşim) İşlemi	55
3.3.2.2 Kesişim İşlemi	56
3.3.2.3 Tümlleyen (Değilini Alma) İşlemi	56
3.3.2.4 Kartezyen Çarpım	57
3.3.3 Dilsel Değişkenler	57
3.3.4 Üyelik Fonksiyonları	57
3.3.5 Bulanık Mantık Tabanlı Modelleme	58
3.3.5.1 Bulanıklaştırma Birimi	59
3.3.5.2 Bilgi Tabanı	59
3.3.5.3 Karar Verme Birimi	60
3.3.5.4 Durulaştırma Birimi	60
4. BULGULAR	62
4.1 BENZETİM MODELİ VE SİSTEM PARAMETRELERİ	62
4.2 BENZETİM SONUÇLARI	64
4.2.1 Klasik GSKK (KGSKK) Tasarlanması ve Benzetim Sonuçları	64
4.2.2 GA ile GSKK Tasarlanması ve Benzetim Sonuçları	70

4.2.3 PID Denetleyici Tasarlanması ve Benzetim Sonuçları	80
4.2.4 GA ile PID Denetleyicisi Tasarlanması ve Benzetim Sonuçları	84
4.2.5 Bulanık Mantık (BM) Denetleyici Tasarlanması ve Benzetim Sonuçları	93
4.2.6 Benzetim Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	100
5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....	118
KAYNAKLAR.....	120
ÖZGEÇMİŞ.....	126

ŞEKİL LİSTESİ..... Sayfa

Şekil 2.1	: Güç sisteminin temel elemanları	11
Şekil 2.2	: Güç sistemi karalılığının sınıflandırılması	14
Şekil 2.3	: Senkron makine ve iletim hattı modeli	16
Şekil 2.4	: Güç sisteminin fazör diyagramı	16
Şekil 2.5	: Küçük bozunumda sistem cevabı (a) Sabit alan gerilimli (b) Uyarım kontrollü	18
Şekil 2.6	: Senkron makinenin kararlı ve kararsız durumları	19
Şekil 2.7	: Kaskat DC generatörlü uyarıcı.....	24
Şekil 2.8	: Doğrultuculu relüktans makine.....	25
Şekil 2.9	: Dönen doğrultuculu iç dış senkron generatör	25
Şekil 2.10	: Yardımcı kaynaktan beslenen kontrollü doğrultucu	26
Şekil 2.11	: Generatör terminallerinden beslenen kontrollü doğrultucu	26
Şekil 2.12	: Generatörün gerilim ve akımı ile beslenen kontrollü doğrultucu	27
Şekil 2.13	: OGR'nin uyarma sistemi ile bağlantısı (Küçüktezcan, 2008).	28
Şekil 2.14	: OGR için ek kontrol döngüsü blok diyagramı (Machowski ve diğ., 2008).	29
Şekil 2.15	: Fazör diyagramı (Machowski ve diğ., 2008).	30
Şekil 2.16	: GSKK'nın temel elemanları (Machowski ve diğ., 2008).	30
Şekil 2.17	: Tek makineli sonsuz baralı bir güç sistemi.....	31
Şekil 2.18	: Sonsuz baraya X_E reaktansı bağlı senkron generatör (Neşe, 2008)	31
Şekil 2.19	: Klasik generatör ile SMIB sistemin blok diyagramı modeli (Neşe, 2008).	34
Şekil 2.20	: Lineerleştirilmiş Phillips-Heffron modeli	36
Şekil 3.1	: Kapalı döngü PID kontrol blok diyagramı.....	39
Şekil 3.2	: GA akış diyagramı	43
Şekil 3.3	: Ağaç kodlama ile oluşturulan bir kromozom.....	46
Şekil 3.4	: Rulet çarkı örneği.....	48
Şekil 3.5	: Bulanık kümelerde birleşme işlemi.....	55
Şekil 3.6	: Bulanık kümelerde kesişim işlemi	56
Şekil 3.7	: Bulanık küme ve bulanık kümenin tümleyeni	56
Şekil 3.8	: BM'de kullanılan çeşitli üyelik fonksiyonları: (a) Üçgen, (b) Gaussian, (c) Yamuk, (d) Çan, (e) Cauchy, (f) Sigmoid.....	58
Şekil 3.9	: BM denetleme sisteminde kullanılan blok diyagram.....	58
Şekil 4.1	: Tek makineli sonsuz baralı güç sisteminin lineerleştirilmiş modeli	62
Şekil 4.2	: KGSKK'lı SMIB güç sistemi modeli	64
Şekil 4.3	: KGSKK modeli.....	64
Şekil 4.4	: %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki hız değişimi (a) Hafif yük (b) Orta yük (c) Ağır yük (d) Kapasitif yük.....	66
Şekil 4.5	: %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki yük açısı değişimi (a) Hafif yük (b) Orta yük (c) Ağır yük (d) Kapasitif yük.....	67
Şekil 4.6	: %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki hız değişimi (a) Hafif yük (b) Orta yük (c) Ağır yük (d) Kapasitif yük.....	68

Şekil 4.7	: %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki yük açısı değişimi (a) Hafif yük (b) Orta yük (c) Ağır yük (d) Kapasitif yük.....	70
Şekil 4.8	: GSKK parametreleri GA ile optimize edilmiş SMIB güç sistemi modeli	71
Şekil 4.9	: GAGSKK kontrolörü kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki hız değişimi.....	72
Şekil 4.10	: GAGSKK kontrolörü kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki yük açısı değişimi	73
Şekil 4.11	: GAGSKK kontrolörü kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumunda ve performans indeksi ISE durumundaki hız değişimi	74
Şekil 4.12	: GAGSKK kontrolörü kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumunda ve performans indeksi ISE durumundaki yük açısı değişimi	75
Şekil 4.13	: GAGSKK kontrolörü kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki hız değişimi	76
Şekil 4.14	: GAGSKK kontrolörü kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki yük açısı değişimi.....	77
Şekil 4.15	: GAGSKK kontrolörü kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumunda ve performans indeksi ISE durumundaki hız değişimi.....	78
Şekil 4.16	: GAGSKK kontrolörü kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumunda ve performans indeksi ISE durumundaki yük açısı değişimi	79
Şekil 4.17	: PID denetleyicili SMIB güç sistemi modeli	80
Şekil 4.18	: PID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki hız değişimi.....	81
Şekil 4.19	: PID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki yük açısı değişimi	82
Şekil 4.20	: PID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki hız değişimi	83
Şekil 4.21	: PID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki yük açısı değişimi.....	84
Şekil 4.22	: GAPID denetleyicili SMIB güç sistemi modeli.....	85
Şekil 4.23	: Hafif yük durumundaki uygunluk fonksiyonu değişim eğrisi	86
Şekil 4.24	: GAPID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki hız değişimi.....	86
Şekil 4.25	: GAPID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki yük açısı değişimi	87
Şekil 4.26	: GAPID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumunda ve performans indeksi ISE durumundaki hız değişimi	88
Şekil 4.27	: GAPID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumunda ve performans indeksi ISE durumundaki yük açısı değişimi	89
Şekil 4.28	: GAPID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki hız değişimi	90
Şekil 4.29	: GAPID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki yük açısı değişimi	91
Şekil 4.30	: GAPID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumunda ve performans indeksi ISE durumundaki hız değişimi.....	92
Şekil 4.31	: GAPID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumunda ve performans indeksi ISE durumundaki yük açısı değişimi	93
Şekil 4.32	: BM denetleyicili SMIB güç sistemi modeli.....	94

Şekil 4.33	: (a) Δw giriş değişkeni (b) $p\Delta w$ giriş değişkeni (c) çıkış değişkeninin üyelik fonksiyonları	96
Şekil 4.34	: BM denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki hız değişimi.....	96
Şekil 4.35	: BM denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki yük açısı değişimi	97
Şekil 4.36	: BM denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki hız değişimi	98
Şekil 4.37	: BM denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki yük açısı değişimi.....	99
Şekil 4.38	: Hafif yük çalışma durumunda 5 farklı denetleyicinin (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi	101
Şekil 4.39	: Hafif yük durumunda GAPID denetleyicisinin IAE ve ISE performans indeksindeki (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi	102
Şekil 4.40	: Orta yük çalışma durumunda 5 farklı denetleyicinin (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi	103
Şekil 4.41	: Orta yük durumunda GAPID denetleyicisinin IAE ve ISE performans indeksindeki (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi	104
Şekil 4.42	: Ağır yük çalışma durumunda 5 farklı denetleyicinin (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi	105
Şekil 4.43	: Ağır yük durumunda GAPID denetleyicisinin IAE ve ISE performans indeksindeki (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi	106
Şekil 4.44	: Kapasitif yük çalışma durumunda 5 farklı denetleyicinin (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi	107
Şekil 4.45	: Kapasitif yük durumunda GAPID denetleyicisinin IAE ve ISE performans indeksindeki (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi	108
Şekil 4.46	: ΔV_{ref} gerilimi bozucu etkisi meydana geldiğinde hafif yük çalışma durumunda 5 farklı denetleyicinin (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi.....	109
Şekil 4.47	: ΔV_{ref} gerilimi bozucu etkisi meydana geldiğinde hafif yük durumu için GAPID denetleyicisinin IAE ve ISE performans indeksindeki (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi	110
Şekil 4.48	: ΔV_{ref} gerilimi bozucu etkisi meydana geldiğinde orta yük çalışma durumunda 5 farklı denetleyicinin (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi.....	111
Şekil 4.49	: ΔV_{ref} gerilimi bozucu etkisi meydana geldiğinde orta yük durumu için GAPID denetleyicisinin IAE ve ISE performans indeksindeki (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi	112
Şekil 4.50	: ΔV_{ref} gerilimi bozucu etkisi meydana geldiğinde ağır yük çalışma durumunda 5 farklı denetleyicinin (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi.....	113
Şekil 4.51	: ΔV_{ref} gerilimi bozucu etkisi meydana geldiğinde ağır yük durumu için GAPID denetleyicisinin IAE ve ISE performans indeksindeki (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi	114
Şekil 4.52	: ΔV_{ref} gerilimi bozucu etkisi meydana geldiğinde kapasitif yük çalışma durumunda 5 farklı denetleyicinin (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi	115
Şekil 4.53	: ΔV_{ref} gerilimi bozucu etkisi meydana geldiğinde kapasitif yük durumu için GAPID denetleyicisinin IAE ve ISE performans indeksindeki (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi	116

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1	: K_P , K_I ve K_D kontrolörlerinin kapalı çevrim sisteme etkisi	40
Çizelge 3.2	: Ziegler Nichols metodu.....	41
Çizelge 3.3	: İkili kodlama ile oluşturulan kromozomlar.....	45
Çizelge 3.4	: Permütasyon kodlama ile oluşturulan kromozomlar.....	45
Çizelge 3.5	: Gerçel kodlama ile oluşturulan kromozomlar.....	46
Çizelge 3.6	: Rulet çarkı için örnek hesaplama	47
Çizelge 3.7	: Tek noktalı çaprazlama	49
Çizelge 3.8	: Çift noktalı çaprazlama	49
Çizelge 3.9	: Çok noktalı çaprazlama.....	49
Çizelge 3.10	: Düzgün çaprazlama.....	50
Çizelge 3.11	: GSKK sınır değerleri	53
Çizelge 3.12	: PID kontrolör parametrelerinin sınır değerleri.....	53
Çizelge 4.1	: Sistem parametreleri	62
Çizelge 4.2	: Yük parametreleri	63
Çizelge 4.3	: KGSKK parametreleri	65
Çizelge 4.4	: ΔT_m mekanik güç girişi ve IAE performans indeksinde optimize edilmiş GSKK parametreleri	72
Çizelge 4.5	: ΔT_m mekanik güç girişi ve ISE performans indeksinde optimize edilmiş GSKK parametreleri	74
Çizelge 4.6	: ΔV_{ref} gerilimi girişi ve IAE performans indeksinde optimize edilmiş GSKK parametreleri	76
Çizelge 4.7	: ΔV_{ref} gerilimi girişi ve ISE performans indeksinde optimize edilmiş GSKK parametreleri	78
Çizelge 4.8	: ΔT_m mekanik güç girişi ve IAE performans indeksinde optimize edilmiş PID parametreleri	86
Çizelge 4.9	: ΔT_m mekanik güç girişi ve ISE performans indeksinde optimize edilmiş PID parametreleri	88
Çizelge 4.10	: ΔV_{ref} gerilimi girişi ve IAE performans indeksinde optimize edilmiş PID parametreleri	90
Çizelge 4.11	: ΔV_{ref} gerilimi girişi ve ISE performans indeksinde optimize edilmiş PID parametreleri	92
Çizelge 4.12	: BM denetleyicisinin karar tablosu	95

SEMBOL LİSTESİ

x_e	: İletim hattı reaktansı
X_T	: Sistemin toplam empedansı
δ	: Rotor açısı
ω	: Açısal hız
$\Delta\delta$: Rotor açısı değişimi
$\Delta\omega$: Açısal hız değişimi
ω_0	: Açısal hız başlangıç değeri
f	: Frekans
n	: Devir sayısı
p	: Tek kutup sayısı
V_T	: Senkron generatör uç gerilimi
V_{Tref}	: Senkron generatör referans uç gerilimi
E_{fd}	: Uyarma gerilimi
$U_{\zeta SKK}$: Kararlı kılıcı gerilim değeri
x_d	: Generatörün d ekseni geçici hal reaktansı
x_d	: Generatörün d ekseni reaktansı
x_q	: Senkron reaktans q ekseni bileşeni
T_{do}	: Açık devre alan zaman sabiti
T_e	: Elektriksel moment
T_m	: Mekaniksel moment
M	: Eylemsizlik sabiti
D	: Sönüm katsayısı
ΔT_e	: Elektriksel moment değişimi
K_A	: Uyarım sisteminin kazanç sabiti
T_A	: Uyarım sisteminin zaman sabiti
E_q	: Geçici gerilim q ekseni bileşeni
i_d	: Stator akımı d ekseni bileşeni
o	: Sürekli hal alt indisi
T_1, T_2, T_3, T_4	: Güç sistemi kararlı kılıcı faz kompanzasyonu zaman sabitleri
T_w	: Güç sistemi kararlı kılıcı sinyal temizleme zaman sabiti
K_c	: Güç sistemi kararlı kılıcı kazanç zaman sabiti
K_p	: Oransal değer
K_i	: İntegral değer
K_d	: Türevsel değer
J	: Performans indeksi

KISALTMA LİSTESİ

SG	: Senkron generatör
KH	: Kayma halkaları
AU	: Ana uyarıcı
YU	: Yardımcı uyarıcı
DD	: Dönen doğrultucu
UT	: Uyarım transformatörü
YSB	: Yardımcı servis baraları
AT	: Akım transformatörü
OGR	: Otomatik gerilim regülatörü
GSKK	: Güç sistemi kararlı kılıcısı
KGSKK	: Klasik güç sistemi kararlı kılıcısı
BGSKK	: Bulanık güç sistemi kararlı kılıcısı
BMPI	: Bulanık mantık oransal-integral denetleyicisi
PID	: Oransal-integral-türevsel
GA	: Genetik algoritma
UF	: Uygunluk fonksiyonu
BM	: Bulanık mantık
GAGSKK	: Genetik algoritma ile optimize edilmiş güç sistemi kararlı kılıcısı
GAPID	: Genetik algoritma ile optimize edilmiş oransal-integral-türevsel denetleyicisi
IAE	: Hatanın mutlak değerinin toplamı
ISE	: Hatanın karesinin toplamı
ITAE	: Hatanın mutlak değeri toplamının zaman ile çarpımı

**GÜÇ SİSTEMLERİNDE KARARLILIK ANALİZİ İÇİN PID KONTROLÖR
PARAMETRELERİNİN GENETİK ALGORİTMA KULLANARAK
BELİRLENMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Serhat DUMAN

**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Haziran 2010**

ÖZ

Günümüzde teknolojinin ilerlemesi ile birlikte kaliteli ve güvenilir enerji talebi giderek artmaktadır. Bu yüzden elektrik enerjisi belirli sınır değerleri içerisinde sabit gerilim ve frekans değerinde tüketiciye iletilmek zorundadır. Bu durum elektrik güç sistemlerinde kararlılık problemini ortaya çıkarmaktadır.

Elektrik enerjisinin üretimi tüketicinin elektrik enerjisi talebine göre senkron generatörler tarafından karşılanmaktadır. Elektrik güç sistemleri enterkonnekte bir yapıya sahip oldukları için sistemdeki tüm generatörlerin senkronizmada kalması istenilmektedir. Sistemde meydana gelebilecek küçük veya büyük bozucu etki sonrasında senkron generatörlerin açısal hızlarında ve rotor açılarında salınımlar ortaya çıkmaktadır. Bu salınımların sönümlenmesini sağlamak için güç sistemlerinde otomatik gerilim regülatörü ve güç sistemi kararlı kılıcısı gibi denetleyiciler kullanılmaktadır. Bu denetleyicilerin verimli bir şekilde kullanılması üzerine birçok araştırma yapılmaktadır.

Bu çalışmada tek makineli sonsuz baralı bir güç sisteminde farklı çalışma koşulları altında PID kontrolör parametreleri genetik algoritma (GA) ile belirli sınır değerleri içinde optimize edilmiştir. Benzetim çalışmalarında GAPID kontrolörün

performansı klasik güç sistemi kararlı kılıcı (KGSKK), PID denetleyicisi, bulanık mantık (BM) denetleyicisi ve parametreleri GA ile optimize edilmiş güç sistemi kararlı kılıcı (GSKK) ile karşılaştırılmıştır. GAPID denetleyici ile küçük bozunum koşulları altında daha iyi performans elde edilmiştir.

Bilim Kodu..... :

Anahtar Kelimeler : Güç sistemi kararlı kılıcı, kararlılık, güç sistemleri, PID denetleyici, genetik algoritma, optimizasyon

Sayfa Adedi..... : 126

Tez Yöneticisi..... : Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK

**DETERMINATION OF PID CONTROLLER PARAMETERS FOR ANALYSIS
OF STABILITY IN POWER SYSTEMS USING GENETIC ALGORITHM
(M.Sc. Thesis)**

Serhat DUMAN

**DUZCE UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
June 2010**

ABSTRACT

Nowadays, qualified and reliable energy demand has been increased with the development of technology. Therefore electrical energy should be forwarded to consumer within certain limits values such as constant voltage and frequency. This situation reveals stability problem in electrical power systems.

The production of electric energy is supplied by synchronous generators for the demand of the consumer. Since electrical power systems have an interconnect structure, all generators are expected to remain synchronism in the system. If a little or high disturbances occur in the system, angular speed and rotor angles of synchronous generators start to oscillate. Automatic voltage regulator and power system stabilizer controllers are used to provide damping oscillations arising from distortions in power systems. A number research has been performed to use these controllers efficiently.

In this study, parameters of PID controller were optimized using genetic algorithm (GA) within certain limits under different conditions in single machine infinite bus a power system. Performance of GAPID controller was compared with conventional power system stabilizer (CPSS), PID controller, fuzzy logic (FL)

controller and parameters of power system stabilizer (PSS) was optimized using GA in simulation study. The better performance was obtained with GAPID controller under small disturbance conditions.

Science Code :

Key Words : Power system stabilizer, stability, power systems, PID controller, genetic algorithm, optimization

Page Number : 126

Adviser : Assist. Prof. Dr. Ali ÖZTÜRK

1. GİRİŞ

Teknoloji ve sanayideki hızlı gelişim nedeniyle tüketicilerin enerji kullanımı ve ihtiyacı günümüzde giderek artmaktadır. Tüketiciler kullandıkları elektrik enerjisini sabit bir frekans ve gerilim değerinde sürekli olarak kendilerine iletilmesini istemektedirler. Frekans ve gerilim değerlerinin teoride bu şekilde olması istenirken uygulamada bu değerler belirli sınır değerleri arasında tutulması amaçlanmaktadır. Bunu gerçekleştirebilmek için güç sistemlerinin kararlılığının sağlanması gerekmektedir. Güç sistemlerinde kararlılık sistemin hem normal çalışma koşullarında belirli bir denge noktasında kalması, hem de oluşan bir bozucu etki sonrasında sistemin tekrar bozucu etki öncesi çalışma koşullarına dönmesidir.

Elektrik enerjisinin tüketiciye güvenilir ve kesintisiz bir şekilde ulaşabilmesi için mevcut güç sistemlerinin en iyi şekilde planlanarak işletilmesi gerekmektedir. Elektrik güç sistemleri enterkonnekte bir yapıya sahip olduklarından dolayı planlanması, kullanımı ve işletimi artan enerji talebi ile giderek daha karmaşık bir hale gelmektedir. Artan enerji talebi mevcut sistemlerde aşırı yüklenmelere neden olabilmekte, iletim hatlarında meydana gelebilecek kısa devreler, enerji talebindeki anlık değişimler güç sistemlerinde kararlılık problemlerini ortaya çıkarmaktadır. Bunlar genel olarak açısız kararlılık ve gerilim kararlılığı olmak üzere sınıflandırılabilir. Açısız kararlılık enterkonnekte bir güç sisteminde senkron generatörlerin senkronizmada kalabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Gerilim kararlılığı ise bir bozucu etkiye maruz kaldıktan sonra ve normal çalışmada sistemdeki bütün baralardaki gerilimlerin kabul edilebilir sınır değerlerinde kalma yeteneğidir (Demirören ve Zeynelgil, 2004).

Güç sistemlerinde bozucu bir etki meydana geldiğinde senkron generatörde rotor açısı salınımı meydana gelmekte ve açısız kararlılığın korunabilmesi için yeterli sönüm momentinin üretilmesi gerekmektedir. Senkron generatörde uyarım sistemine otomatik gerilim regülatörlerinden (OGR) gönderilen ek bir sinyal ile yeterli sönüm momentinin üretilmesi sağlanarak generatörün senkronizasyonda kalması sağlanabilir. Güç

sistemlerinde büyük bir bozucu etki ile karşılaşıldığında OGR'den gönderilen sinyal yeterli sönüm momentinin üretilmesinde etkisiz kalırken, rotor açısı salınımları artan bir şekilde devam ederek senkron generatörün enterkonnekte güç sisteminde senkronizmadan çıkmasına neden olabilmektedir. Bunu önlemek amacıyla 1960'ların ortalarından itibaren güç sistemi kararlı kılıcılar (GSKK) kullanılmaya başlanmıştır. GSKK'lar senkronlayıcı momente ek olarak sönüm momenti sağlamak amacıyla, OGR'e girişine ek bir gerilim sinyali uygulamaktadırlar (Erdem, 2007, Berube ve diğ., 1999).

Bu tez çalışmasında güç sistemlerinde meydana gelen bozucu etkiler sonrasında sistem kararlılığını arttırmak amacıyla iki farklı performans indeksi uygunluk fonksiyonu olarak düşünülmüş olup güç sistemi kararlı kılıcısı parametreleri ve PID denetleyicisinin parametreleri gerçel kodlu GA kullanılarak optimize edilmiştir.

Bu çalışma beş bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde çalışmanın amacı hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde literatürde yapılan çalışmalar anlatılmış, güç sistemleri hakkında genel bilgi verilmiş, güç sistemlerinde kararlılık konuları anlatılmış, güç sistemlerini oluşturan birimlerden bahsedilmiş, tek makineli sonsuz baralı güç sisteminin matematiksel modeli anlatılmıştır. Üçüncü bölümde tez çalışmasında kullanılan materyal ve yöntemler olan PID kontrolör, genetik algoritma (GA) ve bulanık mantık (BM) konuları anlatılmıştır. Dördüncü bölümde benzetim çalışmaları için benzetim modelinde ΔT_m mekanik güç girişi ve ΔV_{ref} gerilimi girişi bozucu etkileri farklı çalışma koşulları için düşünülmüştür. Bozucu etkilerin sistemde oluşturduğu kararsızlık durumunu gidermek için klasik GSKK (KGSKK), Oransal İntegral Türevsel (PID) denetleyicisi, BM denetleyicisi, GSKK parametreleri GA ile optimize edilmiş GAGSKK ve PID parametreleri GA ile optimize edilmiş GAPID denetleyicisinden oluşan 5 farklı denetleyici tasarımı ve bunların benzetim çalışmaları yapılmıştır. Güç sistemleri doğrusal olmayan bir yapıya sahip oldukları için benzetim çalışmalarında benzetim modeli olarak doğrusallaştırılmış Phillips-Heffron modeli kullanılmıştır. Benzetim sonuçlarının son bölümünde tüm çalışma koşulları için kullanılan 5 farklı denetleyici sonuçları karşılaştırılmıştır. Beşinci bölümde tez çalışmasındaki sonuçlar değerlendirilmiş olup gelecekte yapılabilecek çalışmalardan bahsedilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Günümüzde güç sistemleri doğrusal olmayan ve çok karmaşık bir yapıya sahip özellik göstermektedirler. Artan enerji talebi ile kaliteli ve güvenilir enerji üretimi giderek önem kazanmaktadır. Bundan dolayı güç sistemlerinde kullanılan klasik kontrol yöntemleri yetersiz kalmakta olup modern kontrol yöntemlerinin kullanımını gerekli kılmıştır. Literatürde konu ile ilgili yapılan çalışmaları sıralamak gerekirse;

Majid ve diğ. (2002) tarafından tek makineli sonsuz baralı (SMIB) bir güç sisteminde BM kontrolörü kullanılarak bulanık güç sistemi kararlı kılıcısı (BGSKK) tasarımı gerçekleştirilmiştir. Önerilen kontrol yöntemi örnek güç sisteminde farklı çalışma koşulları altında klasik GSKK (KGSKK) ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen benzetim sonuçlarına göre BM ile gerçekleştirilen GSKK terminal voltajı ve rotor hızı salınımını sönmülemde ve yerleşme zamanını iyileştirmede KGSKK'ya göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Shi ve diğ., (1992) geniş çalışma aralığında doğrusal olmayan üyelik fonksiyonu kullanarak BGSKK'yı gerçekleştirmişlerdir. Benzetim sonuçları, güç sistemlerinde meydana gelen farklı bozucu etki durumlarında KGSKK, kural tabanlı GSKK ve bulanık mantık temelli GSKK elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Benzetim sonuçlarına göre önerilen yaklaşımın dinamik performansı diğer kontrolörlere göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Behbehani ve diğ., (2008) 16 makine 5 alanlı bir güç sisteminde BM temelli danışmanlı bir GSKK tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Örnek güç sisteminde belirlenen referans generatörünün hız değişimi ile i. generatörün hız değişiminin farkı BM kontrolörü için bir giriş sinyali olarak alınmıştır. Buna göre düzenlenen BGSKK, 3 faz kısa devre arızası durumunda oluşan elektromekanik salınımları bastırmada etkili olduğu görülmüştür.

Sambariya ve diğ., (2009) tarafından tek ve çok makineli bir güç sisteminde BGSKK amaçlamışlardır. Değişik çalışma koşulları, referans voltajı değişiminde farklı üyelik fonksiyonları kullanılarak önerilen yaklaşım ile benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim sonuçlarına göre Gaussian üyelik fonksiyonu tüm çalışma koşulları altında hem oluşan salınımların sönümlenmesinde hem de yerleşme zamanının iyileşmesinde kullanılan diğer üyelik fonksiyonlarına göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Hussein ve diğ., (2007) güç sisteminin değişen çalışma koşullarında kendini otomatik olarak ayarlayabilen BGSKK tasarımını çok makineli bir güç sisteminde gerçekleştirmişlerdir. Benzetim sonuçlarına göre önerilen yaklaşımın sabit parametrelili BGSKK ve KGSKK'ye göre sistemin dinamik cevabını geliştirmede daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Moodley ve diğ., (1996) çok makineli sonsuz baralı bir güç sisteminde BGSKK tasarımını amaçlamışlardır. BGSKK'ya giriş sinyali olarak hız ve güç sapmaları farklı çalışma koşulları altında uygulanmıştır. Önerilen yaklaşımın, sistem kararlılığını arttırmada etkili olduğu görülmüştür.

Hussein ve diğ., (2008) 4 makineli 2 bölgeli bir güç sisteminde farklı çalışma koşullarını kullanarak 3 faz-toprak kısa devre arıza olayında değişken yapılı uyarlanabilir BGSKK'yı gerçekleştirmişlerdir. Benzetim çalışmalarında elde edilen sonuçlara göre bu kontrolörün osilasyonları sönümlemede iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Sharma ve Kothari (2004) çok makineli bir güç sisteminde yapay bulanık mantık GSKK'sı tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Farklı çalışma koşulları düşünülerek eğitim süreci gerçekleştirilip, üç farklı çalışma koşulları altında iki girişli güç sistemi kararlı kılıcısı tasarımı için önerilen yaklaşım ile benzetim çalışmaları yapmışlardır. Benzetim çalışmaları sonucunda önerilen yaklaşımın güç sistemi kararlılığını geliştirmede etkililiğini göstermişlerdir.

Abido ve Abdel-Magid (1997) genetik algoritma temelli bir öğrenme mekanizması kullanarak hibrid bir BGSKK tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Önerilen yaklaşım tek

makineli sonsuz baralı bir güç sistemi kullanarak farklı çalışma koşulları altında benzetim çalışmaları yapmışlardır. Benzetim sonuçlarına göre önerilen yaklaşımın KGSKK ve BGSKK'ya göre örnek güç sisteminde oluşan salınımları sönümlemede iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Hiyama (1994) Japonya'da Kyushu güç sisteminin doğu Kyushu Sub bölgesindeki beş makineli sonsuz baralı bir güç sisteminde BGSKK tasarımını deneysel olarak gerçekleştirmiştir. Önerilen yaklaşım farklı bozunum koşullarında KGSKK ile karşılaştırılmış olup daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Sumina ve diğ., (2006) BGSKK uygulamasını deneysel olarak araştırmışlardır. BGSKK deneysel sonuçlara göre yük açısı salınımlarını sönümlemede KGSKK'dan daha etkili olduğu görülmüştür.

Nallathambi ve Neelakantan (2004) 4 makineli iki alanlı bir güç sisteminde BGSKK gerçekleştirmişlerdir. Benzetim çalışmaları tek ve üç faz kısa devre koşullarında düşünülmüştür. Benzetim sonuçlarına göre önerilen yaklaşımın örnek güç sisteminde meydana gelen salınımları sönümlemede KGSKK'ya göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Abdelazim ve Malik (2003) tek makineli sonsuz baralı bir güç sisteminde uyarlanabilir kendinden öğrenmeli BGSKK tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Benzetim çalışmaları farklı çalışma koşullarında düşünülmüştür. Önerilen yaklaşımın geniş çalışma koşullarında sistemin dinamik performansını iyileştirmede etkili olduğu görülmüştür.

Shi ve diğ., (1992) BM kontrolörünü kullanarak BGSKK tasarımını tek makineli sonsuz baralı bir güç sisteminde gerçekleştirmişlerdir. Önerilen yaklaşım farklı çalışma koşullarında sistemde meydana gelen salınımları sönümlemede KGSKK'ya göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Ferreira ve diğ., (1998) BMPI kontrolör ile BGSKK'yı birlikte kullanarak bir GSKK tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Önerilen yaklaşım farklı çalışma koşullarında sonsuz baralı bir güç sisteminde düşünülmüştür. Benzetim sonuçları BGSKK ve KGSKK ile

karşılaştırılmış olup önerilen yaklaşımın meydana gelen salınımları bastırmada etkili olduğu görülmüştür.

Yılmaz ve diğ., (1998) yapay sinir ağlarını kullanarak bir GSKK tasarımını amaçlamışlardır. Yapay sinir ağlarının eğitiminde durum değişkenlerini kullanmışlardır. Benzetim çalışmalarında 7 farklı yapay sinir ağı modeli kullanarak GSKK tasarımını gerçekleştirmişlerdir.

Chen ve diğ., (2006) iki katmanlı yenilenebilen yapay sinir ağları ile modellenmiş GSKK tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Birinci katman belirleyici ikinci katman ise kontrolör olarak üç makineli bir güç sisteminde kullanılmıştır. Önerilen yaklaşım güç sisteminde meydana gelen salınımları bastırmada etkili olduğu görülmüştür.

Gonzalez ve Malik (2008) yapay sinir ağlarını kullanarak sürekli olarak uyarlanabilen BGSKK'yı amaçlamışlardır. Önerilen yaklaşımda giriş üyelik fonksiyonları ve sonuç parametreleri sinirsel bulanık kontrolörün performansını geliştirmek için uyarlanır. Ancak giriş üyelik fonksiyonlarının ayarlanması yerine sinir ağının giriş bağlantı ağırlıklarının ayarlanması düşünülmüştür. Önerilen yaklaşım tek makineli sonsuz baralı ve çok makineli bir güç sisteminde farklı çalışma koşullarında düşünülmüştür. Benzetim sonuçlarına göre örnek güç sistemlerindeki salınımları bastırmada iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Zhang ve diğ., (1993) yapay sinir ağları kullanarak bir GSKK tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Yapay sinir ağının giriş katmanı dört girişli, birinci ve ikinci gizli katmanların her birinde 20 sinir, çıkış katmanı için bir sinir kullanılarak modellenme ve eğitim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonuçlarında önerilen yaklaşım farklı çalışma koşulları altında düşünülerek elde edilen sonuçlar KGSKK ile karşılaştırılmış ve güç sisteminde meydana gelen salınımları sönümlemede KGSKK'ya göre daha etkili olduğu görülmüştür.

Liu ve diğ., (2007) parçacık sürü optimizasyon algoritması kullanarak GSKK parametrelerini optimize etmişlerdir. Bunun yanı sıra uyarlanabilen yapay sinir ağları ile GSKK tasarımını amaçlamışlardır. Farklı çalışma koşulları altında benzetim

çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Benzetim sonuçlarında uyarlanabilen yapay sinir ağları ile modellenmiş GSKK, optimize edilmiş GSKK'ya göre örnek güç sisteminin kararlılığını geliştirmede etkili olduğu görülmüştür.

Youssef ve diğ., (2004) yapay sinir ağlarını kullanarak GSKK tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Benzetim çalışmalarında 4 farklı yapay sinir ağı modeli ve lineer optimal kontrol yöntemi ile tasarlanmış GSKK'dan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Benzetim sonuçlarına göre önerilen yaklaşımın dinamik kararlılığı geliştirmede daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Abido ve Abdel-Magid (1997) çok makineli bir güç sisteminde radyal temelli fonksiyon ağı kullanarak GSKK tasarımını amaçlamışlardır. Önerilen yaklaşımın farklı çalışma koşulları ve 3 faz kısa devre arızası durumunda benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim sonuçlarında önerilen yaklaşımın güç sisteminde meydana gelen salınımları sönmlemede etkili olduğu görülmüştür.

Kothari ve diğ., (1997) ortogonal en küçük kareler öğrenme algoritması kullanarak radyal temelli fonksiyon ağı ile modellenmiş GSKK tasarımını gerçekleştirmişlerdir. Benzetim çalışmaları farklı çalışma koşullarında tek makineli sonsuz baralı bir güç sisteminde düşünülmüştür. Benzetim sonuçlarında önerilen yaklaşımın KGSKK'ya göre sistemin dinamik cevabının geliştirmede daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Kazemi ve Mahamnia (2008) yarı iletken teknolojisinin ilerlemesiyle güç sistemlerinde kullanılan esnek AC iletim elemanlarından en gelişmiş olan birleştirilmiş güç akışı kontrolörünü hem tek makineli sonsuz baralı hem de üç makineli güç sisteminde kullanarak GSKK tasarımını amaçlamışlardır. Benzetim çalışmaları farklı çalışma koşullarında düşünülmüştür. Benzetim çalışmalarına göre önerilen yaklaşımın güç sistemlerinde meydana gelen salınımları sönmlemede etkili olduğu görülmüştür.

Hamodua ve diğ.,(1987) sonsuz baralı bir güç sisteminde statik var kompanzator KGSKK ile birlikte düşünerek benzetim çalışmalarını yapmışlardır. Benzetim çalışmalarına göre önerilen yaklaşım güç sistemlerinde meydana gelen salınımları

sönümlemede statik var kompanzatör ve KGSKK'ya göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Dubey (2008) BGSKK parametrelerini genetik algoritma kullanarak GSKK tasarımını gerçekleştirmiştir. Benzetim çalışmaları çok makineli bir güç sisteminde düşünülmüştür. Benzetim sonuçlarına göre önerilen yaklaşımın küçük ve büyük bozunum koşulları altında güç sisteminde meydana gelen salınımları bastırmada etkili olduğu görülmüştür.

Sumathi ve diğ., (2007) BGSKK ve genetik algoritma ile parametreleri optimize edilmiş GSKK'yı paralel olarak kullanarak hibrid bir GSKK tasarımını amaçlamışlardır. Benzetim çalışmaları farklı çalışma koşullarında iki alanlı dört makineli bir güç sisteminde gerçekleştirilmiştir. Önerilen yaklaşım küçük ve büyük bozucu etki durumlarında BGSKK ve KGSKK'ya göre meydana gelen salınımları sönümlemede etkinliği görülmüştür.

Oonsivilai ve Marungsri (2008) parçacık sürü optimizasyon algoritmasını kullanarak PID kontrolör parametrelerinin en uygun değerlerini bularak GSKK tasarımını gerçekleştirmişlerdir. 10 baralı 4 makineli bir güç sisteminde 3 faz kısa devre arıza durumu düşünülerek benzetim çalışmaları yapılmıştır. Benzetim sonuçlarına göre önerilen yaklaşımın sistemin dinamik performansını geliştirmede göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Das ve Venayagamoorthy (2008) sezgisel yöntemlerden küçük popülasyon temelli parçacık sürü optimizasyon algoritması ve bakteriyel besin arama algoritmasını kullanarak GSKK'nın parametrelerini optimize ederek iki alanlı çok makineli bir güç sistemi ve Nijerya güç sistemi için benzetim çalışmaları yapmışlardır. Benzetim sonuçlarına göre kullanılan iki algoritmanın da GSKK parametrelerinin optimizasyonunda ve güç sisteminde bozucu etkilerden oluşan salınımları bastırmada etkili olduğu görülmüştür.

Abdel-Magid ve diğ., (2000) tek makineli sonsuz baralı bir güç sisteminde ve 10 makine 39 baralı bir güç sisteminde farklı çalışma koşulları altında sezgisel

yöntemlerden tabu arama algoritmasını kullanarak GSKK parametrelerini optimize etmişlerdir. Benzetim çalışmalarını öz değer temelli amaç fonksiyonu kullanarak yapmışlardır. Benzetim sonuçlarına göre önerilen yaklaşımın etkili olduğu görülmüştür.

Abido (2000) iki farklı çok makineli güç sisteminde benzetim tavlama optimizasyon algoritmasını kullanarak GSKK parametrelerini optimize etmiştir. Benzetim çalışmalarını farklı çalışma koşullarında düşünmüş olup önerilen yaklaşımın güç sistemlerinde meydana gelen salınımları söndürmede daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Abdel-Magid ve Abido (2003) genetik algoritmada çoklu amaç fonksiyonu düşünerek GSKK parametrelerini optimize edip benzetim çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Benzetim çalışmaları çok makineli bir güç sisteminde gerçekleştirilmiştir. Benzetim sonuçlarına önerilen yaklaşımın farklı çalışma koşullarında güç sisteminde meydana gelen salınımları bastırmada etkili olduğu görülmüştür.

Sheetekela ve diğ., (2009) popülasyon temelli artımlı öğrenme ve uyarlanabilir mutasyon operatörlü genetik algoritma kullanarak GSKK parametrelerini optimize etmişlerdir. Farklı çalışma koşulları altında deneysel çalışma yapmışlardır. Deneysel sonuçlara göre genetik algoritma ile önerilen yaklaşımın diğer sezgisel yöntem ve KGSKK'ya göre yerleşme zamanının daha iyi olduğu görülmüştür.

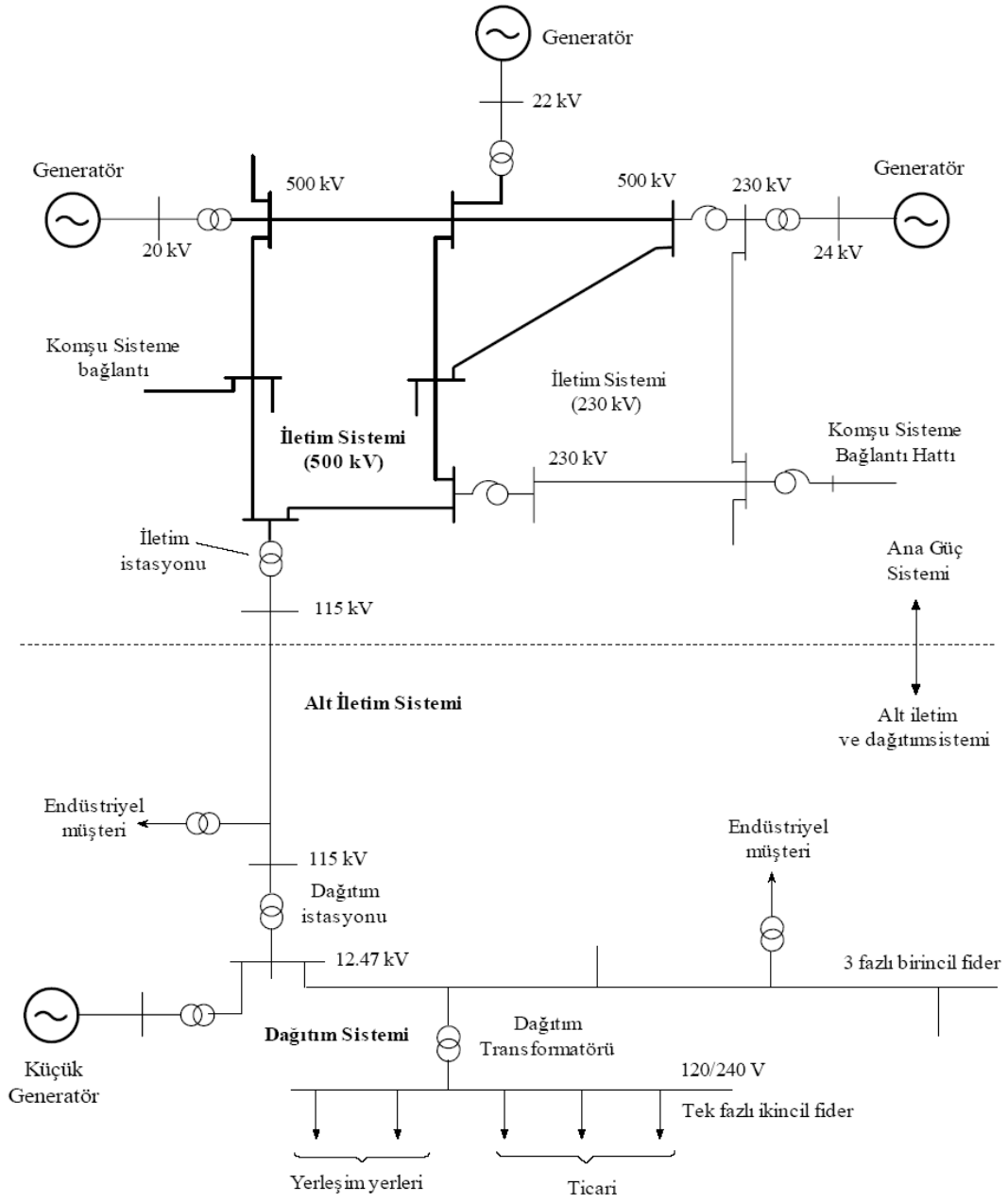
Sebaa ve Boudour (2007) baskın olmayan sıralı genetik algoritma kullanarak GSKK parametrelerini optimize etmişlerdir. Benzetim çalışmaları 16 makine 68 baralı bir güç sisteminde farklı çalışma koşullarında düşünülmüştür. Benzetim sonuçlarında önerilen yaklaşımın kullanılabilirliği ve etkililiği gösterilmiştir.

Rashidi ve diğ., (2003) genetik algoritma kullanarak tek makineli sonsuz baralı bir güç sistemi ve üç makineli sonsuz baralı bir güç sisteminde GSKK parametrelerini optimize ederek farklı çalışma koşulları altında benzetim çalışmalarını yapmışlardır. Benzetim sonuçlarına göre önerilen yaklaşımın daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

2.1. GÜÇ SİSTEMLERİ

Thomas A. Edison 1878'de elektrik lambası üzerine çalışmaya başlamış ve merkezi olarak yerleştirilen santral kavramını çevresindeki alanı aydınlatması ile tanımlamıştır. Ekim 1879'a kadar çalışmalarını daha da ileri aşamaya götürerek 4 Eylül 1882'de New York şehrinde tarihi Pearl Street santralini açıp elektrik endüstrisinin başlangıcını yapmıştır. Pearl Street santralinde bir mil karelik alanda 59 tüketiciye 110V akkor aydınlatma ve ilk 30 kW'lık güçlerini karşılamak amacıyla buhar türbinleri tarafından sürülen, sonradan dinamo olarak da adlandırılan DC generatörler kullanılmıştır. 1882'den 1972'ye kadar elektrik endüstrisi dikkate değer bir şekilde büyümüştür (Glover ve diğ., 2008).

Elektrik güç sistemleri hacmi ve yapısal elemanları değişmekle birlikte her zaman aynı temel özelliklere sahiptirler. Üç fazlı alternatif akım sistemleri sabit bir gerilimle çalışmakta olup üretimde ve iletimde üç fazlı cihazlar kullanılmaktadır. Endüstriyel yükler değişmez olarak üç fazlı olup dengeli üç fazlı dağıtım oluşturmak için yerleşim bölgelerindeki tek fazlı ve ticari yükler arasında eşit olarak dağıtılmaktadır (Demirören ve Zeynelgil, 2004). Güç sistemleri üretim, iletim ve dağıtım olmak üzere üç bölüme ayrılabilir. Güç sistemlerinde gerilim eğer 1 kV'nın aşağısında ise düşük gerilim, 1-100kV arasında dağıtım sistemlerinde kullanılıyorsa orta gerilim, 100-300kV arasında alt iletim hatlarında kullanılıyorsa yüksek gerilim, 300 kV üzerinde iletim hatlarında kullanılıyorsa çok yüksek gerilim denir (Machowski ve diğ., 2008). İletim şebekesi iletim sistemi, alt iletim sistemi ve dağıtım sistemi olarak sınıflandırılabilir. Elektrik enerjisi santrallerde üretilmekte olup iletim hattı, transformatör ve anahtarlama elemanlarını içeren kompleks bir şebeke bileşenleri üzerinden müşteriye iletilebilir (Kundur, 1993). Şekil 2.1'de bir güç sisteminin temel elemanları gösterilmiştir.



Şekil 2.1: Güç sisteminin temel elemanları (Caner, 2006, Kundur, 1993).

2.2 GÜÇ SİSTEMLERİNDE KARARLILIK

Güç sistemlerinde kararlılık, sistemin normal çalışma koşulları altında dengeli çalışma noktasında kalması ve bozucu bir etki sonrasında kabul edilebilir denge noktasına yeniden ulaşabilmesini mümkün kılan özelliği olarak tanımlanabilir. Bir güç sisteminde kararsızlık sistem yapısına ve çalışma durumuna bağlı olarak çok farklı şekilde ortaya çıkabilir. Geleneksel olarak kararlılık problemi senkron çalışmayı sürdürme yeteneği olmalıdır. Kararsızlık ile senkronizasyon kaybı olmaksızın da karşılaşılabilmektedir. Örneğin bir iletim hattı üzerinden asenkron motor yükünü besleyen senkron generatör içeren bir sistem yük gerilimindeki düşüşten dolayı kararsızlık oluşabilmektedir. Bu örnekte sorun senkronizmanın sürekliliği değil, bunun yerine kararlılık ve gerilim kontrolüdür. Kararsızlığın bu çeşidi büyük bir sistem tarafından beslenen geniş bir alanı kapsayan yüklerde meydana gelmektedir (Kundur, 1993).

Kararlılığın değerlendirilmesi geçici bir bozulma olduğunda güç sisteminin davranışı ile ilgilidir. Bozulma küçük veya büyük olabilir. Yük değişimleri ile oluşan küçük bozunumlar sürekli olarak gerçekleşmekte ve değişim koşullarına göre sistem kendisini ayarlayabilmektedir. Sistem bu koşullar altında uygun şekilde çalışabilmeli ve maksimum miktarda yükü yeterli bir şekilde besleyebilmelidir. Bu aynı zamanda bir iletim hattı üzerindeki kısa devre, büyük bir generatör veya yük kaybı ya da iki alt sistem arasındaki bağıntının kaybolması gibi sayısız bozulmalara dayanabilme yeteneği olmalıdır (Kundur, 1993).

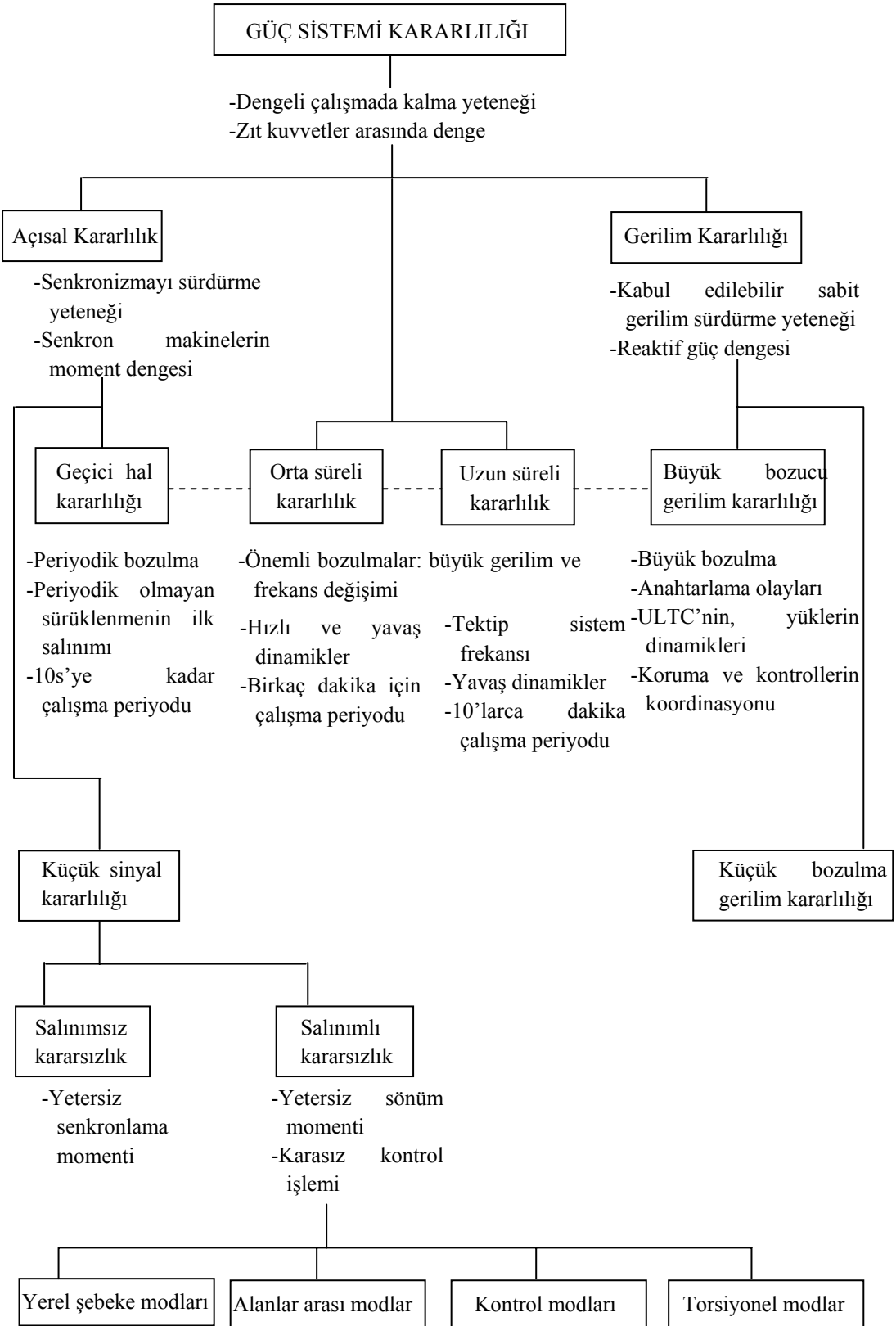
Kararlılık zıt kuvvetler arasındaki denge koşulu olup, enterkonnekte bir güç sisteminde senkron makineleri birbiriyle senkronizmada tutan mekanizma diğer makinelere göre bir yada daha fazla makineyi hızlandıran veya yavaşlatan kuvvetler oluştuğunda ortaya çıkan düzeltici kuvvetlerden yola çıkılarak sağlanır. Sürekli durumda her bir makinenin elektriksel çıkış momenti ve mekanik giriş momenti arasında bir denge olup hız sabittir. Sistem bozulmuşsa bu denge durumu bozulur, makinelerin rotorlarının hızlanması ya da yavaşlaması dönen cismin hareket kurallarına bağlıdır. Bir generatör sürekli olarak diğerinden daha hızlı gidiyorsa, yavaş giden makineye göre onun rotorunun açılma durumu ileri olacaktır. Sonuçta ortaya çıkan açılma fark yükün bir kısmını yavaş

makineden hızlı makineye, güç açısı bağıntısına bağlı olarak aktarmaktadır. Bu yönelim hız farkını ve açısal farkı azalacaktır. Güç açısı bağıntısı yüksek dereceden doğrusal olmayan olup belli sınırların ötesinde, açısal sapmadaki bir artış güç iletiminde bir azalmaya eşlik eder. Bu açısal sapmayı artırır ve kararsızlığa neden olur. Herhangi bir durumda, sistemin kararlılığı rotorların açısal durumlarındaki sapmaların yeterli düzelme momentlerini oluşturup oluşturmadıklarına bağlıdır (Demirören ve Zeynelgil, 2004). Sistemin bozulmaya cevabı çoğu ekipmanı etkilemektedir. Örneğin koruma röleleri tarafından arızanın yalıtımı ile izlenen kritik bir elemandaki kısa devre güç aktarımında, makine rotor hızlarında ve bara gerilimlerinde değişimlere neden olacaktır; gerilim değişimleri hem generatör hem de iletim sistemi gerilim regülatörünü uyaracaktır; hız değişimleri tahrik makinesini uyaracak; bağlantı hattındaki yük değişimleri de üretim kontrolörlerini uyaracak; gerilim ve frekans değişimleri de karakteristiklerine bağlı olarak değişen derecelerde sistemdeki yükleri etkileyecektir. Ek olarak, her bir ekipmanı korumada kullanılan aygıtlar sistemdeki değişkenlerin değişimlerine cevap verebilmektedir ve bu yüzden sistem performansını etkilemektedir. Ayrıca herhangi bir durumda sadece sınırlı ekipmanın cevabı önemli olabilmektedir. Bu yüzden problemi basitleştirmek ve kararlılık problemini etkileyen faktörleri belirginleştirmek için genellikle birçok varsayım yapılır. Kararlılığın probleminin anlaşılması kararlılığın çeşitli kategorilere sınıflandırılması ile kolaylaştırılabilir (Kundur, 1993).

Kararlılığı sınıflandırırken kararlılık analizi probleminde kararsızlığa neden olan faktörlerin tanımlanması ve kararlı çalışmayı düzeltmek için kararlılığı çeşitli sınıflara ayırarak incelemek faydalı olmaktadır. Bu sınıflama işlemi aşağıdaki faktörlere göre yapılmaktadır (Demirören ve Zeynelgil, 2004).

- Kararsızlığı verecek fiziksel sonuçlar
- Göz önüne alınan bozucunun büyüklüğü
- Kararsızlığı belirlemek için göz önüne alınan işlemler ve zaman
- Kararlılığı öngörme ve hesap için en uygun yöntem

Şekil 2.2’de güç sistemi kararlılık probleminin sınıflandırılması gösterilmektedir.



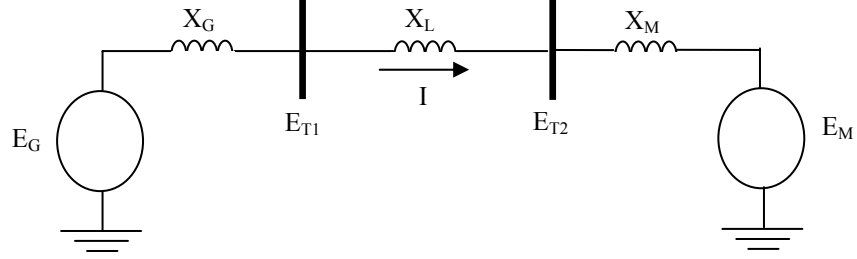
Şekil 2.2: Güç sistemi kararlılığının sınıflandırılması (Kundur, 1993).

2.2.1 Rotor Açısı Kararlılığı

Enterkonnekte güç sistemlerinde rotor açısı kararlılığı senkron makinelerin, herhangi bir bozucu etki sonrasında senkronizmada kalma yeteneği olarak tanımlanabilir. Bu sistemdeki her bir senkron makinenin elektromanyetik ve mekanik tork arasındaki dengeyi sağlama kabiliyetine bağlıdır. Oluşabilecek bir kararsızlık, bazı generatörlerin açisal salınıminin artımı şeklinde olmakta, bu ise diğer generatörlerde senkronizmayı bozmaktadır (Kuru, 2005). Burada senkron makinenin özellikleri incelenmekte olup uyarma ve endüvi sargıları olmak üzere iki önemli elemanı bulunmaktadır. Uyarma sargısı rotorda, endüvi sargısı ise statorda bulunur. Uyarma sargısı doğru akımla beslenir. Rotor türbin tarafından döndürüldüğünde, uyarma sargısının dönen manyetik alanı statordaki üç fazlı endüvi sargısında alternatif gerilimler indükler. İki ya da daha çok senkron generatör birlikte çalıştığında, bütün makinelerin stator gerilimleri ve akımları aynı frekansa sahip olup her generatörün rotorunun mekanik hızı bu frekansla senkronizedir. Bu yüzden, sisteme bağlı tüm senkron makinelerin rotorları senkronizmada olmalıdır. Stator endüvi sargıları sürekli çalışmada rotorla aynı hızda dönen bir manyetik alanı üç fazlı sargılarda zamanla değişen alternatif akımlar akıtacak şekilde düzenlenmektedir. Generatörde stator alanının elektromanyetik momenti rotorun dönmesini zıt yönde etkiler, böylece mekanik moment dönmeyi devam ettirecek şekilde tahrik makinesi tarafından üretilmektedir. Generatörün elektriksel moment veya güç çıkışı sadece tahrik makinesi tarafından mekanik moment girişini değiştirerek ayarlanmaktadır. Mekanik moment girişinin artma yönündeki etkisi statorun döner manyetik alanına bağlı olarak rotoru yeni bir duruma götürmektir. Mekanik moment yada güç girişindeki azalma rotorun hızını yavaşlatacaktır. Sürekli çalışma koşulları altında rotor alanı ve stator alanı aynı hıza sahiptir (Demirören ve Zeynelgil, 2004).

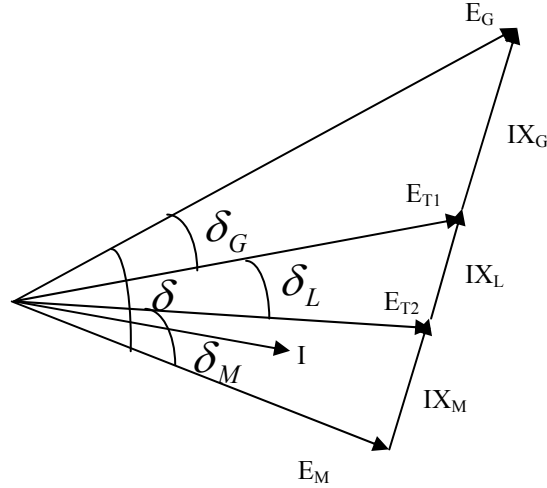
Günümüzde güç sisteminde küçük bozulma rotor açısı kararsızlığı genellikle yetersiz salınım sönümlenmelerindedir. Periyodik olmayan kararsızlık probleminin büyük bir bölümü sürekli çalışan generatör gerilim regülatörleri kullanılarak elimine edilmiştir. Oluşan problem lokal veya global olabilir. Lokal problemler güç sisteminin küçük bir bölümünü kapsar ve genellikle tek bir üretim tesisine ait rotor açısı salınımları ile ilgilidir. Global problemler üretim tesisindeki birçok generatör grubunu kapsar ve etkisini daha yaygın bir şekilde gösterir. Burada oluşan salınımlar daha karmaşık bir yapıya sahiptir (Kuru, 2005). Güç sistemi kararlılığına ilişkin en önemli bir özellikte değişen güç ve

rotorun açısal konumu arasındaki bağıntıdır. Bu bağıntı yüksek derecen doğrusal değildir (Küçüktezcan, 2008, Demirören ve Zeynelgil, 2004). Şekil 2.3’de senkron generatör, iletim hattı ve senkron motordan oluşan basit bir güç sistemi gösterilmektedir.



Şekil 2.3: Senkron makine ve iletim hattı modeli

Şekil 2.3’de X_G ve X_M senkron makinelere ilişkin senkron reaktanslar ve X_L direnci ve kapasitesi ihmal edilen iletim hattı reaktansıdır. Sistemde senkron generatör ve motor arasındaki güç aktarımı iki makinenin rotorları arasındaki açısal δ farkının fonksiyonudur. Şekil 2.4’de güç sisteminde generatör ve motor arasındaki ilişkiyi gösteren fazör diyagramı gösterilmektedir (Demirören ve Zeynelgil, 2004).



Şekil 2.4: Güç sisteminin fazör diyagramı (Demirören ve Zeynelgil, 2004).

Generatörden motora iletilen gücün matematiksel ifadesi denklem (2.1) ile gösterilmektedir.

$$P = \frac{E_G E_M}{X_T} \sin \delta \quad (2.1)$$

$$X_T = X_G + X_L + X_M \quad (2.2)$$

X_T sistemin toplam empedansını göstermektedir. Elektriksel güç ile rotor açısı arasındaki bağıntı sinüs biçimindedir. Açı sıfır olduğunda sistemde güç iletimi olmazken, açı büyümeye başladığında güç transferi maksimuma doğru artar. Açının 90 derece olması durumunda güç iletimi maksimum değerine ulaşır. Açının daha fazla artması güç iletiminin azalmasına sebep olur. Güç sistemlerinde rotor açısı kararlılığı küçük sinyal kararlılığı ve geçici hal kararlılığı olmak üzere ikiye ayrılır.

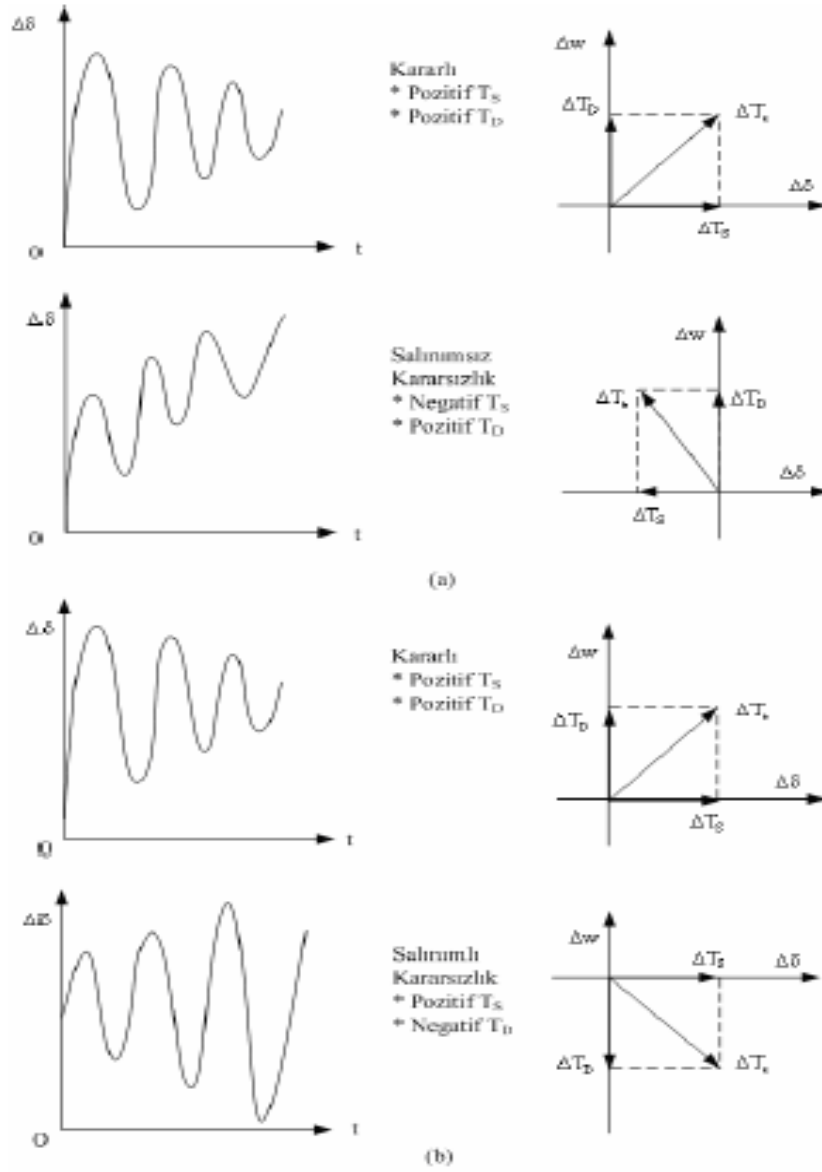
2.2.1.1 Küçük Sinyal Kararlılığı

Küçük sinyal kararlılığı güç sistemlerinde küçük bozulmalar altında senkronizmayı koruma yeteneği olarak tanımlanabilir. Yükteki ve üretimdeki meydana gelen değişimler nedeniyle bu tür bozulmalar sürekli olarak oluşabilir.

Güç sistemlerinde meydana gelen bozulmalar doğrusallığı bozmayacak şekilde küçük kabul edilmektedir. Küçük bozulma açı kararlılığı sistemin ilk çalışma koşullarına bağlıdır. Kararsızlık iki tipte oluşabilir: i) senkronize moment yetersizliği sebebiyle oluşan düzensiz salınım sonucu rotor açısı artışı veya ii) yetersiz sönüm momenti sebebiyle oluşan salınımlar (Kuru, 2005). Büyük bir sisteme radyal olarak bağlı sistem için, OGR'nin yokluğunda kararsızlık yeterli senkronlayıcı moment eksikliğindedir. Sürekli çalışan gerilim regülatörlerinde küçük bozucu kararlılık problemi, sistem salınımlarına yeterli sönümü sağlamaktır. Kararsızlık normal olarak salınımların genliğinin artmasıdır. Şekil 2.5'de küçük bozunumlarda sistem rotor açısının verdiği cevap gösterilmektedir. Küçük sinyal kararlılığı dinamik hal kararlılığı ve sürekli hal kararlılığı olmak üzere kendi içinde ikiye ayrılır (Demirören ve Zeynelgil, 2004).

Dinamik hal kararlılığı birkaç saniyelik geçici olay sonrasında, mekanik regülatörlerinde devrede olduğu birkaç dakikalık sürede sistemin bozucu etkiye cevabı olarak tanımlanabilir. Geçici olay sonrasında tahrik sistemlerine ilişkin devir sayısı regülatörleri hemen devreye girerek, elektriksel yük ve mekanik giriş enerjisi arasındaki dengeyi sağlamak amacı ile mekanik enerjiyi arttırır ya da azaltır (Demirören ve Zeynelgil, 2004). Mekanik enerji değişimi rotor açısında salınımlar meydana getirir.

Salınımların giderek büyümesi kararsız çalışmadır. Kararlı çalışma durumunda ise salınımlar giderek azalır ve sistem sürekli çalışma noktasına oturur (Erdem, 2007).

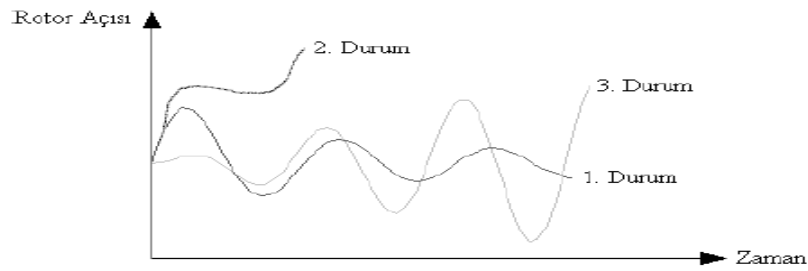


Şekil 2.5: Küçük bozunumda sistem cevabı (a) Sabit alan gerilimli (b) Uyartım kontrollü (Neşe, 2008, Kundur, 1993).

Sürekli hal kararlılığı ise sistemin küçük bozucu etkilere ve beklenen yük değişimlerine karşı cevabı olarak tanımlanabilir. Güç sisteminde bulunan senkron makinelerden birinde olabilecek bir üretim değişikliği yada yükte oluşabilecek bir değişim bozulma olarak kabul edilir. Bu bozucu etki kalıcı veya geçici olabilir (Demirören ve Zeynelgil, 2004).

2.2.1.2 Geçici Hal Kararlılığı

Geçici hal kararlılığı problemi bozulma sonrasında kabul edilebilir kararlı durum çalışma noktasına ulaşabilme olarak tanımlanabilir (Machowski ve diğ., 2008). Güç sistemlerinde iletim hatlarında meydana gelen kısa devreler gibi bozucu etkiler nedeniyle senkronizmanın kaybı söz konusu olmaktadır. Genellikle faz toprak, iki faz-toprak ve üç faz toprak kısa devreleri ele alınmaktadır (Küçüktezcan, 2008). Geçici hal kararlılık incelemelerinde inceleme süresi, küçük sistemlerde bozucu etkiyi izleyen 3 veya 5 saniye ile sınırlı olmakla beraber, çok büyük sistemler için yaklaşık 10 saniyeye kadar genişleyebilmektedir (Arifoğlu, 2002). Bu zaman aralığında, tahrik sistemlerinin senkron generatöre giriş olarak verdiği mekanik gücün sabit olduğu yani zaman sabiti yüksek mekanik regülatörlerin devreye girmediği kabul edilir (Küçüktezcan, 2008). Sistemin matematiksel modeli doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerden oluşacağı için doğrusal kontrol teorisinden bilinen kararlılık analizi yöntemleri ile sistem davranışı incelenemez. Önce sistemin bozucu etki öncesinde sürekli yük akışı incelenir. Sonra tüm çalışma koşullarını kapsayacak şekilde sistemin matematiksel modelinin bilgisayar yardımı ile çözümü ve kararlılık analizi yapılır. Sistemin kararlı olup olmadığına senkron makineler için δ yük açılarının zamana bağlı olarak değişimlerine bakılıp karar verilir. Genellikle Euler, düzeltilmiş Euler, Runge-Kutta gibi nümerik analiz yöntemleri kullanılır. Tek makineli bir güç sisteminde eşit alan kriteri ile kararlılık kontrol edilebilir (Demirören ve Zeynelgil, 2004). Şekil 2.6'da senkron makinenin kararlı ve kararsız durumları gösterilmektedir.



Şekil 2.6: Senkron makinenin kararlı ve kararsız durumları (Demirören ve Zeynelgil, 2004).

Şekil 2.6'da birinci durum kararlı durum olup, rotor açısının genliği azalarak sürekli duruma varır. İkinci durumda, rotor açısı senkronizma kayboluncaya kadar sürekli olarak artar. Kararsızlığın bu şekli ilk salınım kararsızlığı olarak adlandırılır ve yetersiz senkronlayıcı moment nedeniyle oluşur. Üçüncü durumda, sistem ilk salınımı sırasında

kararlı fakat sona yaklaşırken büyüyen salınımlar nedeniyle kararsız olur. Genellikle güç sistemlerinde en çok karşılaşılan kararsızlık bu şekilde olmaktadır (Demirören ve Zeynelgil, 2004)

2.2.2 Gerilim Kararlılığı

Güç sistemlerinde tüketicilerin değişen güç taleplerine göre yük baralarının gerilimleri sürekli değişmektedir. Yük talebi arttığında bara gerilimi azalmakta olup neticesinde bara geriliminin belirli bir değerin altına düşmemesi gerekmektedir. Bu sınır değere gerilimin kritik değeri denir. Gerilim azaldıkça güç sisteminin çalışması gittikçe zorlaşmakta ve sisteminin uzun mesafelerde sürekli genişleyen dağıtım sistemine sahip olması nedeniyle birçok güvenlik sınırları içerisinde çalışması zorunlu olmaktadır. Gerilim kararlılığı ise temel problem olmaktadır (Öztürk, 2007).

Gerilim kararlılığı, bir güç sisteminin bozucu etki sonrası, sistemin normal çalışma koşullarında bütün baralarında gerilimin sabit kabul edilebilecek bir değerde tutulmasıdır. Gerilim bozucu etki sonrası normal çalışma koşullarındaki değerde ise güç sistemi kararlıdır. Bir elemanın (generatör, hat, transformatör, bara vb.) herhangi bir sebeple devre dışı edilmesiyle, yük artışıyla veya yetersiz gerilim kontrolü sonucu, kontrolsüz gerilim düşümü oluşursa güç sisteminde kararsızlık meydana gelir. Gerilim kararlılığına yük kararlılığı da denebilir. Güç sistemi sınırsız büyüklükteki bir elektrik gücünü yüke iletme kabiliyetine sahip değildir. Gerilim kararsızlığının esas sebebi; aşırı yüklü sistemlerde gerilimi istenen değerde tutabilmek için sistemin ihtiyaç duyduğu reaktif gücü karşılayamamasıdır (Kuru, 2005). Gerilim kararlılığı büyük bozucu, küçük bozucu etki gerilim kararlılığı olarak sınıflandırılabilir.

2.2.2.1 Büyük Bozucu Etki Gerilim Kararlılığı

Büyük bozucu etki gerilim kararlılığı sistemin arızalanması, üretim kaybolması, hat arızaları gibi büyük bozucu etki sonrası güç sisteminin kabul edilebilir gerilim değeri seviyesinde tutabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Güç sistemlerinde kullanılan koruma ve kontrol cihazlarının doğrusal olmayan özelliklerinin bilinmesi bozucu etkinin incelenebilmesi için kolaylık sağlar. Bozucu etki süresi 10-30 saniye bazende bir dakika kadar sürebilmektedir (Öztürk, 2007).

2.2.2.2 Küçük Bozucu Etki Gerilim Kararlılığı

Küçük bozucu etki gerilim kararlılığı, küçük bozucu etki sonrasında gerilim kabul edilebilir limit değerleri arasında sistemi tutabilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Bu analizde çalışma noktası etrafında doğrusal model tasarlanır. Yük altında kademe değiştiren transformatörler ve diğer malzemeler için ise değişen modeller yerine sabit modeller kullanılır. Bozucu etki dakikalarca sürebilir hatta bu zaman saatler süresine de çıkabilmektedir (Öztürk, 2007).

2.3 GÜÇ SİSTEMLERİ BİRİMLERİ

2.3.1 Senkron Generatörler

Senkron generatörlerin yapıları ve kapasiteleri çok büyük olup büyük güçlerde enerji üretmektedirler. Maliyeti diğer indüksiyon makinelerine göre daha pahalı olmasına rağmen büyük güçlerde yüksek verimle çalışmaları büyük avantaj sağlamaktadır. Genellikle bir senkron generatör iletim hattına yükseltici transformatör üzerinden bağlanır. Generatör ve transformatör arasındaki bağlantı, küçük bir ünite olması durumunda kablolarla, büyük güçlerde ise, birkaç adet tek fazlı ekranlanmış bara üzerinden yapılır. Genelde generatör trafosu olarak tank tipi trafo kullanılıp dışarıda bir yere yerleştirilir. Transformatör ise yüksek gerilim kabloları veya kısa havai hatlar üzerinden ikincil baraları besler (Caner, 2006).

Senkron generatörlerde, yüksek hızlı generatörler bunlar buhar ve gaz türbinleri ile tahrik edilir, düşük hızlı generatör bunlarda su türbinleri tarafından tahrik edilerek iki şekilde sınıflandırma yapılabilir. Merkezkaç kuvvetini azaltmak için yüksek hızlı generatörler küçük çaplı ama büyük eksen uzunluğuna sahip bir yapıda olup yatay olarak yerleştirilir. Genel olarak 50 Hz'deki bir generatör 2 veya 4 kutuplu olarak 3000 veya 1500 devirde çalıştırılır. Düşük hızlı generatörler genellikle 500 ve daha düşük devir sayılarında çalıştırılıp daha fazla kutup sayısına, büyük bir çapa, küçük eksen uzunluğuna sahiptir. Manyetik kutup sayısı güç sisteminin gerektirdiği hıza ve nominal frekansa bağlıdır. Tüm generatörler manyetik çelikten imal edilmiş stator ve rotor olarak adlandırılan iki ana manyetik parçaya sahiptirler. Endüvi sargıları yük akımını taşır ve sisteme güç sağlar. Üç faz özdeş sargılar stator iç yüzeyindeki oluklara eşit uzaklıkta yerleştirilir (Machowski ve diğ., 2008). Bu sargılar faz eksenleri arasında $2\pi/3$ radyan (120°) elektriksel açı olacak şekilde kutupların üzerine eşit olarak dağıtılmış ve rotor

milinin hareketine karşı yalıtılmıştır. Rotor tipleri rotor kesitine göre çıkık ve yuvarlak olmak üzere ikiye ayrılır. Çıkık kutuplu yapıya (yüksek kutup sayısı ve geniş çaplı) sahip rotorlar hidrolik türbinlerin düşük hızlarını karşılamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Silindirik veya yuvarlak rotorlu yapı ise, santrifüj gücünün kabul edilebilir limit değerleri arasında tutabilmek amacıyla küçük çaplı yapı zorunluluğu olan yüksek hızlı uygulamalarda kullanılmaktadır. İki veya dört kutuplu silindirik rotorlu senkron generatörler buhar türbinlerindeki yüksek hız gereksinimlerini karşılarlar (Caner, 2006).

Ek olarak rotor, mekanik salınımların sönümlenmesi için kısa devre edilmiş damper veya amortisör sargılarını içermektedir. Yüksek hızlı çıkıntılı kutuplu olmayan generatörlerde damper sargıları genellikle iletken dilimleri şeklinde olan uyarma sargıları ile aynı oluklara yerleştirilir. Düşük hızlı generatörlerde damper sargıları kutup yüzeyindeki aksel oluklara yerleştirilir. Doğru akımla beslenen rotor uyarım sargısı uyarım akımı büyüklüğü ile orantılı dönen bir manyetik akı üretir. Bu dönen manyetik akı üç faz stator armatür sargısının her bir fazında elektromotor kuvvet indükler ve güç sistemi dışına alternatif akım akışı sağlar. Bu AC armatür akımlarının kombine etkisi sabit büyüklükte ancak rotor ile aynı hızda dönen kendi manyetik akı armatür reaksiyonlarını üretirler. Uyarım akısı ve armatür reaksiyon akısı rotora göre sabit statora göre senkron hızda dönen bileşke akı üretirler. Eddy akımlarından dolayı demir kayıplarını sınırlamak için stator demir çekirdeğini aksel olarak mil yönünde lamine etmek zorunludur. Ancak manyetik akı rotora göre durağan olduğu için rotor komple çelikten yapılır. Eğer bazı nedenlerle rotor hızı senkron hızdan saparsa akı rotora göre durağan olmayacak ve akımlar damper sargılarında indüklenecektir. Lenz kanununa göre bu akımlar kendilerini üreten akı değişimlerine karşı olup senkron hıza geri dönmeye ve rotor salınımlarını bastırmada yardım eder (Machowski ve diğ., 2008).

Üç fazlı senkron makineler enerji üretiminde yaygın olarak kullanılmakta olup, birkaç makine birlikte çalışırken senkron ve sabit hızda çalışmaları gerekmektedir. Rotor mekanik güç kaynağına bağlıdır ve analizleri basitleştirme açısından sabit hızla döndürüldüğü düşünülmektedir. Rotor hızı üretilen gerilimin frekansı ile doğrudan bağlantılıdır. Denklem 2.3'de gösterilmiştir. Buna göre generatör dönüş hızı ile üretilen elektriğin frekansı doğru orantılıdır. Yani dönme hızı artarsa frekansta artar ya da tersi

olur. Generatörün mekanik hızı ile elektrik frekansı senkronize olduğundan senkron generatör olarak isimlendirilmiştir (Caner, 2006).

$$f = \frac{p.n}{60} \quad (2.3)$$

Gerilimin indüklendiği armatür sargıları statorda olup, gerilimi indükleyen alan sargısı ise rotor üzerinde bulunmaktadır. Alan sargısı dönen kısımda olduğu için alan sargısının DC akımla beslenme problemi değişik yöntemler kullanılarak çözülmektedir. Klasik yöntem fırça-bilezik sistemi ile olmakla beraber, dönen mekanizma içerisinde yerleşik, statik besleme sistemleri ile de sağlanmaktadır. Armatür sargısı alan sargısına göre daha karmaşık olup daha büyük akım ve gerilim değerlerini taşıyabilir (Caner, 2006).

2.3.2 Uyarım Sistemleri

Bir uyarıcı ve OGR içeren bir uyarım sistemi senkron generatöre DC alan akımı temin eder. Genellikle uyarımın güç oranı generatörün megawatt (MW) cinsinden oranının 0.2-0.8% arasında değişimlidir. Bu güç büyük generatörlerde birkaç MW aralığında oldukça yüksektir. Normalde uyarım geriliminin oranı 1000V aşmamalıdır. Herhangi yüksek gerilim durumunda uyarım sargısına ek bir yalıtım gerekecektir (Machowski ve diğ., 2008).

Güç sistemi açısından bakıldığında uyarım sistemi gerilim kontrolünü etkili bir şekilde sağlamalı ve sistemin kararlılığını arttırmalıdır. Geçici kararlılığı geliştirebilmek için bozulmalara hızlı cevap verebilme ve küçük sinyal kararlılığını geliştirebilmek için generatör alanını modüle edebilme yeteneğine sahip olmalıdır (Kundur, 1993).

Tarihsel olarak uyarım sisteminin rolü güç sisteminin performansını arttırmada sürekli katkı sağlamıştır. İlk uyarım sistemleri, istenilen generatör terminal gerilimi ve reaktif gücünü sağlamak için elle kontrol edildi. İlk olarak gerilim kontrolü çok yavaştı ve temel olarak ikaz operatörünün rolünü üstlenmiştir. Küçük sinyal ve geçici kararlılığı geliştirmek için 1920'li yılların başlarında sürekli ve hızlı hareket eden regülatörler keşfedilmiştir. Uyarım sistemlerinin tasarımındaki gelişime artan ilgi ile hızlı cevap veren uyarıcı ve gerilim regülatörleri endüstriye kazandırılmıştır. 1960'ların başında uyarım sisteminin rolü sistem salınımlarını sönmölemek için alan gerilimi kontrolüne

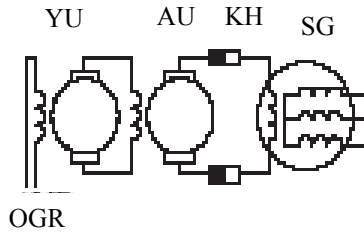
terminal gerilimi hata sinyaline ek olarak yardımcı sabitleyici sinyallerin kullanımı ile genişlemiştir. Uyarım sisteminin bu kısmı GSKK olarak isimlendirilir. Modern uyarım sistemleri yüksek tavan gerilimleri ile anında cevap verme yeteneğine sahiptir. Yüksek alan gücü yeteneği ve ek sabitleyici sinyallerin birleşimi tüm sistemin dinamik performansını geliştirmede önemli katkıda bulunmuştur (Kundur, 1993).

Uyarıma sistemi görevini yerine getirebilmesi için aşağıdaki koşulları yerine getirmek zorundadır; (Kundur, 1993).

- Belirtilen cevap kriterlerini karşılamalı
- Generatör ve diğer ekipmanların zarar görmesini engellemek için gerekli olarak sınır ve koruma fonksiyonlarını sağlamalı
- Çalışma esnekliği için belirtilen gereksinimleri karşılamalı
- İstenen güvenilirlik ve gerekli dayanıklılık, dahili hata bulma ve yalıtım kapasitesini karşılamalı

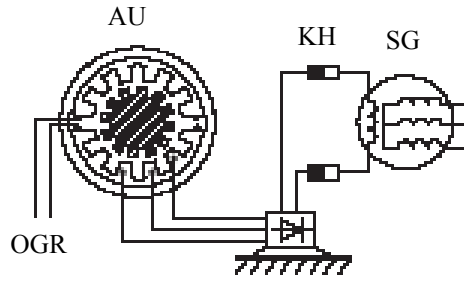
2.3.2.1 Uyarım Sistemi Çeşitleri

Genellikle uyarıcılar dönen yada statik olarak sınıflandırılabilir. Dönen uyarıcılar Şekil 2.7-9 arasında gösterilmektedir (Machowski ve diğ., 2008).



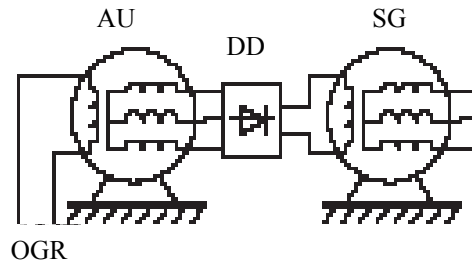
Şekil 2.7: Kaskat DC generatörlü uyarıcı (Machowski ve diğ., 2008).

Şekil 2.7’de gösterilen uyarım sistemi modelindeki uyarıcılar DC generatörler ile komütasyon problemlerinden dolayı büyük uyarım akımları gereken büyük generatörler için kullanılmaz (Machowski ve diğ., 2008).



Şekil 2.8: Doğrultuculu relüktans makine (Machowski ve diğ., 2008).

Şekil 2.8'de gösterilen uyarıcı yaklaşık 500-600 Hz civarında çalışan bir relüktans makine olup daha az doğrultulmuş akım gerektirir. Bu uyarıcıda AC ve DC sargıların her ikisi de stator tarafındadır. Bu sistemin bir dezavantajı ana generatorün dönen alan sargılarını doğrultulmuş uyarım akımı beslemek için gerekli olan kayma halkalarıdır. Bir başka dezavantaj uyarıcının kendisinden daha büyük olma eğilimidir. Sinüzoidal akı değişiklikleri armatürdeki alternatif elektromotor kuvvetinin uyarılması için gerekli bir yol olup, sadece belirgin rotor dişlerindeki rotasyondan dolayı relüktanstaki değişiklikler tarafından üretilir (Machowski ve diğ., 2008).

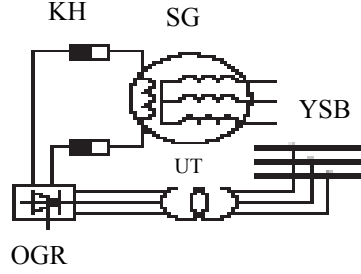


Şekil 2.9: Dönen doğrultuculu iç dış senkron generator (Machowski ve diğ., 2008).

Şekil 2.9'da gösterilen uyarıcı ne kamütatöre nede kayma halkalarına sahiptir. Başlıca uyarım kaynağı olarak stator üzerindeki alan ve rotor üzerindeki armatür sargıları ile bir iç dış senkron makinedir. Uyarılmış akım rotor üzerine monte edilen diyotlar tarafından doğrultularak sağlanır ve ana generatorün uyarım sargıları doğrudan beslenir (Machowski ve diğ., 2008).

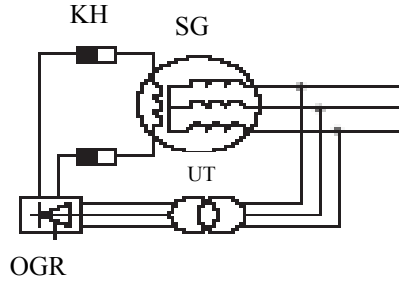
Şekil 2.10-12'de statik tristör konvertörleri kullanılarak bazı alternatif uyarım sistemleri gösterilmiştir. Bu uyarıcılarda tristör doğrultucular doğrudan bir gerilim

regülatörü tarafından kontrol edilir. Sistemler arasındaki temel farklılık kullanılan kaynak tipindedir. Şekil 2.10’da uyarıcı ek bir yardımcı hizmet transformatörü tarafından sağlanmaktadır (Machowski ve diğ., 2008).



Şekil 2.10: Yardımcı kaynaktan beslenen kontrollü doğrultucu (Machowski ve diğ., 2008).

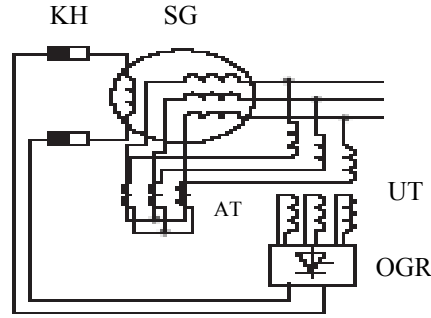
Şekil 2.11’de alternatif ve basit bir çözüm olarak uyarıcı senkron generatör çıkışı kullanılıp bir transformatör üzerinden beslenir. Ancak olası bir uyarım kaybı ile sonuçlanacak generatör terminal gerilimindeki azalma özellikle generatör terminaline yakın bir yerde kısa devre akımlarını ortaya çıkabilir. Dikkatli bir tasarımı ile generatör terminallerinden daha uzak bir yerde kısa devre uyarıcı çalıştırılabilir (Machowski ve diğ., 2008).



Şekil 2.11: Generatör terminallerinden beslenen kontrollü doğrultucu (Machowski ve diğ., 2008).

Şekil 2.12’de bu sistemdeki generatörde uyarım kaybı yoktur. Çünkü onun gerilim kaynağı generatör yük akımı tarafından elde edilen bir bileşen tarafından birleştirilir veya artırılır (Machowski ve diğ., 2008).

Tüm bu statik uyarıcıların temel dezavantajı ana generatörün rotor akımını beslemek için kayma halkalarının kullanılmasının gerekliliğidir (Machowski ve diğ., 2008).



Şekil 2.12: Generatörün gerilim ve akımı ile beslenen kontrollü doğrultucu (Machowski ve diğ., 2008).

SG: Senkron generatör

KH: Kayma halkaları

AU: Ana uyarıcı

YU: Yardımcı uyarıcı

DD: Dönen doğrultucu

UT: Uyartım transformatörü

YSB: Yardımcı servis baraları

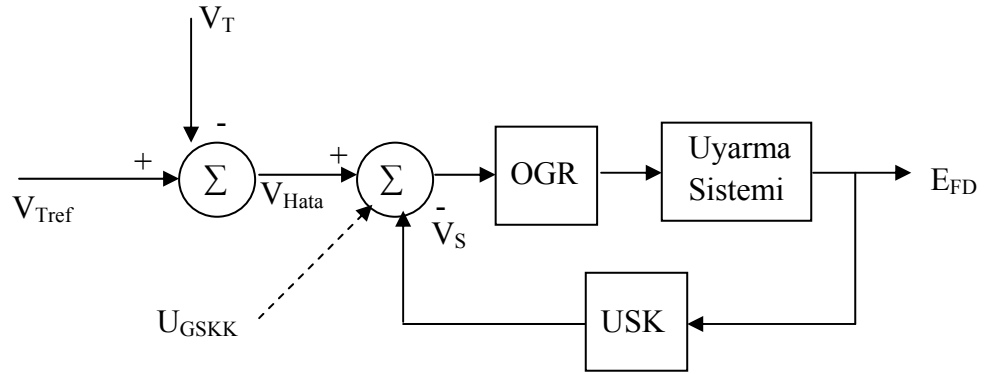
AT: Akım transformatörü

OGR: Otomatik gerilim regülatörü

2.3.3 Otomatik Gerilim Regülatörü

OGR uyarıcı tarafından generatör alan sargılarına sağlanan akım miktarını kontrol ederek generatör terminal gerilimini ayarlar (Machowski ve diğ., 2008). OGR arıza durumlarında terminal gerilimlerini sürdürmeye çalışarak ve arıza temizlendikten sonra hızlıca terminal gerilimini geri kazanarak geçici hal kararlılığıyla ilgili çok önemli bir rol oynamaktadır (Neşe, 2008). OGR alt sistemi OGR'yi, uyarıcıyı ve generatörü aşırı akım ve gerilimlerden koruyan bir dizi sınırlayıcı içermektedir. Bunu OGR sinyallerini önceden belirlenen sınırlar arasında tutarak yapmaktadır. Böylece yükseltici aşırı yüksek giriş sinyaline karşı, çok yüksek alan akımına karşı uyarıcı ve generatörü, generatör çok yüksek armatür akımına ve çok yüksek güç açısına karşı korunmaktadır (Machowski ve diğ., 2008).

Sekil 2.13’de otomatik gerilim regülatörünün uyarma sistemiyle bağlantısı verilmiştir. Bozucu bir etki sonucunda senkron generatör uç gerilimi, referans değerinden farklı bir değer almakta olup yüksek genlikli salınımlara sahip hata sinyali gerilim regülatörüne giriş olarak verilmektedir. Düşük zaman sabitine sahip regülatör, hızlı bir şekilde harekete geçip yapısı gereği oluşan fark sinyalini belli sınırlar içerisinde tutarak uyarma sistemine iletmektedir. Gerilim regülatörünün olmadığı durumda, uyarma sistemine giren yüksek genlikli fark sinyalinden dolayı salınımlı uyarma gerilimi ve uç gerilimi meydana gelir. Regülatör, uyarma sistemine daha düzgünleştirilmiş bir fark sinyali yollayarak uyarma gerilimi ve uç geriliminde meydana gelen yüksek salınımlı sinyallerin oluşumunu engeller. Gerilim regülatörünün uyarma gerilimi üzerindeki etkisiyle, generatör tarafından üretilen reaktif güç ve güç faktörü de kontrol edilmiş olur (Küçüktezcan, 2008).



Şekil 2.13: OGR’nin uyarma sistemi ile bağlantısı (Küçüktezcan, 2008).

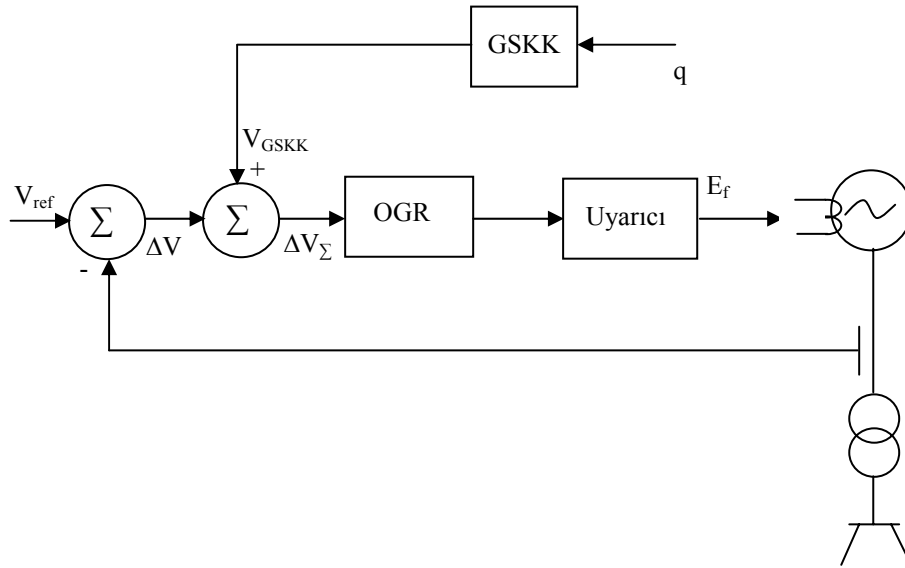
Uyarma sisteminin kararlı çalışma bölgesini genişletmek amacıyla, uyarma gerilimini giriş olarak alan uyarma sistemi kararlayıcısı yine otomatik gerilim regülatörüne ek bir giriş olarak verilmiştir (Küçüktezcan, 2008).

2.3.4 Güç Sistemi Kararlı Kılıcısı

Güç sisteminde bir bozucu etki meydana geldiğinde bozulan mekanik-elektriksel güç dengeleri sebebiyle generatör hızında ve rotor açısında salınımlar oluşmaktadır. Senkronizasyon ve üretilen sönüm momentleri sayesinde rotor açısının davranışı kararlılık sınırları içinde tutulabilmektedir. Rotor açısının referans değerine göre değişimini karşılayan senkronizasyon momenti, rotor açısının kayma yapmasını

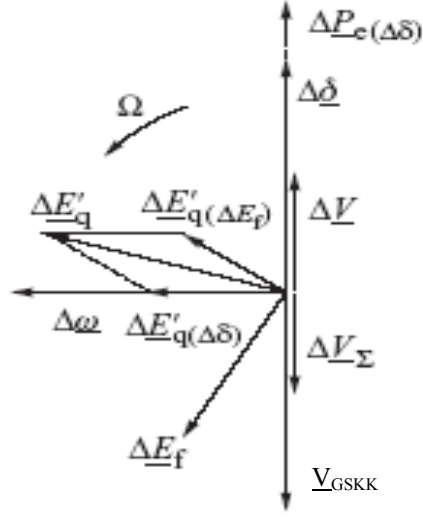
engellemektedir. Yeterli senkronizasyon momentinin olması rotor açısı kararlılığı için yeterli olmayabilir. Senkronizasyon momentinin yeterli olmasına rağmen, rotor açısındaki değişimi karşılayan sönüm momentinin eksikliğinden dolayı rotor açısında meydana gelen salınımlarının genlikleri azaltılamayabilir. Rotor açısı kararsızlığında genellikle bu sorunla karşılaşmakta olup güç sistemi kararlı kılıcısı ürettiği sönüm momentiyile rotor açısı salınımlarına ait genlikleri azaltarak, senkron makinenin açısız kararlılığını arttırmada etkilidir (Küçüktezcan, 2008).

Güç sistemi kararlı kılıcılar uyartım kontrolü ile birlikte sistem salınımlarının sönümünü geliştirmek için kullanılmaktadır (Neşe, 2008). GSKK güç sistemi kararlılığını geliştirmek için en uygun maliyetli etkili yöntemlerden biridir (Machowski ve diğ., 2008).



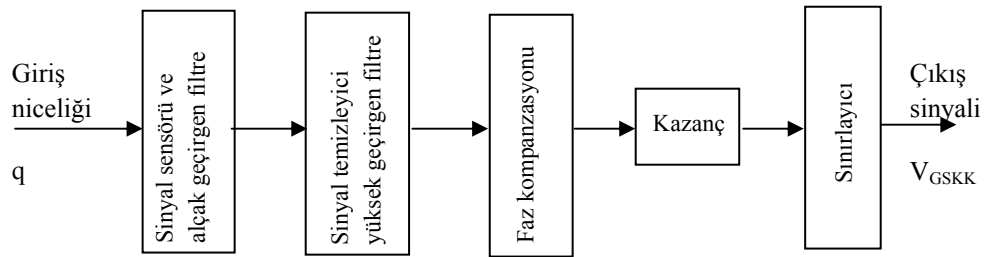
Şekil 2.14: OGR için ek kontrol döngüsü blok diyagramı (Machowski ve diğ., 2008).

Şekil 2.14’de V_{GSKK} sinyali ΔV ana gerilim hata sinyaline eklenmektedir. Kararlı durumda V_{GSKK} sifıra eşit iken gerilim regülasyonu sürecini bozmamaktadır. GSKK’nın görevi ΔV salınımlarını kompanze etmek için Δw ile aynı fazda sönüm bileşeni sağlayan ek bir sinyal eklemektir. Şekil 2.15’de geçici durumda sinyallerin fazör diyagramı gösterilmektedir. Her bir sinyal rotor sargılarının frekansı ile sinüzoidal olarak değişir ve bu yüzden bir faz tarafından temsil edilebilir (Machowski ve diğ., 2008).



Şekil 2.15: Fazör diyagramı (Machowski ve diğ., 2008).

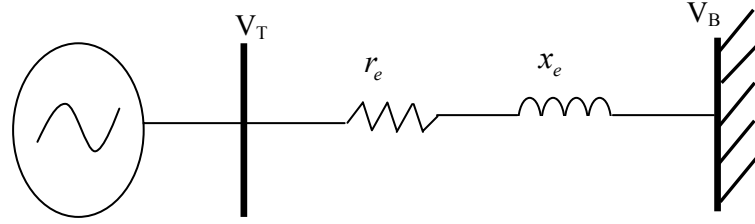
GSKK sinyali V_{GSKK} generatör terminallerinden ölçülen farklı giriş sinyallerinden sağlayabilen GSKK'nın genel yapısı Şekil 2.16'da gösterilmektedir. Ölçülen nicelik (veya nicelikler) alçak ve yüksek geçiren filtreler üzerinden geçirilmektedir. Filtreden geçirilen sinyal sonra gerekli faz kaymasını elde edebilmek için ileri veya geri element üzerinden geçirilmekte olup son olarak sinyal yükseltici ve sınırlayıcıdan geçirilmektedir (Machowski ve diğ., 2008).



Şekil 2.16: GSKK'nın temel elemanları (Machowski ve diğ., 2008).

2.4. SİSTEMİN MODELLENMESİ

Güç sistemlerinin daha kolay analiz edilebilmesi için tek makineli sonsuz baralı bir güç sistemi modeli kullanılmaktadır. Bu modelde tek bir senkron generatör sonsuz güçlü şebekeye bağlanarak örneklendirilmektedir (Küçüktezcan, 2008).

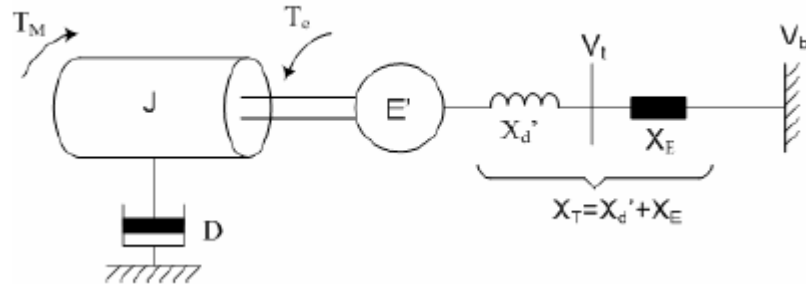


Şekil 2.17: Tek makineli sonsuz baralı bir güç sistemi

Şekil 2.17’de sonsuz güçlü baraya bağlı tek makineli bir güç sistemi gösterilmiştir. Burada V_T generatör uç gerilimi, V_B sonsuz güçlü bara gerilimi, r_e ve x_e hattın omik ve endüktif direnç değerlerini temsil etmektedir.

2.4.1 Salınım Denklemleri Modeli

Analiz ve doğrusallaştırma işlemini göstermek için geçici hal kararlılığı durumunda sadece basitliğinden dolayı bu model kullanılmaktadır. Burada makine sabit bir gerilim (E') ve sabit reaktans (X_d') ile gösterilmektedir.



Şekil 2.18: Sonsuz baraya X_E reaktansı bağlı senkron generatör (Neşç, 2008)

Şekil 2.18’de sonsuz güçlü baralı güç sistemine X_E reaktansı üzerinden bağlı bir senkron generatör gösterilmekte olup denklemler (2.4) ve (2.5) gibi gösterilmektedir.

$$T_e = \frac{E'V_b}{X_T} \sin \delta \quad (2.4)$$

$$J \frac{d^2 \delta}{dt^2} + D \frac{d\delta}{dt} + T_e = T_m \quad (2.5)$$

$\frac{d\delta}{dt} = \Delta w$ ifadesi (2.5)'de yerine yazılarak (2.6) elde edilebilir

$$J \frac{d}{dt} \Delta w + D \Delta w + T_e - T_m = 0 \quad (2.6)$$

$$\frac{d}{dt} \Delta w = \frac{1}{J} (T_m - T_e - D \Delta w) \quad (2.7)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = \Delta w \quad (2.8)$$

Denklem (2.5) ve (2.7) bir başka ifadeyle denklem (2.9) ve (2.10) şeklinde ifade edilir.

$$M \cdot \frac{d^2 \delta}{dt^2} + D \frac{d\delta}{dt} + T_e = T_m \quad (2.9)$$

$$\frac{d}{dt} \Delta w = \frac{1}{M} (T_m - T_e - D \Delta w) \quad (2.10)$$

Dinamik model (2.4), (2.7) ve (2.8) denklemleri olup kullanılan modelde (2.4)'deki nonlineer ifade (2.11)'deki gibi lineerleştirilebilir.

$$\Delta T_e \approx \left. \frac{dT_e}{d\delta} \right|_{\delta=\delta_0} \Delta \delta \quad (2.11)$$

$$\frac{dT_e}{d\delta} = \frac{E'V_b}{X_T} \cos \delta \quad (2.12)$$

$\delta=\delta_0$ belli bir yük açısında denklem (2.4) için bu lineerleştirilmiş ifade (2.13)'deki gibi gösterilmektedir (Neşe, 2008).

$$\Delta T_e = \left[\frac{E'V_b}{X_T} \cos \delta_0 \right] \cdot \Delta \delta \quad (2.13)$$

$$K_s = \frac{E'V_b}{X_T} \cos \delta_0 \quad (2.14)$$

K_s : Senkronlama moment katsayısıdır.

Denklem (2.13), (2.7)'de yerine yazılıp $\frac{d\delta}{dt}$ $\frac{d}{dt}\Delta\delta$ 'ye ve T_m ΔT_m 'ye dönüştürülerek verilen bir çalışma noktası civarındaki küçük değişimler için dinamiklerin lineer modeli denklem (2.15) ve (2.16)'daki gibi elde edilmektedir.

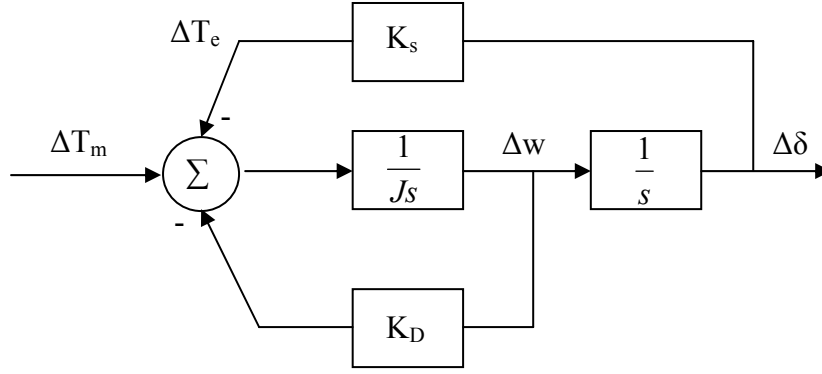
$$\frac{d}{dt}\Delta w = \frac{1}{J}(\Delta T_m - K_s \cdot \Delta \delta - K_D \Delta w) \quad (2.15)$$

$$\frac{d}{dt}\Delta \delta = \Delta w \quad (2.16)$$

K_D : D sönüm momenti katsayısıdır.

Denklem (2.15) ve (2.16)'daki ifadelerinin durum uzay matrisi (2.17)'de gibi olup blok diyagramı modeli ise Şekil 2.19'da gösterilmektedir (Neşe, 2008).

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \Delta w \\ \Delta \delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{K_D}{J} & -\frac{K_s}{J} \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta w \\ \Delta \delta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{J} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \Delta T_m \quad (2.17)$$



Şekil 2.19: Klasik generatör ile SMIB sistemin blok diyagramı modeli (Neşe, 2008).

Blok diyagramı küçük sinyal kararlılık merkezinde senkronlama ve sönüm momentleri kavramını temsil etmektedir. Sistem, giriş mekanik momentinin değişimi (yani ΔT_m sıfır olmayan) ile bozulursa sisteme etki eden ters momentlerin iki çeşidi vardır (Neşe, 2008).

- $\Delta\delta$ yük açısı değişimi ile aynı fazda ters moment (K_s bloğunun çıkışında).
- Δw hız sapması ile aynı fazda ters moment (K_D bloğunun çıkışında).

Senkronlama momenti bu ters momentlerin ilk çeşidi olarak gösterilmekte ve enerji dönüşümünü (mekanik enerjiden elektriksel enerjiye) temsil eden moment olup yok edilemez özelliğe sahiptir. Mekanik güçte pozitif yönde bir değişim olduğunda, oluşan fazla mekanik güç artışı generatör tarafından elektrik enerjisine dönüştürülür ve böylece senkronizasyon korunmuş olur (Caner, 2006). Makine yeterli senkronlama momenti ile ΔT_m 'deki bir artışı tersleyici yeteneğini kaybettiğinde, mekanik giriş şaftı hızlandırmaya devam edeceğinden makine senkronizmayı kaybetmektedir. Bundan dolayı senkronlama momenti geliştirme yeteneği kararlılık için çok önemlidir (Neşe, 2008).

Sönüm momenti olarak gösterilen ikinci tip moment ise enerji kaybını (moment kaybı) temsil etmekte olup, rotor salınımlarının (yani $\Delta\delta$ ve Δw 'deki salınımlar) neticesinde oluşmakta ve zamana göre azalış göstermektedir. Elektriksel çıkış momenti tamamıyla senkronlama momenti olarak gösterilmiştir. Sönümleme momentinin tek kaynağı olarak da mekanik şaft sistemindeki kayıp moment $\Delta T_L = K_D \cdot \Delta w$ ifadesiyle gösterilmektedir (Caner, 2006).

2.4.2 SMIB Güç Sisteminin Phillips-Heffron Modeli

Şekil 2.17’de gösterilen sonsuz güçlü baraya bağlı tek makineli güç sisteminin dinamik nonlinear diferansiyel eşitlikleri (2.18)-(2.21)’de gösterilmiştir (Feilat, 2007).

$$\frac{dw}{dt} = \frac{1}{M}(T_m - T_e) \quad (2.18)$$

$$\frac{d\delta}{dt} = w_b(w - 1) \quad (2.19)$$

$$\frac{dE'_q}{dt} = \frac{1}{T'_{do}} [E_{fd} - E'_q - (x_d - x'_d) i_d] \quad (2.20)$$

$$\frac{dE_{fd}}{dt} = \frac{1}{T_A} [K_A (V_{ref} - v_t + u_{GSKK}) - E_{fd}] \quad (2.21)$$

T_m : Generatörün mekanikal giriş torku

T_e : Generatörün elektriksel çıkış torku

M : Eylemsizlik katsayısı

E_{fd} : Alan gerilimi

T'_{do} : Açık devre alan zaman sabiti

X_d : Generatörün d eksenli reaktansı

X'_d : Generatörün d eksenli geçici hal reaktansı

K_A : Uyarım sisteminin kazanç sabiti

T_A : Uyarım sisteminin zaman sabiti

V_{ref} : Referans gerilimi

Bu çalışmada senkron generatörün dördüncü sıra modeli düşünülüp bozunum öncesi sürekli çalışma durumu denklemleri aşağıdaki gibi hesaplanır (Demello ve Concordia, 1969, Feilat, 2007, Al Habri ve diğ.,2009).

$$i_{qo} = \frac{P_o V_{to}}{\sqrt{(P_o x_q)^2 + (V_{to}^2 + Q_o x_q)^2}} \quad (2.22)$$

$$v_{do} = i_{qo} x_q \quad (2.23)$$

$$v_{qo} = \sqrt{V_{to}^2 - v_{do}^2} \quad (2.24)$$

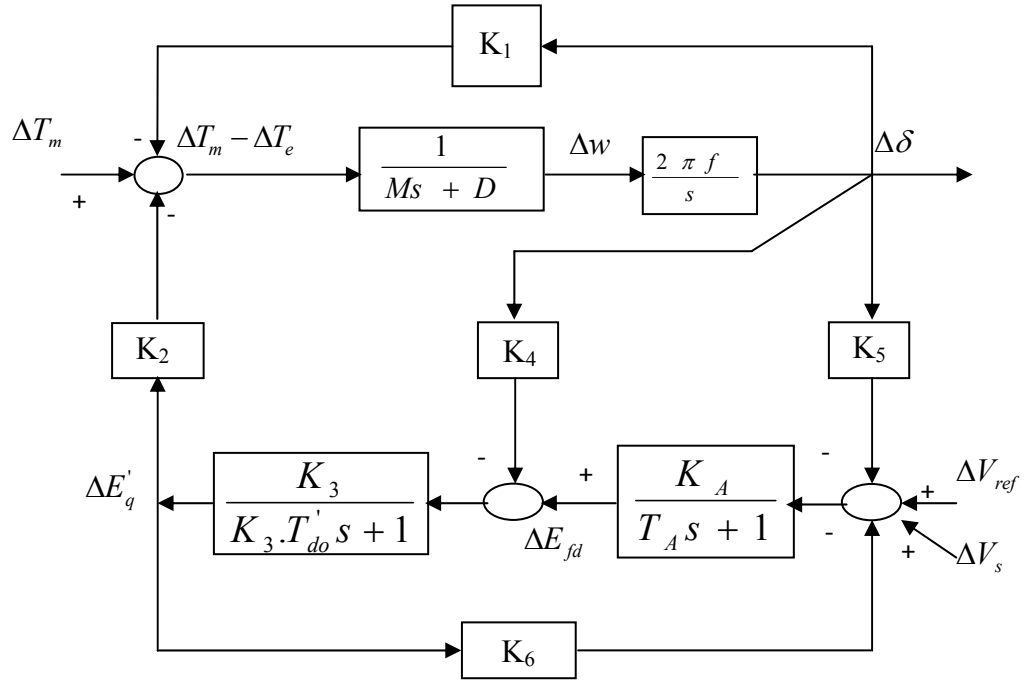
$$i_{do} = \frac{Q_o + x_q i_{qo}^2}{v_{qo}} \quad (2.25)$$

$$E_{qo} = v_{qo} + i_{do} x_q \quad (2.26)$$

$$E_o = \sqrt{(v_{do} + x_e i_{qo})^2 + (v_{qo} - x_e i_{do})^2} \quad (2.27)$$

$$\delta_o = \tan^{-1} \left(\frac{v_{do} + x_e i_{qo}}{v_{qo} - x_e i_{do}} \right) \quad (2.28)$$

SMIB güç sisteminin nonlinear diferansiyel devre eşitlikleri lineerleştirilerek Şekil 2.20'de Phillips-Heffron modeli şeklinde gösterilmiştir.



Şekil 2.20: Lineerleştirilmiş Phillips-Heffron modeli

Sistemin lineerleştirilmiş devre eşitlikleri ve durum uzay matrisi şeklinde denklem (2.29)-(2.34)'de gösterilmektedir.

$$\Delta \dot{\delta} = w_0 \Delta w \quad (2.29)$$

$$\Delta \dot{w} = \frac{1}{M} \left(-K_1 \Delta \delta - D \Delta w - K_2 \Delta E'_q \right) \quad (2.30)$$

$$\Delta \dot{E}'_q = \frac{1}{T'_{do}} \left(-K_4 \Delta \delta - \frac{\Delta E'_q}{K_3} + \Delta E_{fd} \right) \quad (2.31)$$

$$\Delta \dot{E}_{fd} = \frac{1}{T_A} \left(-K_A K_5 \Delta \delta - K_A K_6 \Delta E'_q - \Delta E_{fd} + K_A V_s \right) \quad (2.32)$$

$$\dot{x} = Ax + Bu \quad (2.33)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{\delta} \\ \Delta \dot{w} \\ \Delta \dot{E}'_q \\ \Delta \dot{E}_{fd} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 2\mathcal{F} & 0 & 0 \\ \frac{-K_1}{M} & \frac{-D}{M} & \frac{-K_2}{M} & 0 \\ \frac{-K_4}{T'_{do}} & 0 & \frac{-1}{T'_{do} K_3} & \frac{1}{T'_{do}} \\ \frac{-K_A K_5}{T_A} & 0 & \frac{-K_A K_6}{T_A} & \frac{-1}{T_A} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta w \\ \Delta E'_q \\ \Delta E_{fd} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \frac{K_A}{T_A} \end{bmatrix} V_s(t) \quad (2.34)$$

$r_e=0$ için lineerleştirilmiş modelde kullanılan katsayıların elde edildiği denklemler (2.35)-(2.40)'de gösterilmiştir.

$$K_1 = \frac{x_q - x'_d}{x_e + x'_d} i_{qo} E_o \sin \delta_o + \frac{1}{x_e + x_q} E_{qo} E_o \cos \delta_o \quad (2.35)$$

$$K_2 = \frac{E_o \sin \delta_o}{x_e + x'_d} \quad (2.36)$$

$$K_3 = \frac{x_e + x'_d}{x_e + x_d} \quad (2.37)$$

$$K_4 = \frac{x_d - x'_d}{x_e + x'_d} E_o \sin \delta_o \quad (2.38)$$

$$K_5 = \frac{x_q}{x_e + x_q} \frac{v_{do}}{V_{to}} E_o \cos \delta_o - \frac{x'_d}{x_e + x'_d} \frac{v_{qo}}{V_{to}} E_o \sin \delta_o \quad (2.39)$$

$$K_6 = \frac{x_e}{x_e + x'_d} \frac{v_{qo}}{V_{to}} \quad (2.40)$$

K₁: Senkronlama moment katsayısı olup burada relüktans moment bileşenine de sahiptir (Neşe, 2008, Caner, 2006).

K₂: Çalışma noktasına bağlı olup, elektriksel moment değişiminde alan halkalanma akıları ile değişiklikleri belirten katsayıdır (Neşe, 2008, Caner, 2006).

K₃: Empedans katsayısı denir ve T₃ (yük durumunda alan zaman sabiti) ile birlikte bozucu etki durumunda alan halkalama akılarının değişimini belirleyerek dinamik cevabı etkilemektedir. Çalışma durumuna bağlı olmamasına rağmen, alan akı değişiminin hızını belirleyen makinenin önemli parametrelerinden biridir (Neşe, 2008, Caner, 2006).

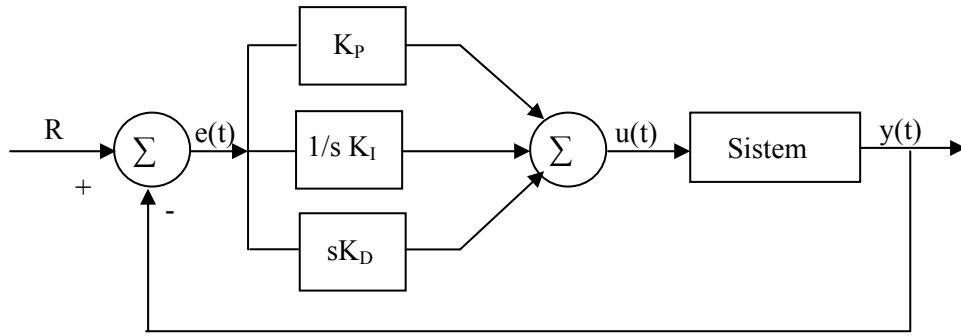
K₄: Yük açısı değişimi ve K₃ vasıtasıyla alan halkalama akı değişimi arasındaki bağlantıyı sağlayan katsayı olarak adlandırılır. Makinede çok etkili bir katsayı olup, etkisi çok önemli olan armatür reaksiyonu etkisinin mıknatıslılığını gidermektedir (Neşe, 2008, Caner, 2006).

K₅ ve K₆ ifadeleri OGR performansının çalışma koşullarına göre değişebileceğini ve bundan dolayı OGR ayarı gerektiği ihtiyacını göstermektedir. OGR etkisi ile hem senkronlama hem de sönüm momentlerinde meydana gelen değişim açıkça görülebilmektedir (Neşe,2008,Caner,2006).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 PID KONTROL

PID kontrolün kapalı döngü blok diyagramı Şekil 3.1’de gösterilmektedir.



Şekil 3.1:Kapalı döngü PID kontrol blok diyagramı

Şekil 3.1’de $e(t)$ sistemin hata sinyalini, R istenilen referans giriş değeri, $y(t)$ ise gerçek çıkış değeridir. $e(t)$ hata sinyali PID kontrolöre gönderilir. PID kontrolör çıkışı $u(t)$ denklem (3.1)’de gösterilmektedir (İnternet 1, Erişim:12 Mayıs 2010).

$$u = K_p e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \quad (3.1)$$

$u(t)$ sinyali sisteme gönderilerek çıkış sinyali $y(t)$ elde edilir. Çıkış sinyali tekrar referans sinyali ile toplanır. Sistem bu şekilde sürekli olarak devam eder. K_p , K_I ve K_D kontrolörlerinin her birinin etkisi kapalı döngü bir sistemde Çizelge 3.1’deki gibi gösterilebilir (İnternet 1, Erişim:12 Mayıs 2010).

PID kontrol günümüzde en çok kullanılan bir kontrol yöntemi olup endüstrideki uygulamaların %75’inde kullanılmaktadır. Çok geniş bir kullanım alanına sahip olmasına rağmen PID uygulamaları için standart bir tanımlama bulunmamaktadır (Kuşçu, Erişim:11 Mayıs 2010).

Çizelge 3.1: K_P , K_I ve K_D kontrolörlerinin kapalı çevrim sisteme etkisi

Kapalı Çevrim Cevabı	Artış Zamanı	Aşım	Oturma Zamanı	Kararlı Hal Hatası
K_P	Azalır	Artar	Az değişir	Azalır
K_I	Azalır	Artar	Artar	Elenir
K_D	Az değişir	Azalır	Azalır	Az değişir

Karl Astrom'a göre PID kontrolörün ifadesi denklem (3.2) ve (3.3)'de verilmektedir (Kuşçu, Erişim:11 Mayıs 2010).

$$u(t) = K \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (3.2)$$

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (3.3)$$

Denklem (3.2) biraz daha basitleştirilirse denklem (3.4) elde edilir (Kuşçu, Erişim:11 Mayıs 2010).

$$u(t) = P(t) + I(t) + D(t) \quad (3.4)$$

$$P_s = K_{p_s} S(t), \quad I_s = K_{i_s} \int_0^t S(\tau) d\tau, \quad D_s = K_{d_s} \frac{dS(t)}{dt} \quad (3.5)$$

Ziegler Nichols'a göre ise PID kontrolörün K_P , K_I ve K_D parametreleri sistemin açık ve kapalı çevrim durumu göz önünde bulundurularak ayarlanabilir. Bu çalışmada kapalı çevrim Ziegler Nichols metodu kullanarak PID kontrolör parametreleri bulunmuştur.

Kapalı çevrim Ziegler Nichols metodunda öncelikle integral ve türev etkisi iptal edilerek oransal kazanç değeri sistem salınımına girene kadar artırılıp elde edilen kazanç değeri K_u olarak adlandırılmaktadır. Daha sonra iki tepe değeri arasındaki değer okunmakta ve T_u olarak isimlendirilir (Neşe,2008). Çizelge 3.2'de Ziegler Nichols metoduna göre P, PI ve PID kontrolör parametrelerinin belirlenmesi gösterilmektedir (Kuşçu, Erişim:11 Mayıs 2010).

Çizelge 3.2: Ziegler Nichols metodu (Kuşçu, Erişim:11 Mayıs 2010).

Denetleyici	K_p	T_i	T_d
P	$K_u/2$		
PI	$K_u/2.2$	$T_u/1.2$	
PID	$K_u/1.7$	$2/T_u$	$T_u/8$

3.2 GENETİK ALGORİTMA (GA)

Günümüzde problemlerin giderek karmaşık hale gelmesi ile hızlı ve kolay bir şekilde çözüm elde edebilmek için yeni çözüm yöntemleri arayışına gidilmiştir. Özellikle sert optimizasyon tekniklerinin kullanımı giderek azalmış olup, yumuşak hesaplama ve evrimsel algoritma kullanımı karmaşık problemlerin çözümünde ön plana çıkmıştır. Evrimsel yaklaşımlardan biri olan genetik algoritmalar da, bu arayışlar içinde giderek önemli bir yer tutmaya başlamıştır. Uygulama başarıları artan ve araştırmacılar tarafından sürekli geliştirilmeye çalışılan genetik algoritmalar diğer sezgisel yöntemler ile birlikte kullanılarak hibrid çözümlerin geliştirilmesine çalışılmaktadır (Emel ve Taşkın, 2002).

GA en iyinin yaşaması ve doğal seçim mekanizmalarına dayalı arama olup optimizasyon işlemlerinin yapıldığı evrimsel algoritma olarak adlandırılabilir. GA'nın ilkeleri 1975'te Michigan Üniversitesinde öğretim üyesi olan John Holland tarafından ilk olarak doğal ve yapay sistemlerde adaptasyon isimli teorik çalışmasıyla gösterilmiştir (Abido ve Abdel-Magid, 1998). 1980'lerin ortalarına kadar teorik olarak değerlendirilen GA, Holland'ın öğrencisi olan David Goldberg bu metodu petrol boru hatlarının kontrolü ve iletimi üzerine hazırladığı doktora çalışmasındaki problemin çözümünde kullanarak algoritmanın pratikte de kullanılabileceğini ispatlamıştır (Tabakoğlu, 2009).

GA doğada geçerli olan şartlara göre en iyinin yaşaması prensibine dayanarak sürekli iyileşen çözümler üretirken kötü çözümlerinde elenmesini sağlar. Doğada güçlü olan hayatta kalır mantığı GA'da da geçerli olmaktadır. Bu yöntem sayılar üzerinde uygulanırken dikkat edilmesi gereken nokta hangi çözümün daha iyi olduğunu belirlenebilmesidir. Doğada meydana gelen evrimsel olaylar (örneğin seçim, çaprazlama, mutasyon) burada modellenerek GA operatörleri adı altında en iyiyi

bulunmaya çalışılır. GA'nın bir diğer önemli özelliği de tek bir çözüm ile uğraşmayıp bir grup çözümle uğraşmasıdır. Bu sayede çok sayıda elde edilen çözüm içinden iyiler seçilip kötüler elenmektedir. GA en önemli özelliği ise olayların tamamıyla rastlantısal olarak gerçekleşmesidir. Bu durum bütünüyle olasılığa bağlı olduğu için iyi çözümün seçilmesi hiçbir zaman garanti altında olmadığını göstermektedir. Buda GA'nın başarısındaki sır olarak tanımlanabilmektedir. Doğada da olduğu gibi her zaman güçlülerin hayatta kalmayıp güçsüzlerinde hayatta kalması gereklidir (Alkanoğlu, 2007).

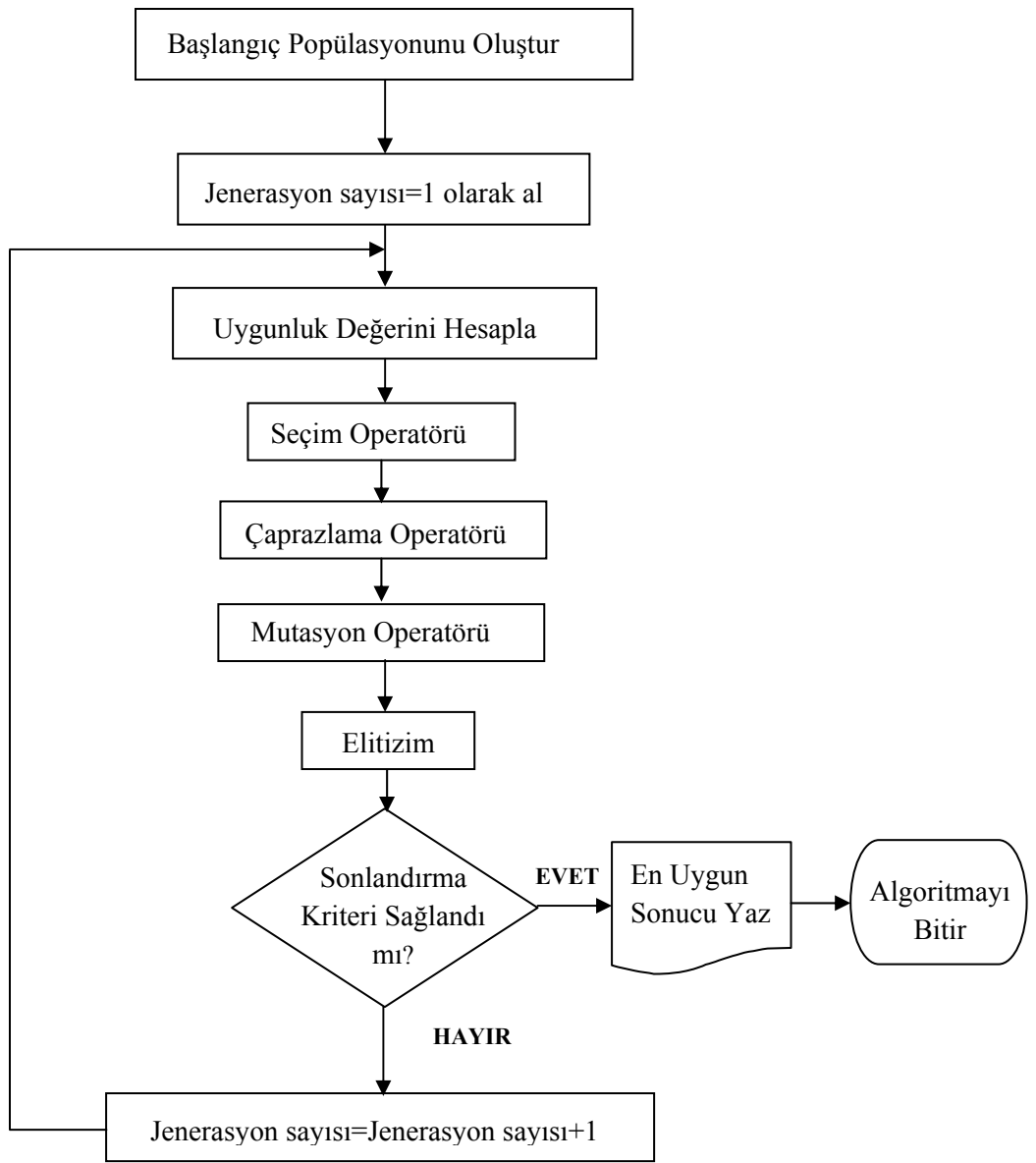
Genellikle, değişkenler için "0" ve "1" lerden oluşan uzun diziler kullanılmaktayken son zamanlarda araştırmacılar değişkenleri gerçek değerlerle kodlayarak GA'nın diğer kodlama yöntemlerine nazaran daha iyi ve daha kısa zamanda çözüme ulaşabileceğini göstermişlerdir. Öncelikle, kullanıcı tarafından belirlenen kodlama yöntemine göre değişkenler belirlenen sınır değerleri arasında bir popülasyon oluşturularak bir çözüm uzayı meydana getirilir. Bu çözüm uzayında en kötü elemanlar popülasyondan atılır ve kullanılan seçim operatörüne göre seçilen bireyler çaprazlanarak daha iyiye gidecek çözümler elde edilir. Ayrıca, mutasyon oranına bağlı olarak belirlenen bireyler mutasyon işlemine tabi tutularak değişime uğratılır. Gerçek hayatta da bu şekilde bir adaptasyon çok güçlü bir organizma meydana getirir. Bu işlem nesiller boyu en iyi genlerin bir sonraki nesle aktarılması ile devam eder (Bolat, 2007).

Sezgisel bir arama yöntemi olan GA'lar başlangıçta doğrusal olmayan optimizasyon problemlerine uygulanmış olup günümüzde bilimsel ve mühendislik problemlerin çözümünde, yerleşim, atölye çizelgeleme, ders veya sınav programı gibi kombinatorial optimizasyon problemlerine, programlama, makine bilimi, elektronik devre tasarımı, bağışıklık sistemi, ekonomi, ekoloji, popülasyon genetiği, sosyal sistemler, müzik, kablosuz iletişim gibi hayatın çok farklı alanlarındaki problemlerin çözümünde kullanılan GA ile elde edilen başarılı sonuçlar doğrultusunda kullanımı giderek yaygınlaşmıştır. GA'nın bu başarısı geleneksel yöntemlerle karşılaştırılarak daha iyi anlamak mümkündür (Zeyveli, 2005, Tabakoğlu, 2009).

Bu bölümde GA'nın nasıl çalıştığı ve GA'da kullanılan operatörler hakkında bilgi verilecektir. Daha sonra bu çalışmada kullanılan PID kontrolörün ve GSKK parametrelerinin optimizasyonu için tasarlanan GA'ya ilişkin bilgiler verilecektir.

3.2.1 Genetik Algoritmanın Çalışması

GA'nın genel olarak çalışma şekli yani akış diyagramı Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Öncelikle çözülecek problem için uygunluk fonksiyonu ve rastgele üretilmiş başlangıç popülasyonu oluşturulur.



Şekil 3.2: GA akış diyagramı

Akış diyagramından da görüldüğü gibi popülasyondaki tüm bireylerin uygunluk değerleri hesaplanır. Hesaplanan değerler sonucunda popülasyondaki bireyler genetik operatörlerden sırasıyla seçim, çaprazlama, mutasyon ve elitizim işlemlerine tabi tutulurlar. Bu işlemler sonucunda durdurma kriteri sağlandıysa en uygun sonuç ekrana basılarak algoritma sonlandırılır. Eğer istenilen sonuç ve durdurma kriteri sağlanmadıysa jenerasyon sayısı artırılır. Bu işlemler durdurma kriteri sağlanıncaya kadar devam eder.

3.2.2 Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

GA'nın çalışması için öncelikle başlangıçta kullanılacak olan popülasyonun belirlenmesi gerekmektedir. Her bir değişken geni, genlerin birleşimi kromozomu (veya birey) ve her bir kromozomun birleşiminden oluşan arama uzayı da başlangıç popülasyonunu oluşturmaktadır. Başlangıç popülasyonundaki çözümler problemin çözüm uzayından seçilen ve mümkün olduğunca problem uzayını temsil edebilen çözümler olmalıdır. Çözüme daha çabuk ulaşabilme olasılığını arttırabilmek için başlangıç popülasyonunun problemin çözüm uzayında homojen olarak dağılımı arzu edilir. Başlangıç popülasyonu genellikle rastgele seçimlerle oluşturulan ve içerisinde değişkenlerinin kodlarını bulduran bir gen havuzu olarak da adlandırılabilir.

Problemdaki değişkenleri ifade eden genler değişik metotlara bağlı olarak farklı şekillerde kodlanıp başlangıç popülasyonundaki kromozomları oluştururlar. Daha çok ikili sayı sistemi elemanları olan 0 ve 1 rakamlarından oluşan kodlama yöntemi kullanılmaktadır (Öztürk, 2007).

3.2.3 Uygunluk Değerinin Hesaplanması

GA'nın başlangıç popülasyonunu oluşturulan her bir kromozomun belirlenen amaç fonksiyonuna göre uygunluk değeri olan $f(x)$ değeri hesaplanır. Başlangıç popülasyonundaki kromozomlar için uygunluk fonksiyonu, bir 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 (Emel ve Taşkın, 2002).

3.2.4 Kodlama Yöntemleri

GA'da probleme bağı olarak kromozomların kodlanması karşılaşılan problemlerden biridir. Kodlama işlemi problemin türüne göre değişmekte olup, ikili, permütasyon, ağaç kodlama gibi kodlama türleri kullanıcı tarafından en uygun olanı seçilerek optimum çözüm aranır (Kaya,2006).

3.2.4.1 İkili (Binary) Kodlama

GA'da halen en yaygın olarak kullanılan kodlama metodudur. Bunun en önemli sebebi, genetik algoritmalar ile ilgili ilk yapılan çalışmalarda kullanılmış olmasıdır. Bu kodlama metodunda popülasyonu oluşturan kromozomların her biri 0 ve 1'ler ile ifade ikili sayı sisteminde kodlanırlar (Kaya, 2006, Yağsan 2006). Çizelge 3.3'de ikili kodlama sistemi gösterilmiştir.

Çizelge 3.3: İkili kodlama ile oluşturulan kromozomlar

Kromozom A	0 1 0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 0 1 0 1 0 1 1 1
Kromozom B	1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 1 1 1 0 0 1

3.2.4.2 Permütasyon Kodlama

Bu kodlama yöntemi, genel olarak gezgin satıcı, görev sıralama problemleri, şebeke tasarımları gibi sıralamayı gerektiren problemlerde kullanılmaktadır. Bu tür kodlamada her bir kromozom sıralama gösteren sayılardan oluşturularak ifade edilir (Kaya, 2006, Yağsan 2006). Çizelge 3.4'de permütasyon kodlama metodu gösterilmiştir.

Çizelge 3.4: Permütasyon kodlama ile oluşturulan kromozomlar (Yağsan, 2006)

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

3.2.4.3 Gerçel (Reel) Kodlama

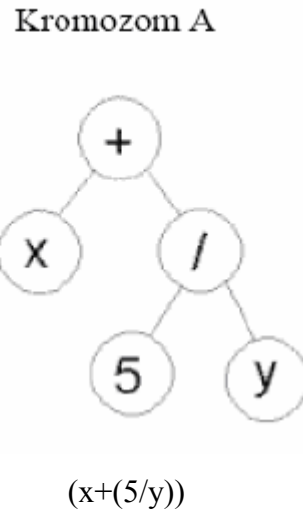
Bu kodlama metodu gerçel gibi kompleks sayılarında bulunduğu problemlerde kullanılmaktadır. Bu tür problemlerin çözümü için ikili kodlama kullanılması oldukça zordur. Bu kodlamada her bir kromozom problemle ilişkili olarak gerçel sayı veya karakterler ile ifade edilebilir. Bu tür kodlama örnek olarak yapay sinir ağında istenilen çıkışın elde edilebilmesinde giriş ağırlıklarının bulunması için kullanılmaktadır (Kaya, 2006, Yağsan 2006). Çizelge 3.5'de gerçel kodlama gösterilmiştir.

Çizelge 3.5: Gerçel kodlama ile oluşturulan kromozomlar

Kromozom A	4.354 2.145 3.367 0.678 2.578 7.546 6.890
Kromozom B	ABEGDJEIFJDHJFDLFFFDLDFGHK
Kromozom C	(ileri), (sol), (geri), (sağ), (sol), (geri),

3.2.4.4 Ağaç Kodlama

Genellikle GA'da programlama için gerekli ifadelerin daha kolay geliştirilmesini sağlamak amacıyla ağaç kodlaması kullanılmaktadır. Bu tip kodlamada her bir birey, programlama dilinde kullanılan fonksiyonlar veya komutlar, nesnelere ve nesnelere arası işlemleri içeren bir ağaç yapısından oluşmaktadır. Şekil 3.3'de ağaç kodlama ile oluşturulan bir kromozom gösterilmektedir (Kaya, 2006, Yağsan 2006).



Şekil 3.3: Ağaç kodlama ile oluşturulan bir kromozom (Kaya, 2006).

3.2.5 Elit Bireylerin Seçimi

Elitizm operatörü bir sonraki popülasyon içinde olacak bireylerin seçimini mevcut popülasyondaki en iyi uygunluk değerine sahip birey veya bireylerin aktarılmasını sağlar ve yeni popülasyonun ilk elemanı veya elemanlarını oluşturur. Böylece en iyi uyumluluğa sahip birey ve bireyler bir sonraki jenerasyonda yaşamlarını sürdürebilmeleri garanti edilmiş olur. Seçilen bu elit bireyler her bir jenerasyonda bunlardan daha iyi bir birey oluşturulamaz ise her jenerasyonda tekrar seçilirler. Ancak daha iyi bir birey oluşturulduğunda ise elit bireyler bu oluşturulan yeni bireyler ile yer değiştirirler (Öztürk, 2007).

3.2.6 Seçim Operatörleri

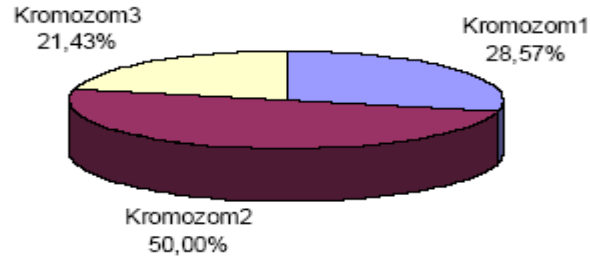
Uygunluk fonksiyonunun değerlerine göre yeni nesil oluşturulacak uygun bireylerin seçilmesi işlemine GA'nın seçim operatörü olarak adlandırılır. Seçimdeki amaç başarılı bireylerin yaşamlarını sürdürebilmelerini sağlarken başarısız bireylerin ise elenmesini sağlamaktır. Seçim operatörü olarak birçok metot geliştirilmiş olup en çok kullanılan seçim operatörleri rulet çarkı, turnuva ve sıralı seçim olarak söylenebilir (Öztürk, 2007).

3.2.6.1 Rulet Çarkı Metodu

Rulet çarkı metodunda bireyler uygunluk fonksiyonu değerlerine göre bir çarkın dilimlerini oluşturmaktadırlar (Öztürk, 2007). Burada tüm bireylerin uygunluk değerleri bir tabloda yazılır ve bu değerler toplanır. Her bireyin uygunluk değeri toplam değere bölünerek çark üzerindeki yüzdeler belirlenir (Bolat, 2006). Uygunluk fonksiyonu değeri yüksek olan bireyler o oranda çarkın üzerinde yüzde olarak geniş bölgeye sahip olup seçilme şanslarını artırır ancak seçilme garantisini vermez (Küçüktezcan, 2008, Kaya, 2006). Çark elitizim kullanılmıyor ise popülasyondaki birey sayısı kadar çevrilir. Eğer kullanılıyor ise elitizim ile belirlenen birey sayısı eksiği kadar çark çevrilir (Öztürk, 2007). Bu metot popülasyonu oluşturan bireyler arasındaki uygunluk değerinin fazla olduğu durumlarda sorun çıkarabilmektedir. Popülasyonda yüksek uygunluk değerine sahip bireyler daha sık seçilerek algoritmanın yerel optimuma takılması söz konusu olmaktadır. Bu durumun engellemek için turnuva veya sıralama metodu kullanılır (Küçüktezcan, 2008). Örnek olarak Çizelge 3.6 ve Şekil 3.4'de rulet çarkı metodu gösterilmiştir (Bolat, 2006).

Çizelge 3.6: Rulet çarkı için örnek hesaplama

Sayı	Uygunluk Değeri	Toplam
Kromozom A	200	28,572%
Kromozom B	350	50%
Kromozom C	150	21,428%
Toplam	700	100



Şekil 3.4: Rulet çarkı örneği

3.2.6.2 Turnuva Seçim Metodu

Bu yöntemde popülasyondan rastgele bir grup birey seçilerek turnuva grubuna katılırlar. Grup içindeki en iyi uygunluk değerine sahip birey ebeveyn olarak seçilir. Bu işlem popülasyon büyüklüğü elde edilinceye kadar devam eder. Turnuva sonrasında bireyler çaprazlama işlemine tabi tutulurlar. Turnuva büyüklüğü genelde iki seçilir. (Küçüktezcan, 2008, Alkanoglu, 2007).

3.2.6.3 Sıralı Seçim Metodu

Sıralama seçim metodunda önce popülasyondaki bireyler uygunluk fonksiyonundaki değerlerine göre sıralanmaktadır. En kötü uygunluk değerine sahip birey 1. sırada, ikinci kötü birey 2. sıraya, en iyisi ise son sıraya sahip olur. Yapılan bu seçim işleminden sonra popülasyondaki bütün bireylere seçim şansı doğacaktır. Ancak bu yöntemdeki dezavantaj çözüme ulaşmanın daha yavaş olmasıdır (Küçüktezcan, 2008, Kaya, 2006).

3.2.7 Çaprazlama Operatörleri

GA'da çaprazlama yöntemi anne ve babanın özelliklerini taşıyan bireyleri oluşturmayı amaçlayan en önemli mekanizmadır. Bu yönteme gen takası yöntemi de denir. Çaprazlamadaki amaç popülasyon içerisindeki bireylerden daha iyi çözümler bulan değişik bireylerin yaratılmasına olanak sağlamaktır. Uygulamada çok fazla çaprazlama yöntemi olup hepsinde de yeni birey oluşturmak için ebeveyn kromozomları arasında gen alış verişi yapılmaktadır (Öztürk, 2007, Alkanoglu, 2007).

3.2.7.1 Tek Noktalı Çaprazlama

Popülasyondan seçim operatörleri vasıtasıyla yeni nesili oluşturmak için iki tane birey seçilir. Bu bireyler anne ve baba diye adlandırılır. Tek noktalı çaprazlamada rastgele gen uzunluğunu geçmeyecek şekilde sayı üretilir. Üretilen bu sayı çaprazlama noktası

olarak adlandırılır. Anne ve baba bireylerin bu çaprazlama noktasının sağında kalan genleri değiştirilerek yeni bireyler (yani çocuk bireyler) elde edilmiş olur. Çizelge 3.7’de tek noktalı çaprazlama gösterilmektedir.

Çizelge 3.7: Tek noktalı çaprazlama

Anne	1 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0
Baba	0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1
Çocuk 1	1 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1
Çocuk 2	0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 0

3.2.7.2 Çift Noktalı Çaprazlama

Bu çaprazlama operatöründe iki ayrı noktadan çaprazlama yapılacağı için iki sayı rastgele üretilir. Belirlenen noktalar arasındaki kalan bölüm değiştirilerek yeni bireyler elde edilir. Çizelge 3.8’de çift noktalı çaprazlama gösterilmektedir.

Çizelge 3.8: Çift noktalı çaprazlama

Anne	1 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0
Baba	0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1
Çocuk 1	1 0 0 1 0 1 0 0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 1 0 1 1 1 0 0
Çocuk 2	0 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 1 1 0 0 0 0 1 0 1 1 1

3.2.7.3 Çok Noktalı Çaprazlama

Çok noktalı çaprazlamada ise ikiden fazla rastgele sayı üretilir. Belirlenen noktalar arasında gen alış verişi yapılarak yeni nesil için yeni bireyler oluşturulmuş olur. Çizelge 3.9’da çok noktalı çaprazlama gösterilmiştir.

Çizelge 3.9: Çok noktalı çaprazlama

Anne	1 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0
Baba	0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1
Çocuk 1	1 0 0 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 0 0 1 1 1 0 0
Çocuk 2	0 1 1 1 0 1 0 0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 1 0 1 0 1 1 1

3.2.7.4 Düzgün Çaprazlama

Düzgün çaprazlama işleminde yeni bireylerin üretimi için öncelikle çaprazlama maskesi tanımlanır. Düzgün çaprazlamada, her nokta bir çaprazlama noktası olarak alınmaktadır. Düzgün çaprazlamada ebeveyn bireylerle eşit uzunlukta maskeler kullanılmaktadır.

Maske rastgele üretilen bitleri içermektedir. Birinci çocuk birey için bir maske üretilmekte, ikinci çocuk birey için birinci maskenin tersi alınmaktadır. Yeni bireyler oluşturulurken, maskedeki 1'ler için birinci ebeveynin bitleri, 0'lar için ikinci ebeveynin bitleri çocuk bireylere taşınmaktadır (Alkanoğlu, 2007). Düzgün çaprazlama Çizelge 3.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10: Düzgün çaprazlama

Anne	1 0 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 1 0 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0
Baba	0 1 1 1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 1 0 1 1 1
Maske 1	1 1 0 0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1 0 0 0 1 0 1 0 1 0
Maske 2	0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 1 1 1 1 0 1 0 1 0 1
Çocuk 1	1 0 1 1 0 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 0 1 1 1 0 1
Çocuk 2	0 1 0 1 0 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 1 0 1 0 1 1 1

3.2.7.5 Ayrık Çaprazlama

Gerçel kodla kullanılan çaprazlama operatörüdür. Örnek olarak $A=125\ 98\ 430$ $B=12\ 263\ 362$ gibi genlere sahip bireyler düşünelim. Burada aynı düzgün çaprazlamadaki gibi belirlenen anne ve baba bireyler için iki adet maske üretilir. Rastgele atanan maskeler 221 ve 121 olarak kabul edilirse yeni oluşacak çocuk bireyler aşağıdaki gibi oluşur (Küçüktezcan, 2008).

Çocuk 1: 12 263 430

Çocuk 2: 125 263 430

3.2.7.6 Ara Çaprazlama

Bu çaprazlama operatöründe sayısal işlem kullanıldığından GA gerçel kodlu olması durumunda kullanılır. A ve B anne, baba bireyler olmak üzere oluşan çocuklar $\text{Ç} = A + \alpha(B - A)$ işlemiyle belirlenmektedir. Kullanılan α katsayısı gen çeşitliliğini arttırmakta olup her gen için 0,25 ile 1,25 arasında rastgele seçilir. Birinci çocuk için α değerleri 0,90-0,56-1,12 ve ikinci çocuk için α değerleri 0,45-0,6-0,95 ise yeni oluşan çocuk bireyler aşağıdaki gibi oluşur (Küçüktezcan, 2008).

Çocuk 1: 23,3 190,4 353,84

Çocuk 2: 74,15 197 365,4

3.2.7.7 Doğrusal Çaprazlama

Bu çaprazlama operatöründe her bir gen sayısı kadar α değeri yerine sadece bir α değerinin atanmasıdır. Birinci çocuk birey için α değeri 0,5 ikinci çocuk birey için α değeri 0,85 olduğunda çocuk bireyler aşağıdaki gibi oluşur (Küçüktezcan, 2008).

Çocuk 1: 62,5 49 215

Çocuk 2: 10,2 223,55 307,7

3.2.7.8 Aritmetik Çaprazlama

Gerçel kodlu GA'da kullanılan bir çaprazlama operatörüdür. Aritmetik çaprazlama operatörü iki kromozomun doğrusal kombinasyonu şeklinde kullanılır. Rastgele popülasyondan çaprazlama için X_i^{jen} ve X_j^{jen} iki kromozom seçilir. Birbirlerinin denklem (3.6) ve (3.7) gibi doğrusal kombinasyonları sonucunda bir sonraki jenerasyonda yer alacak X_i^{jen+1} ve X_j^{jen+1} yeni çocuk bireyler oluşturulur. a katsayısı (0,1) arasında rastgele sayıdır (Yalçınöz ve diğ., 2001).

$$X_i^{jen+1} = a.X_i^{jen} + (1-a).X_j^{jen} \quad (3.6)$$

$$X_j^{jen+1} = (1-a).X_i^{jen} + a.X_j^{jen} \quad (3.7)$$

3.2.8 Mutasyon Operatörü

GA'da mutasyon operatörü kullanılarak yeni oluşacak bireylerin gen çeşitliliği artırılır. Mutasyon oranı çok küçük seçilmekte olup problemin çeşidine göre bu değer değişebilmektedir. Jenerasyon içerisinde bireyler birbirlerine çok yaklaşımları çeşitliliğin azalması anlamına gelmektedir. Çeşitliliği arttırmak için mutasyon operatörü ya seçim işleminden sonra ya da çaprazlama operatöründen sonra kullanılmaktadır. Genellikle çaprazlama operatöründen sonra tercih edilmektedir. GA'da çaprazlama operatöründen sonra bireyler mutasyon operatörüne tabi tutularak popülasyon içerisindeki bireylerin yerel optimum değere takılması engellenmiş olur (Alkanoğlu, 2007).

İkili sayı sisteminde belirlenen mutasyon oranı ile popülasyon içerisinde o oran doğrultusunda genler 0 ise 1'e 1 ise 0'a dönüştürülür. Gerçel kodlu GA'da mutasyon oranı denklem (3.8) göre belirlenebilir (Bouzeboudja ve diğ., 2005).

X_i mutasyona girmeden önceki bireyi, X_i' mutasyondan sonraki bireyi temsil etmektedir.

$$x_i' = x_i + mut_oranı.d_i.randn \quad (3.8)$$

Genellikle mut_oranı: 0.1 seçilebilir.

d_i : $max_i - min_i$ i. bireyin genlerinin maksimum değerin minimum değerden çıkarımı olarak belirlenebilir.

Randn: Rastgele oluşturulmuş sayıdır.

3.2.9 Genetik Algoritma İle GSKK ve PID Kontrolör Parametrelerinin Belirlenmesi

GA'da problemlerin çeşidine göre kullanılan operatörler kullanıcının deneyimine bağlı olarak seçilir. Bu çalışmada ilk önce farklı çalışma koşulları altında GSKK parametreleri belirli sınır değerleri arasında tutularak en uygun değerleri bulunmuştur. Daha sonra sistemlerde bir kontrol elemanı olarak kullanılan PID kontrolörünün parametreleri belirli sınır değerleri arasında kalması sağlanarak en uygun değerleri bulunmuştur. Güç sistemi bozucu bir etkiye maruz kaldığında sistemin açılma hızı ve açı değişiminde oluşan salınımları sönümlenme ve yerleşme süresinin kısalmasında amaçlanan kontrolörler yaklaşımlarının daha etkili olduğu görülmüştür. GA'da ilk olarak amaç fonksiyonu belirlenir. Eğer GA'da ceza fonksiyonu uygulanmıyor ise amaç fonksiyonu uygunluk fonksiyonuna eşit olmaktadır. Bu çalışmada ceza fonksiyonu kullanılmadığından amaç fonksiyonu uygunluk fonksiyonuna eşit olmaktadır. GA için uygunluk fonksiyonunun minimum değeri aranırken uygunluk fonksiyonu olarak performans indeksi (J) olarak da adlandırılan iki farklı durum düşünülmüştür. Denklem (3.9) ve (3.10) bu durumlar açıklanmıştır. Hata sinyali olarak Δw hız değişimi seçilmiştir.

$$UF = J = IAE = \int_0^t |\Delta w(t)| dt \quad (3.9)$$

$$UF = J = ISE = \int_0^t \Delta w^2(t) dt \quad (3.10)$$

GSKK ve PID kontrolör parametrelerinin sınır değerleri Çizelge 3.11 ve 3.12’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.11: GSKK sınır değerleri (Karnik ve diğ., 2009).

Sınırlar	GSKK Parametreleri		
	K_c	T_1	T_3
Maksimum Değerler	30	0.5	0.5
Minimum Değerler	1	0.06	0.06

Çizelge 3.12: PID kontrolör parametrelerinin sınır değerleri (Al Habri ve diğ., 2009)

Sınırlar	PID Kontrolör Parametreleri		
	K_p	K_i	K_d
Maksimum Değerler	50	50	10
Minimum Değerler	0	0	0

Bu çalışmada GA’da gerçel değerli kodlama sistemi ikili kodla sistemine göre sistem cevabının daha hızlı gerçekleştirilmesi sebebiyle kullanılmıştır. Başlangıç popülasyonu belirlenen popülasyon sayısına göre değişkenlerin belirli sınır değerleri arasında rastgele oluşturulmuştur. Başlangıç popülasyonundaki her bir birey problemdeki değişken sayısına bağlı olarak belirlenmektedir. Bu çalışmada popülasyon büyüklüğü daha iyi çözüme ulaşabilmek ve çözüm uzayının geniş tutulması için 300 olarak seçilmiştir.

Başlangıç popülasyonunda rastgele oluşturulan bireyler için ilk olarak denklem (3.9)’a göre uygunluk değerleri hesaplanmıştır. Uygunluk değerlerine göre bir sonraki jenerasyonda yer alacak elit bireylerin seçimi yapılmış ve yeni bireylerin oluşumunda kullanılacak popülasyondaki diğer bireylerin seçim işlemi turnuva seçim operatörüne göre yapılmıştır. Turnuva büyüklüğünün yüksek seçilmesi uygunluk değeri küçük olan bireylerin seçimini kolaylaştıracağından bu çalışmada turnuva büyüklüğü 2 olarak seçilmiştir.

Çaprazlama operatörü olarak aritmetik çaprazlama düşünülmüştür. Turnuva seçimi sonucunda belirlenen bireyler ebeveyn birey olarak atanmış ve çaprazlama işlemine tabi tutularak bir sonraki jenerasyonda kullanılmak üzere yeni bireylerin üretilmesi

sağlanmıştır. Aritmetik çaprazlama iki bireyin doğrusal kombinasyonu şeklinde denklem (3.6) ve (3.7)'ye göre yapılmıştır.

Mutasyon işlemi GA'da gen çeşitliliği arttırmak amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmada çaprazlama operatöründen çıkan bireyler mutasyon operatörüne tabi tutulmuşlardır. Mutasyon operatörü olarak denklem (3.8) kullanılmış olup mutasyon oranı 0.1 alınmıştır. Böylece bireylerin uygunluk değerleri azalarak birbirlerine yaklaşmaları sağlanmış olmaktadır.

GA'da sonlandırma kriteri olarak jenerasyon sayısı düşünülmüş olup. jenerasyon sayısı 100 olarak seçilmiştir. GA sonlandırma kriterini sağladığında algoritmayı bitirerek en uygun sonucu ekrana yazar.

3.3 BULANIK MANTIK (BM)

Bulanık mantık (BM) teorisi ilk olarak 1965 yılında California Üniversitesinden Azeri kökenli Prof. Dr. L. A. Zadeh tarafından ortaya atılmıştır (Zadeh, 1965). Modelleme ve tahmin yapılacak olan sistemlerde sistemlerin değişkenleri kesin bir şekilde matematiksel olarak ifade edilemeyebilir. Bu nedenlerden dolayı doğrusal sistemlerde uygulanan yöntemleri doğrusal olmayan sistemlere uygulamak iyi performans vermeyebilir. Son zamanlarda böyle sistemlerin modellenmesi için BM tabanlı modellemeler kullanılmaktadır (Güvenç, 2008). BM, matematiksel ifadelerin yeterli olmadığı durumlarda hemen hemen bütün bilim dallarında kendisine yer edinmiş bir kavramdır (Esen, 2006). BM tabanlı modellemeler günlük hayatta insanların kolayca anlayabileceği dilsel ifadelerle kullanılmaktadır (Güvenç, 2008).

3.3.1 Bulanık Kümeler

Klasik küme teoreminde, bir kümenin içindeki elemanların üyeliği o elemanın o kümeye ya aittir ya da ait değildir. Bu durum ikili sistem terimleri (0 veya 1) ile ifade edilir. Bulanık küme teorisi ise bir kümenin içindeki elemanların üyeliklerinin kademeli olarak tayin edilmesini izin vermektedir (Saraçoğlu, 2007).

X evrensel kümesinde bulunan bir A bulanık kümesi için μ_A üyelik fonksiyonu denklem (3.11)'deki gibi ifade edilmektedir (Güvenç, 2008);

$$\mu_A: X \rightarrow [0,1] \quad (3.11)$$

Burada bir elemanın 0 değerine sahip olması o üyenin verilen kümeye ait olmadığını gösterirken elemanın 1 değerine sahip olması ise o elemanın o kümeye üye olduğunu göstermektedir. $\mu_A(x)$ A bulanık kümesindeki x elemanın üyelik derecesini 0 ve 1 değerleri aralığında gerçek bir sayıyı göstermektedir.

$$\mu_A(x): X \rightarrow [0,1]; \mu_A(x) \in [0,1] \quad (3.12)$$

Örnek olarak üç sıcaklık kavramını ele alıp soğuk, ılık ve sıcak şeklinde üç bulanık küme olduğunu varsayalım. 12 derecenin altındaki sıcaklıklara soğuk, 12 ve 21 derece arası sıcaklıklar ılık ve 21 derece üzeri sıcaklıklar sıcak olarak kabul edelim. Buna göre 14 derece kesinlikle ılıktır denir. Ancak 14 derece kimileri için ılık, kimileri için sıcak hatta kimileri için soğuk bile olabilmektedir. 14 derecenin hangi kümeye ne kadar üye olduğu hakkında 0.85 değerinde soğuk 0,47 değerinde ılık ve 0,13 değerinde sıcak gibi değerlerle ifade edilebilir.

3.3.2 Bulanık Küme İşlemleri

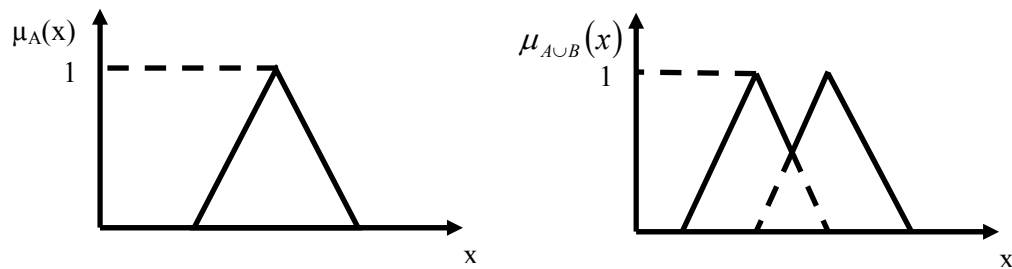
Kesin kümelerde olduğu gibi mantıksal çalışmalar, birleşme, kesişme, tümleyen ve kartezyen çarpım gibi özellikleri BM kontrolör için kullanılabilir.

3.3.2.1 Birleşme (Birleşim) İşlemi

x değişkeni olmak üzere, $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(x)$ üyelik fonksiyonlarına sahip olan A ve B gibi iki bulanık kümenin birleşmesi ile C bulanık kümesi oluşmaktadır. $C = A \cup B$ olarak yazılıp ve ilgili üyelik fonksiyonu denklem (3.13)'de gösterilmiştir (Özkop, 2006).

$$\mu_C(x) = \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (3.13)$$

Şekil 3.5'de bulanık kümelerde birleşme işlemi gösterilmiştir.



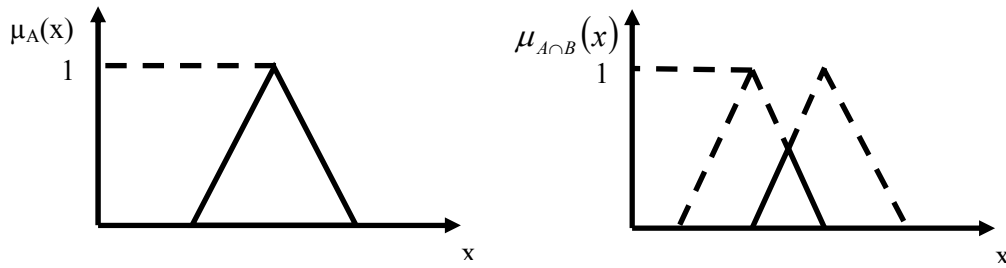
Şekil 3.5: Bulanık kümelerde birleşme işlemi (Özkop, 2006).

3.3.2.2 Kesişim İşlemi

x değişken olmak üzere, $\mu_A(x)$ ve $\mu_B(x)$ üyelik fonksiyonlarına sahip olan A ve B gibi iki bulanık kümenin kesişmesi ile C bulanık kümesi oluşmaktadır. $C = A \cap B$ olarak yazılmakta olup, ilgili üyelik fonksiyonu denklem (3.14)'de gösterilmiştir (Özkop, 2006).

$$\mu_C(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (3.14)$$

Şekil 3.6'da kesişim işlemi gösterilmiştir.



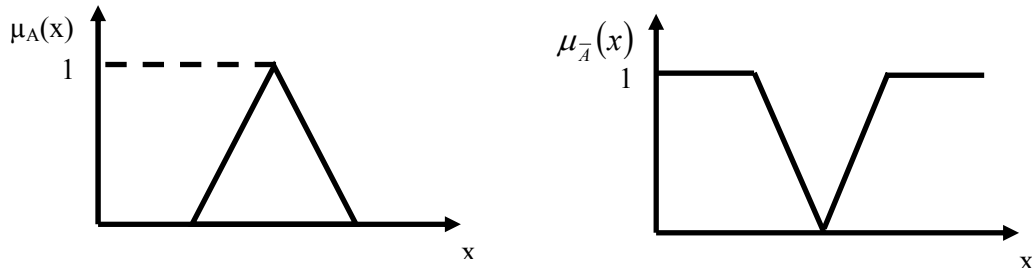
Şekil 3.6: Bulanık kümelerde kesişim işlemi (Özkop, 2006).

3.3.2.3 Tümleneyen (Değilini Alma) İşlemi

A bulanık kümenin tümleneyeni \bar{A} ile gösterilmekte olup üyelik fonksiyonu denklem (3.15)'de verilmiştir (Özkop, 2006).

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (3.15)$$

Bulanık kümelerde tümleneyen işlemi Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Bulanık küme ve bulanık kümenin tümleneyeni (Özkop, 2006).

3.3.2.4 Kartezyen Çarpım

U_1, \dots, U_n evrensel kümeleri altında A_1, \dots, A_n bulanık kümelerinin olduğu varsayıp A_1, \dots, A_n kümelerinin kartezyen çarpımı $U_1 \times \dots \times U_n$ çarpım uzayı altındadır. Üyelik fonksiyonu denklem (3.16)'daki gibi gösterilebilir (Erdem, 2007).

$$\mu_{A_1 \times \dots \times A_n}(u_1, u_2, \dots, u_n) = \min\{\mu_{A_1}(u_1), \dots, \mu_{A_n}(u_n)\} \quad (3.16)$$

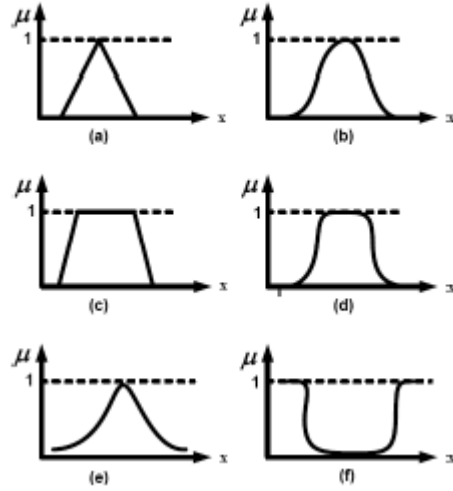
3.3.3 Dilsel Değişkenler

Değişken değerleri sayısal olmayıp kelime veya cümle olanlara dilsel değişkenler denir. Dilsel değişkenler kendi içinde terimlere ayrılabilir. Örnek olarak kontrol değişkeni aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir (Özkop, 2006).

$U(\text{kontrol değişkeni}) = \{\text{Pozitif Büyük, Pozitif Orta, Pozitif Küçük, Sıfır, Negatif Küçük, Negatif Orta, Negatif Büyük}\}$

3.3.4 Üyelik Fonksiyonları

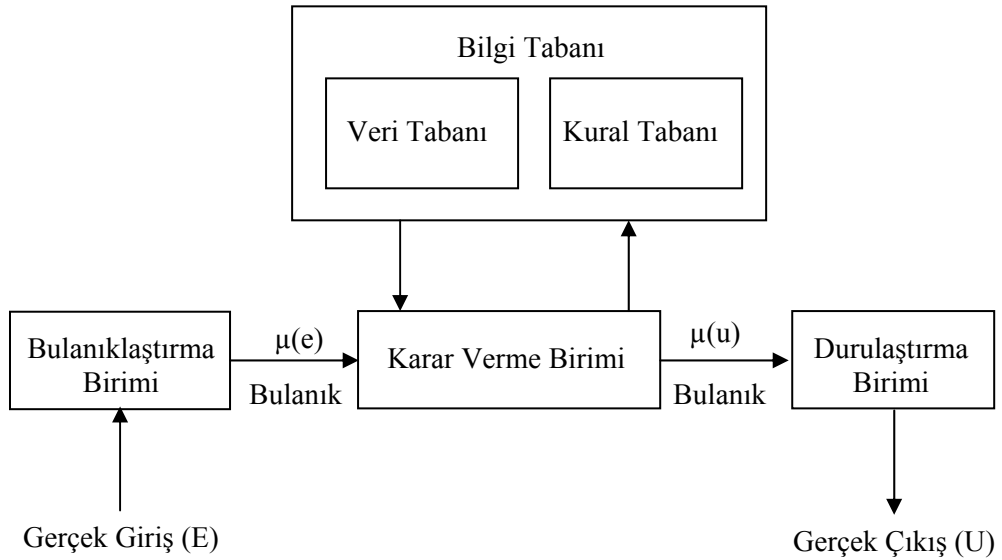
Üyelik fonksiyonları bir bulanık kümeyi ifade ettiğinden, tanımlamaları bulanık küme teorisi içinde önemli bir yer tutmaktadır (Neşe, 2008). Üyelik fonksiyonu değer aralığındaki her bir elamanın üyelik derecesini verir. x-ekseni, dilsel değişkenlerin kırılma noktalarını, y-ekseni dilsel değişkenler için üyelik değerlerini gösterir (Özkop, 2006). Bulanık mantıkta en fazla kullanılan üyelik fonksiyonları üçgen, yamuk, gaussian, sigmoid, çan eğrisi v.b. gibi olmak üzere farklı tiplerdedir. Modelleme yapılacak sistemde kullanılacak olan üyelik fonksiyonlarının seçimi kullanıcının deneyimlerine, bakış açısına ve sistemin özelliğine göre uygun olarak tercih edilir (Güvenç, 2008). Şekil 3.8'de BM kontrol yapısında kullanılan üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.



Şekil 3.8: BM’de kullanılan çeşitli üyelik fonksiyonları: (a) Üçgen, (b) Gaussian, (c) Yamuk, (d) Çan, (e) Cauchy, (f) Sigmoid (Özkop, 2006).

3.3.5 Bulanık Mantık Tabanlı Modelleme

Genel olarak BM denetim sistemi Şekil 3.9’deki gibi gösterilebilir (Güvenç, 2008).



Şekil 3.9: BM denetleme sisteminde kullanılan blok diyagram

BM kontrol sistemi bilgi tabanı, bulanıklaştırma birimi, karar verme birimi ve durulaştırma birimi olarak dört ana bileşenden oluşmaktadır.

Sistem değişkenleri olarak E gerçek giriş değişkeni ve U gerçek çıkış değişkenleridir.

3.3.5.1 Bulanıklaştırma Birimi

Bulanıklaştırma, sistemden alınan giriş bilgilerini dilsel niteleyiciler olan sembolik değerlere dönüştürme işlemidir (Elmas, 2007). Bulanıklaştırma operatörü, fiziksel değeri bulanık bir ifadeye dönüştürürken, oluşturulan ifade, belirlenmiş olan alan içerisinde bir üyelik değerine ve bu aralığın dışındaki tüm noktalarda sıfır üyelik değerine ve fonksiyonuna sahip olacaktır (zkop, 2006). Bulanıklaştırıcı sembolik olarak denklem (3.17)'deki gibi gösterilebilmektedir (Neşe, 2008).

$$x=\text{bulanıklaştırıcı}(x_0) \quad (3.17)$$

yelik işlevinden faydalanılıp giriş bilgilerinin bulanık kümelere üyelik derecesini tespit ederek, girilen sayısal değere dilsel değişken değerler atanarak bulandırma işlemi yapılmaktadır (Güvenç, 2008). Sistemin verimli çalışmasını sağlamak amacıyla değişik Şekillerde bulanık kümeler seçilebilir (Elmas, 2007).

3.3.5.2 Bilgi Tabanı

Bilgi tabanı, BM sisteminin temelini oluşturmaktadır (zkop, 2006). Karar verme biriminin kural tabanının da kullanıldığı bilgileri aldığı veri tabanı ve denetim amaçlarına uygun dilsel denetim kurallarının bulunduğu kural tabanı olmak üzere iki kısıma ayrılmaktadır (Elmas, 2007). Bulanık bir sistem uzman bilgisine dayanan birçok sözel ifadeler ile tanımlanabilmektedir (Güvenç, 2008) Uzman düşüncesi veya bazı diğer çözümleri içeren bilgi tabanı yardımıyla üyelik fonksiyonlarının kırılma noktalarını ve Őekilleri hakkında bilgi elde edilebilmektedir. Bilgi tabanından alınan bilgiyle, karar verme sürecinde gerekli olan kontrol kuralları geliştirilir (zkop, 2006). Kuralların sayısı için genel bir yaklaşım bulunmamasına rağmen bulanık küme sayısının matematiksel çarpımına eşittir. Girişler ve ıkışlar arasındaki bağlantılar, kural tabanındaki kurallar kullanılarak sağlanır (Güvenç, 2008). A ve B girişler, C ise çıkış değişkeni olan bir sistem için denklem (3.18)'deki ifade kullanılabilmektedir (Elmas, 2007).

$$\text{Eğer } A=x \text{ ve } B=y \text{ ise } O \text{ HALDE } C=z \quad (3.18)$$

Őeklindeki bir kural A ve B'nin aldığı değerlere göre C çıkışının bulanık değerlerini belirlemektedir (Elmas, 2007).

3.3.5.3 Karar Verme Birimi

Karar verme birimi bulanık mantık denetimin çekirdek kısmıdır. Bu kısım insanın karar verme ve çıkarım yapma yeteneğinin benzeri bir yolla bulanık kavramları işler ve çıkarım yaparak gerekli denetimi yapar (Elmas, 2007). Yani insan beyninin bir benzetimi yapılmaya çalışılmaktadır (Neşe, 2008). Bulanık mantıkta bulanık içermeyi tanımlamanın birçok yolu bulunmakta olup, bulanık mantık denetleyici içinde hangi tipin kullanılacağı daha çok sezgisel olarak belirlenir (Güvenç, 2008). Mandani'in bulanık içermesi max-min kompozisyonu ile birleştirilerek, bulanık mantık denetim sistemlerinde çok sık kullanılmaktadır. Bulanık çıkarım için birçok farklı yapı bulunmaktadır. Max-Dot, Min-Max, Tsukamoto ve Takagi-Sugeno en çok kullanılan 4 çıkarım yöntemidir (Elmas, 2007).

Max-Dot yönteminde her bir giriş değeri, ait olduğu üyelik işlevindeki üyelik derecesine bağlı olarak ilgili bulanık kümeyi yeniden ölçeklendirmektedir. Çıkış değeri tüm girişler için yeniden ölçeklendirilmiş bulanık kümeler içerisindeki maksimum değer alınarak bulunmaktadır (Elmas, 2007).

Min-Max yönteminde her bir giriş değeri için ait olduğu üyelik işlevindeki üyelik derecesine bağlı olarak ilgili bulanık kümenin üyelik değerinin üstündeki kısmı kesilir. Çıkış değeri, elde edilen bu bulanık kümelere genellikle ağırlık ortalaması yönteminin uygulanması ile bulunmaktadır (Elmas, 2007).

Tsukamoto yönteminde çıkış üyelik işlevi tek yönlü artan bir işlev olarak seçilmektedir. Çıkış değeri ise her bir kuralın keskin çıkış değerinin ağırlık ortalaması alınarak bulunmaktadır (Elmas, 2007).

Takagi-Sugeno yönteminde ise her bir kuralın çıkışı giriş değerlerinin doğrusal birleşimiyle bulunmaktadır. Keskin çıkış değeri ise ağırlık ortalaması alınarak bulunmaktadır (Elmas, 2007).

3.3.5.4 Durulaştırma Birimi

Bulanık çıkarımın sonucu bulanık bir kümedir (Elmas, 2007). Durulaştırma işlemi bulanık niceliği kesin niceliğe çevirir. Sonuçta elde edilen bulanık denetleme çıkışını, kesin bir denetleme çıkışına dönüştürmektedir (Özkop, 2006). Bu sonucun tekrar

sisteme uygulanması için giriş değeri gibi sayısal değere dönüştürülmesi gerekmektedir (Elmas, 2007).

Durulaştırma işleminde değişik yöntemler kullanılmaktadır. Maksimum üyelik yöntemi, ağırlık merkezi yöntemi, ağırlık ortalaması yöntemi, mean-max üyelik yöntemi olmak üzere en çok kullanılan yöntemler olarak adlandırılabilir (Elmas, 2007).

Maksimum üyelik yöntemi yükseklik yöntemi olarak da adlandırılmaktadır. Bütün üyelik dereceleri içinde en büyük olana eşit olup denklem (3.19)'daki gibi ifade edilebilir (Elmas, 2007).

$$\mu_c(z^*) \geq \mu_c(z) \quad z \in Z \quad (3.19)$$

Ağırlık merkezi yöntemi, ağırlık merkezi veya alan merkezi olarak da adlandırılan bu yöntem en yaygın olarak kullanılan durulama yöntemidir. Denklem (3.20)'deki gibi ifade edilmektedir (Elmas, 2007).

$$z^* = \frac{\int \mu_c(z) \cdot z \, dz}{\int \mu_c(z) \, dz} \quad (3.20)$$

Ağırlık ortalaması yönteminde girişlerden elde edilen bütün bulanık değerler ile üyelik değeri kullanılarak durulama yapılmaktadır. Ağırlık ortalaması yöntemi denklem (3.21)'deki gibi gösterilmektedir (Elmas, 2007).

$$z^* = \frac{\sum \mu_c(\bar{z}) \cdot \bar{z}}{\sum \mu_c(\bar{z})} \quad (3.21)$$

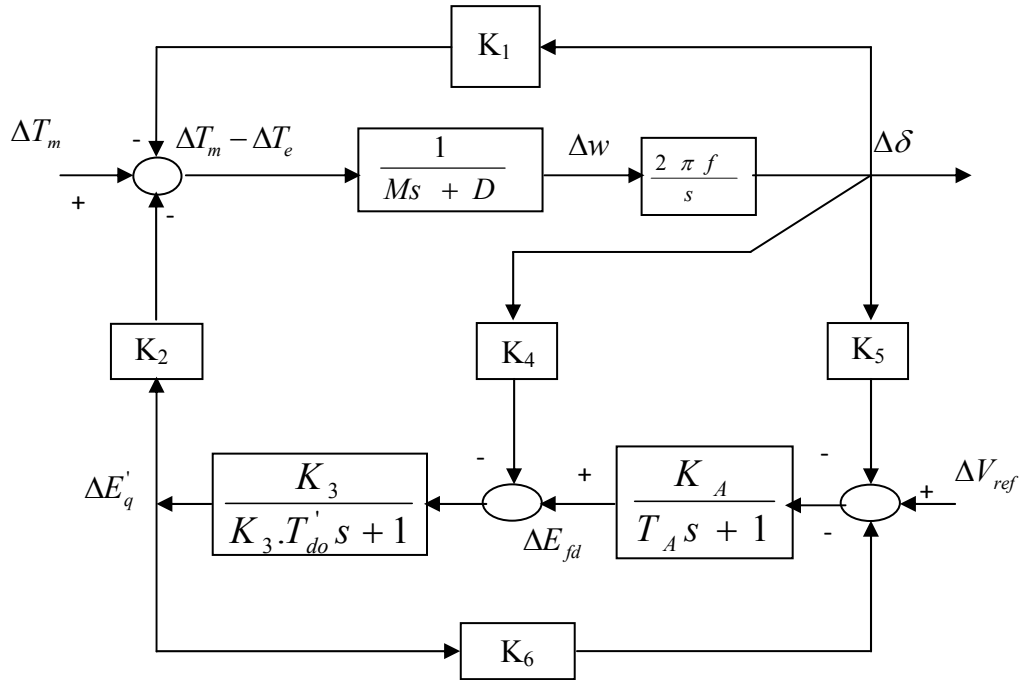
Mean-max üyelik yöntemi maksimum üyelik işlevi ile ilişkilidir. Bu işlev maksimum üyelik derecesi tek bir nokta olmayıp, düz olabilen sistemler içinde kullanılabilir (Elmas, 2007). Çıkışı denklem (3.22)'deki gibi gösterilmektedir (Neşe, 2008).

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{x}_i}{n} \quad (3.22)$$

4. BULGULAR

4.1 BENZETİM MODELİ VE SİSTEM PARAMETRELERİ

Benzetim çalışmalarında kullanılan tek makineli sonsuz baralı güç sisteminin lineerleştirilmiş Phillips-Heffron modeli Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1: Tek makineli sonsuz baralı güç sisteminin lineerleştirilmiş modeli

Senkron generatör ve uyarıcı içeren devre modelinin benzetim çalışmalarında kullanılan generatör, uyarıcı, terminal gerilimi ve hat parametreleri Çizelge 4.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1: Sistem parametreleri

D	M	T' _{do}	f	K _A	T _A
0	9.26	7.76	60	50	0.05
x _d	x' _d	x _q	r _e	x _e	V ₁₀
0.973	0.19	0.55	0	0.997	1.0

Benzetim çalışmalarında kullanılan kontrolörlerin bozucu etkiyi giderme kabiliyetlerini görebilmek için sisteme mekanik güç girişi ΔT_m ve referans gerilim girişi ΔV_{ref} bölgelerinden bir bozucu etki uygulanmıştır. ΔT_m girişinden %10'luk, ΔV_{ref} girişinden %5'lik bozucu etki 0.5 ve 1 saniyeleri arasında uygulanmış olup benzetim süresi 20 saniyedir. Bozucu etkiler benzetim çalışmalarında dört farklı yük durumu için gerçekleştirilmiştir. Benzetim çalışmalarında kullanılan yük parametreleri Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2: Yük parametreleri

Yük Çeşitleri	P (pu)	Q (pu)
Hafif Yük	0.5	0.169
Orta Yük	0.9	0.2907
Ağır Yük	1.1	0.35
Kapatif Yük	0.6	-0.3

Sistem performansını değerlendirebilmek için performans indeksi kullanılmaktadır. Performans indeksi denklem (4.1-4.3)'deki hatanın mutlak değeri toplamı, hatanın karesinin toplamı, hatanın mutlak değeri toplamının zaman ile çarpımı şeklinde gösterilebilir. Bu indeksler özellikle benzetim çalışmalarında kullanılmaktadır (Neşe, 2008, Panda, 2009).

$$J = IAE = \int_0^t |e(t)|.dt \quad (4.1)$$

$$J = ISE = \int_0^t e^2(t).dt \quad (4.2)$$

$$J = ITAE = \int_0^t t.|e(t)|.dt \quad (4.3)$$

Benzetim çalışmalarında kullanılan kontrolörlerin performanslarını değerlendirmek için denklem (4.1) ve (4.2) kullanılmıştır. Hata sinyali olarak Δw hız değişimi alınmıştır.

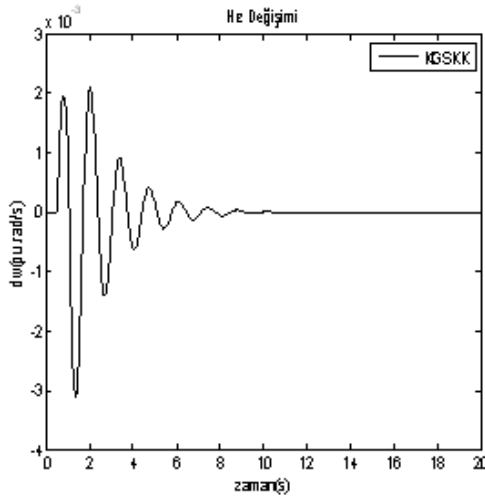
çalışmada GSKK'ya giriş olarak hız değişimi kullanılmıştır. Şekil 4.3'de girişe gelen hız değişimi sinyali kazanç ve çeşitli filtrelerden geçerek uyarma sistemi girişine verilir.

K_c kazanç parametresi sistemde GSKK tarafından girilen sönüm miktarını belirlemekte olup maksimum sönüme göre ayarlanmaktadır (Neşe, 2008). Sinyal temizleme bloğu giriş sinyalindeki salınımlarla ilgili sinyallerin değişmeden geçmesine izin verecek kadar yüksek zaman sabiti T_w ile bir yüksek geçiren filtre olarak çalışmaktadır. Temizleme fonksiyonundan görüldüğü gibi T_w değeri kritik olmayıp 1-20 saniye arasında olabilmektedir. Faz kompanzasyon bloğu giriş çıkış sinyalleri arasındaki faz gecikmesini telafi etmek için uygun faz karakteristiği sağlamaktadır (Panda, 2009).

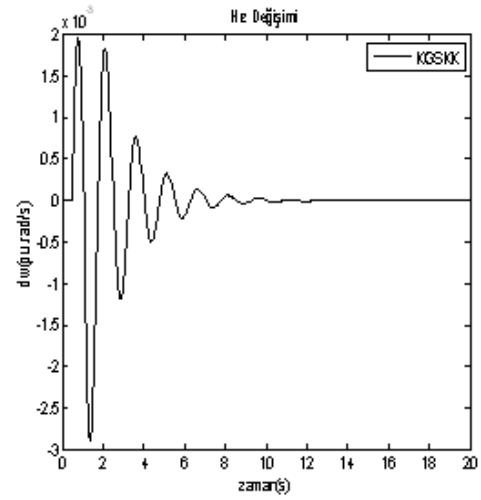
Çizelge 4.3: KGSKK parametreleri (Al-Hinai ve Al-Hinai, 2009)

K_c	T_w	T_1	T_2	T_3	T_4
2.1783	10	1.4557	0.6143	1.0083	0.1005

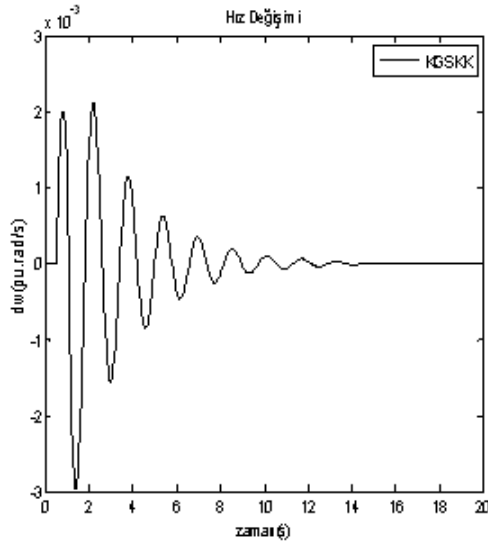
Farklı yük koşullarında %10'luk mekanik yük bozunumu uygulanmış olup hız değişimi benzetim sonuçları Şekil 4. 4'de gösterilmiştir.



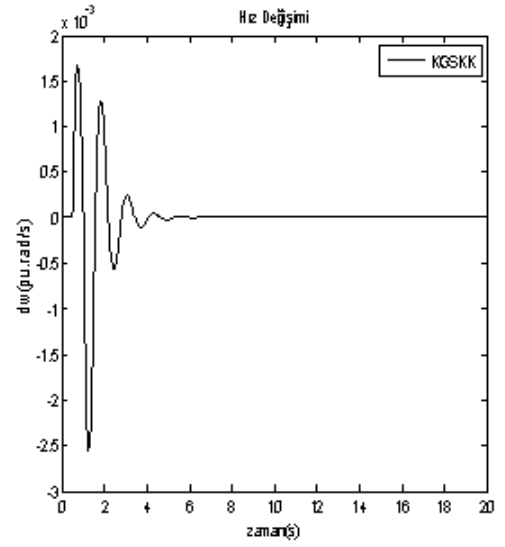
(a)



(b)



(c)

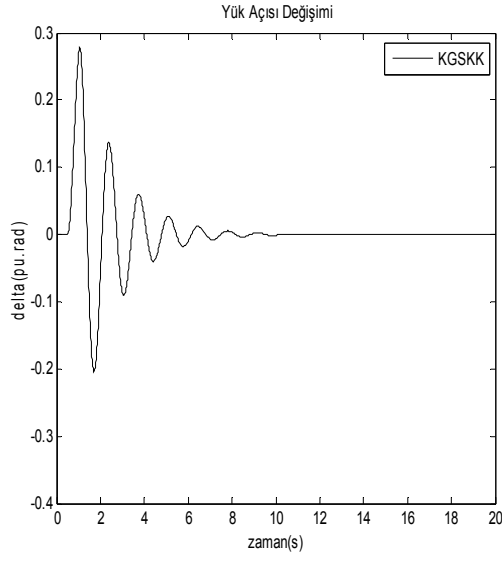


(d)

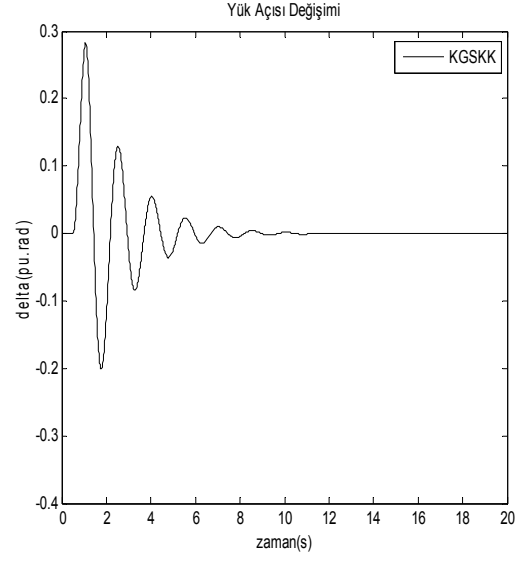
Şekil 4.4: %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki hız değişimi (a) Hafif yük (b) Orta yük (c) Ağır yük (d) Kapasitif yük

Farklı çalışma koşullarında sisteme ΔT_m girişinden bozucu etki uygulandığında hız değişimindeki salınımları sönmlemede KGSKK ek bir sinyal üretmiştir. Hafif yük koşulunda salınımın tepe değeri 0.002101 ulaşırken sistem 10-12 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Orta yük koşulunda salınım 0.001953 tepe değerine ulaşmakta olup 11-12 saniyeleri arasında kararlılığı sağlanmaktadır. Ağır yük koşulunda salınım 0.002114 tepe değerine ulaşmıştır. Sistem yaklaşık olarak 14-16 saniyeleri arasında kararlı hale gelmeye çalışmaktadır. Kapasitif yük durumunda sistemde meydana gelen salınım 0.0016 tepe değerine ulaşmaktadır. Sistem kararlılığını yaklaşık olarak 6-8 saniyeleri arasında sağlamaktadır.

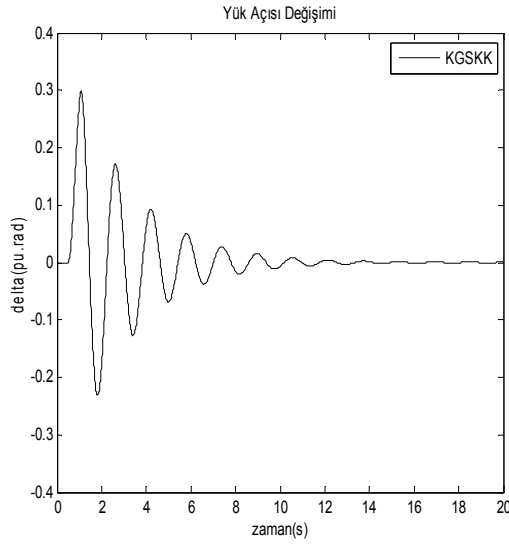
Şekil 4.5'de farklı yük koşullarındaki mekaniksel bozucu etki durumunda yük açısı değişimi gösterilmiştir.



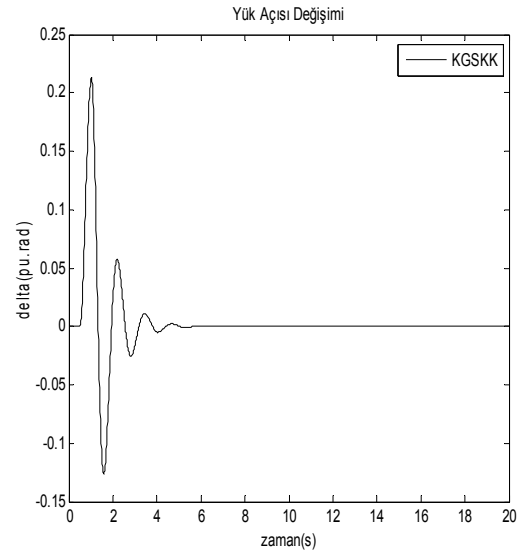
(a)



(b)



(c)



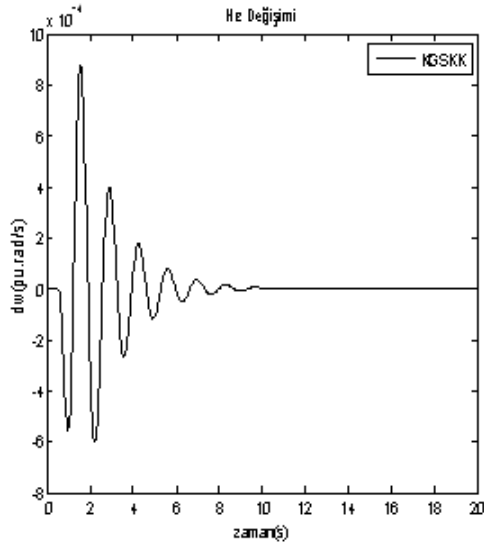
(d)

Şekil 4.5: %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki yük açısı değişimi (a) Hafif yük (b) Orta yük (c) Ağır yük (d) Kapasitif yük

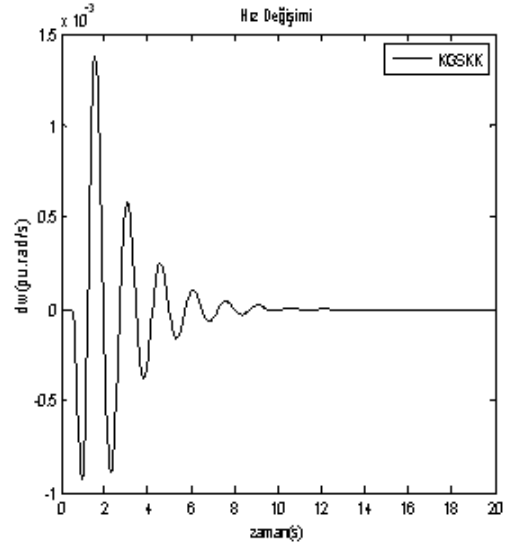
Yük açısı değişimi Şekil 4.5'den görülmekte olup hafif yük koşulunda salınımın tepe değeri 0.279 değerine ulaşmakta ve yaklaşık olarak 10-11 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Orta yük koşulunda sistemde salınım 0.2834 tepe değerine ulaşmaktadır. Sistem 10-12 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Ağır yük koşulunda yük açısı değişimindeki salınım 0.2978 tepe değerine ulaşmakta olup yaklaşık olarak 14-16 saniyeleri arasında kararlılığı sağlamaktadır. Kapasitif yük

durumda ise sistemde meydana gelen salınım tepe değeri 0.2129 olmaktadır. Sistem 4-6 saniyeleri arasında kararlı bir hale gelmektedir.

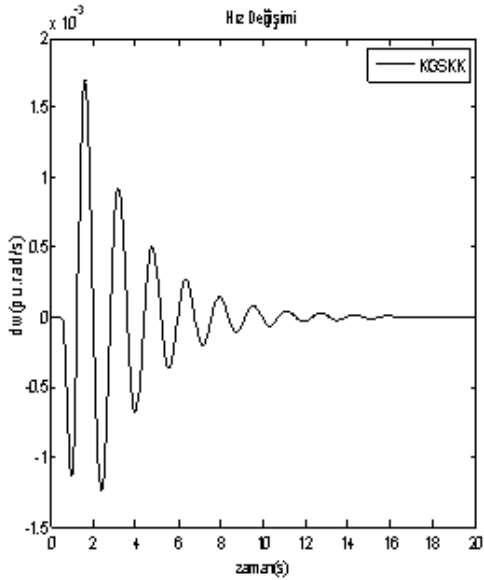
Farklı çalışma koşulları altında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişinden bozucu etki uygulandığında hız değişimindeki benzetim sonuçları Şekil 4.6'da gösterilmiştir.



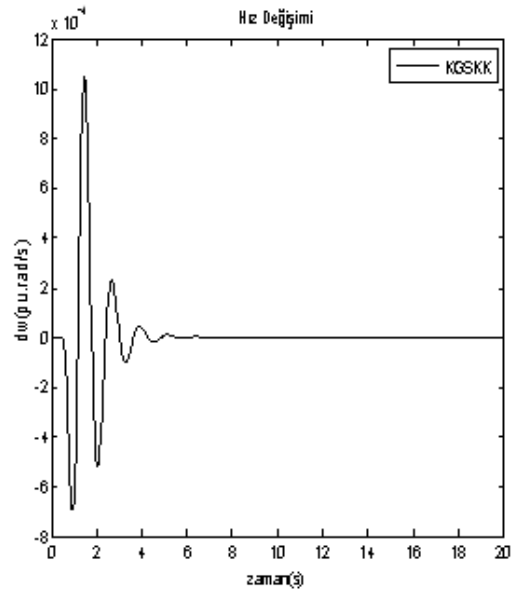
(a)



(b)



(c)

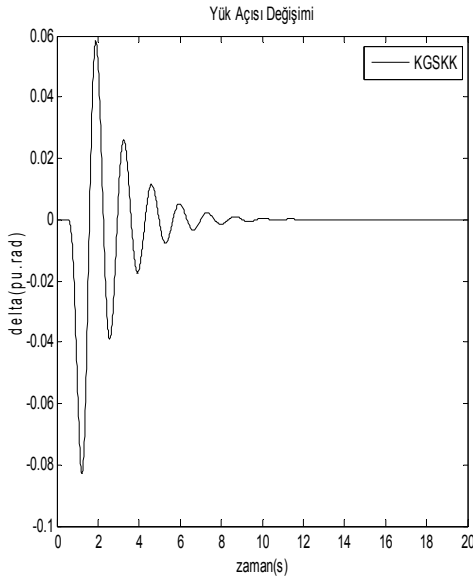


(d)

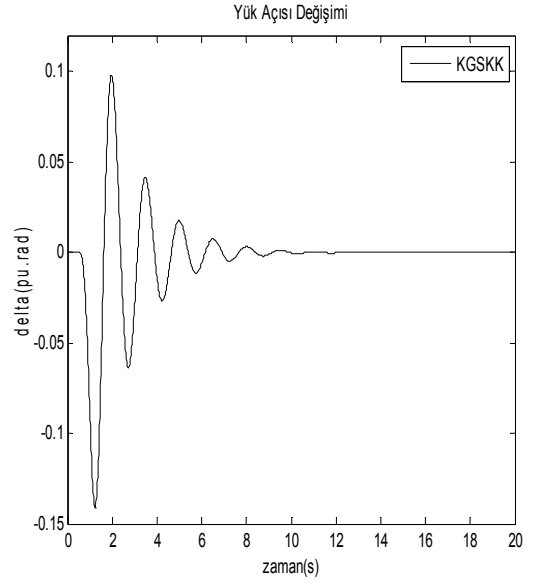
Şekil 4.6: %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki hız değişimi (a) Hafif yük (b) Orta yük (c) Ağır yük (d) Kapasitif yük

ΔV_{ref} gerilimi girişinden sisteme bir bozucu etki uygulandığında farklı çalışma koşulları için hız değişiminde meydana gelen salınımlar Şekil 4.6'da gösterilmekte olup hafif yük koşulunda oluşan salınım 0.0008827 tepe değerine ulaşmaktadır. Sistem yaklaşık olarak 11-13 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Orta yük koşullarında salınım 0.001382 tepe değerine ulaşırken sistem 12-13 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Ağır yük koşullarında sistemde meydana gelen salınım 0.001701 tepe değerine ulaşmakta olup 15-17 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Kapasitif yük durumundaki hız değişiminde oluşan salınımın tepe değeri 0.001045 olmakta ve sistem yaklaşık olarak 6-7 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir.

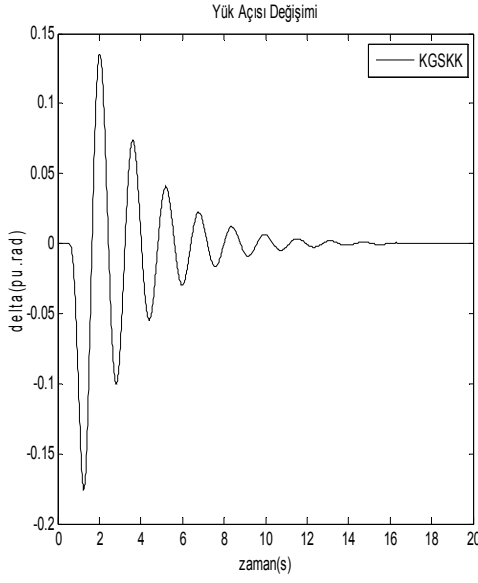
Şekil 4.7'de farklı yük koşullarındaki referans gerilimi girişinden bozucu etki uygulandığında sistemde meydana gelen yük açısı değişimi gösterilmiştir.



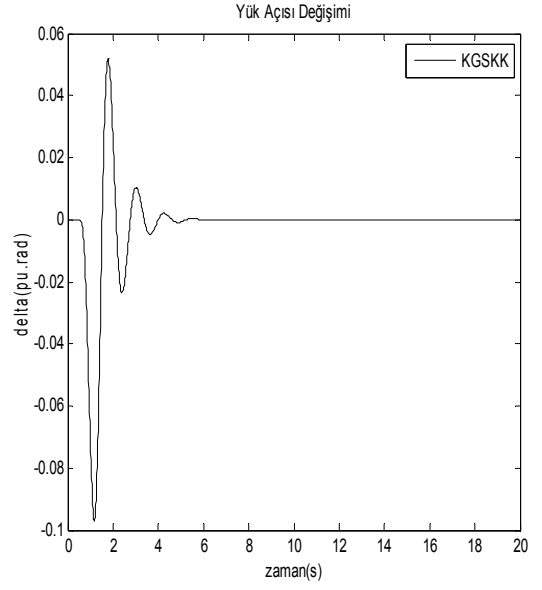
(a)



(b)



(c)



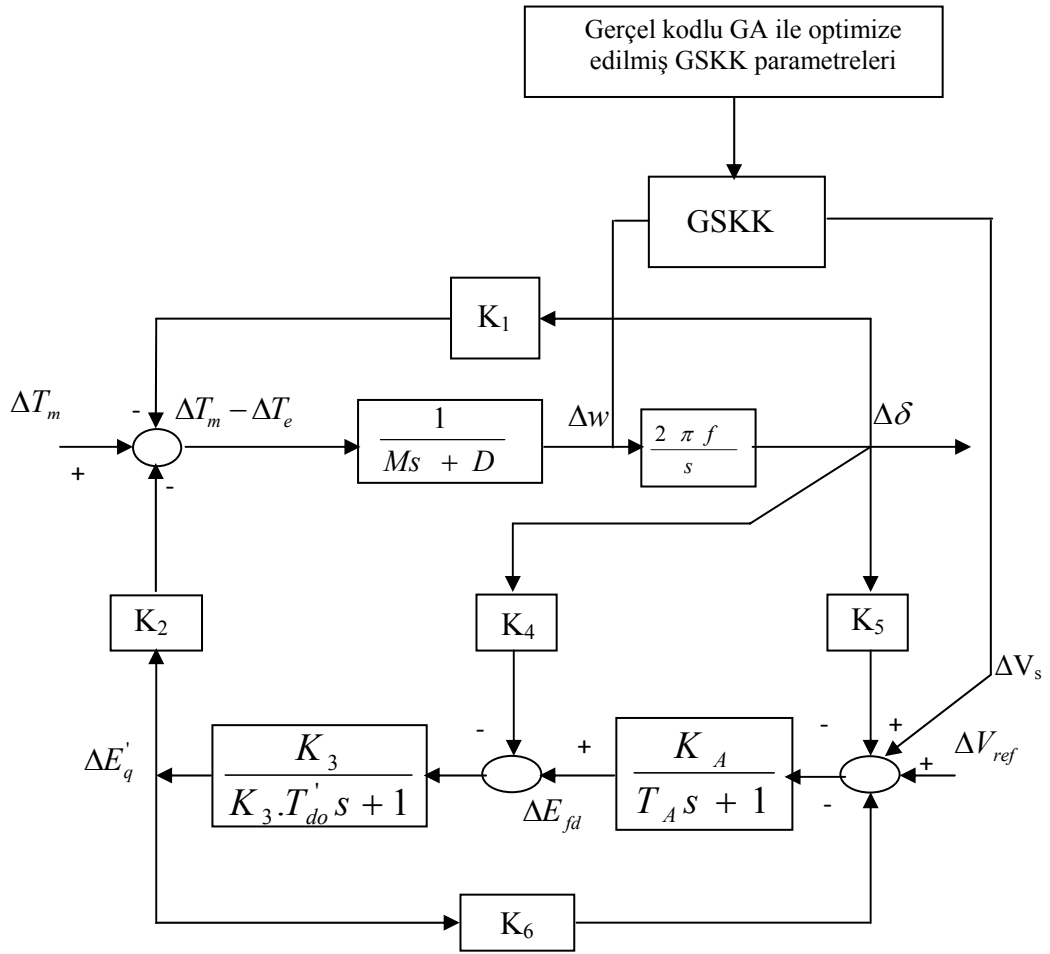
(d)

Şekil 4.7: %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki yük açısı değişimi (a) Hafif yük (b) Orta yük (c) Ağır yük (d) Kapasitif yük

Şekil 4.7'de sırasıyla farklı çalışma koşulları için ΔV_{ref} gerilimi girişinden bozucu etki uygulandığında yük açısı değişimindeki salınımlar gösterilmiş olup hafif yükte salınının tepe değeri 0.05836'ya ulaşmaktadır. Sistem 9-11 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Orta yük durumunda sistem salınımı 0.09788 tepe değerinde olup yaklaşık olarak 11-13 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Ağır yük koşulunda salınının tepe değeri 0.1355 olurken kararlı hale 15-17 saniyeleri arasında gelmektedir. Kapasitif yük durumunda salınım 0.05178 tepe değerine ulaşırken sistem yaklaşık olarak 4-6 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir.

4.2.2 GA ile GSKK Tasarlanması ve Benzetim Sonuçları

Şekil 4.8'de GSKK'sı parametreleri genetik algoritma ile optimize edilmiş SMIB sisteminin blok diyagramı gösterilmektedir. Bu bölümde Şekil 4.3'de gösterilen GSKK parametreleri için (Karnik ve diğ., 2009) yaptığı çalışmadaki veriler göz önünde bulundurulmuştur. GA ile optimize edilecek K_c , T_1 ve T_3 parametrelerinin sınır değerleri Çizelge 3.11'de gösterilmiştir. Sinyal temizleme bloğundaki T_w zaman sabiti değeri 10 olarak alınmıştır. Faz kompanzasyon filtresi zaman sabitlerinden T_2 ve T_4 0.05 değerinde kabul edilmiştir (Karnik ve diğ., 2009).



Şekil 4.8: GSKK parametreleri GA ile optimize edilmiş SMIB güç sistemi modeli

GA'da performans indeksi J olarak adlandırılan denklem (4.4) ve (4.5) örnek güç sisteminde farklı çalışma koşullarında bozucu bir etki uygulandığında uygunluk fonksiyonu olarak kullanılıp GSKK parametreleri optimize edilmiştir. Bozucu etki sonucu oluşan açılmalık hızdaki değişimin 0 ile bilgisayar benzetim süresi olan 20 saniye arasındaki değeri hesaplanmıştır.

$$J = IAE = \int_0^t |\Delta w(t)| dt \quad (4.4)$$

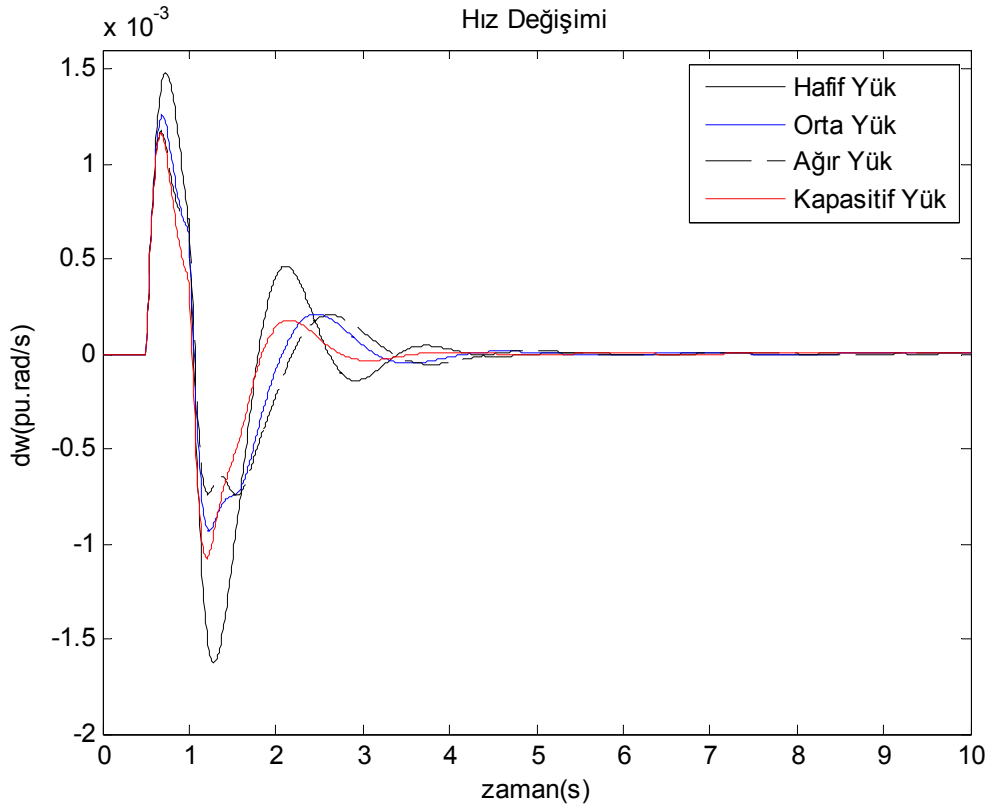
$$J = ISE = \int_0^t \Delta w^2(t) dt \quad (4.5)$$

Hız değişiminin belirtilen benzetim süresi içinde integralinin azalması hız değişiminde ve rotor açısı değişimlerinde meydana gelen salınımları ve çözüm uzayındaki J

uygunluk fonksiyonun değerini de azalacaktır. ΔT_m mekanik g¼¼ girişinde bozucu etkisi i¼¼in IAE performans indeksine bağlı uygunluk fonksiyonunda GA ile bulunan en uygun kazanç ve zaman sabitleri ¼izelge 4.4'de verilmiştir.

¼izelge 4.4: ΔT_m mekanik g¼¼ girişi ve IAE performans indeksinde optimize edilmiş GSKK parametreleri

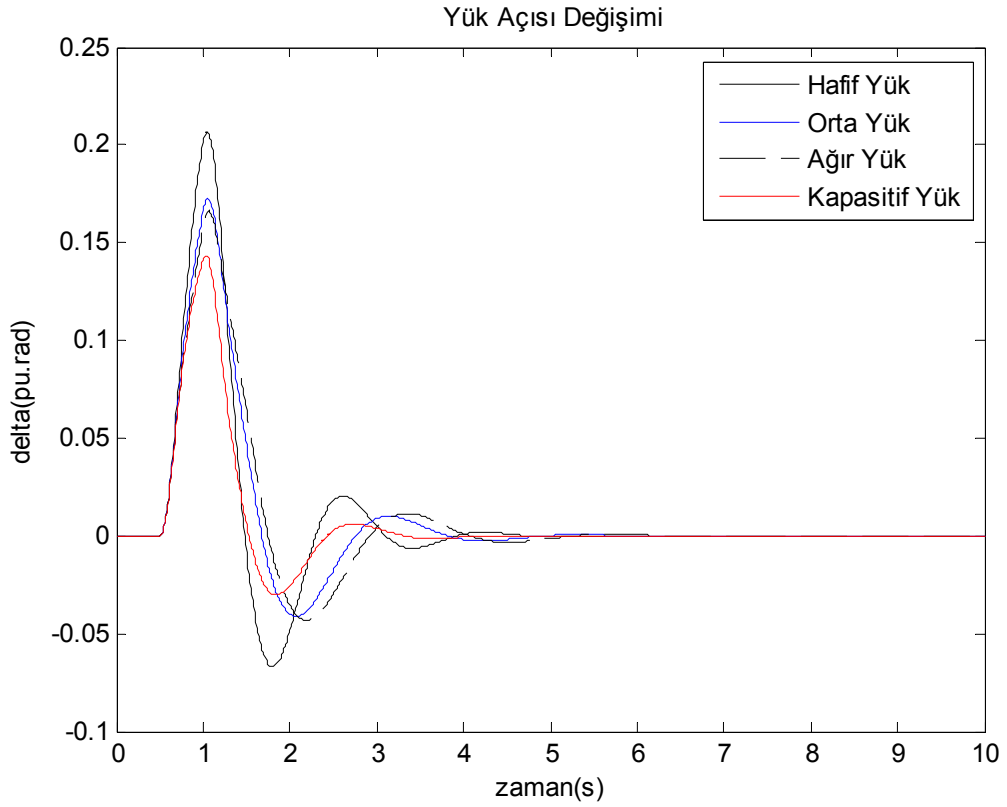
Çalışma Koşulları	En uygun GSKK parametreleri		
	K_c	T_1	T_3
Hafif y¼¼k	29.9756	0.0743	0.3849
Orta y¼¼k	29.3546	0.0635	0.4702
Ağır y¼¼k	29.0982	0.0690	0.4923
Kapasitif y¼¼k	29.8895	0.4216	0.0820



Şekil 4.9: GAGSKK kontrol¼¼r¼¼ kullanarak farklı ¼alışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik g¼¼ girişi bozunumundaki hız değişimi

Bu b¼¼l¼¼mde benzetim ¼alışmalarına g¼¼re elde edilen benzetim sonu¼¼larının daha net anlaşılması i¼¼in Şekil 4.9-4.16'daki benzetim sonu¼¼ları 0 ile 10 saniyeler arası g¼¼sterilmiřtir. %10'luk ΔT_m mekanik g¼¼ girişinden bozucu etki meydana geldiğinde uygunluk fonksiyonu olarak denklem (4.4) durumunda farklı ¼alışma koşullarındaki hız

değişimi görülmektedir. Hafif yük durumunda salınımın tepe değeri 0.001482 olurken 4-6 saniyeleri arasında sistem kararlı hale gelmektedir. Orta yük koşulunda salınım 0.00125 tepe değerine ulaşırken sistemin kararlı hale gelme süresi yaklaşık olarak 4-6 saniyeleri arasında olmaktadır. Ağır yük durumunda meydana gelen salınımın tepe değeri 0.00168 olurken sistem 4-6 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Kapasitif yük koşulu durumunda ise salınımın tepe değeri 0.001158'e ulaşırken yaklaşık olarak sistem 3-5 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir.



Şekil 4.10: GAGSKK kontrolörü kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki yük açısı değişimi

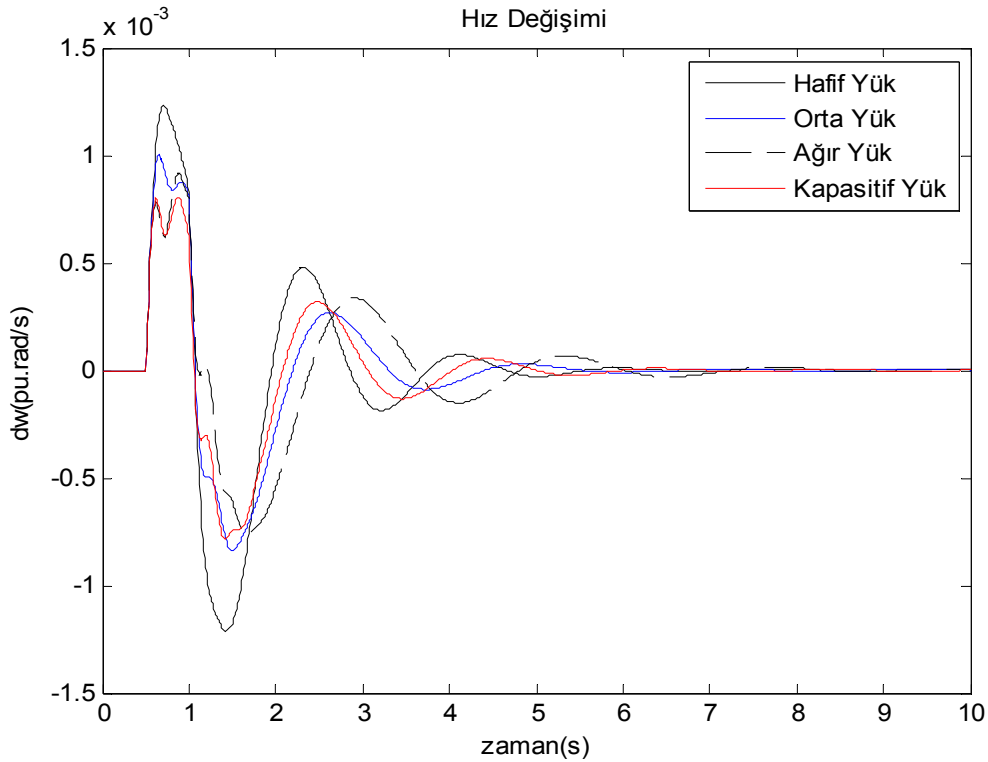
Şekil 4.10'da farklı çalışma koşulları için bozucu etkisi meydana geldiğinde yük açısı değişimi gösterilmiştir. Performans indeksi olarak IAE kullanılmıştır. Hafif yük çalışma durumunda salınımın tepe değeri 0.2067'ye ulaşırken sistem 4-6 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Orta yük durumunda salınım 0.1725 tepe değerine ulaşmış ve sistem yaklaşık olarak 4-6 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Ağır yük çalışma koşulunda salınım 0.165 tepe değerine ulaşmaktadır. Sistem 4-6 saniyeleri arasında

kararlı duruma gelmektedir. Kapasitif yük durumunda ise salınımın tepe değeri 0.1433 ulaşırken sistem yaklaşık olarak 3-5 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir.

ISE performans indeksinin uygunluk fonksiyonu olarak kullanıldığı ve mekanik güç girişinde bozucu etki meydana geldiği durumda GA ile optimize edilen GSKK parametreleri Çizelge 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.5: ΔT_m mekanik güç girişi ve ISE performans indeksinde optimize edilmiş GSKK parametreleri

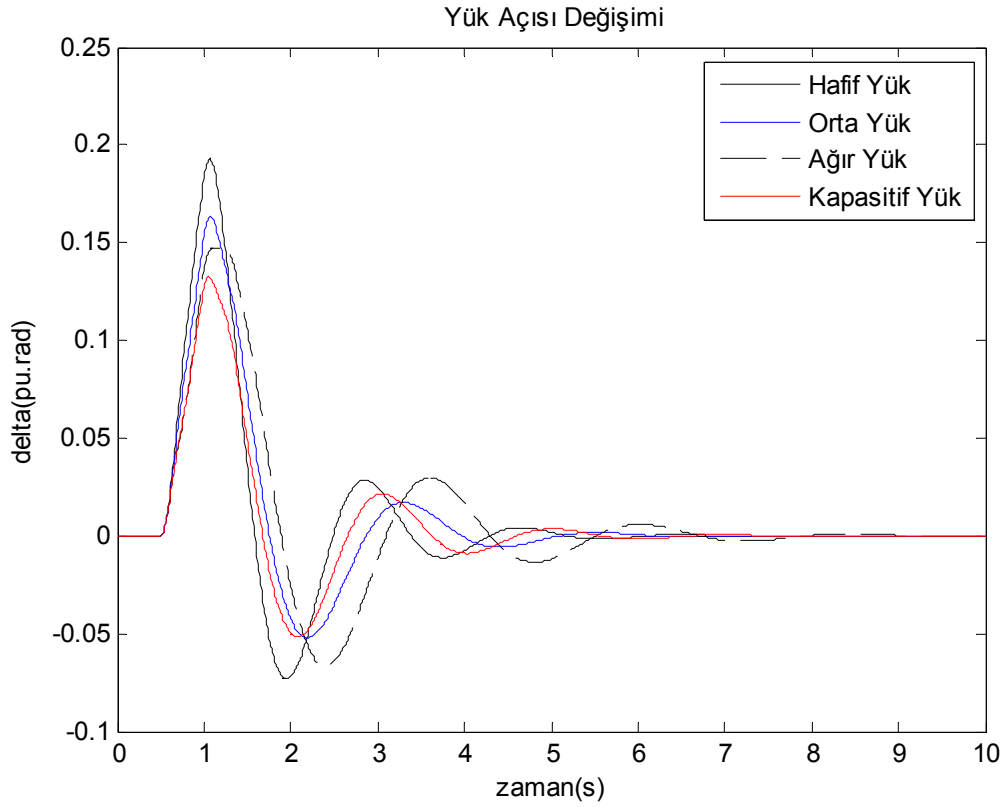
Çalışma Koşulları	En uygun GSKK parametreleri		
	K_c	T_1	T_3
Hafif yük	29.4449	0.4846	0.1323
Orta yük	29.9680	0.1264	0.4977
Ağır yük	29.9737	0.229	0.4554
Kapasitif yük	29.6820	0.2435	0.4678



Şekil 4.11: GAGSKK kontrolörü kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumunda ve performans indeksi ISE durumundaki hız değişimi

Şekil 4.11’de farklı çalışma koşullarında mekanik güç girişi bozucu etkisi denklem (4.5) performans indeksine göre hız değişimi görülmektedir. Hafif yük durumunda salınımın

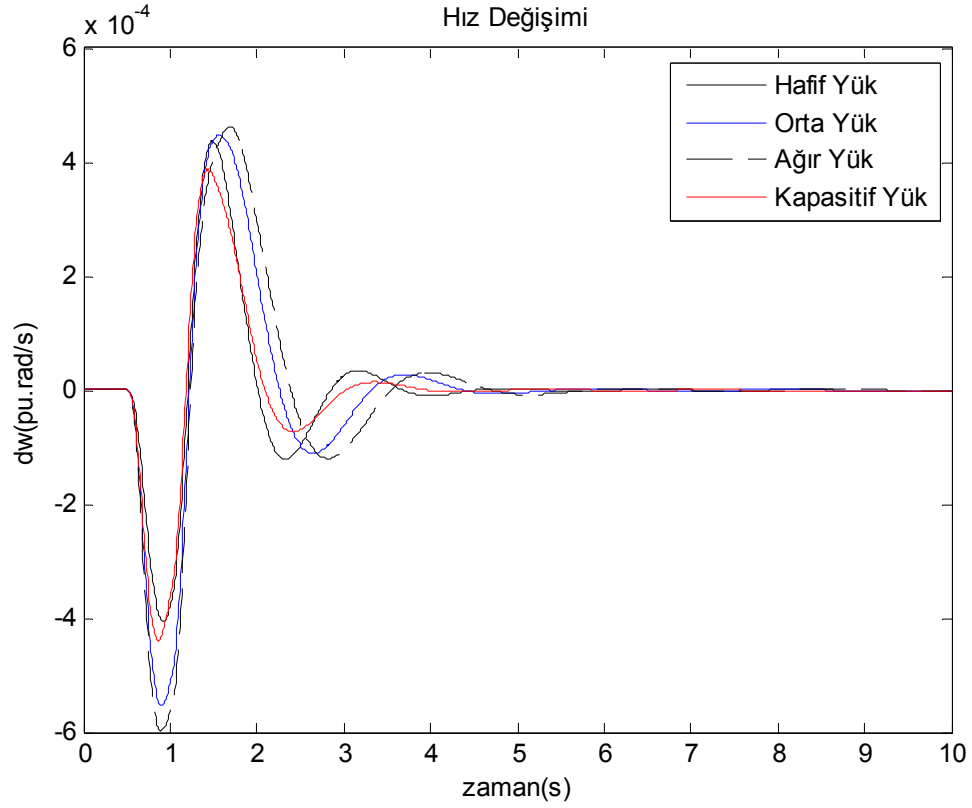
tepe değeri 0.00123'e ulaşırken sistem 6-8 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Orta yük çalışma koşulunda salınım 0.001005 tepe değerine ulaşmaktadır. Sistem yaklaşık olarak 5-7 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Ağır yük durumunda salınım 0.0009168 tepe değerine ulaşmakta olup sistem 7-9 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Kapasitif yük çalışma durumunda ise sistemde meydana gelen salınımın tepe değeri 0.0008027 olmaktadır. 5-7 saniyeleri arasında sistem kararlı hale gelmektedir.



Şekil 4.12: GAGSKK kontrolörü kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumunda ve performans indeksi ISE durumundaki yük açısı değişimi

Şekil 4.12'de bozucu etki meydana geldiğinde uygunluk fonksiyonu ISE performans indeksine göre değerlendirilip, sistemin farklı çalışma koşullarında yük açısı değişimi gösterilmektedir. Hafif yük durumunda salınımın tepe değeri 0.1928 olurken sistem 5-7 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Orta yük durumunda salınım 0.1637 tepe değerine ulaşmaktadır. Sistem yaklaşık olarak 6-8 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Ağır yük çalışma koşulunda salınım 0.1477 tepe değerine ulaşmakta olup

sistem 7-9 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Kapasitif çalışma koşulunda salınım 0.1319 tepe değerine ulaşmaktadır. Sistem yaklaşık olarak 6-8 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir.



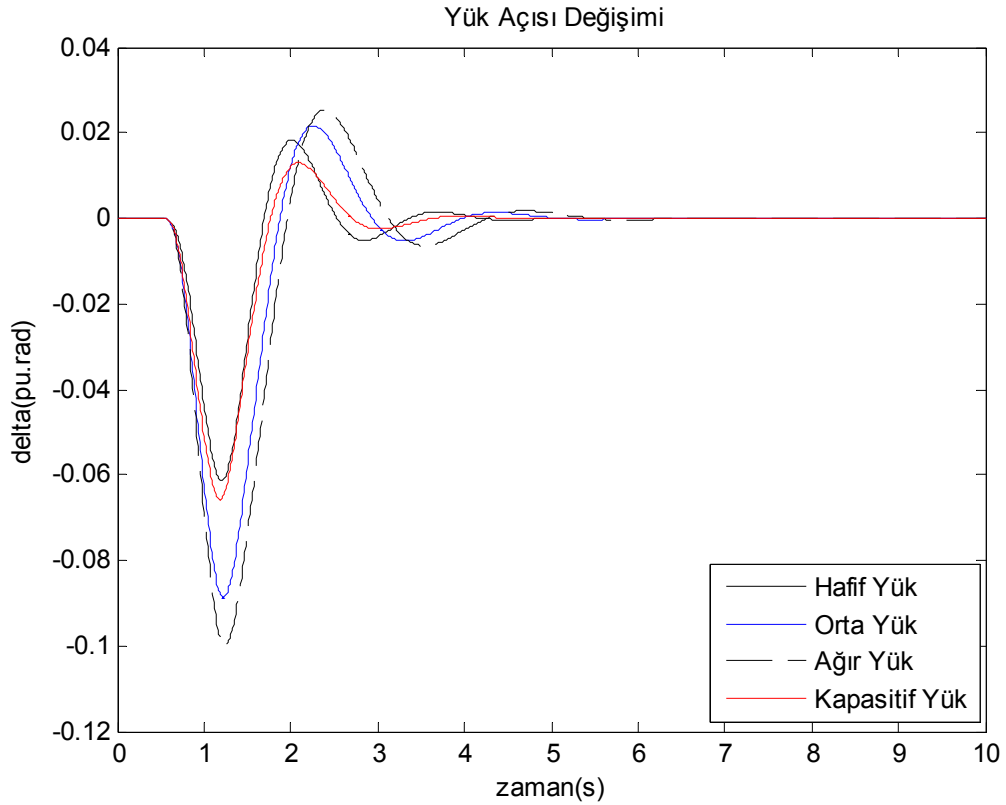
Şekil 4.13: GAGSKK kontrolörü kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki hız değişimi

Şekil 4.13'de sisteme ΔV_{ref} gerilimi girişinden %5'lik bozucu etki uygulanmaktadır. Uygunluk fonksiyonu olarak IAE performans indeksi kullanılmıştır. Çizelge 4.6'da GA ile optimize edilmiş GSKK parametreleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.6: ΔV_{ref} gerilimi girişi ve IAE performans indeksinde optimize edilmiş GSKK parametreleri

Çalışma Koşulları	En uygun GSKK parametreleri		
	K_c	T_1	T_3
Hafif yük	29.6898	0.4233	0.0608
Orta yük	28.8144	0.4595	0.0621
Ağır yük	29.3546	0.4789	0.0618
Kapasitif yük	29.9981	0.0704	0.4584

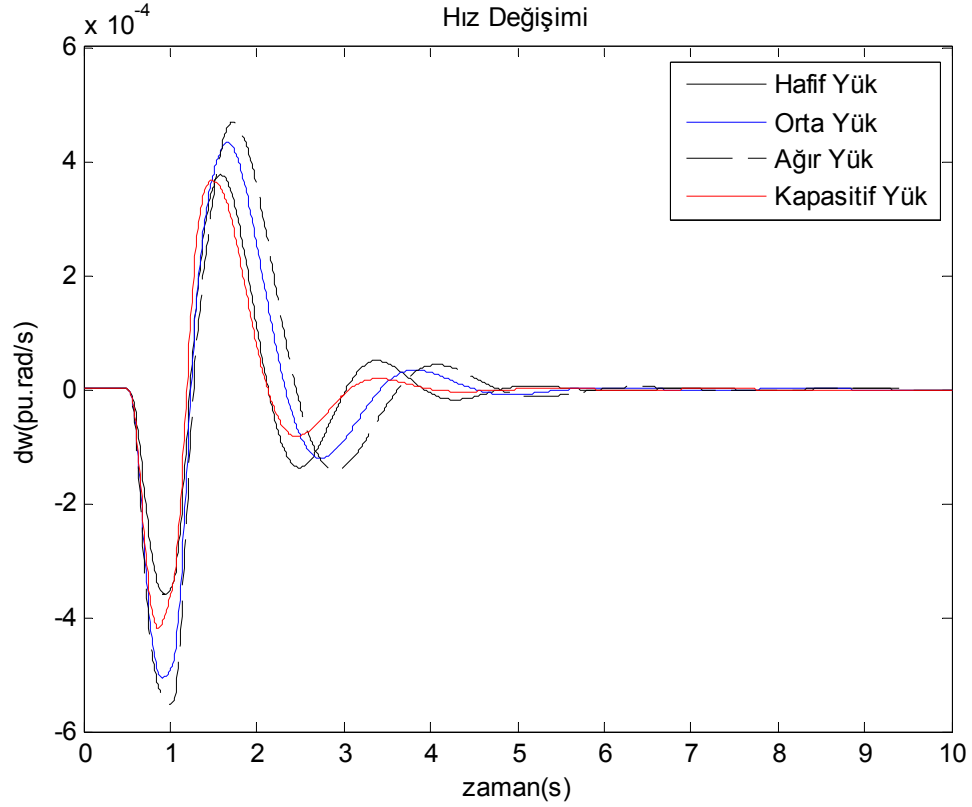
Şekil 4.13’de hafif yük durumunda salınım 0.0004381 tepe değerine ulaşırken sistem 4-6 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Orta yük durumunda salınının tepe değeri 0.0004472 ulaşmakta olup sistem yaklaşık olarak 4-6 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Ağır çalışma koşulunda salınım 0.0004629 tepe değerine ulaşmaktadır. Sistem 4-6 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Kapasitif çalışma durumunda ise salınının tepe değeri 0.0003867 ulaşmakta olup sistem yaklaşık olarak 4-6 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir.



Şekil 4.14: GAGSKK kontrolörü kullanarak farklı çalışma koşullarında %5’lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki yük açısı değişimi

Şekil 4.14’te farklı çalışma koşullarında bozucu etki meydana geldiğinde yük açısı değişimi gösterilmiştir. Hafif yük durumu için salınım 0.01824 tepe değerine ulaşmaktadır. Sistem yaklaşık olarak 4-6 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Orta yük çalışma durumunda salınının tepe değeri 0.02161 ulaşmakta olup sistem 5-7 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Ağır yük durumunda salınım 0.02542 tepe değerine ulaşırken sistem 5-7 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Kapasitif

çalışma koşulunda ise salınım 0.01295 tepe değerine ulaşmaktadır. Sistem 4-6 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir.



Şekil 4.15: GAGSKK kontrolörü kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumunda ve performans indeksi ISE durumundaki hız değişimi

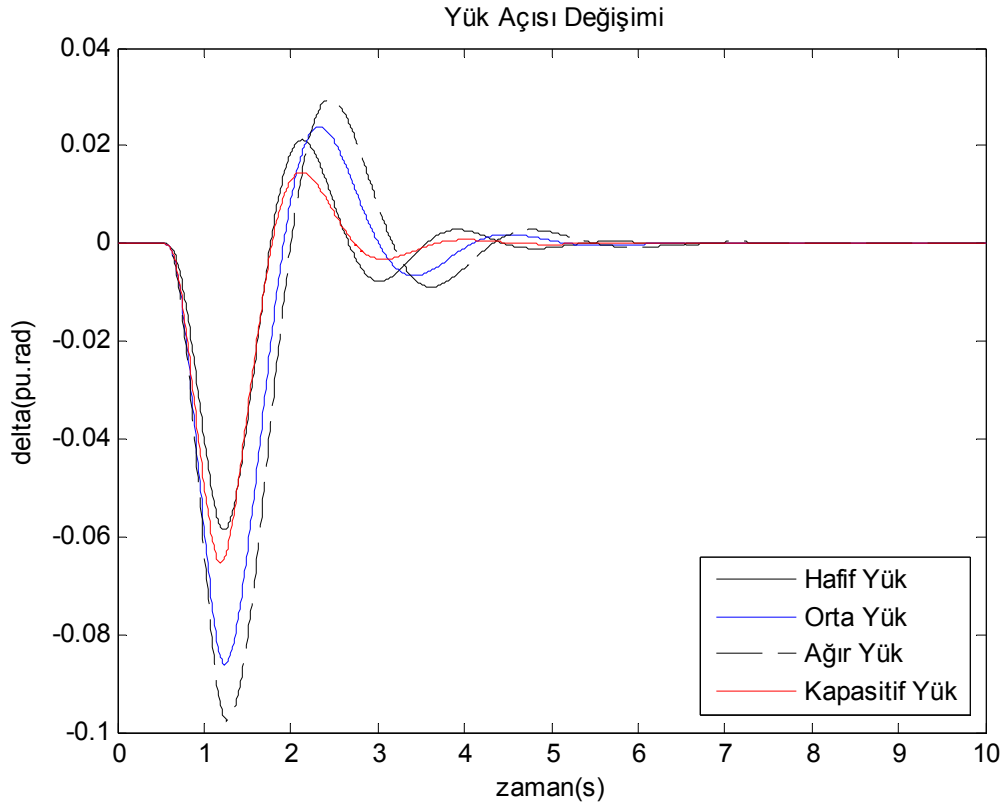
Performans indeksi ISE olduğu durumda GA ile optimize edilmiş GSKK parametreleri Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7: ΔV_{ref} gerilimi girişi ve ISE performans indeksinde optimize edilmiş GSKK parametreleri

Çalışma Koşulları	En uygun GSKK parametreleri		
	K_c	T_1	T_3
Hafif yük	29.0536	0.1106	0.4998
Orta yük	29.0732	0.4961	0.0828
Ağır yük	29.9711	0.10	0.4822
Kapasitif yük	29.0732	0.4961	0.0828

Şekil 4.15'de bozucu etki meydana geldiğinde hız değişiminde oluşan salınımları göstermektedir. Hafif yük durumunda salınımın tepe değeri 0.0003761 olurken sistem

4-6 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Orta yük çalışma durumunda salınım 0.0004326 tepe değerine ulaşmaktadır. Sistem yaklaşık olarak 5-7 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Ağır yük durumunda salınımın tepe değeri 0.0004689'a ulaşırken sistem 5-7 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Kapasitif çalışma koşulunda ise salınım 0.0003662 tepe değerine ulaşmakta olup sistem yaklaşık olarak 4-6 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir.



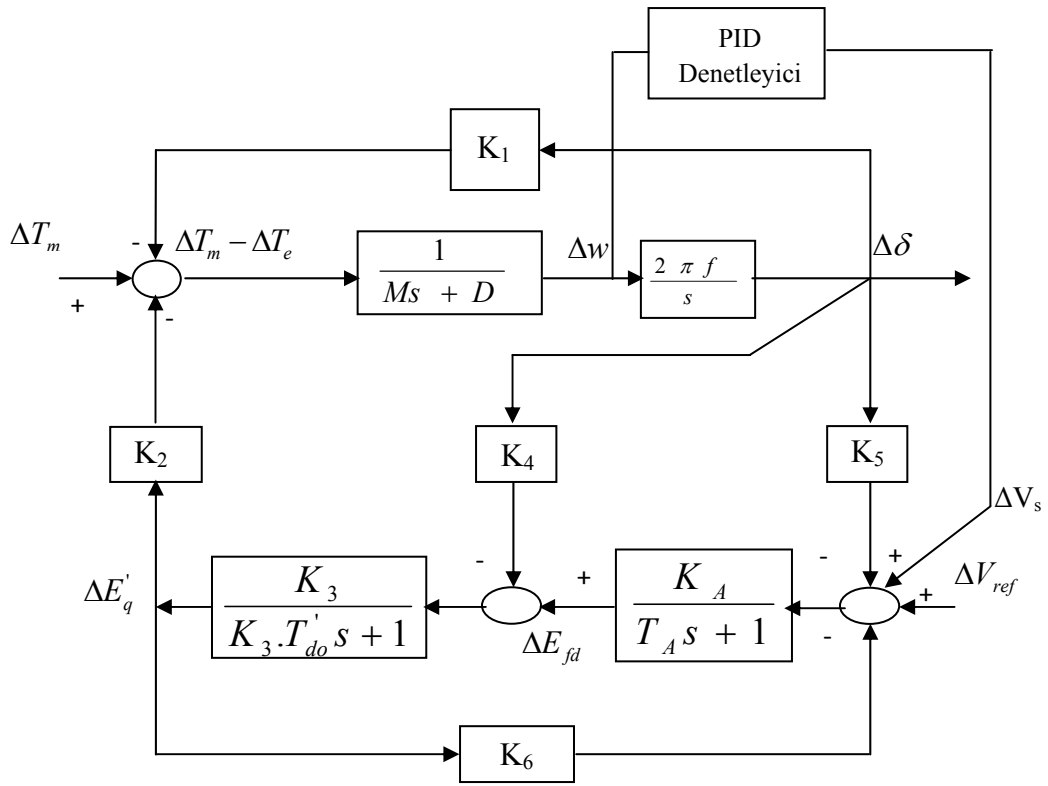
Şekil 4.16: GAGSKK kontrolörü kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumunda ve performans indeksi ISE durumundaki yük açısı değişimi

Şekil 4.16'da bozucu etki meydana geldiğinde sistemde oluşan yük açısı değişimi görülmektedir. Hafif yük durumunda salınımın tepe değeri 0.02117'ye ulaşmakta olup sistem 4-6 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Orta yük durumunda salınım 0.02383 tepe değerine ulaşmaktadır. Sistem yaklaşık olarak 5-7 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Ağır yük çalışma durumunda salınımın tepe değeri 0.0295 olurken sistem 6-8 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Kapasitif çalışma

koşulunda salınım 0.01457 tepe değerine ulaşırken sistem 4-6 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir.

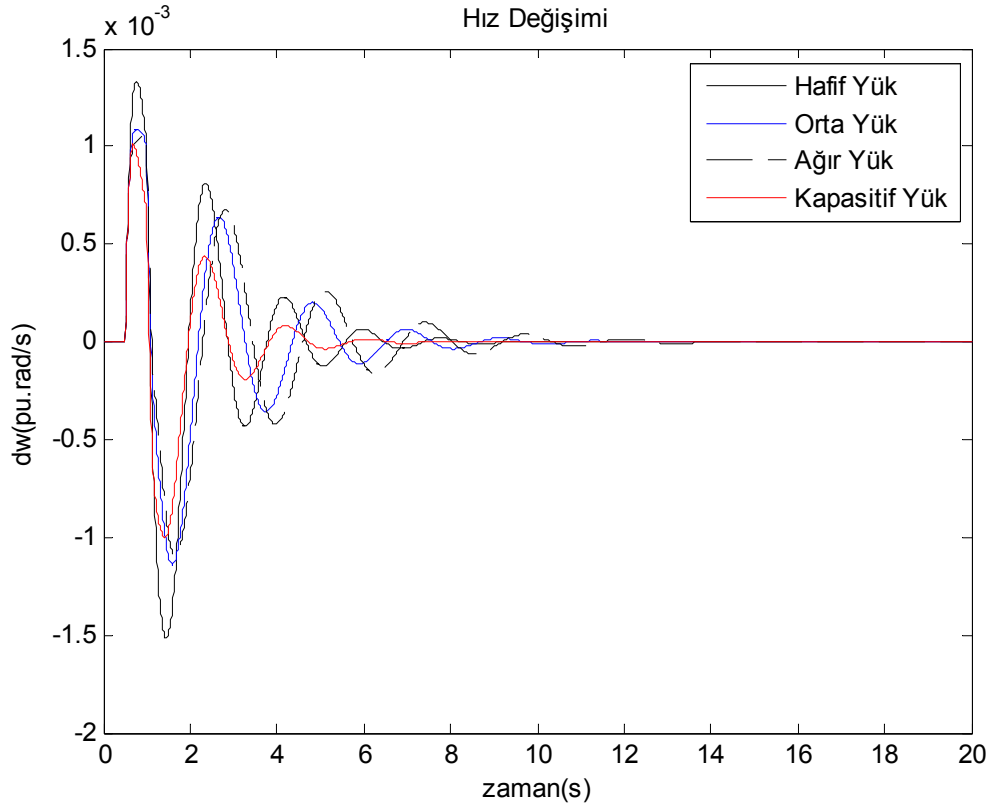
4.2.3 PID Denetleyici Tasarlanması ve Benzetim Sonuçları

PID denetleyicinin ayarlanması orantı, integral ve türev parametreleri olan K_p , T_i , T_d değerlerinin en uygun şekilde belirlenmesidir (Neşe, 2008). PID denetleyici Ziegler-Nichols frekans cevabı metodu kullanılarak ayarlanabilmektedir. Bu çalışmada kapalı çevrim Ziegler-Nichols metodu kullanarak PID kontrolör parametreleri bulunmuştur. Çizelge 3.2 kullanılarak PID denetleyicisinin katsayıları ayarlanmıştır.



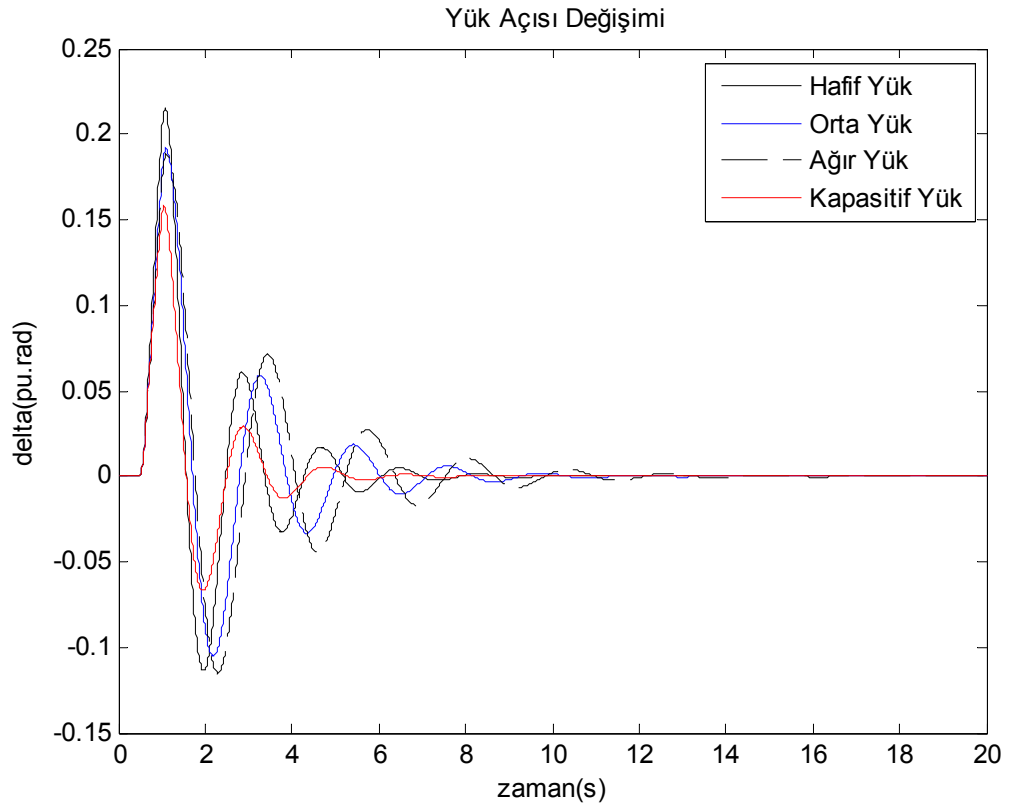
Şekil 4.17: PID denetleyicili SMIB güç sistemi modeli

PID denetleyicili SMIB güç sistemi modeli Şekil 4.17’de gösterilmiştir. Ziegler-Nichols frekans cevabına göre PID denetleyicinin parametreleri $K_p=6.347$, $K_i=0.0162$, $K_d=15.375$ olarak bulunmuştur.



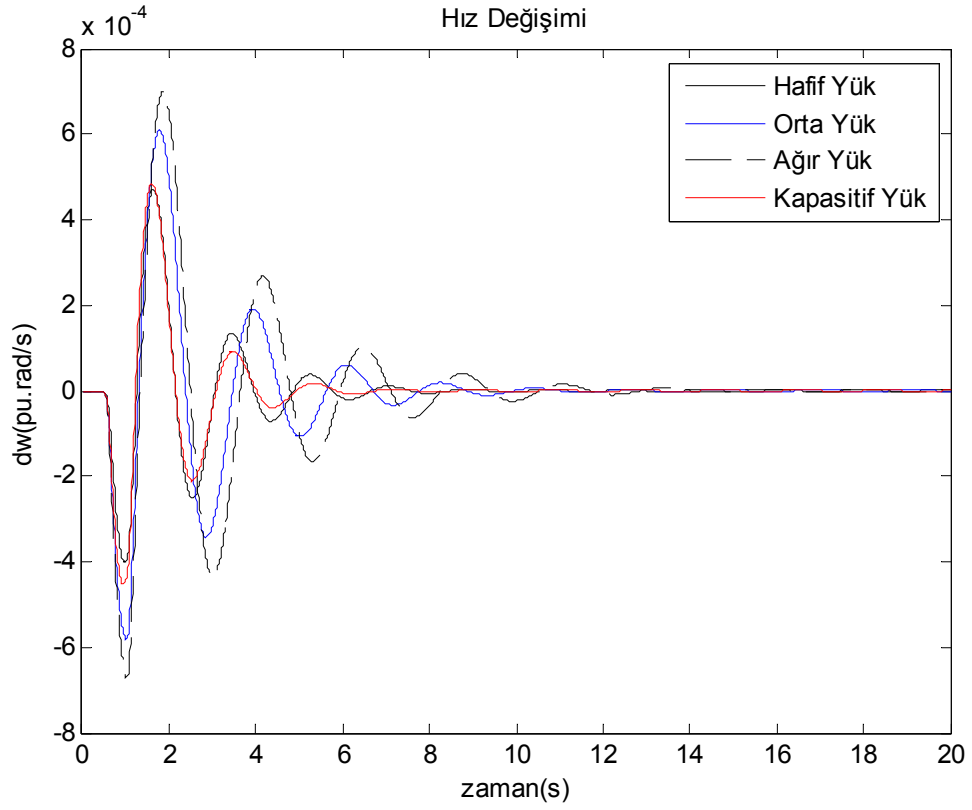
Şekil 4.18: PID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki hız değişimi

Şekil 4.18'de farklı çalışma koşulları için mekanik güç girişinde bozucu etki meydana geldiğinde sistemdeki hız değişimi gösterilmektedir. Hafif yük durumunda sistemde meydana gelen salınımın tepe değeri 0.001331 olurken sistem 8-10 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Orta yük koşulunda sistem 0.001083 tepe değerine ulaşırken sistem 10-12 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Ağır yük durumunda salınım 0.001054 tepe değerine ulaşmaktadır. Sistem yaklaşık olarak 12-14 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Kapasitif yük çalışma koşulunda ise salınım 0.001013 tepe değerine ulaşırken sistem 6-8 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir.



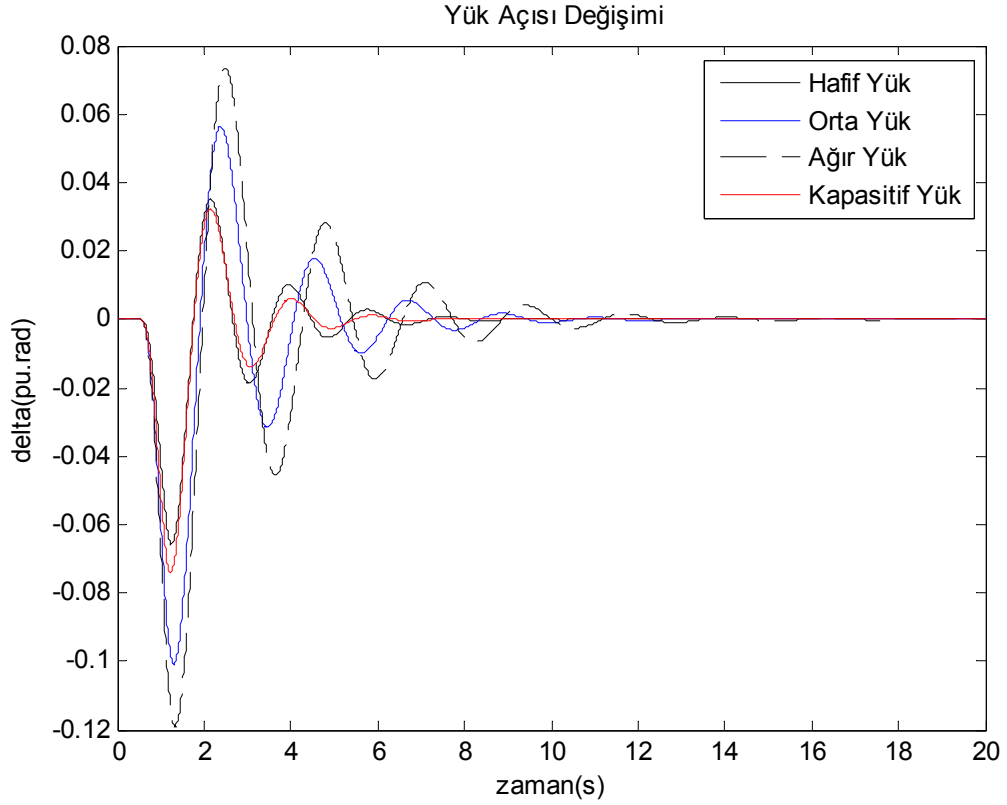
Şekil 4.19: PID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki yük açısı değişimi

Şekil 4.19'da farklı çalışma koşulları için bozucu etki sonrasında oluşan yük açısı değişimi gösterilmektedir. Hafif yük durumunda salınım 0.2151 tepe değerine ulaşırken sistem 8-10 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Orta yük koşulunda salınımın tepe değeri 0.191 olurken sistem yaklaşık olarak 10-12 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Ağır yük durumunda salınım 0.1891 tepe değerine ulaşmaktadır. Sistem kararlı hale 12-14 saniyeleri arasında gelmektedir. Kapasitif çalışma koşulunda ise salınım 0.1574 tepe değerine ulaşırken sistem yaklaşık olarak 6-8 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir.



Şekil 4.20: PID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki hız değişimi

Şekil 4.20'de farklı çalışma koşulları için ΔV_{ref} gerilimi girişinde bozucu etki meydana geldiğinde sistemdeki hız değişimi gösterilmektedir. Hafif yük çalışma koşulunda salınımın tepe değeri 0.0004713'e ulaşırken sistem 8-10 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Orta yük durumunda salınım 0.0006097 tepe değerine ulaşmaktadır. Sistem yaklaşık olarak 10-12 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Ağır yük koşulunda salınımın tepe değeri 0.0006993 olurken sistem 12-14 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Kapasitif yük durumunda salınım 0.0004851 tepe değerine ulaşmaktadır. Sistem ise 6-8 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir.

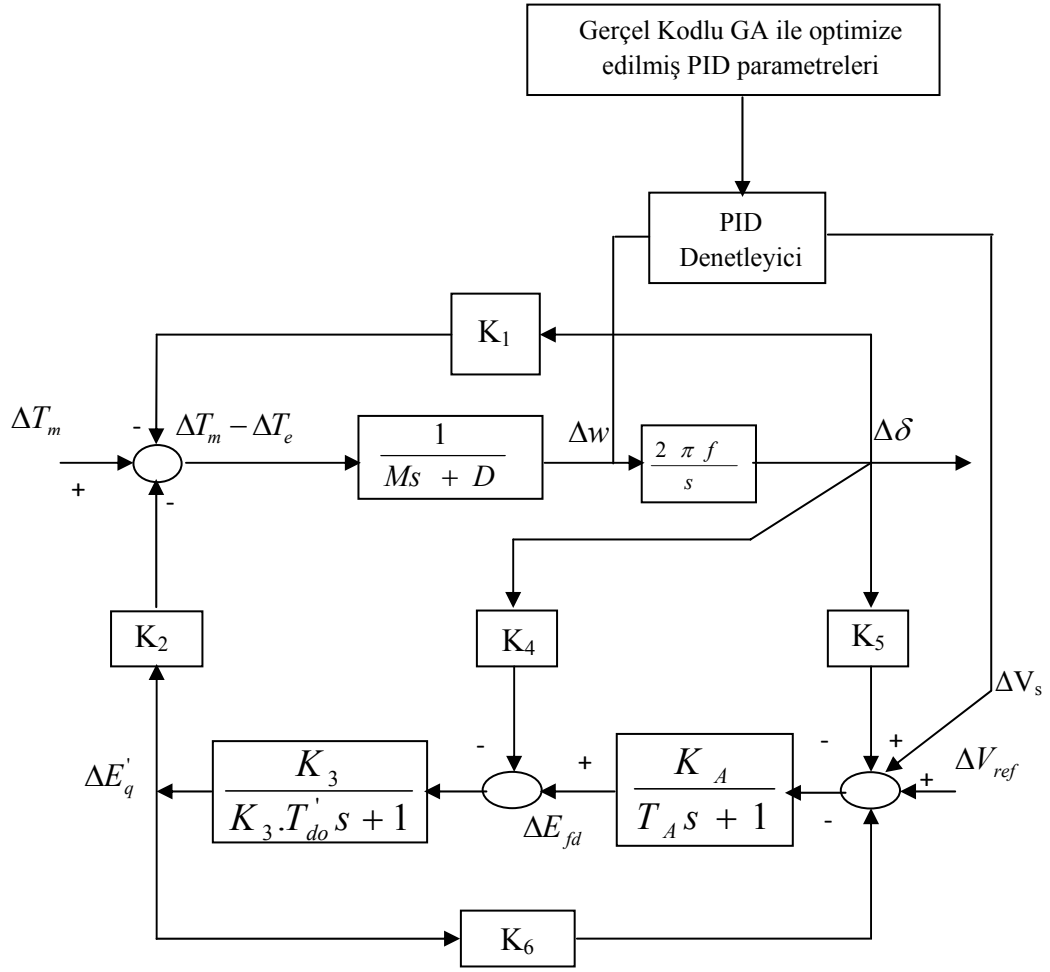


Şekil 4.21: PID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki yük açısı değişimi

Şekil 4.21'de farklı çalışma koşulları için bozucu etki meydana geldiğinde oluşan yük açısı değişimi gösterilmektedir. Hafif yük durumunda salınım 0.03521 tepe değerine ulaşırken sistem 8-10 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Orta yük çalışma koşulunda salınımın tepe değeri 0.05636 olurken sistem yaklaşık olarak 10-12 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir. Ağır yük durumunda salınımın tepe değeri 0.07351 olmaktadır. Sistem kararlı hale 14-16 saniyeleri arasında gelmektedir. Kapasitif çalışma durumu için salınımın tepe değeri 0.03229 olurken sistem 6-8 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir.

4.2.4 GA ile PID Denetleyicisi Tasarlanması ve Benzetim Sonuçları

Şekil 4.22'de GA ile PID denetleyicisinin parametreleri optimize edilmiş SMIB güç sistemi modeli gösterilmektedir. GA ile optimize edilecek PID denetleyicisinin parametrelerinin sınır değerleri Çizelge 3. 12'de gösterilmiştir. Bu bölümde sisteme farklı çalışma koşullarında bozucu etki uygulandığında denklem (4.4) ve (4.5) uygunluk fonksiyonu olarak GA'da kullanılmıştır.

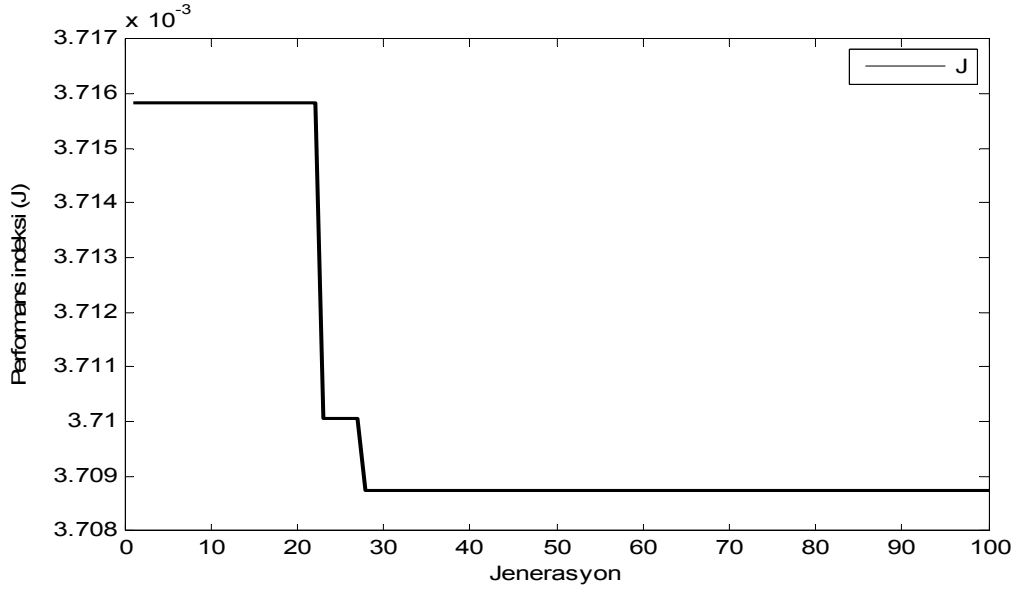


Şekil 4.22: GAPID denetleyicili SMIB güç sistemi modeli

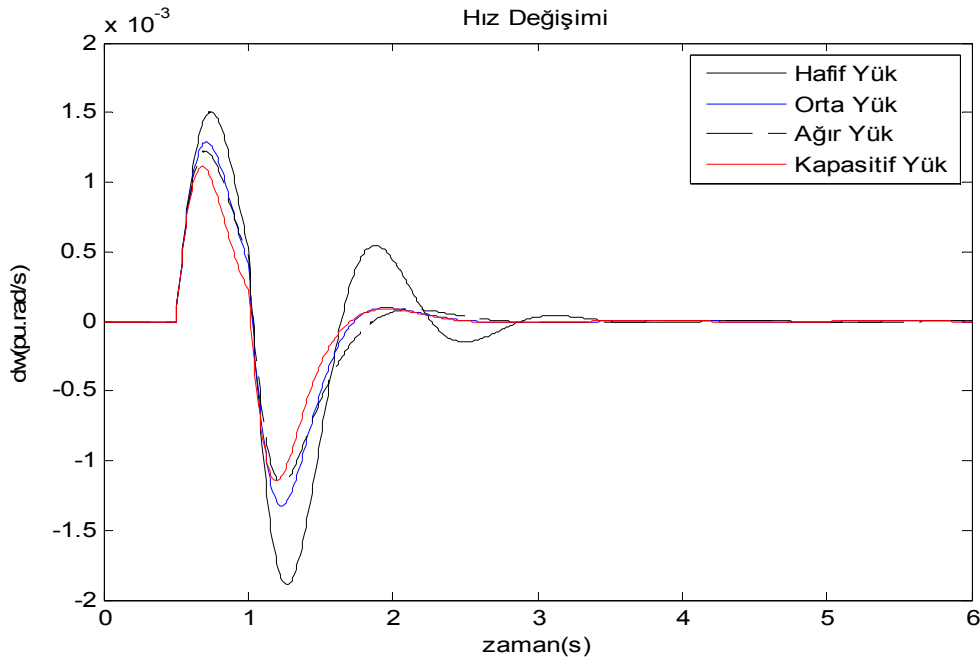
ΔT_m mekanik güç girişinden sisteme bozucu etki uygulandığında IAE performans indeksine bağlı uygunluk fonksiyonunda GA ile bulunan PID denetleyicisinin parametreleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Hafif yük durumunda uygunluk fonksiyonun değişim eğrisi Şekil 4.23’de gösterilmiştir. Bu bölümde örnek güç sistemi üzerinde yapılan benzetim çalışmalarında elde edilen benzetim sonuçlarının daha net anlaşılması için Şekil 4.24-4.31’deki benzetim sonuçları 0 ile 6 saniyeler arası gösterilmiştir.

Çizelge 4.8: ΔT_m mekanik güç girişi ve IAE performans indeksinde optimize edilmiş PID parametreleri

Çalışma Koşulları	En uygun PID parametreleri		
	K_p	K_i	K_d
Hafif yük	46.6302	2.4977	6.9115
Orta yük	48.0348	1.3131	7.2275
Ağır yük	45.2456	1.0694	7.7324
Kapasitif yük	46.4427	2.2227	9.6442



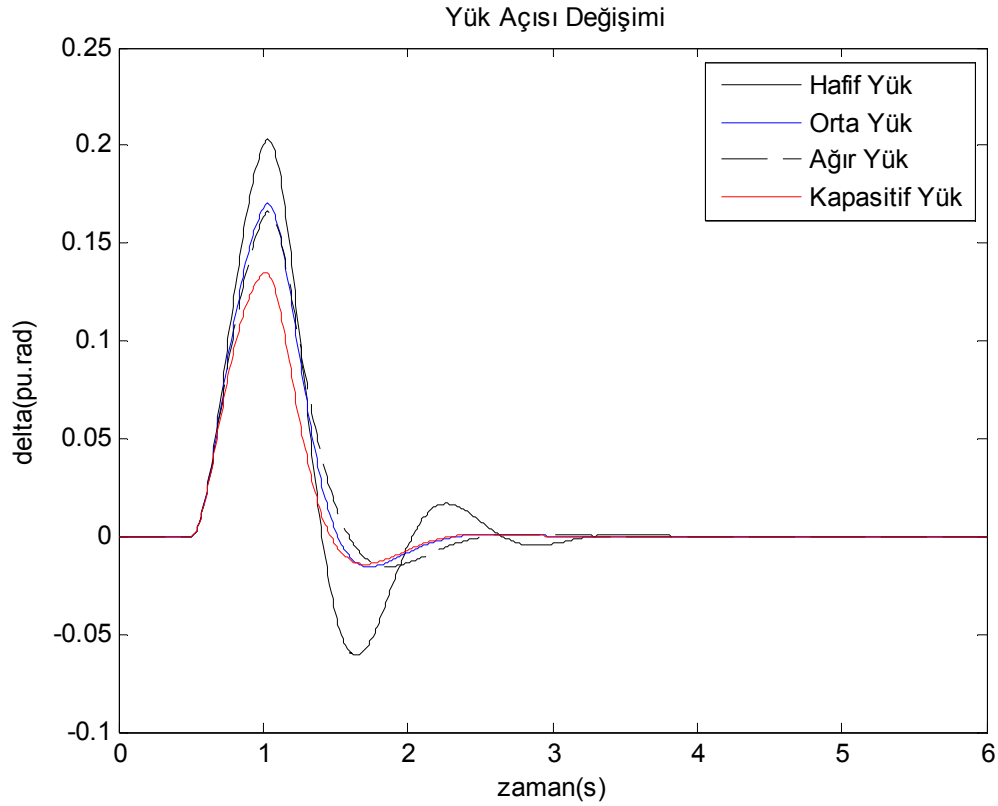
Şekil 4.23: Hafif yük durumundaki uygunluk fonksiyonu değişim eğrisi



Şekil 4.24: GAPID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki hız değişimi

Şekil 4.24'de farklı çalışma koşulları için ΔT_m mekanik güç girişinden %10'luk bozucu etki meydana geldiğinde oluşan hız değişimi gösterilmiştir. GA'da uygunluk fonksiyonu olarak denklem (4.4) kullanılmış olup minimum değerindeki en uygun PID parametreleri farklı çalışma koşulları için belirlenmiştir. Hafif yük durumunda bozucu etki meydana geldiğinde salınımın tepe değeri 0.001504, orta yük koşulunda salınım 0.001289 tepe değerine ulaşmakta, ağır yük durumunda salınım 0.001225 tepe değerine ulaşırken, kapasitif yük çalışma koşulunda ise salınımın tepe değeri 0.001114 olmaktadır. Hafif çalışma koşulu için sistem yaklaşık olarak 3-4 saniyeleri arasında diğer çalışma koşulları için 2-3 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir.

Şekil 4.25'de farklı çalışma koşulları için bozucu etki meydana geldiğinde yük açısı değişimleri gösterilmiştir. Hafif yük durumunda oluşan salınımın tepe değeri 0.2033, orta yük durumunda salınım 0.1704 tepe değerine ulaşmakta, ağır yük çalışma durumunda salınımın tepe değeri 0.1664 olurken, kapasitif yük çalışma koşulu için salınım 0.1354 tepe değerine ulaşmaktadır.



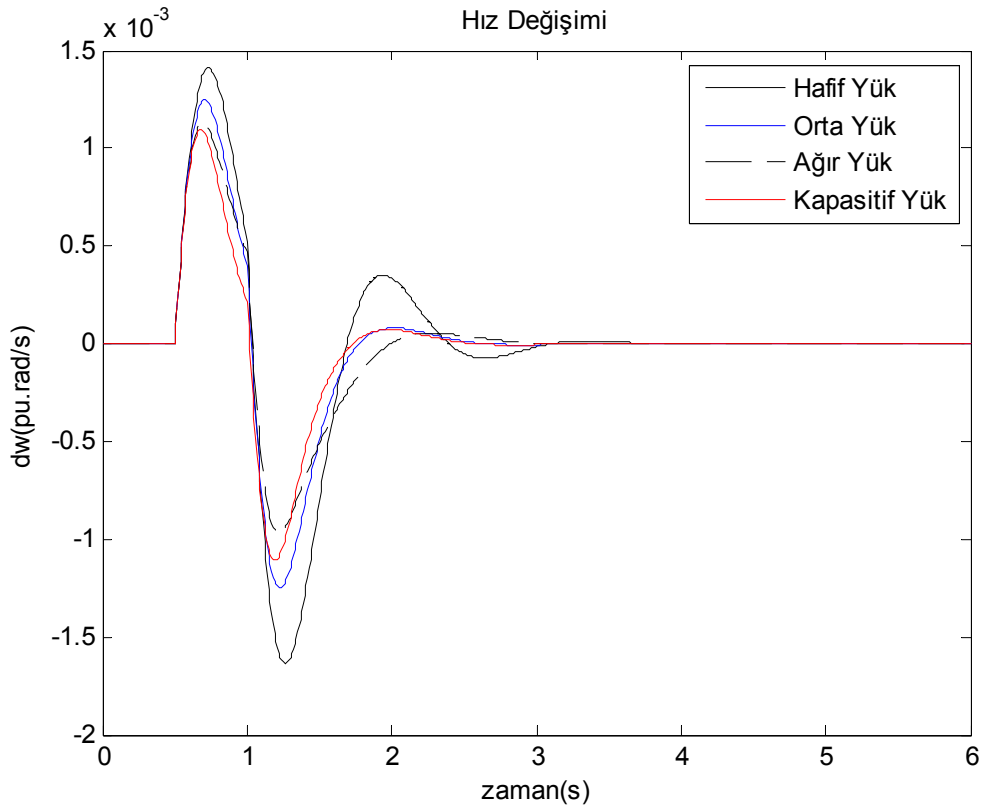
Şekil 4.25: GAPID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki yük açısı değişimi

Farklı çalışma koşullarında meydana gelen bozucu etki sonrasında sistem hafif çalışma koşulu için yaklaşık olarak 3-4 saniyeleri arasında diğer çalışma koşulları için 2-4 saniyeleri arasında arıza öncesi kararlı durumuna tekrar dönmektedir.

Denklem (4.5) yani ISE performans indeksi GA ile en uygun PID parametrelerinin belirlenmesi için uygunluk fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Çizelge 4.9’da en uygun PID parametreleri gösterilmiştir.

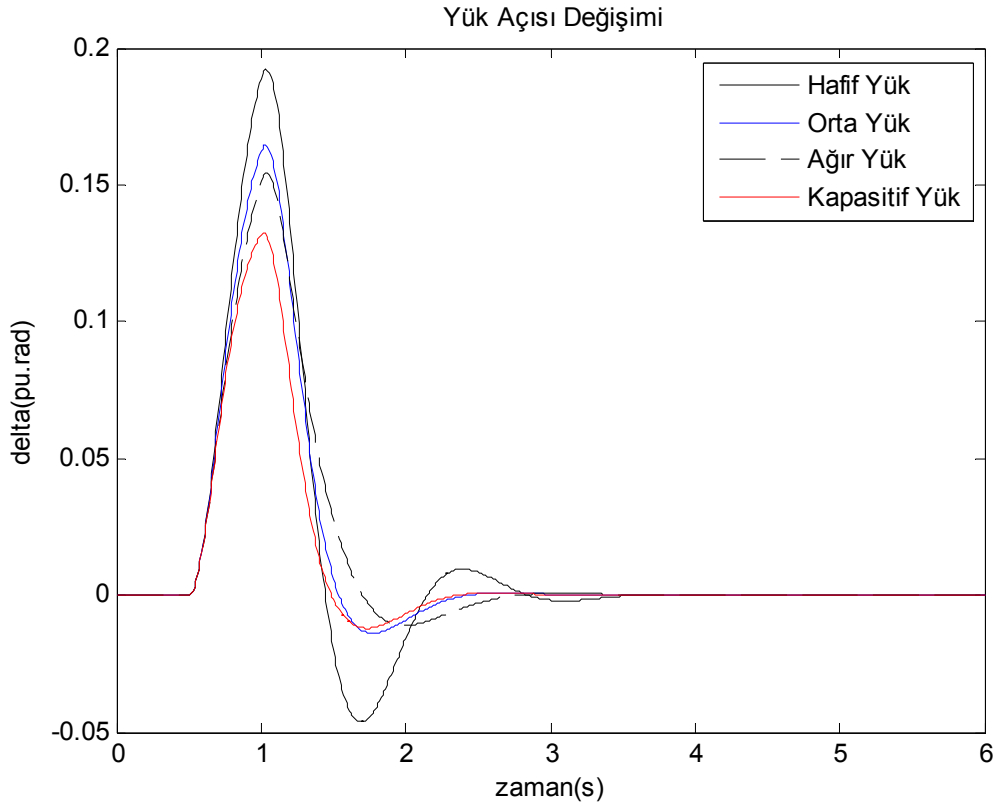
Çizelge 4.9: ΔT_m mekanik güç girişi ve ISE performans indeksinde optimize edilmiş PID parametreleri

Çalışma Koşulları	En uygun PID parametreleri		
	K_p	K_i	K_d
Hafif yük	49.7323	3.5511	9.0335
Orta yük	49.9740	5.6789	7.8802
Ağır yük	49.6727	0.9976	9.2124
Kapazitif yük	48.9491	3.0240	9.9770



Şekil 4.26: GAPID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumunda ve performans indeksi ISE durumundaki hız değişimi

Şekil 4.26'da farklı çalışma koşulları için denklem (4.5) ISE performans indeksinde mekanik güç girişinden bozucu etki uygulandığında oluşan hız değişimi görülmektedir. Hafif yük durumunda salınımın tepe değeri 0.001411, orta yük durumu için salınım 0.001249 tepe değerine ulaşmakta, ağır yük durumunda salınımın tepe değeri 0.00112, kapasitif yük çalışma koşulu için salınımın tepe değeri 0.001097'ye ulaşırken, tüm çalışma koşulları için sistem bozucu etki öncesi kararlı durumuna 2-4 saniyeleri arasında dönmektedir.



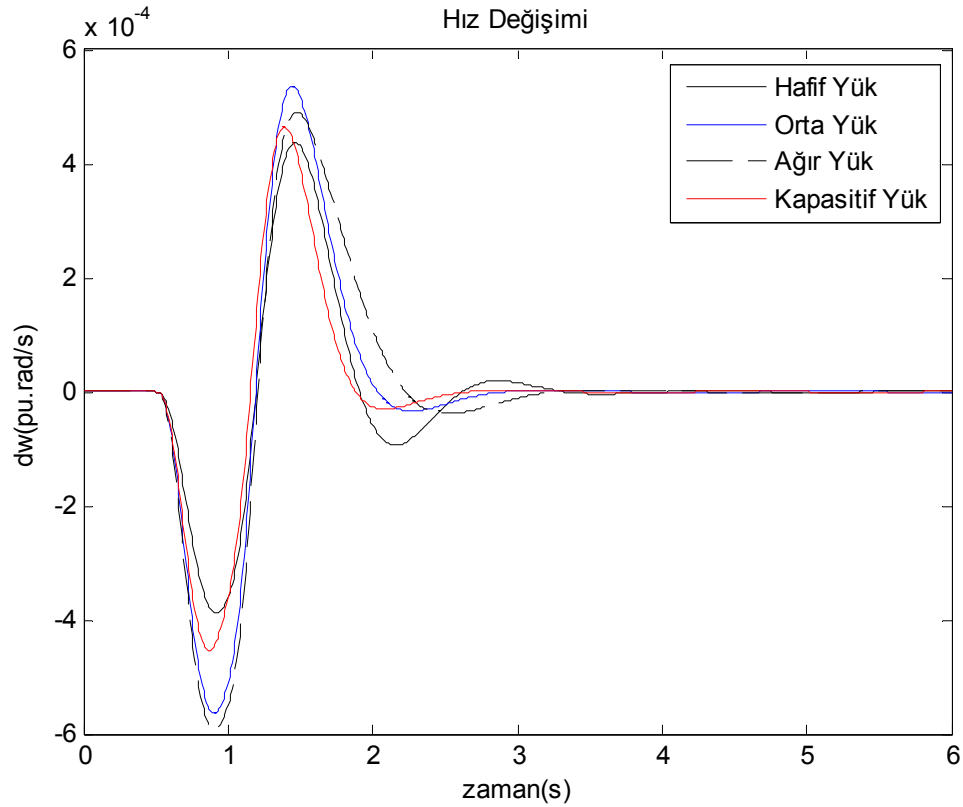
Şekil 4.27: GAPID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumunda ve performans indeksi ISE durumundaki yük açısı değişimi

Şekil 4.27'de farklı çalışma koşulları için sistemde bozucu etkisi meydana geldiğinde yük açısı değişimi gösterilmektedir. Hafif yük durumunda salınımın tepe değeri 0.1924, orta yük durumunda salınım 0.1644 tepe değerine ulaşmakta, ağır yük çalışma koşulunda salınımın tepe değeri 0.1545 olurken, kapasitif yük durumu için salınım 0.1324 tepe değerine ulaşmakta olup, sistem arıza sonrasında hafif yük durumu için 3-4 saniyeleri, diğer çalışma koşulları için yaklaşık olarak 2-4 saniyeleri arasında kararlı durumuna gelmektedir.

Sisteme ΔV_{ref} gerilimi girişinden %5'lik bozucu etki sinyali uygulandığında uygunluk fonksiyonu olarak IAE performans indeksi kullanılmıştır. GA ile elde edilen en uygun PID parametreleri Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 4.10: ΔV_{ref} gerilimi girişi ve IAE performans indeksinde optimize edilmiş PID parametreleri

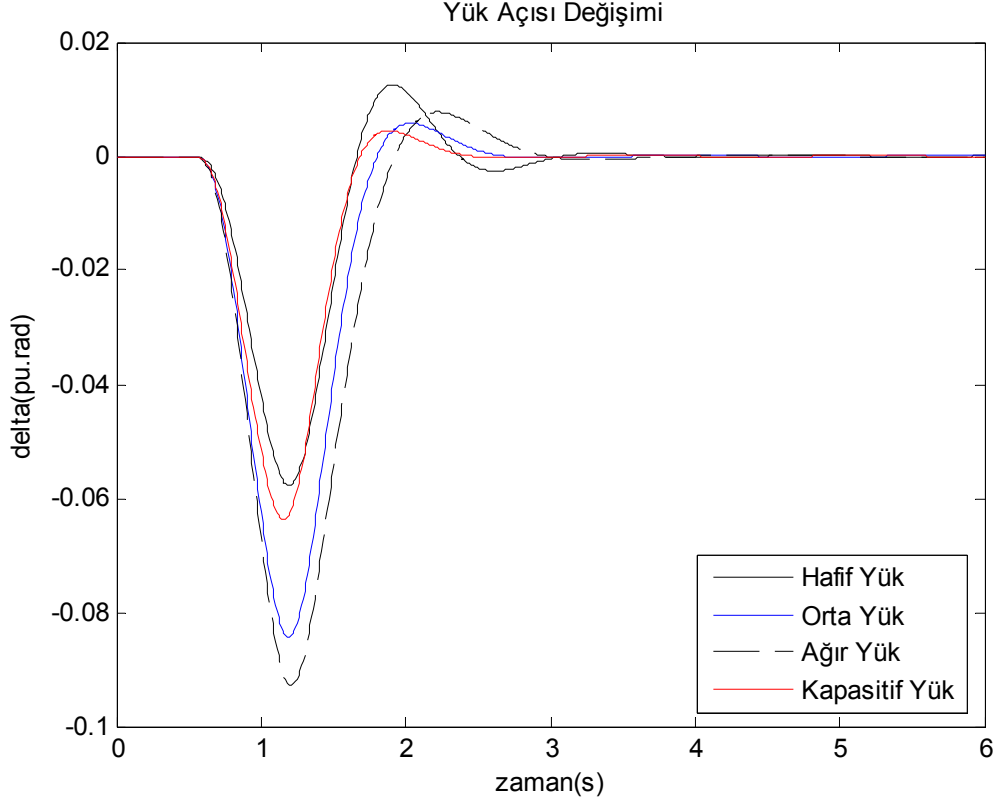
Çalışma Koşulları	En uygun PID parametreleri		
	K_p	K_i	K_d
Hafif yük	49.3601	0.9245	9.0552
Orta yük	48.8653	0.0348	7.5559
Ağır yük	47.9110	2.2768	9.2884
Kapasitif yük	48.2084	2.6952	8.3319



Şekil 4.28: GAPID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki hız değişimi

Şekil 4.28'de ΔV_{ref} gerilimi girişinden bozucu etki uygulandığında farklı çalışma koşulları için oluşan hız değişimi görülmektedir. Hafif yük durumunda salınım 0.0004382 tepe değerine ulaşmakta, orta yük durumu için salınımın tepe değeri 0.0005537 olmakta, ağır yük durumunda salınım 0.0004904 tepe değerine ulaşırken,

kapasitif yük çalışma koşulu için salınım 0.000465 tepe değerine ulaşmakta olup, sistem tüm çalışma koşullarında arıza öncesi kararlı durumuna yaklaşık olarak 2-4 saniyeleri arasında dönmektedir.



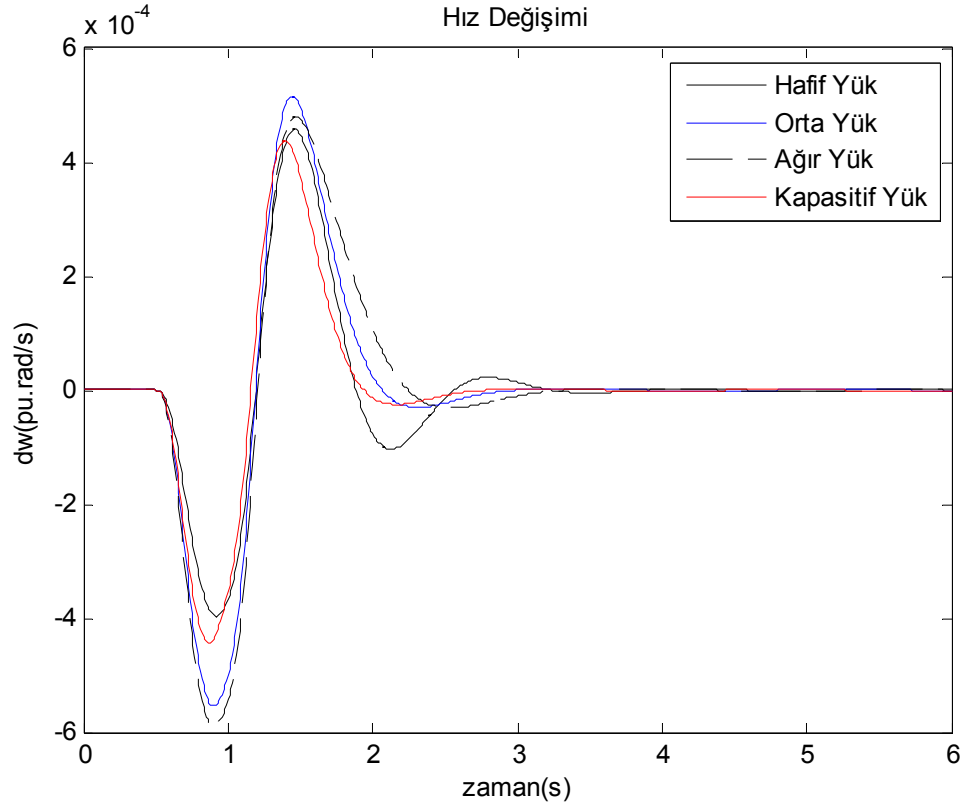
Şekil 4.29: GAPID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki yük açısı değişimi

Şekil 4.29'da farklı çalışma koşullarında bozucu etki meydana geldiğinde yük açısı değişimi gösterilmektedir. Hafif yük çalışma koşulunda bozucu etki meydana geldiğinde salınımın tepe değeri 0.01248 olurken, orta yük durumunda salınım 0.005739 tepe değerine ulaşmakta, ağır yük durumunda salınımın tepe değeri 0.007747, kapasitif yük çalışma koşulunda ise salınım 0.004518 tepe değerine ulaşmakta olup, farklı çalışma koşulları için sistem arıza sonrasında yaklaşık olarak 2-4 saniyeleri arasında arıza öncesi kararlı durumuna gelmektedir.

Bozucu etki meydana geldiğinde ve uygunluk fonksiyonu ISE performans indeksine göre en uygun değerleri bulunmuş PID denetleyicisinin parametreleri Çizelge 4.11'de gösterilmiştir.

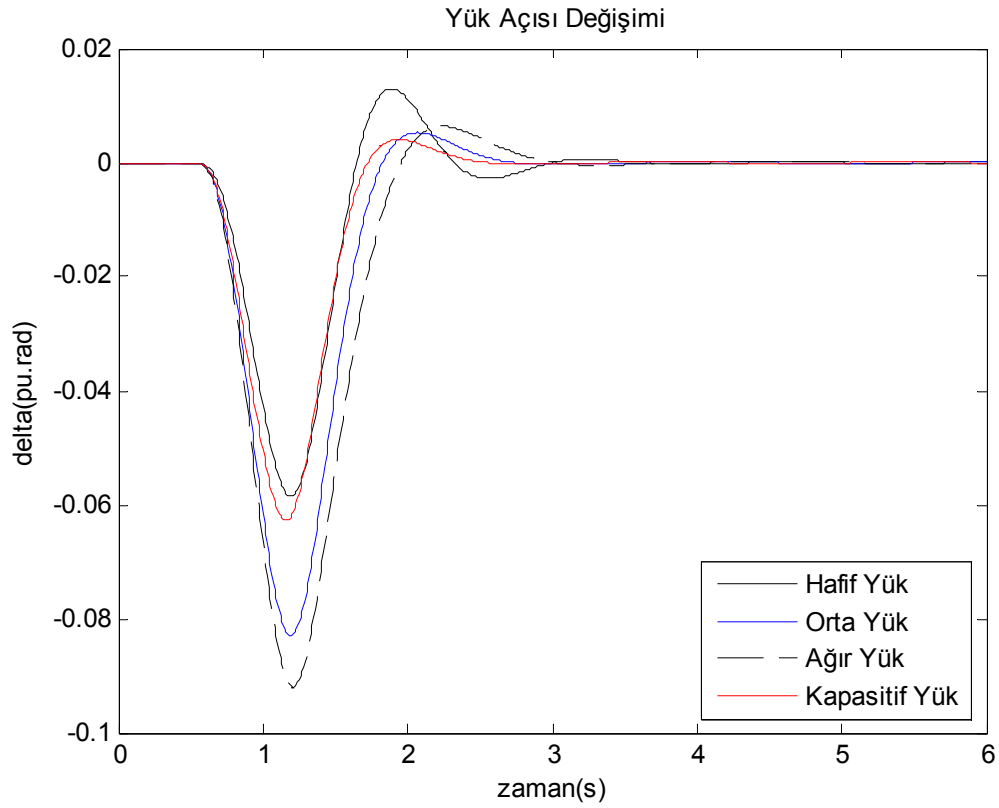
Çizelge 4.11: ΔV_{ref} gerilimi girişi ve ISE performans indeksinde optimize edilmiş PID parametreleri

Çalışma Koşulları	En uygun PID parametreleri		
	K_p	K_i	K_d
Hafif yük	49.2739	0.0746	8.2778
Orta yük	49.9378	0.3273	7.9085
Ağır yük	49.4157	0.8281	9.2368
Kapasitif yük	49.5132	0.3386	8.9824



Şekil 4.30: GAPID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumunda ve performans indeksi ISE durumundaki hız değişimi

Şekil 4.30'da ΔV_{ref} gerilimi girişinden bozucu etki uygulandığında hız değişiminde oluşan salınımları göstermektedir. Hafif yük durumunda salınının tepe değeri 0.0004566, orta yük durumunda salınım 0.0005159 tepe değerine ulaşırken, ağır yük çalışma durumunda salınının tepe değeri 0.0004802, kapasitif yük durumunda ise salınım 0.0004377 tepe değerine ulaşırken sistem tüm çalışma koşulları için yaklaşık olarak 2-4 saniyeleri arasında arıza öncesi kararlı durumuna dönmesi gerçekleşmektedir.



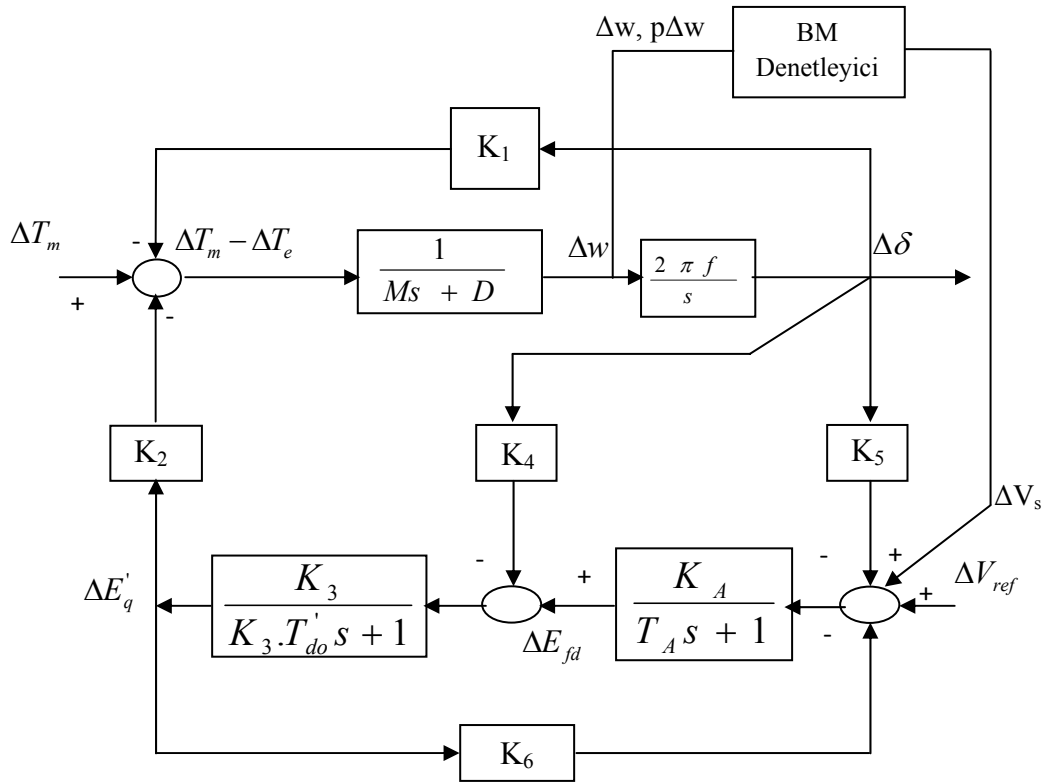
Şekil 4.31: GAPID denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumunda ve performans indeksi ISE durumundaki yük açısı değişimi

Şekil 4.31'de bozucu etki meydana geldiğinde yük açısı değişimi gösterilmektedir. Hafif yük durumunda salınım 0.01289 tepe değerine ulaşmakta, orta yük çalışma koşulunda salınımın tepe değeri 0.005268, ağır yük durumunda salınımın tepe değeri 0.006371, kapasitif yük çalışma durumunda ise salınımın tepe değeri 0.004025 olurken sistem tüm çalışma koşulları için yaklaşık olarak 2-4 saniyeleri arasında arıza öncesi kararlı çalışma durumuna dönmektedir.

4.2.5 Bulanık Mantık (BM) Denetleyici Tasarlanması ve Benzetim Sonuçları

Geleneksel yapıdaki güç sistemi kararlı kılıcının kazanç ve zaman sabitleri şebekenin belli bir sürekli çalışma değerlerine göre optimum performans gösterecek şekilde belirlenir. GSKK parametrelerinin sabit olmasından dolayı şebeke koşullarının değişmesi durumunda veya herhangi bir arıza sonucunda GSKK iyi performans gösteremez. Bu durumu ortadan kaldırmak için bulanık mantık tabanlı güç sistemi kararlı kılıcı (BGSKK) kullanılabilir (Erdem, 2007).

Şekil 4.32’de bulanık mantık (BM) denetleyicili SMIB güç sistemi modeli gösterilmiştir. Bu çalışmada insan davranışlarına daha uygun olan Mandani tipi bulanık güç sistemi kararlı kılıcısı için giriş sinyali olarak hız değişimi (Δw) ve bu sinyalin türevi ($p\Delta w$) kullanılmıştır. Kullanılan bu iki giriş sinyali ve bir çıkış değişkeni NB (negatif büyük), NO (negatif orta), NK (negatif küçük), S (sıfır), PK (pozitif küçük), PO (pozitif orta), PB (pozitif büyük) olmak üzere yedi adet dilsel etiketle tanımlanmıştır.

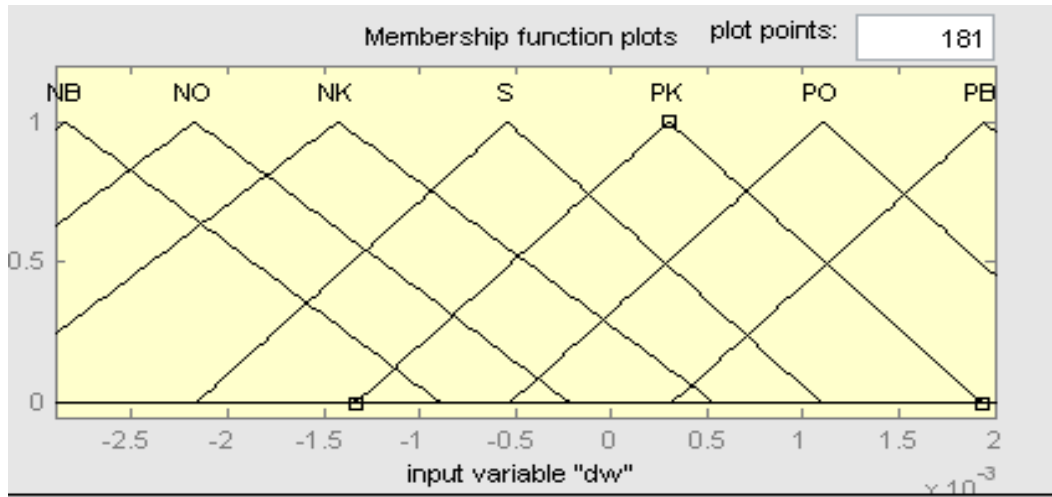


Şekil 4.32: BM denetleyicili SMIB güç sistemi modeli

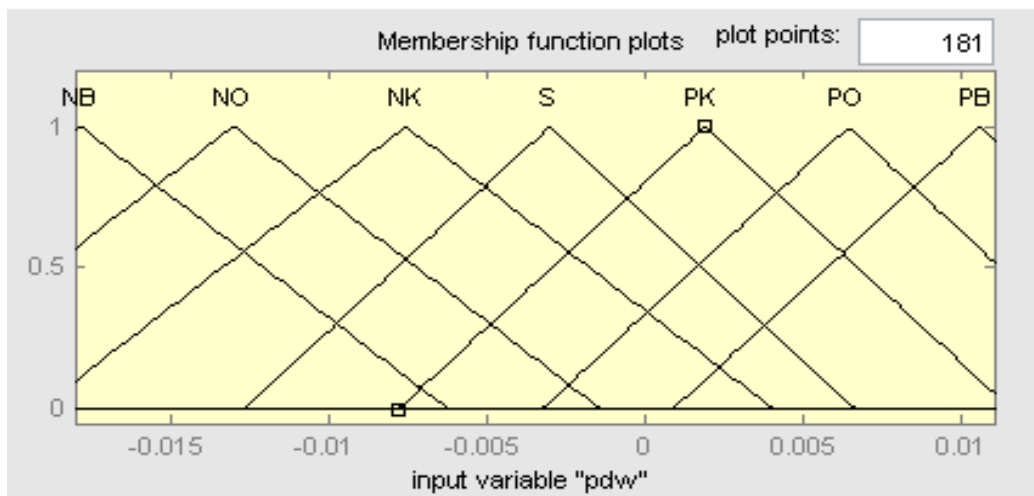
Sistemin giriş ve çıkış değişkenlerinin üyelik fonksiyonları Şekil 4.33’de BM karar tablosu ise Çizelge 4.12’de gösterilmekte olup, karar verme birimi min-max, durulama birimi olarak da centroid yöntemi kullanılmıştır. Benzetim çalışmalarında elde edilen sonuçların Şekil 4.34-4.37’de daha net gözükmesi için benzetim süresinin 0 ile 10 saniye arası alınmıştır.

Çizelge 4.12: BM denetleyicisinin karar tablosu

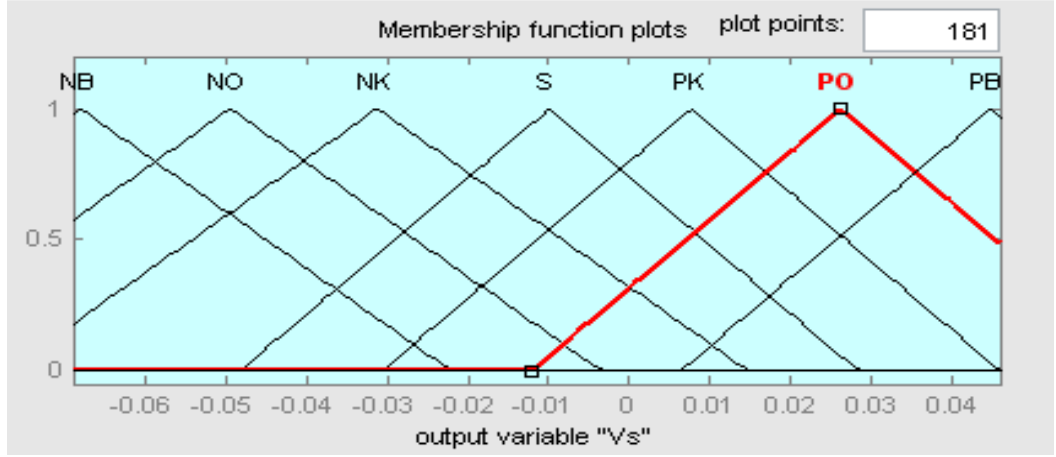
		$p\Delta w$						
		NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
Δw	NB	NB	NB	NB	NB	NO	NK	S
	NO	NB	NB	NB	NO	NK	S	PK
	NK	NB	NB	NO	NK	S	PK	PO
	S	NB	NO	NK	S	PK	PO	PB
	PK	NO	NK	S	PK	PO	PB	PB
	PO	NK	S	PK	PO	PB	PB	PB
	PB	S	PK	PO	PB	PB	PB	PB



(a)



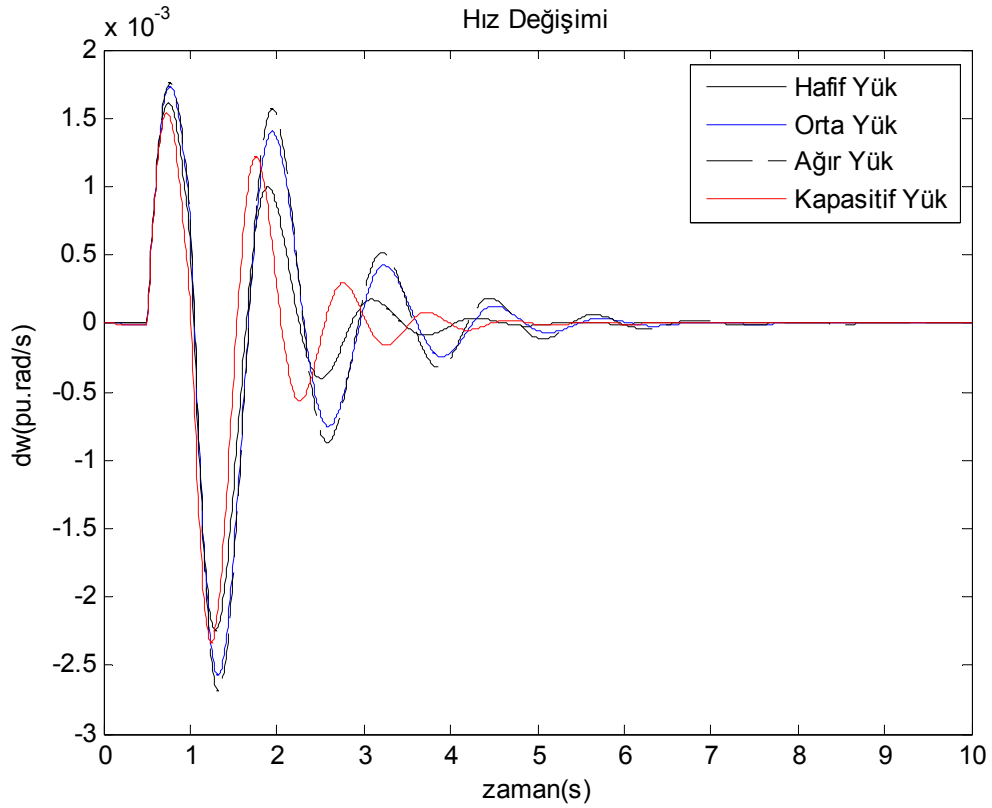
(b)



(c)

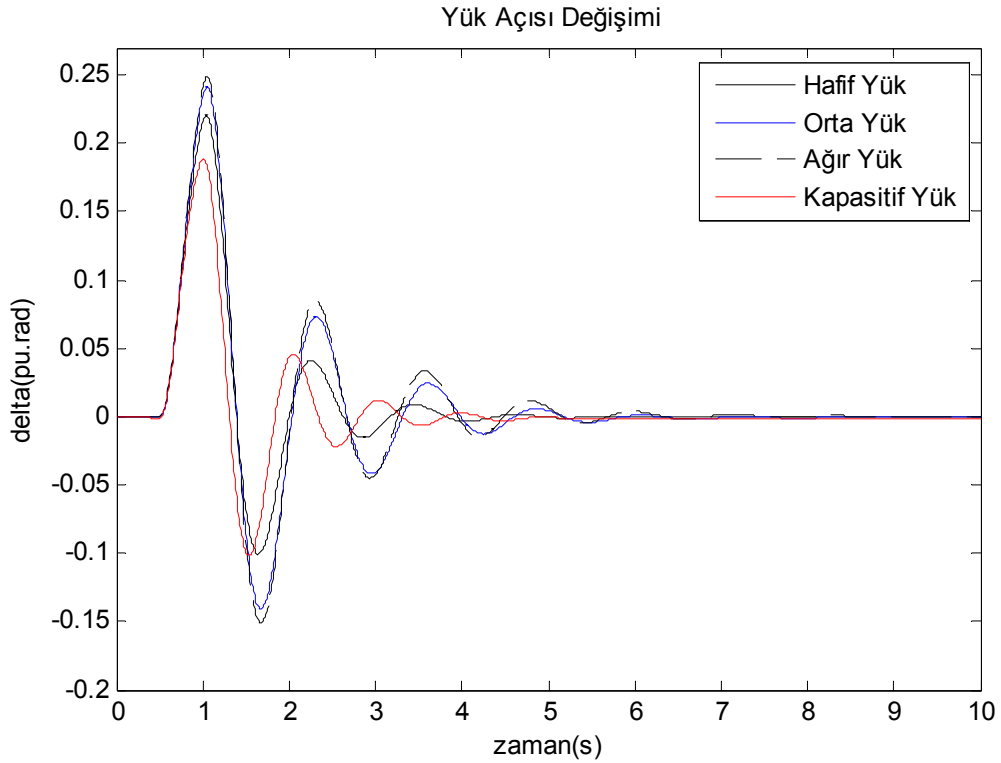
Şekil 4.33: (a) Δw giriş değişkeni (b) $p\Delta w$ giriş değişkeni (c) çıkış değişkeninin üyelik fonksiyonları

Şekil 4.34'de farklı çalışma koşulları için mekanik güç girişinden bozucu etki uygulandığında sistemdeki hız değişimi gösterilmektedir. Hafif yük durumunda sisteme bozucu etki meydana geldiğinde salınımın tepe değeri 0.001615, orta yük durumunda



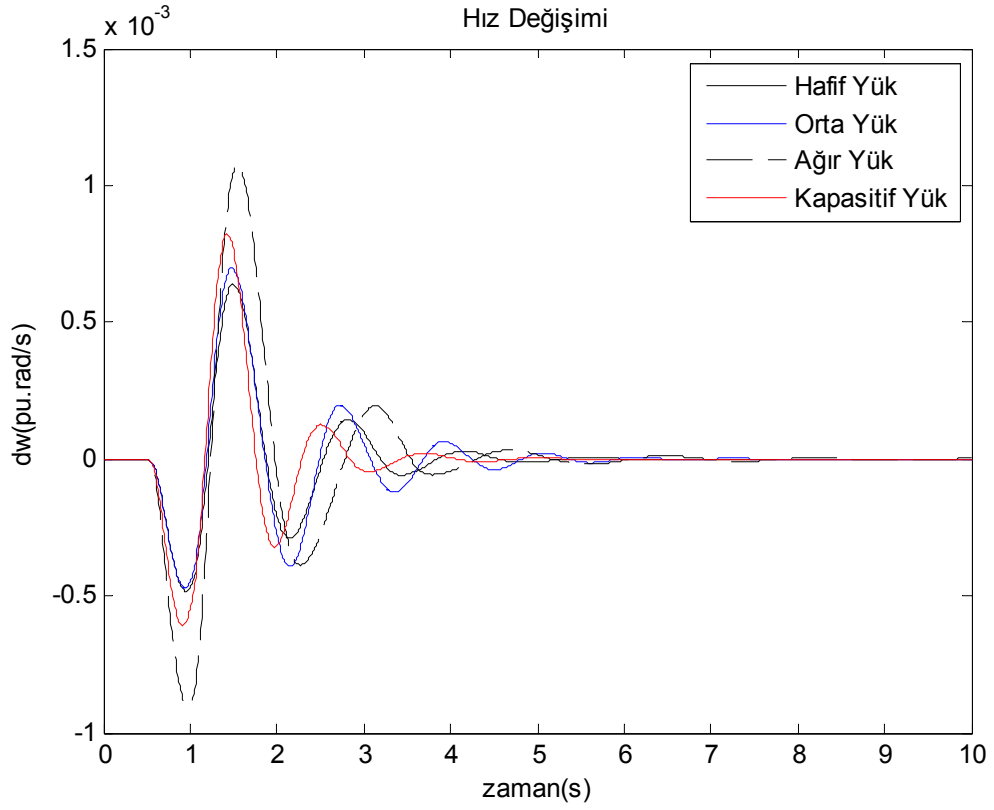
Şekil 4.34: BM denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki hız değişimi

salınım 0.001612 tepe değerine ulaşmakta, ağır yük çalışma koşulunda salınımın tepe değeri 0.001645, kapasitif yük çalışma durumunda ise salınım 0.001543 tepe değerine ulaşırken sistem hafif ve kapasitif yük koşulu için yaklaşık olarak 4-6 saniyeleri arasında, orta ve ağır yük koşulu için yaklaşık olarak 6-8 saniyeleri arasında arıza öncesi çalışma durumuna dönmektedir.



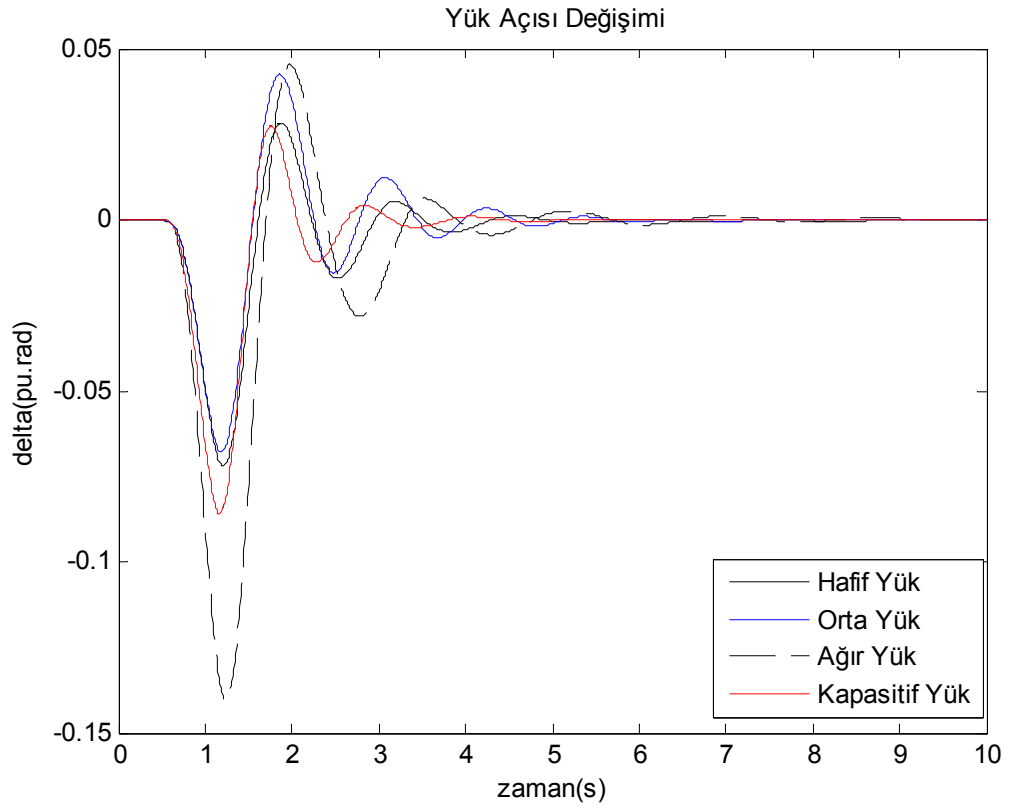
Şekil 4.35: BM denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %10'luk ΔT_m mekanik güç girişi bozunumundaki yük açısı değişimi

Şekil 4.35'de farklı çalışma koşullarında bozucu etki meydana geldiğinde sistemdeki yük açısı değişimi gösterilmektedir. Hafif yük durumunda salınım 0.221 tepe değerine ulaşmakta, orta yük durumunda salınımın tepe değeri 0.2456, ağır yük durumunda salınım 0.2488 tepe değeri olmakta, kapasitif yük çalışma koşulu için salınım 0.1889 tepe değerine ulaşırken sistem hafif ve kapasitif yük koşulu için yaklaşık olarak 4-6 saniyeleri arasında, orta ve ağır yük koşulu için yaklaşık olarak 5-7 saniyeleri arasında kararlı hale gelmektedir.



Şekil 4.36: BM denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki hız değişimi

Şekil 4.36'da sisteme farklı çalışma durumlarında ΔV_{ref} gerilimi girişinden bozucu etki uygulandığında meydana gelen hız değişimleri gösterilmektedir. Hafif yük çalışma durumunda salınım 0.0006416 tepe değerine ulaşmakta, orta yük durumunda salınımın tepe değeri 0.0006976, ağır yük durumunda salınımın tepe değeri 0.001077 olmakta, kapasitif yük çalışma durumunda salınım 0.0008255 tepe değerine ulaşırken sistem kapasitif çalışma koşulunda 4-6 saniyeleri arasında, diğer çalışma koşullarında yaklaşık olarak 5-7 saniyeleri arasında arıza öncesi kararlı durumuna gelmektedir.

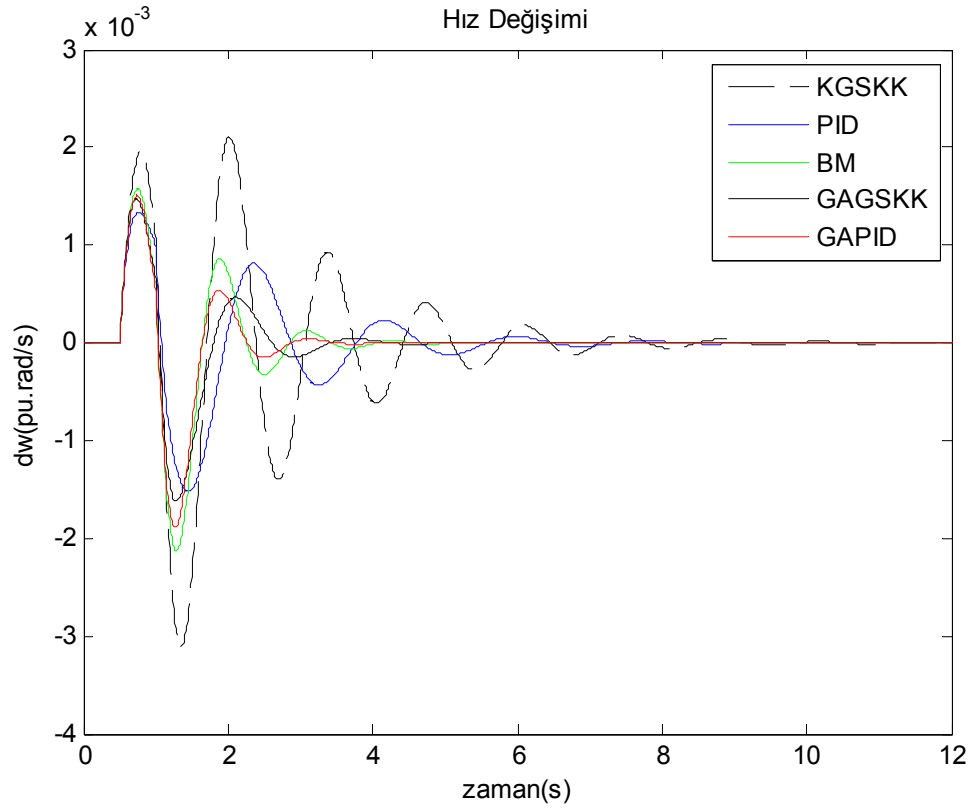


Şekil 4.37: BM denetleyicisi kullanarak farklı çalışma koşullarında %5'lik ΔV_{ref} gerilimi girişi bozunumundaki yük açısı değişimi

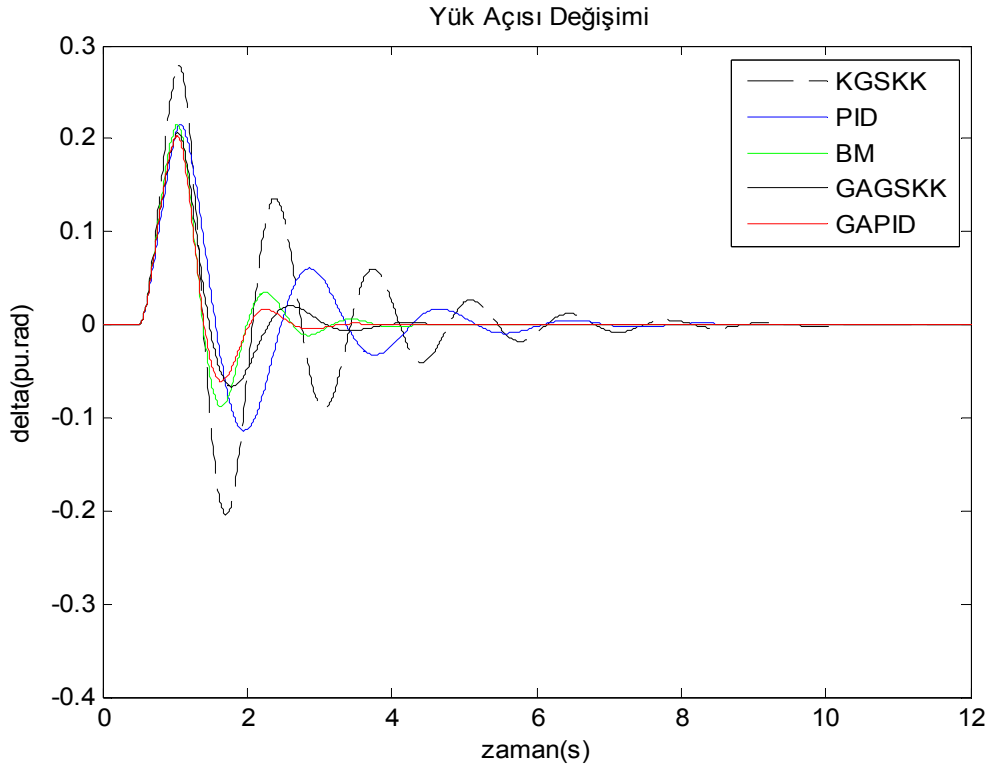
Şekil 4.37'de farklı çalışma koşulları için bozucu etki meydana geldiğinde yük açısı değişimi gösterilmektedir. Hafif yük durumunda salınım 0.02827 tepe değerine ulaşmakta, orta yük durumunda salınımın tepe değeri 0.0425, ağır yük çalışma koşulunda salınımın tepe değeri 0.0455, kapasitif yük durumunda salınım 0.0275 tepe değerine ulaşırken sistemde bozucu etki meydana geldiğinde hafif yük çalışma koşulunda 5-7 saniyeleri, kapasitif yük çalışma koşulunda 4-6 saniyeleri, diğer çalışma koşullarında yaklaşık olarak 6-8 saniyeleri arasında bozucu etki öncesi kararlı durumuna gelmektedir.

4.2.6 Benzetim Sonuçlarının Karşılaştırılması

Sistemde ΔT_m bozucu etkisi meydana geldiğinde farklı çalışma koşulları için IAE performans indeksinde 5 farklı denetleyicinin hız değişimi ve yük açısı değişimleri Şekil 4.38, 4.40, 4.42 ve 4.44'te gösterilmiştir. GAPID denetleyicisinin performans indekslerine göre karşılaştırılması Şekil 4.39, 4.41, 4.43, 4.45'de gösterilmektedir. Sistemde kullanılan tüm denetleyiciler için benzetim çalışmaları 0 ile 20 saniye arası yapılmıştır. Bu bölümde benzetim sonuçlarının daha net gözükmesi için benzetim süresi 0 ile 12saniye arası alınmıştır.

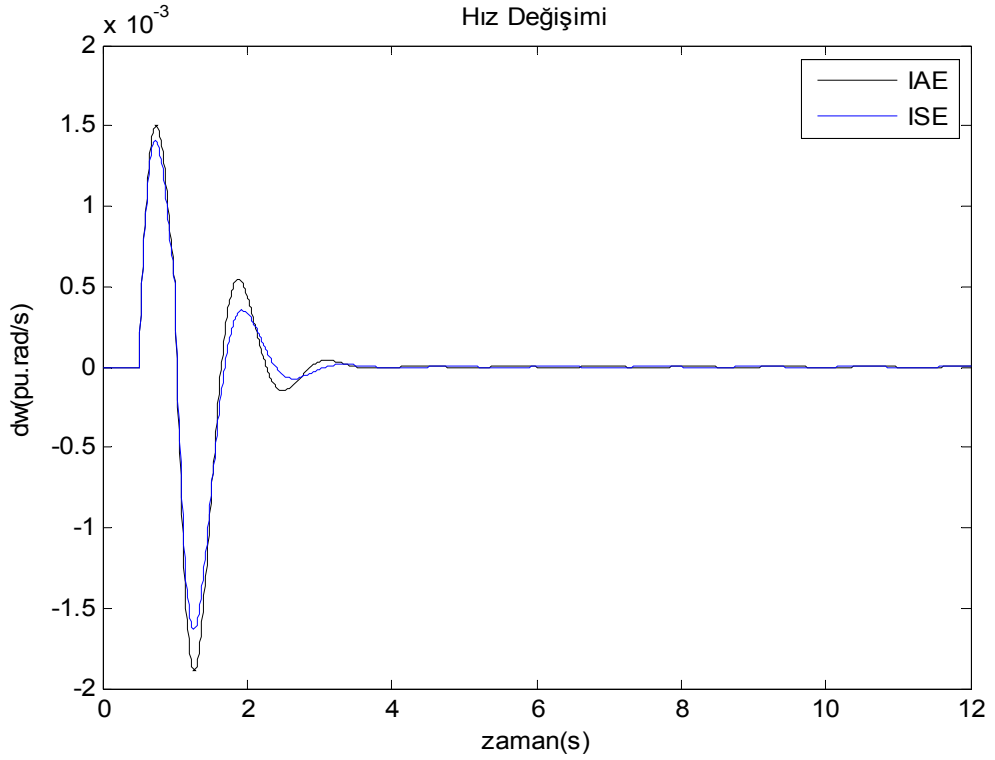


(a)

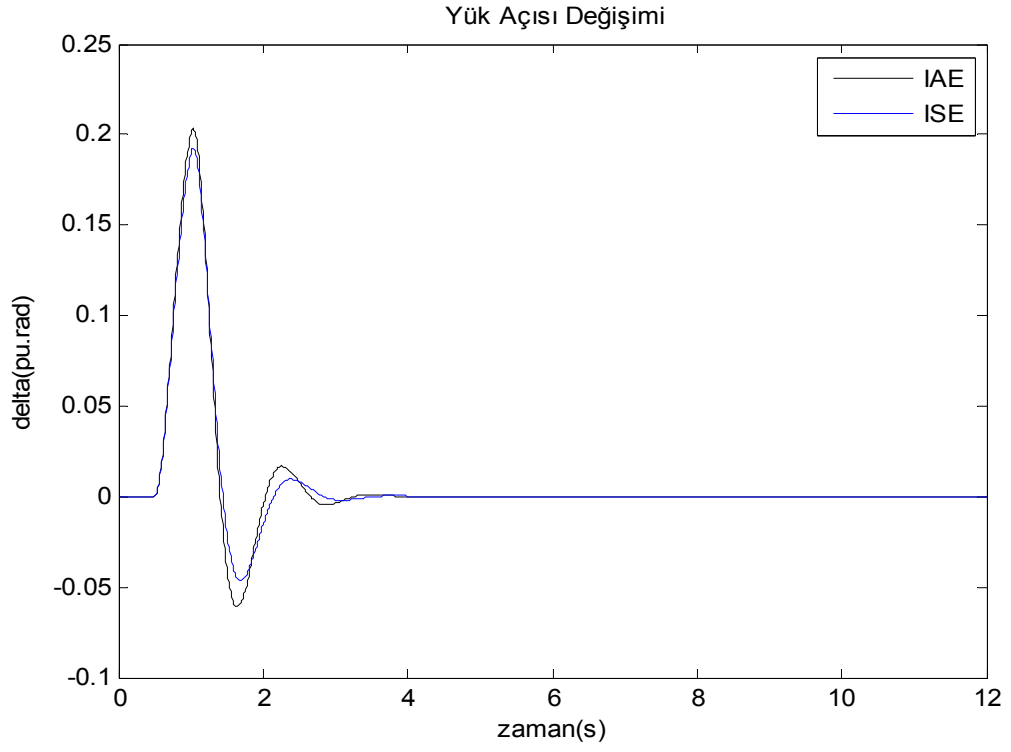


(b)

Şekil 4.38: Hafif yük çalışma durumunda 5 farklı denetleyicinin (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi

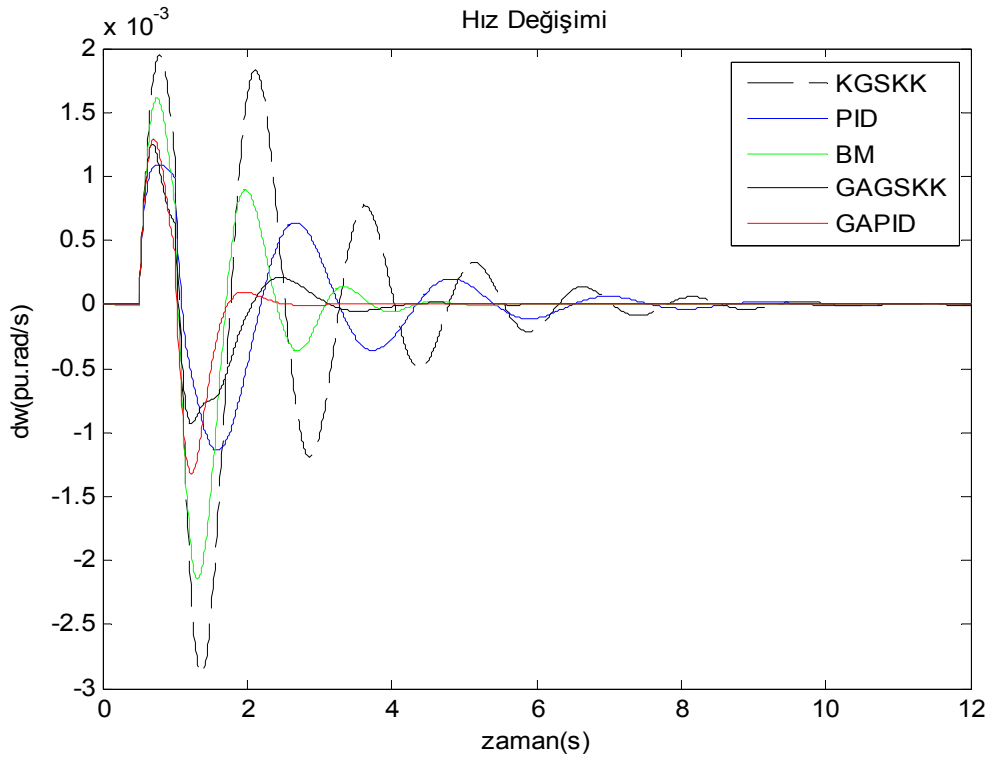


(a)

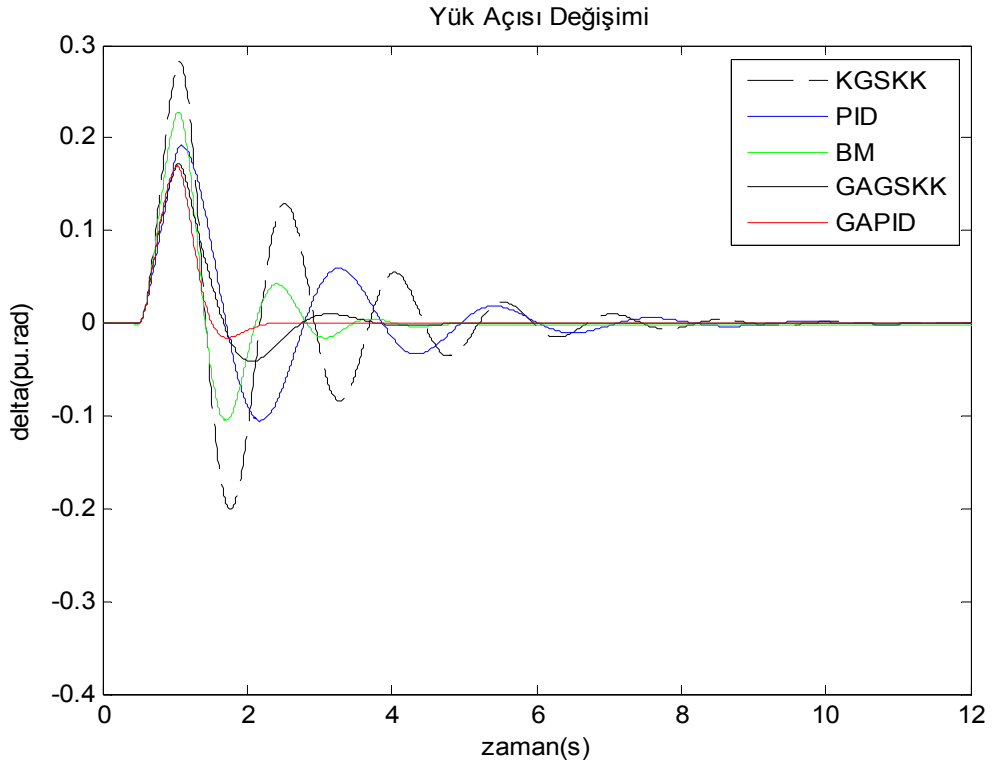


(b)

Şekil 4.39: Hafif yük durumunda GAPID denetleyicisinin IAE ve ISE performans indeksindeki (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi

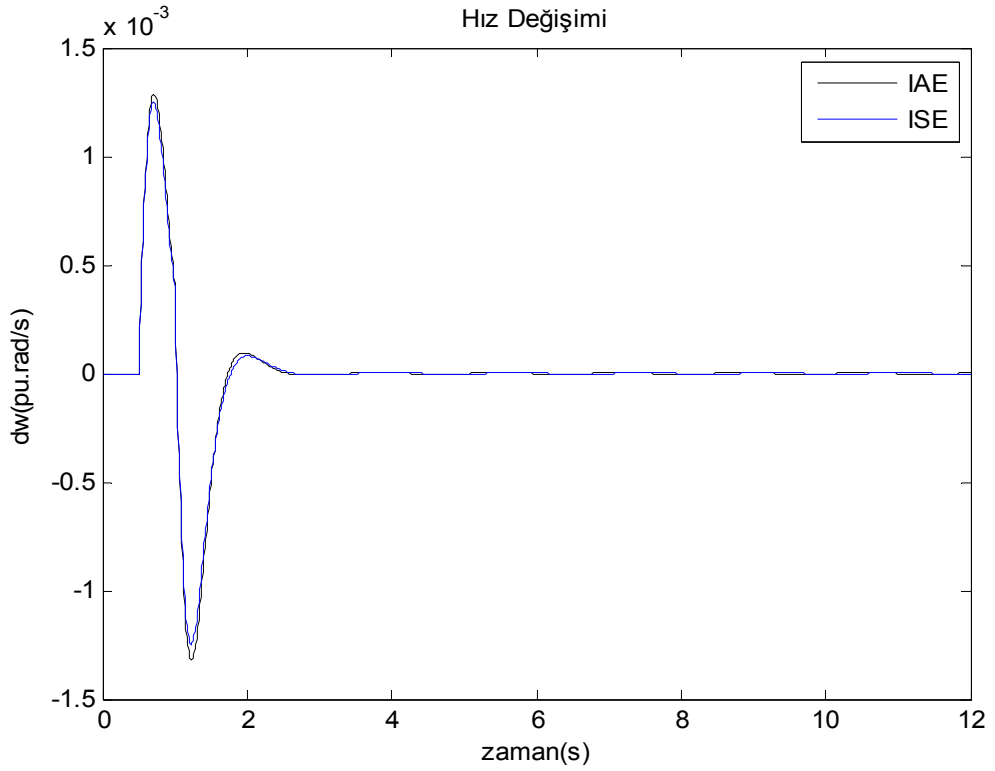


(a)

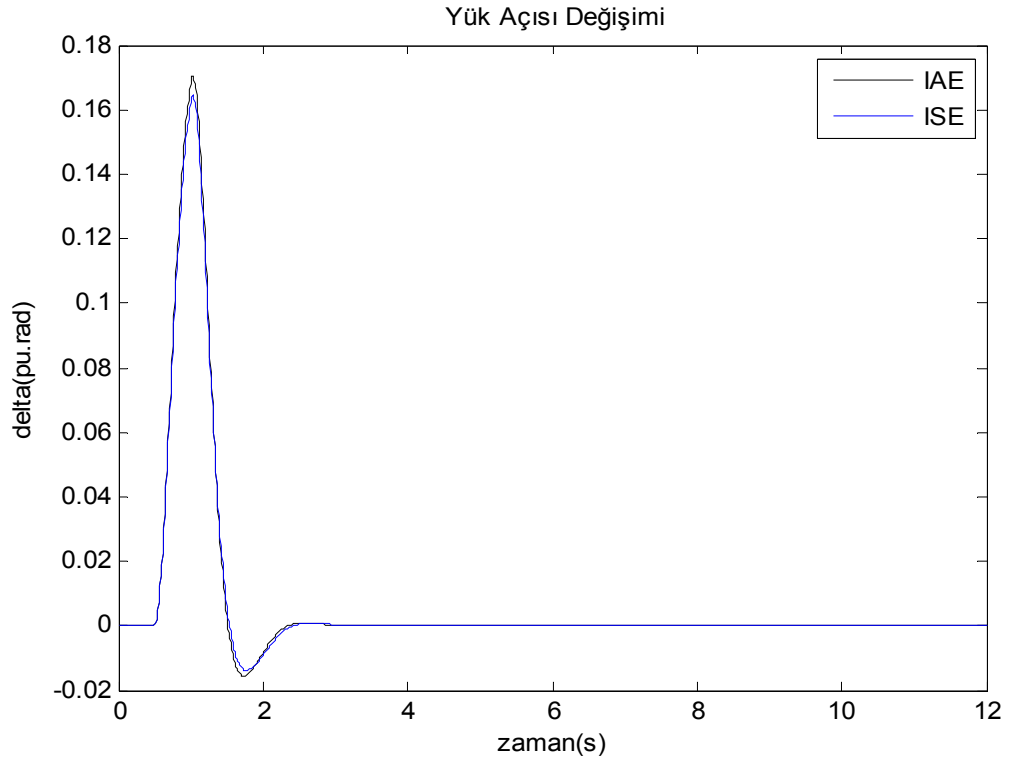


(b)

Şekil 4.40: Orta yük çalışma durumunda 5 farklı denetleyicinin (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi

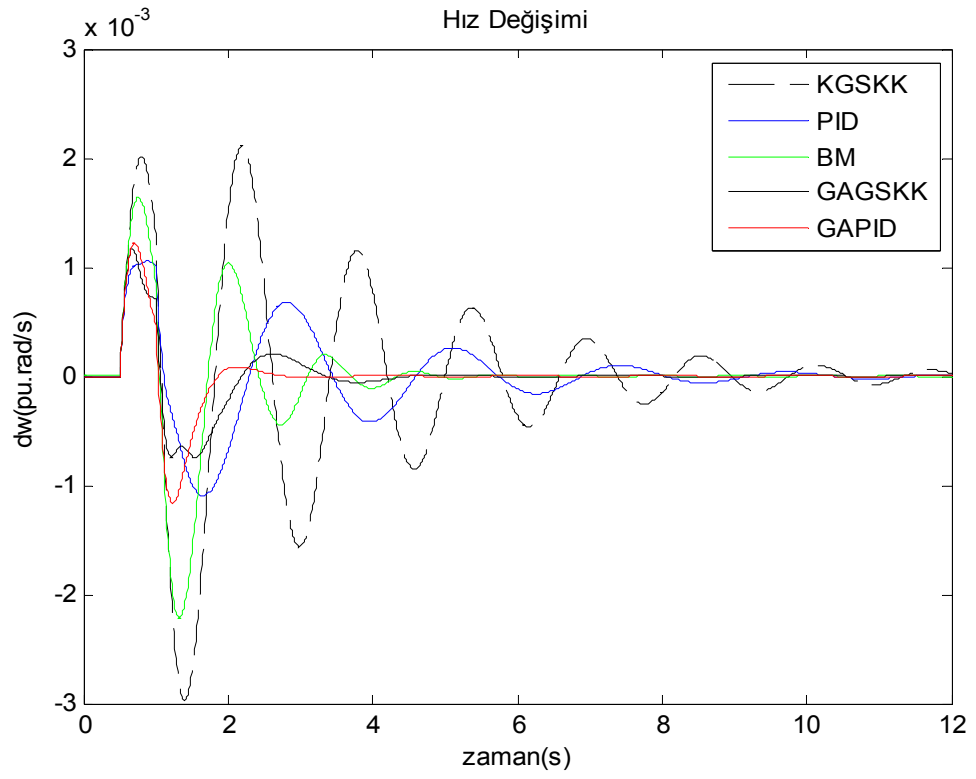


(a)

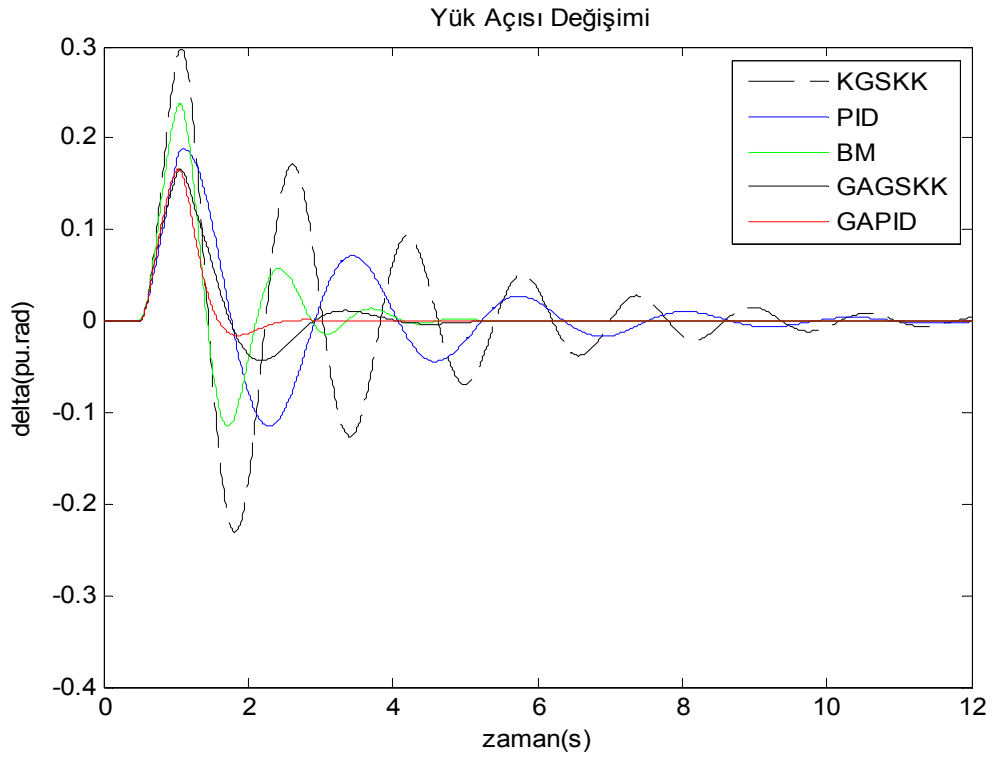


(b)

Şekil 4.41: Orta yük durumunda GAPID denetleyicisinin IAE ve ISE performans indeksindeki (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi

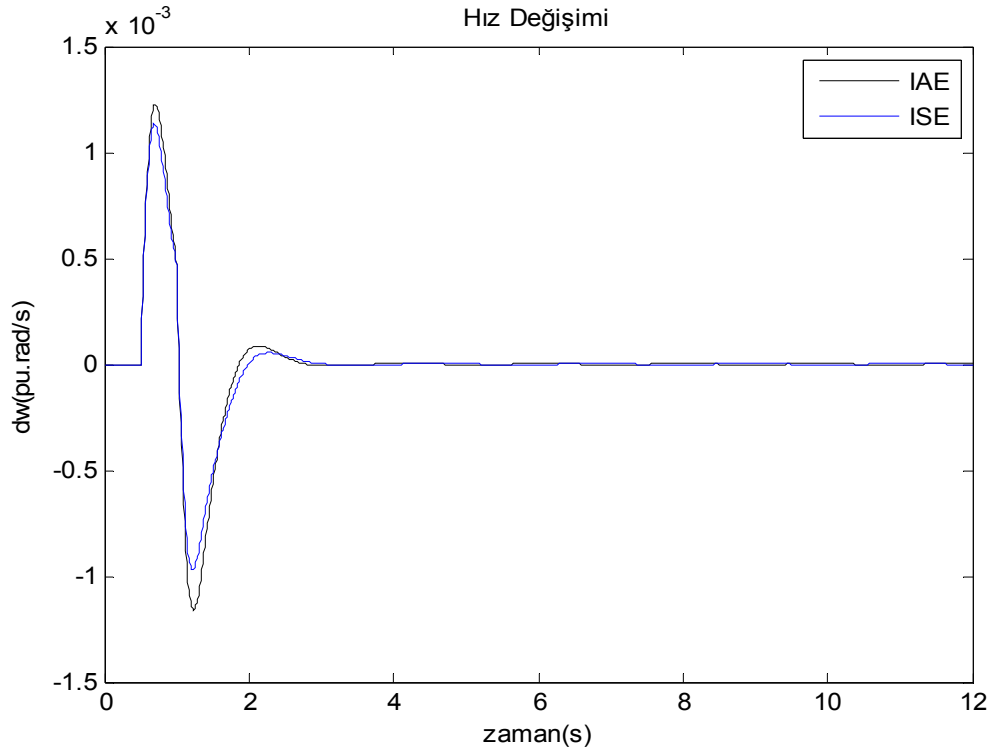


(a)

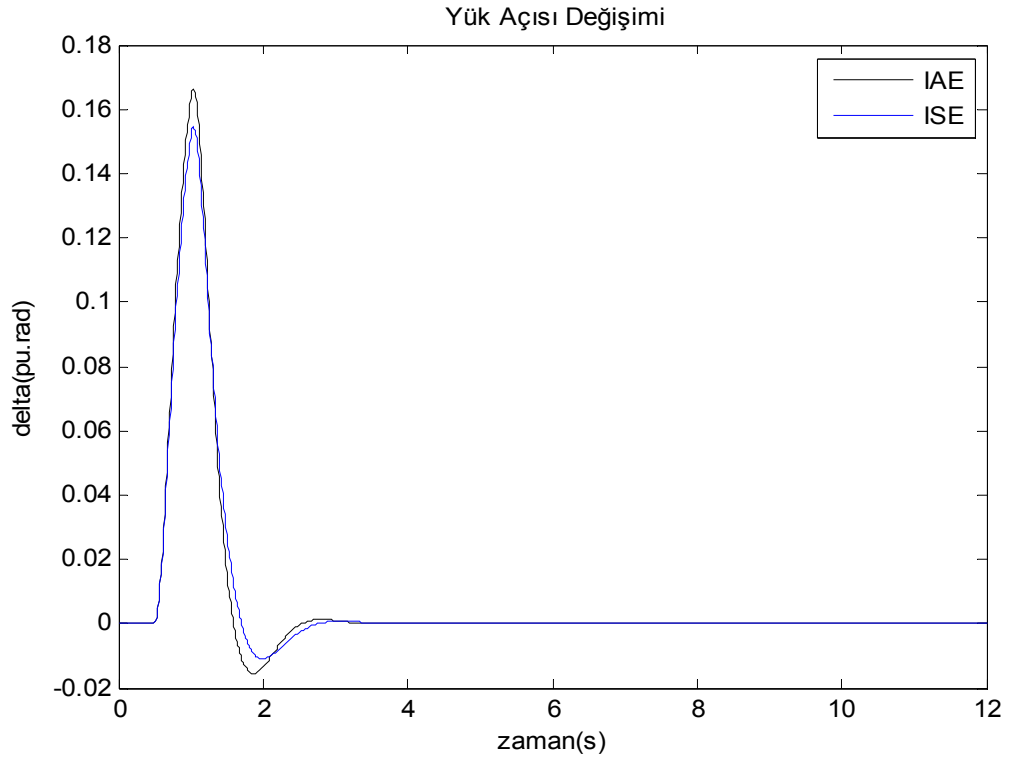


(b)

Şekil 4.42: Ağır yük çalışma durumunda 5 farklı denetleyicinin (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi

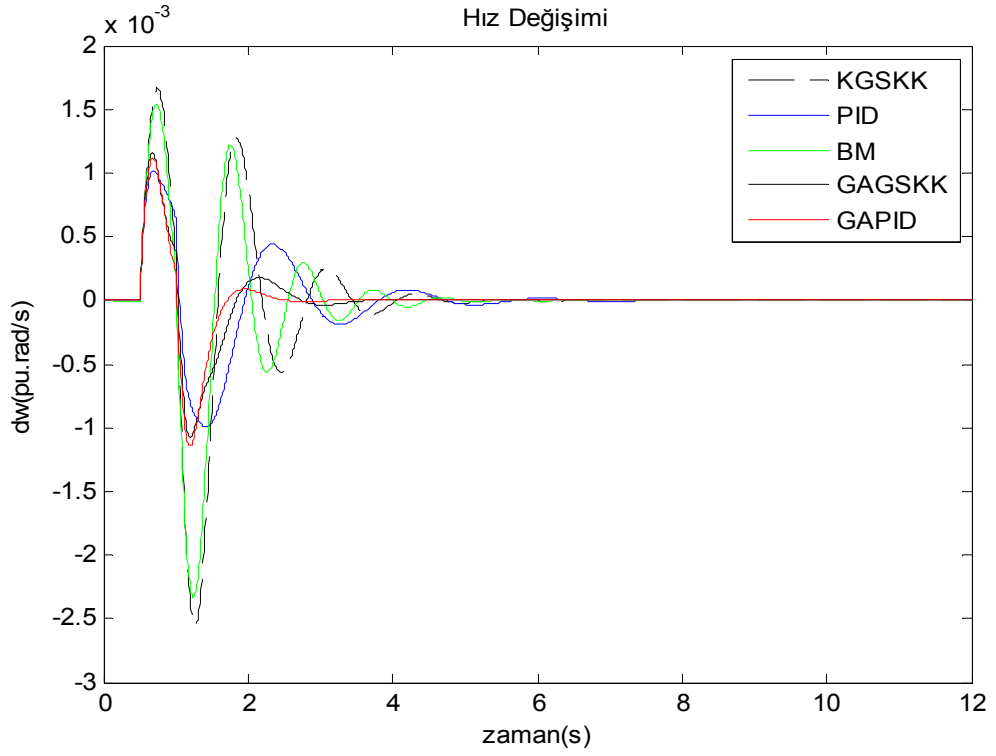


(a)

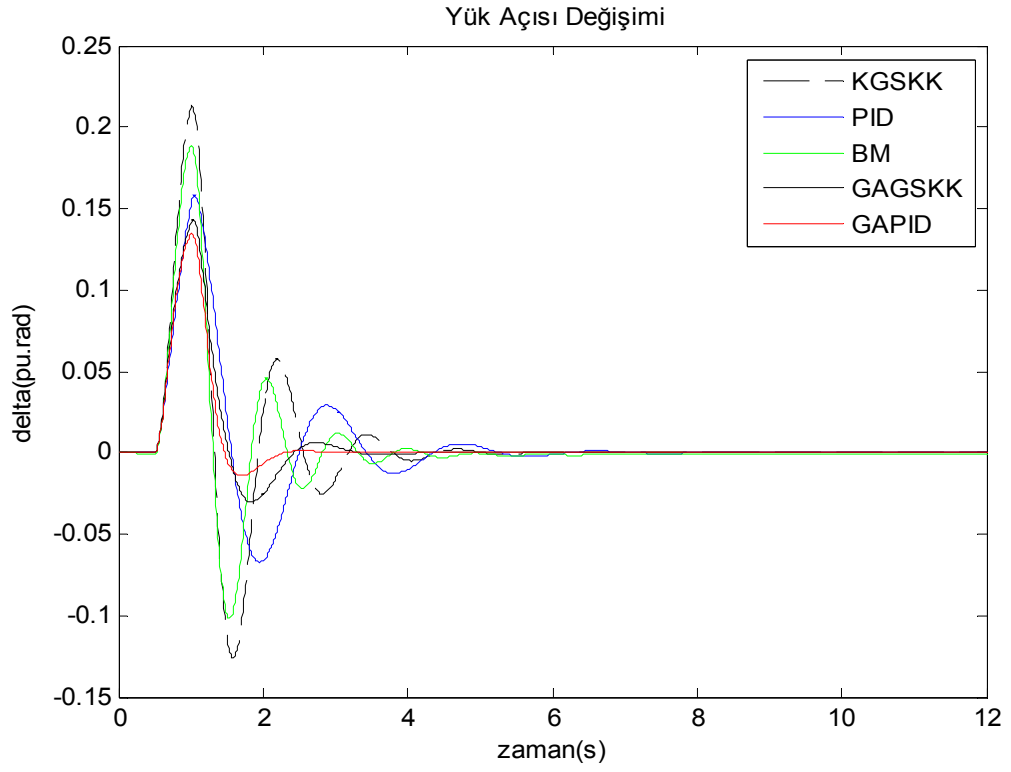


(b)

Şekil 4.43: Ağır yük durumunda GAPID denetleyicisinin IAE ve ISE performans indeksindeki (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi

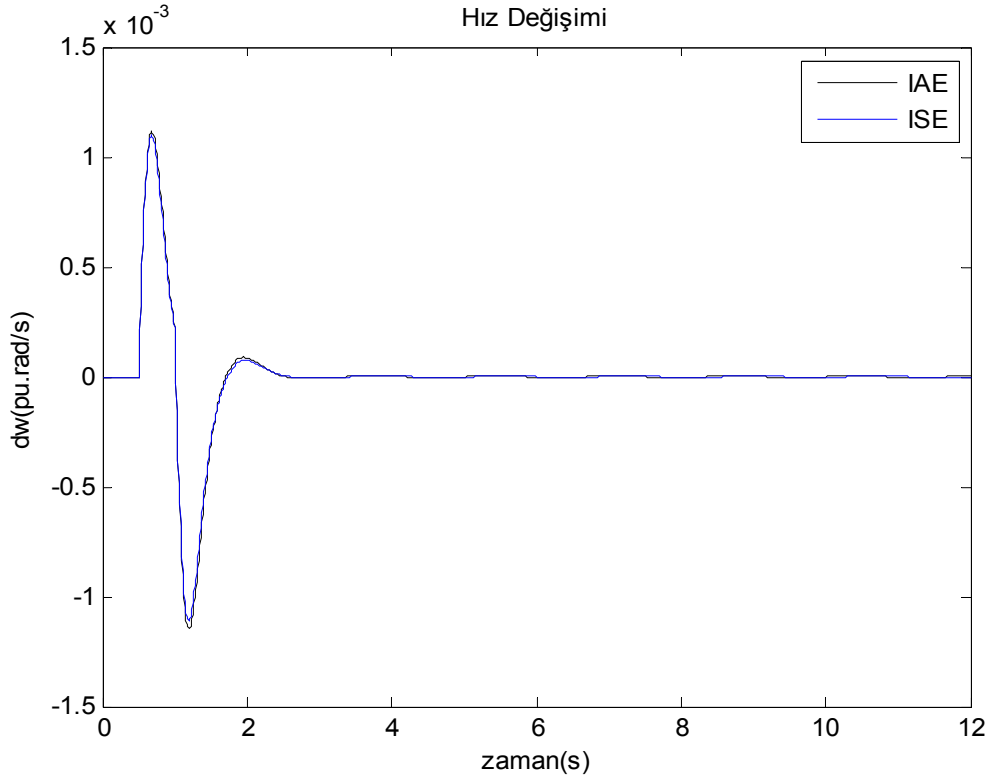


(a)

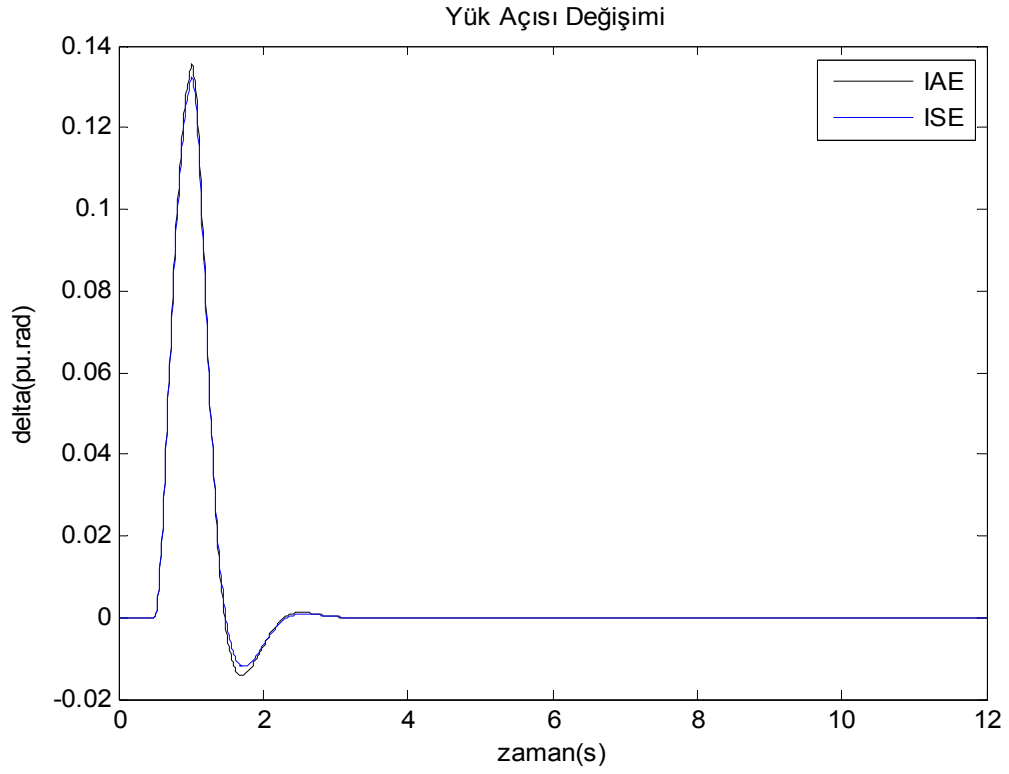


(b)

Şekil 4.44: Kapasitif yük çalışma durumunda 5 farklı denetleyicinin (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi



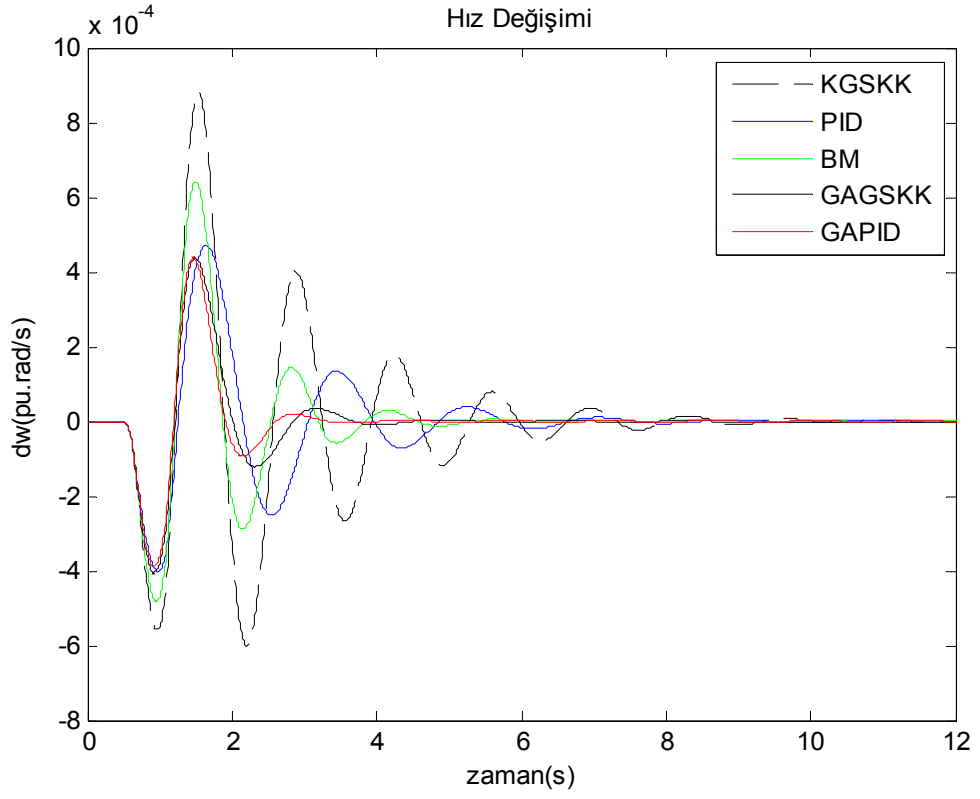
(a)



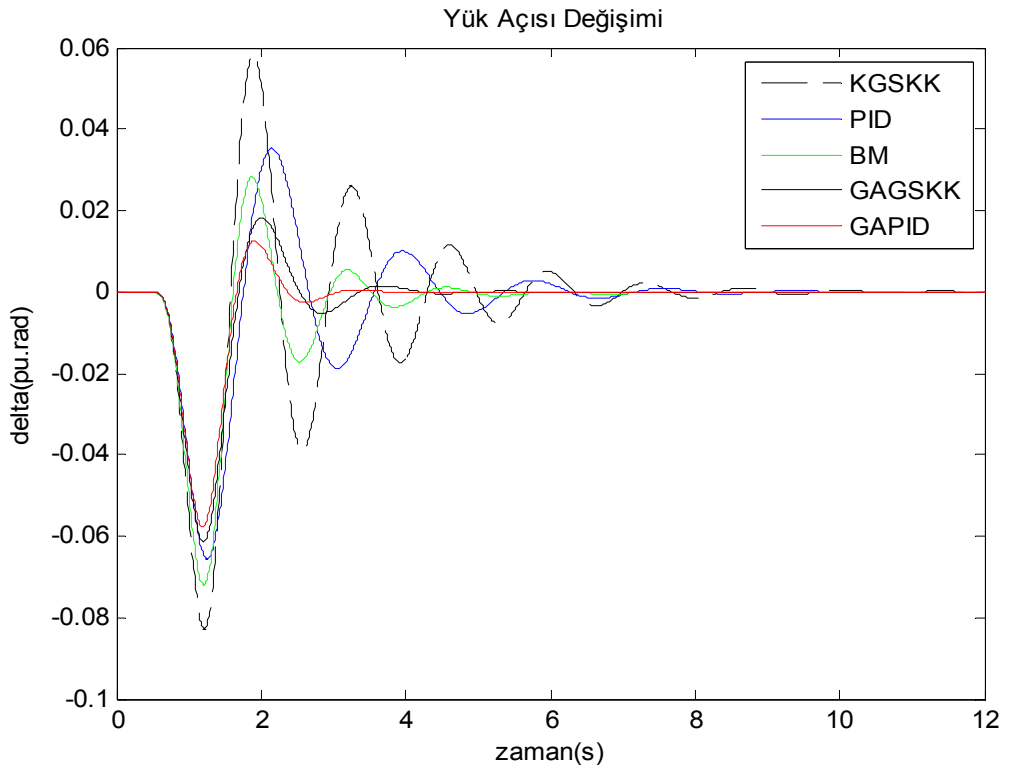
(b)

Şekil 4.45: Kapasitif yük durumunda GAPID denetleyicisinin IAE ve ISE performans indeksindeki (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi

Sistemde ΔV_{ref} gerilimi bozucu etkisi meydana geldiğinde farklı çalışma koşulları için IAE performans indeksinde 5 farklı denetleyicinin hız değişimi ve yük açısı değişimleri Şekil 4.46, 4.48, 4.50, 4.52’de gösterilmektedir. GAPID denetleyicisinin performans indekslerine göre karşılaştırılması Şekil 4.47, 4.49, 4.51, 4.53’de gösterilmektedir

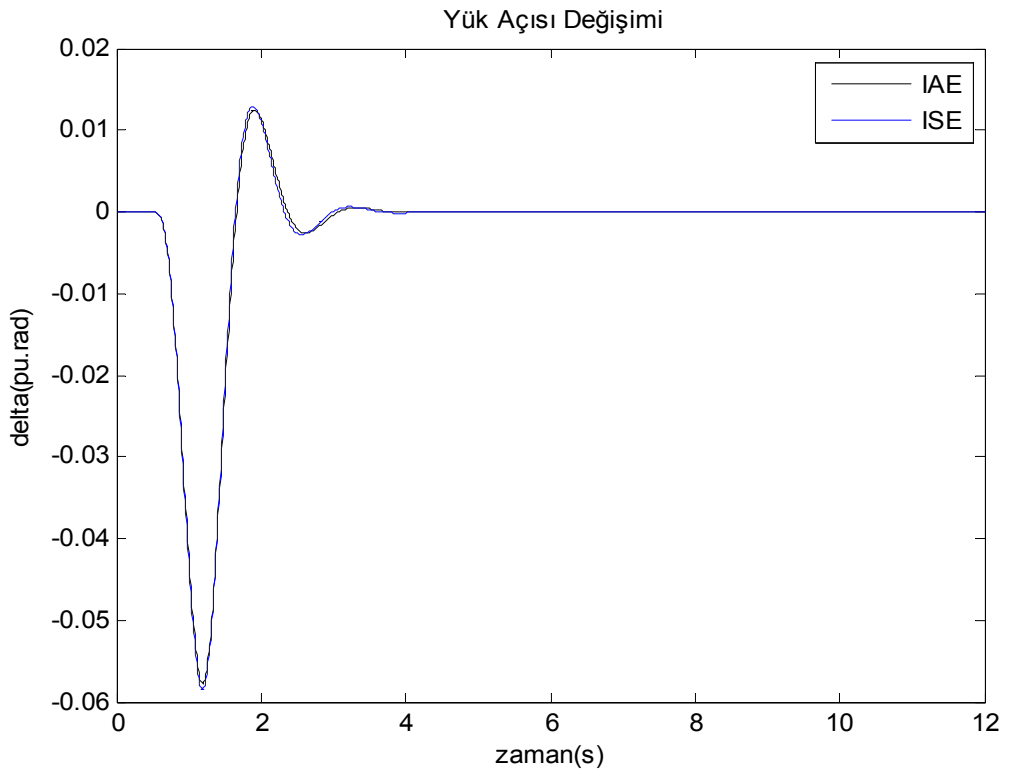
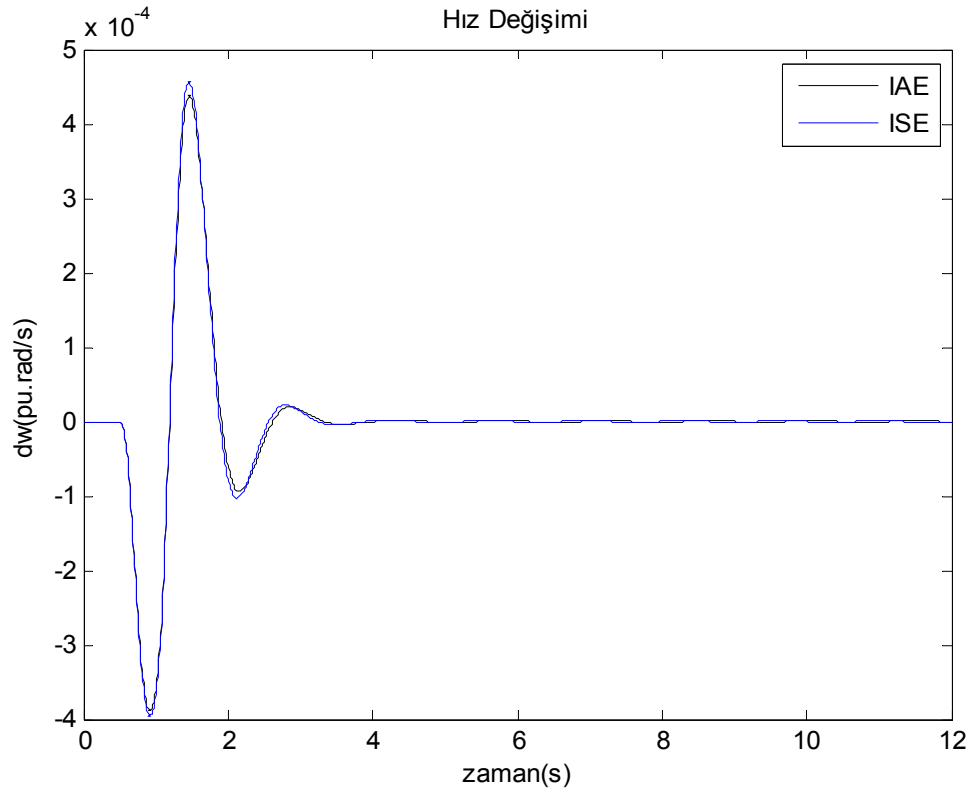


(a)

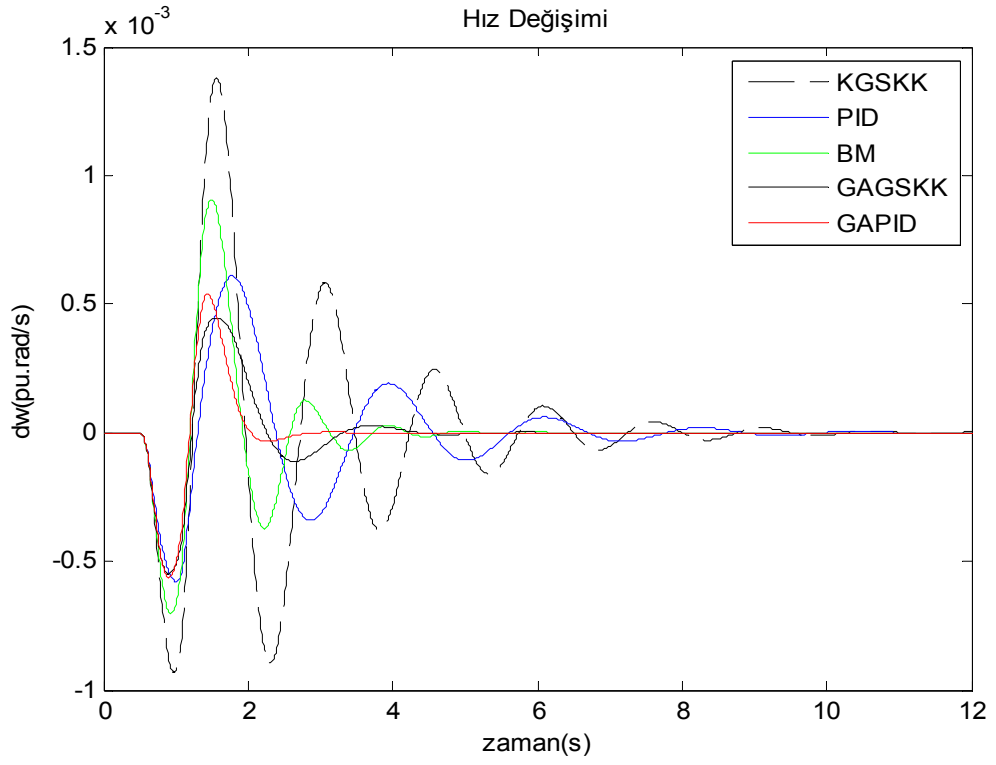


(b)

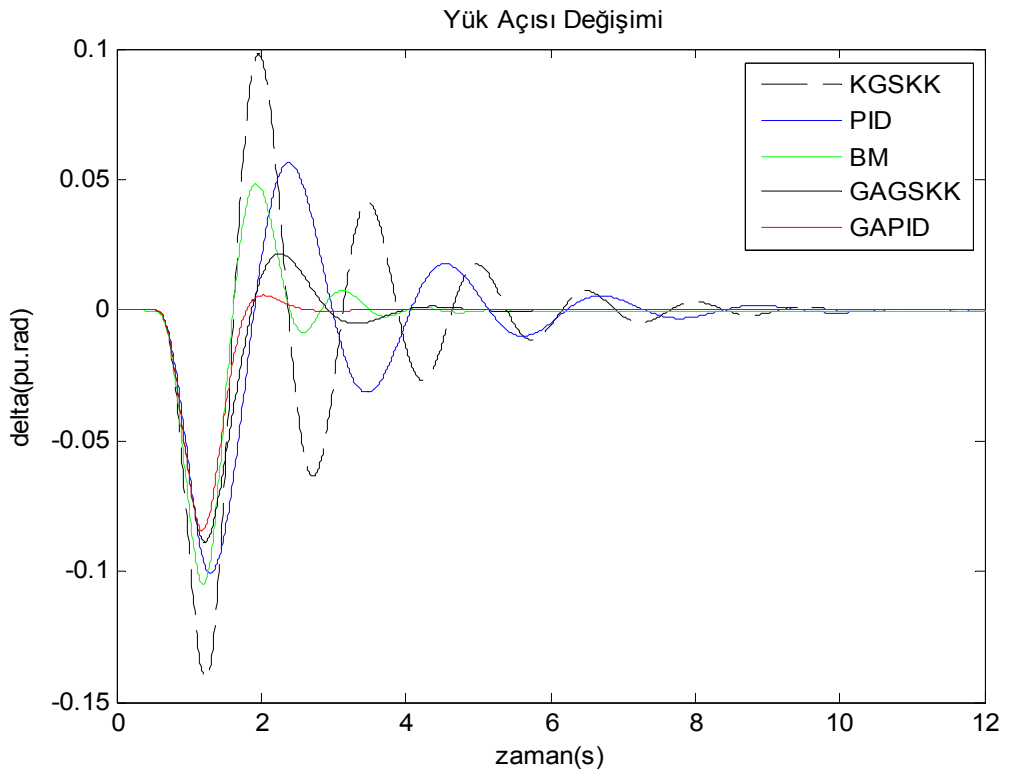
Şekil 4.46: ΔV_{ref} gerilimi bozucu etkisi meydana geldiğinde hafif yük çalışma durumunda 5 farklı denetleyicinin (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi



Şekil 4.47: ΔV_{ref} gerilimi bozucu etkisi meydana geldiğinde hafif yük durumu için GAPID denetleyicisinin IAE ve ISE performans indeksindeki (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi

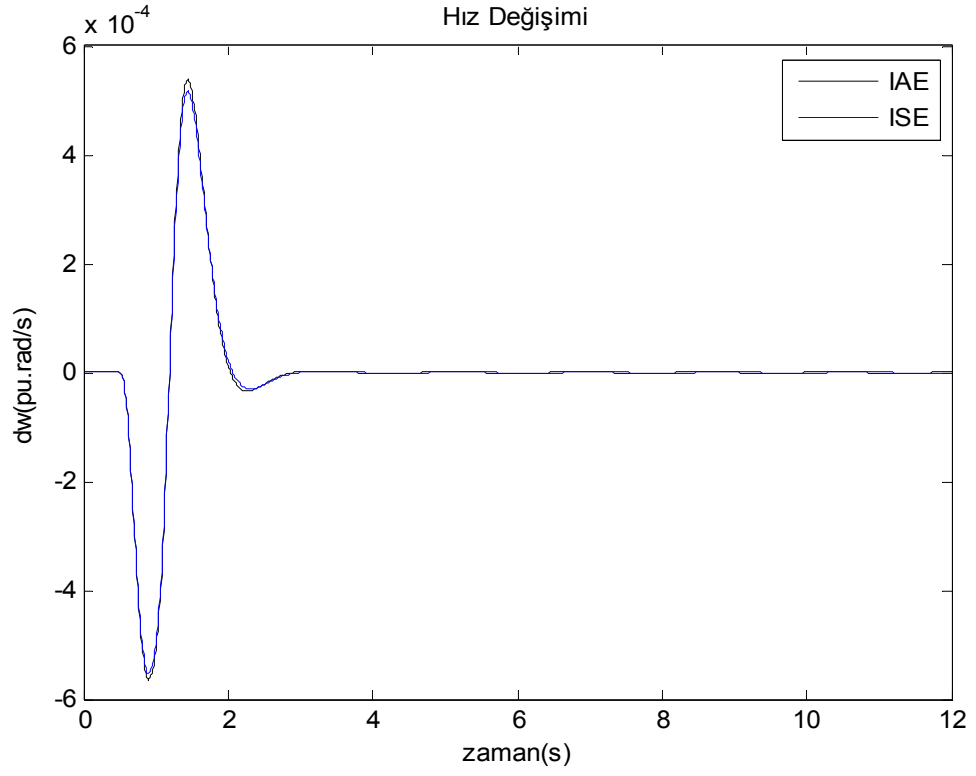


(a)

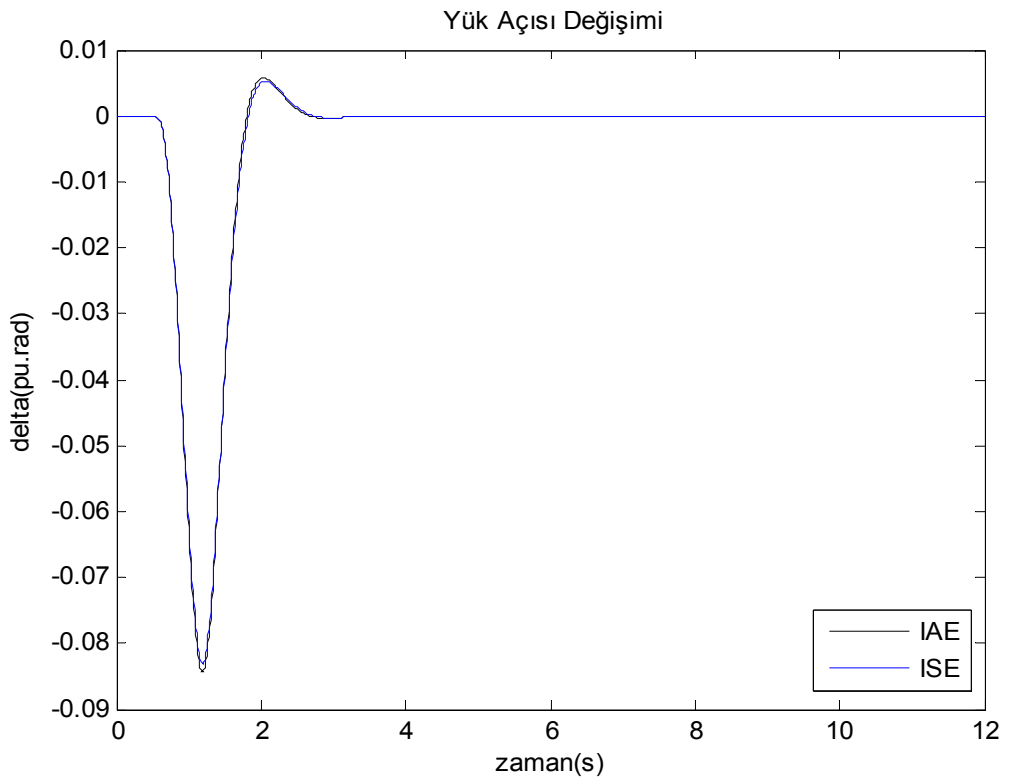


(b)

Şekil 4.48: ΔV_{ref} gerilimi bozucu etkisi meydana geldiğinde orta yük çalışma durumunda 5 farklı denetleyicinin (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi

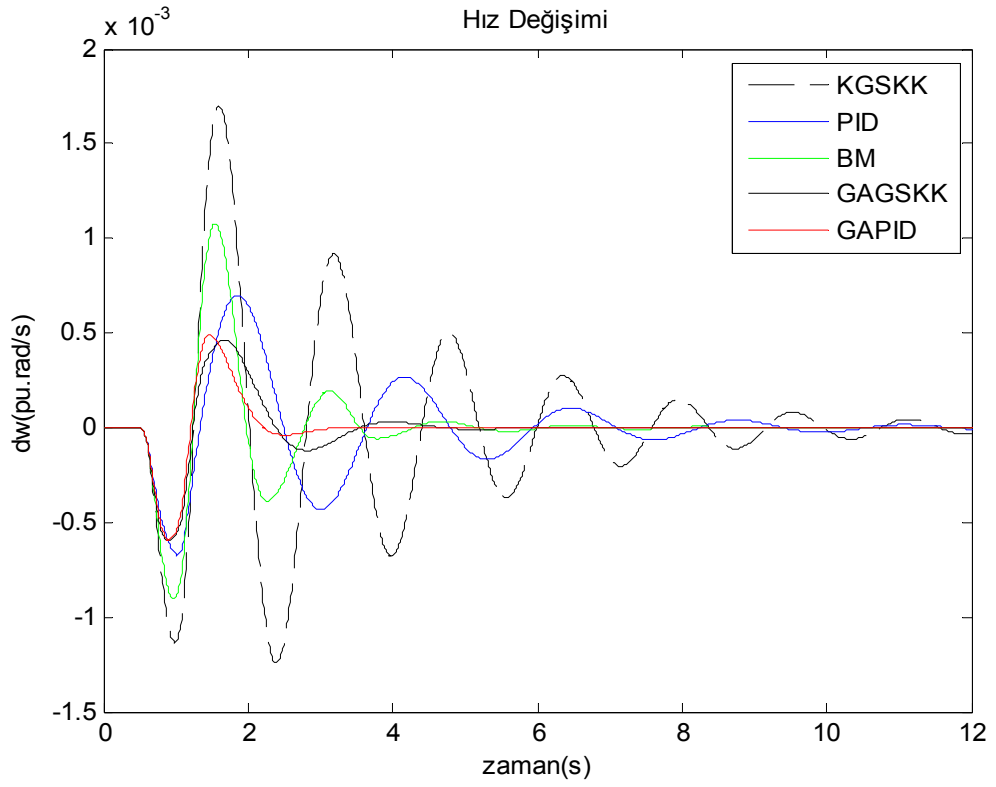


(a)

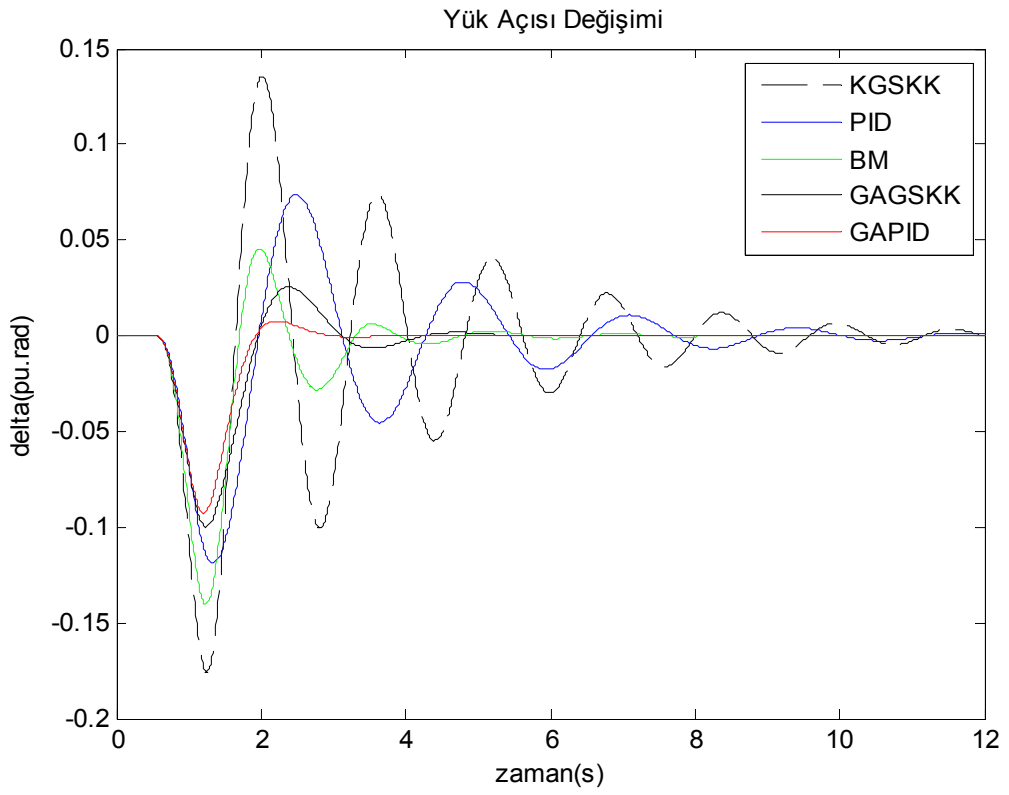


(b)

Şekil 4.49: ΔV_{ref} gerilimi bozucu etkisi meydana geldiğinde orta yük durumu için GAPID denetleyicisinin IAE ve ISE performans indeksindeki (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi

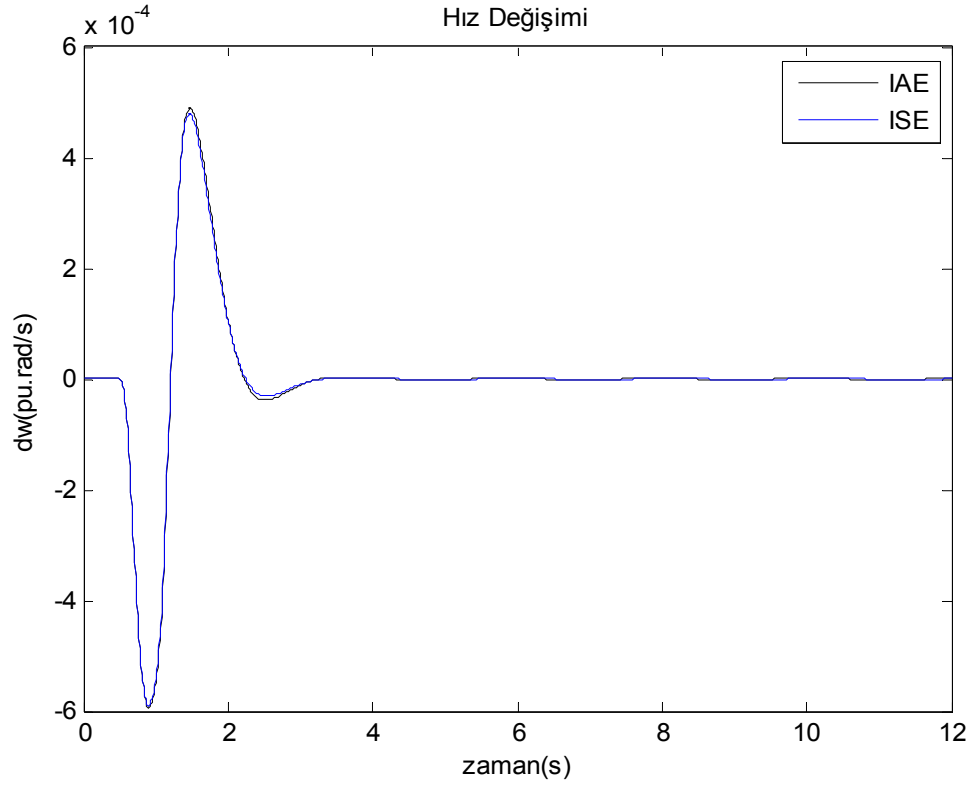


(a)

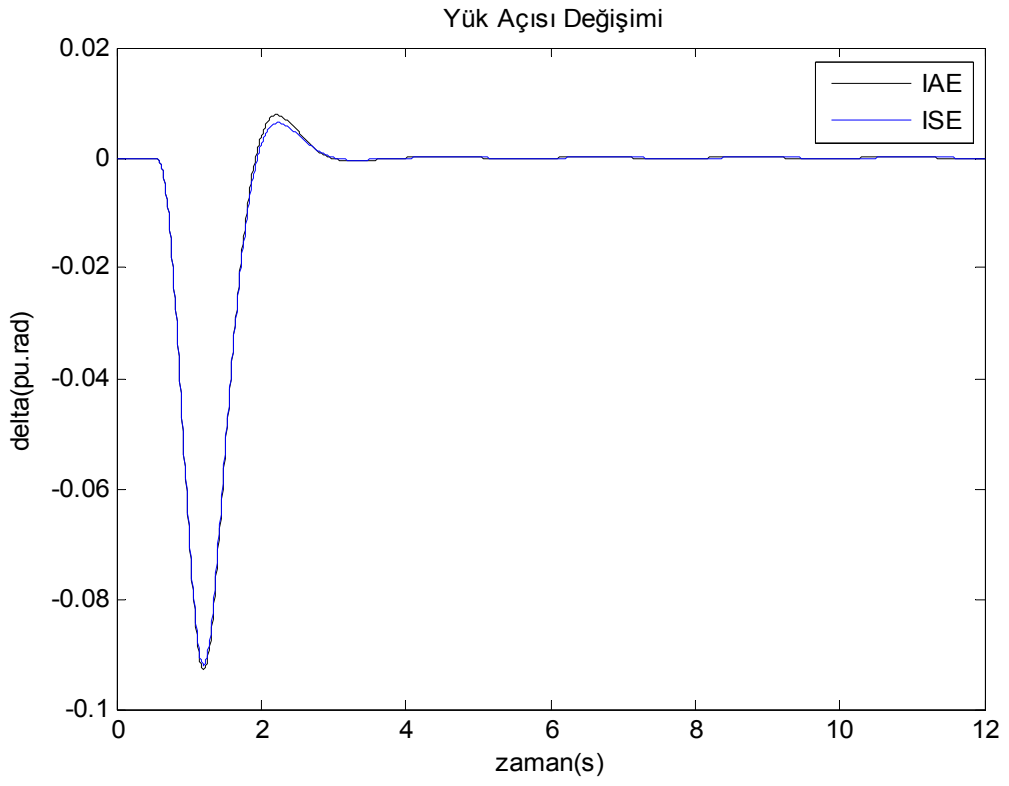


(b)

Şekil 4.50: ΔV_{ref} gerilimi bozucu etkisi meydana geldiğinde ağır yük çalışma durumunda 5 farklı denetleyicinin (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi

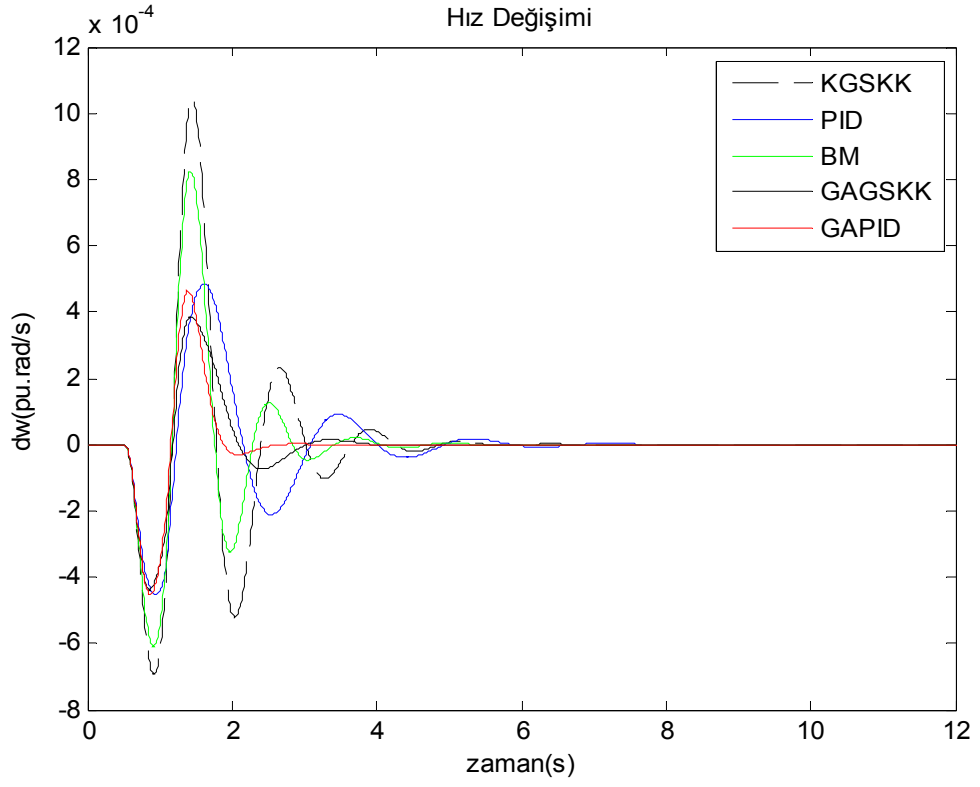


(a)

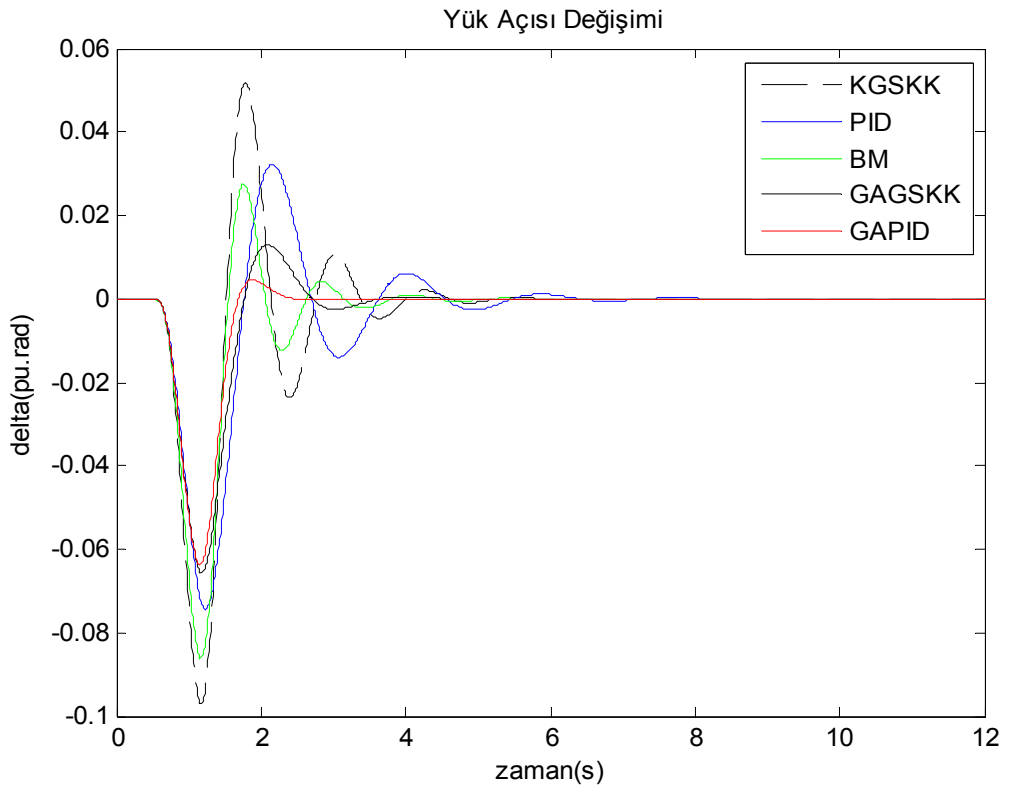


(b)

Şekil 4.51: ΔV_{ref} gerilimi bozucu etkisi meydana geldiğinde ağır yük durumu için GAPID denetleyicisinin IAE ve ISE performans indeksindeki (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi

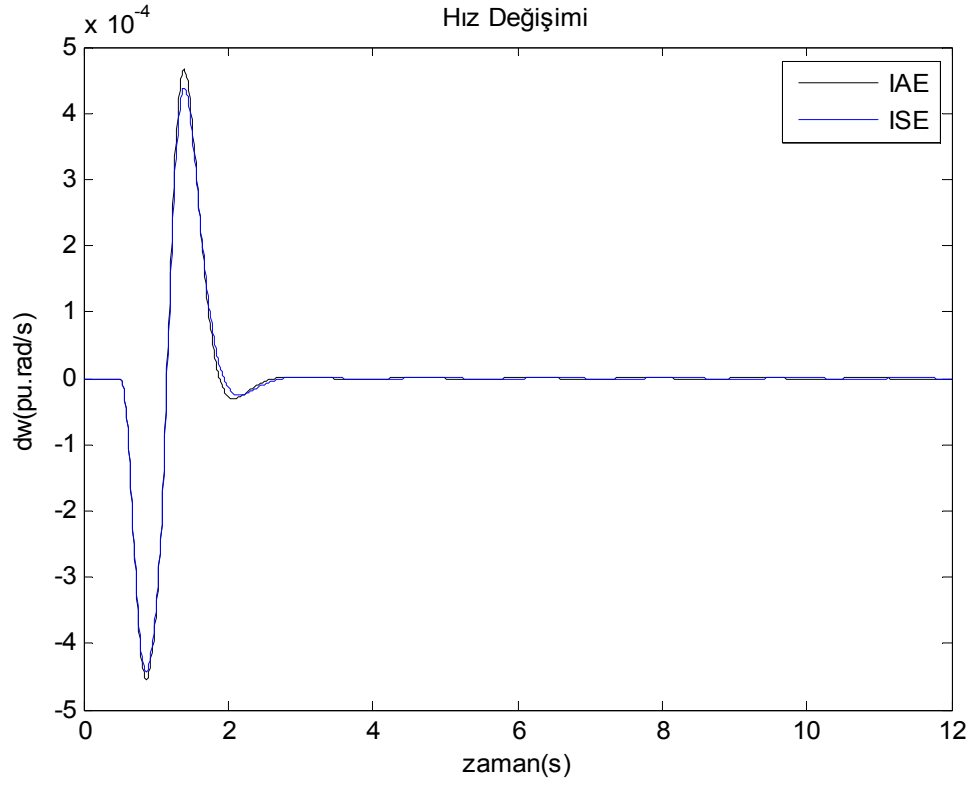


(a)

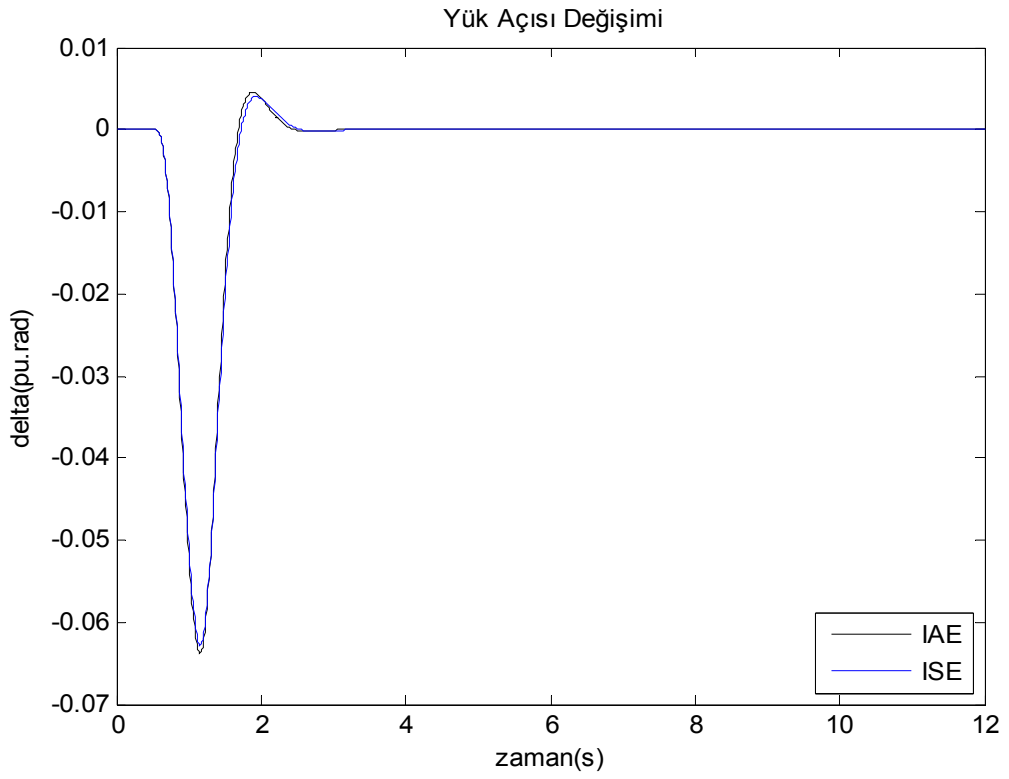


(b)

Şekil 4.52: ΔV_{ref} gerilimi bozucu etkisi meydana geldiğinde kapasitif yük çalışma durumunda 5 farklı denetleyicinin (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi



(a)



(b)

Şekil 4.53: ΔV_{ref} gerilimi bozucu etkisi meydana geldiğinde kapasitif yük durumu için GAPID denetleyicisinin IAE ve ISE performans indeksindeki (a) hız değişimi (b) yük açısı değişimi

Tüm çalışma koşulları için hem ΔT_m mekanik hem de ΔV_{ref} gerilimi girişlerinden bozucu etki uygulandığındaki karşılaştırmalı benzetim sonuçları Şekil 4.38 ve Şekil 4.53 arasında gösterilmektedir. Bu tez çalışmasında önerilen gerçel kodlu GAPID denetleyicisinin kullanılan diğer 4 farklı denetleyiciden daha iyi performans gösterdiği görülmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Elektrik güç sistemleri yüksek dereceden doğrusal olmayan yapıya sahip oldukları için meydana gelen bozucu etkiler sonrası sistemde oluşan düşük frekanslı salınımların sönümlenmesinde otomatik gerilim regülatörüne ek bir sinyal sağlaması için ilave denetleyici olarak güç sistemi kararlı kılıcılarını kullanılmaktadır. Güç sistemi kararlı kılıcılarını belirli bir çalışma noktasına göre tasarlanan sabit parametrelili denetleyicilerdir.

Güç sistemlerinde bir bozucu etki meydana geldiğinde oluşan salınımların mümkün olan en kısa zamanda ortadan kaldırılması istenir. Salınımların ortadan kaldırılarak arıza öncesi çalışma durumuna dönebilme süresi ne kadar kısa ise sistemin kararlılık performansı da o derece iyidir.

Bu tez çalışmasında tek makineli sonsuz baralı bir güç sisteminde farklı çalışma koşulları için ΔT_m mekanik güç ve ΔV_{ref} gerilim girişinden bozucu etkiler uygulanmıştır. Bozucu etkiler sonucu rotor hızı ve yük açısı değişimlerinde oluşan salınımların sönümlenmesi sağlamak amacıyla beş farklı denetleyicinin gösterdikleri performanslar karşılaştırılmıştır. İlk olarak tek makineli sonsuz baralı güç sistemine tüm çalışma koşulları için ΔT_m mekanik güç girişinden daha sonra ΔV_{ref} gerilim girişinden bozucu etkiler uygulanmıştır. Bozucu etki nedeniyle oluşan rotor hızı ve yük açısı değişimindeki salınımları sönümlenme ve sistemin arıza öncesi kararlı hale gelmesinde PID denetleyicisinin KGSKK'ya göre daha iyi performans gösterdiği görülmüştür.

BM denetleyicisi ile yapılan denetimde BM denetleyicisinin tüm çalışma koşullarında meydana gelen salınımların genliklerini KGSKK ve PID denetleyicisine göre daha kısa zaman içinde sönümlenmesinde daha etkili bir çözüm sağladığı göstermiştir.

Tüm çalışma koşulları için gerçel kodlu genetik algoritma kullanarak optimize edilmiş güç sistemi kararlı kılıcısını parametreleri tasarlanan GAGSKK denetleyicisi ile yapılan

denetimde BM, PID, KGSKK'ya göre sistemin arıza öncesi kararlı hale gelmesinde daha etkili olduğu görülmüştür.

Gerçel kodlu genetik algoritma kullanarak optimize edilmiş PID parametreleri ile tasarlanan GAPID denetleyicisi ile yapılan denetimde GAGSKK, BM, PID, KGSKK'ya göre bozucu etki sonrasında sistemin arıza öncesi kararlı hale gelmesinde daha iyi performans gösterdiği görülmüştür. GAPID denetleyicisi tasarlanırken iki farklı performans indeksinde uygunluk fonksiyonu değerlendirilmiştir. Tüm çalışma koşulları için ISE (integral squared error) performans indeksi ile tasarlanan GAPID denetleyicisi IAE (integral absolute error) performans indeksi ile tasarlanan GAPID denetleyicisinden arıza sonrasında sistemin kararlı hale gelmesi ve sistemde meydana gelen salınımları sönmlemede daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Önerilen yaklaşım çok makineli gerçek bir güç sistemi üzerinde test edilebilir.

Bozucu etkiler karşısında genetik algoritma dışında farklı sezgisel veya hibrid sezgisel algoritmalar kullanılıp PID parametrelerinin optimizasyonu yapılarak sistem performansının artırılmasına çalışılabilir.

Bunun yanı sıra PID denetleyici veya KGSKK ile BM denetleyici bir arada düşünülerek PID denetleyicisinin veya güç sistemi kararlı kılıcısının parametreleri sezgisel algoritmalar ile optimize edilerek hibrid bir denetleyici tasarımı yapılabilir.

Farklı sezgisel algoritmalarda uygunluk fonksiyonu olarak ITAE düşünülerek karşılaştırma yapılabilir.

Genetik algoritmanın gerçek zamanlı uygulaması yapılırken daha hızlı cevap vermesi amacıyla mikro genetik algoritma kullanılabilir.

Esnek AC iletim sistemi elemanları kullanılarak güç sistemi kararlı kılıcısı veya PID denetleyicisinin parametreleri farklı sezgisel algoritmalar ile optimize edilerek sistem performansı artırılabilir.

KAYNAKLAR

ABDELAZIM, T., MALIK, O. P., 2003, An adaptive power system stabilizer using on-line self-learning fuzzy systems, *IEEE Power Engineering Society General Meeting, 13-17 July 2003*, 1715-1720.

ABDEL-MAGID, Y. L., ABIDO, M. A., MANTAWY, A. H., 2000, Robust tuning of power system stabilizers multimachine power systems, *IEEE Transactions on Power Systems*, 15 (2), 735-740.

ABDEL-MAGID, Y. L., ABIDO, M. A., 2003, Optimal multiobjective design of robust power system stabilizers using genetic algorithms, *IEEE Transactions on Power Systems*, 18 (3), 1125-1132.

ABIDO, M. A., ABDEL-MAGID, Y. L., 1997, Tuning of a fuzzy logic power system stabilizer using genetic algorithm, *IEEE International Conference on Evolutionary Computation, 13-16 April 1997 Indianapolis*, 595-599.

ABIDO, M. A., ABDEL-MAGID, Y. L., 1997, Radial basis function network based power system stabilizers for multimachine power systems, *International Conference on Neural Networks, 9-12 June 1997 Houston*, 622-626.

ABIDO, M. A., ABDEL-MAGID, Y. L., 1998, A genetic-based power system stabilizer, *Electric Machines and Power Systems*, 26 (6), 559-571.

ABIDO, M. A., 2000, Robust design of multimachine power system stabilizers using simulated annealing, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 15 (3), 297-304.

AL-HABRI, W., AZZAM, M., CHAKLAB, M., AL-DHAHERI, S., LAMONT, L. A., FAISAL, S. F., ABDEL-MAGID, Y. L., Design of PID controller for power system stabilization using particle swarm optimization, *International Conference on Electric Power Energy Conversion System, 10-12 November 2009*.

AL-HINAI, A. S., AL-HINAI, S. M., 2009, Dynamic stability enhancement using particle swarm optimization power system stabilizer, *International Conference on Adaptive Science & Technology, Accra*, 117-119.

ALKANOĞLU, U., 2007, *Genetik algoritmalarla kısa dönem optimum ünite tahsisi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli Üniversitesi.

ARİFOĞLU, U., 2002, *Güç sistemlerinin bilgisayar destekli analizi*, Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd. Şti., İstanbul, 975-297-022-2.

BENBEHANI, H. M., BIALEK, J., LUBOSNY, Z., 2008, Enhancement of power system stability using fuzzy logic based supervisory power system stabilizer, *2nd IEEE International Conference on Power and Energy, 1-3 December 2008 Johor Baharu*, 479-484.

BERUBE, G. R., HAJAGOS, L. M., BEAULIEU, R., 1999, Practical utility experience with application of power system stabilizers, *IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 18-22 July 1999 Edmonton, Alta*, 104.109.

BOLAT, B., 2006, *Asansör kontrol sistemlerinin genetik algoritma ile simülasyonu*; Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi.

BOUZEBODJA, H., CHAKER, A., ALLALI, A., NAAMA, B., 2005, Economic dispatch solution using a real coded genetic algorithm, *Acta Electrotechnica et Informatica*, 5 (4), 1-5.

CANER, M., 2006, *Hiyerarşik fuzzy yöntemiyle senkron generatörlerde uyarım kontrolü*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi.

CHEN, C. J., CHEN, T. C., Ou, J. C., 2006, Power system stabilizer using a new recurrent neural network for multi-machine, *First International Power and Energy Conference PECon 2006 28-29 November 2006 Putrajaya*, 68-72.

DAS, T. K., VENAYAGAMOORTHY, G. K., 2008, Bio-inspired algorithms for the design of multiple optimal power system stabilizers: SPPSO and BFA, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 44 (5), 1445-1457.

DEMELLO, F. P., CONCORDIA, C., 1969, Concepts of synchronous machine stability as affected by excitation control, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-88 (4), 316-329.

DEMİRÖREN, A., ZEYNELGİL, L., 2004, *Elektrik Enerji Sistemlerinin Kararlılığı Kontrolü ve Çalışması*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 975-511-376-2.

DUBEY, M., 2008, Design of genetic algorithm based fuzzy logic power system stabilizers in multimachine power system, *Joint International Conference on Power System Technology and IEEE Power India Conference 2008, POWERCON 2008, 12-15 October 2008 New Delhi*, 1-6.

ELMAS, Ç., 2007, *Yapay zeka uygulamaları*, Seçkin Yayıncılık San. ve Tic. A.Ş., Ankara, 978-975-02-0614-6.

EMEL, G. G., TAŞKIN, Ç., 2002, Genetik algoritmalar ve uygulama alanları, *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 21 (1), 129-152.

ERDEM, A., 2007, *Bulanık mantık tabanlı kontrolör yardımı ile güç sistemi kararlı kılıcısı tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.

ESEN, M., 2006, *Bulanık mantık destekli güç akışı analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi.

FEILAT, E. A., 2007, Fast estimation of synchronizing and damping torque coefficient using an adaptive neural network, *42nd International Universities Power Engineering Conference, 4-6 September 2007 Brighton*, 1049-1053.

FERREIRA A. M. D., BARREIROS, J. A. L., BRITO-DE-SOUZA, J. R., 1998, Fuzzy power system stabilizer including a fuzzy PI controller, *UKACC International Conference on Control 98, 1-4 September 1998*, 865-870.

GLOVER, J. D., SARMA, M. S., OVERBYE, T. J., 2008, *Power system analysis and design*, By Thomson Learning, Part of the Thomson Corporation.

GONZALEZ, M. R., MALIK, O. P., 2008, Power system stabilizer design using an online adaptive neurofuzzy controller with adaptive input link weights, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 23 (3), 914-922.

GÜVENÇ, U., 2008, *Uyarlanabilir görüntü filtre tasarımı*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi.

HAMOUDA, R. M., IRAVANI, M. R., HACKAM, R., 1987, Coordinated static var compensators and power system stabilizers for damping power system oscillations, *IEEE Transactions on Power Systems*, PWRS-2 (4), 1059-1067.

HIYAMA, T., 1994, Robustness of fuzzy logic power system stabilizers applied to multimachine power system, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 9 (3), 451-459.

HUSSEIN T., ELSHAFEI, A. L., BAHGAT, A., 2007, Design of a hierarchical fuzzy logic pss for a multi-machine power system, *2007 Mediterranean Conference on Control and Automation, 27-29 July 2007 Athens*, 1-6.

HUSSEIN T., SAAD, M. S., ELSHAFEI, A. L., BAHGAT, A., 2008, Damping inter-area modes of oscillation using an adaptive fuzzy power system stabilizer, *16th Mediterranean Conference on Control and Automation Congress Centre, 25-27 June 2008 Ajaccio*, 368-373.

İNTERNET KAYNAĞI 1: <http://www.engin.umich.edu/group/ctm/PID/PID.html#hint> [Ziyaret Tarihi: 12 Mayıs 2010]

KARNIK, S. R., RAJU, A. B., RAVIPRAKASHA, M. S., 2009, Robust design of power system stabilizer using taguchi technique and particle swarm optimization, *Second International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, 16-18 December 2009 Nagpur*, 515-520.

KAYA, T., 2006, *Genetik algoritma ile sayısal filtre tasarımı*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Fırat Üniversitesi.

KAZEMI, A., MAHAMNIA, F., 2008, Improving of transient stability of power systems by supplementary controllers of UPFC using different fault conditions, *WSEAS Transactions on Power Systems*, 7 (3), 547-556.

KOTHARI, M. L., MADNANI, S., SEGAL, R., 1997, Orthogonal least squares learning algorithm based radial basis function (RBF) network adaptive power system stabilizer, *1997 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 12-15 October 1997 Orlando*, 542-547.

KUNDUR, P., 1993, *Power system stability and control*, Mc Graw-Hill, Inc., 978-0-07-035958-1.

KURU, L., 2005, *Nonlinear dinamik yük içeren güç sistemlerinde hopf çatalaşması sonucu oluşan kaotik olayların gerilim kararlılığına etkileri*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi.

KUŞÇU, H., *Otomatik kontrol*, http://hilmi.trakya.edu.tr/ders_notlari/Otomatik_kontrol/Otomatik_Kontrol_6_PID.pdf [Ziyaret Tarihi: 11 Mayıs 2010].

KÜÇÜKTEZCAN, F., 2008, *Genetik algoritma ile optimize edilmiş bulanık güç sistemi kararlı kılıcısının sistem kararlılığına etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.

LIU, W., VENAYAGAMOORTHY, G. K., SARANGAPANI, J., 2007, Comparisons of an adaptive neural network based controller and an optimized conventional power system stabilizer, *16th IEEE International Conference on Control Applications Part of IEEE Multi-conference on Systems and Control, 1-3 October 2007 Singapore*, 922-927.

MACHOWSKI, J., BIALEK, J. W., BUMBY, J. R., 2008, *Power Systems Dynamics Stability and Control*, John Wiley & Sons, Ltd, 978-0-470-72448-0.

MAJID, M. S., RAHMAN, H. A., JAIS, O. B., 2002, Study of fuzzy logic power system stabilizer, *2002 Student Conference on Research and Development Proceedings, Shah Alam*, 335-339.

MOODLEY G. V., JENNINGS, G. D., HARLEY, R. G., WISHART, M. T., 1996, Fuzzy logic power system stabilizer in multimachine stability studies, *4th IEEE AFRICON, 24-27 September 1996*, 843-848.

NALLATHAMBI, N., NEELAKANTAN, P. N., 2004, Fuzzy logic based power system stabilizer, *E-TECH 2004 31 July 2004*, 68-73.

NEŞE, S. V., 2008, *Enerji sistemlerinde bulanık mantık temelli güç sistemi kararlaştırıcısı uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi.

OONSIVILAI, A., MARUNGSRI, B., 2008, Stability enhancement for multimachine power system by optimal PID tuning of power system stabilizer using particle swarm optimization, *WSEAS Transactions on Power Systems*, 6 (3), 465-474.

ÖZTÜRK, A., 2007, *Güç sistemlerinde gerilim kararlılığının genetik algoritma ile incelenmesi*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi.

ÖZKOP, E., 2006, *Doğrusal hareketli asenkron motorun bulanık mantıkla kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi.

PANDA, S., 2009, Differential evolutionary algorithm for TCSC-based controller design, *Simulation Modelling Practice and Theory*, 17, 1618-1634.

RASHIDI, M., RASHIDI, F., MONAVAR, H., 2003, Tuning of power system stabilizers via genetic algorithm for stabilization of power systems, *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, 4649-4654.

SAMBARIYA, D. K., GUPTA, R., SHARMA, A. K., 2009, Fuzzy applications to single machine power system stabilizers, *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 5 (3), 317-324.

SARAÇOĞLU, H., 2007, *Enterkonnekte şebekede bulanık mantık algoritma ile çok alanlı otomatik üretim kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.

SEBAA, K., BOUDOUR, M., 2007, Robust power system stabilizers design using multi-objective genetic algorithm, *IEEE Power Engineering Society General Meeting, 24-28 June 2007 Tampa, FL*, 1-7.

SHARMA, A., KOTHARI, M. L., 2004, Neuro-fuzzy dual input power system stabilizer for a multi-machine system, *Power Systems Conference and Exposition, 10-13 October 2004 Jodhpur*, 1127-1133.

SHEETEKELA, S., FOLLY, K., MALIK, O. P., 2009, Design and implementation of power system stabilizers based on evolutionary algorithms, *IEEE AFRICON, 23-25 September 2009 Nairobi*, 1-6.

SHI, J., HERRON, L. H., KALAM, A., 1992, Comparison of fuzzy logic based and rule based power system stabilizer, *First IEEE Conference on Control Applications, 13-16 September 1992 Dayton*, 692-697.

SHI, J., HERRON, L. H., KALAM, A., 1992, A fuzzy logic controller applied to power system stabilizer for a synchronous machine power system, *IEEE Region 10 Conference, Tencon 92, 11-13 November 1992 Melbourne*, 346-350.

SUMATHI, N., SELVAN, M. P., KUMARESAN, N., 2007, A hybrid genetic algorithm based power system stabilizer, *International Conference on Intelligent and Advanced Systems 25-28 November 2007 Kuala Lumpur*, 876-881.

SUMINA D., IDZOTIC, T., ERCEG, G., 2006, The appliance of the estimated load angle in the fuzzy power system stabilizer, *IEEE MELECON, 16-19 May 2006 Malaga*, 1020-1023.

TABAKOĞLU, B., 2009, *Üç alanlı güç sisteminde genetik algoritma ile otomatik üretim kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi.

YAĞSAN, O., 2006, *Bir operatörsüz vinç için PID ve genetik algoritma temelli minimum salınımlı konum kontrolü*, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yıldız Teknik Üniversitesi.

YALÇINÖZ, T., ALTUN, H., UZAM, M., 2001, Economic dispatch solution using a genetic algorithm based on arithmetic crossover, *IEEE Porto Power Tech. Conference, 10-13 September Porto*.

YILMAZ, A. S., EŞİYOK, E., YANIKOĞLU, E., 1998, An analysis of relative performance of state variables in the design of power system stabilizer through neural networks, *Mediterranean Electrotechnical Conference MELECON 98, 18-20 May 1998 Tel-Aviv*, 1052-1056.

YOUSSEF, M. Z., JAIN, P. K., MOHAMED, E. A., ORABI, M., , A neuro-optimal control power system stabilizer: a comparative study, *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2-5 May 2004*, 55-60.

ZADEH, L. A., 1965, Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8, 338-353.

ZEYVELİ, M., 2005, *Genetik algoritma ile hız kutusu dişli tasarımı*, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi.

ZHANG, Y., CHEN, G. P., MALIK, O. P., HOPE, G. S., 1993, An artificial neural network based adaptive power system stabilizer, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 8 (1), 71-77.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : DUMAN, Serhat
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 01.09.1981 Bandırma
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 (380) 542 11 33
Faks : 0 (380) 542 11 34
e-mail : serhatduman@duzce.edu.tr, serhatduman81@hotmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Düzce Üniversitesi/ Elektrik Eğitimi Bölümü	2008
Önlisans	Afyon Kocatepe Üniversitesi MYO/Elektrik	2000
Lise	Recep Gençer Endüstri Meslek Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-Halen	Düzce Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Futbol, Bilgisayar teknolojileri, Seyahat etmek, Kitap okumak