

GENETİK ALGORİTMA İLE
FUZZY PSS'İN KURAL TABLOSU
OPTİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UĞUR GÜLSEREN

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Murat CANER

ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2010

**AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GENETİK ALGORİTMA İLE FUZZY PSS'İN KURAL TABLOSU
OPTİMİZASYONU**

UĞUR GÜLSEREN

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Murat CANER

ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ, 2010

ONAY SAYFASI

Yrd. Doç. Dr. Murat CANER danışmanlığında,
Uğur GÜLSEREN tarafından hazırlanan
“Genetik Algoritma İle Fuzzy Pss’in Kural Tablosu Optimizasyonu” başlıklı bu çalışma,
lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri
uyarınca

12 / 07 / 2010

tarihinde aşağıdaki jüri tarafından
Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında
Yüksek Lisans tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Ünvanı, Adı, SOYADI

İmza

Başkan : Prof. Dr. Hasan ÇİMEN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Murat CANER

Üye : Yrd. Doç. Dr. Uçman ERGÜN

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
...../...../..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Doç.Dr. Rıdvan ÜNAL
Enstitü Müdürü

ÖZET	v
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	4
2.1. Kararlılık	4
2.1.1. Rotor Açısı Kararlılığı	5
2.1.2. Güç Açısı Bağıntısı	6
2.1.3. Kararlılık Olayı	8
2.1.3.1. Küçük İşaret Kararlılığı	10
2.1.3.1.1. Dinamik hal kararlılığı	11
2.1.3.1.2. Sürekli hal kararlılığı	12
2.1.3.2. Geçici (transient) hal kararlılığı	12
2.2. Literatür Özeti	14
3. MATERYAL VE METOD	18
3.1. Senkron Generatör Modeli	18
3.1.1. Simülasyonlarda Kullanılan Senkron Generatörün Modellenmesi	18
3.2. Güç Sistem Stabilizatörü (PSS)	21
3.3. Fuzzy Güç Sistem Stabilizatörü (FPSS)	23

3.3.1. Fuzzy (Bulanık)’nin Tarihi ve Önemi	24
3.3.2. Fuzzy Kontrolün Yapısı ve İşleyişi	25
3.3.2.1. Bulanıklaştırma	26
3.3.2.2. Bulanık Çıkarım	26
3.3.2.3. Durulaştırma	27
3.3.2.4. Kontrol Değişkenlerinin Seçimi	27
3.3.2.5. Üyelik Fonksiyonunun Tanımlanması	27
3.3.3. Fuzzy Sistemlerin Çeşitleri	29
3.3.4. Mamdani Tipi Fuzzy Sistemi	29
3.3.4.1. Mamdani Tipi Fuzzy Kontrolörün İşleyişi ve Voltaj Kontrol Örneği ile Açıklanması	30
3.3.4.2. Ve/Veya ‘Min/Max’ Kuralı	33
3.3.4.3. Anlamlı Kılma ‘Implication’ Kuralı	33
3.3.4.4. Birleştirme ‘Aggregation’ Kuralı	34
3.3.4.5. Durulaştırma ‘Defuzzification’ Kuralı	34
3.3.5. Sugeno (TSK) Tipi Fuzzy Sistemi	35
3.4. Genetik Algoritma İle Optimizasyon	36
3.4.1. Tanımı	36
3.4.2. Genetik Algoritmanın Basamakları	39
3.4.2.1. Uygunluk Fonksiyonunun Oluşturulması	40
3.4.2.2. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması	40
3.4.2.3. Uygunluk Fonksiyonu Değerinin Hesaplanması	41

3.4.2.4. Genetik Algoritma Operatörleri	42
3.4.2.4.1. Elitizm	42
3.4.2.4.2. Seçim	43
3.4.2.4.2.1. Rulet Tekerleği Seçimi	43
3.4.2.4.3. Çaprazlama	44
3.4.2.4.3.1. Tek Noktalı Çaprazlama	45
3.4.2.4.4. Mutasyon	45
3.4.2.4.4.1. Ters Çevirme Yöntemi	46
3.4.3. Genetik Algoritmanın Sonlandırma Şartları	46
3.4.4. Basit Genetik Algoritma	47
3.4.4.1. Başlangıç Popülasyonun Oluşturulması	48
3.4.4.2. Uygunluk Değerinin Hesaplanması	48
3.4.4.3. Seçim Operatörünün Uygulanması	49
3.4.4.4. Çaprazlama Operatörünün Uygulanması	49
3.4.4.5. Mutasyon Operatörünün Uygulanması	50
3.4.4.6. Oluşan Yeni Popülasyon	50
3.4.5. Genetik Algoritma Programı Matlab Kodu ve Açıklaması	50
3.4.5.1. Genetik Programın Açıklaması	52
3.4.5.1.1. Fitness (Uygunluk) Fonksiyonun Kullanıldığı Bölüm	55
3.4.5.1.2. Seçim İşlemiyle Ebeveyn Kromozomun Oluşturulduğu Bölüm	58

3.4.5.1.3. Randomize Şekilde Çaprazlama Kullanılarak Yeni Jenerasyonun (Child) Oluşturulduğu Bölüm	58
3.4.5.1.4. Mutasyon Bölümü	59
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	62
4.1. PSS'siz Güç Sistem Modeli Simülasyonu	62
4.2. Sistem Performansının Sayısal Olarak Değerlendirilmesi	64
4.3. PSS'li Güç Sistem Modeli Simülasyonu	65
4.4. FPSS'li Güç Sistem Modeli Simülasyonu	68
4.4.1. Simülasyonda Kullanılan FPSS'in Oluşturulması	69
4.4.2. FPSS İle Yapılan Simülasyon Sonuçları	71
4.5. Genetik Algoritma İle FPSS Kural Tablosu Optimizasyonu	74
5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME	78
6. KAYNAKLAR	81
7. ÖZGEÇMİŞ	85

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GENETİK ALGORİTMA İLE FUZZY PSS'İN KURAL TABLOSU OPTİMİZASYONU

Uğur GÜLSEREN

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Eğitimi Anabilim dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Murat CANER

Güç sistemleri karmaşık ve nonlinear sistemlerdir. Bu yüzden bu sistemlerde sık sık olumsuz çalışma koşulları nedeniyle düşük frekanslı elektromekanik osilasyonlar oluşmaktadır.

Bu tezde generatör rotor açısı kararlılığını koruyarak düşük frekanslı elektromekanik osilasyonların sönümlendirilmesi ve generatör uyarım kontrol sisteminin dinamik performansının artırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla literatürde daha önce Fuzzy Güç Sistem Stabilizatörü (FPSS) için geliştirilen beş adet kural tablosu incelenmiş ve bunlardan yararlanılarak genetik algoritma ile FPSS'in kural tablosu optimizasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon çalışmaları için Matlab programı kullanılmıştır. Kontrolörün etkinliğini test etmek amacıyla genetik algoritma ile kural tablosu optimize edilen FPSS'in simülasyon sonuçları ile beş adet kural tablosunu kullanan FPSS simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır.

Simülasyon çalışmaları sonucu elde edilen çıkış gerilimi, güç açısı, elektriksel çıkış momenti, açısal hız parametrelerinin zamana göre değişimleri karşılaştırmalı olarak gösterilmiş. Elde edilen sonuçlardan Genetik Güç Sistem Stabilizatörünün (GPSS) performansının FPSS'e göre daha iyi olduğu görülmüştür.

2010, 85 Sayfa

Anahtar kelimeler: Senkron generatör, Fuzzy, Genetik algoritma

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

THE OPTIMIZATION OF FUZZY PSS'S RULE TABLE USING GENETIC ALGORITHM

Uğur GÜLSEREN

Afyon Kocatepe University
Institute for the Natural and Applied Sciences
Electric Education Department

Supervisor: Murat CANER Ph.D., Assistant Professor

Power systems are generally complex and non-linear systems. So, because of negative working conditions, low frequency electromechanic oscillations often come into existence.

In this thesis, it is focused on damping the low frequency electromechanic oscillations by using the stability of the generator rotor angle and increasing dynamic performance of generator excitation systems. Therefore it was examined five pieces of rules table which were developed for fuzzy logic power system stabilizers (FPSS) used in literature before, and FPSS's rule table optimization was done by using genetic algorithm. Matlab program was used for simulation studies. To test the effectiveness of the controller, the simulation results of FPSS whose rule table was optimized using genetic algorithm were compared with the simulation results of FPSS which use the five pieces of rule tables.

It is shown comparatively the output voltage, power angel, electrical output moment and changes of angular speed parameters due to time that were gained with simulation studies. Due to the results gained it is seen that the performance of GPSS (Genetic Power System Stabilizer) is better then FPSS.

2010, 85 sayfa

Anahtar Kelimeler: Synchronous Generator, Fuzzy, Genetic Algorithm

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde yapmış olduğu çok değerli katkı ve yönlendirmeler ile bana büyük destek veren ve elinden gelen yardımı esirgemeyen kıymetli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat CANER' e en içten teşekkürlerimi sunarım.

Tezin hazırlanması safhasında manevi desteğini esirgemeyen, çalışmalarımnda bugünlere gelmemi sağlayan çok kıymetli eşime en içten teşekkürlerimi sunarım.

Uğur GÜLSEREN
Afyonkarahisar, 2010

SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ

1. Simgeler

D	Sönüm katsayısı
delta	Güç/yük açısı
dTe	Elektriksel çıkış momentinin türevi
du	İlk fuzzy altsistemin çıkışı
dw	Senkron generatörün açısal hızı
E_B	Sonsuz bara gerilimi
E'	Generatör gerilimi
E_M	Motor iç gerilimi
E_{T1}	Generatör uç gerilimi
E_{T2}	Rotor uç gerilimi
F	Frekans
$F(x)$	Uygunluk Fonksiyonu:
G	Generatör
E_G	Generatör iç gerilimi
G_{uyar}	Ziegler Nichols yöntemine göre elde edilen kazanç değeri
H	Eylemsizlik momenti
I	Hat akımı
$ITp1(22)$	Güç açısı eğrisinin altında kalan alanın matlab ortamında toplamı
I_t	Hat akımı
K	Uygunluk fonksiyonunun negatif olmasına engel olacak kadar büyük bir sabit sayı
K_1	Senkronlama moment katsayısı
K_2	Alan akımı değişimi ile elektriksel moment değişiminin ilişkisini belirten katsayı
K_3	Empedans faktörü parametresi
K_4	Yük açısı değişimi ve K_3 yoluyla alan akı değişimi arasındaki bağlantıyı yapan katsayı
K_5, K_6	Generatöre alan devresi dinamiklerinin ilavesiyle oluşan linearizasyon sabitleri
K_A, K_a, K_{ae}	Gerilim regülatörü içerisindeki yükseltici bloğu kazanç sabiti

K_{c1}	FPSS kontrolöründe kontrolör çıkış değişkeni için ölçekleme katsayısı
K_s	Senkronizasyon moment katsayısı
K_D	Sönüm moment katsayısı
K_{de}	FPSS kontrolöründe açısal hızın türevi giriş değişkeni için ölçekleme katsayısı
K_e	FPSS kontrolöründe açısal hız giriş değişkeni için ölçekleme katsayısı
K_{stab}	PSS'in kazanç sabiti
m	Her fuzzy giriş değişkeni için tanımlanan üyelik fonksiyonundaki fuzzy küme sayısı
M	Motor
P	Güç açısı
t	Zaman
T_e	Senkron makinenin elektriksel momentindeki değişim
$T1, T2$	PSS içerisindeki dinamik kompanzatörün zaman sabitleri
$T3, T4$	PSS içerisindeki dinamik kompanzatörün zaman sabitleri
$T3$	Yüklü durumdaki alan zaman sabiti
T_A, T_a, T_{ae}	Gerilim regülatörü içerisindeki yükseltici bloğu zaman sabiti
T_e	Generatörden alınan elektriksel çıkış momenti
T_m	Generatöre verilen mekanik giriş momenti
T_D	Sönüm moment katsayısı
T_{do}	Açık devre d ekseni geçici ve geçici hal öncesi zaman sabitleri
T_R	Gerilim transdüseri zaman sabiti
T_S	Senkronlayıcı moment katsayısı
T_w	PSS içerisindeki sinyal temizleyici bloğunun zaman sabiti
V_f	Uyartım gerilimi
V_F	Uyartım sistem stabilizatörünün çıkış işareti
$+V_{pss}, -V_{pss}$	PSS içerisindeki sınırlayıcı bloğu katsayıları
V_R	Gerilim regülatörü çıkış işareti
V_{REF}, V_{ref}	Referans gerilim değeri
V_{RMAX}, V_{RMIN}	Yükseltici çıkışında kullanılan doyma limitleri
V_S	PSS'in çıkış işareti, stabilize edici sinyal
V_T, V_t	Senkron generatör çıkış gerilimi

X_e, x_e	Generatörün sonsuz baraya bağlandığı reaktans
X_L	İletim hattı endüktif reaktansı
X_d	Makine endüktif reaktansı
X_E	Hat endüktif reaktansı
X_d	d eksenli senkron, geçici hal ve geçici hal öncesi reaktansları
X_e, x_e	Generatörün sonsuz baraya bağlandığı reaktans
X_q	q eksenli senkron geçici hal ve geçici hal öncesi reaktansları
X_G	Generatör endüktif reaktansı
X_M	Motor endüktif reaktansı
X_T	Toplam endüktif reaktans
ω	Generatörün açısal hızı
ω_0	Nominal hız
ω_e	Elektriksel açısal dönüş hızı
ω_m	Mekanik açısal dönüş hızı
δ	Güç (rotor) açısı
δ_G	Generatör iç açısı
δ_L	Generatör ve motor uç gerilimleri arasındaki açısal fark
δ_M	Motor iç açısı
f_i	Sugeno tipi fuzzy sisteminin çıkış fonksiyonu
$\Delta\omega$	Açısal hız değişimi , Rotor hız sapması
δ	Generatör ve motor rotorları arasındaki açısal fark
$\Delta\delta$	Güç/Yük açısı değişimi
ΔT_e	Elektriksel çıkış momenti değişimi
ΔT_M	Mekanik tork artışı
ΔU_{pss}	PSS çıkış işareti
$\Delta\omega$	Açısal hız değişimi
$\Delta\omega_r$	Hız sapması
$\Delta\psi_{fd}$	Hava boşluğundaki manyetik akı
ζ	Sönüm katsayısı
θ	Generatör milinin dönme açısı, açısal konum değiştirme miktarı

$\mu_{Ai}(x)$	x girişine ait üyelik derecesi
$\mu_{Bi}(y)$	y girişine ait üyelik derecesi
μ_f	Üyelik fonksiyonu

2. Kısaltmalar

A/D	Analog Dijital Dönüştürücü
D/A	Dijital Analog Dönüştürücü
GA	Genetik Algoritma
PSS	Power System Stabilizer (Güç Sistem Stabilizatörü)
GPSS	Genetic Power System Stabilizer (Genetik Güç Sistem Stabilizatörü)
FPSS	Fuzzy Logic Power System Stabilizer (Bulanık Güç Sistem Stabilizatörü)
YGDA	Yüksek Gerilimli Doğru Akım Dönüştürücüsü
GFPSS	Genetik Tabanlı Fuzzy Güç Sistem Stabilizatörü
FLC	Fuzzy Logic Kontrolör
DNA	Deoksi Ribo Nükleik Asit
AVR	Otomatik Voltaj Regülatörü

ŞEKİLLER DİZİNİ

		Sayfa No
Şekil 2.1	İki senkron makineden oluşan sistem	6
Şekil 2.2	Sistemin tek hat şeması	7
Şekil 2.3	Generatör ve motor gerilimleri arasındaki ilişkiyi gösteren fazör diyagramı	8
Şekil 2.4	Senkron makinenin kararlı ve kararsız durumları	13
Şekil 3.1	Tek makineli sonsuz baralı sistem	18
Şekil 3.2	Mekanik çevrim	19
Şekil 3.3	Sabit Uyarım gerilimi için generatör modeli	20
Şekil 3.4	AVR+uyarıcılı sistem modeli	21
Şekil 3.5	AVR ve PSS’li Tristör Uyarım Sistemi	22
Şekil 3.6	Fuzzy kontrolörün bölümleri	25
Şekil 3.7	Fuzzy Kontrolör İç Yapısı	25
Şekil 3.8	Yedi kümeye sahip üçgen tipi üyelik fonksiyonu	28
Şekil 3.9	Üyelik fonksiyonlarında kullanılan farklı küme şekilleri	29
Şekil 3.10	Fuzzy örneği giriş değişkenlerine ait üyelik fonksiyonları	31
Şekil 3.11	İkinci kuralda çıkış üyelik fonksiyonunda anlamlı kılma işlemi sonunda elde edilen bulanık değer	33
Şekil 3.12	Üçüncü kuralda çıkış üyelik fonksiyonunda anlamlı kılma işlemi sonunda elde edilen bulanık değer	34
Şekil 3.13	Birleştirme işlemi sonunda elde edilen fuzzy sonuç kümesi	34
Şekil 3.14	Genetik Algoritmanın Basamakları	39
Şekil 3.15	Rulet Tekerleği Gösterimi	44
Şekil 3.16	Tek noktalı çaprazlama	45
Şekil 3.17	Ters Çevirme Yöntemi	46
Şekil 3.18	$f(x) = -x^2 + 30x$ fonksiyonunun maksimumunu bulurken genetik algoritma basamaklarının kullanılması	47
Şekil 3.19	Rastgele Oluşturulan Başlangıç Popülasyonu	48
Şekil 3.20	Her Bir Bireyin Uygunluk Değeri	48
Şekil 3.21	Seçim Operatörüyle Seçilen Bireyler	49
Şekil 3.22	Çaprazlama Operatörüyle Seçilen Bireyler	49

Şekil 3.23	Mutasyon Operatörüyle Seçilen Bireyler	50
Şekil 3.24	Oluşan Yeni Nesil	50
Şekil 3.25	Fuzzy kural ifadelerine (1-7) arasındaki sayıların verilmesi	51
Şekil 3.26	Genetik algoritma programıyla elde edilen fis kuralları	61
Şekil 4.1	PSS'siz Güç Sistem Modeli	63
Şekil 4.2	PSS'siz sistemin 'Vt', 'delta', 'Te', 'dw' değerleri için elde edilen simülasyon sonuçları	64
Şekil 4.3	AVR ve PSS'li Güç Sistem Modeli	66
Şekil 4.4	PSS'li sistemin 'Vt', 'delta', 'Te', 'dw' değerleri için elde edilen simülasyon sonuçları	67
Şekil 4.5	Temel Uyarım Sistem Modeli	68
Şekil 4.6	FPSS'li Güç Sistem Modeli	69
Şekil 4.7	Fuzzy kontrolöre ait giriş ve çıkış değişkenlerine ait ölçekleme katsayıları	70
Şekil 4.8	' $\Delta\omega$ ' giriş değişkenine ait üyelik fonksiyonu	70
Şekil 4.9	' $\Delta\alpha$ ' de giriş değişkenine ait üyelik fonksiyonu	70
Şekil 4.10	' ΔU_{PSS} ' çıkış değişkenine ait üyelik fonksiyonu	71
Şekil 4.11	FPSS'in tasarımında kullanılan kurallar	71
Şekil 4.12	İki FPSS (m3, cy2003) kural tablosu 'Vt', 'delta', 'Te', 'dw' çıkış eğrilerinin karşılaştırması	73
Şekil 4.13	'm3', 'cy2003' ve 'gpss' için 'Vt', 'delta', 'Te', 'dw' çıkış eğrileri karşılaştırması	76

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1	Dilsel değişkenlerin isimlendirilmesi	28
Çizelge 3.2	İki giriş ve üçer dilsel değişkene sahip örneğe ait kural tablosu	32
Çizelge 3.3	Örnek fuzzy kural tablosu	32
Çizelge 3.4	Yedi bireye sahip popülasyon	41
Çizelge 4.1	Simülasyon Parametreleri	63
Çizelge 4.2	Çalışma Durumları	63
Çizelge 4.3	PSS'siz sistemin 'Vt', 'delta', 'Te', 'dw' değerleri için IAE değerleri	65
Çizelge 4.4	PSS Parametreleri	66
Çizelge 4.5	PSS'li sistemin 'Vt', 'delta', 'Te', 'dw' değerleri için IAE değerleri	67
Çizelge 4.6	FPSS 'm3' isimli kural tablosu	72
Çizelge 4.7	FPSS 'table1' isimli kural tablosu	72
Çizelge 4.8	FPSS 'table3' isimli kural tablosu	72
Çizelge 4.9	FPSS 'table4' isimli kural tablosu	72
Çizelge 4.10	FPSS 'cy2003' isimli kural tablosu	73
Çizelge 4.11	İki FPSS (m3, cy2003) kural tablosu 'Vt', 'delta', 'Te', 'dw' çıkış değerleri için IAE değerleri karşılaştırması	73
Çizelge 4.12	İki FPSS (m3, cy2003) kural tablosu ile 'gpss' için 'Vt', 'delta', 'Te', 'dw' IAE değerleri karşılaştırması	75
Çizelge 4.13	İki FPSS (m3, cy2003) kural tablosu ile 'gpss' için 'Vt', 'delta', 'Te', 'dw' uygunluk değerleri karşılaştırması	75
Çizelge 4.14	Genetik programla oluşturulmuş kural tablosu kural tablosu 'Te' uygunluk değerlerinin karşılaştırması	76

1. GİRİŞ

Güç sistemleri karmaşık nonlinear sistemlerdir. Güç sistemlerinde sık sık olumsuz çalışma koşulları nedeniyle düşük frekanslı elektromekanik osilasyonlar oluşmaktadır (Lu vd 2001).

Elektrik güç sistemlerinin artan karmaşıklığına bağlı olarak bu tür sistemlerin stabilizasyonuna artan bir ilgi vardır. Güç sistemlerinin dinamik dengesini geliştirmek için ek uyarım kontrol sinyallerinden yararlanılması ve bozulmalara bağlı olan düşük frekanslı osilasyonların azaltılması ilgi çekmektedir (Abido ve Abdel-Magid 1997).

İlk aşamada güç sistemlerinin dinamik dengesini korumak için Otomatik Voltaj Regülatörü (AVR, Automatic Voltage Regulator) geliştirilmiştir. AVR'nin görevi sistemin çalışması esnasında meydana gelen gerilim kararsızlıklarını sönümlendirmektir. Gerilim kararsızlıklarının sönümlendirilmesinde AVR'nin yeterli gelmediği durumlarda ek uyarım kontrol sistemlerinden yararlanılmıştır. Ek uyarım kontrol sistemlerinin temel işlevi, generatörün uyarmasını yardımcı işaretler kullanarak kontrol etmektir. Sönümü sağlamak için rotor hız sapmasıyla aynı fazda bir elektriksel moment bileşeni üretirler. Ek uyarım kontrol sistemleri için ilk önce Güç Sistem stabilizatörü (PSS) geliştirilmiştir.

PSS küçük osilasyonların sönümlendirilmesinde kullanılır ve belirli bir çalışma noktası etrafında lineerize edilmiş sistem modelini temel alarak tasarlanırlar. PSS bu yapısı ve parametreleri nedeniyle dizayn edildiği çalışma noktası için optimal performans sağlar. En sık kullanılan PSS lead-lag kompanzatör yapısındadır. Bu kompanzatörün kazanç katsayıları bazı çalışma noktaları için ayarlanarak kontrol performansı bu ayarlanan çalışma noktaları için optimize edilebilir. Yani güç sistemi konfigürasyonu değiştikçe optimum performans için PSS parametreleri de değiştirilmelidir (Lakshmi ve Khan 2000). Ancak güç sisteminin çalışma koşulları çok farklılık gösterebilir. Bundan dolayı PSS'in performansı, çalışma noktasının değişmesi durumunda stabilizatörün sabit parametrelerinden dolayı azalır. Bu problemlerin çözümünde Adaptif kontrol algoritması kullanan alternatif kontrolörlerin önerilmiştir fakat çoğu adaptif kontrolörün

tasarımı sistem modelinin gerçek zamanlı parametre tanımlamasına dayanır. Bu da oldukça zaman alıcı bir hesap yükü içerir. (Abido ve Abdel-Magid 1997).

Bulanık Mantık Güç Sistem Stabilizatörü'nde (FPSS) kontrol edilen sistem parametreleri ve çalışma koşullarının değişiminden dolayı kontrolör performansı önemli ölçüde etkilenmez. Basit yapısı nedeniyle gerçekleştirilmesi kolaydır. Kontrol edilen sistemin matematiksel modeline gerek duymaz. Ayrıca FPSS A/D ve D/A dönüştürücü mikroişlemci kullanılarak kolayca düzenlenebilir (Abido ve Abdel-Magid 1997).

Bu avantajları nedeniyle çok tercih edilmiştir. Buna karşın uzman deneyimine bağlı bilgiye gereksinim duyması ve bu bilginin zor elde edilmesi, parametrelerinin deneme yanılma yoluyla elde edilmesi FPSS uygulamasındaki kısıtlamalardır (Wen vd 1998).

Ayrıca üyelik fonksiyonlarının üretilmesi ve ölçekleme faktörlerinin seçimi deneme yanılma ya da uzmanlar yoluyla yapılır. Bugüne kadar fuzzy kontrol stratejilerinin formülasyonu için genellenmiş bir metod yoktur ve tasarım özel bir deneme yanılma uygulaması olarak kalır. Bu da fuzzy lojik kontrolör tasarımını zahmetli ve zaman alıcı hale getirir (Abido ve Abdel-Magid 1997).

Diğer taraftan genetik algoritmalar (GA) en uygun olanın yaşaması ve doğal seleksiyon prensibine dayanan optimizasyon algoritmalarıdır. GA'nın prensipleri ilk olarak doğal ve yapay sistemlerde adaptasyon isimli çalışmasında Holland tarafından takdim edilmiştir (Holland 1975).

Genetik algoritmalar, verilen problemin çözümünü uygun olarak temsil edebilecek bireylerin nüfusu ile çalışırlar. Her birey için bir uygunluk değeri tayin edilir. Bu uygunluk değeri probleme göre değişmektedir. Burada amaç problem çözümü için en iyi sonucu verebilecek değerleri kullanmaktır. Diğer bireylerle çaprazlanarak, yüksek uygunluğa sahip bireylere yeniden üreme fırsatı verilir. Böylece bazı özelliklerini ailelerinden almış yeni bireyler üretilir. Diğer taraftan en az uygunluğa sahip olan bireylerin yeniden üreme için seçilme şansları çok azdır. Genetik algoritmalar, bir

problem için global optimum çözümü bulmayı garanti etmez ama kabul edilebilir iyi sonuçlar bulmada genellikle başarılıdırlar (Bolat 2006).

Bu özelliklerinden dolayı genetik algoritma FPSS parametrelerinin optimize edilmesinde kullanılabilir.

Hazırlanan tezin giriş bölümünde elektrik enerjisi sisteminin kararlılığı üzerinde durulmuş. Senkron generatörlerde normal çalışma durumunda ortaya çıkabilecek kararsızlık durumları maddeler halinde açıklamalı olarak anlatılmıştır.

Materyal metod bölümünde tez çalışmasında kullanılacak olan senkron generatörün matematiksel modeli çıkartılmış. Senkron generatörün uyartım kontrolüne yardımcı olan güç sistem stabilizatörü (PSS) anlatılmıştır. Daha sonra fuzzy yapısı ve fuzzy sistemlerin çeşitleri kısaca anlatılmıştır. Son olarak genetik algoritma konusu anlatılmıştır.

Bulgular ve tartışma bölümünde PSS'siz, PSS, FPSS ve genetik algoritma programı ile kural tablosu optimize edilen Genetik Güç Sistem Stabilizatörü (GPSS) ile simülasyonlar ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

Sonuçlar ve değerlendirme bölümünde elde edilen simülasyon sonuçlarına göre değerlendirme yapılmıştır. Ayrıca genetik algoritma ile yapılabilecek olan FPSS uygulamaları hakkında öneriler sunulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Kararlılık

Elektrik enerji sisteminin kararlılığı güç sisteminin normal çalışma koşulları altında dengeli çalışma durumunda kalması ve bir bozucu etkiye maruz kaldıktan sonra kabul edilebilir bir denge durumuna yeniden kavuşmasını sağlayan özelliği olarak tanımlanabilir (Demirören ve Zeynelgil 2004). Elektrik enerji sistemindeki kararsızlık sistem yapısına ve çalışma moduna bağlı olarak pek çok farklı şekilde açığa çıkabilir. Alaşılageldiği biçimde, kararlılık problemi senkron çalışmayı sürdürme yeteneği olmalıdır. Elektrik enerji sistemi elektrik gücü üretimi, senkron makinelere bağlı olduğundan sistemin yeterli çalışması için gerekli koşul bütün senkron makinelerin senkronizmada kalması ve çalışmaya devam etmesidir. Bu açıdan kararlılık, generatör rotor açılarının dinamikleri ve güç açısı bağıntılarından etkilenir.

Kararsızlıkla, senkronizmada kayıp olmaksızın da karşılaşılabilir. Örneğin, bir iletim hattı üzerinde bir asenkron motordan oluşan yükü besleyen bir senkron generatörlü sistemde yük gerilimindeki çöküntü nedeniyle kararsızlık olabilir. Bu örnekte problem senkronizmanın korunması değil, bunun yerine kararlılık ve gerilim kontrolüdür. Kararsızlığın bu çeşidi, büyük bir sistem tarafından beslenen ve geniş bir alanı kapsayan yüklerin var olması durumunda ortaya çıkar.

Kararlılığın değerlendirilmesinde önemli olan, geçici bir bozulma ile karşılaşıldığında güç sisteminin davranışdır. Bozulma küçük yada büyük olabilir. Yük değişimleri şeklindeki küçük bozulmalar sürekli olarak oluşabilir ve sistem kendini değişen koşullara göre ayarlar. Sistemin bu koşullar altında yeterli bir şekilde çalışabilmesi ve maksimum değerlerde yükü yeterli bir biçimde beslemesi gerekir. Bu aynı zamanda bir iletim hattı üzerinde kısa devre, büyük bir generatörün ya da yükün kaybı veya iki alt sistem arasındaki bağlantının yok olması gibi şiddetli etkisi olan çok sayıda bozulmaya dayanabilme yeteneğidir. Sistemin bir bozulmaya cevabı, cihazların çoğunun çalışmasını gerektirir. Örneğin, koruma röleleri tarafından arızanın izolasyonu ile izlenen kritik bir elemanın üzerindeki kısa devre güç aktarımlarında, makine rotor

hızlarında ve bara gerilimlerinde değişimlere sebep olacaktır: gerilim değişimleri hem generatör ve hem de iletim sistemi gerilim regülatörlerini harekete geçirecektir; hız değişimleri tahrik makinesi devir sayısı regülatörlerini harekete geçirecektir; gerilim ve frekansdaki değişimler ise onların bireysel özelliklerine bağlı olarak değişen derecelerde sistem üzerindeki yükleri etkileyecektir. Ek olarak, her bir ekipmanı korumak için kullanılacak cihazlar sistem değişkenlerindeki değişimlere cevap verir ve dolayısıyla sistem davranışını etkiler. Bununla beraber, herhangi bir belirli durumda sadece sınırlı sayıda cihazın cevapları önemli olabilir. Bu nedenle, problemi basitleştirmek ve kararlılık probleminin özel tipini etkileyen faktörler üzerinde yoğunlaşmak için, genellikle birçok varsayımlar yapılır. Kararlılık probleminin anlaşılmasında, kararlılığın çeşitli kategorilerle sınıflandırması büyük ölçüde yarar sağlar. Bundan sonra, güç sistemi kararsızlıklarının farklı şekilleri basit bir güç sistemi yapısı göz önüne alınarak açıklanacaktır. İdealize edilmiş modeller kullanılarak bu gibi sistemlerin analizi her bir kararlılık probleminin temel özelliklerini tanımlamada yardımcı olacaktır.

2.1.1. Rotor Açısı Kararlılığı

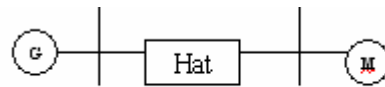
Rotor açısı kararlılığı bir güç sistemine bağlı senkron makinelerinin senkronizmada kalma yeteneğidir. Kararlılık problemi güç sistemindeki elektromekanik salınımların incelenmesini kapsar. Burada, senkron makine özellikleri de incelenmelidir. Bilindiği gibi, senkron makinelerin iki önemli elemanı vardır: uyarma ve endüvi sargıları. Normal olarak, uyarma sargısı rotorda ve endüvi sargısı statordadır. Uyarma sargısı doğru akımla beslenir. Rotor türbin tarafından döndürüldüğünde, uyarma sargısının dönen manyetik alanı statordaki üç fazlı endüvi sargısında alternatif gerilimler indükler. İki yada daha çok senkron generatör birlikte çalıştığında, bütün makinelerin stator gerilimleriyle akımları aynı frekansa sahip olmalıdır ve her birinin rotorunun mekanik hızı bu frekansla senkronizedir. Bu yüzden, bütün bağlı senkron makinelerin rotorları senkronizmada olmalıdır. Stator sargılarının fiziksel düzenlemesi sürekli çalışmada rotorla aynı hızda dönen bir manyetik alanını üretilmesini sağlayacak üç fazlı akımların akmasını sağlayacak şekildedir. Generatörde stator alanının elektromanyetik momenti rotorun dönmesini zıt yönde etkiler, böylece mekanik moment dönmeyi devam ettirecek

şekilde tahrik makinesi tarafından üretilmelidir. Generatörün elektriksel moment veya güç çıkışı sadece tahrik makinesi tarafından mekanik moment girişini değiştirerek ayarlanır. Mekanik moment girişinin artma yönündeki etkisi statorun döner manyetik alanına bağlı olarak rotoru yeni bir duruma götürmektedir. Tersine olarak, mekanik moment yâda güç girişindeki azalma rotorun hızını yavaşlatacaktır. Sürekli çalışma koşulları altında, rotor alanı ve statorun döner alanı aynı hıza sahiptir. Bununla birlikte, Generatörün elektriksel moment yâda güç çıkışına bağlı olarak bunların arasında bir açısal fark vardır (Demirören ve Zeynelgil 2004).

Senkron motorda, elektrik ve mekanik momentlerin rolü generatördeki çalışmaya terstir. Mekanik yükler dönmeyi zıt yönde etkilerken, elektromanyetik moment dönmeyi arttıran yönde etki eder. Mekanik yükteki artım etkisi statorun döner alanına göre rotorun durumunu geciktirir.

2.1.2. Güç Açısı Bağıntısı

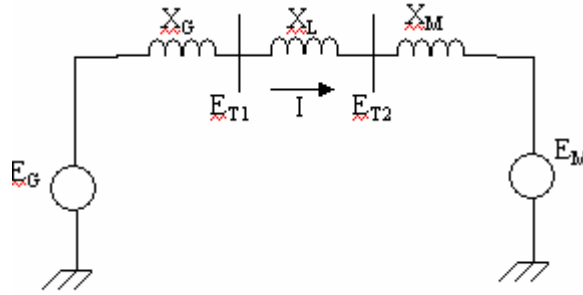
Güç sistemi kararlılığını belirleyen önemli bir özellik senkron makinelerin rotorlarının açısal konumları ile gücün karşılıklı değişimleri arasındaki bağıntıdır. Bu bağıntı yüksek dereceden doğrusal değildir. Bunu göstermek için Şekil 2.1 deki basit sistemi göz önüne alalım.



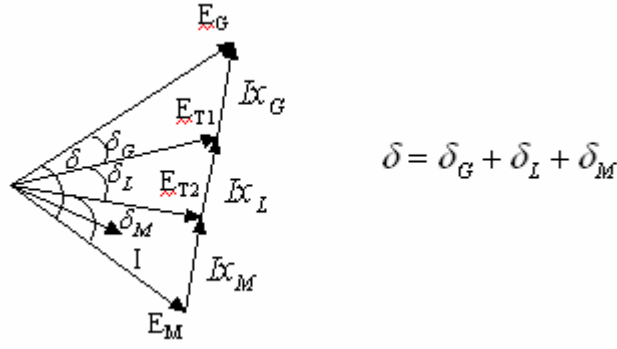
Şekil 2.1 İki Senkron Makineden Oluşan Sistem

Bu, X_L endüktif reaktansına sahip fakat direnci ve kapasitesi ihmal edilen bir iletim hattı ile iki senkron makineden oluşan bir sistemdir ve 1 makinesi bir generatörü göstermekte olup, 2 ile gösterilen motordur. Generatörden motora güç transferi iki makinenin rotorları arasındaki δ açısal farkının fonksiyonudur. Bu açısal fark üç elemandan oluşur: generatör iç açısı δ_G (generatör rotorunun, statorun döner alanından ne kadar ileride olduğunu gösteren açı), generatör ve motorun uç gerilimleri arasındaki açısal fark (generatörün stator alanının motorunkinden ne kadar ileride olduğunu gösteren açı) ve motorun iç açısı (rotorun döner stator alanından ne kadar geri olduğunu veren açı). Her bir senkron makineyi ifade etmede, etkin reaktans arkasındaki iç gerilimi içeren basit model kullanılır. Makine reaktansının değeri inceleme amacına bağlıdır. Sürekli durum analizi için, uyarma gerilimine eşit iç gerilimli senkron reaktansı kullanmak uygundur.

İncelenen sistemin tek-hat şeması şekil 2.2 de, generatör ve motor gerilimleri arasındaki ilişkiyi gösteren fazör diyagramı şekil 2.3 de gösterilmiştir. Generatörden motora iletilen güç, denklem (2.1) ile gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Sistemin Tek Hat Şeması



Şekil 2.3. Generatör Ve Motor Gerilimleri Arasındaki İlişkiyi Gösteren Fazör Diyagramı

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

$$x_T = x_G + x_L + x_M \quad (2.2)$$

Güç/açı bağıntısı sinüs biçimindedir (2.1). Otomatik gerilim regülatörlerinin etkilerini içeren daha doğru makine modellerinde, açı ile güçteki değişim sinüzoidal bağıntısından önemli ölçüde sapacaktır. Bununla, beraber genel şekil benzerdir. Açı sıfır olduğunda güç iletimi olmaz. Açı büyütülürken, güç transferi maksimum olur. Maksimum gücün genliği, makine iç gerilimi ile doğru, gerilimler arasındaki makinelerin reaktanslarını ve iletim hatlarının reaktansının toplamı olan reaktansa (2.2) ters orantılıdır. İki makineden daha fazla makine olduğunda, onların bağıl açısal yer değiştirmeleri benzer tarzda güç alışverişini etkiler. Bununla birlikte, güç iletimi ve açısal sapmanın sınır değerleri üretim ve yük dağılımının karmaşık bir fonksiyonudur. Herhangi iki makinenin arasındaki 90 lik açısal sapma(iki makineli sistemin nominal sınır değeri) özel bir öneme sahip değildir.

2.1.3. Kararlılık Olayı

Kararlılık zıt kuvvetler arasındaki denge koşuludur. Enterkonnekte senkron makineleri birbiriyle senkronizmde 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 vardır ve hız sabit kalır. Sistem bozulmuşsa bu denge durumu bozulur, makinelerin rotorlarının hızlanması yada yavaşlaması dönen cismin hareket kurallarına bağlıdır. Bir generatör sürekli olarak diğerinden daha hızlı gidiyorsa, yavaş giden makineye göre onun rotorunun açılal durumu ileri olacaktır. Sonuçta, ortaya çıkan açılal fark yükün bir kısmını yavaş makineden hızlı makineye, güç açıl bağıntısına bağılı olarak aktarır. Bu yönelim hız farkını azaltacaktır ve sonuç olarak açılal fark azalacaktır. Daha önce tartışıldığı gibi güç açıl bağıntısı yüksek dereceden nonlineerdir. Belli sınırların ötesinde, açılal sapmadaki bir artış güç iletiminde bir azalmaya eşlik eder; bu açılal sapmayı ileri olarak arttırır ve kararsızlığa neden olur. Herhangi belli bir durum için, sistemin kararlılığı rotoların açılal durumlarındaki sapmaların yeterli düzelme momentlerini oluşturup oluşturmadıklarına bağılıdır. Senkron makine sistemin kalanı ile senkronizma durumunu kaybettiğinde, sistem frekansında gerilimleri üretmek için ihtiyaç duyulandan daha düşük yada daha yüksek hızda çalışır. Dönen stator alanı (sistem frekansına karşı düşen) ve rotor alanı arasındaki "kayma" makine güç çıkışında, akımda ve gerilimde büyük dalgalanmalara sebep olur; bu, koruma sisteminin sistemden kararsız makineyi ayırmasına neden olur. Senkronizmanın kaybı, bir makine ve sistemin kalanı arasında oluşabilir veya makine grupları arasında oluşabilir. İkinci durumda senkronizma her bir grubu diğerlerinden ayrılması ile korunabilecektir. Elektrik güç sistemlerinde, bir bozulmayı izleyen senkron makinenin elektriksel momentindeki değişim senkronlama momenti ile hız sapması momentinin toplamına eşittir. Elektriksel momentindeki değişim denklem (2.3) de gösterilmiştir:

$$\Delta T_e = T_s \Delta \delta + T_D \Delta \omega \quad (2.3)$$

$T_s \Delta \delta$ rotor açısı değişimiyle momentteki değişim elemanıdır ve senkronlama moment elemanı olarak adlandırılır; T_s de senkronlayıcı moment katsayısıdır. $T_D \Delta \omega$, $\Delta \omega$ hız sapması fazındaki moment elemanıdır ve sönüm momenti elemanı olarak adlandırılır; T_D sönüm moment katsayısıdır. Sistem kararlılığı, senkron makinelerin her biri için, her iki elemanın varlığına bağılıdır. Yeterli senkronlama momentinin eksikliği, rotor

açısındaki periyodik kayma nedeniyle kararsızlığa neden olur. Yeterli sönüm momenti eksikliği ise salınımda kararsızlığa neden olur.

Analizde uygunluk için ve kararlılık problemlerinin özelliklerini daha iyi anlamak için, rotor açısı kararlılığı iki sınıfa ayrılır:

2.1.3.1. Küçük İşaret Kararlılığı

Güç sisteminin küçük bozulmalar altında senkronizmayı koruma yeteneğidir. Yükte ve üretimde küçük bozulmalar nedeniyle böyle bozulmalar sürekli olarak oluşur. Bozulmalar analiz amaçları için izin verilmiş olan sistem eşitliklerinin lineerleştirilmesi için yeterli derecede küçük olarak göz önüne alınır. Kararsızlık iki şekilde oluşabilir: (i) yeterli senkronlayıcı momentin eksikliği nedeniyle rotor açısında sürekli artma, yâda (ii) yeterli sönüm momentindeki eksiklik nedeniyle rotor salınırlarının genişliğinin artması. Küçük bozucuya sistem cevabının özelliği iletim sisteminin uzunluğu ve kullanılmış olan generatör uyarma kontrolünün tipine bağlı olarak başlangıç çalışmasını veren faktörlerin sayısına bağlıdır. Büyük bir sisteme radyal olarak bağlı sistem için otomatik gerilim regülâtörlerinin yokluğunda (yani sabit uyarma gerilimli) kararsızlık yeterli senkronlayıcı moment eksikliğindendir. Sürekli çalışan gerilim regülâtörlerinde küçük bozucu kararlılık problemi, sistem salınımlarına yeterli sönümü sağlamaktadır. Kararsızlık normal olarak salınımların genişliğinin artmasıdır.

Bugün güç sistemlerindeki pratik uygulama küçük işaret kararlılığı büyük ölçüde salınımlarda yetersiz sönüm problemidir. Salınımların aşağıda sıralanan tiplerinin kararlılığı ile ilgilenecektir.

- Bölgesel modlar veya makine-sistem modları güç sisteminin kalanına göre bir üretim santralindeki birimlerin salınımlarıyla ilgilidir. Bölgesel terimi güç sisteminin bir küçük kısmı yâda bir santralde salınımlar bölgelendirildiği için kullanılır

- Ara alan modları sistemin diğer kısımlarındaki makinelere karşı sistemin bir kısımdaki birçok makinenin salınımlarıyla ilgilidir. Bu zayıf bağlarla enterkonnekte bağlanan yakın kuplajlı makine grupları yada iki grup tarafından oluşturulur.
- Kontrol modları üretim birimleri ile ve diğer kontrollerle ilgilidir. Zayıf olarak ayarlı uyarılar, hız regülâtörleri, yüksek gerilimli doğru akım YGDA(HVDC) dönüştürücüleri ve statik var kompanzatörleri çoğunlukla bu modların kararsızlığına neden olurlar.
- Torsiyonel modlar sistemin dönen türbin-generatör mili ile ilgilidir. Torsiyonel modların kararsızlığı uyarma kontrolleri, hız regülâtörleri, YGDA kontrolörleri ve seri kompanzasyonlu hatlar tarafından oluşturulabilir(Demirören ve Zeynelgil 2004).

Küçük işaret kararlılığı kendi arasında ikiye ayrılır.

2.1.3.1.1 Dinamik hal kararlılığı

2.1.3.1.2 Sürekli hal kararlılığı

2.1.3.1.1. Dinamik hal kararlılığı

Birkaç saniyelik geçici olay sonrasında, diğer bir deyişle devir sayısı regülâtörlerinin devrede olduğu birkaç dakikalık sürede sistemin bozucu etkiye cevabı olarak bilinir.

Bozucu etki anından bir süre sonra, geçici olay süresi sonrası tahrik sistemlerine ilişkin devir sayısı regülâtörleri hemen devreye girerek, elektriksel yük ve mekanik giriş enerjisi arasındaki dengeyi sağlamak amacı ile mekanik enerjiyi arttırır yâda azaltır. Eğer bunlar hız düşümüne karşı duyarlı ise daha fazla buhar yâda su sağlayacak şekilde vanaların açılmalarını sağlarlar. Bu şekilde sistem yeniden nominal hıza ulaşır. Yine de bir enerji dengesizliği söz konusudur. Çünkü giriş enerjisi çıkış enerjisinden daha fazla ve hız da nominal değerinden daha fazladır. Bundan dolayı, devir sayısı regülâtörleri harekete geçerek giriş enerjilerini azaltmaya başlarlar. Böylece rotor açısı salınımlar yapar ve eğer sistem dinamik olarak kararlı ise, salınımların genlikleri giderek

küçültürerek ve sistem birkaç salınımdan sonra sürekli çalışma koşullarına oturacaktır(Demirören ve Zeynelgil 2004).

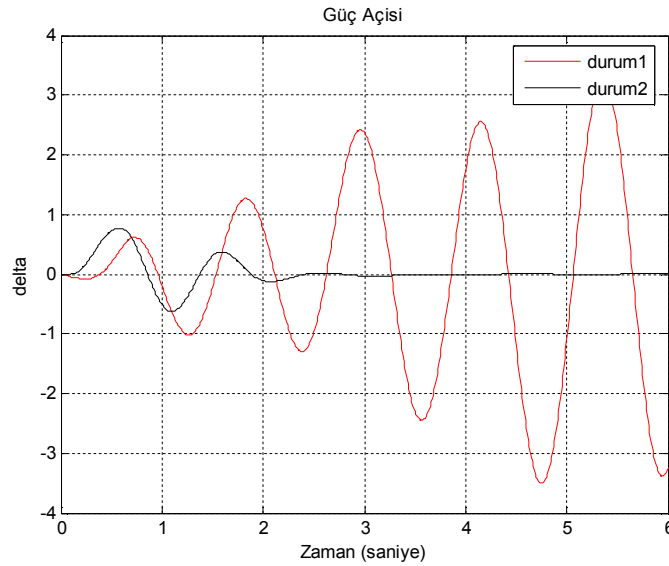
2.1.3.1.2. Sürekli hal kararlılığı

Küçük bozucu etkilerine ve beklenen yük değişimlerine sistemin cevabı olarak bilinir. Bu sistemde bulunan senkron makinelerden birinde olabilecek bir üretim değişikliği yada yükte oluşacak bir ilave değişim gibi bir bozulma olabilir. Bu küçük bozucu kalıcı yada geçici olabilir. Sürekli hal kararlılığı sisteme yeni yapılacak ilaveler ve otomatik kontrol cihazlarının belirlenmesinde çok önemlidir. Küçük bozucu etkilerin süresi ne olursa olsun sistem kararlı ise sistemin bir süre sonra işletme koşullarında çalışmayı sürdürmesi şarttır. Sisteme ilişkin bir durum değişkenleri yada sistem parametrelerinin bozucu etki öncesinde ve sonrasında arasındaki fark değerleri çok küçükse sistem başlangıç koşulları civarında çalışıyordur. böylece başlangıç çalışma durumu sürekli hal çalışma durumu olarak göz önüne alınır.

2.1.3.2. Geçici (transient) hal kararlılığı

Şiddetli bir geçici bozulmayla karşılığındaki güç sisteminin Senkronizmayı koruma yeteneğidir. Sistemin matematiksel modeli doğrusal olmayan diferansiyel denklemlerden oluşacağı için lineer kontrol teorisinden bilinen kararlılık analizi yöntemleri ile sistem davranışı incelenemez. Bu durumda önce sistemin bozucu etki öncesinde sistemin sürekli haldeki yük akışı incelenir. Sonra tüm çalışma koşullarını kapsayacak şekilde, oluşturulmuş sistemin matematiksel modelinin bilgisayar ile çözümü ve sistemin kararlılık analizi yapılır. Bu çözüm işleminde sistemin kararlı olup olmadığına senkron makinalara ait δ yük açılarının zaman göre değişimlerine bakılarak karar verilir. Genellikle kullanılan nümerik analiz yöntemleri Euler, düzeltilmiş Euler, Runge-Kutta gibi yöntemlerdir. Bir makinanın söz konusu olduğu durumda eşit alan yöntemiyle kararlılık kontrol edilebilir. Elde edilen sistem cevabı generatör rotor açılarında büyük salınımlar gösterir ve doğrusal olmayan güç açısı bağlantısından

etkilenir. Kararlılık hem sistemin başlangıç durumuna ve hem de bozulmanın şiddetine bağlıdır. Çoğunlukla, sistem arıza sonrası sürekli çalışmasında arıza öncesi durumdan farklı olacak şekilde değişmiştir. Şiddetin derecesi ve olma olasılığına göre sistemde yapısal değişiklikler oluşabilir. Bununla birlikte sistem seçilmiş bir durum için kararlı olacak şekilde çalıştırılır ve tasarlanır. Büyük olasılıkla genellikle faz-toprak, iki faz-toprak ve üç faz kısa devresi gibi farklı tipten kısa devreler söz konusudur. Bunların çoğunlukla iletişim hatlarında olduğu varsayılır, fakat nadiren bara yâda transformatör arızaları da göz önüne alınır. Arızalı kısmı devre dışı bırakan uygun kesicilerin açılması ile hatanın temizlendiği var sayılır. Bazı durumlarda yüksek hızlı tekrar kapama olacağı düşünülebilir (Demirören ve Zeynelgil 2004). Şekil 2.4 senkron makinenin kararlı ve kararsız durumlarını göstermektedir.



Şekil 2.4. Senkron Makinenin Kararlı Ve Kararsız Durumları

1. durum, sistem ilk salınımı sırasında kararlı fakat sona yaklaşırken büyüyen salınımlar nedeniyle kararsız olur. 2.durum kararlı durum olup, rotor açısının genliği azalarak sürekli duruma varır. Hata sonrası sürekli durum koşulları kararsız olduğunda bu gerçekleşen küçük işaret kararsızlığı geçici (transient) bir bozucu sonucu ortaya çıkması gerekmez.

2.2. Literatür Özeti

Homaifar ve McCormick (1995) yaptıkları çalışmada fuzzy kontrolörler için genetik algoritma kullanarak kural tabloları ve üyelik fonksiyonlarını eş zamanlı tasarlamışlardır. Bu kontrolörü iki problem araba denetleyicisi ve kamyon denetleyicisi üzerinde denemişler. Kullandıkları yöntemin diğer yöntemlere göre etkinliğini kıyaslamışlardır. Genetik algoritma kullanarak elde edilen araç yerleşim zamanının uzman görüşüyle elde edilen araç yerleşim zamanından daha kısa sürdüğünü gözlemlemişlerdir. Ayrıca genetik algoritma ile fuzzy kontrolörün üyelik fonksiyonunu geliştirmişlerdir.

Abido ve Abdel-Magid (1997) tarafından yapılan çalışmada genetik algoritma kullanılarak bir güç sistem stabilizatörü tasarlanmıştır. Yaptıkları çalışmada Hibrit Güç Sistem Stabilizatörü tasarlamışlardır. Yapılan çalışmada Fuzzy Güç Sistem Stabilizatörü (FPSS) parametrelerinin optimal veya optmale yakın ayarlarını aramak için genetik algoritma kullanılmıştır. Genetik algoritma FPSS ortaklığı tasarım sürecinde tüketilen zamanı azaltarak stabilizatlara akıllı bir boyut kazandırmıştır. Yapılan çalışmada uyarım sistemine anlamlı bir genetik tabanlı öğrenme dahil edilerek FPSS'in performansının arttırılabildiği gösterilmiştir. Önerilen stabilizatörün performansını farklı bozucu etkiler ve yükleme koşulları altında denemişlerdir. Önerilen stabilizatör farklı yükleme koşullarında kendi yeteneğini geliştirebildiği için klasik PSS ile karşılaştırıldığında üstünlük ve performansı ortaya çıkmaktadır. Çalışmalarında tek makineli sonsuz baralı sistemi kullanmışlardır. Stabilizatör giriş sinyali olarak generatör hız değişimi alınmıştır. FPSS in optimize edilen parametreleri ivme ölçekleme katsayısı, sönümlleme katsayısı ve generatör güç açısı olmuştur.

Abido ve Abdel-Magid (1997) tarafından aynı yıl yapılan bir diğer çalışmada çok makineli güç sistemleri için genetik tabanlı fuzzy güç sistem stabilizatörü tasarlamışlardır. Çok makineli güç sistemleri için genetik tabanlı fuzzy güç sistem stabilizatörleri dizayn etmek için fuzzy logic sistemlerle genetik algoritmayı birleştirerek yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Yaptıkları çalışmada genetik tabanlı öğrenme tekniğini içeren FPSS'in performansının önemli ölçüde arttırılabildiğini

göstermişlerdir. Tasarladıkları satabilizatörü 10 Makineli 39 hatlı New England güç sistemi üzerinde uygulamışlardır. Burada bulunan her makine dördüncü sırada iki eksenli nonlinear model tarafından temsil edilmektedir. Bu çalışmada da uyarım sistemine ilave edilen sinyal generatör hız değişimidir. Geliştirilen GFPSS'in performansı farklı bozucu etki durumlarında test edilmiş GFPSS in performansının FPSS ve CPSS'e göre daha iyi olduğu gösterilmiştir.

Wen ve diğerleri (1998) yaptıkları çalışmada senkron generatör fuzzy uyarım kontrol sisteminin parametrelerini genetik algoritma ile optimize etmeye çalışmışlardır. Kullanılan kontrolör iki girişli ve bir çıkışlı kontrolördür. Generatör uç gerilimi ve rotor hız değişimini optimize etmeye çalışmışlardır. Fuzzy kontrolör ile genetik fuzzy kontrolör performanslarını kıyaslamışlardır.

Sanaye-Pasand ve Malik (1999) yaptıkları çalışmada fuzzy tabanlı güç sistem stabilizatörü geliştirmişlerdir. Kontrol sistemi için daha iyi performans elde etmek için fuzzy tabanlı kontrolörlerin kural tablosu çoğunlukla deneme yanılma yoluyla belirlenir. Bu zaman alıcı durumu kısaltmak için yeni bir yaklaşım sunmuşlardır. Bu yaklaşımda kural fuzzy çıkış üyelik fonksiyonu sayısını 7'den 14'e çıkarmışlardır. Kural tablosuna bunları simetrik olarak yerleştirmişlerdir. Elde ettikleri kural tablosuyla oluşturdukları FPSS'i diğer FPSS ile karşılaştırmışlar. Yaklaşık olarak aynı sonuçları elde etmişlerdir. Burada FPSS giriş değişkenleri için generatör hızı ve hızın türevini almışlardır. Çıkışında ise rotor güç açısının değişimini ölçmüşlerdir.

Lakshmi ve Khan (2000) tarafından yapılan çalışmada genetik algoritma ile ayarlanan Fuzzy Güç Sistem Stabilizatörü (FPSS) kullanarak çok makineli güç sistemlerinin kararlılığını arttırmaya çalışmışlardır. FPSS'in giriş sinyali olarak senkron generatörün hız değişimi ve hız değişiminin türevini almışlardır. Yapılan çalışmada Crowding Genetic Algorithm metodu kullanılmış ve generatöre bağlanan FPSS'in üyelik fonksiyon ve kazanç parametrelerini optimize ederek generatör salınımlarını minimuma indirmişlerdir.

Lu ve diğerleri (2001) yaptıkları çalışmada genetik algoritma ile optimize edilen FPSS geliştirmişlerdir. Genetik algoritma ile FPSS'in üyelik fonksiyonlarını optimize etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada önerdikleri güç sistem stabilizatörünün geniş çalışma aralığında oldukça iyi performans sağladığını görmüşlerdir.

Gupta ve diğerleri (2003) yaptıkları çalışmada güçlü hızlı çıkış geribildirim örneklemeli tekniğini kullanarak tek makineli sistem için PSS tasarlamışlardır. Geliştirdikleri PSS'i 16 farklı çalışma durumu üzerinde denemişlerdir. Doğrusal eşitsizlik yaklaşım matrisini kullanarak geribildirim kazancı elde etmişlerdir. Elde ettikleri bu kazancı 16 farklı çalışma durumu için kullanmışlardır. PSS in 16 farklı çalışma durumu için çıkış voltajı ve kayma değerlerinde oldukça iyi performans elde etmişlerdir.

Hongesombut ve Mitani (2004) tarafından yapılan çalışmada modern güç sistem kontrolüne ileri genetik algoritma uygulaması yapmışlardır. Güç sistem kontrol problemlerinin çözümü için ileri genetik algoritma tekniklerinin kullanımı üzerinde durmuşlardır. Çalışmalarında hiyerarşik genetik algoritma ve paralel micro genetik algoritmayı (paralel mikro-GA) açıklamışlar daha sonrada bu genetik algoritma uygulamalarını iki örnek problem üzerinde uygulamışlardır. İlk örnek problemde bu teknikler aynı anda güç sistemini kontrol etmek için uygulanmıştır. PSS'in hafifçe sönümlü ve sönümsüz osilasyon modları aynı anda s- düzleminde kararlı bölgeye optimum ayarlanır ve uygun PSS konumları kendi kendine belirlenir. İkinci örnekte fuzzy kontrolör dizayn etmek için paralel micro genetik algoritma kullanılır. Fuzzy kontrolör dizayn etmek için kullanılan teknik, zaman kazanılmasına yardımcı olur ve uzman deneyimi gerektirmez. Elde ettikleri sonuçlardan çeşitli güç sistem kontrol problemlerinin çözümünde çok yönlülük sağladığını görmüşlerdir. Hiyerarşik genetik algoritmada DNA'nın hiyerarşik yapısından esinlenilmiştir. Temelde hiyerarşik şekilde inşa edilmiş parametrik genler ve kontrol genleri olmak üzere iki tür gen vardır. Parametrik genlerin aktivasyon durumunu kontrol genleri düzenler. Paralel micro genetik algoritmada popülasyonlar çoklu alt popülasyonlardan oluşmaktadır. Bu çoklu alt popülasyonlar Dynamic Host Configuration Protocol dinamik ana konfigürasyon sunucusu yardımıyla ana sunucuya aynı anda bağlanırlar. Bu alt popülasyonlar birbirinden bağımsızdır ve belirli sayıda gelişen nesillerden oluşur.

E. Özkop ve diğerleri (2004) yaptıkları çalışmada Fuzzy Güç Sistem Stabilizatörü uygulaması yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada fuzzy kontrolör de değişik üyelik fonksiyonları (üçgen, yamuk, gaussian, cauchy) kullanılarak sistem çıkışının davranışı gözlenmiştir. Tasarlanan fuzzy kontrolör önce dokuz kurallı bir kural tablosu ile kullanılmış ve dört farklı üyelik fonksiyonunun etkisi elde edilmiştir. 9 kurallı kural tablosu kullanıldığında üçgen biçimli üyelik fonksiyonunun en fazla aşmaya sahip sonucu verirken Cauchy biçimli üyelik fonksiyonunun hem en küçük aşmaya hem de en kısa oturma zamanına sahip sonucu verdiğini gözlemlemişlerdir. Yamuk ve Gaussian biçimli üyelik fonksiyonları ile elde edilen sonuçlar ise ara değere sahip aşmalı tepki gösterdiğini belirtmişlerdir. 25 kurallı kural tablosu kullandıklarında ise elde edilen sonuçların hemen hemen aynı olduğunu belirtmişlerdir.

A.M. El-Zonkoly (2006) yaptığı çalışmada çok makineli güç sistemlerinde stabilizatör parametreleri ve otomatik voltaj regülatörü (AVR) kazanç değerlerini eş zamanlı ve koordineli olarak ayarlamaya çalışmıştır. Geliştirdiği tekniğin etkinliğini New England sistemi üzerinde denemiştir. Bu sistemin güç sistem kontrolünü yapmaya çalışmıştır. Küçük sinyal kararlılığı için tek makineli sonsuz baraya bağlı güç sistemini kullanmıştır. AVR ve PSS'li tristör uyarım sistemini kullanmıştır. Particle Swarm Optimization evrimsel hesaplama tekniklerini kullanan optimizasyon tekniğidir. Kullandığı PSS'i 14 farklı çalışma koşulunda zamana göre güç açısı değişimlerini PSS'siz sistem ile karşılaştırmıştır. PSS'li sistemin daha verimli çalıştığını belirtmiştir.

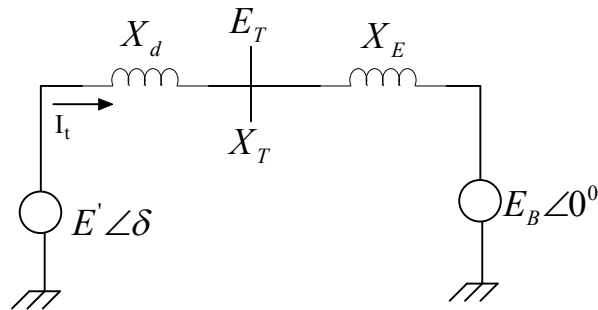
3. MATERYAL VE METOD

3.1. Senkron Generatör Modeli

Materyal ve metod bölümünde; Bölüm 3.1’de tek makineli sonsuz baraya bağlı sistemin diferansiyel denklemlerden oluşan üçüncü derece modeli tanıtılmıştır. Bölüm 3.2’de PSS tanıtılmıştır. Bölüm 3.3’de fuzzy yapısından ve fuzzy sistemlerin çeşitlerinden kısaca bahsedilmiştir. Bölüm 3.4’de önce genetik algoritma mantığı anlatılmıştır. Daha sonra genetik algoritmanın basamakları ve basit bir genetik algoritma örneği anlatılmıştır. Bölüm 3.4’ün son bölümünde ise bu tezde kullanılan genetik algoritma programı matlab kodu ve açıklaması anlatılmıştır.

3.1.1. Simülasyonlarda Kullanılan Senkron Generatörün Modellenmesi

Tek makineli sonsuz bara sistemi (Şekil 3.1) güç sistem incelemelerinde çok önemlidir. Burada eşdeğer devresi gösterilen sistemin küçük işaret kararlılığı incelenecektir. Burada E' senkron generatörden alınan gerilimdir. Bu gerilimin genliğinin hata arıza öncesi değerinde sabit kaldığı varsayılır. E' sonsuz bara gerilimi E_B den δ açısı kadar ileridedir. Burada E' referans fazör gerilimi olarak kullanılır bu gerilimin değeri denklem (3.1) deki gibi bulunur. Burada E' hata öncesi generatörde üretilen gerilim ile generatör endüktif reaktansında düşen gerilimlerin toplamına eşittir. Akımın değeri denklem (3.2) deki gibi bulunur.

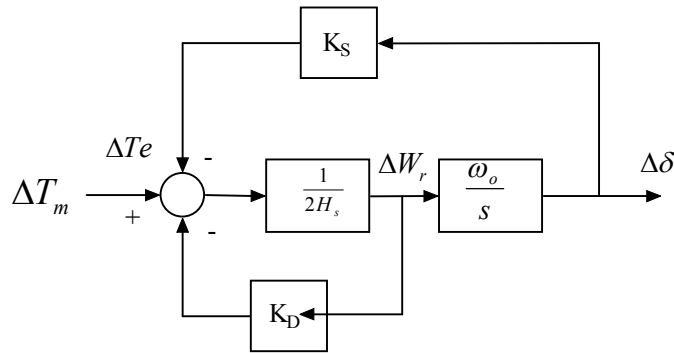


Şekil 3.1 Tek Makineli Sonsuz Baralı Sistem

$$E' = E_{t0} + jX_d I_{t0} \text{ burada } X_T = X_d + X_E \text{ dir.} \quad (3.1)$$

$$I_t = \frac{E' \angle 0^\circ - E_B \angle -\delta}{jX_T} = \frac{E' - E_B (\cos \delta - j \sin \delta)}{jX_T} \quad (3.2)$$

Makinenin mekanik güç girişi ile güç açısı arasındaki ilişkiyi tanımlayan mekanik çevrim blok diyagramı şekil 3.2 de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Mekanik çevrim

Blok diyagramda işaret edilen güç açısı nominal hız, senkronizasyon moment katsayısı ve sönüm moment katsayısı ile doğru orantılıdır. Eylemsizlik momenti ve mekanik güç girişi ile ters orantılıdır. Bu durum denklem (3.3) de gösterilmiştir.

$$\Delta\delta = \frac{\omega_0}{s} \left[\frac{1}{2Hs} (-K_S \Delta\delta - K_D \Delta\omega_r + \Delta T_M) \right] = \frac{\omega_0}{s} \left[\frac{1}{2Hs} \left(-K_S \Delta\delta - K_D s \frac{\Delta\omega_r}{\omega_0} + \Delta T_M \right) \right] \quad (3.3)$$

K_S : Senkronizasyon moment katsayısı [p.u. moment/rad.]

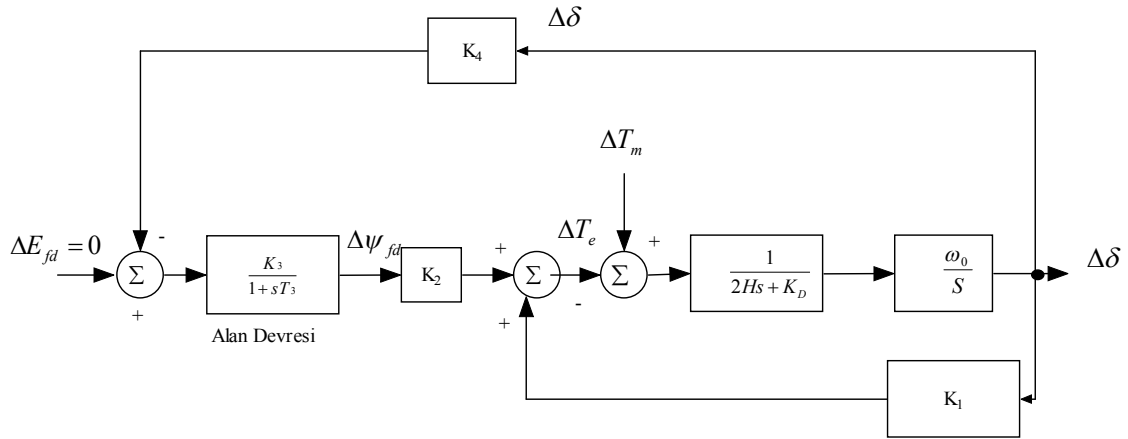
K_D : Sönüm moment katsayısı [p.u. moment/ p.u. hız sapması]

H : Eylemsizlik momenti

δ : Rotor açısındaki değişme

ω_0 : Nominal hız [rad/s]

Şekil 3.3 de sistemin küçük işaret davranışının blok diyagramı gösterimi verilmiştir. Burada mekanik çevrime generatörün alan devresi dinamikleri ilave edilmiştir. “K katsayıları” olarak isimlendirilen model üzerindeki katsayılar, alan devresi dinamiklerinin sistem kararlılığı üzerindeki etkilerinin anlaşılmasını sağlarlar. Hava aralığında meydana gelen momentin değişimi $\Delta\delta$ ve $\Delta\psi_{fd}$ nin fonksiyonu olarak denklem (3.4) deki gibi ifade edilir.

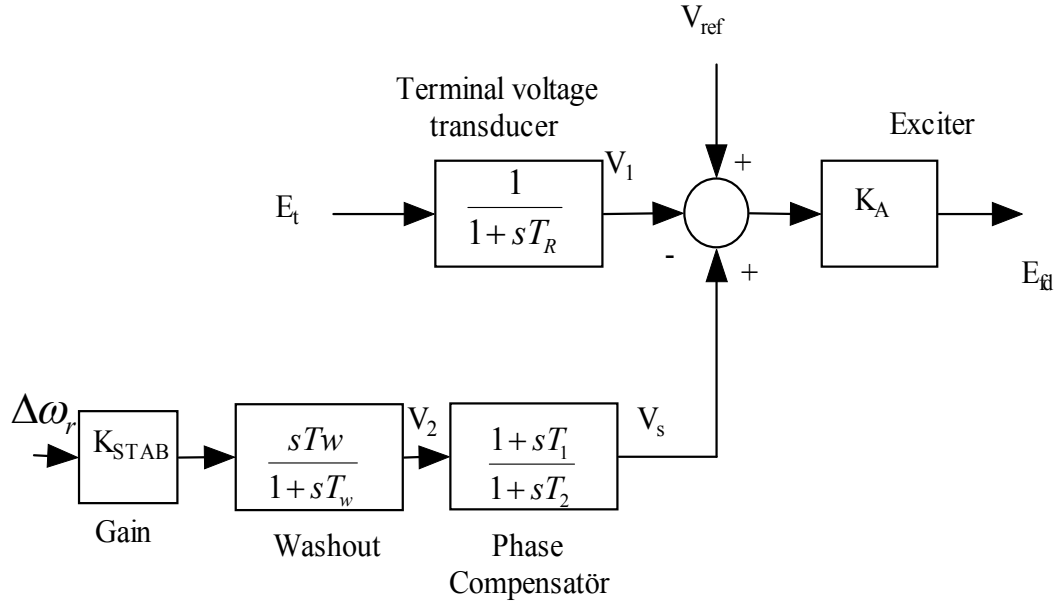


Şekil 3.3 Sabit Uyartım Gerilimi İçin Generatör Modeli

$$\Delta T_E = K_1 \Delta\delta + K_2 \Delta\psi_{fd} \quad (3.4)$$

Alan devresi dinamiklerinin ilave edildiği önceki modele, otomatik gerilim regülatörü ve uyarıcı modeli de ilave edilir ve lineerizasyon işlemi yapılırsa yeni bir lineer model elde edilir. Otomatik gerilim regülatörü etkisiyle, endüvi reaksiyonuna ilave olarak uyarma gerilimi değişimleri uyarma akısı değişimlerine yol açar. Şekil 3.4 deki blok diyagramdan hava boşluğundaki manyetik akı denklem (3.5) ve (3.6) dan bulunur.

PSS şekil 3.5’de gösterilen blok diyagram yardımıyla açıklanabilir. PSS’in amacı bir söndürücü moment bileşeni üretmek olduğu için, generatör uyarmasının kontrolunda kullanılacak mantıksal işaret hız sapması $\Delta\omega_r$ dir.



Şekil 3.5 AVR ve PSS’li Tristör Uyarım Sistemi

Burada tristör uyarım sistemini göz önüne alarak, güç sistem stabilizatörlerinin temel modellenmesini ve davranışını açıklayacak olursak. Şekil 3.5’de AVR ve PSS’li tristör uyarım sistemi görülmektedir. Küçük-ışaret davranışı ile ilgilenildiği için, pss çıkış sınırları ve uyarım çıkış şekilde gösterilmemiştir. PSS yapısının temeli ve parametrelerin seçimindeki önemli noktalar özetlenmiştir.

Şekil 3.5’deki PSS gösterimi üç bloktan oluşmaktadır: Phase Kompansasyon (faz kompanzasyon) bloğu, Washout (işaret temizleme) bloğu ve gain (kazanç) bloğu.

Faz Kompansasyon Bloğu uyarma çıkışı ile generatör elektriksel (hava aralığı) momenti arasındaki faz gecikmesini kompanze etmek için uygun faz-ilerletici karakteristik sağlar. Şekilde birinci dereceden tek bir blok gösterilmiştir. Uygulamada, istenen faz kompanzasyonunu elde etmek için, iki veya daha fazla birinci-dereceden blok kullanılabilir. Bazı durumlarda, ikinci-derecen, kompleks köklü blok kullanılmaktadır.

Normal olarak, ilgilenilen frekans bölgesi 0.1 ila 2 Hz dir ve faz ilerletici devre bu frekans bölgesinin tamamında kompanzasyonu sağlamalıdır. Kompanze edilecek faz karakteristiği sistem koşulları ile değişir; dolayısıyla, farklı sistem koşullarına uygulanabilen bir karakteristik seçilir. Genellikle PSS'den büyük ölçüde artan söndürücü momente ilave olarak, senkronlayıcı momentte hafif bir artış oluşturacak şekilde bir miktar az kompanzasyon istenebilir.

Washout (işaret temizleme) bloku, T_w zaman sabiti ω_r deki salınımlarla ilgili işaretlerin değişmeden geçirilmesine izin verecek kadar yüksek olduğunda, bir yüksek-geçiren filtre olarak görev yapar. Bu olmazsa, hızdaki sürekli değişimler uç gerilimini değiştirir. Bu PSS in sadece hızdaki değişimlere uyum göstermesine izin verir. T_w nin değeri kritik değildir ve 1 ile 20 saniye arasında olabilir. Temel fikir, bu zaman sabitinin ilgilenilen frekanslarda kararlılaştırıcı işaretlerin değişmeden geçecek kadar uzun olması, fakat sistem-ayırma koşulları esnasında istenmeyen generatör gerilimi değişimlerine yol açacak kadar uzun olmamasıdır.

Gain (kazanç) bloku K_{STAB} PSS tarafından oluşturulan sönüm miktarını belirler. İdeal olarak, kazanç maksimum sönüme karşılık gelen değere ayarlanmalıdır; bununla beraber, kazanç değeri, çok defa diğer kavramlarla sınırlanır.

PSS in uygulanmasında, sadece küçük-ışaret kararlılığının değil, bütün sistem kararlılığının arttırılmasının sağlanmasına dikkat edilmelidir.

3.3. Fuzzy Güç Sistem Stabilizatörü (FPSS)

Bu bölümde fuzzy yapısından ve fuzzy sistemlerin çeşitlerinden kısaca bahsedilmiştir.

3.3.1. Fuzzy (Bulanık)'nin Tarihi ve Önemi

Zadeh (1965) tarafından yayınlanan makale, modern anlamda belirsizlik kavramının değerlendirilmesinde önemli bir nokta olarak kabul edilmiştir. Askerzade bu makalede, kesin olmayan sınırlara sahip nesnelerin oluşturduğu fuzzy küme teorisini ortaya koymuştur. Zadeh'in bu makalesinin önemi sadece ihtimaller teorisine karşı duruşu ile değil, ayrıca ihtimaller teorisinin temelini oluşturan Aristo mantığına karşı da bir meydan okuma olmuştur.

Zadeh tarafından keşfinden sonraki ilk on yılda fuzzy lojik kavramı, mühendisler ve bilim adamları tarafından pek ilgi görmemiştir. Fakat ikinci on yılda mühendislik ve sosyal bilimlerde yapılan uygulamalarla popüler ve kullanışlı bir metot olduğu keşfedilmiştir. Mamdani ve arkadaşları tarafından fuzzy lojik tabanlı kontrol sistemleri geliştirildikten sonra kontrol alanında fuzzy uygulamaları hızla artmıştır (Atlas 1997).

Fuzzy küme teorisinin üyelikle üye olmamak arasındaki dereceli geçişi ifade etme yeteneği geniş faydaları olan bir niteliktedir. Bize, belirsizliğin ölçülmesinde güçlü ve anlamlı araçlar sunmasının yanında, doğal dilde ifade edilen belirsiz kavramların anlamlı bir şekilde temsilini sağlamaktadır.

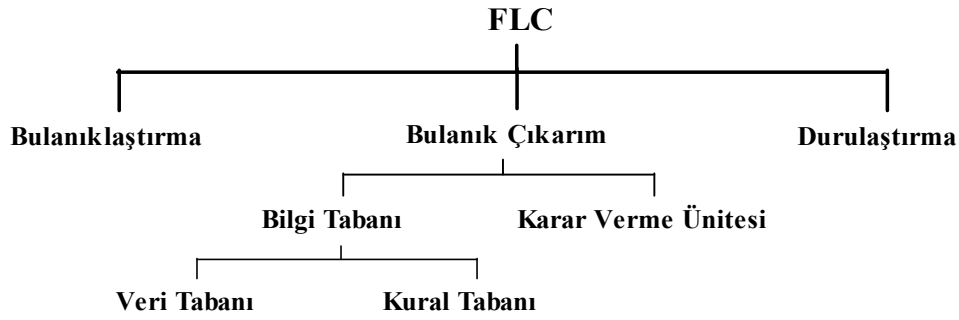
Aristo mantığı üzerinde temellenen klasik küme teorisi ise verilen bir alana ait bütün bireyleri incelenen özelliğe göre, kümeye ait olan elemanlar ve ait olmayanlar olarak ikiye ayırır. Kümeye üye ve üye olmayan elemanlar arasında belirsiz olmayan kesin bir ayırım vardır.

Doğal dilde ifade edilen ve üzerinde çalıştığımız çoğu sınıflandırma kavramı, bu türde bir karakterde değildir. Örneğin; uzun insanlar kümesi, pahalı arabalar kümesi, güvenilir kar araçları kümesi, çok büyük sayıların oluşturduğu küme gibi kavramlar klasik kümenin öngördüğü şekilde incelenemezler. Günlük hayatta, bu kümelerin, kesin olmayan sınırlara sahip olduğu kabul edilir. Ve üyelikten üye olmamaya geçişin dereceli olduğunu göz önüne alarak işlem yapılır.

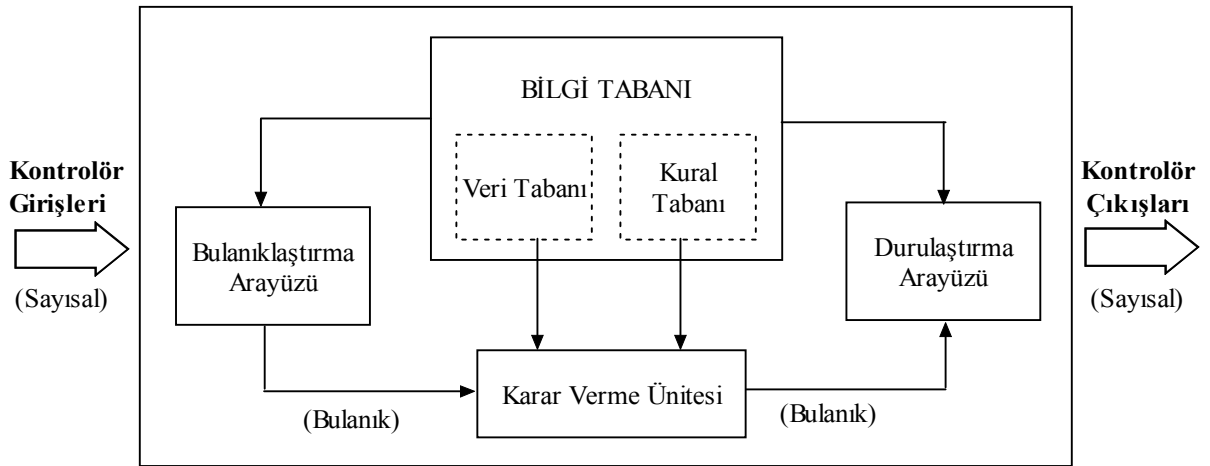
Geleneksel kontrolde kontrol miktarını, kontrol algoritmasındaki denklemlerin verilerle olan ilişkisi belirler. Gerçek hayatta ise insan deneyimlerinin matematiksel formül şeklinde ifade edilmesi çok zordur. Fuzzy lojik bunu gerçekleştirmeye çalışan pratik bir yoldur.

3.3.2.Fuzzy Kontrolün Yapısı ve İşleyişi

Fuzzy lojik kontrolörün işleme prensibi bir insan operatörünün çalışmasına benzer. Aynen insan operatörü gibi yalnızca sistem çıkışına bakarak kontrol sinyalini ayarlar. Verilerin temsilinde kullanılan fuzzy küme teorisini hariç tutarsak FLC bir kural tabanlı kontrolörmüş gibi davranır.



Şekil 3.6 Fuzzy kontrolörün bölümleri



Şekil 3.7 Fuzzy Kontrolör İç Yapısı

Fuzzy lojik tabanlı bir kontrolör; bulanıklaştırma, bulanık çıkarım ve durulaştırma olmak üzere üç ana bölümden oluşur. Bulanık çıkarım bölümü, bilgi tabanı ve karar verme ünitesi olarak ikiye, bilgi tabanı ise veritabanı, kural tabanı olarak iki bölüme ayrılarak incelenebilir (Jang 1993). Fuzzy kontrolörün bölümleri şekil 3.6’da yapısı ise şekil 3.7’de gösterilmiştir.

3.3.2.1. Bulanıklaştırma

Bu aşamada dış dünyadan elde edilen gerçel sayılardan oluşan bilgiler (kesin değerler) üyelik fonksiyonları kullanılarak dilsel değişkenlere dönüştürülür. Bunun için öncelikle kontrolör giriş değişkenlerinin (hız, ivme vb.) okunması ölçülmesi ve ölçeklendirilmesi işlemleri yapılır. Sonra ölçeklendirilen nümerik değerler uygun üyelik fonksiyonları yardımıyla dilsel (bulanık) değişkenlere dönüştürülürler.

3.3.2.2. Bulanık Çıkarım

Bu bölümdeki bilgi tabanı kısmı; her bir kontrol değişkeni için tanımlanan üyelik fonksiyonlarını ve kontrol amacını gerçekleştirmek üzere dilsel değişkenleri kullanan gerekli kuralları içerir. Bulanıklaştırma kısmında elde edilen bulanık değerler kural tabanında değerlendirilerek uygun çıkış değeri elde edilir. Elde edilen bu çıkış değeri yine bulanık bir değer olduğu için bu değeri tekrar kesin bir değer haline getirmek gerekmektedir.

Bilgi tabanı içerisindeki veritabanı bölümü; üyelik fonksiyonları kullanılarak oluşturulan fuzzy kümeleri içermektedir. Kural tabanı bölümü ise belirli bir sayıdaki fuzzy if-then (eğer-öyle ise) kurallarını içermektedir.

Karar verme ünitesi yada başka bir ifadeyle çıkarım mekanizması fuzzy kurallarla yapılan bulanık çıkarsama işlemlerini içerir. Bu bölüm fuzzy kontrolörün özü, çekirdeği niteliğindedir. İnsan düşünce mekanizmasının gerçekleşmesi yani fuzzy lojik tabanlı kontrol işlemi burada gerçekleştirilir.

3.3.2.3.Durulaştırma

Bu bölümde ise karar verme ünitesinde fuzzy çıkarımdan elde edilen dilsel değişken ifadesi kesin değere dönüştürülür.

3.3.2.4.Kontrol Değişkenlerinin Seçimi

Kontrol değişkenleri dizayn edilecek kontrolörün giriş ve çıkışlarıdır. Bunların seçimi kontrol edilen sistemin ve istenen çıkış değerinin doğasına bağlı olarak yapılır. Genellikle giriş değişkenleri olarak çıkış hatası ve hatanın türevi yani değişimi kullanılır. Bazı araştırmacılar tarafından hata ve hatanın integrali de fuzzy kontrolörün giriş değişkeni olarak kullanılmıştır (Lee 1990).

3.3.2.5.Üyelik Fonksiyonunun Tanımlanması

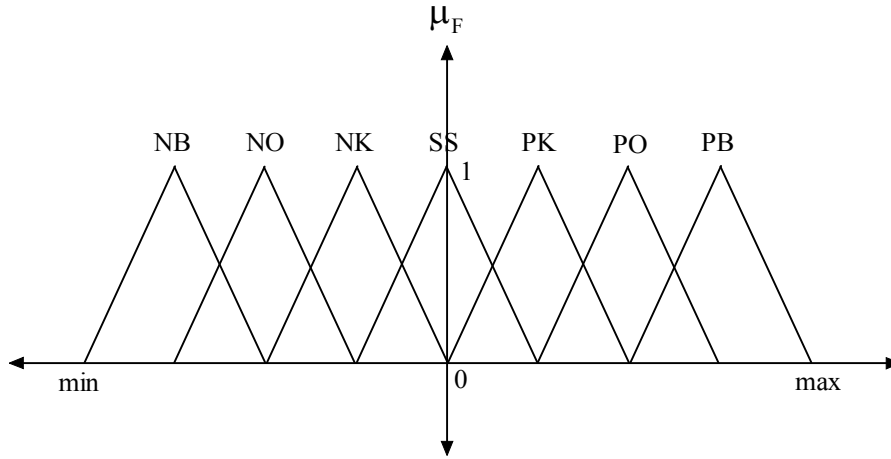
Kontrolör giriş ve çıkış değişkenleri geniş bir aralıktaki gerçek değerlerden oluşur. Pratikte bu değerler dar bir aralıkta normalize edilerek sınırlandırılır. Ve her bir değer dilsel değişkenlere dönüştürülmek üzere bir fuzzy küme ile çakıştırılır. Her bir fuzzy değişkenindeki fuzzy küme sayısı uygulamaya göre değişir. Yaygın olarak 3, 5, 7, ... gibi tekil sayılar kullanılır. Kullanılan fuzzy küme sayısının artması kural sayısının artması sonucunu doğurur.

Üyelik fonksiyonları $\mu_f [0, 1]$ aralığında tanımlı fonksiyonlardır. Fuzzy kümeleri ise $f = \{x, \mu_f(x)\}$ şeklinde tanımlanır. Burada x reel bir sayıdır.

Fuzzy kümelerin birleşimiyle oluşan üyelik fonksiyonu sayısal değerlerin bulanık değerlere geçiş haritasını gösterir. Şekil 3.8’de 7 dilsel değişkenle tanımlanmış bir üyelik fonksiyonu gösterilmiştir. 7 adet dilsel değişkenin isimlendirilmesi çizelge 3.1 ‘de gösterilmiştir.

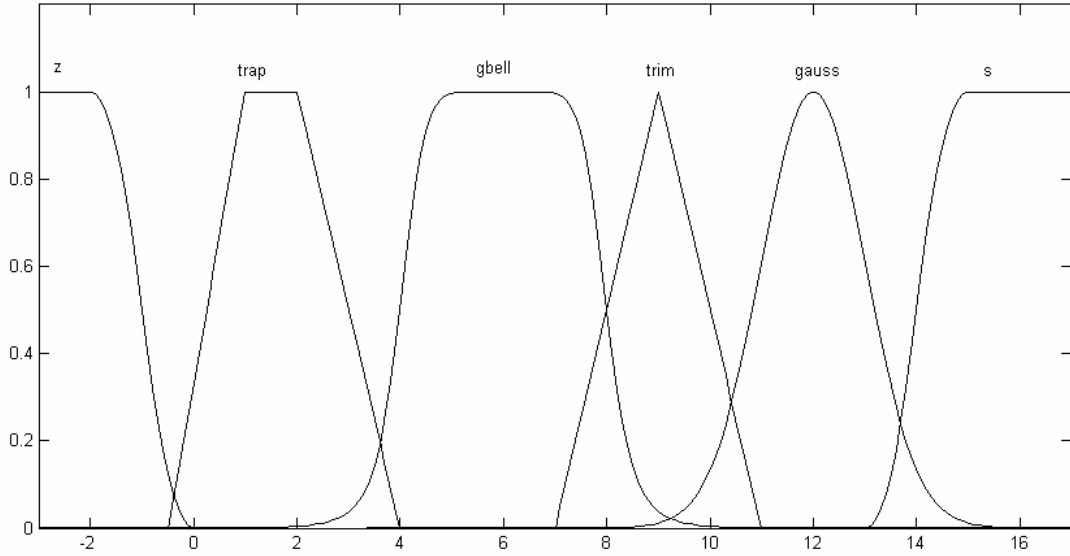
Çizelge 3.1 Dilsel değişkenlerin isimlendirilmesi

NL	:	Negatif Büyük
NM	:	Negatif Orta
NS	:	Negatif Küçük
Z	:	Sıfır
PS	:	Pozitif Küçük
PM	:	Pozitif Orta
PB	:	Pozitif Büyük



Şekil 3.8 Yedi kümeye sahip üçgen tipi üyelik fonksiyonu

Üyelik fonksiyonlarını oluşturan kümeler z, trap (yamuk), gbell (çaneğrisi), trim (üçgen), gauss, veya s tipi gibi farklı şekillerde olabilir (Şekil 3.9). Bunlardan başka sigmoid, iki sigmoid farkı, iki sigmoid çarpımı, iki kenarlı gauss ve pi şekillerindeki üyelik fonksiyonları da kullanılmaktadır.



Şekil 3.9 Üyelik fonksiyonlarında kullanılan farklı küme şekilleri

3.3.3.Fuzzy Sistemlerin Çeşitleri

“Eğer-O halde” kuralları ile ilgili olan çıkarım işlemlerine bağlı olarak, bulanık çıkarım sistemleri genel olarak üç sınıfa ayrılabilir. Mamdani sistemi, Sugeno sistemi ve Tsukamoto sistemi. Mamdani sistemi en yaygın olarak kullanılır. Oysaki Sugeno sistemi daha kompakt ve hesaplama açısından daha verimlidir. Böylece zaman alıcı ve matematiksel olarak zor olan durulama işlemini gerektirmez. Bu nedenle bulanık modellemeye dayanan örnek data için en popüler adaydır ve adaptif (uyarlamalı) tekniğin kullanımına olanak tanır. Sugeno sisteminde her bir kuralın çıktısı giriş değişkenlerinin önceden belirlenmiş fonksiyonu olarak tanımlanır (Yılmaz vd 2002).

3.3.4.Mamdani Tipi Fuzzy Sistemi

Mamdani tipi bulanık model çok kolay oluşturulur, insan davranışlarına çok uygundur. Bu nedenle çok yaygın bir kullanıma sahiptir ve diğer bulanık mantık modellerin temelini oluşturur. İlk defa bir buhar motorunun insan tecrübelerinden elde edilen sözel kontrol kuralları yardımıyla kontrolü amacıyla Mamdani ve Assilian tarafından 1975 yılında kullanılmıştır. Bu modelde hem girdi değişkenleri hem de çıktı değişkeni kapalı formdaki üyelik fonksiyonları ile ifade edilir (Yılmaz ve Arslan 2005).

Mamdani tipi bir bulanık model aşağıdaki 5 adımda oluşturulur (Yılmaz ve Arslan 2005);

- Girdilerin bulanıklaştırılması: öncül kısımdaki bütün bulanık ifadeleri kullanarak girdi değişkenlerine ait 0 ile 1 arasında değişen üyelik derecelerinin belirlenmesi.
- Bulanık mantık işlemlerini kullanarak kural ağırlıklarının belirlenmesi
- Bulanık küme mantıksal işlemcilerin (ve, veya) uygulanması
- Sonuçların toplanması: her bir kuralın çıktısını temsil eden bulanık kümelerin birleştirilmesi
- Durulaştırma: tek bir sayıya dönüştürülmüş toplam bulanık küme sonuçlarının durulaştırılması

Mamdani tipi bulanık modelin avantajlarını özetlemek gerekirse (Yılmaz ve Arslan 2005);

- Modelin oluşturulması basittir.
- Diğer bulanık mantık modellemenin temelini oluşturur.
- İnsan davranış ve duyularına uygundur.

3.3.4.1. Mamdani Tipi Fuzzy Kontrolörün İşleyişi ve Voltaj Kontrol Örneği ile Açıklanması

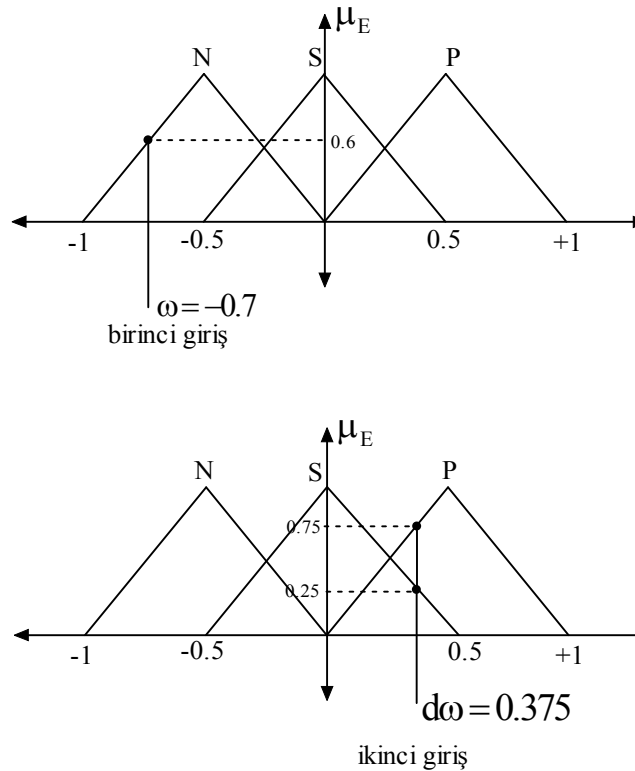
Aynen klasik kontrolörler gibi fuzzy kontrolör de girişlerine gelen gerçel sayılara karşılık yine gerçel sayı olarak bir çıkış üretirler. Bunun için öncelikle girişe uygulanan değer, üyelik fonksiyonları yardımıyla dilsel değişkenlere çevrilir. Bu da girişin ait olduğu fuzzy küme ve bu kümeye olan aidiyet derecesi kullanılarak yapılır. Bu olayı açıklamak için bir senkron jeneratör uyarım kontrolünün iyileştirilmesinde kullanılan fuzzy PSS kontrolünü örnek olarak düşünebiliriz.

Kontrolör giriş değerlerimiz fuzzy PSS tasarımında yaygın olarak kullanılan hız “ ω ” ve hızın zamana göre değişimi (türevi) “ $d\omega$ ” olsun. Bu giriş değerlerimizi kolaylık olması açısından N, S ve P isiminde üç kümeden oluşan, üçgen tipinde üyelik fonksiyonları kullanarak bulanık değerlere çevirelim. Bunun için üçgen tipi üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesinden (3.8) yararlanılır.

$$f(x; a, b, c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \quad (3.8)$$

Burada a,b,c sırasıyla üçgenin köşeleridir. ω ve $d\omega$ giriş değişkenlerinin -0.7 ve 0.375 değerleri için bulanık değerlere çevrilmesi (3.9)’da gösterilmiştir. Şekil 3.10’da Fuzzy örneği giriş değişkenlerine ait üyelik fonksiyonları gösterilmiştir.

$$\omega : 0.6/N \text{ kümesi} \quad \text{ve} \quad d\omega : 0.25/S \text{ kümesi} + 0.75/P \text{ kümesi} \quad (3.9)$$



Şekil 3.10 Fuzzy örneği giriş değişkenlerine ait üyelik fonksiyonları

Bu bulanıklaştırılmış değerler kontrol probleminin çözümü için uzman görüşüne göre dizayn edilmiş kural tablosunda değerlendirilir. Bu problemimize uyan bir kural tablosu Çizelge 3.2 'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 İki giriş ve üçer dilsel değişkene sahip örneğe ait kural tablosu

Kural No	Eğer ve ise o haldeolur
1	Eğer w “N” kümesine ve dw “N” kümesine ait ise o halde du “N” kümesi olur
2	Eğer w “N” kümesine ve dw “S” kümesine ait ise o halde du “N” kümesi olur
3	Eğer w “N” kümesine ve dw “P” kümesine ait ise o halde du “S” kümesi olur
4	Eğer w “S” kümesine ve dw “N” kümesine ait ise o halde du “N” kümesi olur
5	Eğer w “S” kümesine ve dw “S” kümesine ait ise o halde du “S” kümesi olur
6	Eğer w “S” kümesine ve dw “P” kümesine ait ise o halde du “P” kümesi olur
7	Eğer w “P” kümesine ve dw “N” kümesine ait ise o halde du “S” kümesi olur
8	Eğer w “P” kümesine ve dw “S” kümesine ait ise o halde du “P” kümesi olur
9	Eğer w “P” kümesine ve dw “P” kümesine ait ise o halde du “P” kümesi olur

Çizelge 3.2 de verilen kural tablosunun daha kısa bir şekilde gösterimi Çizelge 3.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.3 Örnek fuzzy kural tablosu

$\omega/d\omega$	N	S	P
N	N	N	S
S	N	S	P
P	S	P	P

(3.9)’da elde edilen bulanık değerlere kural tablosundaki 2 nci ve 3 ncü kurallar uymaktadır. Bu kurallar kullanılarak çıkarım işlemine devam edilir.

2. Eğer w “N” kümesine ve dw “S” kümesine ait ise o halde du “N” kümesi olur.
3. Eğer w “N” kümesine ve dw “P” kümesine ait ise o halde du “S” kümesi olur.

Bulanık giriş ve çıkış değerlerinden tek bir bulanık çıkış kümesi elde edilmesine bulanık çıkarım işlemi denir. Mamdani yöntemine göre bulanık çıkarım işleminde ve/veya,

anlamalı kılma ‘implication’, birleştirme ‘aggregation’, ve durulaştırma ‘defuzzification’ kuralı olmak üzere 4 teknik kullanılır.

3.3.4.2. Ve/Veya ‘Min/Max’ Kuralı

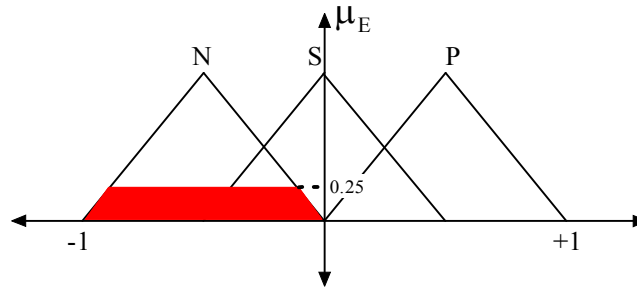
Öncelikle fuzzy kurallar arasında ve bağlacı kullanıldığı için minimum kuralı kullanılacaktır. Eğer veya bağlacı olsaydı maksimum kuralı yani üyelik derecelerinin maksimumu alınacaktı. Örnek problemimizde

2 nci kuralda (0.6/N , 0.25/S) ve kuralına göre 0.25 alınır.

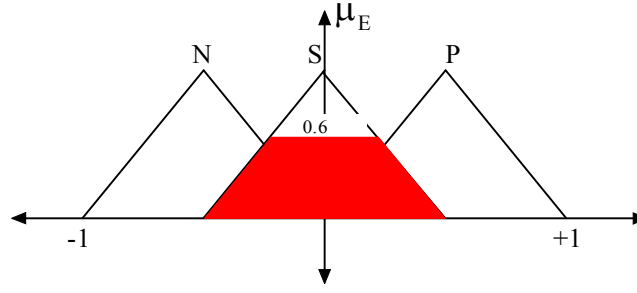
3 ncü kuralda (0.6/N , 0.75/P) ve kuralına göre 0.6 alınır.

3.3.4.3. Anlamalı Kılma ‘Implication’ Kuralı

“VE (min)” “VEYA” kuralları ile belirlenen üyelik dereceleri çıkış üyelik fonksiyonu kümelerine uygulanır (Şekil 3.11). 3 ncü kuralda da aynı şekilde işlem yapılır (Şekil 3.12).



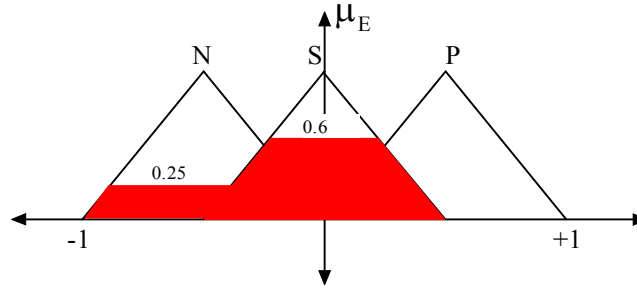
Şekil 3.11 İkinci kuralda çıkış üyelik fonksiyonunda anlamalı kılma işlemi sonunda elde edilen bulanık değer



Şekil 3.12 Üçüncü kuralda çıkış üyelik fonksiyonunda anlamlı kılma işlemi sonunda elde edilen bulanık değer

3.3.4.4. Birleştirme ‘Aggregation’ Kuralı

Implication ile oluşturulan kümeler tek bir koordinat sisteminde birleştirilir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Birleştirme işlemi sonunda elde edilen fuzzy sonuç kümesi

3.3.4.5. Durulaştırma ‘Defuzzification’ Kuralı

Birçok yöntem vardır. Bunlar arasında en yaygın olan metot centroid (ağırlık merkezi) metodudur. Centroid metoduna göre son elde edilen birleştirilmiş fuzzy kümenin ağırlık merkezi alınır. Yaygın olarak kullanılan diğer metotlar ise bisector, maksimum değerlerin orta noktası (mom), maksimum değerlerin en küçüğü (som), maksimum değerlerin en büyüğü (lom) şeklindedir.

Durulaştırma işlemi için kullanılan bu metodlarla birleştirme kuralı ile elde edilmiş birleştirilmiş kümeden tek bir gerçek değer elde edilir.

Yukarıdaki açıklayıcı örneğimizde durulaştırma yöntemi olarak centroid metodunu kullanırsak -0.145, bisector metodunda -0.08, mom metodunda 0.0, lom metodunda 0.12 ve som metodunda ise 0.0 kesin değeri elde edilir.

Bu kontrol yapısındaki her işlem kontrol performansını belirli bir şekilde etkiler. Mesela bulanıklaştırma kısmında sayısal giriş bilgisinin dilsel değişken şeklinde ifade edilmesinde kullanılacak üyelik fonksiyonunun tipi ve üyelik fonksiyonunu oluşturan küme sayısı performansı etkileyen faktörlerdendir. Üyelik fonksiyonunun tipi ve kullanılacak bulanık kural sayısına, kontrol edilen sistemin özelliğine ve giriş bilgisine göre karar verilir. Ayrıca deneme yanılma metodu ile maksimum performans sağlayacak optimum değerler elde edilmeye çalışılır.

3.3.5.Sugeno (TSK) Tipi Fuzzy Sistemi

Sugeno ya da Takagi – Sugeno tipi fuzzy sistemi ilk olarak 1988 yılında Takagi, Sugeno ve Kang tarafından önerilmiştir (Jang ve Sun 1995). Mamdani bulanık mantık yönteminin bir uyarlamasıdır. Girdi değişkenlerinin bulanıklaştırılması ve bulanık mantık işlemleri Mamdani bulanık modelleme ile tamamen aynıdır. İki yöntem arasındaki fark çıktı üyelik fonksiyonlarındadır. Sugeno tipi bulanık modellemede çıktı üyelik fonksiyonları sadece lineer yada sabittir. Çıktı üyelik fonksiyonları sabit olduğu zaman, sıfıncı derece, birinci derece doğru denklemi şeklinde olduğu zaman ise birinci derece Sugeno bulanık model olarak adlandırılırlar. Böylece Sugeno tipi bulanık model, Mamdani tipi bulanık modelden daha karmaşık ve gösterim açısından daha elverişlidir. Bu nedenle Sugeno tipi bulanık model uyarlanabilir tekniklerle birlikte kullanılabilir. Bir birinci (sıfıncı) derece Sugeno bulanık model (3.10) ifadesiyle tanımlanabilir.

$$\text{Eğer } x = A \text{ ve } y = B \text{ ise } z = f(x, y) = px + qy + r(c) \quad (3.10)$$

Burada A ve B, x ve y üyelik fonksiyonları için tanımlanmış öncül kısımdaki bulanık kümeler, p, q ve r (r) ise sonuç kısımdaki parametrelerdir. Böylece her bir kural için bir

çıktı değeri elde edilir. Bulanık küme mantıksal işlemleri (ve, veya) basit toplama ve çarpmadır (Yılmaz ve Arslan 2005).

Sugeno tipi bulanık modelin avantajları aşağıda sıralanmıştır;

- Hesaplama için çok uygundur.
- Lineer olmayan sistemlerin kontrol edilmesi için lineer teknikler kullanılabilir.
- Optimizasyon ve uyarlanabilir (adaptif) tekniklerle birlikte iyi çalışır ve çıktı parametrelerini optimize ederek sonuçları iyileştirir.
- Çıktı uzayında sürekliliği garantiler.
- Matematiksel analiz için uygundur.

Sugeno tipi bulanık modelin dezavantajları ise;

- Yüksek derecedeki Sugeno bulanık modelleme kullanıldığında oldukça kompleks bir yapıya sahip olur.
- Girdi ve alt küme sayılarının artması verilerin eğitilmesini zorlaştırır, sonuçların elde edilmesi için belirlenmesi gereken soncul parametrelerin sayısı artar.
- İnsan sezgilerine çok uygun değildir

3.4. Genetik Algoritma İle Optimizasyon

Bu bölümde ilk önce genetik algoritma mantığı anlatılmıştır. Daha sonra ise genetik algoritmanın basamakları ve basit bir genetik algoritma örneği anlatılmıştır. Son bölümde ise bu tezde kullanılan genetik algoritma programı matlab kodu ve açıklaması anlatılmıştır.

3.4.1. Tanımı

Genetik algoritma mantığı, en iyi olan yaşar prensibine dayalı olarak Darwin'in evrim teorisi düşüncesini temel almıştır. İlk defa 1975 yılında Mishigan Üniversitesi'nden Prof. John Holland tarafından ortaya konulmuştur. Bu yöntemin yaygın olarak kullanılmaya başlanması ise İllinois Üniversitesi'nden Prof. David Goldberg sayesinde

olmuştur. 1992 yılında John Koza genetik algoritmayı kullanarak çeşitli görevleri yerine getiren programlar geliştirdi ve bu metoda genetik programlama adını verdi.

Genetik algoritma biyolojik evrim mekanizmasını esas kabul eden bir araştırma algoritmasıdır. Genetik Algoritma karmaşık fonksiyonlar için optimizasyon çözümü sağlar. Evrim Teorisi ile kabul edilen en iyinin yaşaması ve zayıf olanın elenmesi kuralına bağlı olarak, algoritma sürekli iyileşen çözümler üretir. Kötü olan çözümler ise elenir.

Genetik algoritma rast gele oluşturulan ve bir çok çözüm takımının içinde bulunduğu, popülasyon adı verilen gen havuzu ile çalışmaya başlar. Her bir değişkene bir kromozom denir. Fonksiyonun tüm değişkenlerinin yan yana sıralanması ile birey oluşur. Birey popülasyonun bir satırıdır. Bireyler topluluğu popülasyonu oluştururlar. Değişkenler değişik şekillerde kodlanırlar. En yaygın olanı ikilik sayı sistemi olarak bilinen binary sayı sistemi ile kodlanmasıdır. Bu sistemde kromozomlar 0 ve 1 genlerinin kombinasyonlarından oluşurlar. Popülasyonun devamı biyolojik kurallara bağlıdır.

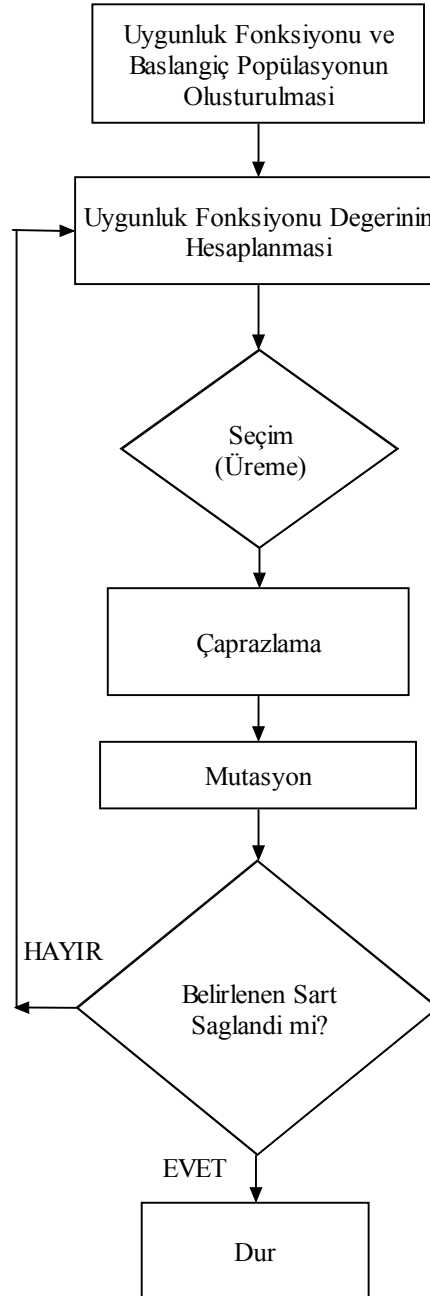
Popülasyonun her bir bireyi için uygunluk fonksiyonu değerleri hesaplanır. Kromozomlardan başarılı olanlar, yani uygunluk fonksiyonu değerleri aranan kriterlere yakın olanlar bir seçim yöntemi ile seçilirler. Aranan kriterlerden çok uzak olanlar ise elenirler. Neslin devamı bir sonraki jenerasyondaki başarılı bireyler arasında gerçekleşir. Başarılı bireyler ebeveyn olarak kabul edilmek sureti ile aralarında üreme meydana getirilir. Bu olaya genetik algoritmada çaprazlama denir. Çaprazlama ebeveynlerin bazı genlerini yeni bireyler üzerine kopyalamaları işlemidir. Çaprazlama (üreme) sonucunda yeni bireyler elde edilir. Yeni bireylerin ebeveynlerinin kopyası olması olasılığını önlemek için bu bireyler mutasyona uğrattılır. Mutasyon ile rast gele bazı genler değişikliğe uğrar, örneğin 0 ise 1 veya 1 ise 0 olurlar. Algoritmada mutasyon oranını yani değişikliğe uğrama oranını program tasarlayıcısı belirler.

Sonuçta başarılı bireylerin genlerini alt nesillere aktarılır iken, zayıf olan bireylerin genleri ise zamanla yok olur. Yeni nesiller oluştuğça gen havuzunun da kalitesi gittikçe

artar. ilk başlangıçta havuz içinde bir çok başarısız birey bulunmasına karşılık jenerasyon ilerledikçe havuzun çoğunluğunu başarılı bireyler oluşturur. En sonunda tüm bireyler aranan ideal bireye dönüşür. Bu taktirde optimizasyon sonuçlanmış olur. Genetik algoritma çalışmasında programın sonlandırma şartı olarak jenerasyon sayısı, programın çalışma süresi veya belirli bir sürede sürekli aynı sonuçların elde edilmesi olarak belirlenebilir.

3.4.2. Genetik Algoritmanın Basamakları

Genetik algoritmanın genel çalışma mantığı şekil 3.14’de verilmektedir. Genetik Algoritmanın adımları sırası ile genel olarak aşağıda açıklanmaktadır.



Şekil 3.14 Genetik Algoritmanın Basamakları

3.4.2.1. Uygunluk Fonksiyonunun Oluşturulması

Sınırlı optimizasyon problemlerinde ceza fonksiyonu yaygın olarak kullanılmaktadır. Genetik algorithma uygunluk fonksiyonu amaç fonksiyonu ve ceza fonksiyonunun toplamı veya farkıdır. Maksimizasyon problemlerinde farkı minimizasyon problemlerinde toplamı olarak alınır. Eğer problemde sınırlayıcı bir sebep bulunmuyor ise bu durumda amaç fonksiyonu uygunluk fonksiyonu olarak da ifade edilebilir. Amaç fonksiyonuna bir K katsayısı eklenir bu sayı fonksiyonun negatif değer almasına engel olacak yeterince büyük seçilen sayıdır. Optimizasyon sona erdiğinde bu eklenen sayı sonuçtan çıkartılarak gerçek sonuç bulunabilir. Sınırsız bir problemde uygunluk fonksiyonu (3.11) deki gibi bulunabilir.

$$F_{(x)} = K + F(X1, X2, X3, \dots) \quad (3.11)$$

Bu denklemde Amaç Fonksiyonu: $F(X1, X2, X3, \dots)$

Fonksiyonun Değişkenleri: $X1, X2, X3, \dots$

Uygunluk Fonksiyonu: $F_{(x)}$

Uygunluk fonksiyonunun negatif olmasına engel olacak kadar büyük bir sabit sayı: K

3.4.2.2. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması

Başlangıç popülasyonu, çözüme başlayabilmek için başlangıçta rast gele oluşturulan ve içerisinde problemin değişkenlerinin kodlarını bulunduran bir gen havuzudur. Genler kullanılan yöntemle bağlı olarak değişik karakterler ile sembolize edilebilirler. En yaygın olarak genlerin kodlanması için ikili sayı sistemi elemanları olan 0 ve 1 rakamları kullanılır (Öztürk 2007).

Çizelge 3.4 Yedi bireye sahip popülasyon

Birey No	DEĞİŞKENLER								
1	0	0	1	1	0	1	0	0	1
2	1	1	1	1	0	0	0	0	1
3	1	0	1	1	0	0	1	1	0
4	1	1	0	0	0	0	1	1	1
5	1	0	1	1	1	1	0	0	0
6	1	1	1	1	0	0	0	0	1
7	1	1	1	0	0	0	0	1	1

Çizelge 3.4 de görüldüğü gibi genleri 0 ve 1 bitlerinden oluşan değişkenlerin bir araya gelmesi ile bireyler oluşmaktadır. Popülasyon sayısı yedi olduğundan yedi tane bireyin rast gele oluşması sonucunda elemanları 0 ve 1 olan 7*9 boyutunda bir gen havuzu, başlangıç popülasyonu (başlangıç gen havuzu) oluşturulmuştur.

3.4.2.3. Uygunluk Fonksiyonu Değerinin Hesaplanması

Fonksiyonun değişkenlerini ifade eden popülasyonun her bir satırına birey adı verilir. Başlangıç popülasyonunda her bireyi oluşturan değişkenler ikilik sayı sistemi kullanılması sureti ile 0 ve 1'ler ile kodlanır. Bilgisayar programı yardımı ile her bireyi oluşturan değişkenlerin kodları ikilik sayı sisteminden onluk sayı sistemine çevrilir ve uygunluk fonksiyonu denkleminde yerine yazılır böylece uygunluk fonksiyonu değeri hesaplanır. Bu hesaplama popülasyonun her bir bireyi için ve popülasyon sayısı kadar ayrı ayrı yapılır. Örneğin popülasyon sayısı yedi ise yedi tane uygunluk fonksiyonu değeri hesaplanır. Başlangıçta uygunluk fonksiyonu değerlerinin birbirlerine çok yakın olma ihtimali çok düşüktür. Başlangıç popülasyonundaki genler kullanılarak hesaplanan uygunluk fonksiyonu değerlerinin birbirlerinden çok farklı olmaları doğaldır. Bu durumda uygunluk fonksiyonu değerleri içinde istenilene yakın olanlar yani başarılı olan popülasyon adımları seçilmek sureti ile başarılı bireyler arasından yeni bir nesil oluşturmak istenecektir. Yeni nesil oluşturulurken evrim teorisindeki seçim, çaprazlama, mutasyon gibi etkiler kullanılacaktır. Sonuçta yeni bir popülasyon (gen

havuzu) oluşturulacak ve uygunluk fonksiyonu değerleri yeniden hesaplanacaktır. İstenilen sonuca ulaşıncaya kadar bu döngü tekrar edilecektir.

3.4.2.4. Genetik Algoritma Operatörleri

Genetik algoritmada jenerasyon sayısı kadar popülasyon oluşturulur. Her yeni popülasyon bir önceki popülasyonun bireylerinin kullanılması ile oluşturulur. Popülasyonun hesaplanan uygunluk fonksiyonu değerleri dikkate alınarak, genetik algoritma operatörleri olan elitizm, seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemleri neticesinde yeni bir popülasyon oluşturulur (Öztürk 2007).

3.4.2.4.1. Elitizm

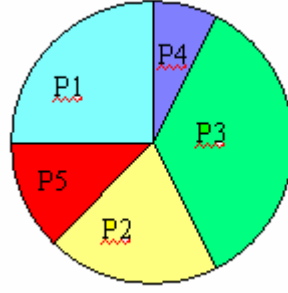
Genetik algoritma ile maksimizasyon optimizasyonu yapıldığında en iyi veya en uygun birey, uygunluk fonksiyonu değeri en büyük olan birey demektir. Minimizasyon optimizasyonu yapıldığında ise en iyi veya en uygun birey uygunluk fonksiyonu değeri en küçük olan bireydir. Elitizm operatörünün kullanılmasıyla popülasyon içinden en iyi uygunluk fonksiyonu değerine sahip bireyin veya bireylerinin bir sonraki popülasyon içinde yer almasını sağlamak için bu değerler belirlenir ve kaydedilir. Yeni oluşturulan popülasyonun içine ilk elemanı veya elemanları olarak kopyalanırlar. Böylece en iyi uyumluluğa sahip olan birey veya bireyler bir sonraki jenerasyonda yaşamını sürdürebilmeleri garanti edilmiş olur. Örneğin başlangıç popülasyonu sayısı 50 olan bir popülasyonun her bir bireyi için olmak üzere toplam 50 tane uygunluk fonksiyonu değerleri hesaplanır. Bunlar içinden en iyi uygunluk fonksiyonu değerlerine sahip olan iki birey seçilir. Yeni popülasyonun birinci ve ikinci elemanı olarak kaydedilir. Bir sonraki jenerasyonda yeni popülasyon için diğer 48 yeni birey ise genetik algoritmanın diğer operatörleri olan seçim, çaprazlama ve mutasyon yolu ile belirlenir. Bu döngü tüm algoritma boyunca her jenerasyonda, yeni bir popülasyon oluşturmak için devam eder.

3.4.2.4.2. Seçim

Uygunluk fonksiyonunu değerlerine göre yeni nesil oluşturacak uygun ailelerin (ebeveyn çiftlerinin) seçilmesi işlemine genetik algoritmanın seçim operatörü denir. Seçmedeki amaç başarılı bireylerin yaşamlarını sürdürebilmelerini temin etmek yeni neslin bunlardan oluşmasını sağlamak başarısız bireylerin ise elenmesine olanak vermektir (Öztürk 2007). Seçim için bir çok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan en çok bilinenler, rulet tekerleği seçimi (roulette wheel selection), turnuva seçimi (tournament selection), sıralama seçimi (rank selection) gibi seçim yöntemleridir. Bu yöntemlerin hepsinde seçim, uygunluk fonksiyonu değerine bağlı olarak farklı çözüm metotları ile yapılır.

3.4.2.4.2.1.Rule Tekerleği Seçimi

Sıklıkla kullanılan ve orantısal bir seçim süreci olan ilk örnek Rulet Tekerleği olarak adlandırılmaktadır. Bu yöntemde bireyler bir rulet tekerleğine yerleştiriliyormuş gibi düşünülür. Bireylerin uygunluk fonksiyonlarına göre rulet tekerleğinde kaplayacakları hacim belirlenir, uygunluk fonksiyonu yüksek olanların rulet tekerleğinde daha fazla hacimler kaplaması beklenir. Şekil 3.15’de problemin popülasyonunda 5 birey bulunduğu haliyle basit yolu göstermektedir. P1 bireyinin uygunluk değeri F1, P2’nin F2 vb.dir. Ruletin üstünde iğneyi dikkatle tutarak rulet döndürüldüğünde P3 bireyinin gelme olasılığının daha fazla P4 bireyinin en düşük olasılığa sahip olduğu görülmektedir. Böylelikle rulet tekerleği çevrildiğinde uygunluk fonksiyonu yüksek olan bireylerin seçilme şansı yükselmiş olur (Bjarnadóttir 2004; Kahraman ve Özdağlar 2004).



$$F1= 0.30, F2=0.16, F3=0.35, F4=0.07, F5=0.12$$

Şekil 3.15 Rulet Tekerleği Gösterimi

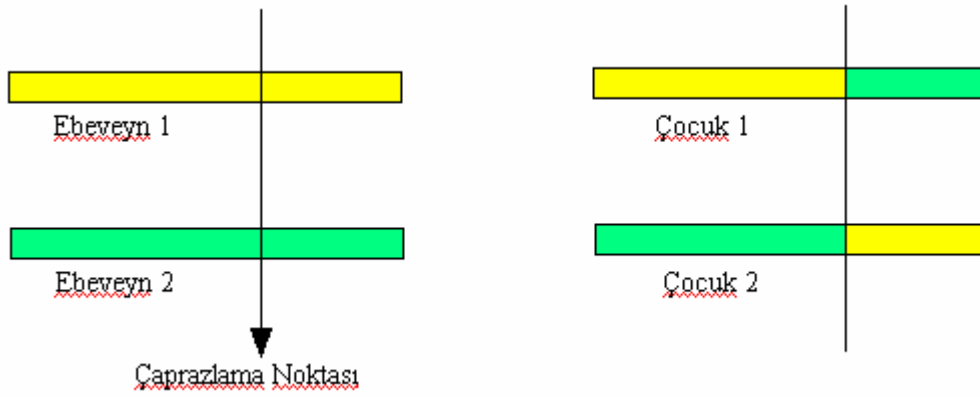
Rulet tekerleği yönteminin sakıncası uygunluk değerlerini doğrudan kullanmasıdır. Çözümün çok küçük uygunluk değeri diğerleriyle karşılaştırıldığında seçiminin çok düşük bir olasılıkla sonuçlanması gibi problemlere sebep olabilmektedir (Bjarnadóttir 2004).

3.4.2.4.3. Çaprazlama

Çaprazlama yöntemi ebeveynlerinin özelliklerini taşıyan bireyleri oluşturmayı amaçlayan bir yöntemdir. Bu yöntem gen takası yöntemi de denir. Ebeveynlerin bazı genleri yeni çocuk adı verilen bireylere kopyalanır. Genetik algorithmada çaprazlama oranı çaprazlamanın hangi sıklıkla yapılacağını gösterir. Çaprazlama oranı %0 ise çaprazlama işlemi olmaz, yeni bireyler ebeveynlerinin kopyası olur. Bu durumda genetik algoritmanın daha iyi sonuçlar bulma ihtimali olmaz. Çaprazlama oranı % 100 ise yeni nesil tamamıyla çaprazlama sonucu elde edilir. Yeni nesil ebeveynlerinden farklı bir nesildir. Çaprazlamada amaç gen havuzundaki bireylerden genlerini değiştirerek değişik bireyler elde ederek daha iyi bireylerin oluşmasına olanak sağlamaktır. Genel olarak dört çeşit çaprazlama yöntemi kullanılır (Öztürk 2007). Bunlar tek noktalı çaprazlama, iki noktalı çaprazlama, çok noktalı çaprazlama, düzenli çaprazlama.

3.4.2.4.3.1. Tek Noktalı Çaprazlama

Bir noktalı çaprazlamada iki gen üzerinde sabit bir nokta rastgele seçilir ve bu noktanın sağ tarafında kalan genler değiştirilir. Örneğin 01100 ve 11011 genleri eşleşen ebeveyn kromozomlar olsun. Eğer rastgele seçilen sabit nokta 3 ise son 3 basamaktan sağda kalan genler değiştirilir. Elde edilen yeni bireyler 01111 ve 11000 bireyleridir (Altay 2007). Bir noktalı çaprazlama şekil 3.16'daki gibi gösterilebilir.



Şekil 3.16 Tek noktalı çaprazlama

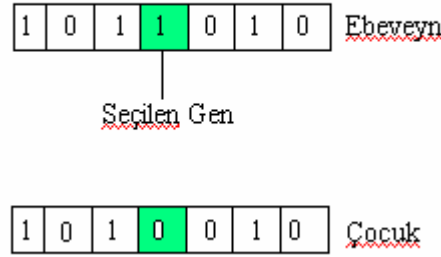
3.4.2.4.4. Mutasyon

Bu yöntemin amacı , seçim ve çaprazlama işlemi gerçekleştikten sonra popülasyon adımlarındaki genlerin bir veya birkaçının değiştirilmesi işlemidir. Mutasyon işlemi tamamen rast gele yapılır. Mutasyon gerçekleşmez ise seçim ve çaprazlama sonucu popülasyonda bulunan bazı iyi özellikler zamanla kaybolabilir veya bir süre sonra üretilen çocuklar ebeveynlerinin kopyası olabilirler. Bunun sonucunda yeni bireylerin üretilmesi durabilir (Öztürk 2007).

Mutasyona uğrayacak gen sayısı mutasyon oranına bağlıdır. Mutasyon oranı % 100 ise seçim ve çaprazlama ile oluşan yeni neslin tüm genleri tamamen değişir. Bu oranın %1 ile %5 arasında seçilmesi tavsiye edilmektedir. %1 seçilir ise gen havuzunda bulunan toplam gen sayısının % 1'i rast gele değişecektir. Mutasyon işlemi ters çevirme, ekleme, yer değişikliği, karşılıklı değişim olarak çeşitli şekillerde gerçekleştirilir.

3.4.2.4.4.1.Ters Çevirme Yöntemi

Kromozomdan herhangi bir gen seçilerek Şekil 3.17’de görüldüğü gibi tersiyle değiştirilir (Altay 2007).



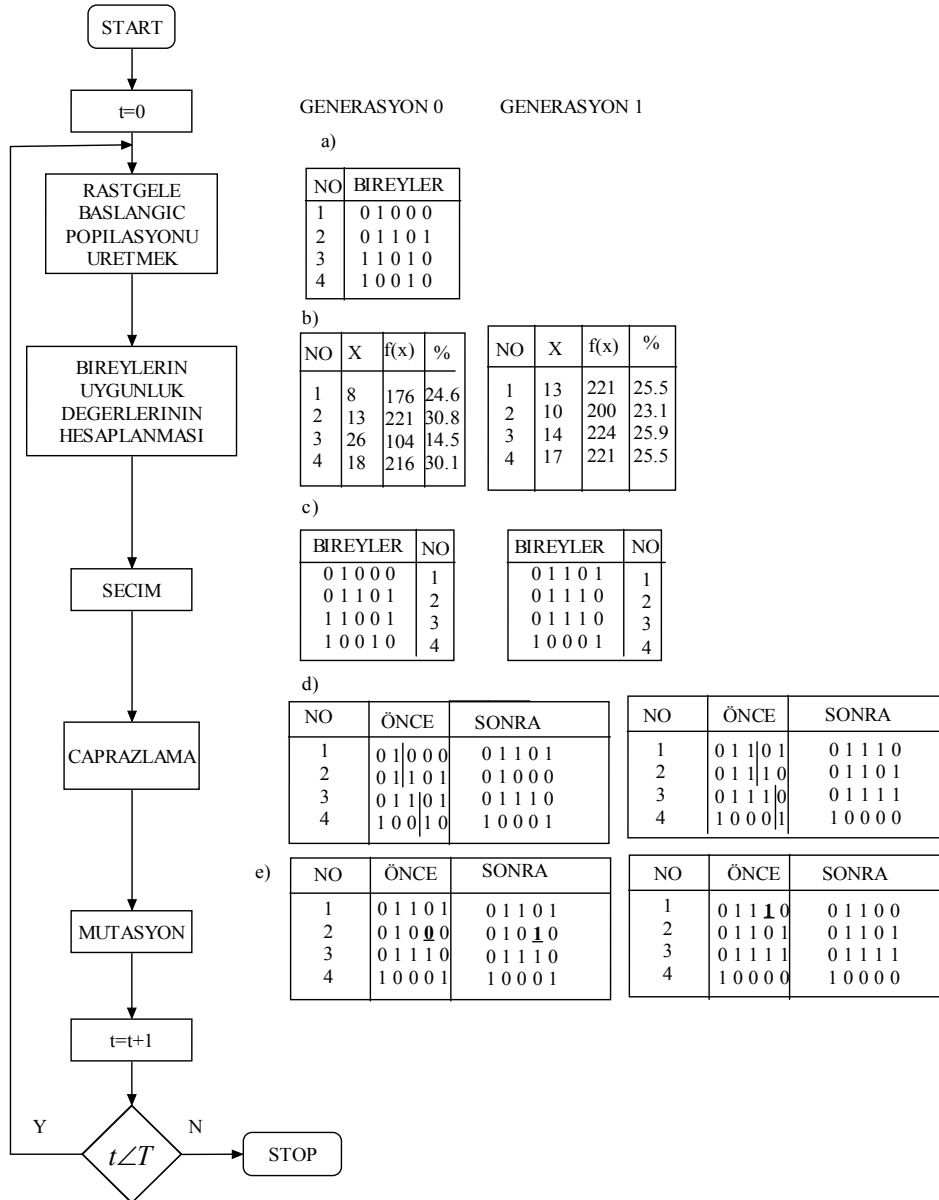
Şekil 3.17 Ters Çevirme Yöntemi

3.4.3. Genetik Algoritmanın Sonlandırma Şartları

Her jenerasyon için hesaplanan uygunluk fonksiyonu değerlerine göre genetik algoritma operatörlerinin kullanımı ile yeni bir popülasyon elde edilir. Bunun anlamı her jenerasyonda popülasyonun birey sayısı kadar çözüm elde edilmesidir. Olabilecek en iyi çözüm bulunduğunda daha iyi bir çözüm olmadığından jenerasyon sayısı kaç seçilir ise seçilsin genetik algoritma artık sürekli aynı çözümleri verir. Bu özellik algoritmanın sonlandırma şartı olarak jenerasyon sayısı seçilmesinde kullanılır. Algoritma birkaç defa değişik jenerasyon sayılarında çalıştırılır ve buna göre gerekli jenerasyon sayısı belirlenir. Başlangıçta belli bir jenerasyon sayısı seçilir bu sayıya ulaşıldığında genetik algoritma çalışması sona erer. Genetik algoritmayı sonlandırma kriteri olarak, algoritmanın çalışma süresi seçilebilir. Başlangıçta belirlenen çalışma süresi dolduğunda genetik algoritma son çözümlerini verir ve çalışması son bulur. Genetik algoritmanın belirli bir zaman diliminde sürekli aynı sonuçları vermesi, bu zaman diliminde yeni çözümler sağlayamaması da sonlandırma şartı olarak seçilmektedir.

3.4.4. Basit Genetik Algoritma

Genetik algoritmanın ne olduğuna dair genel fikri açıklamak için $f(x) = -x^2 + 30x$ fonksiyonun $[0-31]$ aralığında maksimum değeri bulunmuştur. Genetik algoritmanın böyle bir problemi çözüm yolu şekil 3.18 de basamaklar halinde gösterilmiştir.



Şekil 3.18 $f(x) = -x^2 + 30x$ fonksiyonunun maksimumunu bulurken genetik algoritma basamaklarının kullanılması

3.4.4.1.Başlangıç Popülasyonun Oluşturulması

İlk basamak x değişkeni iki tabanında beş basamaklı diziler halinde oluşturulur. Daha sonra şekil 3.19’da gösterilen dört potansiyel çözümü kapsayan ilk popülasyon oluşturulur. İlk popülasyon genellikle bir çok bilgisayar derleyicisinde bulunan rastgele sayı generatörü kullanılarak rastgele üretilir. Burada popülasyonun birey sayısı dört olarak seçilmiştir.

GENERASYON 0

NO	BİREYLER
1	0 1 0 0 0
2	0 1 1 0 1
3	1 1 0 1 0
4	1 0 0 1 0

Şekil 3.19 Rastgele Oluşturulan Başlangıç Popülasyonu

3.4.4.2.Uygunluk Değerinin Hesaplanması

Popülasyonun her bir bireyi için $f(x)$ fonksiyonu kullanılarak uygunluk değeri hesaplanır. Her bir bireyin uygunluk değeri Şekil 3.20’de gösterilmiştir. Uygunluk değerleri toplanarak toplam uygunluk değeri bulunur. Daha sonra her bireyin toplam uygunluk değerine göre uygunluk değerleri yüzde olarak hesaplanır.

GENERASYON 0

NO	X	$f(x)$	%
1	8	176	24.6
2	13	221	30.8
3	26	104	14.5
4	18	216	30.1

Şekil 3.20 Her Bir Bireyin Uygunluk Değeri

3.4.4.3. Seçim Operatörünün Uygulanması

Genetik algoritma her kromozomun uygunluk değerine bağlı olarak seçim kriterine göre uygunluk değerleri en yüksek olan bireyleri seçer. Seçim kriterinde en iyi uygunluk değerine sahip olan bireyin hayatta kalması sağlanmaktadır. Bu örnekte birinci bireyin bir kopyası, ikinci bireyin iki kopyası ve dördüncü bireyin bir kopyası seçilerek yeni bir popülasyon oluşturulmuştur. Burada seçilemeyen üçüncü birey uygunluk fonksiyon değeri en küçük olan bireydir. Seçim operatörüyle seçilen bireyler şekil 3.21’de gösterilmiştir.

BİREYLER	NO
0 1 0 0 0	1
0 1 1 0 1	2
1 1 0 0 1	3
1 0 0 1 0	4

Şekil 3.21 Seçim Operatörüyle Seçilen Bireyler

3.4.4.4. Çaprazlama Operatörünün Uygulanması

Çaprazlama aşağıdaki yolla yapılır. Önce çaprazlamanın meydana gelip gelmeyeceğine karar verilir. Daha sonra geliş güzel sayı üreticisi kullanılarak elde edilen çaprazlama noktasında karşılıklı yer değiştirilir. Eğer çaprazlama yapılmazsa bireyler aynen kopyalanır. Şekil 3.22’de çaprazlama ilk çift için ikinci pozisyonda diğer çift için üçüncü pozisyonda meydana gelmiştir.

NO	ÖNCE	SONRA
1	0 1 0 0 0	0 1 1 0 1
2	0 1 1 0 1	0 1 0 0 0
3	0 1 1 0 1	0 1 1 1 0
4	1 0 0 1 0	1 0 0 0 1

Şekil 3.22 Çaprazlama Operatörüyle Seçilen Bireyler

3.4.4.5.Mutasyon Operatörünün Uygulanması

Mutasyon işlemcisi bazı kromozomları rastgele değiştirerek popülasyondaki yeni genetik yapıları oluşturur. Mutasyon rastgele bir bireye alternatif olarak rastgele bir şekilde uygulanır.

NO	ÖNCE	SONRA
1	0 1 1 0 1	0 1 1 0 1
2	0 1 0 0 0	0 1 0 1 0
3	0 1 1 1 0	0 1 1 1 0
4	1 0 0 0 1	1 0 0 0 1

Şekil 3.23 Mutasyon Operatörüyle Seçilen Bireyler

3.4.4.6.Oluşan Yeni Popülasyon

Çaprazlama ve mutasyondan sonra şekil 3.24’de yeni bir nesil üretilir ve sona erme kriterine ulaşılan kadar aynı işlemler devam eder.

GENERASYON 1

NO	BİREYLER
1	0 1 1 0 1
2	0 1 0 1 0
3	0 1 1 1 0
4	1 0 0 0 1

Şekil 3.24 Oluşan Yeni Nesil

3.4.5. Genetik Algoritma Programı Matlab Kodu ve Açıklaması

Kullanılan program aşağıda açıklanmıştır. Programda genetik algoritma mantığının bütün parametreleri basamaklar halinde uygulanmıştır. Birinci bölümde 10 bireyden oluşan başlangıç popülasyonu oluşturulmuştur. Popülasyondaki her bir birey 49 genden oluşturulmuştur. Popülasyondaki genler 1 ile 7 arasındaki rakamlardan oluşturulmuştur. Popülasyonu oluşturan bireylerin genlerini oluşturmak için fuzzy kural tablolarında

kullanılan kural ifadelerinin her birine 1 ile 7 arasındaki rakamlar verilmiştir (şekil 3.25).

NL	:	1
NM	:	2
NS	:	3
Z	:	4
PS	:	5
PM	:	6
PB	:	7

Şekil 3.25 Fuzzy kural ifadelerine (1-7) arasındaki sayıların verilmesi

İkinci bölümde her birey için uygunluk değeri hesaplanmıştır. Uygunluk değeri en yüksek olan birey belirlenmiştir.

Üçüncü bölümde elitizm ve seçim işlemi gerçekleştirilmiş ebeveyn popülasyon oluşturulmuştur. Elitizmde uygunluk değeri en yüksek olan birey korunmaktadır. Bir sonraki popülasyona değiştirilmeden aynen aktarılmaktadır. Daha sonra popülasyonun diğer üyeleri seçim operatörüyle uygunluk değeri yüksek olanlar arasından seçim yapılarak yeni ebeveyn popülasyon oluşturulmuştur.

Dördüncü bölümde oluşturulan popülasyon çaprazlama operatörüyle çaprazlamaya ve mutasyon operatörüyle mutasyona uğratılmıştır. Burada amaç oluşan yeni popülasyonun ebeveyn popülasyona benzemesini önlemektir.

Beşinci bölümde oluşturulan yeni jenerasyona programın başına dönülerek yine aynı işlemler uygulanmıştır. Programda jenerasyon sayısı 300 olarak belirlenmiştir. Genetik algoritma çalışmasında programın sonlandırma şartı olarak jenerasyon sayısı, programın çalışma süresi veya belirli bir sürede sürekli aynı sonuçların elde edilmesi belirlenebilir. Yapılan çalışmada programın sonlandırma şartı olarak 300 belirlenmiştir. Burada her döngü sonunda uygunluk değeri elde edilmiştir. Elde edilen uygunluk değerleri 300 döngü sonunda diğer PSS'siz, PSS'li ve FPSS'li uygunluk değerlerinden yüksek

çıkıştır. Ayrıca farklı döngü sayılarında yapılan denemelerde döngü sayısı 300'ün üzerine çıkarıldığında uygunluk değerleri değişmeden aynı kalmıştır.

3.4.5.1.Genetik Programın Açıklaması

```
clear
```

% Workspace hafızasının temizlenmesi

```
fis2=readfis('m3');
fis21=readfis('table1');
fis22=readfis('table3');
fis23=readfis('table4');
fis24=readfis('cy2003');
```

% genetik algoritma programının optimizasyon sürecine katkıda bulunmak üzere daha önceden oluşturulan kural tablolarının simulink modeli içerisindeki fuzzy kontrolör tarafından okunabilmesi için workspace hafızasında tanımlanması

[illegible]

% Programda kullanılan dataların girildiği bölüm.

NUM_TRAITS=49; Burada bir kromozomdaki gen sayısı 49 olarak belirlenmiştir.
HIGHTRAIT =[7 7...]; Kromozomların en üst limiti 7 olarak belirlenmiştir.

LOWTRAIT=[1 1 ...]; Kromozomların en alt limiti 1 olarak belirlenmiştir.

MUTAT_PROB= 0.1; Mutasyon olasılığı 0.1

CROSS_PROB= 0.09; Çaprazlama olasılığı 0.09

SELF_ENTERED= Başlangıç popülasyonu oluşturma yöntemi seçimi 0 seçilirse başlangıç popülasyonunu rastgele oluşturur, 1 seçilirse verilen başlangıç popülasyonunu kullanır.

POP_SIZE=10 Popülasyon büyüklüğü 10 olarak seçilmiştir. Bu 49 satır 10 sütundan oluşan popülasyon demektir.

MAX_GENERATION=300 Jenerasyon sayısı 300 seçilmiştir. Program 300 deneme yapacaktır.

popcount=1 Jenerasyon sayacı 1'den başlatılmıştır.

```
for pop_member = 1:POP_SIZE
for current_trait = 1:NUM_TRAITS,
trait(current_trait,pop_member,popcount)=round(...
(rand-(1/2))*(HIGHTRAIT(current_trait)-LOWTRAIT(current_trait))+...
(1/2)*(HIGHTRAIT(current_trait)+LOWTRAIT(current_trait)))
end
```

% Başlangıç popülasyonun oluşturulduğu bölüm burada 10 sütun 49 satırdan oluşan trait (başlangıç popülasyonu=trait) oluşmaktadır.

```
pop_member = 1;
for current_trait = 1:NUM_TRAITS,
trait(current_trait,pop_member,popcount)=fis2.rule(1,current_trait).consequent;
end
pop_member = 2;
for current_trait = 1:NUM_TRAITS,
trait(current_trait,pop_member,popcount)=fis21.rule(1,current_trait).consequent;
end
```

```

pop_member = 3;
for current_trait = 1:NUM_TRAITS,
    trait(current_trait,pop_member,popcount)=fis22.rule(1,current_trait).c
onsequent;
end
pop_member = 4;
for current_trait = 1:NUM_TRAITS,
    trait(current_trait,pop_member,popcount)=fis23.rule(1,current_trait).c
onsequent;
end
pop_member = 5;
for current_trait = 1:NUM_TRAITS,
    trait(current_trait,pop_member,popcount)=fis24.rule(1,current_trait).c
onsequent;
end

```

% readfis komutuyla program başında workspace hafızasına okutulan 5 farklı FPSS kural tablosu consequent sonuç değerleri ile Başlangıç popülasyonu (Trait) in ilk beş kromozomuyla yer değiştirilerek yeni popülasyonumuz oluşturulmuştur.

```

while popcount <= MAX_GENERATION
    popcount
    for pop_member = 1:POP_SIZE
        for current_trait = 1:NUM_TRAITS,
            if trait(current_trait,pop_member,popcount)>HIGHTRAIT(current_trait)
                trait(current_trait,pop_member,popcount)=HIGHTRAIT(current_trait);
            elseif
                trait(current_trait,pop_member,popcount)<LOWTRAIT(current_trait)
                    trait(current_trait,pop_member,popcount)=LOWTRAIT(current_trait);
                end
            if trait(current_trait,pop_member,popcount) < 0
                pop(TRAIT_START(current_trait),pop_member)=0;
            else
                pop(TRAIT_START(current_trait),pop_member)=9;
            end
            temp_trait(current_trait,pop_member)=...
            abs(trait(current_trait,pop_member,popcount));
            for counter=1:DECIMAL(current_trait)-1,

```

```

temp_trait(current_trait,pop_member)=...
temp_trait(current_trait,pop_member)/10;
end
for make_gene =
TRAIT_START(current_trait)+1:TRAIT_START(current_trait+1)-1,
pop(make_gene,pop_member)=temp_trait(current_trait,pop_member)-...
rem(temp_trait(current_trait,pop_member),1);
temp_trait(current_trait,pop_member)=...
(temp_trait(current_trait,pop_member)-pop(make_gene,pop_member))*10;
end
end
end

```

% Burada genetik algoritma çalışmaya başlamaktadır. İlk önce trait den pop oluşturulmaktadır. Traitin bitleri pozitif olduğu için tek rakamlı satırlara 9 rakamını yerleştirerek 98 satırlı 10 sütunlu pop popülasyonu oluşturulmaktadır. Ayrıca tümü sıfırlardan oluşan 49x10 luk trait şablon matrisi oluşturulur.

3.4.5.1.1.Fitness (Uygunluk) Fonksiyonun Kullanıldığı Bölüm

```

sumfitness = 0;
fit=zeros(POP_SIZE);
fit_bar=fit(1,:);
for chrom_number = 1:POP_SIZE,
kromozom=trait(:,chrom_number,popcount);
for z=1 :49,
fis2.rule(1,z).consequent=kromozom(z);
end
optimumg;
fit_bar(chrom_number)=uygun;
end

```

% Burada program traitin sırasıyla 1 den 10 kadar olan kromozom vektörlerini fis dosyası fuzzy kurallarının sonuç değerlerine atayarak optimumg komutuyla FPSS içeren simülasyon dosyasını çalıştırarak her bir kromozomun uygunluk değeri elde edilir. Bu uygunluk değerleri fit_bar vektörüne yan yana indisli bir şekilde atanır.

```

for chrom_number = 1:POP_SIZE
fitness(chrom_number)=fit_bar(chrom_number);
sumfitness = sumfitness + fitness(chrom_number)
end

```

% Burada 10 kromozoma ait uygunluk değerleri toplanarak trait popülasyonun toplam uygunluk değeri bulunmaktadır.

```

[bestfitness(popcount),bestmember]=max(fitness);
[worstfitness(popcount),worstmember]=min(fitness);

```

% Burada en iyi fitness ve en kötü fitness belirlenmektedir. En iyi fitness uygunluk değeri en yüksek olan fitness, en kötü fitness uygunluk değeri en düşük olan fitnessdir.

```

best_kromozom=trait(:,bestmember,popcount)
fis2.rule(1,1).consequent=best_kromozom(1);
fis2.rule(1,2).consequent=best_kromozom(2);
fis2.rule(1,3).consequent=best_kromozom(3);
fis2.rule(1,4).consequent=best_kromozom(4);
fis2.rule(1,5).consequent=best_kromozom(5);
fis2.rule(1,6).consequent=best_kromozom(6);
fis2.rule(1,7).consequent=best_kromozom(7);
fis2.rule(1,8).consequent=best_kromozom(8);
fis2.rule(1,9).consequent=best_kromozom(9);
fis2.rule(1,10).consequent=best_kromozom(10);
fis2.rule(1,11).consequent=best_kromozom(11);
fis2.rule(1,12).consequent=best_kromozom(12);
fis2.rule(1,13).consequent=best_kromozom(13);
fis2.rule(1,14).consequent=best_kromozom(14);
fis2.rule(1,15).consequent=best_kromozom(15);
fis2.rule(1,16).consequent=best_kromozom(16);
fis2.rule(1,17).consequent=best_kromozom(17);
fis2.rule(1,18).consequent=best_kromozom(18);
fis2.rule(1,19).consequent=best_kromozom(19);
fis2.rule(1,20).consequent=best_kromozom(20);
fis2.rule(1,21).consequent=best_kromozom(21);

```

```
fis2.rule(1,22).consequent=best_kromozom(22);
fis2.rule(1,23).consequent=best_kromozom(23);
fis2.rule(1,24).consequent=best_kromozom(24);
fis2.rule(1,25).consequent=best_kromozom(25);
fis2.rule(1,26).consequent=best_kromozom(26);
fis2.rule(1,27).consequent=best_kromozom(27);
fis2.rule(1,28).consequent=best_kromozom(28);
fis2.rule(1,29).consequent=best_kromozom(29);
fis2.rule(1,30).consequent=best_kromozom(30);
fis2.rule(1,31).consequent=best_kromozom(31);
fis2.rule(1,32).consequent=best_kromozom(32);
fis2.rule(1,33).consequent=best_kromozom(33);
fis2.rule(1,34).consequent=best_kromozom(34);
fis2.rule(1,35).consequent=best_kromozom(35);
fis2.rule(1,36).consequent=best_kromozom(36);
fis2.rule(1,37).consequent=best_kromozom(37);
fis2.rule(1,38).consequent=best_kromozom(38);
fis2.rule(1,39).consequent=best_kromozom(39);
fis2.rule(1,40).consequent=best_kromozom(40);
fis2.rule(1,41).consequent=best_kromozom(41);
fis2.rule(1,42).consequent=best_kromozom(42);
fis2.rule(1,43).consequent=best_kromozom(43);
fis2.rule(1,44).consequent=best_kromozom(44);
fis2.rule(1,45).consequent=best_kromozom(45);
fis2.rule(1,46).consequent=best_kromozom(46);
fis2.rule(1,47).consequent=best_kromozom(47);
fis2.rule(1,48).consequent=best_kromozom(48);
fis2.rule(1,49).consequent=best_kromozom(49);
optimumg;
```

% Burada fitness değeri en yüksek olan kromozom fis dosyasındaki FPSS kural tablosu sonuç değerlerine atanarak optimumg ile simulasyon yapılmaktadır. Böylelikle while komutuyla başlayan döngünün maksimum iterasyona ulaşmadan önce durdurulması durumunda o anki en iyi kromozom değerlerinin fis dosyası kural sonuç değerleri olarak okunması sağlanacaktır.

3.4.5.1.2. Seçim İşlemiyle Ebeveyn Kromozomun Oluşturulduğu Bölüm

```
for pop_member = 1:POP_SIZE,
if ELITISM ==1 & pop_member==bestmember
parent_chrom(:,pop_member)=pop(:,pop_member);
else
pointer=rand*sumfitness;
member_count=1;
total=fitness(1);
while total < pointer,
member_count=member_count+1;
total=total+fitness(member_count);
end
parent_chrom(:,pop_member)=pop(:,member_count);
end
end
```

% Burada ebeveyn kromozom (parent_chromosome) oluşturmak için elitizm ve seçim işlemi gerçekleştirilmektedir. Daha önce oluşturulan pop popülasyonun en iyi kromozomu (en yüksek fitness değerine sahip olan) üzerinde herhangi bir değişiklik yapılmamaktadır. Buna elitizm işlemi denir. Diğer kromozomlar ise popülasyon matrisinin rastgele seçilen bir kromozomuyla yer değiştirilmektedir. Yalnız bu rastgele işlem tam bir rastlantı değil uygunluk değeri yüksek olanın seçilme olasılığının yüksek olması şeklinde işler. Bu da seçim işlemidir. Böylece oluşan Parent kromozom 10x 98 boyutundadır.

3.4.5.1.3. Randomize Şekilde Çaprazlama Kullanılarak Yeni Jenerasyonun (Child) Oluşturulduğu Bölüm

```
for parent_number1 = 1:POP_SIZE,
if ELITISM ==1 & parent_number1==bestmember % If elitism on, and
child(:,parent_number1)=parent_chrom(:,parent_number1);
else
parent_number2=parent_number1;
while parent_number2 == parent_number1
parent_number2 = rand*POP_SIZE; % Choose parent number 2
parent_number2 = parent_number2-rem(parent_number2,1)+1;
```

```

end
if CROSS_PROB > rand
site = rand*CHROM_LENGTH;
site = site-rem(site,1)+1;
child(1:site,parent_number1)=parent_chrom(1:site,parent_number1);
child(site+1:CHROM_LENGTH,parent_number1)=...
parent_chrom(site+1:CHROM_LENGTH,parent_number2);
else
child(:,parent_number1)=parent_chrom(:,parent_number1);
end
end
end

```

% Burada oluşturulan parent popülasyonunun best member'ı aynen child'ın aynı nolu kromozomuna kopyalanır. Herhangi bir değişiklik yapılmaz. Ancak parent popülasyonunun bestmember dışındaki kromozomları için o kromozomla çaprazlanmak üzere rastgele 1-10 arası bir kromozom numarası belirlenir. Yine randomize olarak belirlenen birsayı çaprazlama olasılığı katsayısından (CROSS_PROB)küçükse yine 1-98 arası rastgele belirlenen çaprazlanacak gen değeri (site) ne göre çaprazlama gerçekleştirilir. Aksi durumda çaprazlama olmaz ve parent popülasyonun sıradaki kromozomu aynen child 'a aktarılır. Child 98 satır ve 10 sütundan oluşmaktadır.

3.4.5.1.4. Mutasyon Bölümü

```

for pop_member= 1:POP_SIZE,
if ELITISM ==1 & pop_member==bestmember
child(:,pop_member)=child(:,pop_member);
else
for site = 1:CHROM_LENGTH,
if MUTAT_PROB > rand
rand_gene=rand*10;
while child(site,pop_member) == rand_gene-rem(rand_gene,1),
rand_gene=rand*10;
end;
child(site,pop_member)=rand_gene-rem(rand_gene,1);
if rand_gene == 10
site=site-1;

```

```
end  
end  
end  
end  
end
```

% Burada Child mutasyona uğratılmaktadır. Burada ELITISM=1 ve pop_member=best_member ise child'ın best_member kromozomunda mutasyon yapılmamaktadır. Eğer child ın kromozomu bestmember değilse ilgili kromozomun tüm genleri taranarak randomize üretilen sayı mutasyon olasılığı katsayısı (MUTAT_PROB) ndan küçükse 0-9 arası random bir gen değeri üretilir. Üretilen bu değer genleri taranan child matrisinin ilgili genine eşitse 0-10 arası yeniden bir gen değeri üretilerek (0 ise 1 arttırılır 10 ise 1 azaltılır) üretilen gen değeri child matrisinin gen değeriyle değiştirilir. Bu şekilde mutasyona uğratılmış yeni child matrisimiz elde edilir.

```
pop=child;  
popcount=popcount+1  
end % End "for pop_count=..." loop - the main loop.
```

% Burada child pop'a eşitlenmekte ve jenerasyon sayısı bir arttırılmaktadır. Elitizm, seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemleri sonucu yeniden oluşturulan pop matrisi while döngüsü başına tekrar geri dönerek uygunluk değerlerine göre tekrar aynı işlemlerle yeni jenerasyonlar oluşmaktadır. Program en yüksek uygunluk değerini ulaşıncaya kadar çalışmaktadır. Yukarıda verilen genetik program matlab m-file ortamında çalıştırılmış elde edilen 49 fis kuralı şekil 3.26 da gösterilmiştir.

```

[Rules]
1 1, 7 (1) : 1    1 5, 7 (1) : 1    1 7, 1 (1) : 1
2 1, 6 (1) : 1    2 5, 7 (1) : 1    2 7, 6 (1) : 1
3 1, 5 (1) : 1    3 5, 7 (1) : 1    3 7, 7 (1) : 1
4 1, 1 (1) : 1    4 5, 7 (1) : 1    4 7, 1 (1) : 1
5 1, 1 (1) : 1    5 5, 7 (1) : 1    5 7, 1 (1) : 1
6 1, 7 (1) : 1    6 5, 6 (1) : 1    6 7, 3 (1) : 1
7 1, 1 (1) : 1    7 5, 7 (1) : 1    7 7, 1 (1) : 1

1 2, 7 (1) : 1    1 6, 5 (1) : 1
2 2, 1 (1) : 1    2 6, 1 (1) : 1
3 2, 2 (1) : 1    3 6, 4 (1) : 1
4 2, 3 (1) : 1    4 6, 7 (1) : 1
5 2, 1 (1) : 1    5 6, 1 (1) : 1
6 2, 1 (1) : 1    6 6, 1 (1) : 1
7 2, 6 (1) : 1    7 6, 1 (1) : 1

```

Şekil 3.26 Genetik algoritma programıyla elde edilen fis kurallar

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde yapılan simülasyon çalışmalarında kullanılan sistem modeli ve uygulanan kontrolör yöntemlerinin modelleri ‘Matlab Simulink’ programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu modellerin simülasyonu ana program ve buna bağlı alt programlar ile yaptırılmıştır. Her kontrolör yönteminin uygulanması farklı bir alt program ile yaptırılmıştır. Ana proramda sistem ve simülasyon parametreleri girilmiş alt programlarda ise uygulanan kontrolör yönteminin parametreleri girilerek simülasyonlar yaptırılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelenerek sayısal ve grafiksel olarak gösterilmiştir.

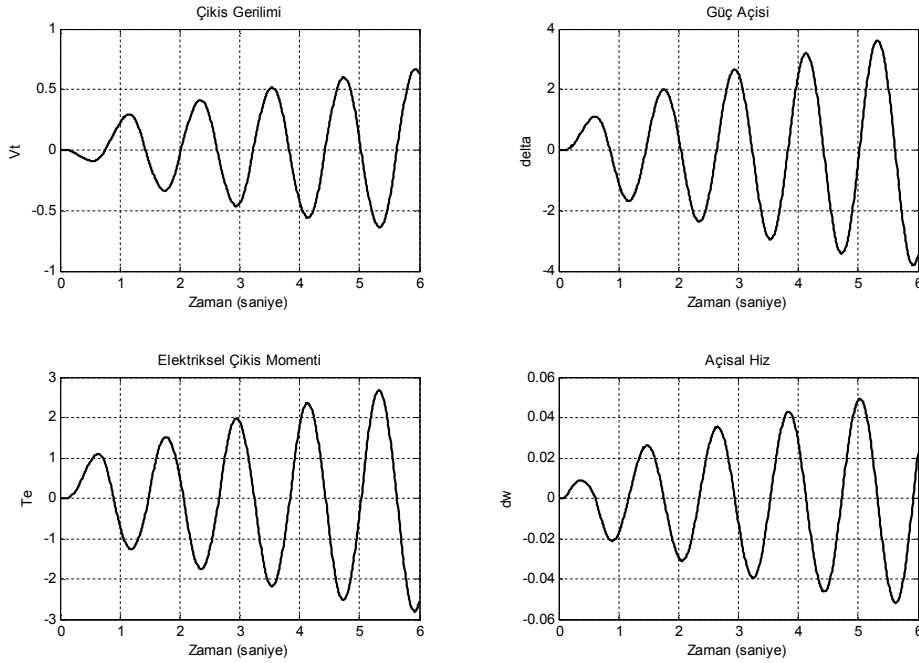
Birinci aşamada PSS’siz sistem modeli çalıştırılmıştır. Bu modele ait elde edilen sonuçlar sayısal ve grafiksel olarak gösterilmiştir. İkinci aşamada PSS’li sistem modeli çalıştırılmıştır. Bu modele ait sonuçlar sayısal ve grafiksel olarak değerlendirilmiştir. Üçüncü aşamada PSS’li sistem modelinde PSS yerine FPSS yerleştirilmiş simülasyonlar iki farklı kural tablosu için gerçekleştirilmiştir. Bu modele ait sonuçlar sayısal ve grafiksel olarak karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. En son aşamada kural tablosu genetik algoritma ile optimize edilmiş GPSS Genetic Power System Stabilizer (Genetik Güç Sistem Stabilizatörü) ile simülasyonlar gerçekleştirilmiş elde edilen sonuçlar FPSS’li sistem sonuçlarıyla karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

4.1. PSS’siz Güç Sistem Modeli Simülasyonu

Şekil 4.1’de PSS’siz güç sistem modeli blok diyagramı görülmektedir. Model üzerinde Kstab katsayısını 0 yaptığımızda ($K_{stab}=0$) PSS devreden çıkmaktadır. Bu durumda sistem PSS’siz sistem gibi çalışmaktadır.

Simülasyonda kullanılan parametreler çizelge 4.1 de verilmiştir (R. Gupta vd. 2003). Çalışma durumları çizelge 4.2 de verilmiştir (R. Gupta vd. 2003). Senkron generatörlerin sistem modelleri yükleme koşullarına göre farklı çalışma durumu parametreleri içermektedir. Bu çalışma durumlarından 1 nolu çalışma durumu hafif yük koşulunu, 2 nolu çalışma durumu orta yük koşulunu, 3 nolu çalışma durumu ağır yük

PSS'siz sistem için çizelge 4.2 de gösterilen 4 nolu çalışma durumu için elde edilen simülasyon sonuçları şekil 4.2 de gösterilmiştir. Tezde eğrilerde gösterilen çıkış gerilimi, güç açısı, elektriksel çıkış momenti, açısal hız değerleri per unit (p.u) cinsindendir.



Şekil 4.2 PSS'siz sistemin ' V_t ', ' δ ', ' T_e ', ' dw ' değerleri için elde edilen simülasyon sonuçları

Şekil 4.2'de 0-6 saniye simülasyon süresi boyunca çıkış gerilimi, güç açısı, elektriksel çıkış momenti, açısal hız parametrelerinin zamana göre değişimleri gösterilmiştir. Sisteme 0.1-0.6 saniyeleri arasında 0.5 birim bozucu etki uygulanmıştır. Burada sistem PSS içermediğinden dolayı 4 nolu çalışma noktasında kararlı hale gelememektedir.

4.2. Sistem Performansının Sayısal Olarak Değerlendirilmesi

Bu tezde yapılan simülasyon uygulamalarında gözlenen çıkış parametrelerinin görsel açıdan değerlendirilmesine ilave olarak, kontrolör performansını sayısal olarak ifade

edebilmek için IAE (integral of absolute error) (4.1) (Li ve Tso, 2000) yöntemi kullanılmıştır. Burada sisteme bozucu etki uygulandıktan sonra 6. saniyeye kadar (delta) güç açısı eğrisinin altında kalan bölgenin matlab ortamında (4.1) de verilen denkleme göre alan hesabı yapılmıştır. PSS' siz sistemde 'delta' güç açısı IAE değeri 1000 olarak bulunmuştur. Bu oldukça yüksek bir değerdir. Burada amaç IAE değerini düşürmek, güç açısı salınımlarını en aza indirmek, eğrinin altında kalan alanı küçültmektir. Burada IAE değeri ne kadar küçük olursa sistem performansı o kadar iyi anlamına gelmektedir. Çizelge 4.3 de çıkış gerilimi, güç açısı, elektriksel çıkış momenti, açısal hız değerleri için IAE değerleri ayrı ayrı hesaplanmış ve tablo halinde gösterilmiştir.

$$IAE = \int |e| dt \quad (4.1)$$

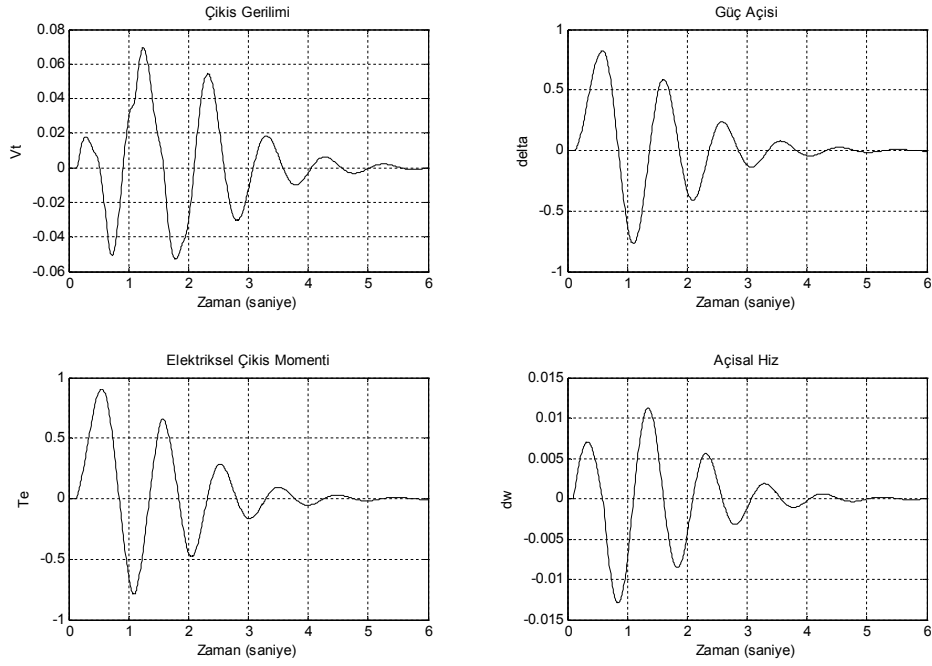
Çizelge 4.3 PSS'siz sistemin 'Vt', 'delta', 'Te', 'dw' değerleri için IAE değerleri

	Vt	delta	Te	dw
IAE Değeri	172.413	1000	769.23	13.440

4.3. PSS'li Güç Sistem Modeli Simülasyonu

Bu bölümde 0-6 saniye simülasyon süresi boyunca PSS'li sistem modeli simülasyonu gerçekleştirilmiş. Çıkış gerilimi, güç açısı, elektriksel çıkış momenti, açısal hız parametrelerinin zamana göre değişimleri incelenmiştir.

Şekil 4.3'de PSS li sistem modeli görülmektedir. Model üzerinde Kstab katsayısını 16 yaptığımızda (Kstab=16) PSS sisteme ilave olmaktadır. Simülasyonda kullanılan PSS parametreleri çizelge 4.4 de verilmiştir. (Gupta vd. 2003).



Şekil 4.4 PSS’li sistemin ‘Vt’, ‘delta’, ‘Te’, ‘dw’ değerleri için elde edilen simülasyon sonuçları

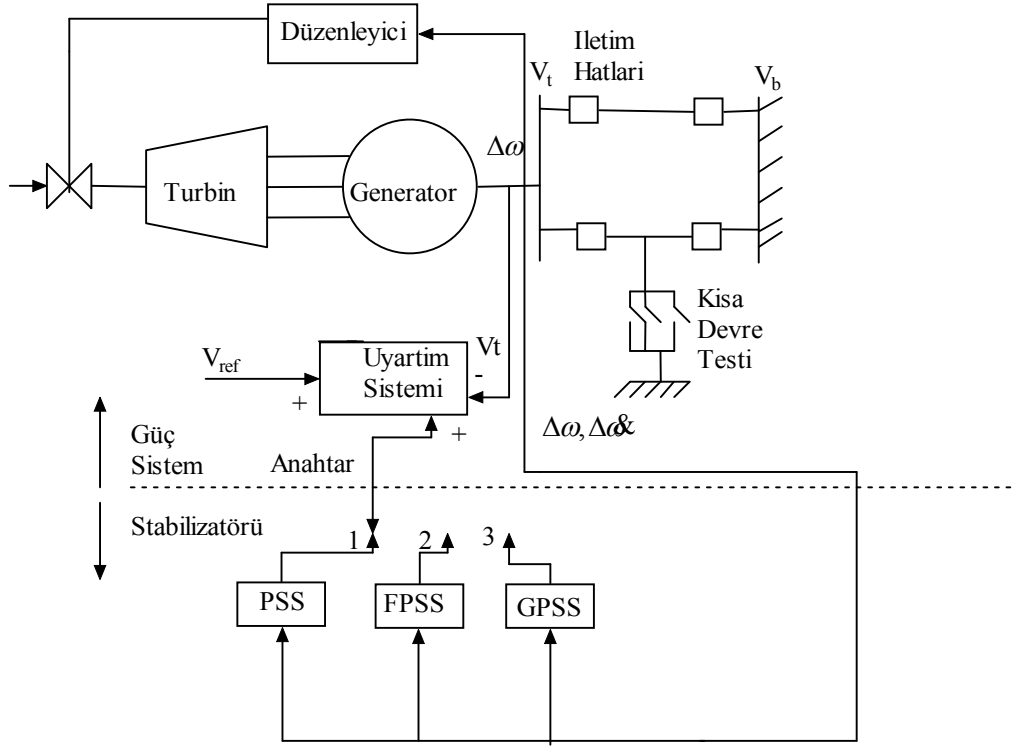
Çizelge 4.5 PSS’li sistemin ‘Vt’, ‘delta’, ‘Te’, ‘dw’ değerleri için IAE değerleri

	Vt	delta	Te	dw
IAE Değeri	9.8814	107.5268	116.2790	1.6691

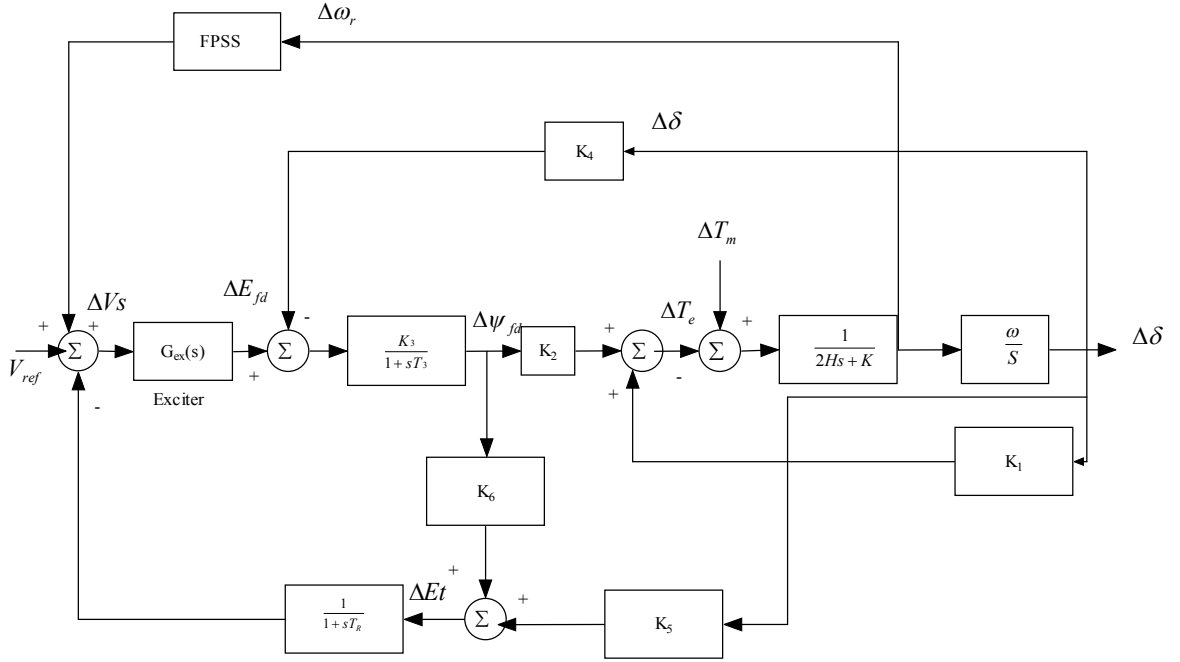
PSS’li sistem modeli PSS’siz sistem modeliyle aynı şartlarda çalıştırılmıştır. Şekil 4.4’de 0-6 saniye simülasyon süresi boyunca çıkış gerilimi, güç açısı, elektriksel çıkış momenti, açısal hız parametrelerinin zamana göre değişimleri gösterilmiştir. Sistem bozucu etkinin uygulandığı noktada kararsız hale geçip CPSS sayesinde 6. saniyede kararlı hale geçmektedir. Fakat eğrilerden 0.1-3 saniyeleri arasında çıkış geriliminin genliği oldukça bozulmaktadır. Çıkış gerilimindeki dalgalanmalar yüksektir. Çizelge 4.5’de güç açısı (delta) IAE değeri 107.5268 olarak bulunmuştur. Bu değer PSS’li sistemdeki değerden oldukça düşüktür.

4.4. FPSS'li Güç Sistem Modeli Simülasyonu

Şekil 4.5 de temel uyartım sistemi görülmektedir. Şekil 4.6 da PSS yerine Fuzzy kontrolör konularak elde edilen güç sistem modeli ve simulink gösterimi görülmektedir.



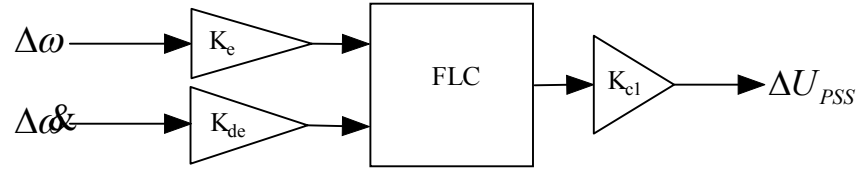
Şekil 4.5 Temel Uyartım Sistem Modeli



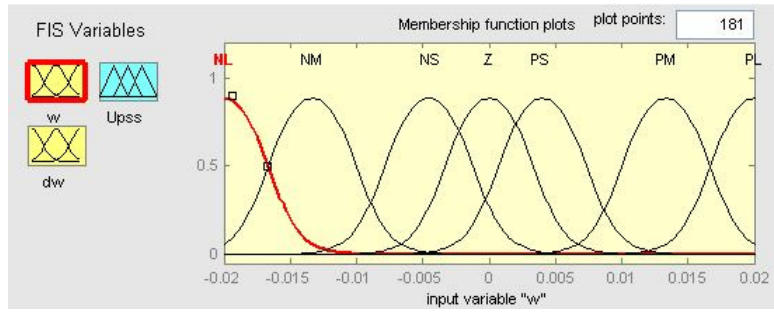
Şekil 4.6 FPSS’li Güç Sistem Modeli

4.4.1. Simülasyonda Kullanılan FPSS’in Oluşturulması

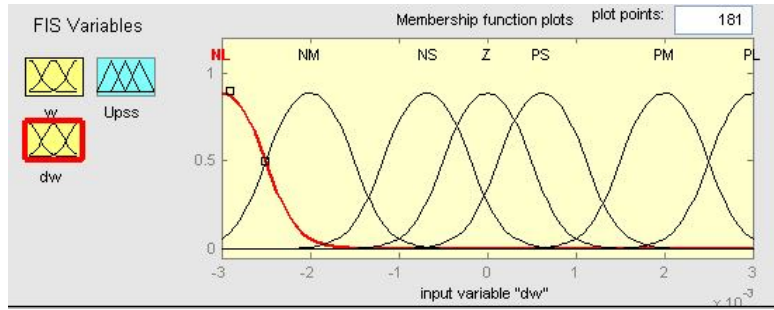
Simülasyonda kullanılan FPSS ‘in amacı PSS gibi davranarak AVR ye ilave edilecek yardımcı kontrol işaretini üretmektir. FPSS ‘in giriş değişkenleri olarak generatör hız değişimi ‘ $\Delta\omega$ ’ ve bu değerin türevi $\Delta\dot{\omega}$ kullanılmıştır. FPSS ‘in çıkış değişkeni ise ‘ ΔU_{PSS} ’ şeklinde isimlendirilmiştir. Fuzzy kontrolörler üyelik fonksiyonlarının sınır değerlerine göre ölçekleme katsayılarıyla normalize edilmiş giriş ve çıkış değerlerini kullanırlar (şekil 4.7). Yapılan çalışmada ölçekleme katsayılarının değerleri $K_e=1$, $K_{de}=0.8$ ve $K_{c1}=5$ olarak belirlenmiştir. Kullanılan fuzzy yapısı mamdani tipidir. Şekil 4.8 de ‘ $\Delta\omega$ ’ giriş değişkenine ait üyelik fonksiyonu, şekil 4.9 da ‘ $\Delta\dot{\omega}$ ’ de giriş değişkenine ait üyelik fonksiyonu ve şekil 4.10 da ‘ ΔU_{PSS} ’ çıkış değişkenine ait üyelik fonksiyonu görülmektedir. FPSS’in tasarımında kullanılan kurallar şekil 4.11 de görülmektedir. Kullanılan fuzzy yapısı mamdani tipindedir.



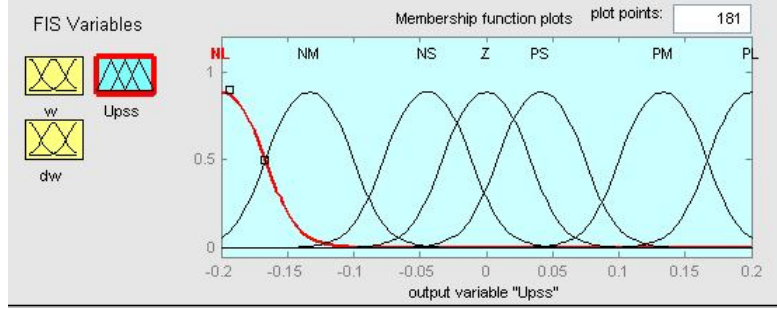
Şekil 4.7 Fuzzy kontrolöre ait giriş ve çıkış değişkenlerine ait ölçekleme katsayıları



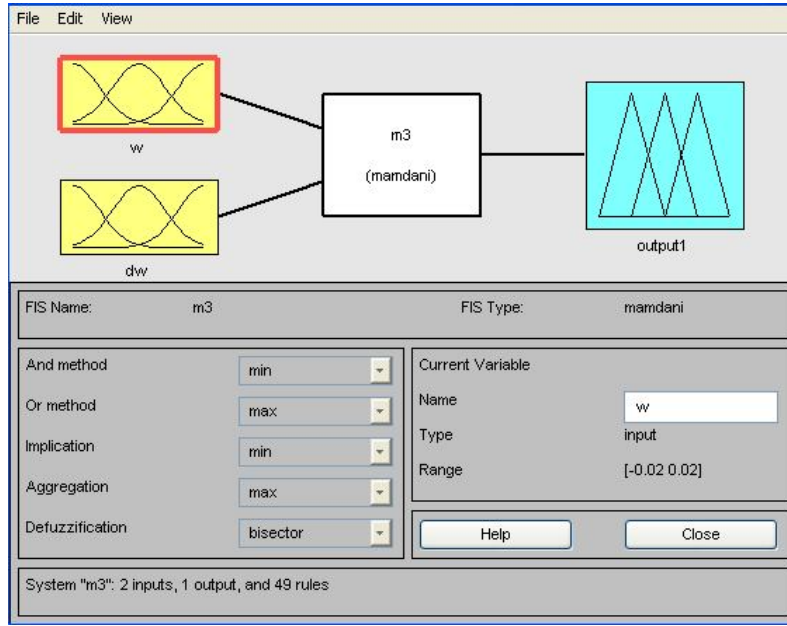
Şekil 4.8 'Δω' giriş değişkenine ait üyelik fonksiyonu (Caner 2006)



Şekil 4.9 'Δα&' de giriş değişkenine ait üyelik fonksiyonu (Caner 2006)



Şekil 4.10 ‘ ΔU_{PSS} ’ çıkış değişkenine ait üyelik fonksiyonu (Caner 2006)



Şekil 4.11 FPSS’in tasarımında kullanılan kurallar (Caner 2006)

4.4.2.FPSS İle Yapılan Simülasyon Sonuçları

Literatürde daha önce kullanılan fuzzy güç sistem stabilizatörleri (FPSS) için geliştirilen beş adet kontrolöre ait kural tabloları incelenmiş ve kural tablolarında değiştirilmiş olan kural sonuç ifadeleri gölgeli olarak aşağıda gösterilmiştir. Çizelge 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 da verilen kural tabloları ile PSS’siz ve PSS’li sistemlerle aynı çalışma şartlarında simülasyonlar gerçekleştirilmiş elde edilen sonuçlar şekil 4.12 de gösterilmiştir.

Çizelge 4.6 FPSS ‘m3’ isimli kural tablosu (Caner 2006; Caner vd. 2008)

$\Delta\omega$	$\Delta\&$						
	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
NL	NL	NL	NL	NM	NM	NS	Z
NM	NL	NM	NM	NM	NS	Z	PS
NS	NL	NM	NS	NS	Z	PS	PM
Z	NM	NM	NS	Z	PS	PM	PM
PS	NM	NS	Z	PS	PS	PM	PL
PM	NS	Z	PS	PM	PM	PM	PL
PL	Z	PS	PM	PM	PL	PL	PL

Çizelge 4.7 FPSS ‘table1’ isimli kural tablosu (Sanaye-Pasand ve Malik 1999)

$\Delta\omega$	$\Delta\&$						
	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
NL	NL	NL	NL	NM	NM	NS	Z
NM	NL	NL	NM	NM	NS	Z	PS
NS	NL	NM	NS	NS	Z	PS	PM
Z	NM	NM	NS	Z	PS	PM	PM
PS	NM	NS	Z	PS	PS	PM	PL
PM	NS	Z	PS	PM	PM	PL	PL
PL	Z	PS	PM	PM	PL	PL	PL

Çizelge 4.8 FPSS ‘table3’ isimli kural tablosu (Hwang vd 2008)

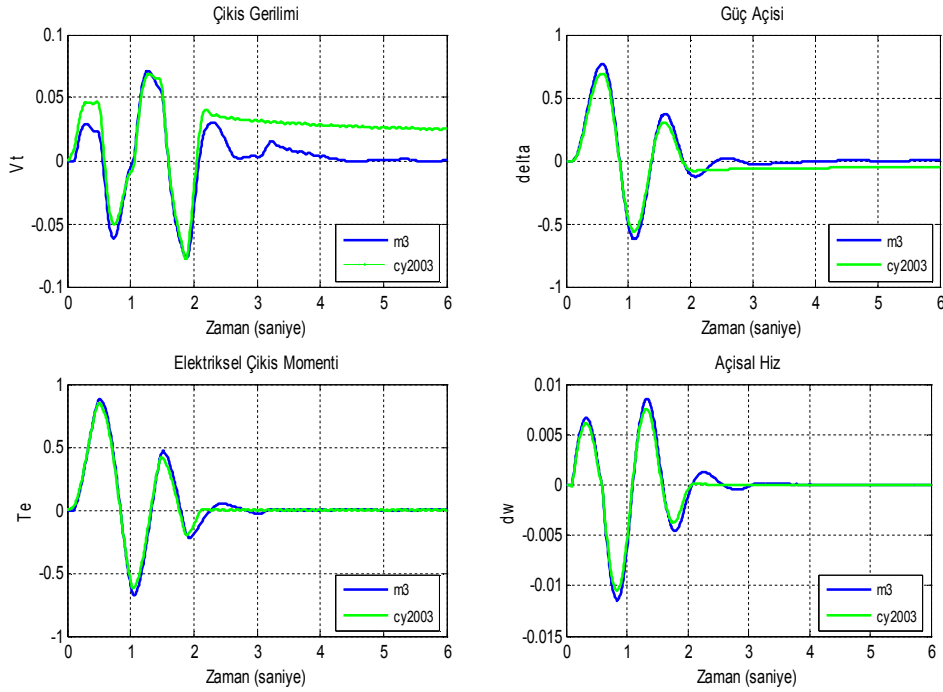
$\Delta\omega$	$\Delta\&$						
	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
NL	NL	NL	NL	NM	NM	NS	Z
NM	NL	NL	NM	NM	NS	Z	PS
NS	NL	NM	NM	NS	Z	PS	PM
Z	NM	NM	NS	Z	PS	PM	PM
PS	NM	NS	Z	PS	PM	PM	PL
PM	NS	Z	PS	PM	PM	PL	PL
PL	Z	PS	PM	PM	PL	PL	PL

Çizelge 4.9 FPSS ‘table4’ isimli kural tablosu (Mrad vd 1997; Lakshmi ve Khan 2000; Hsu and Cheng 1990,1993)

$\Delta\omega$	$\Delta\&$						
	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
NL	NL	NL	NL	NL	NM	NS	Z
NM	NL	NL	NM	NM	NS	Z	PS
NS	NL	NM	NS	NS	Z	PS	PM
Z	NM	NM	NS	Z	PS	PM	PM
PS	NM	NS	Z	PS	PS	PM	PL
PM	NS	Z	PS	PM	PM	PL	PL
PL	Z	PS	PM	PL	PL	PL	PL

Çizelge 4.10 FPSS ‘cy2003’ isimli kural tablosu (Cheng 2003)

$\Delta\omega$	$\Delta\&$						
	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
NL	NL	NL	NL	NL	NM	NS	Z
NM	NL	NL	NM	NM	NS	Z	PS
NS	NL	NM	NM	NS	Z	PS	PM
Z	NM	NM	NS	Z	PS	PM	PM
PS	NM	NS	Z	PS	PM	PM	PL
PM	NS	Z	PS	PM	PM	PL	PL
PL	Z	PS	PM	PL	PL	PL	PL



Şekil 4.12 İki FPSS (m3, cy2003) kural tablosu ‘Vt’, ‘delta’, ‘Te’, ‘dw’ çıkış eğrilerinin karşılaştırması

Çizelge 4.11 İki FPSS (m3, cy2003) kural tablosu ‘Vt’, ‘delta’, ‘Te’, ‘dw’ çıkış değerleri için IAE değerleri karşılaştırması

IAE Değeri	Vt	delta	Te	dw
m3	9.8135	71.9424	78.125	1.0382
cy2003	19.3423	81.3008	69.4444	0.8592

Şekil 4.12’de 0-6 saniye simülasyon süresi boyunca çıkış gerilimi, güç açısı, elektriksel çıkış momenti, açısal hız parametrelerinin zamana göre değişimleri gösterilmiştir. ‘m3’,

'table1', 'table3', 'table4', kural tablolarıyla yapılan simülasyon çalışmalarında aynı 'Vt', 'delta', 'Te', 'dw' çıkış eğrileri elde edilmiştir. Bu yüzden dört kural tablosu yerine sadece 'm3' isimli kural tablosu çıkış eğrileri ile 'cy2003' isimli kural tablosunun eğrileri karşılaştırılmıştır. Eğrilerden görüldüğü 'm3' isimli kural tablosunda 'Vt' ve 'delta' çıkış eğrileri 'cy2003' kural tablosuna göre daha kararlıdır. 'Te' ve 'dw' çıkış eğrilerinde ise 'cy2003' isimli kural tablosu daha kararlıdır. Ayrıca çizelge 4.11'deki IAE değerlerine bakıldığında 'm3' isimli kural tablosunun 'Vt' ve 'delta' IAE değerleri 'cy2003' kural tablosunun IAE değerlerinden daha düşük olmasına rağmen 'Te' ve 'dw' değerleri için 'cy2003' kural tablosunun IAE değerleri 'm3' kural tablosunun IAE değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür.

4.5. Genetik Algoritma İle FPSS Kural Tablosu Optimizasyonu

Bu bölümde genetik algoritma ile simülasyonda kullanılacak olan FPSS'in kural tablosu optimize edilmiştir. Yapılan çalışmada Matlab m-file ortamında yazılmış olan genetik algoritma programı kullanılmıştır. Burada amaç en yüksek uygunluk değerini verecek kural tablosunun elde edilmesi olmuştur. Uygunluk değerini bulmak için PSS'siz, PSS'li ve FPSS'li simülasyon uygulamalarında elde edilen IAE değerleri genetik algoritma ile optimize edilmiş kural tablosunu kullanan GPSS (Genetik Güç Sistem Stabilizatörü) ile elde edilmiştir. Elde edilen IAE değerlerinin çarpmaya göre tersi alınarak uygunluk değerleri bulunmuştur. Bu tezde bulunan 'm3', 'cy2003' IAE değerlerinin çarpmaya göre tersleri alınarak uygunluk değerleri bulunmuştur. Çizelge 4.12'de 'm3', 'cy2003', 'gpss' için IAE değerleri verilmiştir. Çizelge 4.13'de 'm3', 'cy2003', 'gpss' için uygunluk değerleri verilmiştir. Bu tezde 'delta' güç açısının uygunluk değeri üzerinden çalışma yapılmıştır. IAE değeri ne kadar düşük olursa uygunluk değeri okadar yüksek olur. Uygunluk değeri artarsa sistem performansıda artar. Çizelge 4.13'de görüldüğü gibi gpss için 'delta' güç açısı uygunluk değeri 'm3' ve 'cy2003' uygunluk değerinden yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.12 İki FPSS (m3, cy2003) kural tablosu ile ‘gpss’ için ‘Vt’, ‘delta’, ‘Te’, ‘dw’
IAE değerleri karşılaştırması

IAE Değeri	Vt	delta	Te	dw
m3	9.8135	71.9424	78.125	1.0382
cy2003	19.3423	81.3008	69.4444	0.8592
GPSS	12.0918	57.1428	52.91	0.7019

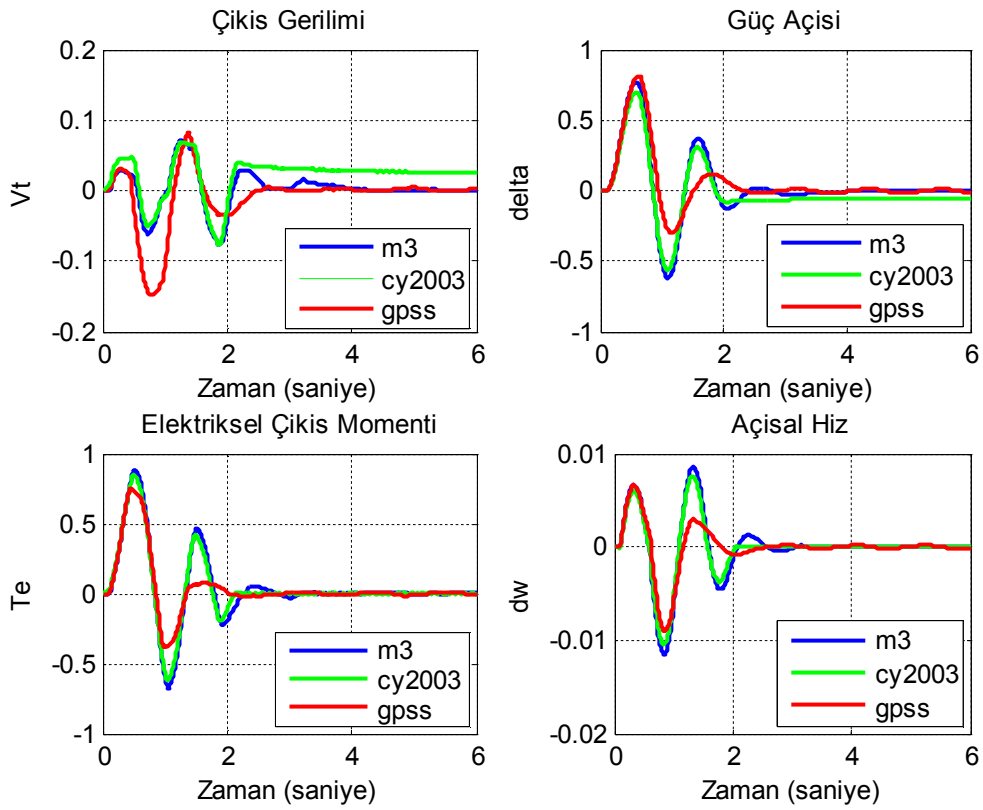
Çizelge 4.13 İki FPSS (m3, cy2003) kural tablosu ile ‘gpss’ için ‘Vt’, ‘delta’, ‘Te’, ‘dw’
uygunluk değerleri karşılaştırması

Uygunluk Değerleri	Vt	delta	Te	dw
m3	0.1019	0.0139	0.0128	0.9632
cy2003	0.0517	0.0123	0.0144	1.1638
gpss	0.0827	0.0175	0.0189	1.4247

Genetik algoritma ile elde edilen kural tablosu çizelge 4.14’de gösterilmiştir. Elde edilen kural tablosu fuzzy kontrolörde okutulmuş aynı çalışma durumları için simülasyon gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.6’da ‘m3’, ‘cy2003’ ve ‘gpss’ için ‘Vt’, ‘delta’, ‘Te’, ‘dw’ çıkış eğrileri karşılaştırmalı olarak çizdirilmiştir.

Çizelge 4.14 Genetik programla oluşturulmuş kural tablosu

$\Delta\omega$	$\Delta\delta$						
	NL	NM	NS	Z	PS	PM	PL
NL	PL	PL	NL	PL	PL	PS	NL
NM	PM	PL	NL	PL	PL	PS	NL
NS	PS	PL	NL	PL	PL	PS	NL
Z	NL	PL	NL	PL	PL	PS	NL
PS	NL	PL	NL	PL	PL	PS	NL
PM	NL	PL	NL	PL	PL	PS	NL
PL	NL	PL	NL	PL	PL	PS	NL



Şekil 4.13 ‘m3’, ‘cy2003’ ve ‘gpss’ için ‘ V_t ’, ‘ δ ’, ‘ T_e ’, ‘ dw ’ çıkış eğrileri karşılaştırması

Gözlenen çıkış parametrelerine ait simulasyon sonuçları şekil 4.13’de görülmektedir. Bu sonuçlara göre ‘gpss’ ‘m3’ ve ‘cy2003’e göre oldukça iyi bir performans sergilemiştir. Güç açısının uygunluk değeri 0.0175 olarak bulunmuştur. Elde edilen uygunluk değeri PSS’siz, PSS ve FPSS’li sistemde elde edilen uygunluk değerlerinden büyüktür. PSS’siz ve PSS’li kontrolöre göre performansı oldukça üstündür. Fuzzy kontrolöre göre de performansının iyi olduğu gözlenmiştir.

5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME

Güç sistemleri karmaşık nonlinear sistemlerdir. Güç sistemlerinde sık sık olumsuz çalışma koşulları nedeniyle düşük frekanslı elektromekanik osilasyonlar oluşmaktadır. Elektrik güç sistemlerinin artan karmaşıklığına bağlı olarak bu tür sistemlerin stabilizasyonuna artan bir ilgi vardır. Güç sistemlerinin dinamik dengesini geliştirmek için ek uyarım kontrol sinyallerinden yararlanılması ve bozulmalar sonucu oluşan düşük frekanslı osilasyonların azaltılması üzerinde çalışılmaktadır.

İlk aşamada güç sistemlerinin dinamik dengesini korumak için AVR (Automatic Voltage Regulator) (Otomatik Voltaj Regülatörü) geliştirilmiştir. AVR'nin görevi sistemin çalışması esnasında meydana gelen gerilim kararsızlıklarını sönümlendirmektir. Gerilim kararsızlıklarının sönümlendirilmesinde AVR'nin yeterli gelmediği durumlarda ek uyarım kontrol sistemlerinden yararlanılmıştır. Ek uyarım kontrol sistemlerinin temel işlevi, generatör uyarımını yardımcı işaretler kullanarak kontrol etmektir. Ek uyarım kontrol sistemleri sönümü sağlamak için rotor hız sapmasıyla aynı fazda elektriksel moment bileşeni üretirler. Ek uyarım kontrol sistemleri için ilk önce PSS geliştirilmiştir.

PSS küçük osilasyonların sönümlendirilmesinde kullanılır ve belirli bir çalışma noktası etrafında lineerize edilmiş sistem modelini temel alarak tasarlanır. PSS bu yapısı ve parametreleri nedeniyle dizayn edildiği çalışma noktası için optimal performans sağlar. Güç sistemi konfigürasyonu değiştikçe optimum performans için PSS parametreleri de değiştirilmelidir. Ancak güç sisteminin çalışma koşulları çok farklılık gösterebilir. Bundan dolayı PSS'in performansı, çalışma noktasının değişmesi durumunda stabilizatörün sabit parametrelerinden dolayı azalır. Bu problemlerin çözümünde Adaptif kontrol algoritması kullanan alternatif kontrolörler önerilmiştir.

FPSS'in performansı kontrol edilen sistemin parametreleri ve çalışma koşullarının değişiminden dolayı önemli ölçüde etkilenmez. Basit yapısı nedeniyle tasarlanması kolaydır. Kontrol edilen sistemin matematiksel modeline gerek duymaz. Ayrıca FPSS A/D ve D/A dönüştürücü mikroişlemci kullanılarak kolayca düzenlenebilir.

Bu avantajları nedeniyle çok tercih edilmiştir. Buna karşın uzman deneyimine bağlı bilgiye gereksinim duyması ve bu bilginin zor elde edilmesi, parametrelerinin deneme yanılma yoluyla elde edilmesi FPSS uygulamasındaki kısıtlamalardır.

Diğer taraftan genetik algoritma en uygun olanın yaşaması ve doğal seçim prensibine dayanan optimizasyon algoritmasıdır. GA'nın prensipleri ilk olarak doğal ve yapay sistemlerde adaptasyon isimli çalışmada Holland tarafından takdim edilmiştir.

Genetik algoritmalar, verilen problemin çözümünü uygun olarak temsil edebilecek bireylerin nüfusu ile çalışırlar. Her birey için bir uygunluk değeri tayin edilir. Bu uygunluk değeri probleme göre değişmektedir. Burada amaç problem çözümü için en iyi sonucu verebilecek değerleri kullanmaktır. Diğer bireylerle çaprazlanarak, yüksek uygunluğa sahip bireylere yeniden üreme fırsatı verilir. Böylece bazı özelliklerini ailelerinden almış yeni bireyler üretilir. Diğer taraftan en az uygunluğa sahip olan bireylerin yeniden üreme için seçilme şansları çok azdır.

Bu özelliklerinden dolayı genetik algoritma FPSS parametrelerinin optimize edilmesinde kullanılabilir.

Bu tezde fuzzy PSS parametrelerinin deneme yanılma yoluyla elde edilmesi uygulamasındaki kısıtlamaların önüne geçmek için genetik algoritma ile FPSS'in kural tablosu optimize edilmiştir. Daha sonra elde edilen kural tablosu fuzzy kontrolörde okutularak simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Bu şekilde hem klasik fuzzy algoritmasındaki uzman deneyimine bağlı bilgiye gereksinim duyulması ve bu bilginin zor elde edilmesi, parametrelerinin deneme yanılma yoluyla elde edilmesi probleminin önüne geçilmiş hem de elde edilen kural tablosu ile FPSS uygulamasındaki üretilen performans değerinden daha iyi bir performans elde edilmiştir.

Sonuç olarak, önerilen GPSS (genetik güç sistem stabilizatörü), ‘m3’ isimli kural tablosunu (Caner, 2006; Caner vd., 2008) ve ‘cy2003’ isimli kural tablosunu (Cheng 2003) kullanan FPSS performansları karşılaştırılmış. Simülasyon çalışmaları sonucu elde edilen çıkış gerilimi, güç açısı, elektriksel çıkış momenti, açısal hız parametrelerinin zamana göre değişim eğrileri karşılaştırmalı olarak çizdirilmiştir. Elde edilen sonuçlardan GPSS’in performansının FPSS’e göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Daha sonraki çalışmalar için, Matlab M-file ortamında elde edilen fis kuralları Matlab Genetic Algorithm Tool toolbox’ı kullanarak elde edilebilir.

Buna ilave olarak bu tezde kullanılan genetik algoritma programından daha kısa ve basit bir genetik algoritma programı yazılarak fuzzy kural tablosu üretilebilir.

Buna ilave olarak Genetik algoritma ‘seçim’ operatörü için geliştirilen seçim tiplerini (sıralama seçimi, turnuva seçimi, ve oransal seçim) değiştirerek yeni bir genetik algoritma programı yazılabilir. Genetik algoritma ‘çaprazlama’ operatörü için geliştirilen çaprazlama yöntemlerini (tek noktalı çaprazlama, iki noktalı çaprazlama, çok noktalı çaprazlama, düzenli çaprazlama) değiştirerek yeni bir genetik algoritma programı yazılabilir.

Yine FPSS’in kural tablosu dışında diğer parametrelerinin optimize edilmesi düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Abido M.A., ve Abdel-Magid, 1997, “Tuning Of A Fuzzy Logic Power System Stabilizer Using Genetic Algorithms”, International Conference on Evolutionary Computation EEC '97, vol.1, pp. 329-334
- Abido M.A., ve Abdel-Magid, 1997, “ A Genetic-Based Fuzzy Logic Power System Stabilizer For Multimachine Power Systems”, IEEE International Conference on Evolutionary Computation EEC '97, pp. 595-599
- Altaş, İ.H. 1997 “A Fuzzy Logic Based Door Position Control System”, 3rd International Mechatronic Design And Modeling Workshop, September 15-18, 1997 METU, Ankara, Turkey.
- Altay A., 2007, “Genetik Algoritma ve Bir Uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri enstitüsü, İstanbul.
- Bjarnadóttir Á.S., “Solving the Vehicle Routing Problem with Genetic Algorithms Informatics and Mathematical Modeling”, Technical University of Denmark, Yayınlanmamış Doktora Tezi, 2004.
- Bolat B., 2006, “Asansör Kontrol Sistemlerinin Genetik Algoritma İle Simülasyonu”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Caner M., 2006, “Hiyerarşik Fuzzy Yöntemiyle Senkron Generatörlerde Uyarım Kontrolü”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Cheng, Y.J., ve Elangovan, S., 2003, “Enhanced power system stabilizer via integrated tabu-fuzzy knowledge based controller”, Elsevier, Electrical Power and Energy Systems, vol.25, pp.543–550.

- Çetin İpekçi E., 2008 “Uçuş Ekip Planlamada Genetik Algoritmalar Yönteminin Kullanılması”, Doktora Tezi Akdeniz Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Antalya.
- Demirören, A. ve Zeynelgil, L., 2004, “ elektrik enerji sistemlerinin kararlılığı kontrolü ve çalışması”, Birsen Yayınevi, Bölüm 1, sayfa 1-16, Bölüm 4, sayfa 90-146, İstanbul.
- El-Zonkoly A.M., 2006, “Optimal Tuning Of Power Systems Stabilizers and AVR Gains Using Particle Swarm Optimization”, Expert Systems with Applications, 31, 551–557.
- Gupta R., Bandyopadhyay B., Kulkarni A.M., 2003, “Design Of Power System Stabilizer For Single Machine System Using Robust Fast Output Sampling Feedback Technique”, Electric Power Systems Research 65, 247-257
- Holland J. H., 1975, Adaptation in natural and artificial systems, Addison-Wesley.
- Homaifar A., Mc Cormick E., 1995 “Simultaneous Design Of Membership Functions and Rule Sets For Fuzzy Controllers Using Genetic Algorithms”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol.3, No.2, May.
- Hongesombut K., Mitani Y. and Tsuji K., " Implementation Of Advanced Genetic Algorithm To Modern Power System Stabilization Control ", Trans. IEE of Japan, pp. 1-6, Dec.
- Hsu, Y-Y., ve Cheng, C-H., 1990, “Design of fuzzy power system stabilisers for multimachine power systems, IEE Proceedings, Vol. 137, Pt. C, No. 3, May 1990
- Hsu, Y-Y., ve Cheng, C-H., 1993, “A Fuzzy Controller for Generator Excitation Control”, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol.23, No.2, March/April.

- Hwang Gi-H., Kim Dong-W., Lee Jae-H., An Young-J., 2008, “ Design of fuzzy power system stabilizer using adaptive evolutionary algorithm”, Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 21, pp. 86–96.
- Jang, J-S.R., 1993, “ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System”, IEEE Transactions On Systems, Man and Cybernetics, Vol.23, No.3, pp.665-685, May/June 1993.
- Jang, J-S.R., ve Sun, C.-T., 1995, “Neuro-fuzzy modeling and control”, The Proceedings of the IEEE, 83(3):378-406, Mar. 1995.
- Kahraman A. M. ve Özdağlar D., “Su Dağıtım Sistemlerinin Genetik Algoritma İle Optimizasyonu”, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi, 6(3), (2004), 1-18.
- Lakshmi P., Abdullah Khan M., 2000 “Stability enhancement of a multimachine power system using fuzzy logic based power system stabilizer tuned through genetic algorithm”, Electrical Power and Energy Systems, vol. 22, pp.137–145.
- Lee, C.C., 1990, “ Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller, Part I and II”, IEEE Trans. Syst. Man and Cybernetics, 20 (2) (1990), 404-435.
- Li, H-X., ve Tso, S.K., 2000, “Quantitative design and analysis of fuzzy proportionalintegral- derivative control -a step towards autotuning”, Taylor&Francis, International Journal of Systems Science, volume 31,number 5, pages 545-553.
- Lu, J., Nahrir, M.H., ve Pierre, D.A., 2001, “A fuzzy logic-based self tuning power system stabilizer optimized with a genetic algorithm”, Elsevier Electric Power Systems Research, 60, pp. 115–121.

Osyczka, A., 2002, “ Evolutionary Algorithms For Single and Multicriteria Design Optimisation”, Physica-Verlag, A Springer-Verlag Company.

Özkop E., Altaş İ. H., Akpınar A. S., 2004, “Bulanık Mantık Denetleyicili Güç Sistem Uygulaması”, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Trabzon.

Öztürk A., 2007 “Güç Sistemlerindeki Gerilim Kararlılığının Genetik Algoritma İle İncelenmesi” Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.

Sanaye-Pasand, M., ve Malik, O.P., 1999, “A Fuzy Logic PSS Using a Standardized Rule Table”, Taylor&Francis, Electric Machines and Power Systems, vol.27, pp. 295-310.

Wen J., Shijie C., ve Malik O. P., 1998, “ A Synchronous Generator Fuzzy Excitation Controller Optimally Designed With A Genetic Algorithm” IEEE Transactions on Power Systems, Vol.13 No.3, August.

Yılmaz M., Çomaklı Ö., ve Haşiloğlu, A.S., 2002, “Kanallarda zamana bağlı zorlanmış ısı taşınımının bulanık-sinir ağı (neuro-fuzzy) ile tahmini”, GAP IV. Mühendislik Kongresi Bildiriler Kitabı, 06-08 Haziran 2002, Şanlıurfa, Turkey.

Yılmaz, M., ve Arslan, E., 2005, “Bulanık Mantığın Jeodezik Problemlerin Çözümünde Kullanılması”, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 23-25 Kasım 2005, İTÜ, İstanbul.

Zadeh L.A., 1965, "Fuzzy Sets", Information and control, 8, 338-353.

7. ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Uğur GÜLSEREN
Doğum Yeri : Turgutlu
Doğum Tarihi :12.11.1977
Medeni Hali :Evli
Yabancı Dili :İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise :Turgutlu Teknik Lise ve Endüstri Meslek Lisesi, 1994
Lisans :Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, 1999
Yüksek Lisans :Afyon Kocatepe Üniversitesi, 2010

Çalıştığı Kurum/Yıl aralığı

Salihli İMKB Teknik Ve Endüstri Meslek Lisesi 1999/