İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENTERKONNEKTE ŞEBEKEDE BULANIK MANTIK ALGORİTMA İLE ÇOK ALANLI OTOMATİK ÜRETİM KONTROLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Hakan SARAÇOĞLU

Anabilim Dalı: Elektrik Mühendisliği

Programı: Elektrik Mühendisliği

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ayşen DEMİRÖREN

HAZİRAN 2007

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ENTERKONNEKTE ŞEBEKEDE BULANIK MANTIK ALGORİTMA İLE ÇOK ALANLI OTOMATİK ÜRETİM KONTROLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Hakan SARAÇOĞLU
(Enstitü No: 504041023)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 7 Mayıs 2007
Tezin Savunulduğu Tarih : 8 Haziran 2007

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ayşen DEMİRÖREN

Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Şeniz ERTUĞRUL (İ.T.Ü.)

Yrd.Doç.Dr. Ömer GÜL (İ.T.Ü.)

HAZİRAN 2007

ÖNSÖZ

Yaptığım bu çalışmada bana yol gösteren ve danışmanlığımı yapan sayın Prof. Dr. Ayşen DEMİRÖREN hanımefendiye ve çalışmalarım sırasında bana sabır gösteren ve hep beni destekleyen aileme çok teşekkür ederim.

Mayıs 2007 **Hakan Saraçoğlu**

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR **iv**
TABLO LİSTESİ **v**
ŞEKİL LİSTESİ **vi**
SEMBOL LİSTESİ **viii**
ÖZET **ix**
SUMMARY **x**

1. GİRİŞ **1**
1.1. Giriş ve Çalışmanın Amacı 1

2. OTOMATİK ÜRETİM KONTROLU **4**

3. ÇALIŞMADA KULLANILAN KONTROL TEKNİKLERİ **12**
3.1. Klasik PI Kontrolörler 12
3.2. Bulanık Mantık Kontrolörü 13
3.3. Genetik Algoritma 24

4. GÜÇ SİSTEM BENZETİMİ **37**
4.1. Hidrolik Türbinler 38
4.2. Hidrolik Türbinin Transfer Fonksiyonu 39
4.3. Hidrolik Türbinler İçin Devir Sayısı Regülatörleri 39
4.4. Buhar Türbinleri 46
4.5. Buhar Türbinleri İçin Devir Sayısı Regülatörleri 48
4.6. Yük Değişimine Generatör Cevabı 49
4.7. Frekans Değiştiğinde Yükün Davranışı 51
4.8. Enterkonnekte Güç Sisteminde Otomatik Üretim Kontrolu 53
4.9. Bağlantı Hattı Kontroluna Yönelik Frekans Değişimi 56

5. BENZETİM MODELLERİNİN ÜÇ FARKLI KONTROLÖR İLE KONTROLU **60**
5.1. İki Alanlı Üretim Sisteminin Benzetim Modeli 60
5.2. Üç Alanlı Üretim Sisteminin Üç Farklı Kontrolör ile Kontrolu 66

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA **93**

KAYNAKLAR **96**

ÖZGEÇMİŞ **98**

KISALTMALAR

AGC	: Automatic Generation Control
SMES	: Superconducting Magnetic Energy Storage
PI	: Proportional Integral
OÜK	: Otomatik Üretim Kontrolu
FL	: Fuzzy Logic
GA	: Genetik Algoritma
ACE	: Area Control Error
BM	: Bulanık Mantık

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 5.1	İki alanlı sistemde Bulanık PI kontrolör için kazanç tablosu……	60
Tablo 5.2	İki alan için GA ile ayarlanmış Bulanık PI kontrolör için kazanç tablosu……	61
Tablo 5.3	Üç alanlı sistem için PI kontrolör için kazanç değerler…….	68
Tablo 5.4	Üç alanlı sistem için Bulanık PI kontrolörün kazanç tablosu ……	75
Tablo 5.5	Üç alanlı sistem için GA ile ayarlanmış Bulanık PI kontrolör için kazanç tablosu…….	81

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1	İki alanlı üretim sistemi için temel otomatik üretim blok Diyagramı……	6
Şekil 2.2	Tahrik makinesi modeli ……..	6
Şekil 2.3	Generatör-yük modeli …….	7
Şekil 2.4	Devir sayısı regülatörü ……..	8
Şekil 2.5	Devir sayısı regülatörü, tahrik makinesi, generatör-yük bağlantı hattı modeli ….....	9
Şekil 2.6	Tamamlanmış AGC modeli …….	11
Şekil 3.1	Bulanık küme ve kesin küme ……..	15
Şekil 3.2	Üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonu.....	17
Şekil 3. 3	İki bulanık giriş ve tek çıkış için FAM sistem mimarisi…….	19
Şekil 3.4	Korelasyon minimum şifreleme kullanarak çıkış bulanık küme üretilmesi……..	22
Şekil 3.5	İki kromozomun ikili sistem ile şifrelenmesi……..	27
Şekil 3.6	İki kromozomu tek noktadan çaprazlayarak iki çocuk oluşturulması……	28
Şekil 3.7	Bazı bitleri mutasyon geçiren iki çocuk kromozomu……..	28
Şekil 3.8	Rulet çarkı seçimi……	30
Şekil 3.9	Rank seçimi……	31
Şekil 3.10	İkili şifreleme kullanılan kromozomlara örnek……..	32
Şekil 3.11	Permütasyon şifreleme ile şifrelenmiş kromozomla ilgili örnek….	33
Şekil 3.12	Değer şifreleme ile şifrelenmiş kromozomlara örnek…….	33
Şekil 3.13	Ağaç şifreleme ile şifrelenmiş kromozomlara örnek……...	34
Şekil 4.1	Bölgesel bir yükü besleyen izole bir üretim sisteminin modeli…..	37
Şekil 4.2	Basitleştirilmiş devir sayısı regülatörü şeması……	40
Şekil 4.3	Hız azaltıcı devir sayısı regülatörünün blok diyagramı……..	42
Şekil 4.4	Hız regülasyon yüzdesi eğrisi…….	43
Şekil 4.5	Hız azaltıcı devir sayısı regülatörü…….	45
Şekil 4.6	Üretim biriminin güç çıkışının kontrolu…….	45
Şekil 4.7	Benzetim modelinde kullanılan devir sayısı regülatörü blok diyagramı……	46
Şekil 4.8	Tek ara ısıtıcılı seri bağlı buhar santrali modeli…….	47
Şekil 4.9	İndirgenmiş devir sayısı regülatörü blok diyagramı……	49
Şekil 4.10	Mekanik ve elektriksel hız ve güç değişimi arasındaki ilişki……..	49
Şekil 4.11	Yükteki sönümün etkisini veren sistemin blok diyagramı……..	52
Şekil 4.12	Yükteki sönümün etkisini veren sistemin blok diyagramı…….	52
Şekil 4.13	Yükteki sönümün etkisini veren sistemin blok diyagramı…….	53
Şekil 4.14	İki alanlı enterkonnekte sistemin elektriksel eşdeğeri……	53
Şekil 4.15	Örnek alınan iki alanlı sistem için birincil hız kontrol blok diyagramı…….	56

Şekil 4.16 Benzetim modelinde kullanılan ek kontrolörün blok diyagramı…. 58
Şekil 4.17 Çalışmada kullanılan üç alanlı üretim sistemin benzetim modeli… 59
Şekil 5.1 İki alanlı üretim sisteminin benzetim modeli……. 65
Şekil 5.2 Δf_1in üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması……. 61
Şekil 5.3 Δf_2 nin üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması…… 62
Şekil 5.4 ΔP_{12} nin üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması……. 63
Şekil 5.5 PI kontrolör ile kontrol edilen tek alanlı ısıl üretim sistemi…… 66
Şekil 5.6 PI kontrolör ile kontrol edilen iki alanlı her ikisi de ısıl üretim sistemi…… 67
Şekil 5.7 Birinci alandaki Δf_1in zamana göre cevabı…….. 68
Şekil 5.8 İkinci alandaki Δf_2 in zamana göre cevabı…….. 69
Şekil 5.9 Üçüncü alandaki Δf_3 in zamana göre cevabı…….. 70
Şekil 5.10 ΔP_{12} in zamana göre cevabı…….. 71
Şekil 5.11 Kullanılan bulanık kontrolörün blok diyagramı…… 72
Şekil 5.12 Kullanılan üyelik fonksiyonu……. 72
Şekil 5.13 Kontrolörde kullanılan kural tablosu……. 73
Şekil 5.14 Kontrolör giriş ve çıkışlarının üyelik fonksiyonlarının görünümü.. 73
Şekil 5.15 Bulanık PI kontrolör yapısı…… 74
Şekil 5.16 Birinci alandaki Δf_1in zamana göre cevabı…… 75
Şekil 5.17 İkinci alandaki Δf_2 in zamana göre cevabı……. 76
Şekil 5.18 Üçüncü alandaki Δf_3 in zamana göre cevabı……. 77
Şekil 5.19 ΔP_{12} in zamana göre cevabı…… 78
Şekil 5.20 Matlab GA araç kutusu…….. 80
Şekil 5.21 Birinci alandaki Δf_1in zamana göre cevabı…… 81
Şekil 5.22 İkinci alandaki Δf_2 in zamana göre cevabı……. 82
Şekil 5.23 Üçüncü alandaki Δf_3 in zamana göre cevabı…….. 83
Şekil 5.24 ΔP_{12} in zamana göre cevabı…… 84
Şekil 5.25 Δf_1in üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması…….. 85
Şekil 5.26 Δf_2 nin üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması…… 86
Şekil 5.27 Δf_3 nin üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması……. 87
Şekil 5.28 ΔP_{12} nin üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması……. 88
Şekil 5.29 Δf_1in üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması (ΔP_L=0.02) 89
Şekil 5.30 Δf_2 nin üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması (ΔP_L=0.02)…….. 90
Şekil 5.31 Δf_3in üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması (ΔP_L=0.02) 91
Şekil 5.32 ΔP_{12} nin üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması (ΔP_{12}=0.02)…… 92

SEMBOL LİSTESİ

Δ	: Değişme
f	**:** Frekans
K_P	: Generatör kazancının transfer fonksiyonu
zT_P	**:** Generatörün zaman sabiti
P_G	: Türbin çıkış gücünün düzensiz değişimi
P_D	: Elektriksel yük değişkenleri
T_1	: Hidrolik devir sayısı regülatörünün zaman sabiti
T_3	: Hidrolik devir sayısı regülatörünün zaman sabiti
u_s	: Güç sisteminin kontrol girişi
R	: Düzenleyici parametresi
X	: Durum vektörü
F(x)	**:** x in lineer olmayan fonksiyonu
K_1, K_2	: Yük-frekans kontrolunun giriş ölçekleme faktörü
s	**:** Laplace domeninde türev terimi
K_R	: Alanların ara ısıtmasının transfer fonksiyon kazançları
T_R	: Ara ısıtma zaman sabiti
P_R	**:** Buhar ara ısıtması boyunca ki mekanik güç
T_T	: Türbin zaman sabiti
X_E	: Devir sayısı regülatörünün valflarının pozisyonu
T_G	: Devir sayısı regülatörünün zaman sabiti
T_2	: Hidrolik devir sayısı regülatörünün zaman sabiti
T_w	: Su başlama zamanı
K_1	: İntegral kontrolörünü kazançları
i	**:** Alan indeksi (1,….,3)
B	: Frekans yönelim faktörü

ENTERKONNEKTE ŞEBEKEDE BULANIK MANTIK ALGORİTMA İLE ÇOK ALANLI OTOMATİK ÜRETİM KONTROLU

ÖZET

Bilgisayar sistemleri aracılığı ile değişen ortamlar için tasarlanan akıllı kontrol düzeneklerinin sistem davranışını belirlemesinin önem kazandığı günümüzde, bunların elektrik enerji sistemlerinin kontrolu konusunda da yüksek başarımlı kontrol cihazlarının tasarımına yol açacaklarını öngörmek zor değildir. Güç sistemi incelemelerinde çok önemli konulardan biri olan birkaç enterkonnekte sistemin paralel çalışmasındaki temel ihtiyaç otomatik üretim kontrolünün sağlanmasıdır. Bu çalışmada bağlantı hatlarıyla birbirlerine bağlı üç alanlı bir elektrik enerji sisteminde üretilen ve talep edilen güçler arasındaki uyumsuzluk neticesinde öngörülemeyen yük değişimleri sonucu frekansta ve bağlantı hatlarındaki bozulmalar oluşturulacaktır, bu enterkonnekte şebekede çok sık rastlanan bir olaydır. Otomatik üretim kontrolunun amacı bu öngörülemeyen yük değişimleri oluştuğunda anılan değişkenlerdeki değişimleri çok kısa bir sürede söndürmektir. Klasik kontrol teknikleri kullanılarak üretilen kontrolörler tasarımlandıkları bölgelerin dışında bazen yetersiz olabildiklerinden dolayı, değişken yapılı akıllı kontrol düzeneklerinden biri olan bulanık (fuzzy) kontrolörlerin sistem dinamikleri ile birlikte çok hızlı değişebilme yeteneklerinden dolayı otomatik üretim kontrolunda kullanılmaktadır.

Yüksek dereceden nonlineer olan elektrik enerji sistemlerinde frekans kontrolunu sağlamak için alanlar arasındaki alan kontrol hatasından yararlanılmakta olup, bunun alışılagelmiş kontrol yöntemleri ile başarılmış pek çok uygulaması vardır. Bulanık mantık (Fuzzy logic) kontrolörler kullanılarak iki alanlı güç sisteminde otomatik üretim kontrolunun gerçekleştirilmesi ile ilgili de pek çok çalışma vardır.

Bu yüksek lisans projesinde; iki ve üç alanlı ve alanların her birinde devir sayısı regülatörlerindeki ve kazandaki nonlineerliklerin hesaba alındığı alanların hem hidrolik hem de buhar türbinleri gibi farklı özellikler içerdiği durumda kazanç parametreleri el ile ayarlanan bulanık PI kontrolörler, kazanç parametreleri genetik algoritma yardımı ile ayarlanan bulanık PI kontrolör ve alışılagelmiş kontrolörler (PI kontrolör) aynı probleme uygulanacak ve bu üç farklı kontrolörün etkinliği tartışılacaktır.

MULTI-AREA AUTOMATIC GENERATION CONTROL BY FUZZY LOGIC CONTROLLERS IN INTERCONNECTED NETWORK

SUMMARY

In nowadays, the system behaviour of intelligent control system, which is designed for flexible environment by using computer systems, is becoming significant therefore it is not too hard to predict the electrical energy system control will trigger the design of control equipment with high efficiency. In the investigation of power system, one of the most important achievements is to provide automatic generation control in parallel operation in some interconnected system. In this study, as a consequence of unpredictable load variations, which is caused in the mismatch of generated and demanded powers in three area electrical energy system tied with tie-lines, deviations in frequency and tie-lines be formed, this event is frequently seen in interconnected network. The aim of automatic generation control is to extinguish the variations of variables that exist in unpredictable load variations. Controllers based on classical control theory could sometimes be inadequate on the beyond of scope of the areas due to this inadequateness; the fuzzy controller which is one of the variable intelligent structures can be used in automatic generation control because of their skill of changing rapidly together with system dynamics. In high level nonlinear electrical energy systems, area control error is lots of implementation achieved by control methods. There are lots of studies to make real automatic generation control in two-area power system by using fuzzy logic controller.

In this master thesis, two and three areas and in the each areas nonlinearities in boiler and regulators, measure period number, are considered. Fuzzy PI controller which its gain parameters were tuned by hand, fuzzy PI controller which its gain parameters were tuned by genetic algorithm and Integral controller is implemented in some problem in the condition which areas including different properties as steam and hydro turbine and also efficiency of this three controllers are discussed.

1. GİRİŞ

Günümüzde sanayi ve teknoloji alanlarında görülen hızlı gelişmeye paralel olarak gerek konut gerekse de sanayide veya hizmet sektöründe kısacası hayatın her alanında elektrik ile çalışan cihazların kullanımı artmaktadır. Teknolojinin insan hayatına getirdiği büyük kolaylıklar elektrik ile çalışan cihazların insanların günlük özel ve iş yaşamlarındaki önemini artırmıştır. İnsanlar artık sağlıktan güvenliğe kadar birçok alanda işgücü, zaman ve maliyetten tasarruf etmek için bu teknolojik cihazları daha çok kullanmakta bu durumda elektrik tüketiminde büyük artış görülmesine yol açmaktadır. Tüketimde görülen büyük artış doğal olarak daha fazla elektrik üretilmesine, elektrik güç sisteminin daha da büyümesine ve karmaşıklaşmasına yol açmaktadır. Elektrik güç sistem şebekesinin karmaşıklaşmasına ek olarak ayrıca elektrik ile çalışan bu teknolojik aletlerin insan hayatında oynadığı bu önemli rolü sonucu olarak elektrik tüketicileri, elektrik üreticilerinden kendilerine sağlanan elektriğin yüksek kararlılık ve güvenirlilikte olmasını istemeye başlamışlardır. Bunun nedeni olası bir elektrik kesintisi veya elektrik kalitesinde görülebilecek bozulmanın kendilerine büyük maliyet yükü ve zaman kaybı getirecektir.

Yukarıda anlatıldığı gibi elektrik güç şebekelerinin giderek karmaşıklaşması ve tüketici tarafından gelen yüksek kararlılık ve güvenirlilikte elektrik talebi sonucunda elektrik şebekelerinde güç sistem kontrolu çok önemli bir konu olmaya başlamıştır. Yapılan bu çalışmada günümüzde en çok başvurulan aktif güç kontrolu yöntemlerinden biri olan yük frekans kontrolu veya otomatik üretim kontrolu konusu ile ilgilenilmiş ve bir bilgisayar benzetim programı yardımıyla hem iki ve hem de üç alanlı üretim sisteminin, çeşitli kontrolör tipleri kullanılarak küçük adımsal yük değişimlerine karşı üretim ve frekans kontrolu gerçekleştirilmiş ve bulunan sonuçlar yorumlanmıştır.

Otomatik üretim kontrolu, yüksek kaliteli, uygun ve güvenilir elektrik gücünü sağlamak için güç sistem çalışması ve kontrolunda çok önemli bir konudur [1]. Otomatik üretim kontrolu; yüklenmede değişim sonucu sistem frekansında, alanlar arası bağlantı hattı yüklenmesinde veya diğer alanlarla ilişkilerinde görülen değişimlere cevap olarak bir kontrol alanı içindeki kontrol edilebilir generatörlerin üretim güç çıkışlarının düzenlenmesi olarak tanımlanabilir. Üretim alanlarının otomatik üretim kontrolu yöntemi kullanılarak kontrolu sonucunda tablolaşmış

sistem frekansının ve/veya diğer alanlarla kurallara bağlanmış güç değişiminin önceden belirlenmiş sınırlarda kalmalarını sağlar [2].

Geçmiş altmış yıl içinde enterkonnekte güç sistemlerinin yük-frekans kontrolu konusunda birçok araştırma yapılmıştır. Yük-frekans kontrolörlerinin daha iyi dinamik davranışının bulunması amacıyla otomatik üretim kontrolunda kullanılmak üzere en uygun kontrolörü araştırmak üzere klasik kontrol, optimal kontrol, suboptimal kontrol, uyarlamalı (adaptive) kontrol, değişken yapılı kontrol gibi bazı kontrol stratejisi geçmişte yük-frekans kontrolu tasarımında kullanılmıştır. Yük-frekans kontrolörlerinin çeşitli tipleri arasında en geniş kullanıma sahip kontrolör tipi klasik PI tipi kontrolörlerdir. Klasik PI kontrolörleri kullanılması basit kontrolörlerdir fakat genelde büyük frekans değişimine engel olamaz. Bu kontrolör tipinden başka daha iyi performans elde etmek için lineer optimal kontrol teorisine dayanan bazı durum geri beslemeli kontrolörleri tasarlanmıştır. Çıkış geri beslemeli ve bir merkezden yönetilmeyip dağıtılmış kontrolörler gibi geri beslemeli kontrolörlerin alternatif ve daha pratik formları daha geniş araştırmaların konusu olmuştur.

İncelenilen başka bir kontrolör tipi sabit kazançlı kontrolörlerdir. Değişken yüklerin kendi doğalarında var olan karakteristik özellikleri nedeniyle bir güç sisteminin çalışma noktası bir gün içinde çok çabuk değişebilir. Bu yüzden nominal çalışma noktasında tasarlanan sabit kazançlı kontrolörler, geniş ölçekli operasyon durumlarında en iyi kontrol performansını elde etmede başarısız olabilirler. Böylece sistem davranışını optimum değerlere yakın tutabilmek için çalışma koşullarının izlenmesi ve kontrolu sağlamak üzere güncellenmiş parametrelerin kullanılması istenir. Bu yüzden kendinden kazanç ayarlamalı, uyarlamalı (adaptive) kontrolörlerinin yük-frekans kontrolunde kullanılması amaçlanmıştır. Uyarlamalı kontrolörler ile çok ümit verici sonuçlar bulunmasına rağmen, bu kontrolör tipinin kontrol algoritmaları çok karmaşıktır, ayrıca on-line sistem model tanımlanması yapılması gerekir. Sinir ağları (neural networks) ve bulanık (fuzzy) sistemler yük-frekans problemlerine başarı ile uygulanılmış ve daha da ümit verici sonuçlar elde edilmiştir. Bu tekniklerin dikkat çekici özellikleri kontrol sistemlerinin modele ihtiyaç duyulmadan tanımlanması ve model tanımlanmasını istememeleridir. Bulanık mantık kontrolörleri kontrol faaliyetlerini niteleyici terimler ve sembolik formda tanımlarlar. Bulanık mantık kontrolörleri kullanılarak yukarda anlatılan kontrolör tiplerinin parametrelerinin en uygun şekle sokmaktaki zorluklar azaltılmıştır. Yapılan bu çalışmada yük-frekans kontrolörü olarak integral kontrolör, bulanık mantık kontrolör ve parametre değerleri genetik algoritma ile bulunmuş bulanık mantık kontrolörü kullanılmıştır [3,4].

İncelenilen üç alanlı üretim sisteminin benzetim modeli, birbirlerine paralel iki termik ve bir hidrolik alanının modellenmesiyle oluşturulmuştur. Üretim sisteminin modellenmesinde termik ve hidrolik alanların seçilme nedeni şu şekilde açıklanabilir; büyük enterkonnekte güç sistemlerinde üretim hidrolik, termik, nükleer ve gaz kullanılarak güç üretimini kapsar.

Yapılan bu çalışmanın amacı iki ve üç alanlı güç sisteminin bilgisayarda benzetim modelini çıkararak, bu modeli yukarıda bahsedildiği gibi integral kontrolör, bulanık PI kontrolör ve kazanç parametreleri genetik algoritma ile bulunan bulanık PI kontrolör ile üretim sisteminin otomatik üretim kontrolunu veya başka bir deyişle yük-frekans kontrolunu gerçekleştirmektir.

Çalışmanın ikinci bölümünde; otomatik üretim kontrolu hakkında genel bilgiler verilmekte ve örnek olarak alınan ara ısıtmasız iki termik alandan oluşan iki alanlı üretim sistemi benzetim modeli üzerinden otomatik üretim kontrolunu oluşturan birimler ve görevleri tanıtılmıştır.

Çalışmanın üçüncü bölümünde; üretim sistemini kontrol etmekte kullanılan kontrolörler hakkında genel bilgiler verilmiştir. İlk olarak integral kontrolör tanımlanmış daha sonra ikinci kontrolör tipi olan bulanık mantık kontrolörü tanıtılmıştır. Bulanık mantık kontrolörünü tanıtmadan önce kısaca bulanık mantık kavramı üzerine bilgi verilmiştir. En son olarak genetik algoritma konusunda bilgi verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde; çalışmada kullanılan sırasıyla iki ve üç alanlı güç sistemini oluşturan birimler hakkında bilgi verilmiş ve bu birimlerin benzetim modelinde nasıl modellendiği anlatılmıştır.

Çalışmanın beşinci bölümünde, dördüncü bölümde oluşturulması anlatılan üç alanlı üretim sisteminin benzetim modeli üzerinde üç farklı kontrolör kullanılarak sistemin 0.01 ve 0.02 p.u. lik yük değişimine verdiği cevaplar gözlenmiştir.

Çalışmanın altıncı bölümünde, üç farklı kontrolör tarafından elde edilen sistem cevapları yorumlanmıştır. Bu kontrolörlerin birbirlerine olan üstünlükleri cevaplar üzerinden anlatılmıştır.

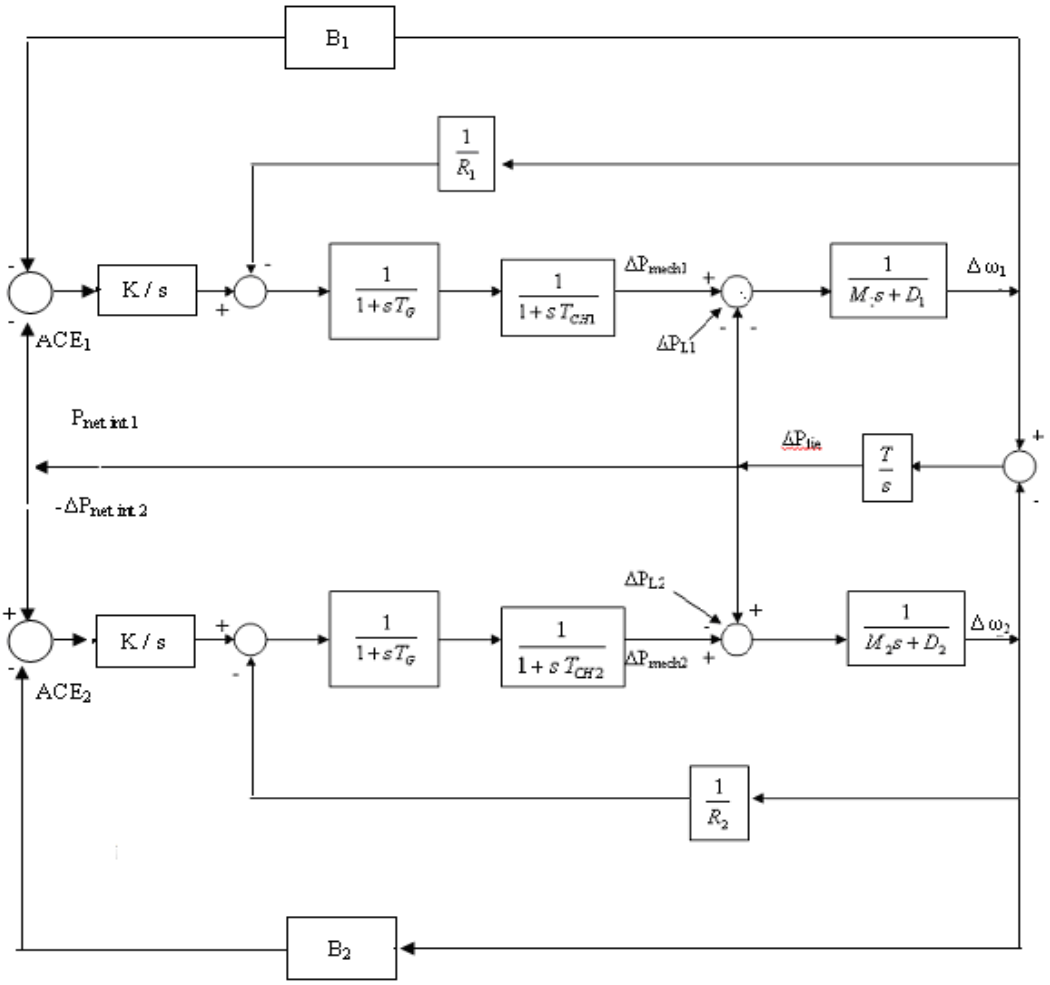
Çalışmanın son bölümlerinde, bu tezi yazarken yararlanılan kaynaklar, bu tezi gerçekleştiren kişi hakkında özgeçmiş yer almaktadır.

2. OTOMATİK ÜRETİM KONTROLU

Güç sistemleri, dinamikleri ve çalışmaları sürekli değişen karmaşık, geniş yelpazeli sistemlerin bir örneğini temsil ederler. Güç sistemlerine bağlı çoğu cihaz ve disiplinlerin üzerinde endüstriyel etkisi olan önemli alanlardan birisi de yük-frekans kontrolu olarak isimlendirilir [5]. Geniş ölçekli güç sistemleri, kontrol alanları olarak isimlendirilen birleşik generatör gruplarını temsil eden bölgelerden meydana gelir. Bu kontrol alanları iletim hatlarıyla birbirlerine bağlanmışlardır. Kontrol alanlarını birbirine bağlayan bu iletim hatlarından, alanlar arasındaki anlaşmalı enerji değişiminde yararlanılır ve bu hatlar normal olmayan durumlar olduğu takdirde alanlar arası aktif güç desteğini sağlarlar. Alanlar arası yük değişimleri ve generatörlerin kayıpları gibi normal olmayan durumlar, frekansın ve alanlar arası güç alışverişinin tablolanmış değerlerinin, önceden belirlenmiş değerlerden farklı değerler almalarına yol açarlar. Bu istenilen ile bulunan frekans ve alanlar arası güç değişimi değerleri arasındaki fark ek kontrolör yardımıyla sıfırlanması gerekir. Enterkonnekte sistemlerin yük frekans kontrolü veya otomatik üretim kontrolu, bir kontrol alanın içindeki generatörlerin; sistem frekansında, iletim hattı yüklenmesinde veya bunların birbirleriyle olan ilişkilerinde görülen değişimine cevap olarak güç çıkışlarının düzenlenmesi olarak tanımlanır [3]. Otomatik üretim kontrolu ile sistem frekans ve alanlar arası güç değişimi değerlerinin önceden belirlenmiş limit değerlerde kalması sağlanır. Literatürdeki aktif güç kontrolu ile ilgili yayınlanmış çalışmaların çoğu enterkonnekte güç sistemlerinin otomatik üretim kontrolü (OÜK) üzerine yapılmıştır. Güç sistemlerinde otomatik üretim kontrolu, kontrol alanları içindeki generatörlerin referans ayar noktalarının bir ek kontrolör yardımı ile kontrol edilmesi ilkesine dayanır. Ek kontrolörün referans ayar noktasını kontrol etmesi ile generatörlerin güç çıkışları düzenlenir. Ek kontrolörler etkili olarak alan kontrol hatasını sıfır yapmak için tasarlanırlar. Ek kontrolörler yük değişmelerini karşılamak için üretimi düzenlerler. Bu üretim değişimi; yük değişimi, frekans ve bağlantı hattının tablolaşmış çizelgelenmiş değerlerden sapmalarını yakalamaya çalışır [6]. Bu ek kontrolörlerin parametrelerinin optimize edilmesi için birkaç modern tasarım tekniği kullanılmıştır. Enterkonnekte güç sistemlerinin yük frekansı ile kontrolü alanında birçok araştırma geçmiş 60 yıl içinde rapor edilmiştir. Bu araştırmalarda belli sayıdaki kontrol stratejileri, daha iyi dinamik performans elde etmek için yük frekans kontrolörlerinin tasarımında kullanılmıştır. Çeşitli yük frekans kontrolörleri

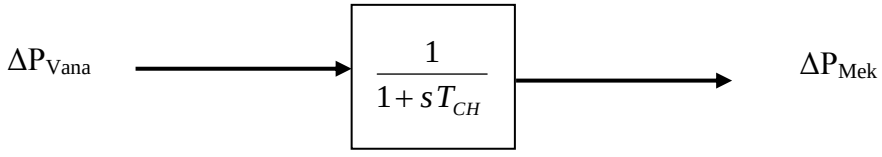
içinde en geniş kullanıma geleneksel PI kontrolörler sahiptirler [3]. Geleneksel PI kontrolörler kullanım olarak basit kontrolörlerdir fakat büyük frekans sapmalarına engel olamazlar. 60'lı yılların son kısımlarında ve 70'li yılların başlarında yük-frekans kontrolu için integral kontrol sistemleri önerilmiştir. İntegral kontrolörlerde integral kazanç, geleneksel transfer fonksiyon analizi ve tek alanlı güç sistemi için frekans sapmalarını yok edebilecek kritik kazanca göre seçilmiştir [5]. Bilindiği gibi, güç sistemleri doğrusal değildir ve oldukça karmaşıklardır ki bunlar da parametreler çalışma yapılan noktanın fonksiyonudur ve güç sisteminin içindeki yüklenme asla sabit değildir. İntegral kontrolör ile kontrol edilen, buhar türbinlerinden oluşan güç sistemlerine uygulanan ani yük bozulmaları için integral kontrolörler en iyi kontrol performansını sağlamakta başarısızlardır ayrıca üretim oran kısıtları ve hız regülatörü ölü bölgelerinden dolayı lineer olmayan etki kontrol sistem tasarımını daha da karmaşıklaştırır. Ayrıca eğer güç sistemi hidrolik ve buhar türbinlerini içeriyorsa, yük frekans kontrol sistem tasarımı daha da önemlidir. Bu durum araştırmacıları yük-frekans kontrolu için başka kontrol tekniklerini incelemeye yöneltmiştir. Lineer veya lineer olmayan kontrol yöntemlerine bağlı olarak uygulanmış farklı kontrol stratejileri vardır. Bu kontrol stratejileri içinde yapay sinir ağları ve bulanık sistemler yük-frekans kontrolu problemlerine son derece başarılı şekilde uygulanmıştır. Bulanık mantık teorisinin oluşturulmasıyla, yapılan uygulamalarda bulanık mantık kontrol sistemlerinin lineer olmayan sistemlerle iyi çalıştığı gözlenmiştir [7].

Bu tezin ayrıntılı tasarımı temel otomatik üretim kontrolü blok diyagramlarının formüle edilmesi ile başlar. Bu diyagram tezin içinde Şekil 2.1 olarak gösterilir. Bu blok diyagramın içine giren birçok eleman vardır. Her eleman ayrı ayrı modellenecek ve ondan sonra parçalanmamış bütün fonksiyonel blok diyagramı oluşturacak şekilde bir araya getirilecektir.



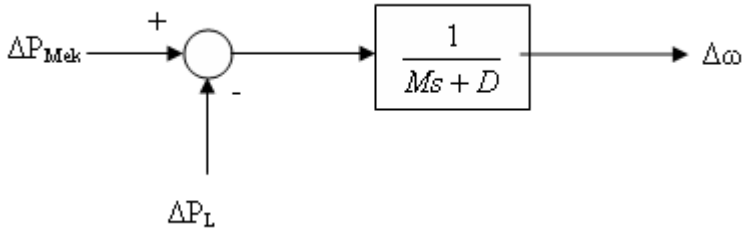
Şekil 2.1: İki alanlı üretim sistemi için temel otomatik üretim kontrolu blok diyagramı

İlk önce generatörün tahrik makinesi modellenmiştir. Bu modeli basitleştirmek için ara ısıtmasız türbin kullanılacaktır. Sistemin içindeki her generatör türbinin içindeki buhar akışını kontrol etmek için çoklu vanalara sahiptir. Tahrik makineleri ayrıca bir yüklenme zaman sabitine sahiptir. Tahrik makinesi modelin transfer fonksiyonu Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Burada Tch: tahrik makinesi yüklenme sabiti ve ΔP_{Vana}: değer pozisyonundaki birim değişme. ΔP_{Mek}: birim biriminde tahrik makinesinin mekanik çıkışındaki değişme.



Şekil 2.2: Tahrik makinesi model

Bundan sonra yapılacak işlem olarak senkron generatörün yük modeli formüle edilecektir. Türbinden mekanik güç çıkışı olduğu sürece, generatörden elektriksel güç çıkışı olur. Eğer talep edilen elektriksel güç değerinde değişiklik olursa, tahrik makinesinin mekanik gücü değişiklikleri karşılamak zorundadır. Bu durum, türbin tarafından daha fazla iş yapılmak zorunda olunduğu için türbinin dönüşünü yavaşlatır. Bu yavaşlama generatör frekansının azalmasını meydana getirir. Generatör yük modeli için blok diyagramı Şekil 2.3 'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Generatör-yük modeli

M =2H ve H eylemsizlik sabitidir. D ise yükteki yüzdelik değişimin frekanstaki yüzdelik değişime oranıdır. D aşağıdaki eşitlikle tanımlanır.

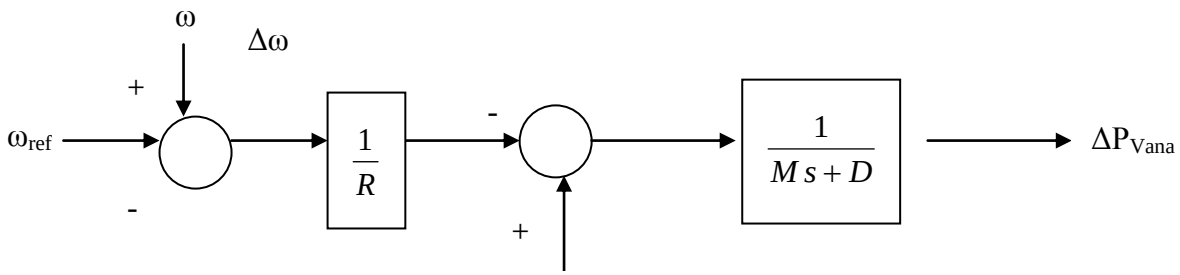
$$D = \frac{\Delta P_{L(freq)}}{\Delta \omega} \qquad \textbf{(2.1)}$$

Bir sistemdeki bütün generatörlerin bir devir sayısı regülatörüne sahip olması istenir. Bu devir sayısı regülatörleri tahrik makinesinin belirli bir hızda dönmesi için tahrik makinesini sınırlarlar. Devir sayısı regülatörleri tahrik makinesinin dönüşünü sabit bir hızda tutmak için sistem frekansını 50Hz'lik referans frekansı ile karşılaştırır. Bununla birlikte bütün türbinler aynı değildir. Bu problemi çözmek için bir eğilme karakteristiği tanımlanır. Bu karakteristik bir birimin çıkışının onun hesaplanmış çıkışına oranını gösterir. Bu yüzden 700MW olarak sınıflandırılmış bir generatörü 350 MW birimlik bir yük değişimi için kıyaslandığında iki kat daha fazla çıkış verir. Bu eğilme karakteristiği aşağıdaki eşitliklerle hesaplanır.

$$R = \frac{\Delta \omega}{\Delta P}\, p.u. \qquad \textbf{(2.2)}$$

Devir sayısı regülatörleri ayrıca birde bir devir sayısı regülatör zaman sabiti, T_G, ile ayrışırlar. Devir sayısı regülatör modelinin içindeki son parça yük referans yerleşme

noktasıdır. Bu yerleşme noktası hesaplanır böylece her ünite gönderilerini muhafaza edebilir. Devir sayısı regülatöri için blok diyagramı aşağıda Şekil 2.4'te gösteriliyor.



Şekil 2.4: Devir sayısı regülatörü modeli

Şimdi bağlantı hattı modeli tanıtılacaktır. Doğru akım yük akış yöntemini kullanarak 1 alanından 2 alanına bağlantı akış gücü,

$$P_{12} = \frac{E_1 E_2}{x_T} \sin(\delta_1 - \delta_2) \qquad \textbf{(2.3)}$$

Burada E_1, E_2 alan1 ve alan 2 nin generatör gerilimi değerleridir. $\delta_1 ve \delta_2$ ise sırasıyla alan1 ve alan 2 generatör geriliminin elektriksel açılarıdır. $\delta_1 = \delta_{10} ve \delta_2 = \delta_{20}$ alınarak ilk çalışma noktası civarında doğrusallaştırma yapılırsa,

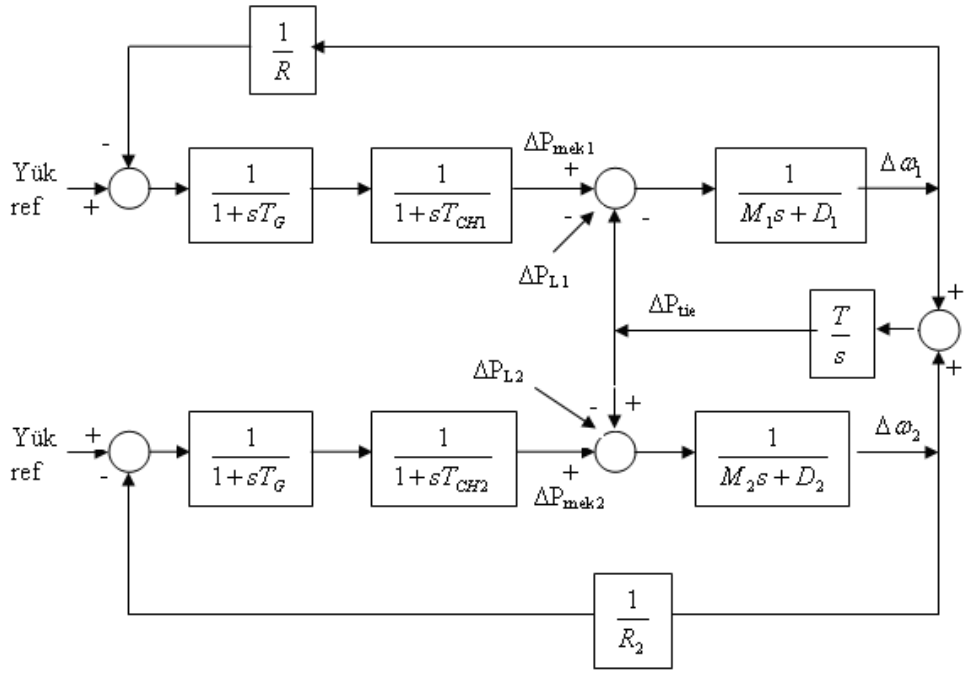
$$\Delta P_{12} = T\Delta\delta_{12} = T(\Delta\omega_1 - \Delta\omega_2) \qquad \textbf{(2.4)}$$

elde edilir, burada $\Delta\delta_{12} = \Delta\delta_1 - \Delta\delta_2$ ve T bağlantı hattı senkronizasyon moment katsayısıdır:

$$T = \frac{E_1 E_2}{x_T} \cos(\delta_{10} - \delta_{20}) \qquad \textbf{(2.5)}$$

Burada T iletim hattı sıkılı ile ilgilidir.

Şimdi bir iki alanlı otomatik üretim kontrol sistemi için daha karışık bir modeli bir araya getirebiliriz. Aşağıda görülen blok diyagram Şekil 2.1'den tekrarlanmıştır.



Şekil 2.5: Devir sayısı regülatörü, tahrik makinası, generatör-yük, ve bağlantı hattı modeli birleşimi

Bu modelden aşağıdaki eşitlikler bulunur.

$$\Delta\omega = \frac{-\Delta P_{L1}}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+D_1+D_2} \tag{2.6}$$

$$\Delta P_{tie} = \frac{-\Delta P_{L1}\left(\frac{1}{R_2}+D_2\right)}{\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+D_1+D_2} \tag{2.7}$$

Yukarıdaki Şekil 2.5'de gösterilen yük referans noktası frekans değişikliğini sıfıra zorlayan bir ek kontrol ile tanımlanır.

Örnek olarak aldığımız iki alanlı enterkonnekte sistemde bir alandaki talep değişikliği her iki alandaki üretim değişikliğine yol açar. Bir kontrol sistemi iletim hattı akışını değişim öncesi değerlere döndürecek bir model içermelidir. Bu nedenle sisteme alan kontrol hatası (ing. Area control error (ACE)) eklenir. Alan kontrol hatası diğer bir alandaki yük değişikliğini karşılamak için bir alandaki üretimin değiştirilmesini sağlar. Alan kontrol hatası aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$ACE = \Delta P_{net\,\text{int}} + B\Delta f \quad \textbf{(2.8)}$$

Burada B bir frekans yönelim faktörüdür ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$B = \frac{1}{R} + D \quad \textbf{(2.9)}$$

ACE bir kontrol işaretidir. [8]. Bu işaret yönelim faktörü ile ağırlıklanmış frekans sapmasına bağlantı hattı gücü değişimi eklenmesiyle oluşur. ACE bir üretim alanında MW olarak ihtiyaç duyulan değişimi gösterir. Birim normal olarak frekans yönelim faktörü B yi MW/0.1 Hz olarak ifade etmek için kullanılır. Gerçekte sürekli durum davranışı göz önüne alındığında, yönelim faktörünün seçimi önemli değildir. İntegral kontrol hareketi ACE nin sıfıra düşmesini sağladığı için, bağlantı hattındaki güç değişimi ve frekans değişimini içeren alan kontrol hatasının herhangi bir birleşimi, sürekli durumda bağlantı hattı güç akışı ve frekansın düzelmesini sağlar. Bunu göstermek için, iki alanlı sisteme uygulanabilen alan kontrol hata işaretlerini göz önüne alırsak:

$$ACE1 = \Delta P_{12} + B_1\Delta f = 0 \quad \textbf{(2.10)}$$

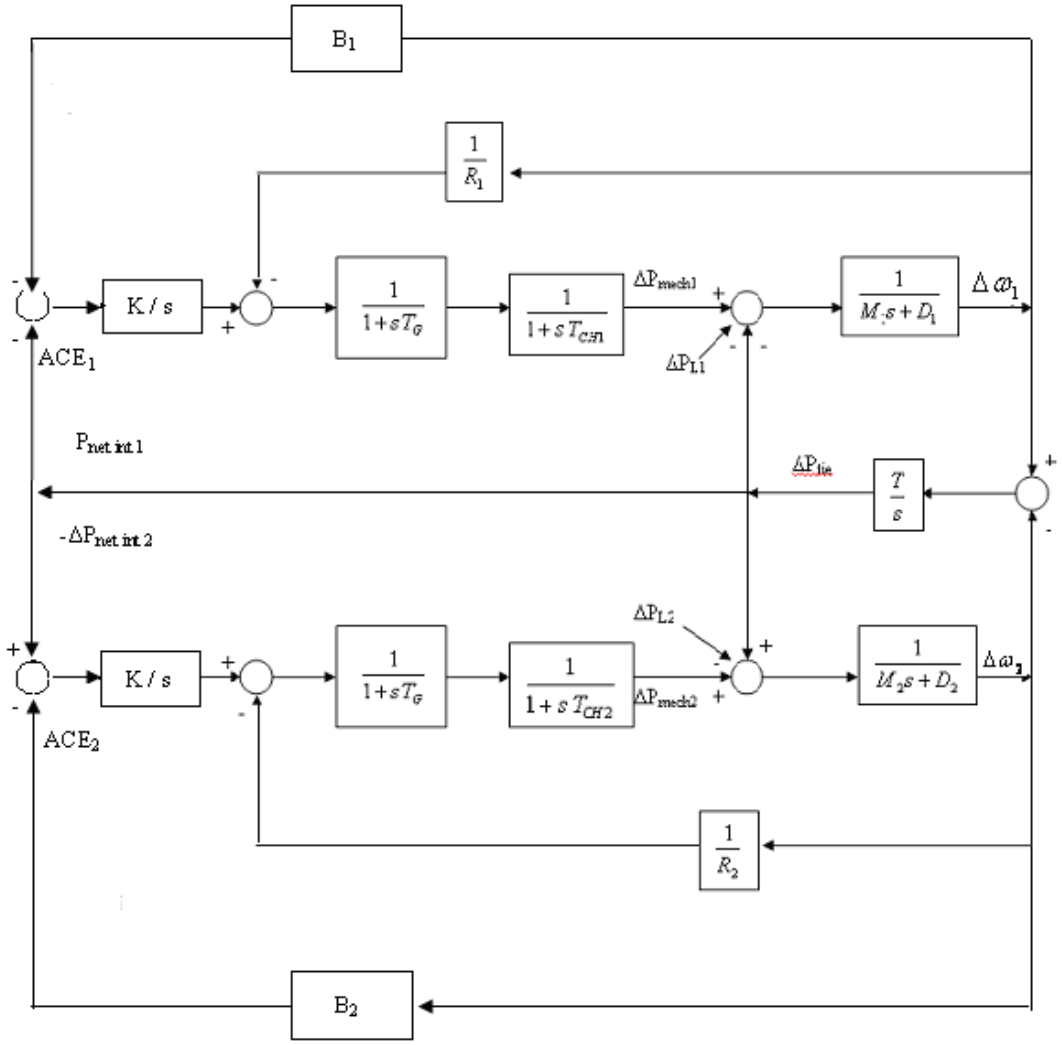
$$ACE_2 = \Delta P_{21} + B_2\Delta f = 0 \quad \textbf{(2.11)}$$

Yükteki ani artış, sistem frekansında eşitlik 2.12 teki bağıntı ile hesaplanan değer kadar azalmaya yol açar.

$$\Delta f_R = -\frac{\Delta P_{L1}}{\beta_1 + \beta_2} \quad \textbf{(2.12)}$$

Bu noktada, bağlantı hattı gücünün değişimi çizelgelenmiş değerden farklıdır. İlk hız kontrolünden çok daha yavaş olarak ikincil (ek) kontrol hareketi artık cevap vermeye başlayacaktır [9]. Ek kontrolör tarafından sağlanılan bu ek kontrol hareketi ile frekansta ve bağlantı hattı gücünün değişiminde görülen fark ortadan kaldırılır.

Şekil 2.5 te görülen üretim sisteminin ilk hız kontrolu modeline ek kontrolör modeli eklenirse iki alanlı örnek güç sistemimiz için otomatik üretim kontrol blok diyagramı aşağıdaki gibi gösterilir.



Şekil 2.6: Tamamlanmış AGC model

Yukarıdaki model verilen bir yük değişikliğinde frekanstaki ve iletim akışındaki değişiklikleri sıfıra götürmekte iyi iş görür.

3. ÇALIŞMADA KULLANILAN KONTROL TEKNİKLERİ

Çalışmanın bu kısmında incelenilen üç alanlı üretim sisteminin kontrolunda kullanılan kontrolör tipleri hakkında genel bilgi verilmiştir.

3. 1. Klasik PI Kontrolörler

PI kontrolörlerin yaygın kullanımlarının ardındaki neden, bir kontrol sisteminin sürekli hal hatasının kontrolündeki etkinliğidir. Bu kontrole sürekli hal hatasını sıfıra getirmeyi örnek verebiliriz. Bir kutbun eklenmesi sistem hatasının minimize edilmesi etkisi yapar. Bununla birlikte bu klasik kompansatörün bir eksikliği sistemin geçici durum cevabını iyileştirmedeki yetersizliğidir. Bir PI kontrolör kullanarak yerleşme zamanını ve sistemin yüzdelik üst aşımını azaltmak çok zordur. Öte yandan yerleşme zamanı ve sistemin yüzdelik üst aşımı PD kontrolör kullanılarak kontrol edilebilir. Bu nedenle araştırmacılar sistemin geçici durum cevabı ve sürekli hal hatasını kontrolünde kullanılmak üzere bir PID kontrolör geliştirmek için PD ve PI kompansatörlerinin birleşimini kullanıyorlar. Bununla birlikte PID kontrolörlerin bunu gerçekleştirmesi zordur. PI kompansatörlerin kullanılması özellikle geçici durum cevabı kontrolü gerekmediği durumlarda daha pratik olmuştur [10].

Klasik PI kontrolör eşitlik 3.1 teki forma sahiptir. Bu eşitlikte u modeli besleyen kontrol çıkışıdır, K_p ve K_I oran ve integral sabitleri ve e hata sinyalidir. Burada hata sinyali e çıkış işaretinin referans giriş işaretine farkıdır. e = r-y

$$\frac{d\omega(t)}{dt} = K_p e(t) + K_I \int_T e(t)d(t) \qquad \textbf{(3.1)}$$

Bu eşitlik gösteriyor ki PI kontrolörler tüm geri beslemeli sistemin içinde bir kutup ortaya çıkarır. Sistemin birim geri beslemeli tip olduğu düşünülürse, PI kontrolör sistemin orijinal köklerin yer eğrisinde bir değişiklik yapar. Analitik olarak bu kutup, sistem derecesini artırarak adım girişlerine karşı kontrol sisteminin göstermiş olduğu cevapta değişiklik meydana getirir. Bu değişiklik sürekli hal hatasının azaltılması ve sistem hızının yavaşlamasıdır. Buna karşılık olarak diğer yandan, K_P ve K_I sabitleri sistemin geçici hal cevabını ve kararlılığı hesaplarlar.

$$K_p \in [K_{p,min} , K_{p,max}] \quad \textbf{(3.2)}$$

$$K_I \in [K_{I,min} , K_{I,max}] \quad \textbf{(3.3)}$$

Burada oran ve integral sabitlerinin minimum ve maksimum değerleri tecrübeler yoluyla ve bazı iterasyon teknikleri kullanılarak değerlendirilir. Bu durum klasik PI kontrolörün tasarımını uzmanın bilgisine bağlı olmasına yol açar. Bununla birlikte değerlendirme ve kontrolör sabitlerinin sentezi herhangi birinin uzmanlığı ile sınırlandırılamaz. Bundan dolayı böyle kontrolörler geliştirmek isteyen ve sisteme ait sebep sonuç ilişkisine dayanan bilgiye sahip olmayan yeni tasarımcılar için PI kontrolörler yeterlidir. [10].

3.2. Bulanık Mantık Kontrolörü

Bu kısımda bulanık mantık ve bulanık mantık kontrolörleri hakkında temel bilgiler verilecektir.

3.2.1. Bulanık Mantık

Bulanık mantık kontrolörlerine geçmeden önce bulanık mantık (Fuzzy logic) hakkında bilgi vermek gerekirse; bulanık mantık kavramı Lotfi Zadeh tarafından ortaya atılmıştır. Lotfi Zadeh in iddiasına göre bizi çevreleyen dünyadaki birçok kümeler (sets) kesin olmayan sınırlarla tanımlanmıştır. Bu kümelere örnek olarak yüksek dağlar takımı verilebilir. Zadeh yalandan doğruya doğru kademeli geçiş ortaya koyarak {0,1} ikili ile tanımlanan iki değerli lojik tanımı, [0,1] bütün sürekli aralığına genişletmeye karar verdi [10]. Bulanık mantık kısmi doğruluk kavramı kullanılarak Boolean lojiğin genişletilmesidir. Klasik lojik anlayışına göre her şey ikili sistem terimleriyle (0 veya 1, siyah veya beyaz, evet veya hayır) açıklanabilir buna karşın bulanık mantık anlayışında boolean doğruluk değerleri, doğruluk dereceleri ile yer değiştirir [12].

Doğruluk dereceleri kavram olarak farklı olmalarına rağmen sıklıkla olasılık kavramı ile karıştırılır buna sebep olarak bulanık doğruluğun, belirsiz şekilde tanımlanmış takımlar içindeki üyeliği temsil etmesi gösterilebilir. Farklılığı göstermek için şu senaryoyu düşünebiliriz: Hasan bitişik iki odası (mutfak ve yemek odası) olan bir evde yaşamaktadır. Hasanın mutfağın içindeki konumuna göre durum ifadeleri yazılırsa Boolean lojik mantığında durum, Hasan mutfağın içindedir ya da değildir olarak açıklanabilir. Bu mantık eğer Hasan kapı aralığında ise durumu açıklamakta yetersiz kalmaktadır çünkü Hasan bütün olarak değil kısmi olarak mutfağın içindedir.

Bu kısmilik durumunun ölçülmesi bulanık küme üyeliğini ortaya çıkarır. Eğer Hasanın vücudunun küçük bir kısmı yemek odasında ise Hasanın 0.99 u mutfaktadır diyebiliriz. Bulanık kümeler (Fuzzy set) tesadüfiliğe değil takımların belirsizlik tanımına dayanırlar.

Bulanık mantık 0 (sıfır) ve 1 (bir) değerleri dâhil olmak üzere bu iki değer arasındaki küme üyelik değerlerine izin verir (siyah, beyaz ve grinin tonları gibi). O (sıfır) ve 1 (bir) arasındaki üyelik değerleri dilbilgisi formunda seyrek, sıklıkla ve çok gibi kelimelerle sınıflandırılabilir [12].

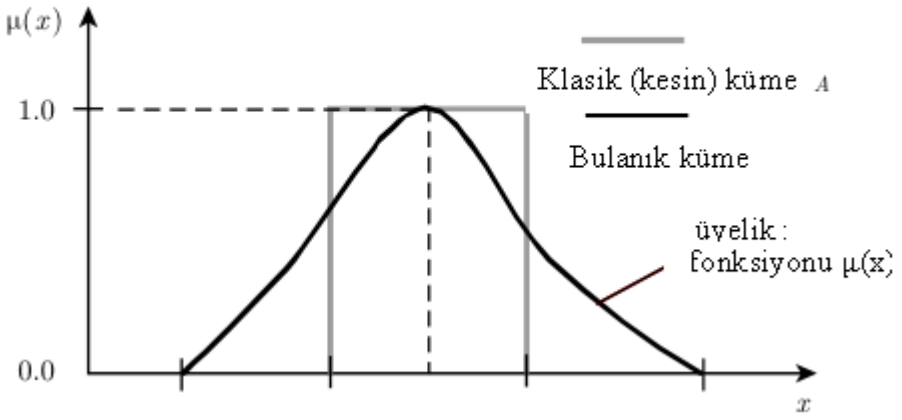
3.2.1.1. Bulanık Kümeler

Bulanık kümeler klasik küme teorisinin genişletilmiş halidir ve bulanık mantık konusunda kullanılırlar. Klasik küme teorisinde, bir kümenin içindeki elemanların üyeliği o elemanın o kümeye ait olup olmamasına göre ikili sistem terimleri (0 veya 1) ile ifade edilir. Bunun tersi olarak bulanık küme teorisi bir kümenin içindeki elemanların üyeliklerinin kademeli olarak tayin edilmesini izin verir. Bu kademeli üyelik değerleri üyelik fonksiyonu $\mu \rightarrow [0,1]$ yardımıyla tanımlanır.

Bir klasik X kümesi üzerindeki bulanık küme aşağıdaki ifade ile tanımlanabilir,

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in X\} \quad \textbf{(3.4)}$$

$\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu, x elemanlarının temel X kümesine üyeliğinin derecesini ölçülendirir. Bir elemanın 0 değerine sahip olması o üyenin verilen kümeye ait olmadığını gösterir, elemanın 1 değerine sahip olması ise o elemanın o kümeye üye olduğunu gösterir. 0 ve 1 değerleri arasındaki değerler bulanık üyeler ile gösterilir [13].



Şekil 3.1: Bulanık küme ve kesin küme [13]

3.2.2. Bulanık Mantık Kontrolörleri

Bulanık mantık kontrolörleri kural tabanlı kontrolörlerdir. Bulanık mantık kontrolörleri onların bilgi ve mantık gösterimlerinde bulanık küme (set) teorisinden yararlanılması dışında bilgi tabanlı kontrolörlere benzerler. Bulanık mantık kontrolörlerinin temel yapılanmaları basitçe dört kısım içinde temsil edilebilir.

- Bulanıklaştırma (Fuzzification) birimi, bu birimin fonksiyonları birinci olarak ölçümleri ve hız gibi kontrol değerlerinin skalasını okumak, ikincil olarak ölçülen sayısal değerleri, uygun üyelik değerlerinin yardımı ile ilgili bulanık değerlere dönüştürmektir.

- Bilgi temeli, bu yapı, dilbilgisine ait değerleri kullanarak kontrol amaçlarını tayin eden gerekli kurallar ve her kontrol değişkeni için tanımlanmış bulanık üyelik fonksiyonlarının tanımını içerir.

- Sonuç çıkarma mekanizması, bu yapı bulanık mantık kontrolörün özüdür. Bu yapı bulanık mantığa dayanan kontrol hareketlerini etkileyebilecek ve insan karar alma yapısının benzetimini yapabilecek kapasiteye sahip olması gerekir.

- Durulaştırma (Defuzzification) birimi, bu yapı sonuç çıkarılan kararı dilsel değişkenlerden tekrar sayısal değerlere geri dönüştürür.

3.2.3. Bulanık Mantık Kontrolör Tasarımı

Bir bulanık mantık kontrolörünün tasarım işlemi 5 adıma ayrılabilir.

3.2.3.1. Kontrol Değişkenlerinin Seçimi

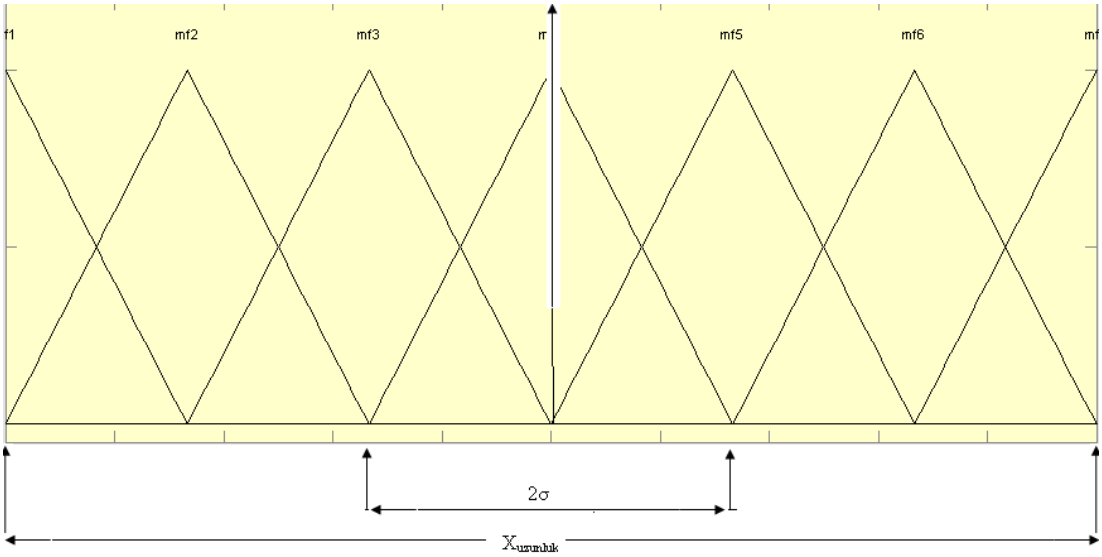
Kontrol değişkenlerinin (kontrolör girişleri ve çıkışları) seçimi istenilen çıkış ve kontrol edilen sistemin doğasına bağlıdır. Kontrolör girişi olarak genellikle çıkış hatası (e) ve çıkışın oranı veya türevi (e') kullanılırlar. Ayrıca bazı araştırmalar bulanık mantık kontrolörünün girişi olarak, hata ve hatanın integralinin kullanılmasını önermektedir [14].

3.2.3.2 Üyelik Fonksiyon Tanımı

Bulanık mantık kontrolörünün giriş ve çıkış sinyalleri, bulanık değişkenleri (X_j = {e,e',u}) tanım aralığı olarak gerçek çizgi R e sahiptirler. Pratikte tanım aralığı kıyaslamalı olarak küçük aralık [X_{min},X_{max}] ile sınırlandırılmıştır. Her bulanık değişkeninin tanım aralığı üst üste gelen bulanık kümelerinin (Fuzzy sets) bir numarası içinde niceliği bulunabilir. Her bulanık değişkeni için bulanık kümelerinin sayısı uygulamaya göre değiştirilebilir. Yaygın sayı tekil numaradır (3,5,7,…). Bulanık takımının sayısının artması, kuralların sayısının bununla alakalı olarak artması ile sonuçlanır.

Her bulanık kümesine bir üyelik fonksiyonu atanır. Bu üyelik fonksiyonu bulanık değerler içindeki kesin değerlerin haritasını çıkarır. Bir üyelik fonksiyonları kümesi bazı kelimesel değişkenler için tanımlanmıştır. Bu kelime ile ifade edilen değişkenler: NB negative big (negatif büyük), NM negative medium (negatif orta), NS negative small (negatif küçük), Z zero (sıfır), PS positive small (pozitif küçük), PM positive medium (pozitif orta), PB positive big (pozitif büyük).

Üyelik fonksiyonları genellikle üçgen, trapezoidal ve bir çan şekline sahip olabilirler. Üçgen üyelik fonksiyonları Şekil 3.2'de gösterilmiştir ve bu bölümde üyelik fonksiyonlarının tanımlanmasında kullanılacaktır [14] .



Şekil 3.2: Üçgen şekilde üyelik fonksiyonu

Üçgen üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$F_i(x) = \begin{cases} \dfrac{x - \mu_i + \sigma_i}{\sigma_i} & \mu_i - \sigma_i \le x \le \mu_i \\ -\dfrac{x - \mu_i - \sigma_i}{\sigma_i} & \mu_i \le x \le \mu_i + \sigma \end{cases} \qquad \textbf{(3.5)}$$

Burada μ_i i.nci üyelik fonksiyonun sentroididir ve σ_i i.nci üyelik fonksiyonun yayılmasını hesaplayan bir sabittir.

Basitleşmek için, üyelik fonksiyonlarının simetrik olduğu ve komşu fonksiyonların %50 oranında üst üste geldikleri varsayılacaktır. Pratikte üyelik fonksiyonları [-L, L] aralığında normal hale getirilir. Üyelik fonksiyonları burada sıfırın etrafında simetriktir. Bu yüzden kontrol sinyali genişlikleri (bulanık değişkenler) kontrol parametreleri (kazançlar) kullanılarak ifade edilirler. Bu parametreler şu şekilde ifade edilebilirler.

$$K_J = \frac{2L}{X_{uzunluk_j}} \qquad \textbf{(3.6)}$$

Burada $X_{uzunlukj}$ kontrol değişkeni X_j in tam genişliğini ifade eder. Burada X_j

$$X_{uzunlukj} = X_{maxj} - X_{minj} \quad \textbf{(3.7)}$$

ve X_{maxj} , X_{minj} kontrol değişkeni X_j in maksimum ve minimum değerleridir.

Yukarıdaki eşitlikler kullanılarak, üyelik fonksiyonunun parametreleri (σ_i , μ_i) kolaylıkla hesaplanabilir,

$$\sigma_i = \frac{X_{uzunlukj}}{n-1} \quad \textbf{(3.8)}$$

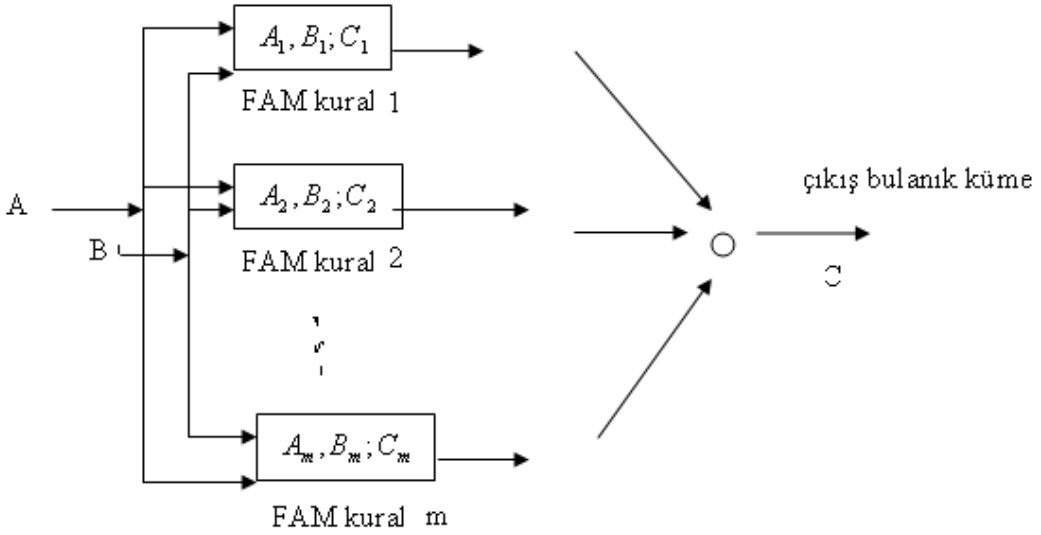
$$\mu_i = X_{minj} + (k-1)*\sigma_i \quad \textbf{(3.9)}$$

burada i = 1, …., n ve n kelime ile ifade edilen değişkenlerin sayısıdır [14].

Giriş ve çıkış kazançları K_j bulanık mantık kontrolör parametreleri olarak verilir. Bu parametrelerin seçimi genellikle kontrol edilen sisteme ait önceki bilgilere dayanılarak yapılır.

3.2.3.3. Kural Yaratma ve Sonuç Çıkarma (Inference)

Genelde, bulanık sistemler fonksiyon hesaplayıcı olarak bir giriş bulanık takımından bir çıkış bulanık takımına haritasını çıkarır. S: $I^n \rightarrow I^p$. Bulanık kuralları bulanık kümeleri arasındaki ilişkidir. Bulanık kuralları genellikle " Eğer A, ondan sonra B" formundadır. Burada A kural ilk değeri (rule antecedent) ve B kural neticesidir. Her kural Kartezyen çarpımı A x B (sistem durum uzayı) içindeki bir bulanık parçasını ifade eder. Her bulanık kuralın ilk değeri durum uzayının içinde bir bulanık giriş bölgesi tanımlar. Bu etkili olarak sürekli durum uzayını niceliklendirmeye imkân verir bu yüzden kurallar sınırlı sayıdaki böyle bölgeleri kapsarlar. Birleşmeli hafıza tanımı (FAM) içinde, her kural bir ortaklığı (A_i ; B_i) temsil eder. FAM yapısı 1987 yılında ortaya atılmıştır. Yapı bütün kuralların aynı zamanda yapılmasını (analogtan sinir ağlarına) öngörmektedir. Bu daha kolay ve hızlı çok geniş ölçekli entegre edilmiş (very large scale integrated ,VLSI) analog ve dijital tasarımlara imkan verir. İki geçmiş ve bir sonuç kullanan bir bulanık sistem (A,B;C) Şekil 3.3 de gösterilmektedir.



Şekil 3.3: İki bulanık giriş ve tek çıkış için FAM sistem mimarisi [14]

Ortaklık (A_i,B_i;C_i) veya "A_i ve B_i ondan sonra C_i" kuralı A, B girişinden C' ye haritalandırır. Burada C' C nin kısmi aktivite edilmiş sürümüdür. İlgili çıkış bulanık takımı C kısmi aktivite edilmiş takımlar olan C'^1, C'^2,…, C'^m leri bir araya getirir.

$$C = \sum_{i}^{m} C'^{i} \qquad \textbf{(3.10)}$$

İki bulanık değişkenli (hata (e) ve hatanın türevi (e')) bir kontrolör ve bir çıkış bulanık değişkenini (kontrol sinyali (μ)) düşünürsek, her biri yedi bulanık takımına nicelikleri çıkarılır. Bu durum 7 x 7 FAM kural matrisinin oluşmasına yol açar. Matris içindeki her varlık bir kuralı temsil eder. Örnek olarak,

Eğer e NB ve e' NM, ondan sonra U NB

i.ci kural sonucunun faal duruma getirilmesi bir skaler değerdir (w_i). Bu değer iki ilk değerin birleşiminin minimum değerine eşittir. Örneğin, eğer e 0.3 üyelikle NB' e ait ise ve e' 0.7 üyelikle NM' e ait ise ondan sonra kural sonucu (w_i) 0.3 olur. Kural matrisi kontrol değişkenleri sayısı üzerine dayanan çok boyutlu matrise genişletilebilir. Bulanık kuralları üretmek için istenilen bilgiler kapalı hat benzetiminden, bir uzman operatörden ve/veya bir tasarım mühendisinden türetilebilir. Bu bilginin bazıları kontrol edilen dinamik sistemin davranışını anlaşılmasına dayalı olabilir. Birçok etki bulanık kuralların yaratılmasına bağlıdır [14].

3.2.3.4. Bulanık(Fuzzy) Sonuç Çıkarma

Bulanık mantık içindeki iyi bilinen sonuç çıkartma (inference) mekanizması korelasyon-minimum şifreleme ve korelasyon-çarpım şifrelemesidir. A ve B bulanık takımlarının X, Y 'nin bulanık alt takımları olduğunu varsayalım. Birim küpler içindeki noktalar olan A ve B sonlu bulanık takımlarının geometrik kurulum noktası açıklaması vektörlerin takımlarının temsil edilmesine izin verir. Bu yüzden A ve B sayısal uygun vektörler olan $A = (a_1,\ldots,a_n)$ ve $B = (b_1,\ldots,b_n)$ ile temsil edilebilirler. Orada $a_i = m_A(x_i)$ ve $b_i = m_B(y_i)$ olarak belirtilir. A ve B arasındaki ilişki FAM kuralı (A, B) ile idare edildiğini düşünürsek, bu eşitlikleri kullanarak korelasyon-minimum şifreleme ve korelasyon-çarpım şifreleme aşağıdakiler gibi açıklanabilir.

(i) Korelâsyon-minimum şifreleme, bulanık dışarıdaki çarpım notasyonuna dayanır. Matrislerin içindeki ifade, pairwise çarpım pairwise en küçük değer ve sütun maksimum değeri ile sütun toplamları ile yer değiştirir. Bu max-min bileşim ilişkisi bileşim operatörü o ile gösterilir. Bu yüzden A ve B, bu vektörler FAM matris M formundadır, uygun sıra vektörlerin bulanık dış çarpımı aşağıdaki eşitlik ile verilebilir,

$$M = A^T \text{ o } B \qquad \textbf{(3.11)}$$

Orada

$m_{ij} = \min(a_j, b_j)$ veya $a_j \wedge b_j$

ve tepe operatörü $\wedge$ pairwise en küçük değeri gösterir.

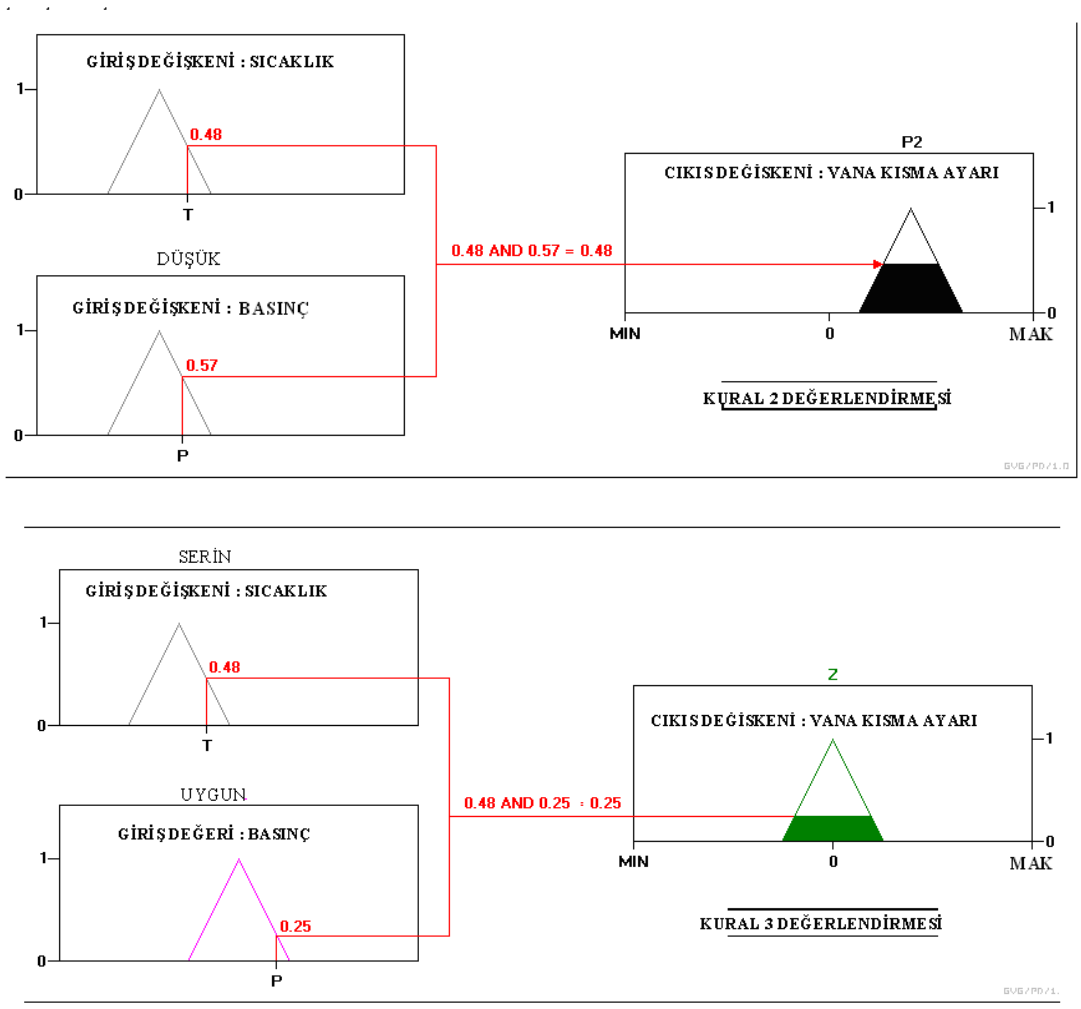
(ii) Korelasyon-çarpım şifrelemesi, FAM matris M formuna sahip olmak için A ve B uygun vektörlerin standart matematiksel dıştaki çarpımını kullanır.

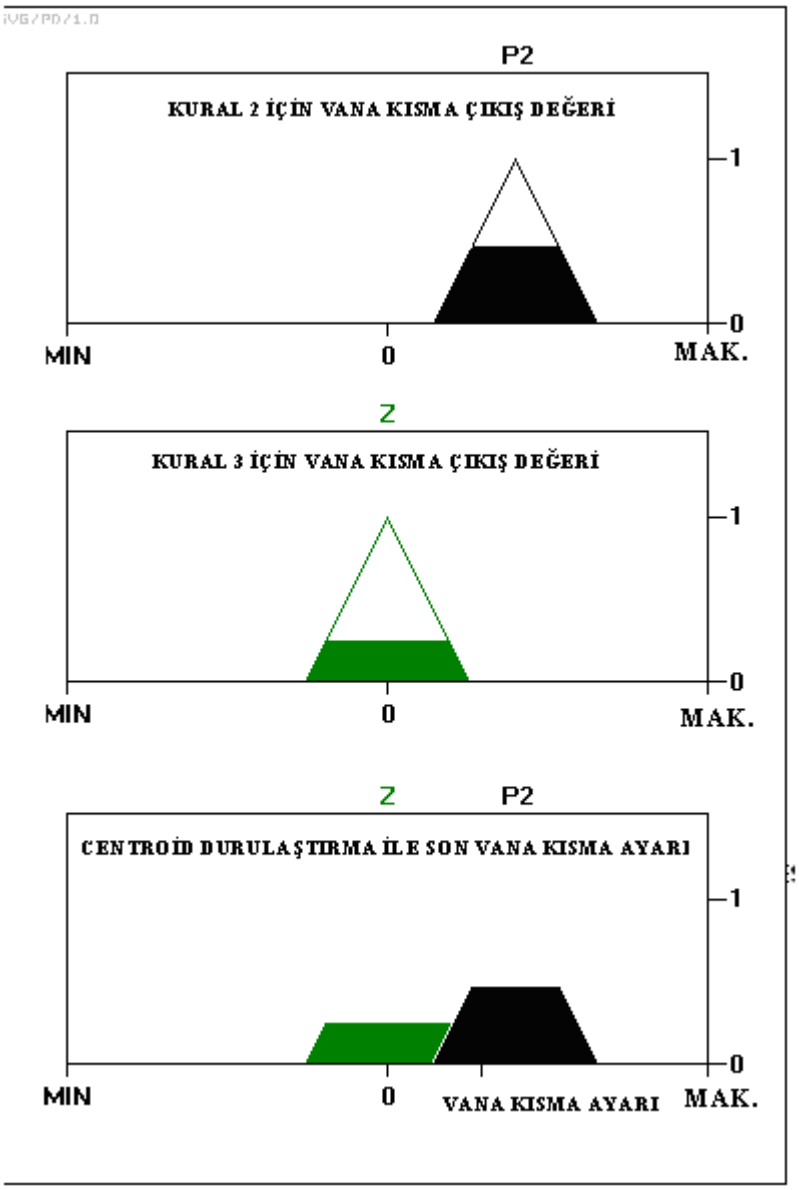
$$M = A^T B \qquad \textbf{(3.12)}$$

$$m_{ij} = a_i b_j \qquad \textbf{(3.13)}$$

Korelasyon çarpımı şifrelemesi ölçeklenmiş B takımlarının bir matrisini üretirken, korelasyon minimum şifrelemesi kırpılmış B takımlarının bir matrisini üretir. Üyelik

fonksiyonları içindeki gösterimde, a_iB ölçeklenmiş bulanık takımlarının hepsi aynı B şekline sahiptir. Kırpılmış bulanık takımları olan $a_i \wedge B$, a_i değerinde veya bu değerin üstündeki değerlerde düzdürler. İki giriş ve bir çıkış kurallarına örnek Şekil 3.4 de gösterilmiştir. Korelasyon çarpım şifrelemesi korelasyon minimum şifrelemesine göre daha fazla takım bilgisi saklar.





Şekil 3.4: Korelasyon minimum şifreleme kullanarak çıkış bulanık küme üretilmesi [15]

3.2.3.5. Durulaştırma (Defuzzification) Stratejisi

Durulaştırma, bulanık mantık kontrolörün anlam çıkarılan kontrol hareketlerini bulanık değerlerden kesin değerlere dönüştürmesi işlemidir. Bu işlem gerçekleştirilen kurallardan üretilen çıkış bulanık takımlarına bağlıdır. Bu çıkış bulanık takımları, korelasyon minimum şifreleme veya korelasyon çarpma şifreleme tekniklerinden biri ile vücut bulur. Eğer $m_o(y)$ fonksiyonu ile tanımlanan korelasyon çarpım şifreleme tekniği kullanılarak üretilen çıkış bulanık takımını örnek olarak alırsak, orada

$$m_o(y) = \sum_{i=1}^{N} m_{oi}(y) \quad \textbf{(3.14)}$$

Kontrol çıkış sinyali u aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$u_k = \frac{\int y m_o(y) dy}{\int m_o(y) dy} \quad \textbf{(3.15)}$$

Ayrıklaştırılmış çıkış tanım bölgesi için ayrık bulanık sentroidi veren Y = (m_1, …, m_m) aşağıdaki ifadeye indirgenebilir.

$$u_k = \sum_{i=1}^{m} y_i m_o(y_i) / \sum_{i=1}^{m} m_o(y_i) \quad \textbf{(3.16)}$$

3.2.4. Bulanık (Fuzzy) Kurallar

Bulanık kurallar bulanık mantık kontrolörlerin içinde büyük rol oynar. Kurallar genellikle sistem bilgisi ve sistem ile ilgili operasyon tecrübesi veya sistem dinamiğinin anlaşılmasını kullanarak üretilebilirler.

Birçok durumda, bulanık kurallar bir çıkış değişkeni içinde iki giriş bulanık değişkenlerinin haritasının çıkarırlar. Burada giriş bulanık değişkenlerine örnek olarak hata (e) ve hatanın türevi (e^), çıkış bulanık değişkenine örnek olarak kontrol sinyalini (u) verebiliriz. Böyle bir sistemin içinde her bulanık değişkeni kolaylıkla bulanık takımlarının bir sayısına dönüştürülebilir.

3.2.5. Bulanık Mantık Kontrolör (FLC) Parametre Ayarlaması

Bulanık mantık kontrolörü (FLC) için parametre ayarlaması kontrolörün görevini başarması için önemli bir rol oynar. Bulanık mantık kontrolörü parametrelerinin ilk değerlerinin seçiminde kontrol edilen sistemle ilgili önceki tecrübelerimiz bize yardımcı olur. Eğer kontrol edilen sistemle ilgili gerekli bilgiliye ulaşılamıyorsa, uygun bulanık mantık kontrolör parametrelerinin seçimi yorucu bir deneme yanılma işlemine dönüşür. Parametre ayarlamasıyla ilgili literatürde yayınlanan çalışmaların bir tanesi, optimal veya optimale yakın sonuç almak için tasarım aşamasında FLC parametrelerinin otomatik ayarlanmasıdır.

Bulanık mantık kontrolörü parametrelerini ayarlamak için önerilen başka bir algoritma ise kapalı devre ayarlamadır. Bu parametre ayarlanması algoritmasının konusu, istenilen sistem cevabını elde etmek için organize edilen yöntemin içindeki kontrolör kazançlarını değiştirmektir. Bu ayarlama algoritması, üç performans indisini minimize etmek için denenir. Bu indisler aşağıda denklemleri verilen sistem üst aşımı (OS) ve performans indisleri J_1,J_2 dir.

$$OS = \frac{r - y}{r} x100\%$$
$$J_1 = \sum e^2 \qquad \textbf{(3.17)}$$
$$J_2 = \sum te^2$$

Burada r sistem referansıdır, y sistem çıkışı, e sistem hatası ve t ise zamandır.

Bir iki girişli ve tek çıkışlı FLC iki giriş parametresi (K_e, $K_e^{'}$) ve bir çıkış parametresine (K_u) sahiptir. Bu üç parametre (K_e, $K_e^{'}$, K_u) anlatılan araştırma algoritması kullanılarak ayarlanır.

Bu algoritma üst üste çakışan çevrimlerde üç parametreyi değiştirir, sistemi yeni parametrelerle benzetimini yapar ve davranış kriterini. Ayrıca algoritma parametrelerin birisi performans indislerini azaltırsa veya stabil hali bozarsa bunu sezer. Bu durumda algoritma bu parametreyi durdurur. Eğer istenilen performans indisleri elde edilirse araştırma durdur. Elde edilemezse araştırma bulanık mantık kontrolör parametrelerinin belirlenmiş araştırma bölgesinde devam eder [14].

3.3. Genetik Algoritma

Genetik algoritma, yapay zekanın hızla ilerleyen konularından biri olan Evrimsel Hesaplama konusunun bir dalıdır. Evrim konusunda Darwin teorisinden ilham alınarak oluşturulmuştur. Evrimsel hesaplama kavramı I. Rechenberg'in " Evolution Strateji" adlı eseri ile ortaya atılmıştır. Onun fikri diğer araştırmacılar tarafından geliştirilmiştir. Genetik algoritma, John Holland tarafından bulunmuş, o ve öğrencileri tarafından geliştirilmiştir.

3.3.1. Biyolojik Altyapı

Bu kısımda genetik algoritma konusunun anlaşılması için önemli olan genetik algoritmanın biyolojik altyapısı anlatılacaktır.

3.3.1.1. Kromozom

Bütün yaşayan organizmalar hücrelerden oluşur. Her hücrenin içinde benzer kromozom takımları vardır. Kromozomlar DNA zinciri ve benzer tüm organizmalar için model olarak hizmet ederler. Bir kromozom, DNA bloğu olan genlerden oluşur. Her gen bir kısım proteini şifreler. Basitçe söylemek gerekirse her gen, gözün rengi gibi, bir özelliği şifreler. Bir özelliğin olası durumu (örneğin göz için mavi, kahverengi,…) alel olarak isimlendirilir. Her gen kromozom içinde kendi pozisyonlarına sahiplerdir. Bu pozisyona locus denir. Genetik materyallerin yani bütün kromozomların tam takımlarına genom denir. Genom içindeki genlerin kısmi takımı genotip olarak isimlendirilir. Genotip doğumdan sonraki gelişmelerle birlikte organizmanın fenotipi için temel teşkil eder. Burada fenotip organizmanın göz rengi, akıl gibi fiziksel ve akli karakteristiklerini temsil eder.

3.3.1.2. Yeniden Üretme

Yeniden üretim süresince, ilk oluşan şey recombination (yeniden birleşme) (veya çarpmazlama) dır. Ebeveynlerden gelen genler bazı yollar aracılığıyla bütün yeni kromozomlara şekil verir. Yeni oluşturulan çocuklar ondan sonra mutasyon geçirebilir. Burada mutasyonun anlamı, DNA'daki elementlerin biraz değişim geçirmesidir. Bu değişim genelde ebeveynlerden kopyalanan genlerdeki hatalardan dolayı oluşur. **Bir organizmanın uyumluluğu, onun hayatı boyunca ki hayatta kalma başarısı ile ölçülür.**

3.3.2. Araştırma Uzayı

Genetik algoritma için önemli olan bir kavramda araştırma uzayıdır. Bazı problemleri çözerken, biz genellikle bazı çözümleri ararız. Bu çözümler diğerleri arasındaki en iyi olan çözümlerdir. Bütün uygun çözümlerin uzayı araştırma uzayı olarak adlandırılır. Araştırma uzayındaki her nokta bir uygun çözümü gösterir. Her uygun çözüm kendi değeri ile veya problem için uygunluk değeri ile etiketlendirilir. İstediğimiz çözümü aradığımızda, aradığımız çözüm aslında araştırma uzayında bir noktadır.

Bir çözümü araştırmak araştırma uzayında maksimum-minimum noktalarını araştırmaya eşittir. Bir problemi çözme süresinde araştırma uzayı bütün bilinenlerden oluşabilir fakat genellikle biz sadece araştırma uzayında birkaç noktayı biliriz ve diğer noktaları devam eden çözüm bulma işlemi ile üretiriz.

Buradaki sorun, araştırmanın çok karmaşık olabilmesidir. Çözüm için nereye bakmamız gerektiğini ve nereden başlayacağımızı bilmeyiz Uygun çözümü nasıl bulacağımız ile ilgili birçok yöntem vardır. Bu yöntemlere örnek olarak hill climbing, tabu search, simulated annealing ve genetik algoritmadır. Bu metotlar ile bulunan çözümler genelde iyi çözümler olarak değerlendirilir çünkü gerçek optimum çözümü sağlamak çoğunlukla mümkün değildir.

3.3.3. Genetik Algoritmanın Temel Tanımı

Genetik Algoritmalar evrim konusunda Darwin Teorisinden esinlenilerek oluşturulmuştur. Algoritma kromozomlar ile temsil edilen ve popülasyon olarak adlandırılan çözümler takımı ile başlar. Bir popülasyondan çözümler alınır ve yeni bir popülasyon oluşturmada kullanılır. Bu oluşturulan yeni popülasyonun eski popülasyona göre daha iyi olması umut edilir. Yeni çözümler, yani, yeni çocuklar oluşturmak için seçilen çözümler, uygunluk değerlerine göre seçilirler. Daha iyi bireyin daha fazla yeniden üretilme şansı vardır.

Bu işlem istenilen bazı sonuçlara ulaşılana kadar tekrarlanarak devam eder.

3.3.3.1 Temel Genetik Algoritmanın Taslağı

1. [Start] n tane kromozom (problem için uygun çözümler) içeren rasgele popülasyon üret.
2. **[**Uygunluk] Popülasyon içindeki her kromozom x' in uygunluk f(x) değeri hesaplanır.
3. [Yeni popülasyon] Yeni popülasyon tamamlanıncaya kadar takip eden adımları tekrarlayarak yeni popülasyonu oluştur.

1. [Seçim] Uygunluk değerlerine göre popülasyondan iki ebeveyn kromozom seç. (daha iyi uygunluk, seçilmek için daha büyük şans demektir)

2. [Çaprazlama] Yeni bir çocuk oluşturmak için ebeveynler çaprazlama olasılığı ile çaprazlanır. Eğer çaprazlama işlemi olmazsa çocuk ebeveynlerinin tıpatıp kopyası olur.

3. [Mutasyon] Her locusta (kromozom içindeki pozisyonda) yeni oluşan çocuk bir mutasyon olasılığı ile mutasyona uğrar.

4. [Kabul etme] Oluşan yeni çocuğu yeni popülasyonun içine yerleştir.

4. [Yeniden yerleştirme] Uzun algoritma çalıştırmaları için yeni üretilen popülasyonu kullan.

5. [Test] Eğer son durum istenilen bir şeyse, algoritma durdurulur ve en iyi çözüm sürekli popülasyonun içine döner.

6. [Çevrim] Adım 2'ye geri dönülür.

3.3.4. Genetik Algoritma Operatörleri

Genetik algoritma taslağında görüldüğü gibi çaprazlama ve mutasyon Genetik Algoritmanın en önemli parçalarıdır. Performans temel olarak bu iki operatörden etkilenir.

3.3.4.1. Bir Kromozomun Şifrelenmesi

Genetik algoritma operatörlerinin gerçekleşmesi için ilk önce kromozomların şifrelenmeleri gerekir. Kromozomlar bazı yolları kullanarak temsil edilen çözüm hakkında bilgiler içermelidir. Şifreleme için en çok kullanılan yol bir ikili dizidir. Kromozom ondan sonra aşağıdaki Şekil 3.5'de görülebilir.

Kromozom 1	1101100100110110
Kromozom 2	1101111000011110

Şekil 3.5: İki kromozomun ikili sistem ile şifrelenmesi

Her kromozom bir ikili diziye sahiptir. Dizi içindeki her bit değeri çözümüm bazı karakteristiklerini temsil eder veya bütün diziler bir sayıyı temsil eder. Çözülecek probleme bağlı olarak birçok şifreleme yolu vardır. Örnek olarak bu yollardan biri doğrudan tam sayı veya reel sayıyı şifreleyebilir bazen bu yöntemler bazı permütasyonları şifrelemede iyilerdir.

3.3.4.2. Çaprazlama

Hangi şifrelemeyi kullanacağımıza karar verdikten sonra, çaprazlama yapılıp yapılmayacağına bakılır. Çaprazlama ebeveyn kromozomlardan genleri seçer ve yeni bir birey yaratır. Bunu yapmak için en basit yol rasgele bazı çaprazlama noktaları seçilir ve bu noktadan önceki her şey birinci ebeveynden kopyalanır ve bu noktadan

sonraki her şey ikinci ebeveynden kopyalanır. Bundan sonra çaprazlama aşağıdaki gibi görülür. (Burada I işareti çaprazlama noktasını gösterir).

Kromozom 1	11011 | 00100110110
Kromozom 2	11011 | 11000011110
Çocuk1	11011 | 11000011110
Çocuk 2	11011 | 00100110110

Şekil 3.6: İki kromozomun tek noktadan çaprazlayarak iki çocuk oluşturulması

Çaprazlama için başka yollarda vardır. Mesela daha çok çaprazlama noktası seçilebilir. Çaprazlama çok karmaşık olabilir ve kromozom şifrelemesine çok bağlı olabilir. Özel problemler için yapılan özel çaprazlama Genetik Algoritmanın performansını artırabilir.

3.3.4.3. Mutasyon

Çaprazlama gerçekleştikten sonra, mutasyon olup olmayacağına bakılır. Mutasyon popülasyon içindeki tüm çözümlerin lokal optimum içine düşmesini engeller. Mutasyon rasgele olarak yeni bireyi değiştirir. İkili şifreleme için rasgele seçilen birkaç biti 1'den 0'a veya 0'dan 1'e dönüştürebiliriz. Mutasyon aşağıdaki gibi gösterilebilir.

Orijinal çocuk 1	1101111000011110
Orijinal çocuk 2	1101100100110110
Mutasyonlu çocuk 1	1100111000011110
Mutasyonlu çocuk 2	1101101100110110

Şekil 3.7: Bazı bitleri mutasyon geçiren iki çocuk kromozomu

Mutasyon çaprazlamada olduğu gibi şifrelemeye bağlıdır. Örneğin permütasyonları şifrelediğimizde mutasyon iki geni değiştirebilir.

3.3.5. Genetik Algoritmanın Parametreleri

3.3.5.1. Çaprazlama ve Mutasyon Olasılığı

Genetik Algoritmanın iki tane temel parametresi vardır. Bunlar çaprazlama olasılığı ve mutasyon olasılığıdır [15].

Çaprazlama olasılığı bize hangi sıklıkla çaprazlama gerçekleşeceğini belirtir. Eğer çaprazlama olmazsa oluşan yeni birey anne ve babasının tıpa tıp kopyası olur. Eğer çaprazlama var ise, çocuk ebeveynin kromozomlarının parçalarından oluşur. Eğer çaprazlama olasılığı 100% ise, bütün çocuklar çaprazlama ile oluşur. Eğer çaprazlama olasılığı 0% ise, tüm nesil eski popülasyondan gelen kromozomların tam kopyasından oluşur fakat bu yeni nesilin aynı olduğu demek değildir.

Çaprazlama yapılırken oluşan yeni kromozomların eski kromozomların iyi parçalarını alması ve belki de yeni kromozomun daha iyi olması umut edilir. Bununla birlikte popülasyonun bazı parçalarının gelecek popülasyona aktarılması da iyi bir durumdur.

Mutasyon olasılığı bize hangi sıklıkla kromozom parçalarının mutasyona uğrayacağını belirtir. Eğer mutasyon yok ise, oluşan çocuk hiçbir değişikliğe uğramadan çaprazlamadan veya kopyalamadan sonra elde edilir. Eğer mutasyon gerçekleşirse, kromozomun parçası değişir. Eğer mutasyon olasılığı 100% ise bütün kromozom değişir. Eğer mutasyon olasılığı 0% ise hiçbir şey değişmez. Mutasyon Genetik algoritmanın bölgesel uç noktalarına düşmesini önlemek için yapılır. Mutasyon çok sık yapılmamalıdır çünkü ondan sonra GA rastgele aramaya dönüşür.

3.3.5.2. Diğer Parametreler

Çaprazlama ve mutasyon olasılığı parametresinden başka genetik algoritmanın başka parametreleri de vardır bunlardan önemli bir tanesi olan parametre popülasyon büyüklüğüdür.

Popülasyon büyüklüğü bize popülasyon içinde ne kadar kromozom olduğunu belirtir. Eğer çok az kromozom varsa GA çaprazlamayı gerçekleştirmek için birkaç olasılığa sahiptir ve araştırma uzayının sadece küçük bir bölgesi araştırılabilir. Öte yandan eğer çok fazla sayıda kromozom varsa Genetik Algoritma yavaşlar. Araştırmalar gösteriyor ki probleme ve şifrelemeye bağlı olarak bazı limitlerden sonra popülasyon büyüklüğünü arttırmak gereksizdir çünkü bu problem çözmemizi hızlandırmaz.

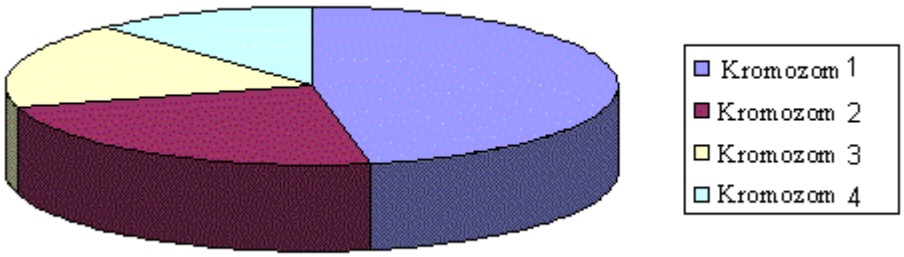
3.3.6. Seçim (Selection)

Genetik Algoritma taslağından bildiğimiz gibi kromozomlar, popülasyon içinden çaprazlama işleminde ebeveyn olmak için seçilirler. Burada problem kromozomların nasıl seçileceğidir. Darwin'in evrim teorisine göre en iyi olan hayatını sürdürmeli ve yeni bireyler oluşturmalıdır. En iyi kromozomun nasıl seçileceği hakkında birçok yöntem vardır örneğin roulette Wheel (rulet çarkı) seçimi, Boltman seçimi, turnuva

(tournament) seçimi, rank seçimi, sürekli durum (steady state) seçimi, ve bazı diğerleridir.

3.3.6.1. Rulet Çarkı Seçimi (Roulette Wheel Selection)

Bu yöntemde ebeveynler onların uygunluk değerlerine göre seçilirler. Daha iyi olan kromozomun seçilme şansı daha fazladır. Popülasyonun içindeki tüm kromozomların yer aldığı bir rulet çarkını düşünürsek, Her kromozom kendi uygunluk değerinin diğer uygunluk değerlerine oranı büyüklüğünde çark üzerinde yer alacaktır. Bu durum aşağıdaki şekilde görülebilir.



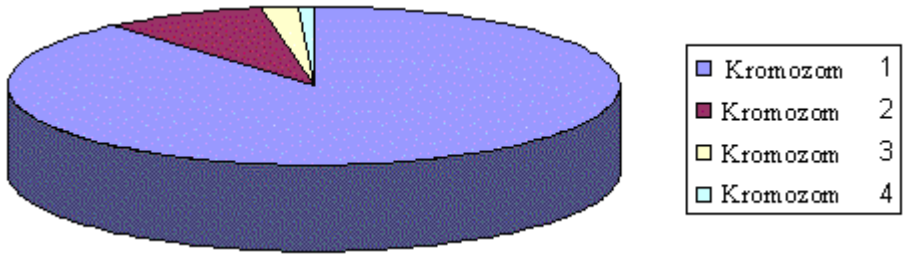
Şekil 3.8: Rulet Çarkı seçimi [16]

Çark döndürülerek kromozom seçilir, büyük uygunluk değerli kromozomlar daha fazla seçilirler.

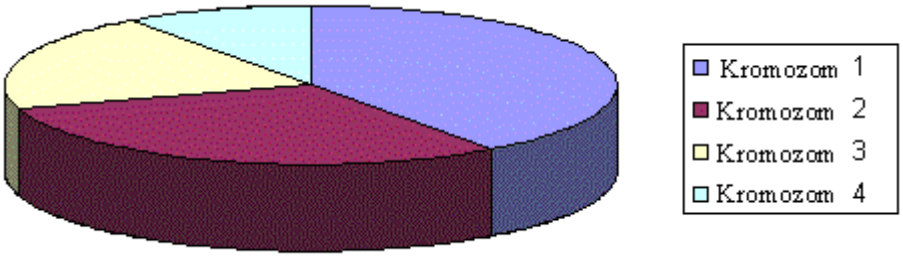
3.3.6.2. Rank Seçimi

Rulet çarkı seçiminde uygunluk değerleri birbirinden çok farklı ise problem yaşanabilir bu duruma örnek olarak eğer en iyi kromozom uygunluk değeri tüm rulet çarkının 90% nı ise öbür kromozomların seçilme şansı çok düşük olur. Bu durum çeşitliliğin az olmasına sebep olur.

Rank seçimi öncelikle popülasyonu sınıflandırır ve ondan sonra her kromozom uygunluk derecesini bu sınıflandırmadan alır (en kötü 1, ikinci en kötü 2,.., en iyisi N uygunluk değerine sahip olur). Burada N popülasyondaki kromozomların sayısıdır. Aşağıdaki şekilden numaraları sıralamak için uygunlukları değiştirdikten sonra durumun nasıl değiştiği görülebilir.



Sınıflandırmadan önceki durum (uygunlukların grafiği)



Sınıflandırmadan sonraki durum (sıra numaralarının grafiği)

Şekil 3.9: Rank seçimi [16]

Bundan sonra bütün kromozomlar seçilmek için bir şansa sahiptirler. Fakat bu yöntem daha yavaş yakınsamaya yol açabilir çünkü en iyi kromozomlar diğerlerinden fazla farklı değillerdir.

3.3.6.3 Sürekli Durum Seçimi (Steady state Selection)

Bu yöntem ebeveyn seçiminin belirli bir yöntemi değildir**.** Bu seçim yönteminin ana fikri kromozomun büyük parçası yeni nesil için hayatta kalmasıdır. Bu yöntemde her nesil içinden yüksek uygunluk değerine sahip birkaç iyi kromozomlar yeni bir çocuk oluşturmak için seçilirler, sonra düşük uygunluk değerine sahip kötü bazı kromozomlar kaldırılır ve yerlerine yeni birey yerleştirilir. Popülasyonun geri kalanı yeni nesiller için hayatta kalır.

3.3.6.4. Elitizm

Çaprazlama ve mutasyon kullanılarak yeni nesil oluşturulurken, en iyi kromozomun kaybedilme şansı vardır. Elitizm, ilk olarak en iyi bir veya birkaç kromozom yeni nesil için kopyalandığı bir yöntemin ismidir. Ayrıca, geri kalan kromozomlar klasik yoldan işlem görür. Elitizm çok hızlı olarak Genetik algoritmanın performansını arttırır çünkü elitizm bulunan en iyi çözümün kaybolmasını engeller [16].

3.3.6.5. Turnuva Seçim Yöntemi

Turnuva seçim yöntemi, seçim işlemi sırasında popülasyonun herhangi bir global bilgisini istemediği için kullanışlı bir operatördür. Bu yöntem sistemin global bilgisi yerine iki birey arasındaki sıralama ilişkisine güvenir. Bu sebepten dolayı turnuva seçimi başvurulması ve gerçekleştirilmesi basit ve hızlıdır. Ebeveynleri seçmek için turnuva seçimi uygulamaları aşağıda görülen prosedüre göre çalışır.

```
Başla
   Halihazırdaki üyeyi bir olarak ata;
   while (halihazırdaki üye ? m) do
        Rasgele k tane birey oluştur;
        Bu k birey içinden en iyi olanı seç;
        Bu bireyi i ile göster;
        Olgunlaşma havuzu (halihazırdaki üye) =i;
        Halihazırdaki üye = halihazırdaki üye+1;
    od
end
```

Burada m = popülasyon genişliği; k = turnuva genişliğidir [17].

3.3.7. Şifreleme

Ne zaman problemleri genetik algoritma kullanarak çözmeye başlarsak, kromozomların şifrelenmesi ortaya çıkan problemlerden bir tanesidir. Şifreleme büyük ölçüde probleme bağlıdır. Kullanılan şifreleme yöntemlerinin bazıları;

3.3.7.1. İkili Şifreleme,

İkili şifreleme, Genetik Algoritma hakkındaki ilk çalışmalarda kullanılan şifreleme tekniği olduğu için çok yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. İkili şifrelemede her kromozom 0 veya 1 bitlerinin bir zinciridir.

Kromozom A	10110010110010101110010 1
Kromozom B	11111110000011000001111 1

Şekil 3.10: İkili şifreleme kullanılan kromozomlara örnek

İkili şifreleme birçok muhtemel kromozomlar verir hatta az sayıda alellerle birlikte. Diğer yandan bu şifreleme birçok problem için çoğunlukla doğal değildir ve bazen çaprazlama ve/veya mutasyondan sonra düzeltme yapılmalıdır.

3.3.7.2. Permütasyon Şifreleme

Permütasyon şifreleme travelling salesman problem ve task ordering problem gibi sıralama problemlerinde kullanılabilir. Permütasyon şifrelemede, her kromozom bir sayılar dizisidir. Bu kromozomlar ardışık gelen bir sıradaki sayıları temsil eder.

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

Şekil 3.11: Permütasyon şifreleme ile şifrelenmiş kromozomla ilgili örnek[15]

Permütasyon şifreleme yalnızca sıralama problemlerinde kullanışlıdır.

3.3.7.3. Değer Şifreleme

Direkt değer şifreleme reel sayılar gibi bazı karmaşık sayıların kullanıldığı problemlerde kullanılabilir. Bu tip problemler için ikili şifreleme kullanılması çok zor olabilir. Değer şifrelemede her kromozom bir bazı değerlerin dizisidir. Değerler problemlerle ilgili her şey olabilir, form sayıları, reel sayılar veya bazı karmaşık nesnelere planlar gibi.

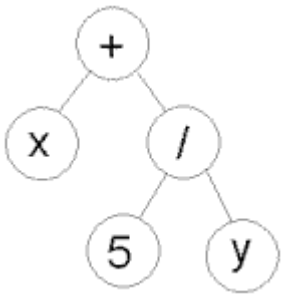
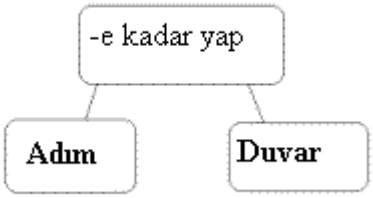
Kromozom A	1.2324 5.3243 0.4556 2.3293 2.4545
Kromozom B	ABDJEIFJDHDIERJFDLDFLFEGT
Kromozom C	(geri), (geri), (sağ), (ileri), (sola)

Şekil 3.12: Değer şifreleme ile şifrelenmiş kromozomlara örnek [16]

Değer şifreleme bazı özel problemler için çok iyi yöntemdir ama öte yandan bu şifreleme yönteminde çoğunlukla probleme özel bazı yeni çaprazlama ve mutasyonlar geliştirilmesi gerekir.

3.3.7.4. Ağaç Şifreleme

Ağaç şifreleme genetik programlama konusunda programları veya ifadeleri gerçekleştirmek için kullanırlar. Ağaç şifrelemede her kromozom program dillerindeki komutlar veya fonksiyonlar gibi bazı nesnelerin ağacıdır.

Kromozom A	Kromozom B
	
(+ x (/ 5 y))	(- e kadar yap adım duvar)

Şekil 3.13: Ağaç şifreleme ile şifrelenmiş kromozomlara örnek [16]

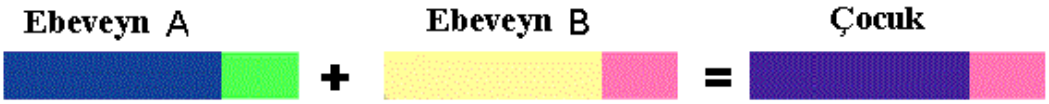
3.3.8. Bazı Şifreleme Teknikleri ile Çaprazlama ve Mutasyonun Gerçekleştirilmesi

Çaprazlama ve mutasyon genetik algoritma için iki temel operatördür. Genetik algoritmanın performansı büyük ölçüde onlara bağlıdır. Operatörlerin gerçekleştirilmesi ve tipi, şifreleme ve hem de probleme bağlıdır. Nasıl çaprazlama ve mutasyon yapılacağı konusunda birçok yol vardır. Birkaç şifreleme tekniği ile ilgili bunun nasıl yapılacağı ilgili örnek verirsek:

3.3.8.1. İkili Şifreleme

Burada ikili şifrelenmiş iki kromozom için çaprazlama ve mutasyon işlemleri anlatılacaktır.

Tek noktada çaprazlama- Bir çaprazlama noktası seçilir, bir ebeveyn için kromozomun başından çaprazlama noktasına kadar ki ikili zinciri kopyalanır, zincirin geri kalan kısmı ikinci ebeveynden kopyalanır.



11001011+11011**111** = **11001111**

İki noktada çaprazlama- iki çaprazlama noktası seçilir, bir ebeveyn için kromozomun başlangıcından çaprazlama noktasına kadar ikili zinciri kopyalanır, ikinci ebeveynden birinci çaprazlama noktasından ikinci çaprazlama noktasına kadar ikili zinciri kopyalanır ve geri kalan birinci ebeveynden kopyalanır [16].



11001**011** + 11**011**111 = **11011111**

Uniform çaprazlama- bitler rasgele birinci veya ikinci ebeveynden kopyalanır.



1**10**01**011** + **1**1**011**01 = 11011111

Aritmetik çaprazlama- yeni bir çocuk oluşturmak için bazı aritmetik işlemler gerçekleştirilir.



11001011 + 11011111 = 11001001 (AND)

Bit tersi alma- seçilen bitin tersi alınır [16].



3.3.8.2. Permütasyon Şifreleme

Burada permütasyon şifreleme ile şifrelenmiş iki kromozom için çaprazlama ve mutasyon işlemi anlatılmıştır.

Tek noktada çaprazlama- bir çaprazlama noktası seçilir, bu noktaya kadar permütasyon birinci ebeveynden kopyalanır, ondan sonra ikinci ebeveyn taranır ve eğer numara henüz çocukta yoksa eklenir [16].

(**1 2 3 4 5** 6 7 8 9) + (**4 5 3 6 8** 9 7 2 1) = (**1 2 3 4 5** 6 8 9 7)

Sıra değiştirme- iki numara seçilir ve değiştirilir.

(1 **2** 3 4 5 6 **8** 9 7) => (1 **8** 3 4 5 6 **2** 9 7)

3.3.8.3 Değer Şifreleme

Burada değer şifreleme ile şifrelenmiş iki kromozom için çaprazlama ve mutasyon işlemi anlatılmıştır

İkili şifrelemedeki tüm çaprazlama yöntemleri kullanılabilir.

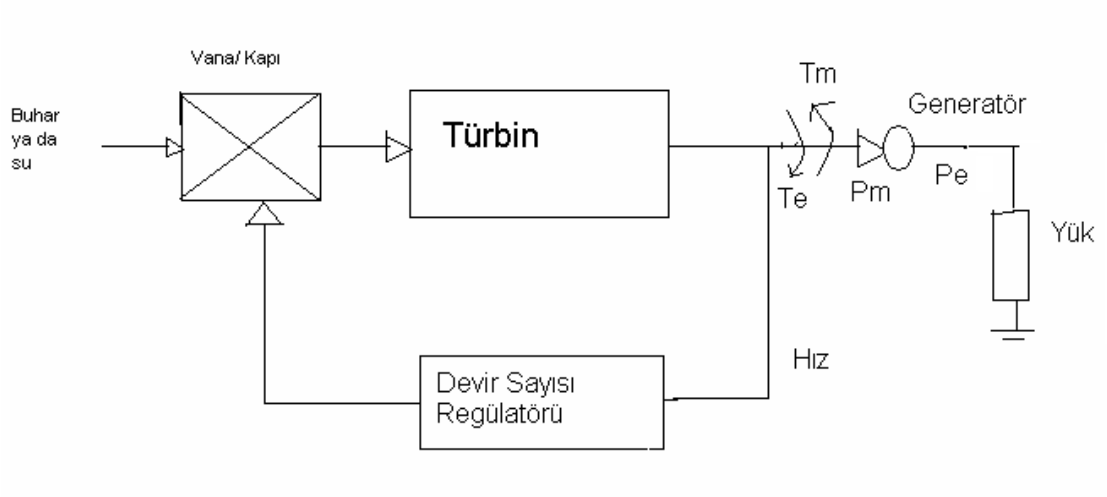
Seçilen değere küçük bir sayı eklenir veya çıkarılır [16].

(1.29 5.68 **2.86 4.11** 5.55) => (1.29 5.68 **2.73 4.22** 5.55)

4. GÜÇ SİSTEMİ BENZETİMİ

Yaptığımız bu çalışmada incelenilen üç alanlı üretim sisteminin benzetimini yapmadan önce sistemin benzetim modelinde kullanılan, bu sistemi oluşturan parçalar ve onların görevleri hakkında bilgi edinmek için örnek olarak bölgesel bir yükü besleyen bir izole üretim biriminin incelenmesi gerekir.

Bölgesel bir yükü besleyen izole bir üretim birimi aşağıdaki şekilden görüldüğü gibi enerji besleme sistemi, vana veya kapak, devir sayısı regülatörü, türbin, generatör ve yükten oluşur.



Şekil 4.1: Bölgesel bir yükü besleyen izole bir üretim sisteminin modeli

Bu üretim biriminde, suyun kinetik enerjisi veya fosil yakıtlardan ya da nükleer fisyondan elde edilen ısıl enerji; devir sayısı regülatörü, vana veya kapak ve türbin kısımlarından oluşan tahrik sistemi tarafından mekanik enerjiye dönüştürülür. Bu mekanik enerji ondan sonra senkron generatörler tarafından elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu sistemde kullanılan tahrik makinesi devir sayısı regülatörleri, çoğunlukla yük-frekans ya da otomatik üretim kontrolü olarak isimlendirilen frekans/aktif güç kontrolu için bir araç olarak kullanılırlar [9].

4.1 Hidrolik Türbinler

Güç üretiminin en eski şekli, üretim için su gücünün kullanılmasıdır [18]. Hidrolik santrallerde su, coğrafi olarak türbine göre daha yüksek bir yerde konumlanıp, depolanır. Hidrolik santrallerde elektrik enerjisi üretmek için yüksek yerde bulunan su savak borular aracılığı ile türbine taşınır, suyun bu taşınması sırasında depolanan suyun ağırlığı ile suyun düşü yaptığı yükseklik mesafesinin çarpımına eşit miktarda potansiyel enerji ortaya çıkar [9,19]. Ortaya çıkan potansiyel enerji ayrıca aşağıdaki eşitlik ile de hesaplanabilir,

$$P = 7.36.\ Q\ H \qquad \textbf{(4.1)}$$

Burada P = uygun su gücü (kW), Q = suyun akış oranı (m^3/s), H = suyun düşü yaptığı yükseklik (m) ve 7.36 sayısı ünite ile bir katsayıdır. Suyun iletiminde, suyun türbine girişinde ve türbinin içinde oluşan sürtünme kayıpları sebebiyle türbinde oluşan mekanik güç eşitlik 4.1 de hesaplanandan daha azdır. Bununla beraber büyük hidrolik türbinlerin verimi %90 ila 94 arasındadır. Generatör verimi ise generatörün boyutuna bağlı olarak %97 ila 99 arasındadır [20].

Savak boru ile türbine taşınan suyun akışı kapaklar tarafından kontrol edilir. Kapaklar tarafından kontrol edilen su türbinin çarklarına çarpar ve çarkların dönmesini sağlar. Çarkların dönüşü ile bir kinetik enerji ortaya çıkar böylece suyun potansiyel enerjisi türbinin içindeki çarklar tarafından kinetik enerjiye dönüştürülmüş olur.

Hidrolik türbinler darbe ve reaksiyon türbinleri olmak üzere iki tipe ayrılır. Darbe türbinleri PELTON türbini olarak bilinirler ve su düşüsü daha yüksek olan yerlerde kullanılırlar. Türbinin içindeki çark atmosferik basınçtadır ve bütün basınç düşümü potansiyel enerjiyi kinetik enerjiye dönüştüren sabit memelerden oluşur. Yüksek hızla fışkıran su çarkın etrafındaki kepçelere çarpar ve eksenel olarak yaklaşık 160^o sapar. Momentteki bu değişim çarkı döndürür ve suyun potansiyel enerjisi kinetik enerjiye dönüştürülmüş olur.

Reaksiyon türbinlerinde ise, türbinin olduğu yerde basınç atmosferik basıncın üstünde olup, enerji hem kinetik hem de potansiyel şekilde sudan elde edilir. Su önce türbinin tüm çevresinde bulunan durağan radyal kılavuz vanalar ve kapaklar yardımıyla bir spiral borudan geçer. Reaksiyon tip türbinler, hidroelektrik santralleri projelerinde yaygın olarak kullanılan türbin tipidir. İki tip reaksiyon türbini kullanılmaktadır: Francis ve Propeller (Kaplan).

Francis türbini 360 metreye kadar olan düşülerde kullanılır. Bu tip türbinlerde, su kılavuz vanalardan akarak, çarka yatay olarak etki eder ve eksenel olarak çıkar. Kaplan türbini 45 metreye kadar olan küçük düşülerde kullanılır. Bu tip türbinlerde sabit ya da değişken düşülü kanatlar kullanılabilir. Tam kapı yüklenmesinde tipik türbin performans cevapları %85 ile %90 arasındadır.

4.2 Hidrolik Türbinin Transfer Fonksiyonu

Hidrolik türbin, çalışmada kullanılan üretim sistemi benzetim programı içinde aşağıdaki transfer fonksiyonu ile temsil edilir.

$$\frac{\Delta P_M}{\Delta G} = \frac{1 - sT_w}{1 + 0.5sT_w} \tag{4.2}$$

Bu hidrolik türbinin klasik transfer fonksiyonudur. İdeal kayıpsız türbin için kapı açılmasındaki değişimle güç çıkışındaki değişimin nasıl değiştiğini gösterir. Burada,

ΔP_M = Türbinin mekanik gücü değişimi,

ΔG = Kapak pozisyonundaki değişim

T_w burada suyun başlama zamanıdır. Suyun başlama zamanı, H_o (kapıdaki hidrolik düşünün başlangıç sürekli durum değeri) düşüsünde durağan durumdan U_O (su hızının başlangıç sürekli durum değeri) hızına varıncaya kadar savaktaki suyu ivmelendirmek için ihtiyaç duyulan zaman olarak düşünülebilir. Suyun başlama zamanı, T_w, aşağıdaki formül ile bulunabilir.

$$T_W = \frac{LU_o}{a_g H_o} \tag{4.3}$$

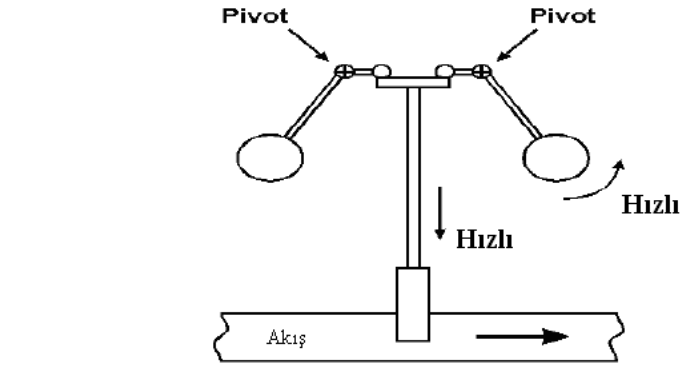
Burada L : kondvit uzunluğu; a_g : yerçekimi ivmesidir. T_w tam yükte 0.5 ila 4 saniye arasındadır [9, 21].

4.3 Hidrolik Türbinler İçin Devir Sayısı Regülatörleri

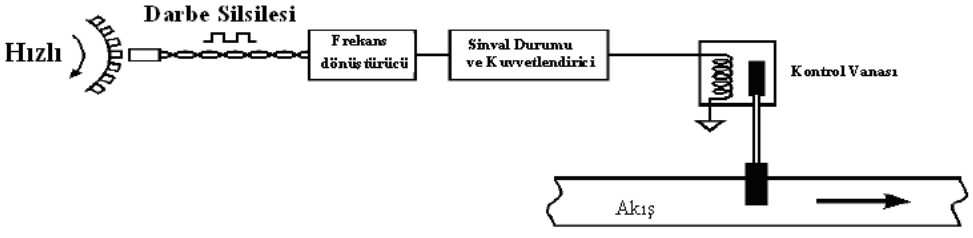
Devir sayısı regülatörlerinin asıl görevi hızı ve/veya yükü kontrol etmektir [18]. Bütün devir sayısı regülatörleri (mekanik-hidrolik, elektrohidrolik veya dijital elektrohidrolik devir sayısı regülatörü) benzer sürekli hal hız-çıkış karakteristiğine

sahiptir. Devir sayısı regülatörleri tahrik makinesi çıkışını yani momentini, sistem hızındaki (frekansındaki) değişiklikler için otomatik olarak değiştirir. Devir sayısı regülatörlerinde hız algılayıcı araç olarak genelde mekanik-hidrolik devir sayısı regülatörleri için bir uçan küre (flyball) derleyici ve elektrohidrolik devir sayısı regülatörleri için bir frekans dönüştürücüsü kullanılır. Hız sensörünün çıkışı; sinyal durumunu ve mekanik-hidrolik elemanlar, elektronik devreler ve/veya yazılımın bir araya gelmesiyle sağlanan güçlendirme işlemini kontrolu altında tutar ve sistem frekansı değişimini durduruncaya kadar tahrik makinesi çıkışını ayarlamak için bir kontrol mekanizmasını işletirler. Devir sayısı regülatörlerinin faaliyetleri frekanstaki düşüşü durdurur fakat büyük boyutlu enterkonnekte sistemlerde frekansın önceden ayarlanan değere geri döndüremezler. Frekansı önceden ayarlanan değere getirme işi otomatik üretim kontrolu sistemine aittir. Devir sayısı regülatörünün bir hız değişikliğine cevabının genliği ve oranı, generatör karakteristikleri için ayarlanabilir.

Mekanik ve elektronik devir sayısı regülatörü sistemlerinin basitleştirilmiş şeması Şekil 4.2 de görülmektedir.



(a)
Basitleştirilmiş Mekanik devir sayısı regülatörü



(b)
Basitleştirilmiş Elektrohidrolik devir sayısı regülatörü

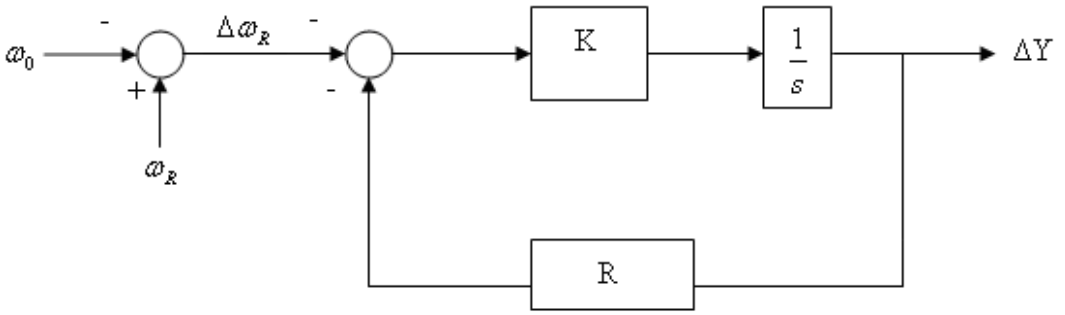
Şekil 4.2: Basitleştirilmiş devir sayısı regülatörü şeması [22]

Yükteki bir artış veya generatör kayıplarından dolayı sistem frekansında bir azalma olursa, bağlı bütün senkron generatörlerin mil hızları da frekansla birlikte azalır. Mekanik-hidrolik devir sayısı regülatörleri için bu hız azalması mil üzerine yerleştirilmiş sürekli mıknatıslı generatör ve bir ballhead motor aracılığıyla bir mekanik devir sayısı regülatörü uçan küre derleyicisine iletilir, elektrohidrolik tip devir sayısı regülatörleri için bu hız azalması bir dişli çark veya generatör potansiyel dönüştürücüler ile bir elektrohidrolik devir sayısı frekans dönüştürücüsüne iletilir. Uçan kürenin dönüşü daha yavaşlamasıyla Şekil 4.2(a) da görülen vanalar yukarı doğru hareket eder ve böylece tahrik makinesine doğru daha fazla buhar akışına yani tahrik maddesinin artışına izin verilir. Aynı durumda, bir frekans dönüştürücü tarafından algılanan frekans azalması güçlendirilir ve Şekil 4.2(b) de görülen vanaların açılmasında kullanılır. Böylece kontrol edilen tahrik makinesinin çıkış gücü (momenti) arttırılır ve frekans azalmasının durdurulmasına yardım edilir.

Devir sayısı regülatörleri sistemleri içinde iki tip ölü band vardır; doğal olarak var olan ölü band ve istenilerek oluşturulan ölü band. Mekanik uçan küre, analog elektronik ve dijital elektronik içeren devir sayısı regülatörlerinin birçok değişik tiplerinin kullanılmasıyla yapılan test sonuçları, güç sistemine bağlı birçok devir sayısı regülatörü üzerindeki doğal olarak var olan ölü bandın çok küçük (0.005 Hz den daha az) olduğunu ve ihmal edilebileceğini gösterir. İstenilerek oluşturulan ölü band, normal güç sistem frekans değerleri için kontrolörlerin çalışmasını azaltmak için bazı üretici ve üretim operatörleri tarafından kullanılabilir ve ayrıntılı güç sistem frekans kontrol performansını etkileyecek kadar büyük olabilir (yaklaşık 0.05 Hz) [22].

Devir sayısı regülatörlerinin birincil hız/yük işlevi kapak konumunu kontrol etmek için devir sayısı hatasından geri beslemeyi içerir. Paralel çalışan iki ya da daha fazla sayıda birim arasındaki kararlı yük paylaşımı için, yük artarken hız azalacak şekilde bir özelliğe sahip olan (proporsiyonel) devir sayısı regülatörleri kullanılır.

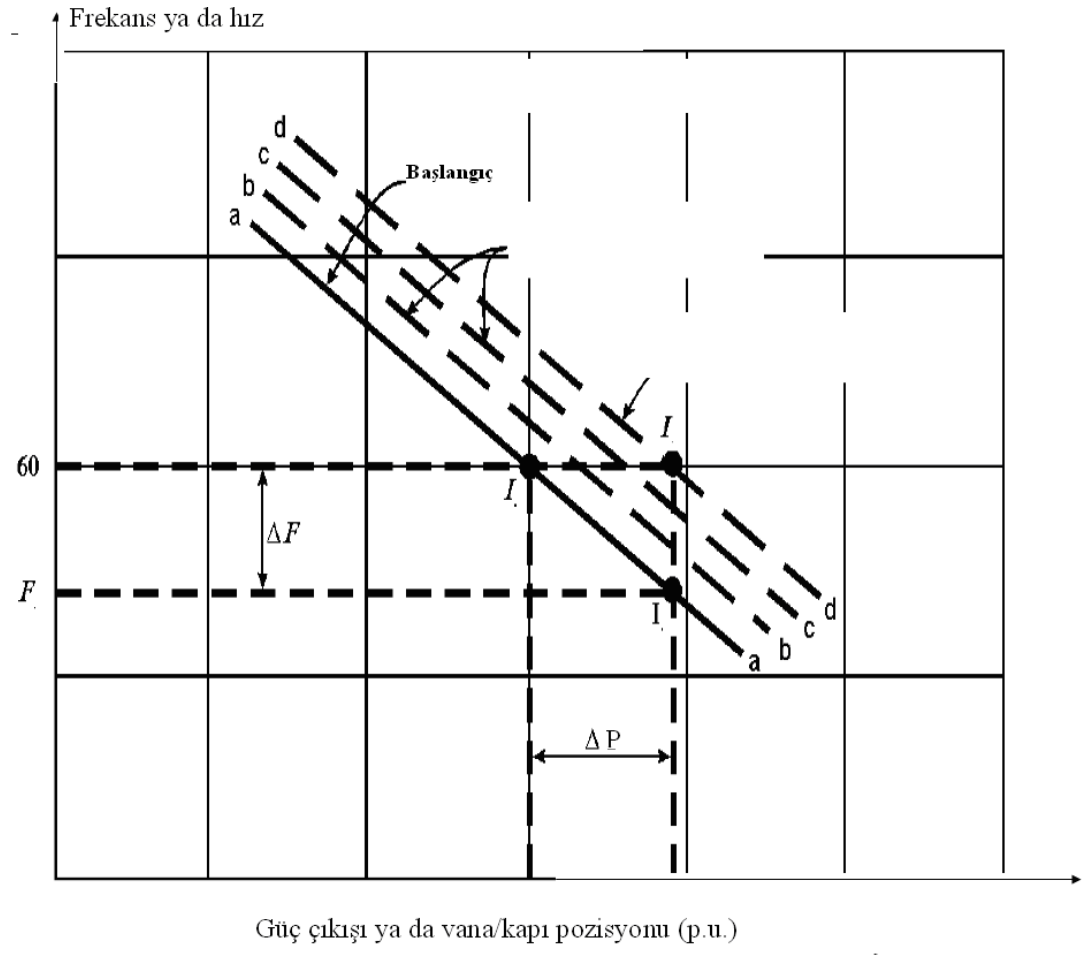
Hız azaltıcı devir sayısı regülatörünün blok diyagramı aşağıda görüldüğü gibidir.



Şekil 4.3: Hız azaltıcı devir sayısı regülatörünün blok diyagramı

Burada ölçülmüş rotor hızı ω_R, ω_0 referans hızı ile karşılaştırılır. Hata işareti (hızdaki değişime eşit olan) hidrolik türbin durumunda kapakları harekete geçiren ΔY kontrol işaretini üretecek şekilde, yükseltilir ve integre edilir. Hızın azalması ya da regülasyon özelliği, integratöre durum uzayı geri besleme çevrimi ilave ederek elde edilir.

Blok diyagramda görülen R hız azalması yada regülasyon olarak tanımlanır. Vana/kapı durumu ΔY ya da çıkış gücü değişimine göre hız sapması oranı $\Delta\omega_R$ ya da frekans değişimi oranı R'ye eşittir.



Şekil 4.4: Hız Regülasyon yüzdesi eğrisi

$$R = \frac{\Delta f}{\Delta P} \quad \textbf{(4.4)}$$

$$\Delta f = f\text{-}f_o \quad \textbf{(4.5)}$$

$$\%R = \frac{\omega_{NL} - \omega_{FL}}{\omega_o} 100 \quad \textbf{(4.6)}$$

Burada ω_{NL} =yüksüz durumda sürekli durum hızı; ω_{FL} = tam yükte sürekli durum hızı; ω_o = nominal hızı gösterir [9].

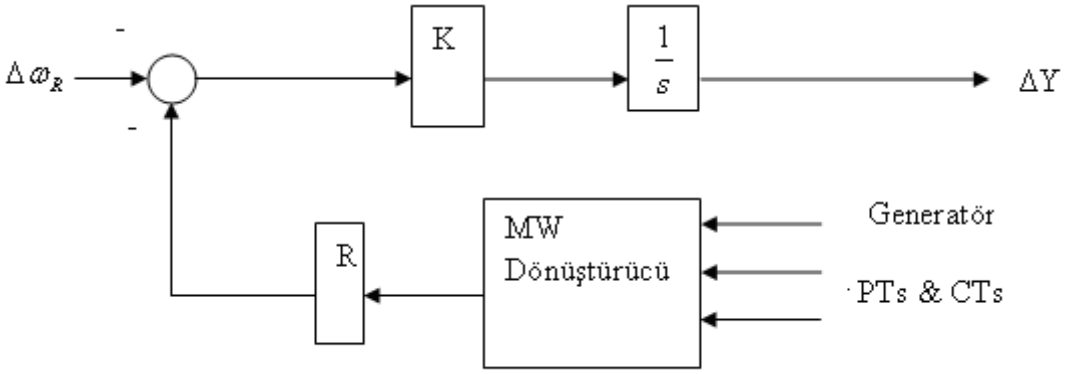
Burada düşme hızın veya frekansın değişme miktarıdır. Bu değişme ana tahrik makinesi kontrol mekanizmasını tamamen kapalıdan tamamen açığa çevirmek için yeterlidir. Genel olarak ana tahrik makinesinin kontrol mekanizmasının yüzdelik hareketi, yüzde olarak hız değişiminin p.u. cinsinden düşüşe bölümü ile

hesaplanabilir. Hız düşmesi ile ayarlanan devir sayısı regülatörü verilen bozucu bir etki için vanaları belirli bir miktarda açar. Bu ana tahrik makinesi kontrol mekanizmasından (vanalar, kapı, servomotor v.b.) geri besleme alınarak başarılır.

Hızda % 1 lik bir değişme olursa o zaman ana kontrol mekanizması bu hız değişikliğini ortadan kaldırmak için düşme elemanı boyunca bir geri beslemeye neden olacak şekilde hareket etmelidir. Bu yüzden % 1 lik hız değişikliği için ana kontrol mekanizmasının yüzdelik hareketi karşılık olarak düşme olur. (eğer düşme %5 ise kazanç 1/0.05 = 20 olur)

Devir sayısı regülatörü asenkron olarak (örneğin sıfır düşme) ayarlanırsa, regülatör frekans orijinal değerine geri gelinceye kadar vanaları açık tutar. Bu tür ayarlama küçük, izole güç sistemlerinde kullanılır. Fakat büyük güç sistemlerinde aşırı regülatör hareketi sonuçları verir. Bu yüzden hız azalması, verilen frekans değişimi için devir sayısı regülatörünün cevabının büyüklüğünü kontrol etmek için kullanılır. Böylece bütün generatörler bir bozucu etkiden sonra cevabı paylaşırlar.

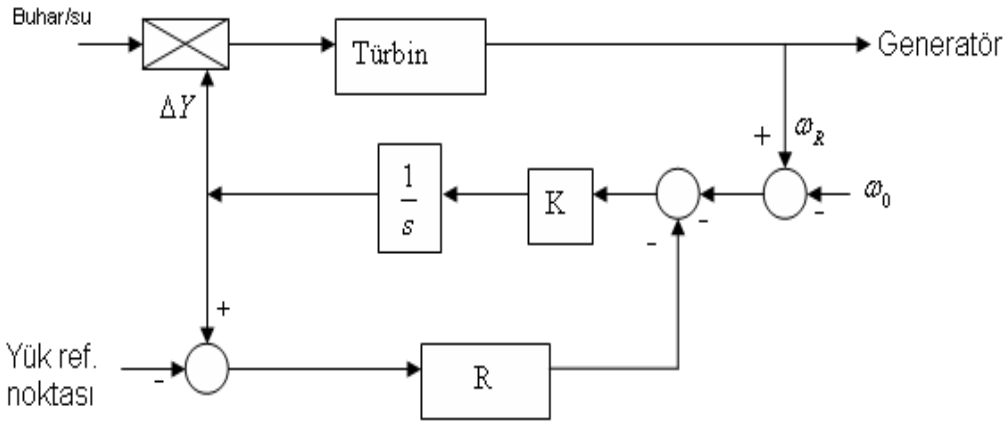
Devir sayısı regülasyonu terimi hız veya frekans değişimi miktarına karşılık düşer. Bu değişiklik miktarı senkron generatörün çıkışını sıfır çıkıştan tam çıkışa değişmesini sağlamak için yeterlidir. Hız düşmesinin tersi olarak bu terim vanaların pozisyonundan daha çok generatörün çıkışına odaklanır. Bazı durumlarda, hız düşmesi devir sayısı regülasyonu sonucundan farklı olacak şekilde ayarlanır. Bu işlem vanaların durumu ile türbin içinden akan su arasındaki lineer olmayan ilişki nedeniyle yapılır. Devir sayısı regülatörleri hız azalması geri beslemesini kullanarak tahrik maddesi girişi güç sistemi isteklerini karşılayacak şekilde ayarlanır. Devir sayısı regülasyonu generatör çıkışından bir geri besleme sağlamak için bir watt dönüştürücü kullanılarak elektrohidrolik ve dijital elektrohidrolik devir sayısı regülatörlerinde direkt olarak yapılabilir. Şekil 4.5 bu geri beslemeyi göstermektedir.



Şekil 4.5: Hız azaltıcı devir sayısı regülatörü

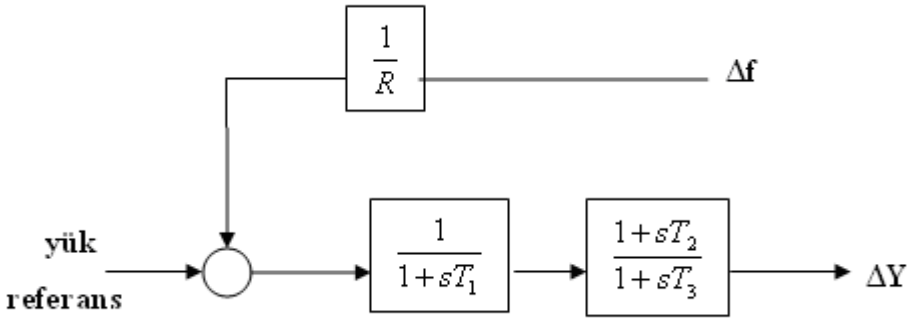
Eğer hızda % 1 lik bir değişme olursa o zaman generatör çıkışı bu hız değişikliğini ortadan kaldırmak için devir sayısı regülasyon elemanı boyunca bir geri beslemeye neden olacak şekilde hareket etmelidir. Bu yüzden % 1 lik hız değişikliği için generatör çıkış yüzdelik hareketi karşılık olarak regülasyon olur (eğer devir sayısı regülasyonu %5 ise hareket 1/0.05 = 20 olur). Genel olarak sistem frekans bozulması için generatör çıkışındaki yüzdelik değişimi, yüzdelik olarak generatör çıkışındaki değişimin p.u. cinsindeki devir sayısı regülasyonuna bölünmesiyle hesaplanabilir [22].

Yük ve hız arasındaki bağıntı aşağıdaki şekilde yük referans ayarlama noktası olarak gösterilen girişi değiştirerek ayarlanabilir. Pratikte, hız referansı ayar noktasının değiştirilmesi hız değiştirici motoru çalıştırılarak sağlanır. Hız azaltıcı devir sayısı regülatörünün basitleştirilmiş blok diyagramı şekil 4.6 te görülmektedir



Şekil 4.6: Üretim biriminin güç çıkışının kontrolu

Yukardaki Şekil 4.6'de görülen devir sayısı regülatörü kısmı benzetim modelimizde kullanılmak üzere, çalışmada kullandığımız parametreleri kullanarak aşağıdaki şekilde gösterebiliriz [9].



Şekil 4.7: Benzetim modelinde kullanılan termik santraller için devir sayısı regülatörü blok diyagramı

Burada T_1, T_2, T_3 = Hidrolik türbin için devir sayısı regülatörünün zaman sabitleri;

4.4 Buhar Türbinleri

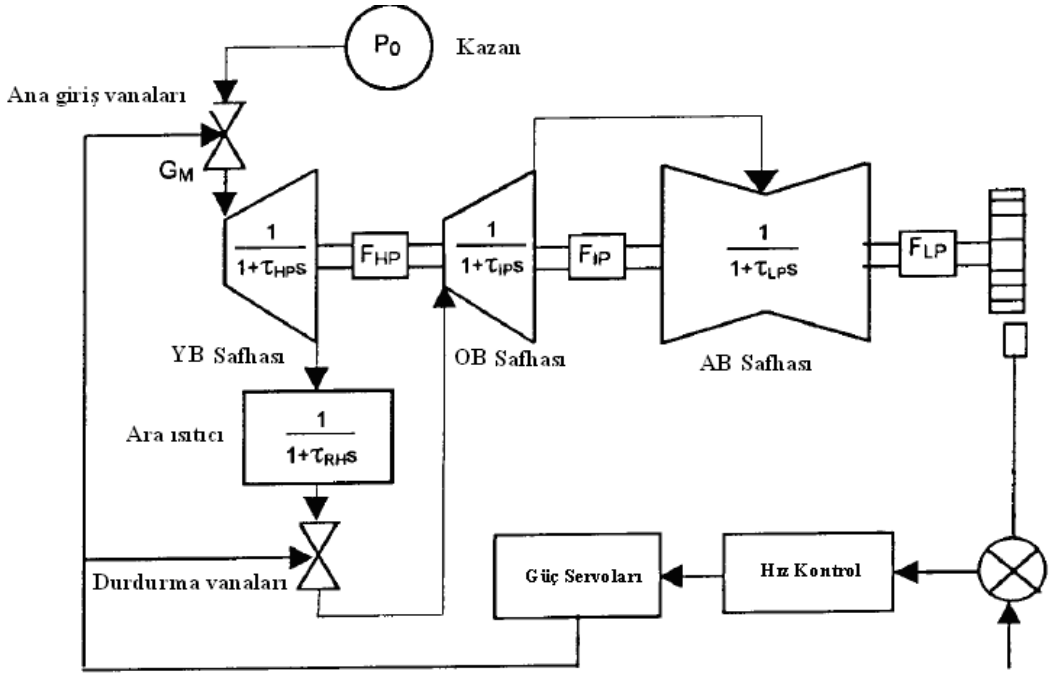
Bir buhar türbini yüksek basınçlı ve yüksek sıcaklıklı buharda depolanan enerjiyi, daha sonra generatör tarafından elektriksel enerjiye dönüştürülecek olan mekanik enerjisine dönüştürür. Buharı sağlayan kazan için ısı kaynağı bir nükleer reaktör veya fosil yakıtları (kömür, petrol veya gaz) yakılan bir kazan olabilir.

Çeşitli yapılarda olan buhar türbinleri birimin boyutlarına ve buhar koşullarına bağlı olarak inşa edilirler. Bunlar, normalde seri bağlı iki ya da daha çok sayıda türbin bölümlerinden oluşur. Her türbin bölümü rotora tutturulmuş hareketli kanatlar grubu ve durağan vanalar grubundan ibarettir. Hareketli kanatlar kepçe olarak isimlendirilir. Durağan vanalar meme (sübap) bölümleri biçiminde düzenlenmiş olup, içinde buharın yüksek hızlara ivmelendiği memeleri ya da geçitleri oluştururlar. Bu yüksek hızlı buharın kinetik enerjisi kepçeler yardımıyla mil momentine dönüştürülür.

Çok safhalı bir türbin ya seri bağlı ya da çapraz bağlı olabilir. Seri bağlı türbinde, tek generatör ile bölümlerin hepsi bir mil üzerindedir. Çapraz bağlı türbin ise her biri bir generatöre bağlı ve bir veya birçok sayıda türbin bölümü ile tahrik edilen iki milden oluşur. Bununla beraber, bu türbin bir kontrol grubu ile tek bir birim olarak tasarlanır ve işletilir. Çapraz bağlama daha büyük kapasite ve düzeltilmiş verim sağlar, fakat

daha pahalıdır. Günümüzde, seyrek kullanılmakta olup; son yıllarda kullanıma giren yeni birimler seri bağlı tasarlanmaktadır.

Bu çalışmada türbin modeli olarak kullanılan tek ara ısıtıcılı seri bağlı buhar santrali modeli aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 4.8: Tek ara ısıtıcılı seri bağlı buhar santrali modeli

Yukarıdaki şekilden görülebileceği gibi, buhar yüksek basınç (YB) safhasına kontrol vanası ve giriş borusundan geçerek girer. Kontrol vanalarının mahfazası istim kutusu olarak isimlendirilir. Büyük miktarda buhar, buhar hücresinde ve yüksek basınç safhasına giriş borusunda depolanır. Yüksek basınç çıkış buharı ara ısıtıcıdan geçer. Ara ısıtılmış buhar, ara ısıtma ara vanası ve giriş borusundan geçerek, orta basınç türbin safhasına akar. Bağlantı borusu orta basınç safhası çıkışından düşük basınç safhasının girişine gitmek için buhara yol sağlar. Durdurma vanaları adeta buhar akışını durdurmak için yedek cihazlar oldukları için, sistem incelemelerinde bunların modellenmesine gerek yoktur.

Kontrol vanaları normal çalışma esnasında yük/frekans kontrolu için, türbindeki buhar akışını düzenlerler. Kontrol vanası açıklığındaki bir değişime buhar akışının cevabı, buhar hücresinin ve yüksek basınç safhasına giriş borusunun dolma (yüklenme) zamanı nedeniyle, bir T_T türbin zaman sabiti oluşur.

Ara vana, normalde, sadece aşırı hız durumunda türbin mekanik gücünün hızlı kontrolu için kullanılır. Ara vana bu amaç için çok etkilidir, çünkü ara vana ısıtıcının ilerisindedir ve toplam türbin gücünün %70 ini üreten orta ve düşük basınç safhasına buhar akışını kontrol eder. Orta basınç ve düşük basınç safhasındaki buhar akışı, sadece ara ısıtıcı hacmindeki basıncın takviye edilmesiyle değiştirilebilir. Ara ısıtıcı büyük miktarda buhar tutar ve ona ilişkin zaman sabiti T_R 5 ila 10 saniye arasındadır. Türbinden atılan buhar atmosfer basıncının altında bir basınca genişlemiştir ve çevrimi tamamlamak için kazana dönmeden önce bir yoğunlaştırıcıda yoğunlaştırılır.

Üç alanlı üretim sistemi için yaptığımız benzetim modelinde buhar türbini temsil etmek için kullandığımız buhar türbininin basitleştirilmiş transfer fonksiyonu aşağıdaki gibidir,

$$\frac{\Delta T_m}{\Delta V_{CV}} = \frac{1 + sK_R T_R}{(1 + sT_T)(1 + sT_R)} \qquad \textbf{(4.7)}$$

Burada

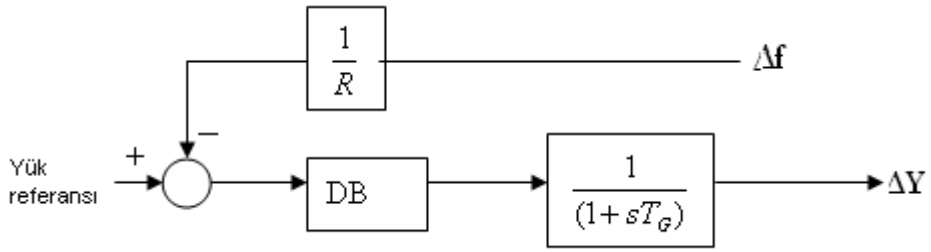
ΔT_m = Türbin momentindeki değişme; ΔV_{CV} = Kontrol vanası konumundaki değişme; K_R = Alanların ara ısıtıcısının transfer fonksiyon kazancı; T_R = Ara ısıtma zaman sabiti; T_T = Türbin zaman sabitidir [9].

4.5 Buhar Türbinleri İçin Devir Sayısı Regülatörleri

Buhar türbinleri için regülasyon sistemleri üç temel işleve sahiptir: normal hız/yük kontrolu, aşırı hız kontrolu ve aşırı hız söndürme.

Hız/yük kontrolunun çalışması hidrolik birimdekilere benzerdir. Buhar türbinleri durumunda, hız kontrolu kontrol vanalarının kontrolu ile sağlanır. Hız kontrol işlevi hız/yük referansını ayarlayarak elde edilir. Hidrolik türbinler için devir sayısı regülatörleri kısmında açıklandığı gibi hız azaltıcı devir sayısı regülatörlerinin blok diyagramı şekil 4.3 teki gibidir Burada ölçülmüş rotor hızı ω_R, ω_0 referans hızı ile karşılaştırılır. Hata işareti (hızdaki değişime eşit olan) vanaları besleyen ana buharı harekete geçiren ΔY kontrol işaretini üretecek şekilde, yükseltilir ve integre edilir.

Burada da hidrolik kısımda anlatıldığı gibi indirgenmiş devir sayısı regülatörü blok diyagramı elde edecek olursak,

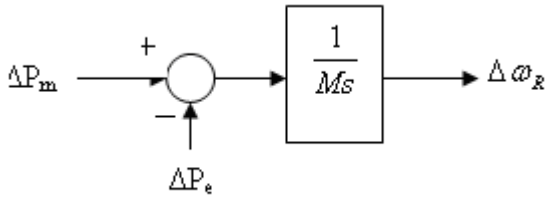


Şekil 4.9: İndirgenmiş Devir sayısı regülatörü blok diyagramı

Burada DB = ölü band, T_G = devir sayısı regülatörü zaman sabitidir.

4.6 Yük Değişimine Generatör Cevabı

Yük değişimi olduğunda, bu ani olarak generatörün elektriksel moment çıkışı T_e de değişim olarak görülür. Bu hareket eşitliği ile kolayca belirlenecek olan hızdaki değişimleri veren T_e elektriksel momenti ve T_m mekanik momenti arasında uyuşmazlığa neden olur. Şekil 4.10 transfer fonksiyonu rotor hızını elektrik ve mekanik momentlerin bir fonksiyonu olan bağıntıyı gösterir.



Şekil 4.10: Mekanik ve elektriksel güç ve hız değişimi arasındaki ilişki

H = Eylemsizlik sabiti (MW-s/MVA)

T_e = Elektriksel moment (p.u.)

T_m = Mekanik moment (p.u.)

s = Laplace operatörü

$\Delta\omega_R$ = Rotor hızındaki değişim (p.u.)

Yük-frekans incelemeleri için, yukarıdaki bağıntının momentten çok mekanik ve elektriksel güçler yardımı ile ifade edilmesi tercih edilebilir. Güç ve moment arasındaki bağıntı,

$$P = \omega_R \; T \qquad \textbf{(4.8)}$$

olup, başlangıç değerinden küçük sapmalar için, güç ve moment ifadeleri

$$P = P_o + \Delta P \qquad \textbf{(4.9)}$$

$$T = T_o + \Delta T \qquad \textbf{(4.10)}$$

$$\omega = \omega_0 + \Delta\omega_R \qquad \textbf{(4.11)}$$

Elektriksel ve mekanik arasındaki bağıntı;

$$P = P_{mek} - P_{elk} \qquad \textbf{(4.12)}$$

Bu ifade sürekli durum değişkeni ve değişim ifadeleri ile ifade edilirse

$$P = P_o + \Delta P \qquad \textbf{(4.13)}$$

$$P_o = P_{meko} - P_{elko} \qquad \textbf{(4.14)}$$

$$\Delta P = \Delta P_{mek} - \Delta P_{elk} \qquad \textbf{(4.15)}$$

Ondan sonra

$$P = (P_{meko} - P_{elko}) + (\Delta P_{mek} - \Delta P_{elk}) \qquad \textbf{(4.16)}$$

Moment için aynı ifade,

$$T = (T_{meko} - T_{elko}) + (\Delta T_{mek} - \Delta T_{elk}) \qquad \textbf{(4.17)}$$

Eşitlik 4.8 i kullanarak

$$P = P_o + \Delta P = (\omega_0 + \Delta\omega_R)\,[(T_{meko} - T_{elko}) + (\Delta T_{mek} - \Delta T_{elk})] \qquad \textbf{(4.18)}$$

İfadesi elde edilir.

$P_{meko} = P_{elko}$ ve $T_{meko} = T_{elko}$ **(4.19)**

ve $\Delta\omega$ in ΔT_{mek} ve ΔT_{elk} ile çarpımından oluşan ikinci dereceden ifadeler ihmal edildiği varsayılırsa o zaman

$$\Delta P_{mek} - \Delta P_{elk} = \omega_o \ (\Delta T_{mek} - \Delta T_{elk}) \quad \textbf{(4.20)}$$

$$T = J\frac{d}{dt}(\Delta\omega) = J\frac{d^2}{dt^2}(\Delta\delta) \quad \textbf{(4.21)}$$

Burada J = atalet momentidir, bu eşitlikte görüldüğü gibi moment hız değişikliği ile alakalıdır.

$$(T_{meko} - T_{elko}) + (\Delta T_{mek} - \Delta T_{elk}) = J\frac{d}{dt}(\Delta\omega) \quad \textbf{(4.22)}$$

$T_{meko} = T_{elko}$ oldu için eşitlik 4.19 ile eşitlik 21 yi birleştirerek yazabiliriz.

$$\Delta P_{mek} - \Delta P_{elk} = \omega_0 \ J\frac{d}{dt}(\Delta\omega) = M\frac{d}{dt}(\Delta\omega) \quad \textbf{(4.23)}$$

Bu ifade Laplace transform operatörü notasyonu ile ifade edilirse,

$$\Delta P_{mek} - \Delta P_{elk} = M\ s\ \Delta\omega \quad \textbf{(4.24)}$$

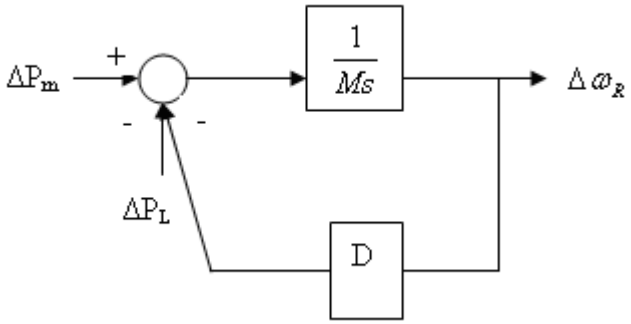
Bu ifade Şekil 4.10 deki blok diyagramdan görülebilir [19]. Burada M = 2H dır. İlgilendiğimiz hız değişimi bölgesi dahilinde, türbin mekanik gücü esas olarak vana veya kapak durumunun bir fonksiyonudur ve frekanstan bağımsızdır [9].

4.7 Frekans Değiştiğinde Yükün Davranışı

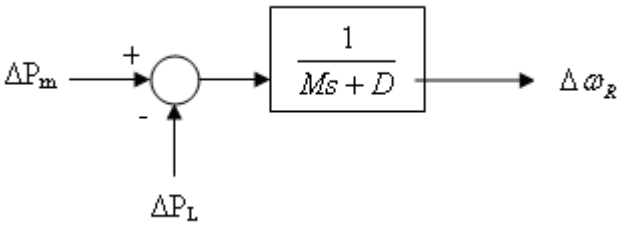
Genellikle, güç sistemindeki yükler çeşitli elektriksel cihazların bir birleşimidir. Aydınlatma ve ısıl yükler gibi dirençsel yükler için, elektriksel güç frekanstan bağımsızdır. Fanlar ve pompalar gibi motor yükü durumunda ise, elektriksel güç motor hızındaki değişimler nedeniyle frekansla değişir. Bütün karmaşık yükün frekansa bağlı karakteristiği aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\Delta P_e = \Delta P_L + D\Delta\omega_R \qquad \textbf{(4.25)}$$

Burada, D: yük sönüm sabitidir. Eşitliğin sağ ilk kısmı frekansa duyarsız yük değişimini, ikinci kısmı ise frekansa duyarlı yük değişimini gösterir. Sönüm sabiti frekanstaki % değişim için, yükteki yüzde değişim olarak ifade edilir. D'nin değeri %1 ila %2 dir. Frekanstaki %1 lik değişim yükte %1.5 değişime neden oluyorsa o zaman D = 1.5 denir. Yükteki sönümün etkisini veren sistemin blok diyagramı Şekil 4.11 de verilmiştir. Bu blok diyagramı Şekil 4.12 deki blok diyagrama dönüştürülür.



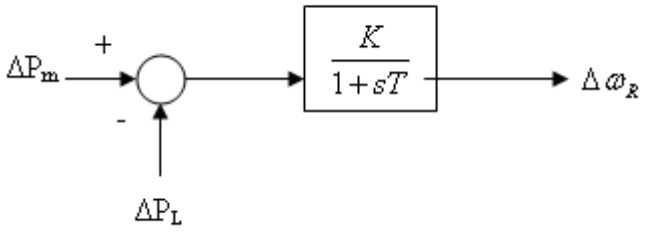
Şekil 4.11: Yükteki sönümün etkisini veren sistemin blok diyagramı



Şekil 4.12: Yükteki sönümün etkisini veren sistemin blok diyagramı

Burada $\frac{1}{Ms+D}$ ifadesi zaman sabiti ve kazanç terimleri yardımıyla $\frac{K}{1+sT}$ olarak gösterilebilir.

Burada $K=\frac{1}{D}$ ve $T=\frac{M}{D}$ dir. O zaman şekil 4.12 deki blok diyagram aşağıdaki gibi gösterilebilir.

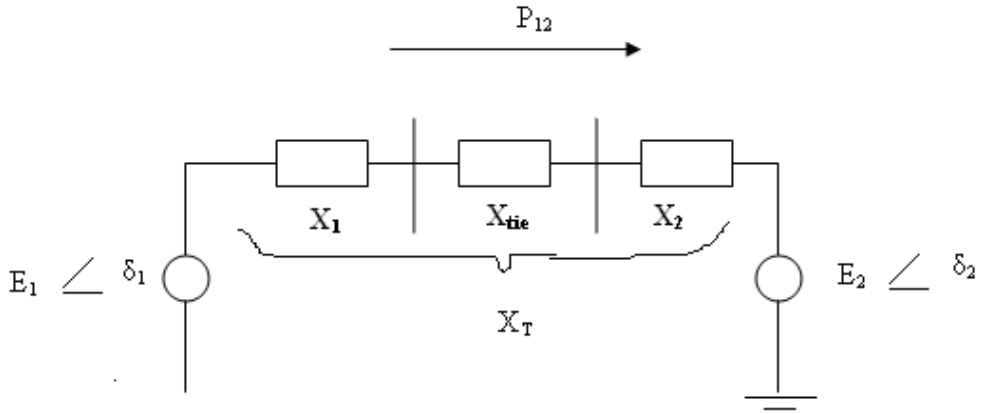


Şekil 4.13: Yükteki sönümün etkisini veren sistemin blok diyagramı

4.8 Enterkonnekte Güç Sisteminde Otomatik Üretim Kontrolu

Enterkonnekte güç sistemlerinin ilave kontrolunun oluşturmak için önce sadece birincil hız kontrolunun olması durumundaki davranışa bakılır. Yük-frekans incelemeleri için, her bir alan o alana ait davranışın tamamını gösteren eşdeğer üretim birimiyle ifade edilebilir. Bu biçimdeki karma modeller, her bir alan dahilinde sadece makineler arası salınımlar ile ilgilenildiği için kabul edilebilir.

Şekil 4.14de iki alanlı enterkonnekte sistemin elektriksel eşdeğeri gösterilmektedir.



Şekil 4.14: İki alanlı enterkonnekte sistemin elektriksel eşdeğeri

1 alanından 2 alanına bağlantı hattındaki güç akışı:

$$P_{12} = \frac{E_1 E_2}{x_T} \sin(\delta_1 - \delta_2) \qquad \textbf{(4.26)}$$

dir. $\delta_1 = \delta_{10}$ ve $\delta_2 = \delta_{20}$ alınarak ilk çalışma noktası civarında doğrusallaştırma yapılırsa,

$$\Delta P_{12} = T\,\Delta\delta_{12} = T\,(\Delta\omega_1 - \Delta\omega_2) \qquad \textbf{(4.27)}$$

Elde edilir, burada $\Delta\delta_{12} = \Delta\delta_1 - \Delta\delta_2$ ve T bağlantı hattı senkronizasyon moment katsayısıdır.

$$T = \frac{E_1 E_2}{x_T}\cos(\delta_{10} - \delta_{20}) \qquad \textbf{(4.28)}$$

Sistemin blok diyagramı Şekil 4.15 de görülmektedir. Bu sistem, her biri bir generatöre sahip iki alandan oluşur. Bu alanlar bir bağlantı hattı ile birbirine bağlanır. Bu bağlantı hattı üzerindeki güç akışının yönü alanlar arasındaki ilişkili faz açısı tarafından belirlenir. Bu faz açıları, alanlar içindeki ilişkin hız sapmaları kullanılarak hesaplanır.

Her bir alan eşdeğer eylemsizlik M ve yük sönüm katsayısı D ile türbin ve ayrıca etkin hız düşüsüne (R) sahip devir sayısı regülatörü ile ifade edilmektedir. ΔP_{12} nin pozitif olması 1 alanından 2 alanına güç transferinin arttığını gösterir. Etki olarak bu 1 alanının yükünün artmasına ve 2 alanının yükünün azalmasına eşdeğerdir. Bu yüzden, ΔP_{12} nin geri beslemesi 1 alanı için negatif işarete ve 2 alanı için pozitif işarete sahiptir. Sürekli durum frekans sapması $(f-f_o)$ iki alan için de aynıdır.

ΔP_L toplam yük değişimi için,

$$\Delta f = \Delta\omega_1 = \Delta\omega_2 \text{ ve } \frac{d(\Delta\omega_1)}{dt} = \frac{d(\Delta\omega_2)}{dt} = 0 \qquad \textbf{(4.29)}$$

1 alanında ΔP_{L1} yük artımını izleyen sürekli durum değerlerini göz önüne alalım. 1. alan için,

$$\Delta P_{m1} - \Delta P_{12} - \Delta P_{L1} = \Delta f\, D_1 = \Delta P_{D1} \qquad \textbf{(4.30)}$$

ve 2 alanı için,

$$\Delta P_{m2} + \Delta P_{12} = \Delta f\, D_2 = \Delta P_{D2} \qquad \textbf{(4.31)}$$

olur. Bundan dolayı, regülasyona bağlı mekanik güçteki değişim,

$$\Delta P_{m1} = -\frac{1}{R_1}\Delta f \quad \textbf{(4.32)}$$

$$\Delta P_{m2} = -\frac{1}{R_2}\Delta f \quad \textbf{(4.33)}$$

olur. Bu iki değer daha üstteki denklemlerde yerine konulursa;

$$\Delta f\,(\frac{1}{R_1} + D_1) = -\Delta P_{12} - \Delta P_{L1} \quad \textbf{(4.34)}$$

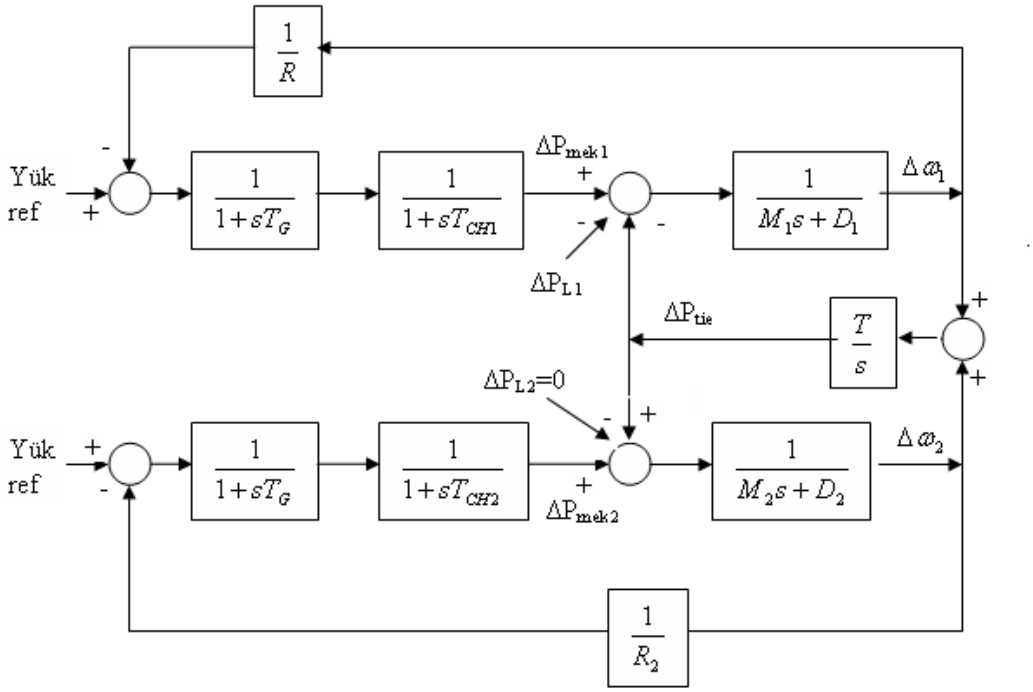
$$\Delta f\,(\frac{1}{R_2} + D_2) = \Delta P_{12} \quad \textbf{(4.35)}$$

olup,

$$\Delta f = -\frac{\Delta P_{L1}}{(1/R_1 + 1/R_2) + D_1 + D_2} = -\frac{\Delta P_{L1}}{\beta_1 + \beta_2} \quad \textbf{(4.36)}$$

$$\Delta P_{12} = -\frac{\Delta P_{L1}(1/R_2 + D_2)}{(1/R_1 + 1/R_2) + D_1 + D_2} = -\frac{\Delta P_{L1}\beta_2}{\beta_1 + \beta_2} \quad \textbf{(4.37)}$$

bulunur, burada β_1 ve β_2 1 ve 2 alanlarına ait karma frekans cevaplarıdır.



Şekil 4.15: Örnek alınan her alanı ısıl birimden oluşmuş iki alanlı sistem için birincil hız kontrol blok diyagramı

4.9 Bağlantı Hattı Kontroluna Yönelik Frekans Değişimi

İlk hız kontrol hareketi ile sistem yükündeki değişim, yükün frekans duyarlılığına ve devir sayısı regülatörü düşü karakteristiğine bağlı olarak, sürekli durum frekansında bir değişime yol açar. Hızı ayarlanan bütün üretim birimleri, yükün değiştiği bölgeye bağlı olmaksızın, üretimdeki bütünsel değişime katkıda bulunurlar. Sistem frekansının nominal değere yeniden dönmesi hız değiştirici motor vasıtasıyla yük referans noktasını ayarlayan ilave kontrol hareketini gerektirir. Bu yüzden, sistem yükündeki değişimleri istenen şekilde izlemek üzere tahrik makinesi gücünün kontrolu için temel yol, seçilen üretim birimlerinin yük-referans ayar noktalarını kontrol etmektir. Sistem yükü sürekli olarak değişirken, generatörlerin çıkışlarının otomatik olarak değiştirilmesi gereklidir.

Ek üretim kontrol hareketi ilk hız kontrol hareketinden daha yavaştır. Bu kontrol hareketinin regülasyondaki bütün birimlere etki eden ilk hız kontrolundan sonra etki etmesi sistem frekansını kararlılaştırır. Bu şekilde, otomatik üretim kontrolu seçilmiş birimlerin yük referans ayarlamalarını ve dolayısıyla çıkış güçlerini düzeltir.

Ek kontrolun temel amacı her bir alandaki yük ve üretimi dengeye getirmektir. Bu kontrol hareketi, frekansın çizelge değerinde, komşu alanlar arasındaki güç değişiminin çizelge değerlerinde olması sağlandığında gerçekleştirilir.

İstenilen amaçları gerçekleştirecek yönelim faktörü ile ağırlıklı olarak frekans sapmasına ilave edilen bağlantı hattı gücü değişiminin kontrol hareketini düzenlediği görülür. Bu kontrol işareti alan kontrol hatası olarak isimlendirilir. Alan kontrol hatası diğer bir alandaki yük değişikliğini karşılamak için bir alandaki üretimin değiştirilmesini sağlar. Alan kontrol hatası aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$ACE = \Delta P_{12} + B\Delta f \qquad \textbf{(4.38)}$$

Burada B bir frekans yönelim faktörüdür ve aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$B = \frac{1}{R} + D \qquad \textbf{(4.39)}$$

ACE bir kontrol işaretidir. Bu işaret yönelim faktörü ile ağırlıklanmış frekans sapmasına bağlantı hattı gücü değişimi eklenmesiyle oluşur. ACE bir üretim alanında MW olarak ihtiyaç duyulan değişimi gösterir. Birim normal olarak frekans yönelim faktörü B yi MW/0.1 Hz olarak ifade etmek için kullanılır. Gerçekte sürekli durum davranışı göz önüne alındığında, yönelim faktörünün seçimi önemli değildir. İntegral kontrol hareketi ACE nin sıfıra düşmesini sağladığı için, bağlantı hattındaki güç değişimi ve frekans değişimini içeren alan kontrol hatasının herhangi bir birleşimi, sürekli durumda bağlantı hattı güç akışı ve frekansın düzelmesini sağlar. Bunu göstermek için, iki alanlı sisteme uygulanabilen alan kontrol hata işaretlerini göz önüne alırsak:

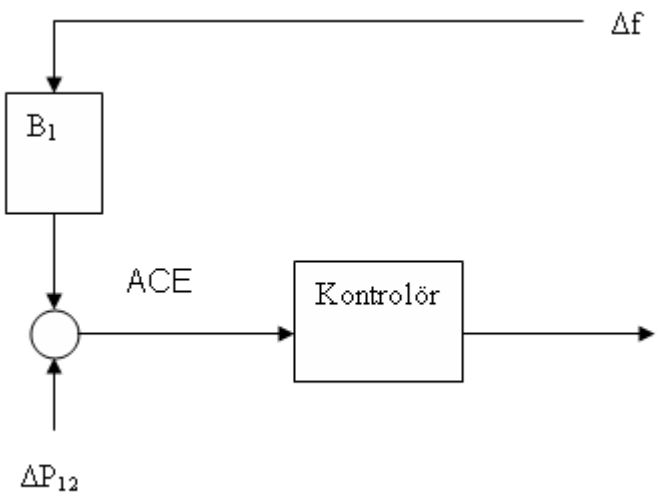
$$ACE_1 = \Delta P_{12} + B_1\Delta f = 0 \qquad \textbf{(4.40)}$$

$$ACE_2 = \Delta P_{21} + B_2\Delta f = 0 \qquad \textbf{(4.41)}$$

Yükteki ani artış, sistem frekansında, maksimum frekans salınımını sınırlayan ve sonuç olarak (10 saniye mertebesinde) frekanstaki değişimi her iki sistemin regülasyon karakteristikleri ile belirlenmiş olan

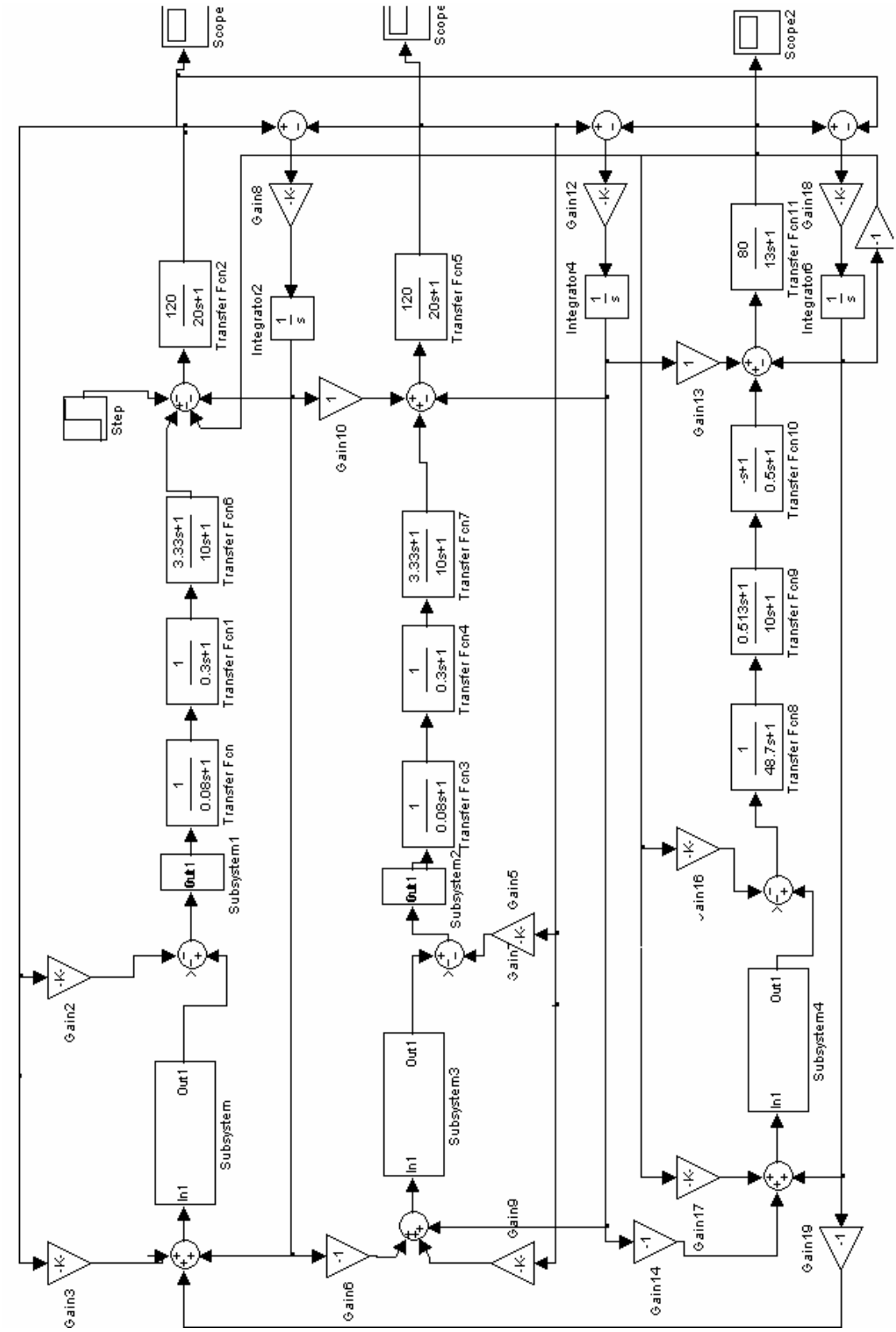
$$\Delta f_R = -\frac{\Delta P_{L1}}{\beta_1 + \beta_2} \qquad \textbf{(4.42)}$$

Değerine geri getiren devir sayısı regülatörü cevabı ile (her iki alandaki birimlerin ilk hız kontrolü) izlenen bir azalmaya yol açar. Bu noktada, bağlantı hattı gücünün değişimi çizelgelenmiş değerden farklıdır. İlk hız kontrolünden çok daha yavaş olarak ikincil (ek) kontrol hareketi artık cevap vermeye başlayacaktır. Çalışmada kontrol alanları içinde kullanılan ek kontrol birimlerinin blok diyagramı aşağıdaki şekilde görülmektedir [9].



Şekil 4.16: Benzetim modelinde kullanılan ek kontrolörün blok diyagramı

Yukarda Şekil 4.16 de görülen ek kontrol blok diyagramını, Şekil 4.15 de gösterilen birincil hız kontrol blok diyagramında yerine yerleştirirsek sonuç olarak çalışmada kullanılan üç alanlı üretim sisteminin benzetim modeli elde edilmiş olur.



Şekil 4.17: Çalışmada kullanılan üç alanlı üretim sisteminin benzetim modeli

5.BENZETİM MODELLERİNİN ÜÇ FARKLI KONTROLÖR İLE KONTROLU

Çalışmanın bu kısmında bilgisayarda benzetim modeli oluşturulan iki ve üç alanlı üretim sisteminin üç farklı kontrolör ile kontrolu anlatılacaktır. İlk önce iki alanlı sistemin kontrolu incelenmiş ve sonra da üç alanlı sistemin kontrolu yapılmıştır.

5.1 İki Alanlı Üretim Sisteminin Benzetim Modeli

Çalışmanın bu kısmında iki termik alandan oluşan üretim sisteminin benzetim modelli oluşturulmuş ve üç farklı kontrolör ile kontrol edilmiştir. Şekil 5.1 iki alanlı üretim sisteminin benzetim modelini göstermektedir. Üretim sistemi önce integral kontrolör ile daha sonra bulanık kontrolör ve parametre değerleri GA ile belirlenmiş bulanık PI kontrolör ile kontrol edilmiştir. Aşağıdaki tablolar üç kontrolör için bulunan kazanç değerlerini göstermektedir.

İntegral kontrolör için;

$K_1 = -0.4$; $K_2 = -0.11$

Bulanık PI kontrolör için;

Tablo 5.1: Bulanık PI kontrolör için kazanç tablosu

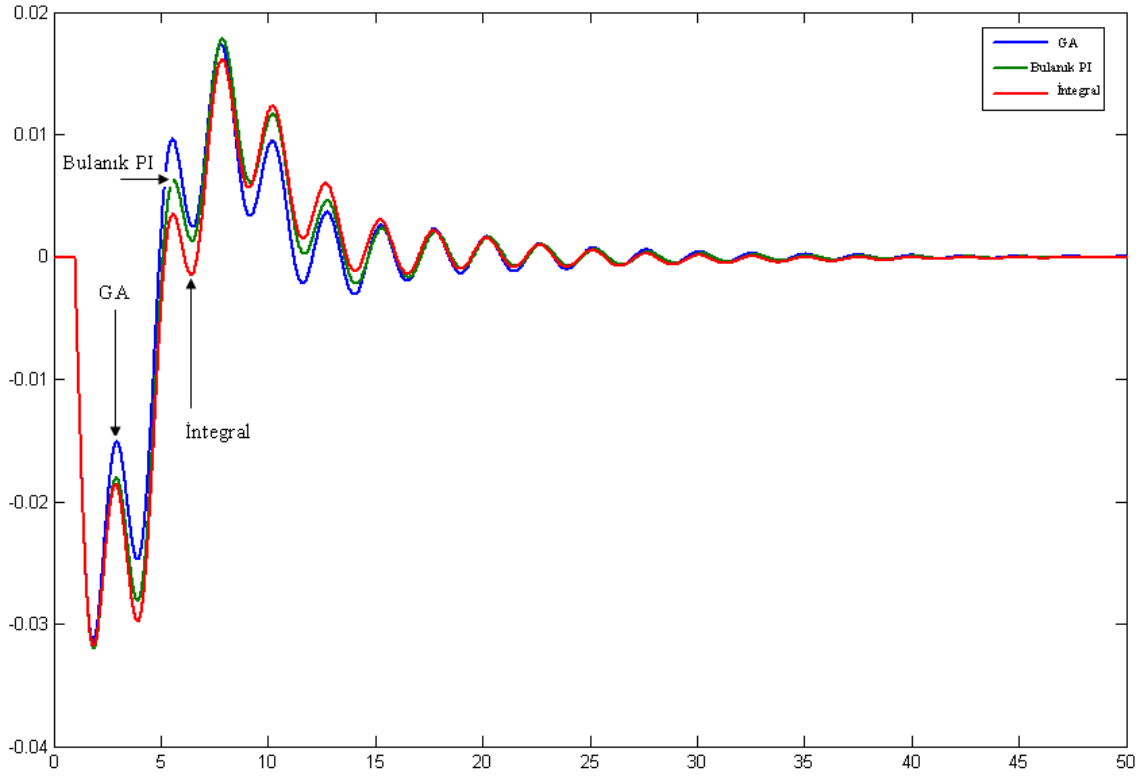
	Kazanç 1	Kazanç 2	Kazanç 3
Kontrolör 1	-9.77	100	0.05
Kontrolör 2	-11	100	0.005

Parametre değerleri GA ile ayarlanmış bulanık PI kontrolör için;

Tablo 5.2: GA ile ayarlanmış bulanık PI kontrolör için kazanç tablosu

	Kazanç 1	Kazanç 2	Kazanç 3
Kontrolör 1	0.40973	0.96998	-1.5
Kontrolör 2	0.13408	-0.09053	0.05

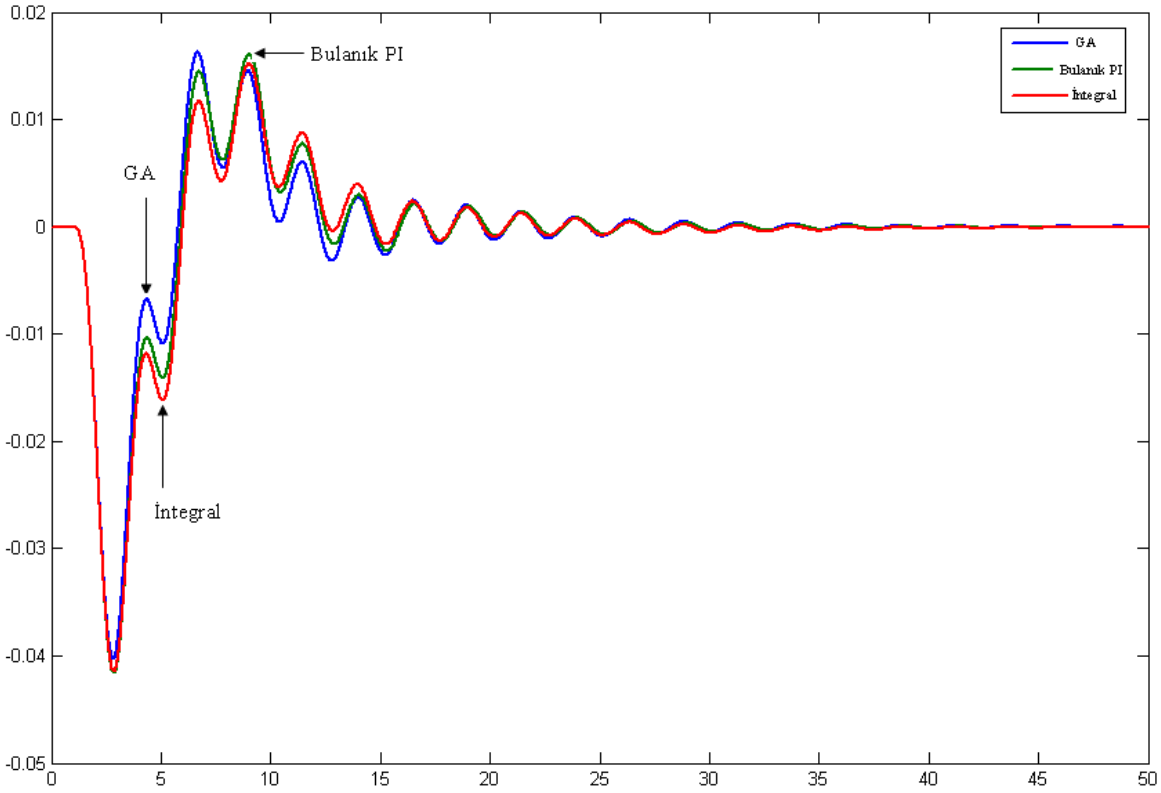
Çalışmada kullanılan bulanık PI kontrolör yapısı Şekil 5.11 de görülmektedir. Bu kazanç değerlerine göre üç kontrolörün Δf_1, Δf_2, Δf_3, ΔP_{12} cevaplarının karşılaştırılması;



Şekil 5.2: Δf_1 ün üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması (ΔP_{L1} =0.01 p.u.)

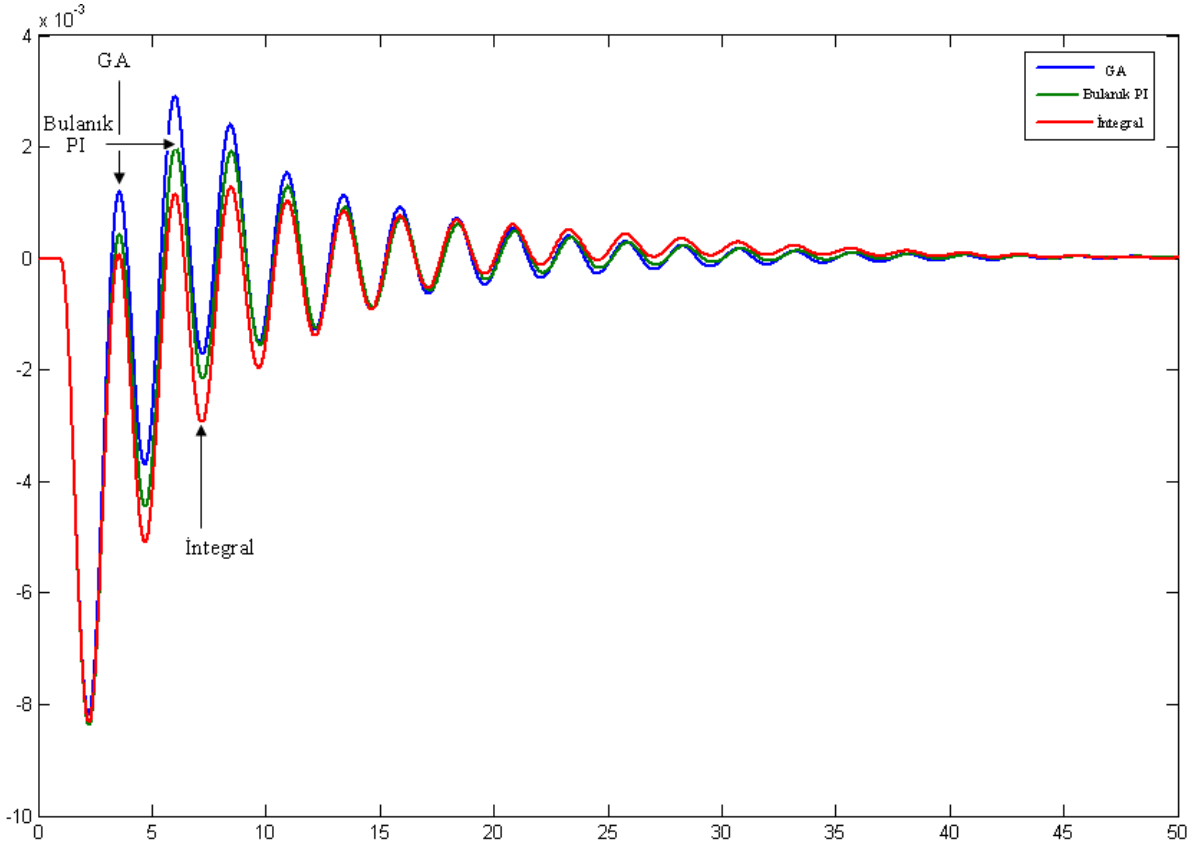
Yukarıdaki şekilde Δf_1 in üç farklı kontrolör için verdiği cevaplar bir arada çizilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi istenilen en uygun cevaba en uzak cevabı integral kontrolör ile kontrol edilen sistem vermiştir. Üretim sistemi integral kontrolör ile kontrol edildiği zaman, Δf_1 frekans değişimi diğer kontrolörlere göre daha geç sıfırda dengeye oturmakta ve negatif alanda daha fazla osilasyon yaptığı

gözlenmektedir. Bulanık PI ve kazanç parametreleri genetik algoritma ile bulunan bulanık PI kontrolör kullanılarak bulunan cevaplar incelendiğinde kazanç parametreleri GA ile bulunan bulanık PI kontrolör daha erken sıfır değerinde dengeye oturmaktadır. Kazanç parametreleri GA ile bulunan kontrolör ilk üst aşım değerleri diğer kontrolörlere göre daha fazla olmasına rağmen daha erken dengeye oturmaktadır.



Şekil 5.3: Δf_2 ün üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması (ΔP_{L1} =0.01 p.u.)

Yukarıdaki şekilde Δf_2 in üç farklı kontrolör için verdiği cevaplar bir arada çizilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi istenilen en uygun cevaba en uzak cevabı integral kontrolör ile kontrol edilen sistem vermiştir. Üretim sistemi integral kontrolör ile kontrol edildiği zaman, Δf_2 frekans değişimi diğer kontrolörlere göre daha geç sıfırda dengeye oturmakta ve negatif alanda daha fazla osilasyon yaptığı gözlenmektedir. Bulanık PI ve kazanç parametreleri genetik algoritma ile bulunan bulanık PI kontrolör kullanılarak bulunan cevaplar incelendiğinde kazanç parametreleri GA ile bulunan bulanık PI kontrolör daha erken sıfır değerinde dengeye oturmaktadır. Kazanç parametreleri GA ile bulunan kontrolör ilk üst aşım değerleri diğer kontrolörlere göre daha fazla olmasına rağmen daha erken dengeye oturmaktadır.

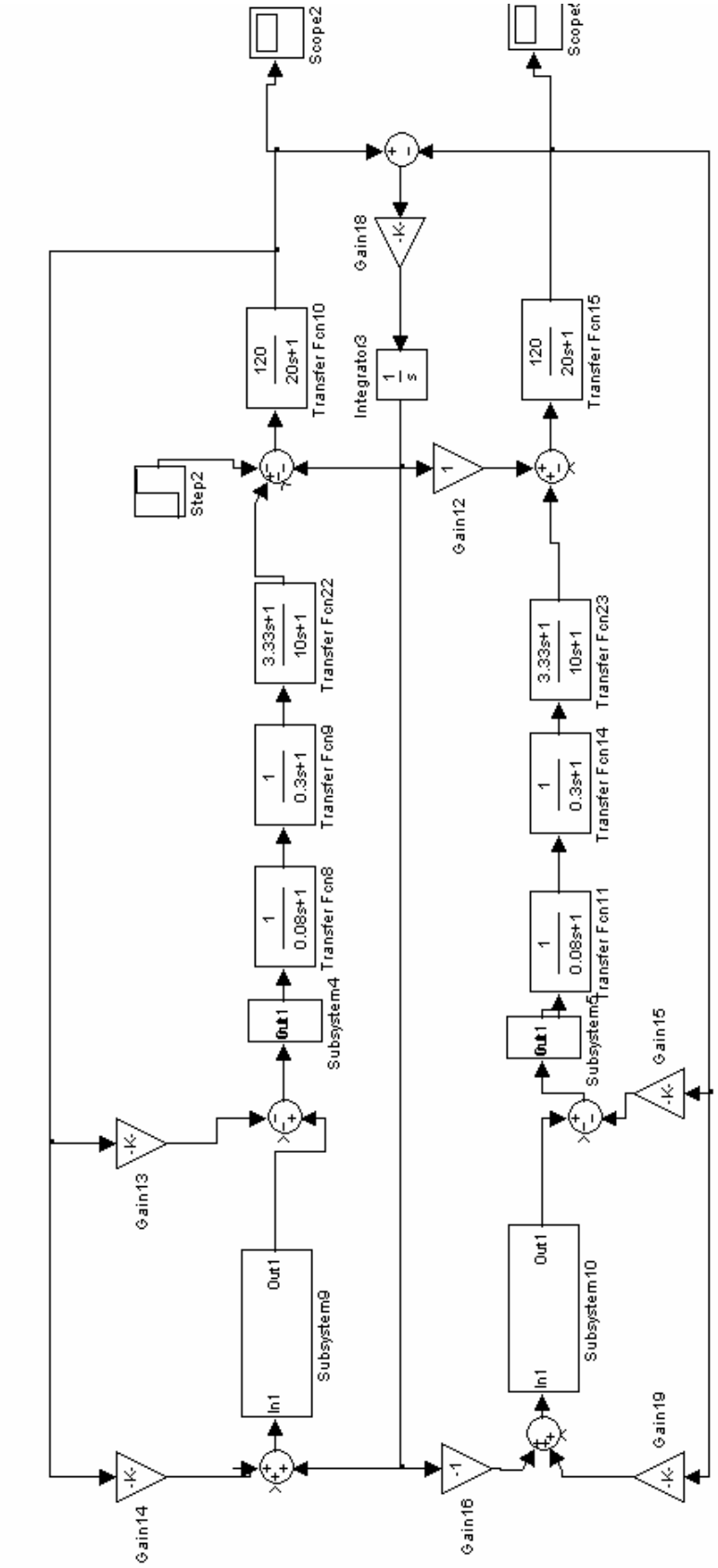


Şekil 5.4: ΔP_{12} ün üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması (ΔP_{L1} =0.01 p.u.)

Yukarıdaki şekilde ΔP_{12} in üç farklı kontrolör için verdiği cevaplar bir arada çizilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi istenilen en uygun cevaba en uzak cevabı integral kontrolör ile kontrol edilen sistem vermiştir. Üretim sistemi integral kontrolör ile kontrol edildiği zaman, ΔP_{12} frekans değişimi diğer kontrolörlere göre daha geç sıfırda dengeye oturmakta ve negatif alanda daha fazla osilasyon yaptığı gözlenmektedir. Bulanık PI ve kazanç parametreleri genetik algoritma ile bulunan bulanık PI kontrolör kullanılarak bulunan cevaplar incelendiğinde şekilde GA kısaltması ile gösterilen kazanç parametreleri GA ile bulunan bulanık PI kontrolör kullanılarak elde edilen cevap çok az bir farkla olsa da daha erken sıfır değerinde dengeye oturmaktadır.

Yukarıdaki şekiller incelendiğinde; üretim sistemine 1. nci saniyede ΔP_L yük etkisi etki etmektedir ve sistem frekansı ve bağlantı hattı gücü değişimi azalarak istenilen değerlerin dışında bir değer almaya başlar. İncelediğimiz kontrolörlerden parametre değerleri GA ile ayarlanmış bulanık PI kontrolörleri, şekil 5.2, 5.3 ve 5.4 de görüldüğü gibi değişen bu frekans ve bağlantı hattı güç değişimini istenilen değerlere en kısa zamanda ulaşmaktadır, bu kontrolör kullanılarak elde edilen sonuç başlangıçta daha fazla üst ve alt aşımla yapmasına rağmen daha erken dengeye

oturur. İncelenilen kontrolörlerden ikinci iyi performansı bulanık PI kontrolör göstermiştir. En kötü performansı integral kontrolörler göstermiştir. İntegral kontrolör ile kontrol edilen sistemde frekans ve bağlantı hattı güç değişimi istenilen değerlere diğer kontrolörlere göre daha uzun zamanda ulaşmıştır ve negatif alanda daha fazla alt aşım göstermişlerdir.



Şekil 5.1: İki alanlı üretim sistemi için benzetim modeli

5.2 Üç Alanlı Üretim Sisteminin Üç Farklı Kontrolör ile Kontrolu

Çalışmanın bu kısmında üç alanlı üretim sisteminin benzetim modelinde hangi kontrolörler kullanıldığı ve sistemin bu kontrolöre verdiği cevaplar açıklanmıştır.

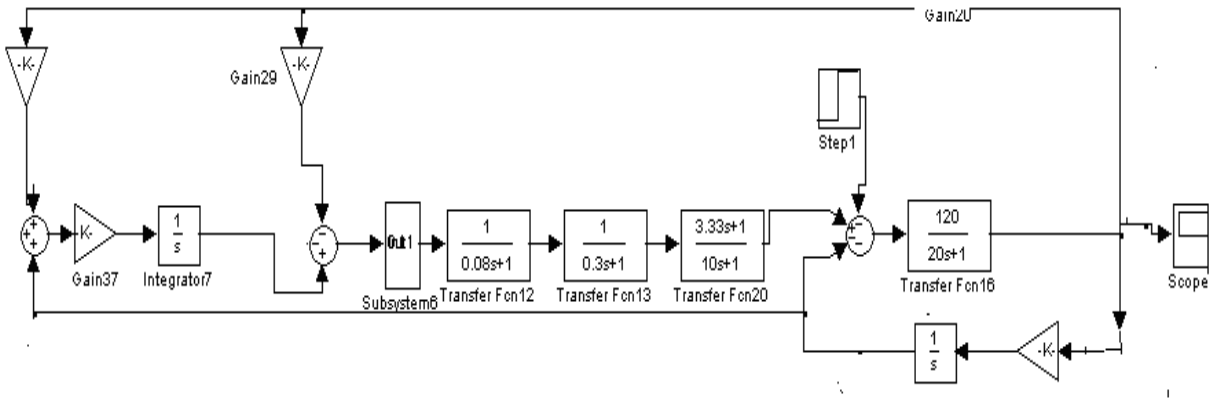
5.2.1 PI Kontrolör

Daha önceden belirtildiği gibi yük frekans kontrolörünün görevi, sistem frekansı ve bağlantı hattı değişim gücünü önceden belirlenmiş değerlerde tutmak için u kontrol sinyalini üretmektir. Bu çalışmada, ele alınan üç alanlı sistemde sistemi kontrol etmek için kullanılan kontrol sinyalini üretmek için ilk olarak integral kontrolör kullanılmıştır. İntegral kontrol eşitliğini yazarsak;

$$u_i = -K_i \int_0^{\tau} (ACE_i)dt = -K_i \int_0^{\tau} (\Delta P_{tie,i} + B_i \Delta f_i)dt \qquad \textbf{(5.1)}$$

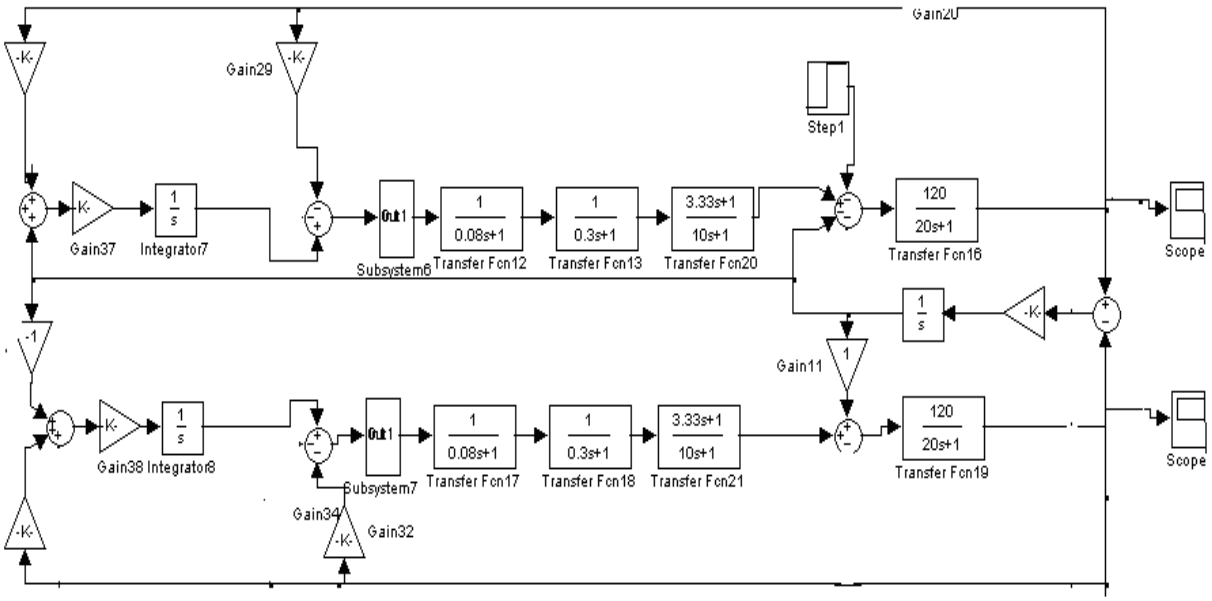
Eşitlikte görüldüğü gibi kontrol edilen hata alan kontrol hatasıdır. Çalışmada her bir alanın alan kontrol hatası kullanılarak sistem frekansı ve bağlantı hattı değişim gücü istenilen değerlerde tutulmuştur.

Çalışmada incelenilen üç alanlı enterkonnekte sistemi kontrol etmeyi kolaylaştırmak için önce tek bir alanın integral kontrolör ile kontrolü sağlanmıştır. Ele alınan bu tek alan Şekil 5.5'de görülmektedir.



Şekil 5.5: PI kontrolör ile kontrol edilen tek alanlı ısıl üretim sistemi

Şekilde görülmekte olduğu gibi tek alanlı sisteme birinci saniyede ΔP_L adım bozucu etkisi girmekte ve alan kontrol hatasını sıfırdan uzaklaştırarak kontrol edilen sistem frekansını istenilen değerden uzaklaştırmaktadır. Burada sistem frekansını tekrar istenilen değere getirmek için kontrolör olarak kullanılan integral kontrolörünün K_i katsayısının değerinin ayarlanması el ile yapılmıştır. Kontrolörün K_i katsayısı sıfırdan başlanılarak alan kontrol hatası ACE'nin değeri sıfır olana kadar katsayının değeri arttırılır. Ele alınan tek alanda sistem frekansı istenilen eski değerine döndürüldükten sonra üç alanlı sistemi oluşturan ikinci alan incelenilen bu birinci alana Şekil 5.6'de görüldüğü gibi bağlanır.



Şekil 5.6: PI kontrolör ile kontrol edilen iki alanlı ısıl üretim sistemi modeli

Oluşturulan bu iki alanlı sistemde iki alanında K_i katsayıları anlatılan şekilde el ile yeniden ayarlanır. Son olarak sistemi oluşturulan üçüncü alan incelenilen bu iki alanlı sisteme eklenir ve aynı işlemler gerçekleştirilerek her üç alanın katsayıları tekrar ayarlanır.

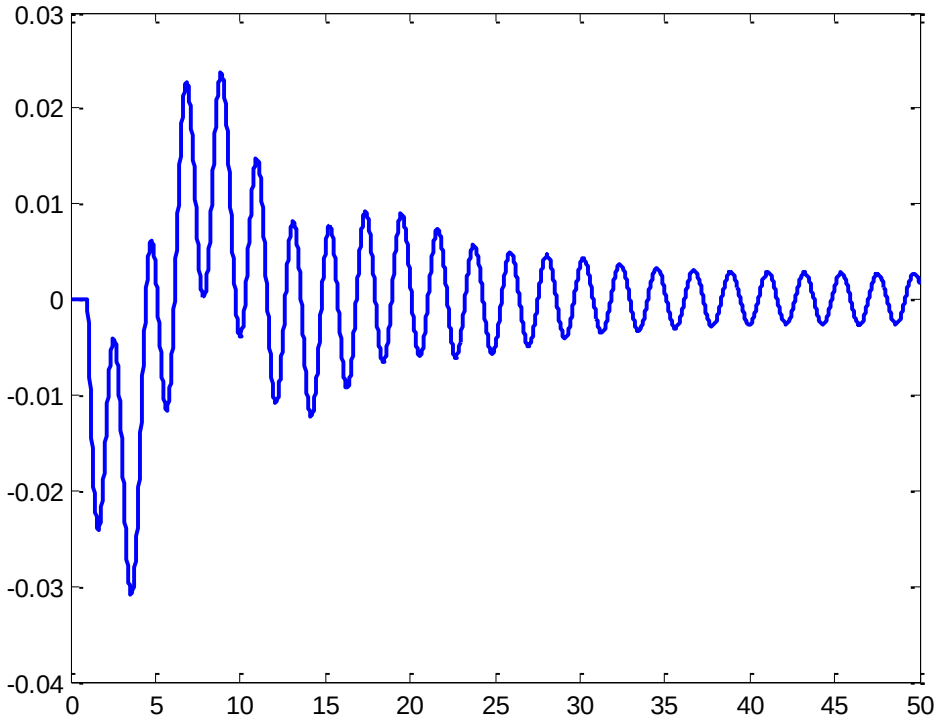
Yukarıda anlatılan işlemleri daha detaylı anlatmak gerekirse, üç alanlı enterkonnekte sisteme bozucu ΔP_L etkisi girmeden önce Δf frekans değişimi sıfır değerindedir ve sistem bir alan kontrol hatası üretmez, sisteme birinci saniye sonunda ΔP_L bozucu etkisi girdiğinde Δf frekans değişiminin değeri sıfır olmaktan çıkıp negatif bir değer alır, frekans değerindeki bu değişim ve bu değişimin yol açtığı bağlantı hattı değişim gücündeki değişme alan kontrol hatasının sıfırdan başka bir değer almasına yol açar. Oluşan alan kontrol hatası integral kontrol eşitliğinde görüldüğü gibi integral kontrolörün sistem frekansını tekrar istenilen eski değerine getirmek için bir kontrol

sinyali oluşturmasına yol açar. Bu kontrol sinyali ile kontrolör sisteme müdahale etmekte ve sistem frekansı ve bağlantı hattı değişim gücünü arzu edilen değerlere geri getirmektedir. Aşağıdaki tabloda çalışmada kullanılan PI kontrolörlerinin kazanç değerleri gösterilmektedir.

Tablo 5.3: PI kontrolör için kazanç değerleri

	Kontrolör 1	Kontrolör 2	Kontrolör 3
Kazanç değeri	-0.85	-0.06	-0.06

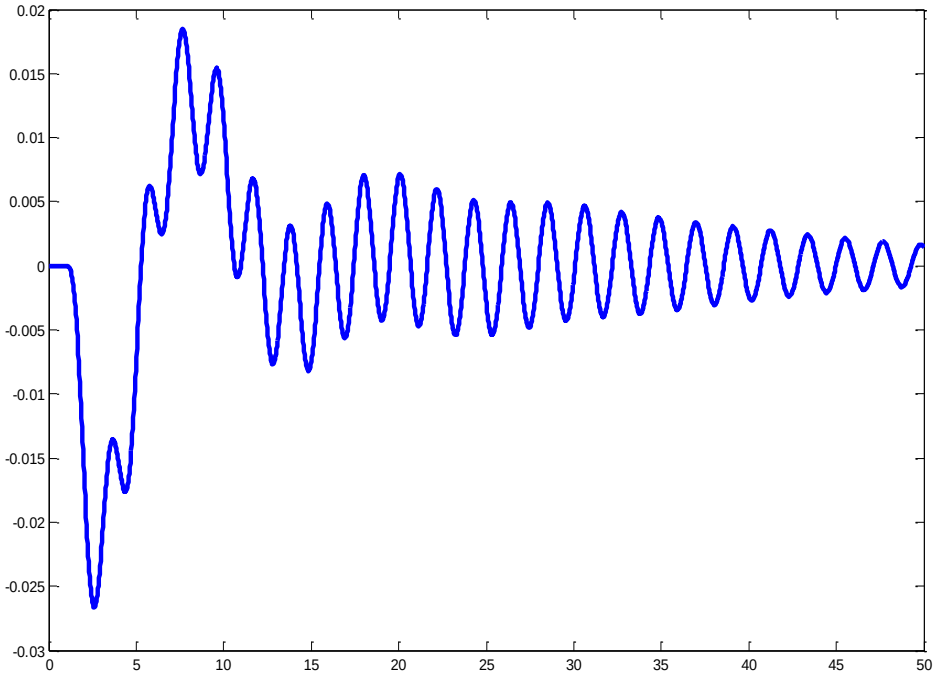
Bulunan bu kazanç değerlerine göre sistemin Δf_1, Δf_2, Δf_3 ve ΔP_{12} cevapları,



Şekil 5.7: Birinci alandaki Δf_1 in zamana göre cevabı (ΔP_{L1} = 0.01p.u.)

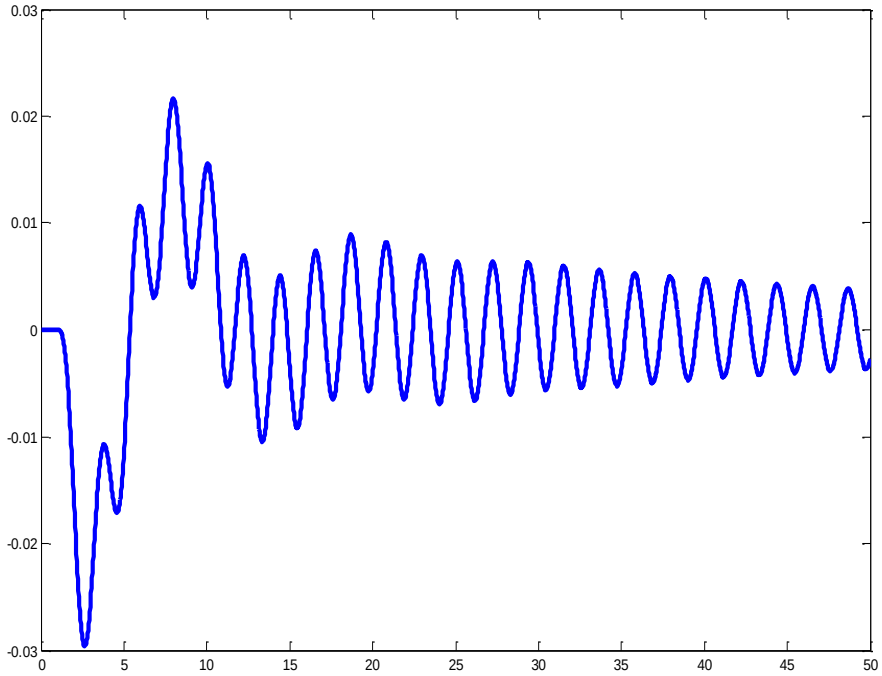
Birinci alandaki Δf_1 frekans değişiminin zamana göre cevabı şekil 5.7 te görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi 0.01 p.u. lik ΔP_L ani yük değişimi sisteme birinci saniyede etki etmektedir. Birinci saniyeden yaklaşık dördüncü saniyeye kadar Δf_1 değerinde 0.03 p.u. lik bir azalma gözlenir. Bu saniyeden sonra kontrolör etkisini daha fazla göstermekte ve negatif değerdeki Δf_1 değeri tekrar sıfır değerine geri getirtilmeye çalışılmıştır. Δf_1 işareti 10 ve 13. nci saniyeler arasında üst aşım

yaptıktan Δf_1 sıfır değeri etrafına oturmaktadır. Fakat tam olarak sıfır olmamakta, sıfır değeri etrafında osilasyon yapmaya başlamaktadır.



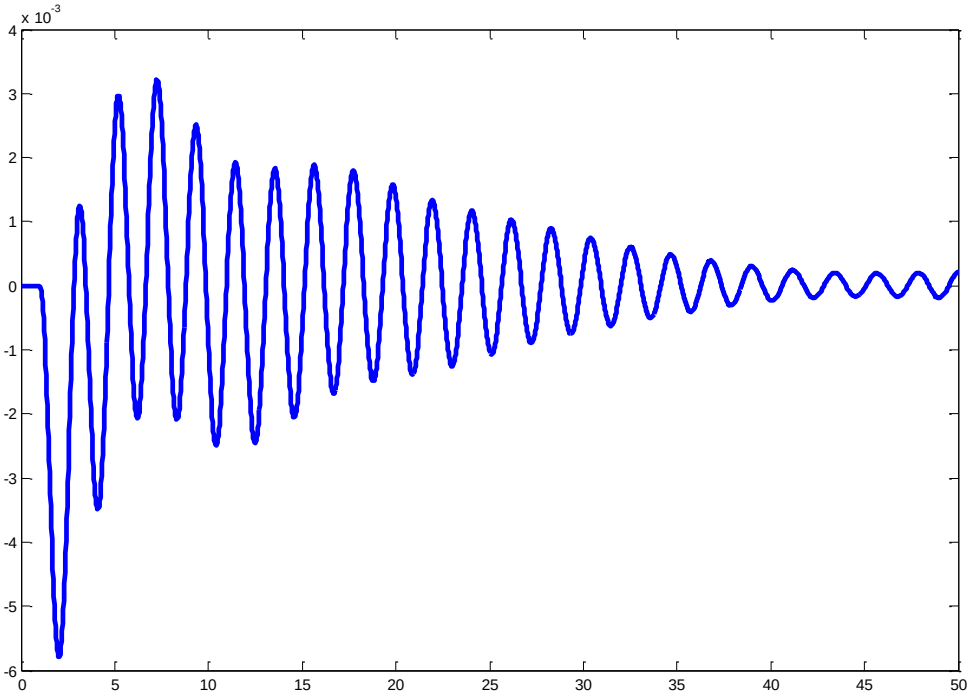
Şekil 5.8: İkinci alandaki Δf_2 in zamana göre cevabı (ΔP_{L1} = 0.01 p.u)

İkinci alandaki Δf_2 frekans değişiminin zamana göre cevabı şekil 5.8 te görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi 0.01 p.u. lik ΔP_L ani yük değişimi sisteme birinci saniyede etki etmektedir. Birinci saniyeden yaklaşık üçüncü saniyeye kadar Δf_1 değerinde 0.025 p.u. lik bir azalma gözlenir. Bu saniyeden sonra kontrolör etkisini daha fazla göstermekte ve negatif değerdeki Δf_1 değeri tekrar sıfır değerine geri getirtilmeye çalışılmıştır. Δf_1 işareti 7. ve 13. nci saniyeler arasında üst aşım yaptıktan Δf_1 sıfır değeri etrafına oturmaktadır. Fakat tam olarak sıfır olmamakta, sıfır değeri etrafında osilasyon yapmaya başlamaktadır.



Şekil 5.9: Üçüncü alandaki Δf_3 ün zamana göre cevabı (ΔP_{L1} = 0.01 p.u.)

Üçüncü alandaki Δf_3 frekans değişiminin zamana göre cevabı şekil 5.9 te görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi 0.01 p.u. lik ΔP_L ani yük değişimi sisteme birinci saniyede etki etmektedir. Birinci saniyeden yaklaşık üçüncü saniyeye kadar Δf_1 değerinde 0.03 p.u. lik bir azalma gözlenir. Bu saniyeden sonra kontrolör etkisini daha fazla göstermekte ve negatif değerdeki Δf_1 değeri tekrar sıfır değerine geri getirtilmeye çalışılmıştır. Δf_1 işareti 9 ve 12. nci saniyeler arasında üst aşım yaptıktan Δf_1 sıfır değeri etrafına oturmaktadır. Fakat tam olarak sıfır olmamakta, sıfır değeri etrafında osilasyon yapmaya başlamaktadır.



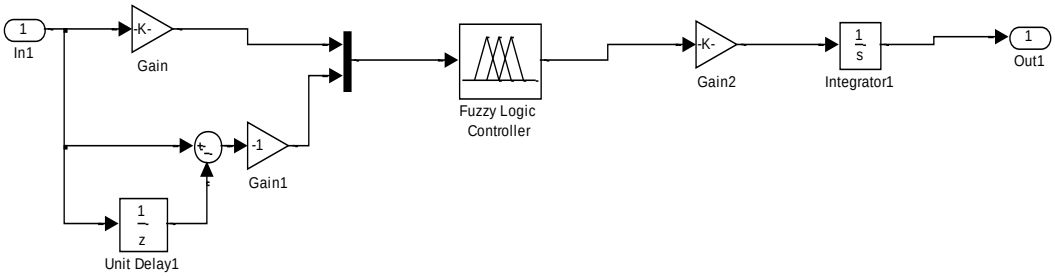
Şekil 5.10: ΔP_{12} in zamana göre cevabı (ΔP_{L1} = 0.01 p.u.)

Birinci alanla ikinci alanı birbirine bağlayan bağlantı hattındaki ΔP_{12} bağlantı hattı güç değişimi değerinin zamana göre cevabı şekil 5.10 te görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi 0.01 p.u. lik ΔP_L ani yük değişimi sisteme birinci saniyede etki etmektedir. Birinci saniyeden yaklaşık ikinci saniyeye kadar Δf_1 değerinde $5.5.10^{-4}$ p.u. lik bir azalma gözlenir. Bu saniyeden sonra kontrolör etkisini daha fazla göstermekte ve negatif değerdeki Δf_1 değeri tekrar sıfır değerine geri getirtilmeye çalışılmıştır. Güç değişimi cevabında kırkıncı saniyeye kadar giderek azalan osilasyon görülmektedir. Bu saniyeden sonra cevap sıfır değeri etrafında küçük osilasyon yapmaktadır.

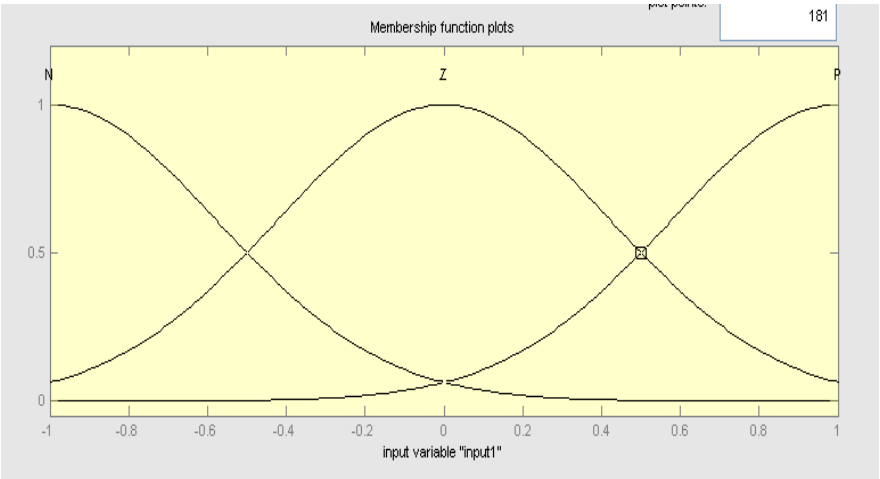
5.2.2 Üç Alanlı Üretim Sisteminin Bulanık Mantık Kontrolörü İle Kontrolu

Çalışmanın bu kısmında, üç alanlı üretim sisteminin benzetim modelinde kontrolör olarak bulanık PI tipi kontrolör kullanılmıştır. Benzetim sisteminde bulanık mantık kontrolörü olarak Matlab Fuzzy Logic Araç kutusundaki bulanık mantık kontrolörü modeli kullanılır. Kullanılan bulanık mantık kontrolörün blok diyagramı şekil 5.11 de görülmektedir.

Kullanılan kontrolör iki girişli ve tek çıkışlı Sugeno tipi bir bulanık kontrolörüdür. Bu kontrolör giriş sinyali olarak alan kontrol hatası (ACE) ve alan kontrol hatasının değişimini (ΔACE) kullanır. Bu sinyaller belli kazanç katsayıları ile çarpılarak kontrolör bloğuna gelir. Bu blokta sinyaller üyelik fonksiyonları kullanılarak bulanıklaştırılır. Bulanıklaştırma işlemi için kullanılan üyelik fonksiyonları Şekil 5.8 de görülmektedir.

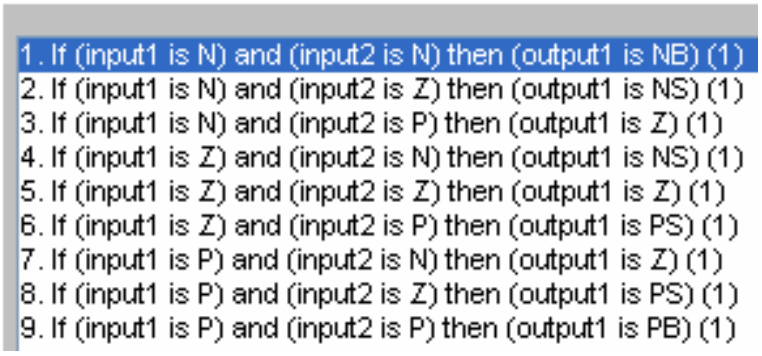


Şekil 5.11: Kullanılan bulanık mantık kontrolörün blok diyagramı



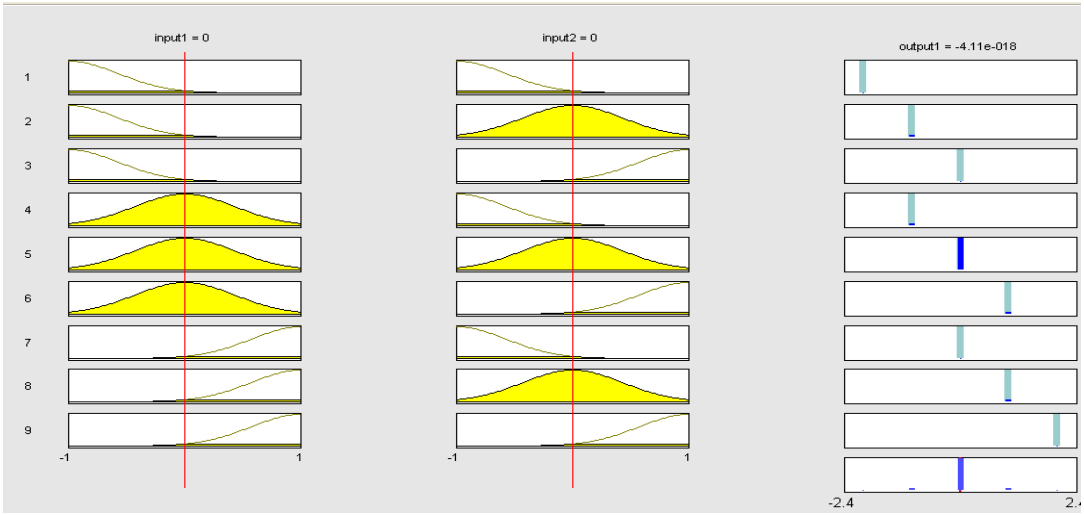
Şekil 5.12: Kullanılan üyelik fonksiyonları

Çalışmada kullanılan üyelik fonksiyonları gauss eğrisi şeklindedir. Üyelik fonksiyonları [-1 1] çalışma aralığında çalışır. Kontrolörün kural tabanı 3X3 = 9 kuraldan oluşur. Şekil 5.13 kontrolörde kullanılan kural tablosunu gösterir.



Şekil 5.13: Kontrolörde kullanılan kural tablosu

Üyelik fonksiyonları bu kural tablosuna göre işlem görürler. Bu işlemler sonucunda bulanık tipte sonuçlar bulunur. Bulunan bu sonuçlar singleton şeklindeki üyelik fonksiyonları ile gösterilir. Anlatılan bu işlemler Şekil 5.14 de görülmektedir.



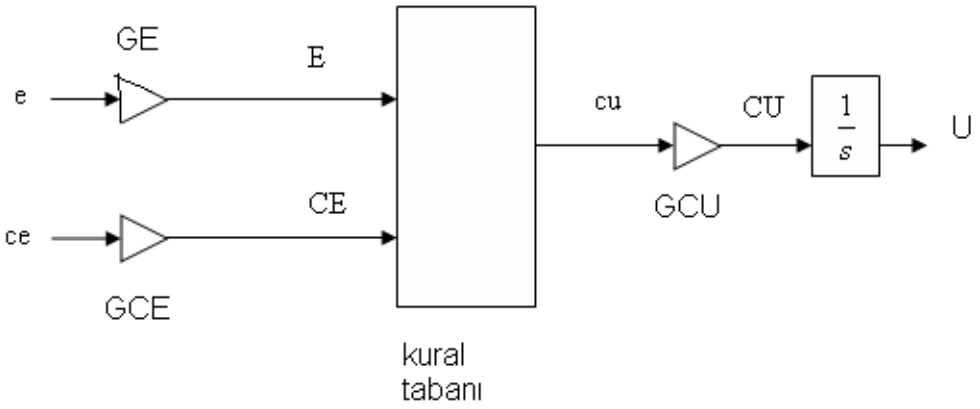
Şekil 5.14: Kontrol giriş ve çıkışlarının üyelik fonksiyonlarının görünüşü

Bu işlemlerden sonra bulunan sonuç bulanık bir değere sahiptir ve durulaştırma işlemi ile bir kesin sayıya dönüştürülmesi gerekir. Durulaştırma işlemi (singletonlar için ağırlık merkezi yöntemi) işlemi kullanılarak bulunmuş ve en sonunda bulunan bu kesin sayıya karşılık düşen sinyal bir kazanç katsayısı ile çarpılıp integrali alınmıştır böylece üretim sistemini kontrol etmek için bir kontrol sinyali üretilmiştir.

Bulanık PI kontrolörün giriş ve çıkış kazanç değerlerinin belirlenmesi aşağıda anlatılan şekilde bulunmuştur. Klasik PI kontrolör eşitliği,

$$u_n = K_p(e_n + \frac{1}{T_i}\sum_{j=1}^{n} e_j T_s) \quad \textbf{(5.2)}$$

şeklindedir. Şekil 5.15 deki bulanık PI kontrolör blok diyagramına baktığımızda,



Şekil 5.15: Bulanık PI kontrolör yapısı

$$U_n = \sum_{i=1}^{n}(E_i + CE_i) * GCU * T_s$$

$$= GCU * \sum_{i=1}^{n}[GE * e_i + GCE * \frac{e_i - e_{i-1}}{T_s}] * T_s$$

$$= GCU * [GE * \sum_{i=1}^{n} e_i * T_s + GCE * \sum_{i=1}^{n}(e_i - e_{i-1})]$$

$$= \text{GCE*GCU*}[\frac{GE}{GCE}\sum_{i=1}^{n} e_i * T_s + e_n \quad] \quad \textbf{(5.3)}$$

Eşitlik ve eşitlik karşılaştırılırsa,

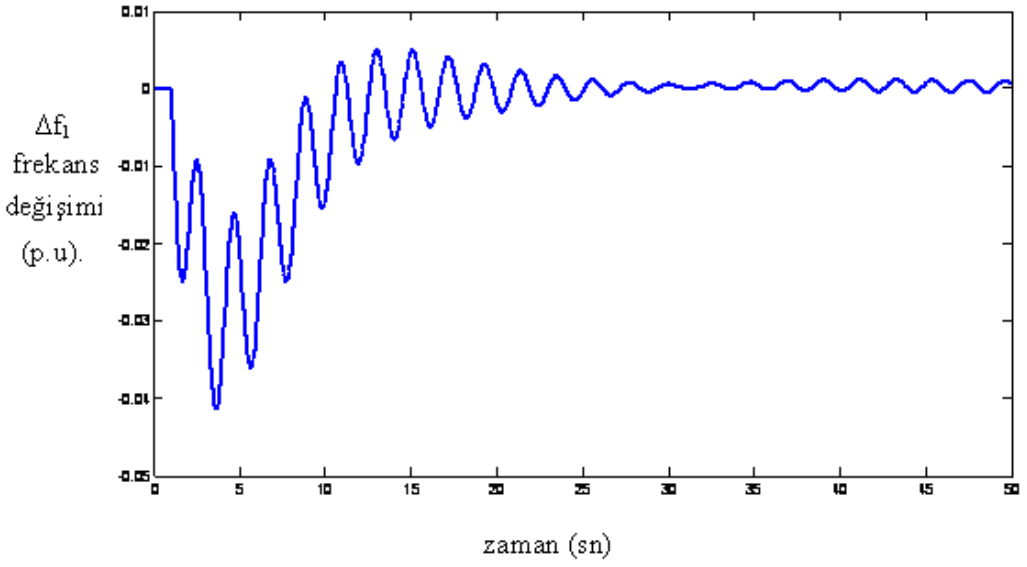
$$\frac{GE}{GCE} = \frac{1}{T_i} \quad \textbf{(5.4)}$$

olduğu görülür [23]. Klasik PI kontrolörün kazanç katsayılarından bu ifadeye göre GE ve GCE katsayıları bulunmuştur. GCU kazanç katsayısı el ile ayarlanmış ve tüm kazanç katsayıları belirlenmiştir. Üç alan için kazanç katsayıları,

Tablo 5.4: Üç alan için kazanç katsayıları

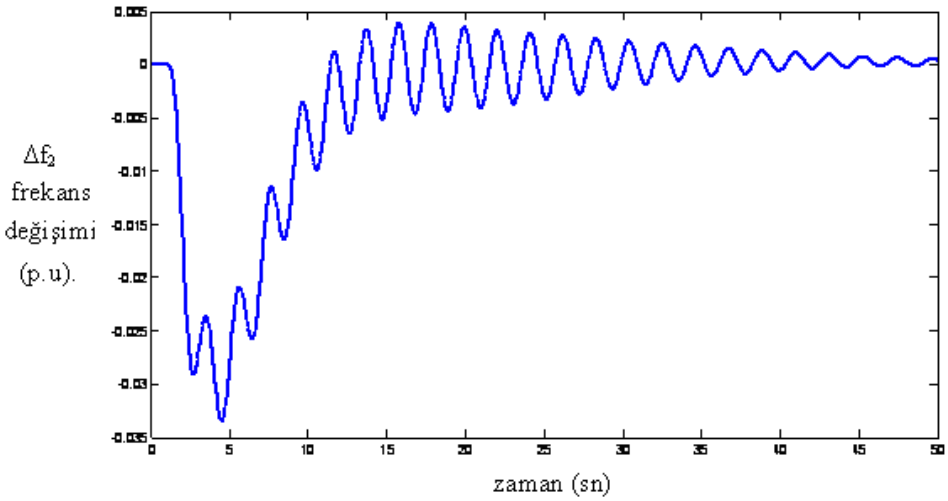
	GE	GCE	GCU
Kontrolör 1	30	-10	-0.0025
Kontrolör 2	10	-50	-0.005
Kontrolör 3	-6000	-250	0.0001

Bu kazanç değerlerine göre bulunan Δf_1, Δf_2, Δf_3 ve ΔP_{12} cevapları,



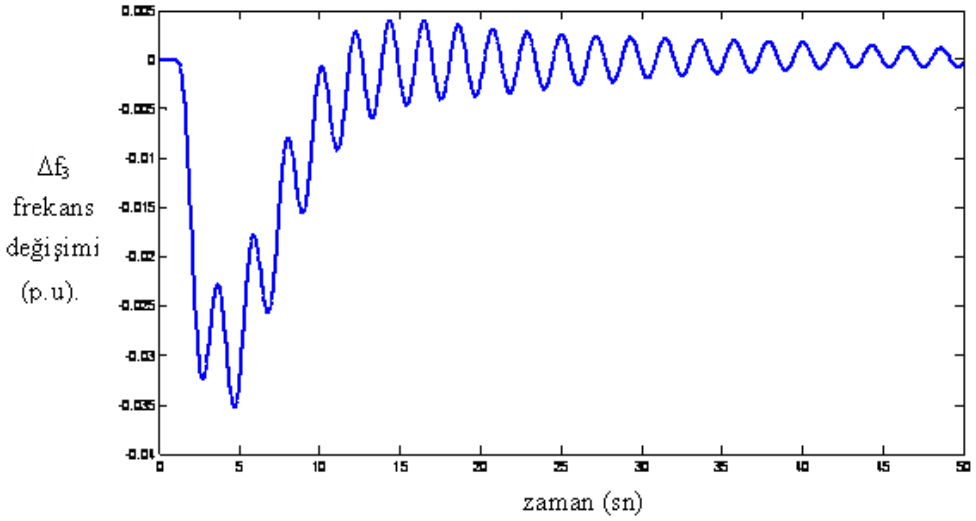
Şekil 5.16: Birinci alandaki Δf_1 in zamana göre cevabı (ΔP_{L1} = 0.01 p.u.)

Birinci alandaki Δf_1 frekans değişiminin zamana göre cevabı şekil 5.16 te görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi 0.01 p.u. lik ΔP_L ani yük değişimi sisteme birinci saniyede etki etmektedir. Birinci saniyeden yaklaşık dördüncü saniyeye kadar Δf_1 değerinde 0.04 p.u. lik bir azalma gözlenir. Bu saniyeden sonra kontrolör etkisini daha fazla göstermekte ve negatif değerdeki Δf_1 değeri tekrar sıfır değerine geri getirtilmeye çalışılmıştır. Δf_1 işareti 12. nci saniyeden sonra dengeye oturur ve sıfır değeri etrafında osilasyon yapmaya başlar. Bu osilasyonlar zaman geçtikçe azalır.



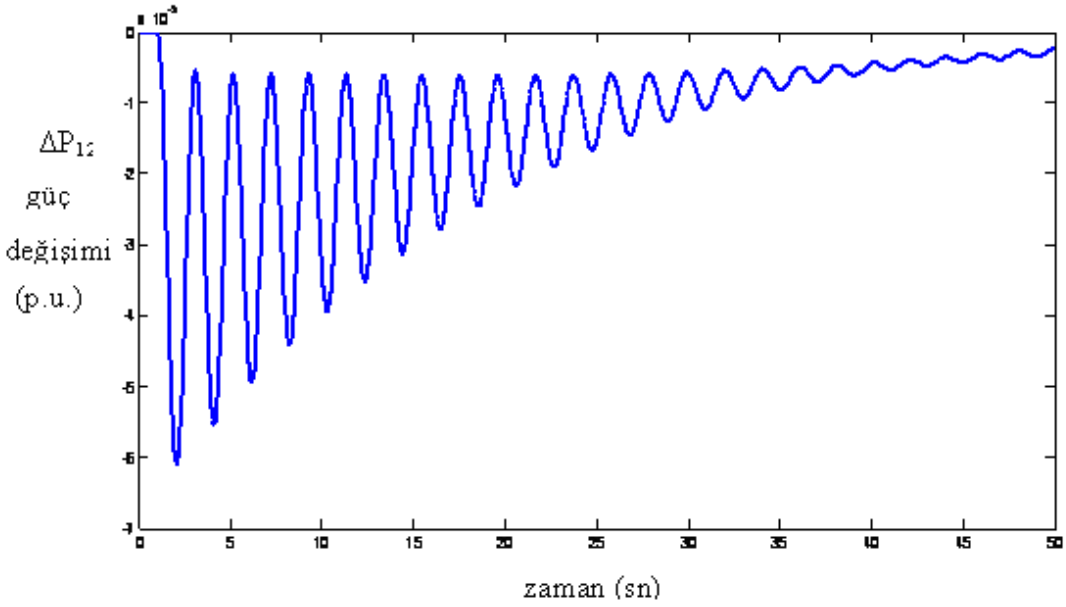
Şekil 5.17: İkinci alandaki Δf_2 in zamana göre cevabı (ΔP_{L1} = 0.01 p.u.)

İkinci alandaki Δf_2 frekans değişiminin zamana göre cevabı şekil 5.17 te görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi 0.01 p.u. lik ΔP_L ani yük değişimi sisteme birinci saniyede etki etmektedir. Birinci saniyeden yaklaşık dördüncü saniyeye kadar Δf_1 değerinde yaklaşık 0.035 p.u. lik bir azalma gözlenir. Bu saniyeden sonra kontrolör etkisini daha fazla göstermekte ve negatif değerdeki Δf_1 değeri tekrar sıfır değerine geri getirtilmeye çalışılmıştır. Δf_1 işareti 13. nci saniyeden sonra dengeye oturur ve sıfır değeri etrafında osilasyon yapmaya başlar. Bu osilasyonlar zaman geçtikçe azalır.



Şekil 5.18: Üçüncü alandaki Δf_3 ün zamana göre cevabı (ΔP_{L1} = 0.01 p.u.)

Üçüncü alandaki Δf_3 frekans değişiminin zamana göre cevabı şekil 5.18 te görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi 0.01 p.u. lik ΔP_L ani yük değişimi sisteme birinci saniyede etki etmektedir. Birinci saniyeden yaklaşık beşinci saniyeye kadar Δf_1 değerinde 0.035 p.u. lik bir azalma gözlenir. Bu saniyeden sonra kontrolör etkisini daha fazla göstermekte ve negatif değerdeki Δf_1 değeri tekrar sıfır değerine geri getirtilmeye çalışılmıştır. Δf_1 işareti 13. nci saniyeden sonra dengeye oturur ve sıfır değeri etrafında osilasyon yapmaya başlar. Bu osilasyonlar zaman geçtikçe azalır.



Şekil 5.19 : ΔP_{12} in zamana göre cevabı (ΔP_{L1} = 0.01 p.u.)

Birinci alanı ikinci alana bağlayan bağlantı hattı güç değişimi değeri ΔP_{12} değerinin zamana göre cevabı şekil 5.19 te görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi 0.01 p.u. lik ΔP_L ani yük değişimi sisteme birinci saniyede etki etmektedir. Birinci saniyedeki bu etki sonrası ΔP_{12} değeri azalır ve negatif alanda 0.006 p.u. değerine kadar azalır böylece sistemde bir alan kontrol hatası oluşur ve bunun üzerine Bulanık PI kontrolör harekete geçip hata işaretini sıfırlamaya çalışır. Hata işareti başlangıçta büyük osilasyonlar yaparak sıfır noktasına doğru yaklaşmaya başlar. Osilasyon zaman geçtikçe azalmaya başlar ve kontrolör hata işaretini 50. nci saniye sonunda sıfır değerine çok yaklaştırmış ve osilasyonu büyük ölçüde söndürmüştür.

5.2.3 Genetik Algoritma ile Parametreleri Ayarlanmış Bulanık Mantık Kontrolörü İle Kontrol

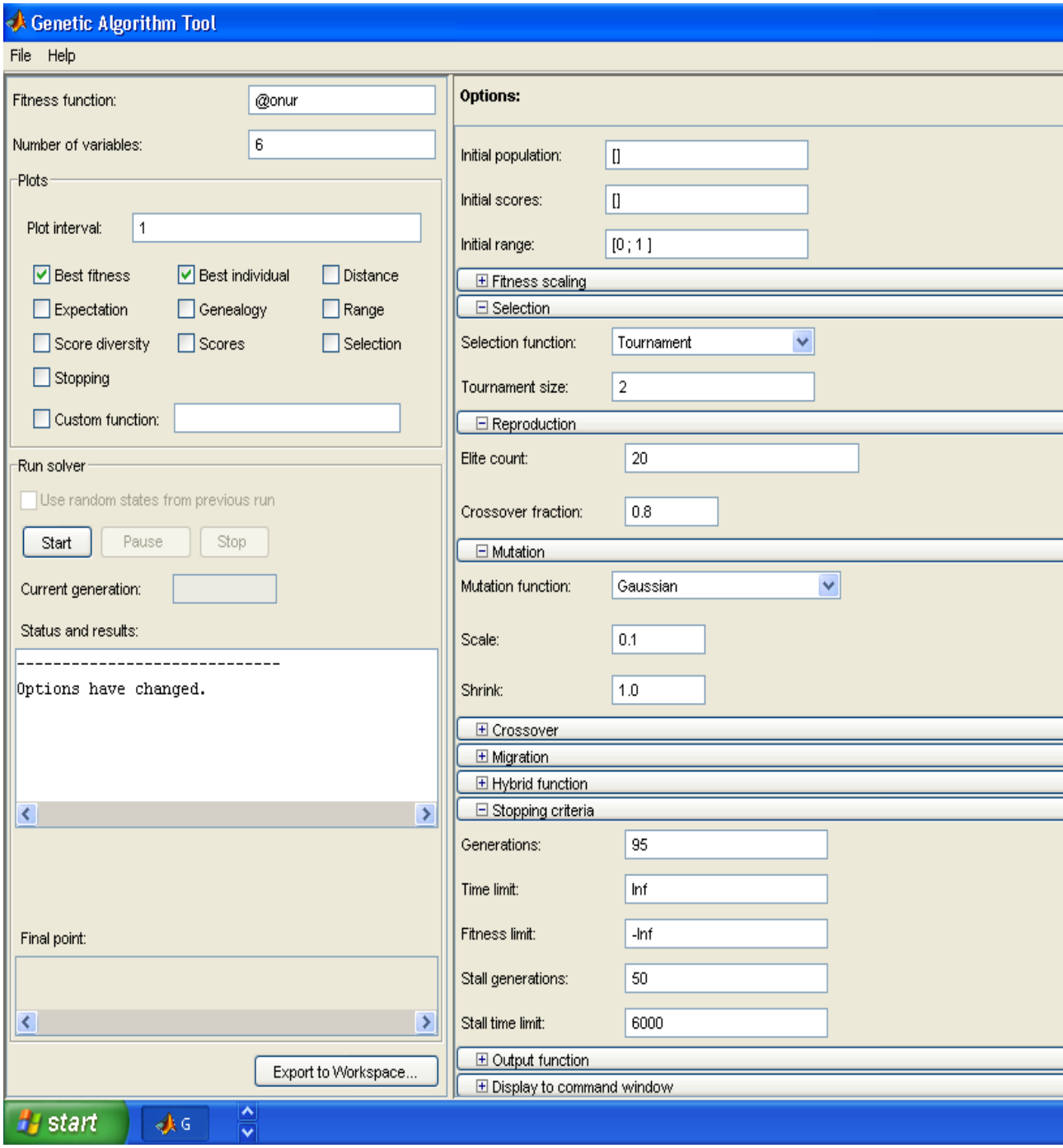
Çalışmanın bu kısmında da üç alanlı üretim sisteminin benzetim modelinde kontrolör olarak yine Bulanık PI kontrolör kullanılacaktır fakat bu defa kontrolörün kazanç parametrelerinin en uygun değerleri genetik algoritma kullanılarak belirlenecektir. Çalışmada parametrelerin en uygun değerlerini bulmak için genetik algoritma modeli olarak Matlab GA Araç kutusu ve sistemin ISTSE (hatanın karesi ile çarpılan zamanın karesinin integrali) performans indisi kullanılmıştır.

Genetik algoritma yolu ile sistemde kontrol edilen hata değerlerinin minimize edilmesinde ISTSE performans indisinden yararlanılır. ISTSE performans indisi aşağıdaki eşitlikte görülmektedir,

$$ISTSE = \int_0^\infty t^2 (\Delta P_{12}^2 + \alpha \Delta f_1^{\,2} + \gamma \Delta f_2^{\,2} + \lambda \Delta f_3^{\,2} + \Delta P_{31}^2 + \Delta P_{23}^2) dt \qquad \textbf{(5.5)}$$

Burada α = 0.21, γ=0.21, λ= 0.21 olarak verilmiştir. incelenilen üç alanlı üretim sisteminin benzetim modelinde, performans indisinin benzetimi yapılarak sisteme eklenmiştir.

Çalışmada yukarıda bahsedildiği gibi genetik algoritma modeli olarak Matlab GA araç kutusu kullanılmıştır.



Şekil 5.20: Matlab GA araç kutusu

Genetik algoritma ile en uygun kontrolör kazançlarını bulmak için genetik algoritma aracına nesil boyu, çaprazlama fonksiyonu, mutasyon fonksiyonu gibi bilgiler girilmiştir. Kullanılan genetik algoritmada, nesil boyu olarak 50 birey seçilmiştir. 9 tane kazanç katsayısının en uygun değerleri aranmıştır. Seçim fonksiyonu olarak turnuva (tournament) seçim fonksiyonu seçilmiştir. Bu seçim fonksiyonunun seçilme sebebi reel sayılar için en iyi sonuç veren yöntemlerden biri olmasıdır. Burada

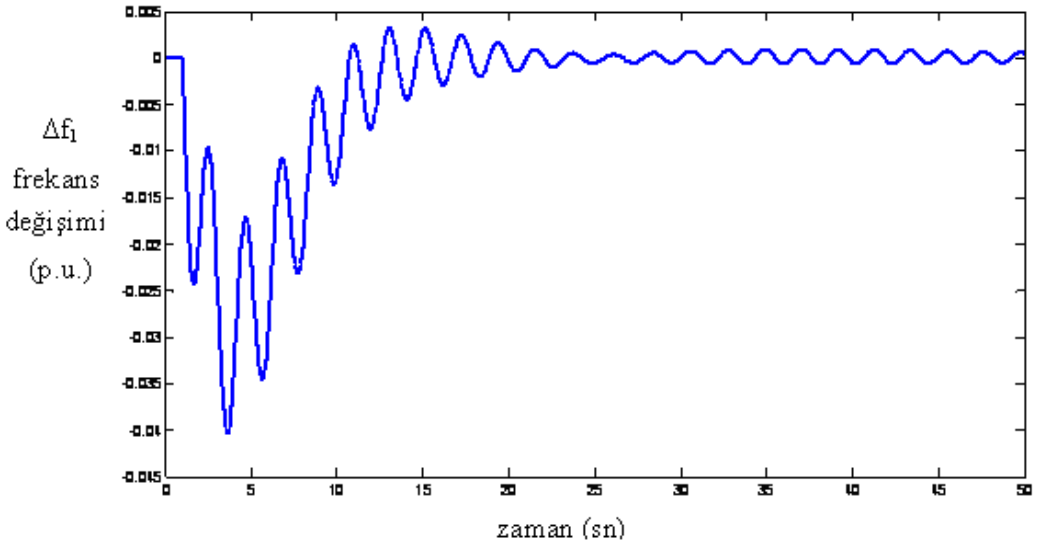
turnuva boyu 2 seçilmiştir. Çaprazlama olasılığı 0.8 seçilmiş ve 20 birey elitizm için seçilmiştir. Mutasyon fonksiyonu olarak Gaussian mutasyon yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemin seçilme nedeni günümüzde en iyi sonuç veren mutasyon yöntemlerinden biri olmasıdır. Gaussian mutasyon aralığı 0.1 seçilmiştir. Çaprazlama fonksiyonu olarak iki noktadan çaprazlama yöntemi seçilmiştir.

Genetik algoritma aracına bu bilgiler girildikten sonra benzetim sisteminde en uygun parametre değerlerinin bulunması işlemi başlamış ve aşağıda tabloda belirtilen kazanç değerleri bulunmuştur.

Tablo 5.5: Bulanık PI kontrolörün GA ile bulunan kazanç değerleri tablosu

	GE	GCE	GCU
Kontrolör 1	-0.24171	-1	0.45
Kontrolör 2	-0.24171	-0.25656	0.3
Kontrolör 3	0.01561	0.12764	2

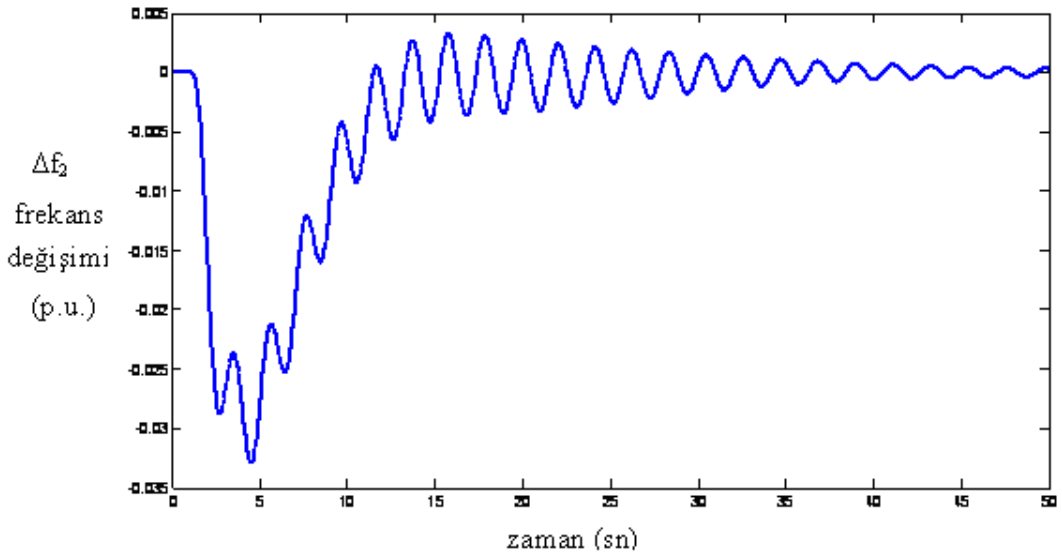
Bulunan katsayılarla bulunan Δf_1, Δf_2, Δf_3 ve ΔP_{12} cevapları,



Şekil 5.21: Birinci alandaki Δf_1 in zamana göre cevabı (ΔP_{L1} = 0.01 p.u.)

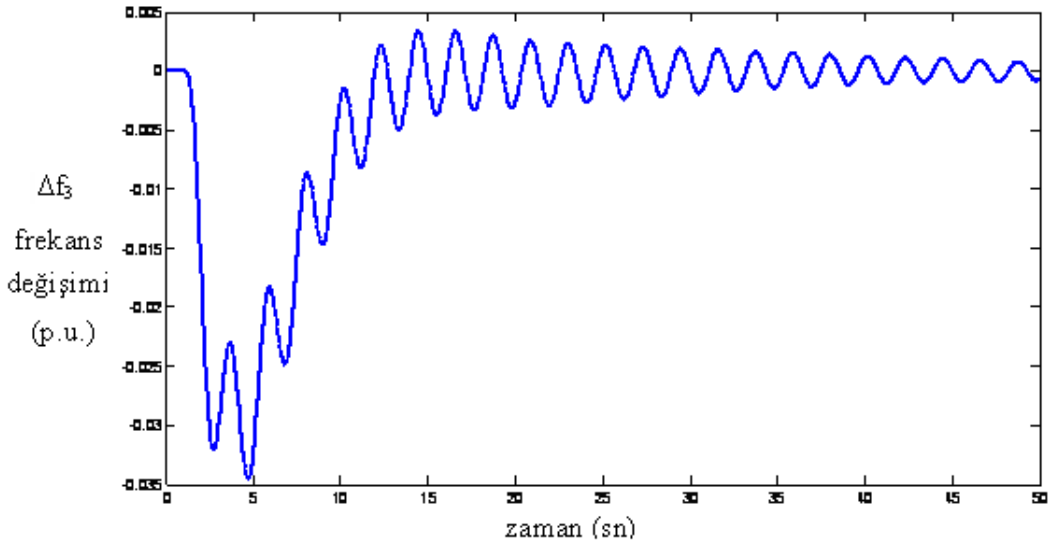
Birinci alandaki Δf_1 frekans değişiminin zamana göre cevabı şekil 5.21 te görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi 0.01 p.u. lik ΔP_L ani yük değişimi sisteme birinci saniyede etki etmektedir. Birinci saniyedeki bu etki sonrası Δf_1 değeri azalır

ve negatif alanda 0.04 p.u. değerine kadar azalır böylece sistemde bir alan kontrol hatası oluşur ve bunun üzerine kazanç parametreleri genetik algoritma ile bulunan Bulanık PI kontrolör harekete geçip hata işaretini sıfırlamaya çalışır. Hata işareti başlangıçta büyük osilasyonlar yaparak sıfır noktasına doğru yaklaşmaya başlar. Hata işareti 12.nci saniye sonunda dengeye oturmaya başlar ve osilasyon zaman geçtikçe azalmaya başlar ve kontrolör hata işaretini 20. nci saniye sonunda sıfır değerine çok yaklaştırmış ve osilasyonu büyük ölçüde söndürmüştür.



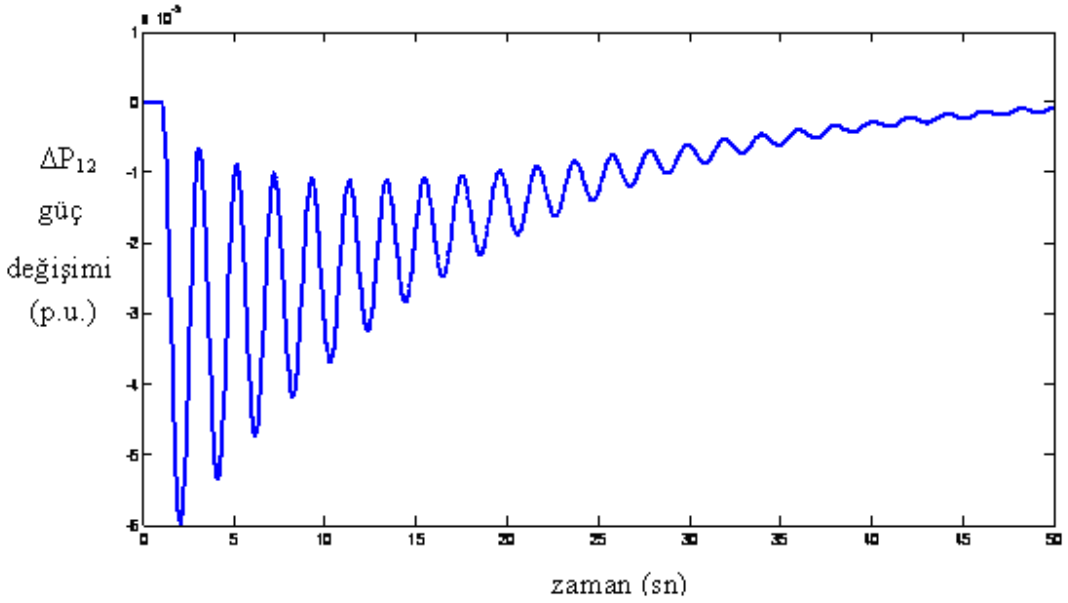
Şekil 5.22: İkinci alandaki Δf_2 in zamana göre cevabı (ΔP_{L1} = 0.01 pu)

İkinci alandaki Δf_2 frekans değişiminin zamana göre cevabı şekil 5.22 te görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi 0.01 p.u. lik ΔP_L ani yük değişimi sisteme birinci saniyede etki etmektedir. Birinci saniyedeki bu etki sonrası Δf_1 değeri azalır ve negatif alanda 0.035 p.u. değerine kadar azalır böylece sistemde bir alan kontrol hatası oluşur ve bunun üzerine kazanç parametreleri genetik algoritma ile bulunan Bulanık PI kontrolör harekete geçip hata işaretini sıfırlamaya çalışır. Hata işareti başlangıçta osilasyonlar yaparak sıfır noktasına doğru yaklaşmaya başlar. Hata işareti 15.nci saniye sonunda dengeye oturmaya başlar ve osilasyon zaman geçtikçe azalmaya başlar ve kontrolör hata işaretini 35. nci saniye sonunda sıfır değerine çok yaklaştırmış ve osilasyonu büyük ölçüde söndürmüştür.



Şekil 5.23: Üçüncü alandaki Δf_3 ün zamana göre cevabı (ΔP_{L1} = 0.01pu)

Üçüncü alandaki Δf_3 frekans değişiminin zamana göre cevabı şekil 5.23 te görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi 0.01 p.u. lik ΔP_L ani yük değişimi sisteme birinci saniyede etki etmektedir. Birinci saniyedeki bu etki sonrası Δf_1 değeri azalır ve negatif alanda 0.035 p.u. değerine kadar azalır böylece sistemde bir alan kontrol hatası oluşur ve bunun üzerine kazanç parametreleri genetik algoritma ile bulunan Bulanık PI kontrolör harekete geçip hata işaretini sıfırlamaya çalışır. Hata işareti başlangıçta osilasyonlar yaparak sıfır noktasına doğru yaklaşmaya başlar. Hata işareti 15.nci saniye sonunda dengeye oturmaya başlar ve osilasyon zaman geçtikçe azalmaya başlar ve kontrolör hata işaretini 40. nci saniye sonunda sıfır değerine çok yaklaştırmış ve osilasyonu büyük ölçüde söndürmüştür.

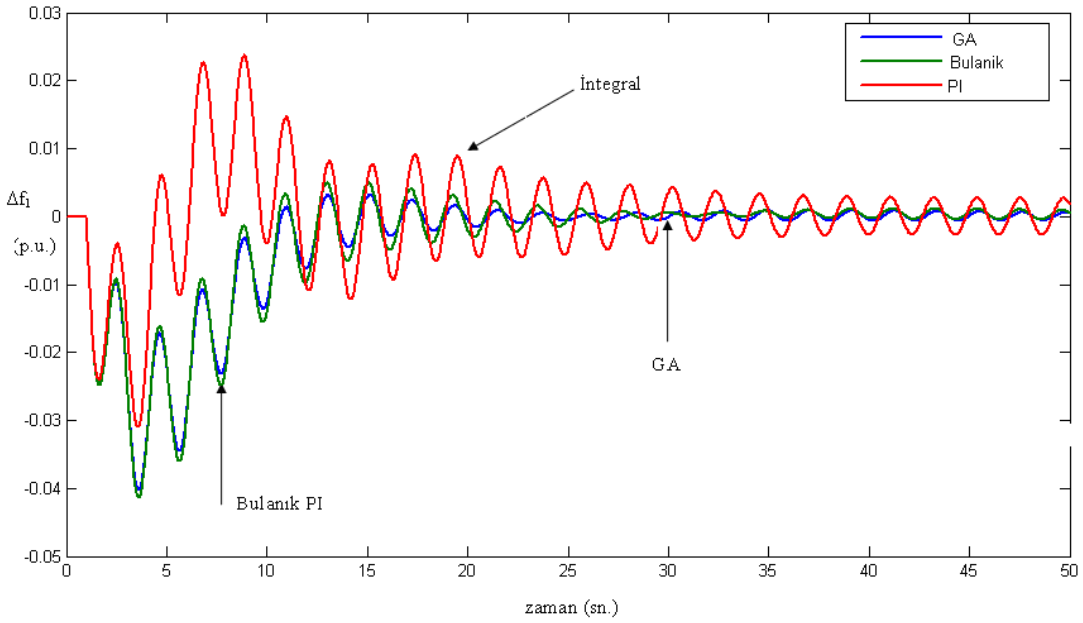


Şekil 5.24: ΔP_{12} in zamana göre cevabı (ΔP_{L1} = 0.01 pu)

Birinci alanı ikinci alana bağlayan bağlantı hattı güç değişimi değeri ΔP_{12} değerinin zamana göre cevabı şekil 5.24 te görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi 0.01 p.u. lik ΔP_L ani yük değişimi sisteme birinci saniyede etki etmektedir. Birinci saniyedeki bu etki sonrası ΔP_{12} değeri azalır ve negatif alanda 0.006 p.u. değerine kadar azalır böylece sistemde bir alan kontrol hatası oluşur ve bunun üzerine kazanç parametreleri genetik algoritma ile bulunan Bulanık PI kontrolör harekete geçip hata işaretini sıfırlamaya çalışır. Hata işareti başlangıçta büyük osilasyonlar yaparak sıfır noktasına doğru yaklaşmaya başlar. Osilasyon zaman geçtikçe azalmaya başlar ve kontrolör hata işaretini 50. nci saniye sonunda sıfır değerine çok yaklaştırmış ve osilasyonu büyük ölçüde söndürmüştür

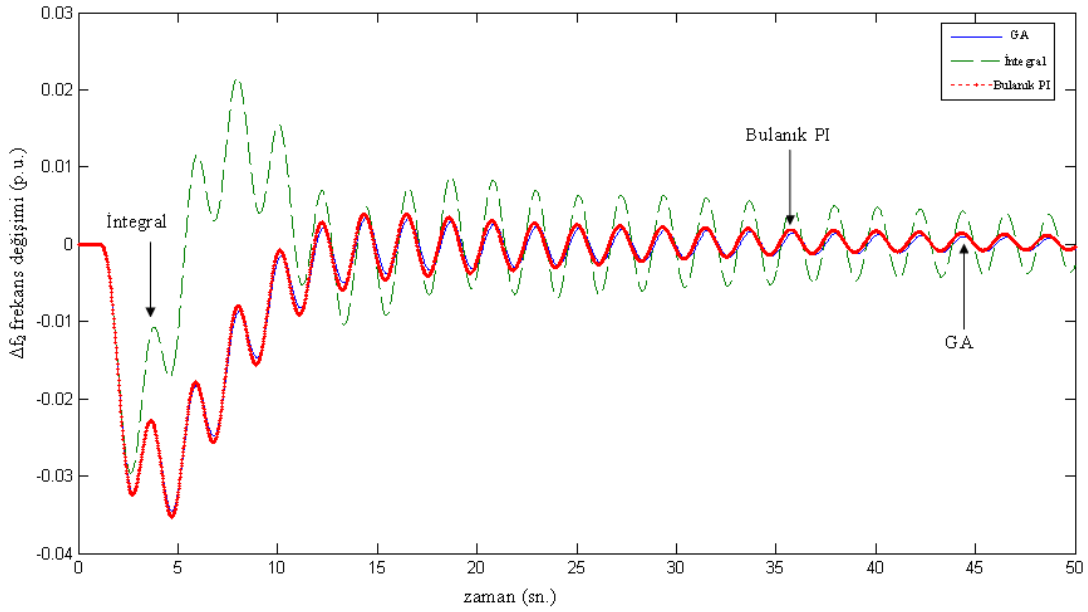
5.2.4 Sistemin Üç Farklı Kontrolöre Göstermiş Olduğu Cevapların Karşılaştırılması

Bu bölümde önceki kısımlarda gösterilen üretim sisteminin üç farklı kontrolöre göstermiş olduğu cevaplar tek bir şekil üzerinde bir arada gösterilmiştir. Şekil 5.25 bu bir arada gösterilen cevaplar görülebilir.



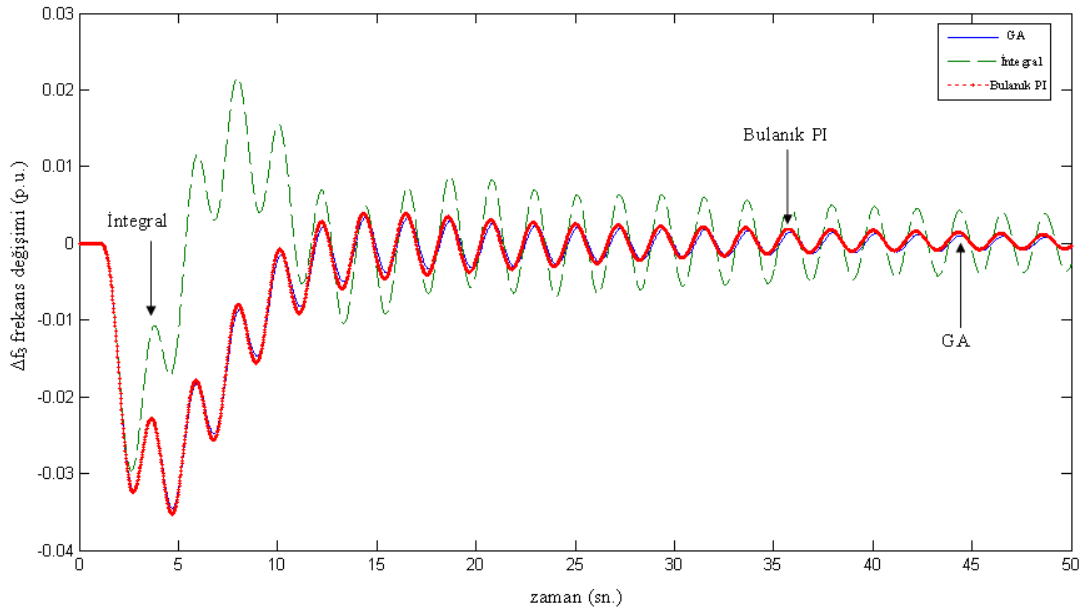
Şekil 5.25: Δf_1 in integral kontrolör, bulanaık PI kontrolör ve parametreleri GA ile belirlenmiş Bulanık PI kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması (ΔP_{L1} = 0.01 p.u.)

Yukarıdaki şekilde Δf_1 in üç farklı kontrolör için verdiği cevaplar bir arada çizilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi istenilen en uygun cevaba en uzak cevabı integral kontrolör ile kontrol edilen sistem vermiştir. Üretim sistemi integral kontrolör ile kontrol edildiği zaman, Δf_1 frekans değişimi diğer kontrolörlere göre daha geç sıfırda dengeye oturmakta ve daha fazla osilasyon yaptığı gözlenmektedir. Bulanık PI ve kazanç parametreleri genetik algoritma ile bulunan bulanık PI kontrolör kullanılarak bulunan cevaplar incelendiğinde iki kontrolör ile elde edilen frekans değişimi cevapları aynı zamanda sıfır değerinde dengeye oturmaya başlamışlardır fakat kazanç parametreleri genetik algoritma ile bulunan kontrolör kullanılarak elde edilen cevap bulanık PI kontrolöre göre daha az osilasyon yaptığı gözlenmiştir.



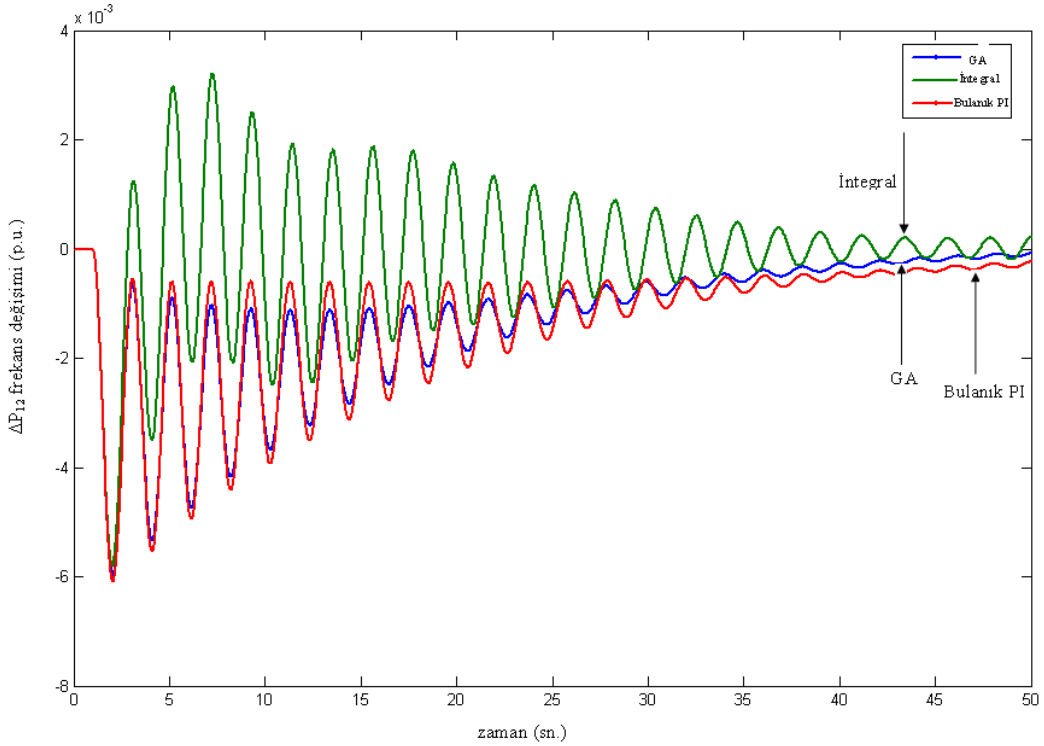
Şekil 5.26: Δf_2 nin üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması (ΔP_{L1} =0.01 p.u.)

Yukarıdaki şekilde Δf_2 in üç farklı kontrolör için verdiği cevaplar bir arada çizilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi istenilen en uygun cevaba en uzak cevabı integral kontrolör ile kontrol edilen sistem vermiştir. Üretim sistemi integral kontrolör ile kontrol edildiği zaman, Δf_2 frekans değişimi diğer kontrolörlere göre daha geç sıfırda dengeye oturmakta ve daha fazla osilasyon yaptığı gözlenmektedir. Bulanık PI ve kazanç parametreleri genetik algoritma ile bulunan bulanık PI kontrolör kullanılarak bulunan cevaplar incelendiğinde iki kontrolör ile elde edilen frekans değişimi cevapları aynı zamanda sıfır değerinde dengeye oturmaya başlamışlardır fakat kazanç parametreleri genetik algoritma ile bulunan kontrolör kullanılarak elde edilen cevap bulanık PI kontrolöre göre daha az osilasyon yaptığı gözlenmiştir.



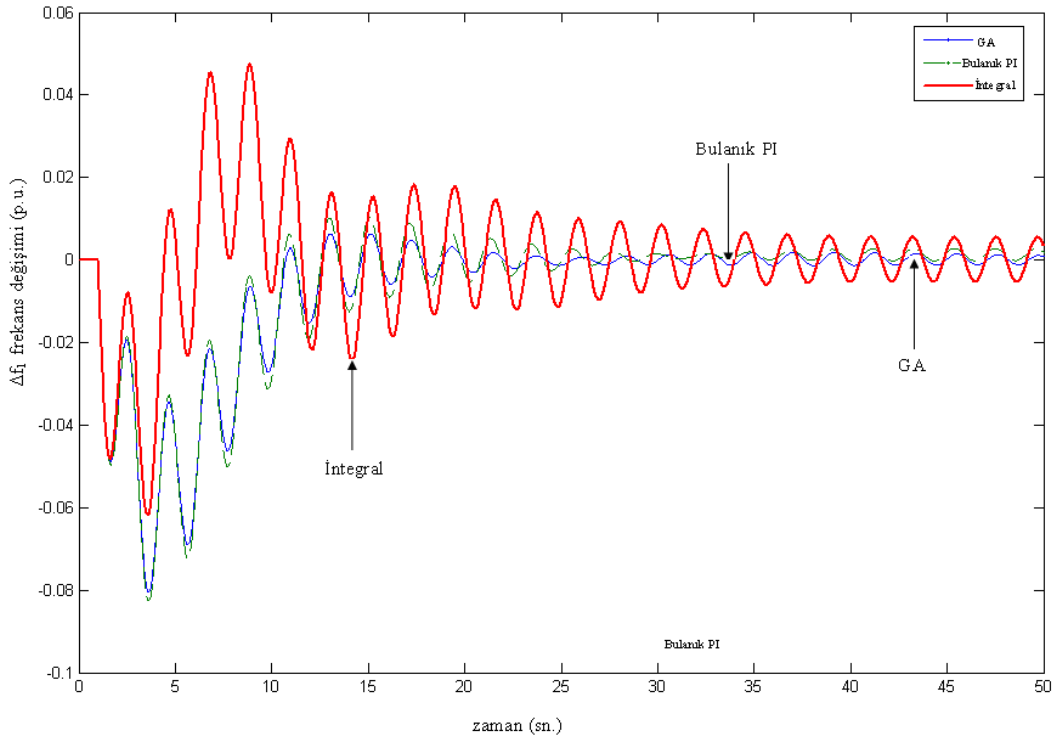
Şekil 5.27: Δf_3 ün üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması (ΔP_{L1} =0.01 p.u.)

Yukarıdaki şekilde Δf_3 in üç farklı kontrolör için verdiği cevaplar bir arada çizilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi istenilen en uygun cevaba en uzak cevabı integral kontrolör ile kontrol edilen sistem vermiştir. Üretim sistemi integral kontrolör ile kontrol edildiği zaman, Δf_3 frekans değişimi diğer kontrolörlere göre daha geç sıfırda dengeye oturmakta ve daha fazla osilasyon yaptığı gözlenmektedir. Bulanık PI ve kazanç parametreleri genetik algoritma ile bulunan bulanık PI kontrolör kullanılarak bulunan cevaplar incelendiğinde iki kontrolör ile elde edilen frekans değişimi cevapları aynı zamanda sıfır değerinde dengeye oturmaya başlamışlardır fakat kazanç parametreleri genetik algoritma ile bulunan kontrolör kullanılarak elde edilen cevap bulanık PI kontrolöre göre daha az osilasyon yaptığı gözlenmiştir.



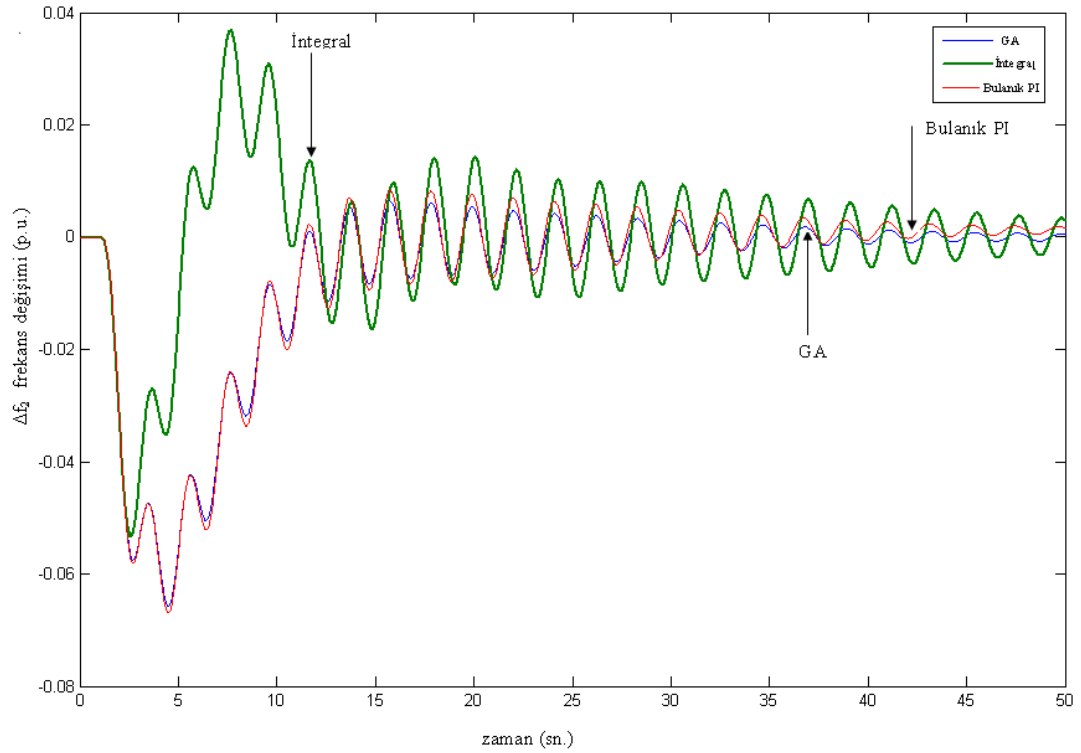
Şekil 5.28: ΔP_{12} ün üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması (ΔP_{L1} =0.01 p.u.)

Yukarıdaki şekilde ΔP_{12} in üç farklı kontrolör için verdiği cevaplar bir arada çizilmiştir. Şekilden de anlaşılacağı gibi istenilen en uygun cevaba en uzak cevabı integral kontrolör ile kontrol edilen sistem vermiştir. Üretim sistemi integral kontrolör ile kontrol edildiği zaman, ΔP_{12} frekans değişimi diğer kontrolörlere göre daha geç sıfırda dengeye oturmakta ve daha fazla osilasyon yaptığı gözlenmektedir. GA ile bulunan bulanık PI kontrolör, kazanç parametreleri el ile bulunan bulanık PI kontrolöre göre ΔP_{12} değeri sıfır değerine daha fazla yaklaşmaktadır ve daha az osilasyon yapmaktadır.



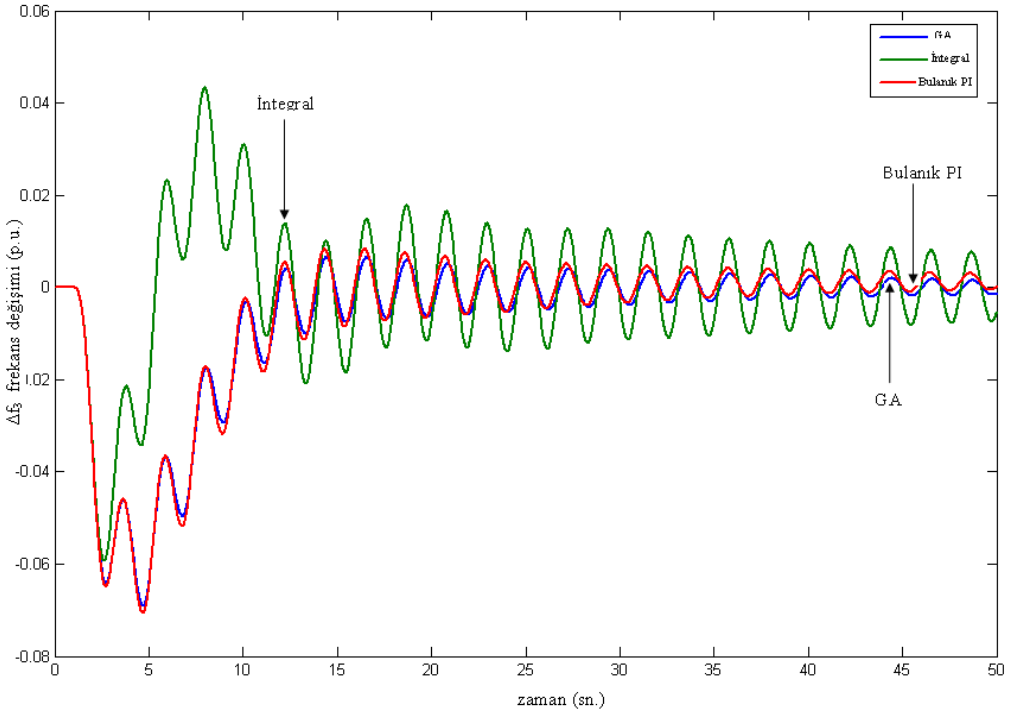
Şekil 5.29: Δf_1 ün üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması (ΔP_{L1} =0.02 p.u.)

Üretim sistemine bu defa 0.02 p.u. lik ani yük değişimi etkisi uygulanmıştır. Üç kontrolörde ani yük değişimi değeri 0.01 p.u. olduğu zaman gibi aynı cevap karakteristiği göstermişlerdir fakat bu defa cevaplar daha fazla üst ve alt aşım göstermişlerdir.



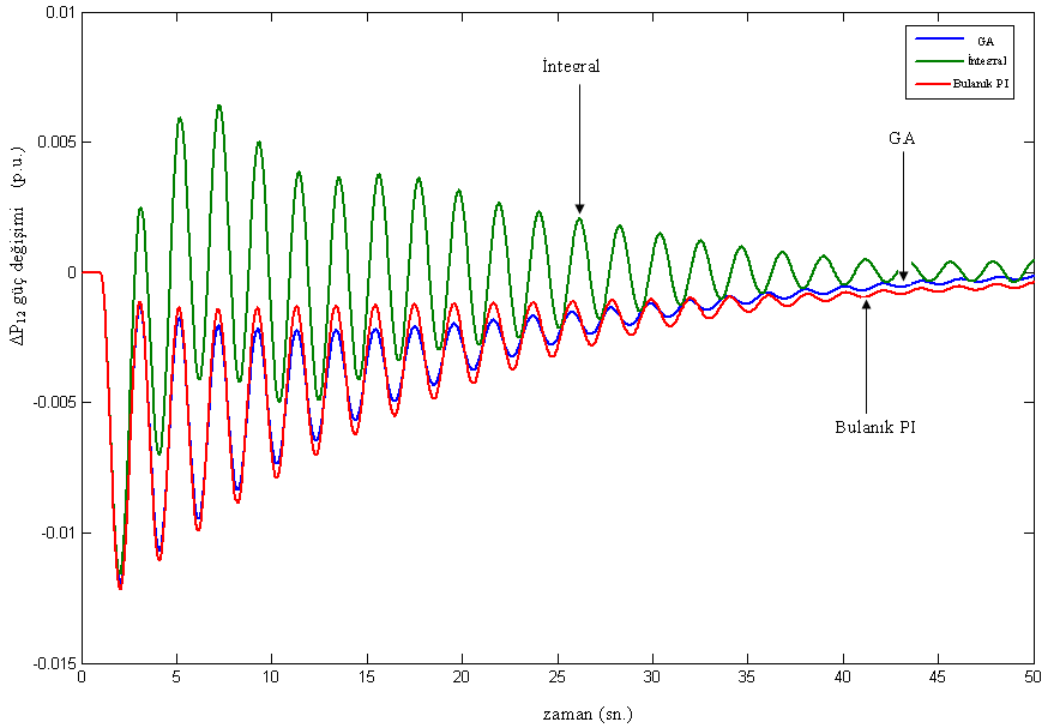
Şekil 5.30: Δf_2 ün üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması (ΔP_{L1} =0.02 p.u.)

Üretim sistemine bu defa 0.02 p.u. lik ani yük değişimi etkisi uygulanmıştır. Üç kontrolör ile bulunan cevaplar incelendiğinde ani yük değişimi değeri 0.01 p.u. olduğu zaman bulunan Δf_2 cevaplara göre daha fazla üst ve alt aşım yapıldığı gözlenmiştir.



Şekil 5.31: Δf_3 ün üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması (ΔP_{L1} =0.02 p.u.)

Üretim sistemine bu defa 0.02 p.u. lik ani yük değişimi etkisi uygulanmıştır. Üç kontrolörde ani yük değişimi değeri 0.01 p.u. olduğu zaman gibi aynı cevap karakteristiği göstermişlerdir fakat bu defa cevaplar iki kat daha fazla üst ve alt aşım göstermişlerdir.



Şekil 5.32: ΔP_{12} ün üç kontrolöre göre cevaplarının karşılaştırılması (ΔP_{L1} =0.02 p.u.)

Üretim sistemine bu defa 0.02 p.u. lik ani yük değişimi etkisi uygulanmıştır. Üç kontrolörde ani yük değişimi değeri 0.01 p.u. olduğu zaman gibi aynı cevap karakteristiği göstermişlerdir fakat bu defa cevaplar iki kat daha fazla üst ve alt aşım göstermişlerdir.

Yukarıdaki şekiller incelendiğinde; üretim sistemine 1. nci saniyede ΔP_L yük etkisi etki etmektedir ve sistem frekansı ve bağlantı hattı gücü değişimi azalarak istenilen değerlerin dışında bir değer almaya başlar. İncelediğimiz kontrolörlerden parametre değerleri GA ile ayarlanmış bulanık PI kontrolörleri, değişen bu frekans ve bağlantı hattı güç değişimini istenilen değerlere en kısa zamanda ve/veya en az üst ve alt aşımla geri getirir. İncelenilen kontrolörlerden ikinci iyi performansı bulanık PI kontrolör göstermiştir. En kötü performansı integral kontrolörler göstermiştir. İntegral kontrolör ile kontrol edilen sistemde frekans ve bağlantı hattı güç değişimi istenilen değerlere diğer kontrolörlere göre daha uzun zamanda ulaşmış ve daha fazla üst ve alt aşım göstermişlerdir.

SONUÇLAR

Yapılan bu tez çalışmasında bilgisayarda benzetim modeli oluşturulan iki ve üç alanlı üretim sisteminin otomatik üretim kontrolu ile kontrol edilmesi incelenmiştir. Çalışmada üretim sisteminin otomatik üretim kontrolunu gerçekleştirmek için üç farklı kontrolör tipi kullanılmıştır.

Literatürde üretim sistemlerinin otomatik üretim kontrolu ile kontrol edilmesi üzerine yapılan çalışmalar daha çok iki termik alan veya birincisi termik ikincisi hidrolik alandan olan iki alanlı üretim sisteminin kontrolu konu alınmıştır. Bu iki alanlı üretim sistemleri kontrol edecek kontrolörü tasarlamak için çeşitli kontrol stratejileri kullanılmış ve geliştirilen bu kontrolörlerle üretim sistemi kontrol edilmiştir. Yapılan bu tez çalışmasında iki termik alandan oluşan iki alanlı üretim sisteminin ve ayrıca iki termik ve bir hidrolik alandan oluşan üç alanlı üretim sisteminin kontrolu ile ilgilenilmiştir. İncelenilen iki ve üç alanlı üretim sisteminin bilgisayarda benzetim modeli oluşturulduktan sonra sırası ile integral kontrolör, bulanık PI kontrolör ve en son olarak kazanç parametreleri genetik algoritma yardımı ile bulunan bulanık PI kontrolör kullanılarak sistemin otomatik üretim kontrolu gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada kullanılan ilk kontrolör tipi integral kontrolördür. Uygulanması son derece basit olan bu kontrolör tipi ile üretim sisteminin birinci saniyede oluşan ani yük değişimi etkisine karşı üretim sisteminin verdiği sistem frekansı değişimi ve alanlar arası güç değişimi cevapları kontrol edilmiş, sistem frekans ve alanlar arası güç değişimini değerlerinin önceden belirlenmiş limitlerde kalması sağlanmıştır. Sistemde birinci saniye sonunda oluşan ani yük değişimi sonucunda frekans değeri istenilen frekans değerinden uzaklaşarak azalmıştır bunun üzerine integral kontrolör oluşan bu sürekli hal hatasını sıfırlayabilmek için faaliyete geçmiş ve sistem frekansını ve alanlar arası güç değişimi değerini tekrar istenilen değerlere geri getirmiştir. İntegral kontrolör kullanılmasıyla elde edilen frekans değişimi ve alanlar arası güç değişimi cevapları incelendiğinde kullanılan üç tip kontrolör içinde istenilen davranışa en uzak sonuçlar elde edilmiştir. İntegral kontrolör sürekli hal hatasını sıfıra indirebilmiştir fakat diğer kontrolör performansları ile karşılaştırıldığında bunu en geç gerçekleştiren kontrolör tipi olmuştur ayrıca sürekli hal hatasının sıfırlanması süresinde kontrol edilen hata işareti diğer kontrolör tipleri cevaplarına göre daha büyük genlikte üst ve alt aşım yaptığı tespit edilmiştir.

Çalışmada kullanılan ikinci kontrolör tipi ise bulanık PI kontrolördür. Çalışma prensibi bulanık mantığa ve klasik PI kontrolöre dayanan bu kontrolör tipi ile üretim sisteminin birinci saniyede oluşan ani yük değişimi etkisine karşı üretim sisteminin verdiği sistem frekansı değişimi ve alanlar arası güç değişimi cevapları kontrol edilmiş, sistem frekans ve alanlar arası güç değişimini değerlerinin önceden belirlenmiş limitlerde kalması sağlanmıştır. Sistemde birinci saniye sonunda oluşan ani yük değişimi sonucunda frekans değeri istenilen frekans değerinden uzaklaşarak azalmıştır. Bunun üzerine bulanık PI kontrolör oluşan bu sürekli hal hatasını sıfırlayabilmek için faaliyete geçmiş ve sistem frekansını ve alanlar arası güç değişimi değerini tekrar istenilen değerlere geri getirmiştir. Bulanık PI kontrolör kullanılmasıyla elde edilen frekans değişimi ve alanlar arası güç değişimi cevapları incelendiğinde, elde edilen cevapların integral kontrolör ile bulunan cevaplara göre çok iyi olduğu ve istenilen optimal sonuçlara daha yakın olduğu görülür. Bulanık PI kontrolör ile sürekli hal hatası daha kısa sürede sıfıra indirilmiştir, ayrıca hatanın ortaya çıktığı zamandan hatanın sıfırlandığı zamana kadar geçen sürede hata işaretinin daha az üst ve alt aşım yaptığı gözlenmiştir.

Çalışmada kullanılan üçüncü ve son kontrolör tipi ise kazanç parametreleri genetik algoritma yardımı ile belirlenen bulanık PI kontrolördür. Bundan önce anlatılan bulanık PI kontrolörün kazanç değerlerinin ayarlanması sistem cevabına göre el ile ayarlanmıştır, incelediğimiz bu tip kontrolörde ise kazanç değerleri kullandığımız ISTSE davranış kriterine bakılarak genetik algoritma yardımı ile bilgisayar tarafından belirlenmiştir. Bu şekilde elde edilen cevaplar istenilen en uygun çözüme en yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Kazanç parametreleri genetik algoritma yardımı ile belirlenen bulanık PI kontrolör ile hatanın ortaya çıktığı zamandan hatanın sıfırlandığı zamana kadar geçen sürede hata işareti, incelenilen diğer kontrolör tipi kullanılarak elde edilen cevaplara göre daha az üst ve alt aşım yapmış ve/veya sürekli hal hatası daha kısa sürede sıfıra indirilmiştir. Kazanç parametrelerinin genetik algoritma yardımı ile bulunması sırasında bilgisayarın çalışma zamanında büyük artış olduğu gözlenmiştir.

Kullanılan üç kontrolör tipi için elde edilen sonuçlar incelendiğinde üç kontrolörde otomatik üretim kontrolunun temel amacı olan sürekli hal hatasını sıfıra indirme işlemini başarı ile yapmışlardır. İncelenilen üç kontrolör tipi göz önüne alındığında en başarılı sonuçlar kazanç parametreleri genetik algoritma ile belirlenen bulanık PI kontrolör olmuştur. Bu kontrolör ile ve kazanç değerleri el ile ayarlanan klasik bulanık PI kontrolör ile amaçlanan cevaplardan daha iyi sonuçlar bulunmuştur.

Yapılan bu çalışmada bozucu yük etkisi sadece birinci alana uygulanmıştır ve termik alandaki kazan etkisi üretim sistemine dahil edilmemiştir. Bu çalışmayı gelecekte daha da ilerletmek için üretim sistemine iki veya üç alanda bozucu etki uygulanarak ve kazan etkisini dahil ederek incelenebilir. Sistem performansını artırmak için sisteme ayrıca süper iletken manyetik enerji saklayıcı SMES (ing. süperconducting magnetic energy storage) eklenebilir.

KAYNAKLAR

[1] Hiyama, T. and Koya, S. and Yoshimuta, Y., 2000. Fuzzy Logic Based Multi-Functional Load Frequency Control, *IEEE 2000*, 921-926.

[2] Nanda, J. and Kothari, M. L. and Hari, L., Sampled Data Automatic Generation Control of A Two Area Reheat System with Modified Area Control Error, 38-43.

[3] Talaq , J. and Al-Basri F., 1999. Adaptive Fuzzy Gain Scheduling for Load Frequency Control, *IEEE Transactions on power systems*, **14**, No. 1, 145-150.

[4] Nanda, J. and Sakkorama, J. S., 2003. Automatic Generation Control with Fuzzy Logic Controller Considering Generation Rate Constraint, *Proceedings of the 6th International Conference on Advanced Power System Control, Operation and Management,* APSCOM 2003, Hong Kong, 770-775.

[5] Abdel-Hamid, A. M., 2001. A Fuzzy Logic-Based Load Frequency Controller: The Multi-area Control Problem, EPE 2001, Graz

[6] Kothari, M. L. and Nanda, J. and Kothari D. P. and Das S., 1989. Discrete-Mode Automatic Generation Control of A Two-Area Reheat Thermal System with New Area Control Error, *IEEE Transactions on power systems*, **4**, No. 2, 730-738.

[7] El-Sherbiny, M. K. and El-Saady, G. and Yousef, A. M., 2002. Efficient fuzzy logic load-frequency controller, *Energy Conversion and Management* **43**, 1853-1863.

[8] Tiemeier, M. and Bui, C. and Bui C. and Rufino, P., 2004. Automatic Generation Control for Contract-Based Regülation, *Departmant of Electrical Enginnering Iowa State University Design Report Project* No. 15, Iowa.

[9] Demirören, A. ve Zeynelgil, L., 2004. *Elektrik Enerji Sistemlerinin Kararlılığı Kontrolu ve Çalışması*, Birsen Yayınevi, İstanbul

[10] Gonzalez, E. A. and Ambata, L. U., 2004. Adaptive Control Using Fuzzy-PI Means, *De La Salle University ECE Technical Report*, Manila

[11] Jantzen, J., 1999. Tutorial On Fuzzy Logic, *Technical University of Denmark Department of Automation Tech. Report No*. **98-E 868 (logic),** Lyngby, Denmark.

[12] http://en.wikipedia.org/wiki/Fuzzy

[13] http://en.wikipedia.org/wiki/Fuzzy_set

[14] El-Hawary, M. E., 1998. Electric Power Applications of Fuzzy Systems, *IEEE press series on Power Engineering*, New York.

[15] http://www.faqs.org/docs/fuzzy/

[16] http://cs.felk.cvut.cz/mxobitka/ga/

[17] Eiben, A. E. and Smith J. E., 2003. *Introduction to Evolutionary Computing*, Springer

[18] Machowski, J. and Bialek, J. W. and Bumby, J. R., 1997. *Power system Dynamics and Stability*, John Wiley & Sons, New York.

[19] Wood, A. J., 1996. *Power Generation, Operation and Control*, J. Wiley & Sons, New York

[20] Wildi T., 2006. *Electrical Machines, Drivres and Power Systems*, Prentise Hall.

[21] Kundur, P., 1994. *Power System Stability and Control*, McGraw –Hill , New York.

[22] WECC Control Work Group, 1998. WECC Tutorial on Speed Governors.

[23] Jantzen, J., 1999. Design of Fuzzy Controllers, *Technical University of Denmark Department of Automation Tech. Report No.* **98-E 864** (design), Lyngby, Denmark.

ÖZGEÇMİŞ

Hakan Saraçoğlu 30/07/1981 de İstanbul da doğmuştur. Yüksek öğrenimine Yıldız Teknik Üniversitesinde başlamış ve lisans derecesini bu üniversiteden almıştır. Halen İstanbul Teknik Üniversitesinde yüksek lisans yapmaktadır.