

T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DOKTORA TEZİ

GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLİ İKİ BÖLGELİ ENTERKONNEKTE ŞEBEKEDEN
MODERN KONTROL TEKNİKLERİ İLE YÜK-FREKANS KONTROLÜ

Göksu GÖREL

Temmuz 2017

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Göksu GÖREL tarafından hazırlanan GÜNEŞ ENERJİ SİSTEMLİ İKİ BÖLGELİ ENTERKONNEKTE ŞEBEKEDE MODERN KONTROL TEKNİKLERİ İLE YÜK-FREKANS KONTROLÜ adlı Doktora Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Nihat İnanç
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Doktora Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Prof. Dr. Ertuğrul Çam
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan	: Doç. Dr. Tolga Eren	_____
Üye (Danışman)	: Prof. Dr. Ertuğrul Çam	_____
Üye	: Doç. Dr. Necaattin Barışçı	_____
Üye	: Doç. Dr. İsa Navruz	_____
Üye	: Yrd. Doç. Dr. Murat Lüy	_____

11/07/2017

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa Yiğitoğlu
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Güneş Enerji Sistemli İki Bölge Enterkonnekte Şebekede Modern Kontrol
Teknikleri İle Yük-Frekans Kontrolü

GÖREL, Göksu

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora tezi

Danışman: Prof. Dr. Ertuğrul ÇAM

Temmuz 2017, 107 sayfa

Özellikle son on yıl içerisinde, hızla artan elektrik kullanımı ve mevcut enerji kaynaklarının sınırlı oluşu, enerji sektöründe çalışan bilim adamları ve sanayiciler tarafından farklı ve yeni kaynakları ortaya çıkarılmasına sebep olmuştur. Bu nedenle yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilginin daha da fazla artması kaçınılmazdır. Ancak güç sistemlerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması bazı problemleri ortaya çıkarmaktadır. Bu problemlerden en önemlilerinden bir tanesi Yük Frekans Kontrol (YFK) problemi. Bu tez çalışmasında, güç sistemlerindeki YFK problemi için kontrol yöntemleri araştırılmıştır. Bu amaçla öncelikle geleneksel kontrol yöntemleri denenerek olumsuzlukları tespit edilmiş, sonrasında modern kontrol teknikleri ile geleneksel kontrol teknikleri belirlenerek yeni bir kontrolör tasarlanmıştır.

Bu tez çalışmasında geleneksel PID, Bulanık Mantık Denetleyici (BMD), Genetik Algoritma (GA) ile ayarlanan Oransal-İntegral-Türev (PID) ve GA ile üyelik fonksiyonlarının düzenlendiği BMD kontrolörleri bir enterkonnekte güç sistemine uygulanmıştır. Bu amaçla genellikle literatürde tercih edilen iki bölge güç sistemine, günümüzde önemi ve sayısı artan Güneş Enerji Sistemleri (GES) eklenmiştir. Böylece uygulama yapılacak güç sistemi de yeniden tasarlanmıştır. Burada amaç, YFK'nın yeni bir kontrolör sağlanması sırasında sistemden kaynaklı elektriksel bozucuların

yanında, güneş ışınımının ve GES güç çıkışının değişiminin YFK'yı nasıl etkilediğinin görölmesidir. Bu çalışmada önerilen GA-BMD, diğer kontrolörlerden daha iyi sonuçlar verdiği için bu tip sistemler için önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Yük Frekans Denetimi, Genetik Algoritmalar, Elektrik Güç Sistemleri, Güneş Enerji Sistemi



ABSTRACT

Load-Frequency Control With Modern Control Techniques In Two-Area
Interconnected Grid With Solar Energy System

GÖREL, Göksu

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Engineering, Ph. D. Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Ertuğrul ÇAM

July 2017, 107 pages

Especially in the last decade, the rapid increase in electricity use and the limited availability of available energy resources have led to the discovery of new and different sources by scientists and industrialists working in the energy sector. For this reason, it is inevitable that the interest in renewable energy resources will increase even more. However, the use of renewable energy sources in power systems poses some problems. One of the most important of these problems is the load frequency control (LFC) problem. In this thesis study, the control methods for the LFC problem in power systems were investigated. For this purpose, firstly the traditional control methods were tried and the adverse conditions were determined. After that, a new controller was designed by determining the modern control techniques and the traditional control techniques.

In this thesis study, the proportional-integral-derivative (PID), Genetic Algorithm (GA), PID controller with GA and Fuzzy Logic controller with GA are applied to an interconnected power system. For this purpose, Solar Energy Systems (SES) has been added to the two-zone power system, which is generally preferred in the literature. Thus the power system to be implemented is also redesigned. The aim here is to see how the changes in solar radiation and SES power output affect the LFC as well as system-induced electrical disturbances during the provision of new controllers. GA-Fuzzy Logic Controller proposed in this study is recommended for such systems because it gives better results than other controllers.

Key Words: Load-Frequency Control, Genetic Algorithm, Electric Power Systems,
Solar Energy Systems



TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımcı esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkânlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren, tez yöneticisi hocam, Sayın Prof. Dr. Ertuğrul ÇAM'a, tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm hocalarım Sayın Doç. Dr. Necaattin BARIŐCI'ya ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Murat LÜY'e, büyük fedakârlıklarla bana destek olan Eőim Özlem Dilan GÖREL'e, Annem Nesrin GÖREL'e, Babam Mustafa GÖREL'e ve Kardeőim Göksel GÖREL'e ve doktora çalışmalarımda yardımlarını gördüğüm Sayın Dr. Zafer CİVELEK'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER DİZİNİ	xv
KISALTMALAR DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Kaynak Özetleri	2
1.2. Enerji Kavramı	6
1.2.1. Geleneksel Enerji Kaynakları	7
1.2.1.1. Kömür	8
1.2.1.2. Petrol	9
1.2.1.3. Doğalgaz	10
1.2.1.4. Nükleer Enerji	12
1.2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	14
1.2.2.1. Hidroelektrik Enerjisi	15
1.2.2.2. Güneş Enerjisi	17
1.2.2.2.1. Şebeke Bağlantılı Güneş Enerjisi	21
1.2.2.2.2. Şebeke Bağlantısız Güneş Enerjisi	22
1.2.2.3. Rüzgâr Enerjisi	24
1.2.2.4. Jeotermal Enerjisi	27
1.2.2.5. Dalga Enerjisi	28

1.2.2.6.	Okyanus (Gelgit, Medcezir) Enerjisi.....	29
1.2.2.7.	Biyoyakıt Enerjisi.....	29
1.2.2.8.	Hidrojen Enerjisi (Yakıt Pilleri).....	31
2.	MATERYAL VE YÖNTEM.....	34
2.1.	Enterkonnekte Güç Sistemi Modelleri	34
2.1.1.	Generatör Modeli.....	35
2.1.2.	Yük Modeli	39
2.1.3.	Hız Regülatörü Modeli	40
2.1.4.	Türbin Modeli.....	42
2.1.4.1.	Ara Isıtmasız Türbin Modeli	43
2.1.4.2.	Ara Isıtmalı Türbin Modeli	43
2.1.5.	Güneş Enerji Santrali Modeli	44
2.1.5.1.	Güneş Piliin Eşdeğer Devre Modeli.....	45
2.1.5.2.	I-V Karakteristiğinin Belirlenmesi.....	47
2.1.6.	Yük Frekans Kontrolü	50
2.1.6.1.	Birincil Frekans Kontrolü.....	52
2.1.6.2.	İkincil Frekans Kontrolü	52
2.1.6.3.	Bağlantı Hattı Kontrolü	53
2.2.	Kontrol Yöntemleri	53
2.2.1.	Açık Çevrimli Kontrol Sistemi.....	54
2.2.2.	Kapalı Çevrimli Kontrol Sistemi	55
2.2.3.	Birim Basamak Cevabı	55
2.2.4.	Oransal Denetleyici	57
2.2.5.	Oransal-İntegral Denetleyici.....	57
2.2.6.	Oransal-Türev Denetleyici.....	58
2.2.7.	Oransal-İntegral-Türev Denetleyici.....	59
2.2.8.	Bulanık Mantık Denetleyici.....	61

2.2.8.1. Bulanık İşlemcinin Yapısı	63
2.2.8.2. Bulanıklaştırma	63
2.2.8.3. Bulanık Kural Tabanı	63
2.2.8.4. Bulanık Çıkarım	64
2.2.8.5. Durulaştırma	64
2.2.9. Genetik Algoritma	64
2.2.9.1. Genetik Algoritmanın Yapısı	65
2.2.9.2. Seçim	66
2.2.9.3. Çaprazlama	66
2.2.9.4. Mutasyon	67
2.3. Güç Sistem Modelleri.....	68
2.3.1. İki Bölge Enterkonnekte Güç Sisteminin Modellenmesi	68
2.3.2. Genetik-PID Denetleyicinin Modellenmesi	71
2.3.3. Genetik-Bulanık Mantık Denetleyicinin Modellenmesi.....	74
3. ARAŞTIRMA BULGULARI	79
3.1. Birinci Bölge İçin Bulgular	80
3.2. İkinci Bölge İçin Bulgular	87
4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	94
KAYNAKLAR	96
ÖZGEÇMİŞ.....	106

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Yerli kömürün kurulu güç ve brüt elektrik üretimi içindeki payı	8
1.2. Kömür ithalatında ülke payları.....	9
1.3. Ham Petrol Üretimi (Milyon Ton).....	10
1.4. Dünya enerji tüketiminde kömür, petrol ve doğalgazın payları.....	11
1.5. Doğalgaz üretimi	12
1.6. Dünya genelinde kurulu olan nükleer santrallerin payı	14
1.7. Hidroelektrik santral kaynaklı elektrik üretiminin toplam enerji tüketimini karşılama oranı; 1970-2015 yılları arasındaki değişimi.....	16
1.8. Hidroelektrik santral kurulu gücünün yıllar içindeki değişimi	17
1.9. Fotonların katmanlarda elektron hareketi oluşturması.....	19
1.10. FV pil panelinin doğrudan doğruya ayarlanabilen bir yüke bağlanması	19
1.11. Güneş pilinin Akım-Gerilim (I-V) karakteristiği.....	21
1.12. FV pillerin seri-paralel bağlanması ile oluşturulan FV güneş pili paneli	21
1.13. Şebeke bağlantısız bir güç sistem	22
1.14. Şebeke bağlantılı sistem modeli.....	23
1.15. 2007-2016 yılları arası Türkiye’deki rüzgâr enerji santralleri yıllık kurulu güç miktarları	25
1.16. 2007-2016 yılları arası Türkiye’deki rüzgâr enerjisi santralleri kümülatif kurulu güç miktarları	25
1.17. İşletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin bölgelere göre dağılımı.....	26
1.18. 2015 yılı Jeotermal enerji kaynağı bakımından ülke kapasiteleri.....	27
1.19. 2015 yılı Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarının dağılımı	28
1.20. 2004-2014 yılları arasındaki yenilenebilir biyokütle enerjisinin kurulu gücü ..	30
1.21. Yakıt pilinin yapısı	32
2.1. İki bölgeli güç sisteminin blok şeması	35
2.2. Türbin-generatör sistemi fiziksel modeli	35
2.3. Mekanik ve elektriksel güç ile hız değişikliği transfer fonksiyonu	38
2.4. Hız-moment arasındaki transfer fonksiyonu	39
2.5. Dönen kütle ve yükün blok şeması	40

2.6. Dönen kütle ve yükün basitleştirilmiş blok modeli.....	40
2.7. Talep yük artışı (ΔPL) öncesi, sonrası ve ikincil kontrol.....	42
2.8. Buhar türbini hız regülatör sistemi matematiksel modeli	42
2.9. Ara ısıtmasız türbin matematiksel modeli.....	43
2.10. Ara ısıtmalı türbin matematiksel modeli.....	44
2.11. Tek bölgesel güç sistemine uygulanmış frekans kontrolü.....	44
2.12. Güneş pilinin basite indirgenmiş eşdeğer devresi	46
2.13. Güneş paneli V-I karakteristiği	46
2.14. Güneş paneli P-V karakteristiği	47
2.15. (a) PV cell Simulink modeli; (b) PV-SPP Simulink modeli	49
2.16. Güç sisteminde temel yük frekans kontrolü kısımları.....	51
2.17. Bağlantı hattı blok diyagramı.....	53
2.18. Açık çevrimli kontrol sistemlerinin ögeleri	54
2.19. Kapalı çevrimli kontrol sistemi	55
2.20. Lineer sistem birim basamak cevabı	56
2.21. Oransal denetimli kontrol sistemi	57
2.22. Oransal-İntegral denetimli kontrol sistemi.....	58
2.23. Oransal-Türev denetimli kontrol sistemi	58
2.24. PID denetimli kontrol sistemi	59
2.25. Frekans kontrolüne uygulanmış bulanık çıkarım ana yapısı.....	62
2.26. Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı	63
2.27. Genetik Algoritmanın ana döngü adımları.....	65
2.28. Kontrolsüz güç sisteminin blok şeması.....	68
2.29. Güneş enerji santrali bağlanmış iki bölgesel enterkonnekte şebeke Matlab Simulink şeması	69
2.30. Genetik algoritmanın PID katsayılarının belirlenmesi için akış şeması	72
2.31. GA-PID katsayılarının iterasyon süresindeki değişimi; a-) K_p 'nin değişimi b-) K_i 'nin değişimi ve c-) K_d 'nin değişimi	73
2.32. GA-BMD kontrolünde kullanılan üçgen üyelik fonksiyonları	75
2.33. GA- BMD kontrolörünün sınırlarının belirlenmesinin akış şeması.....	77
2.34. Üçgen üyelik fonksiyonu Simulink modeli.....	78
3.1. Birinci ve ikinci bölgedeki talep edilen güç değişim	79
3.2. Güneş ışınım güç değişimi karakteristiği	80

3.3. Birinci bölgedeki AKH'nın PID kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi	81
3.4. Birinci bölgedeki AKH'nın BMD kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi	81
3.5. Birinci bölgedeki AKH'nın GA-PID kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi.....	82
3.6. Birinci bölgedeki AKH'nın GA-BMD kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi.....	82
3.7. Birinci bölgedeki mutlak AKH'nın bütün kontrolörler ile tüm simülasyon boyunca değişimi.....	83
3.8. Birinci bölgedeki $U(t)$ 'in PID kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi	83
3.9. Birinci bölgedeki $U(t)$ 'in BMD kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi	84
3.10. Birinci bölgedeki $U(t)$ 'in GA-PID kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi.....	84
3.11. Birinci bölgedeki $U(t)$ 'in GA-BMD kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi.....	84
3.12. Birinci bölgedeki Δf değerinin bütün kontrolörler ile tüm simülasyon boyunca değişimi.....	85
3.13. Birinci bölgedeki Δf değerinin birinci bölgede 0.001pu'luk bir yük azalması sonucu 5. saniyedeki değişimi.....	86
3.14. Birinci bölgedeki Δf değerinin GES'lerde gölgelenmeye bağlı güç azalması sonucu meydana gelen değişimi	87
3.15. İkinci bölgedeki AKH'nın PID kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi	88
3.16. İkinci bölgedeki AKH'nın BMD kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi	88
3.17. İkinci bölgedeki AKH'nın GA-PID kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi.....	88
3.18. İkinci bölgedeki AKH'nın GA-BMD kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi.....	89

3.19. Birinci bölgedeki Δf değerinin bütün kontrolörler ile tüm simülasyon boyunca değişimi.....	90
3.20. GES'lerde 0.01 pu'luk güç sistemine ani bir güç girişi olduğu andaki Δf değerindeki değişim	91
3.21. İkinci bölgedeki Δf değerinin ges'lerde gölgelenmeye bağlı güç azalması sonucu meydana gelen değişimi	91
3.22. Birinci ve ikinci bölge arasındaki bağlantı hattı üzerindeki güç değişimi	92



ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Enerji kaynakları	7
2.2. PI ve PID parametrelerinin belirlenmesinde Ziegler Nichols yöntemi.....	61
2.3. Oransal, integral ve türev uygulamalarının bağımsız etkileri	61
2.4. GA-PID ve GA-BMD için kullanılan kontrol parametreleri	74
2.5. GA-BMD için kural tablosu.....	76
2.6. Sistemi 30 kere bağımsız çalıştırılması sonucu elde edilen veriler.....	78
3.1. Elde edilen sonuçlar	99

SİMGELER DİZİNİ

I_0, I_D	Güneş pilinde oluşan ters doyma akımı
B_{AC}	Alternatif akım barası
B_{DC}	Doğru akım barası
C_{SI}	Değişken radyasyon seviyelerinin pilin çıkış akımına etkisi
C_{SV}	Değişken radyasyon seviyelerinin pilin çıkış gerilimine etkisi
C_{TI}	Sıcaklık akım katsayısı
C_{TV}	Sıcaklık gerilim katsayısı
F_2	İkinci bölge frekans değeri
I_{FV}	Güneş pili akım kaynağı
I_{panel}	Güneş paneli akımı
I_{pil}	Güneş pili akımı
I_{XFV}	Güneş pilinin yeni fotoakımı
I_{kd}	Kısa devre akımı
K_d	Türev kontrol kazanç katsayısı
K_G	Türbin için pozitif bir sabit
K_G	Valfin açıklığına bağlı, pozitif bir sabit
K_i	İntegral kontrol kazanç katsayısı
K_p	Oransal kontrol kazanç katsayısı
K_R	Ara ısıtma kazancı
N_p	Paralel bağlı güneş pili kol sayısı
N_s	Seri bağlı güneş pili sayısı
P_{12}	Hatlar arası güç iletimi
P_{FV}	Fotovoltaik güç
P_g	Hata sinyali
P_L	Yük tarafından talep güç
P_{panel}	Güneş panel gücü
P_{ref}	Referans güç değeri

$P_{\text{Ş}}$	Şebeke gücü
$P_{\text{Ş}}$	Şebeke gücü
P_{T}	Türbin mekanik gücü
$P_{\text{yük}}$	Yükün çektiği güç
P_{D}	Frekansa duyarlı yük
P_{G}	Generatör gücü
P_{v}	Valf gücü
R_{S}	Eşdeğer direnç değeri
R_{u}	Generatör ünitesinin hız genliği
S_{pil}	Bilinen güneş radyasyon değeri
T_{12}	Hattın senkronize edici moment katsayısı
T_{g}	Gecikme zamanı
T_{G}	Zaman sabiti
T_{pil}	Referans çalışma sıcaklığı
T_{R}	Ara ısıtma kazanç sabiti
T_{T}	Türbin zaman sabiti
T_{x}	Değişken ortam sıcaklığı
T_{y}	Yükselme zamanı
T_{a}	Bilinen referans ortam sıcaklığı
V_1	Birinci bölge hat sonu gerilimi
V_2	İkinci bölge hat sonu gerilimi
V_{panel}	Güneş paneli gerilimi
V_{pil}	Güneş pili gerilimi
V_{Xpil}	Güneş pilinin yeni çıkış gerilimi
X_{12}	Bölgeler arası iletim hattının eşdeğer reaktansı
α_{s}	Güneş radyasyon seviyesindeki değişimin pil çalışma sıcaklığında meydana getireceği değişime ait katsayı
β_{T}	Sıcaklık nedeniyle oluşan gerilim değişim katsayısı

γ_T	Sıcaklık nedeniyle oluşan akım değişim katsayısı
AKH_1	Birinci bölgedeki AKH
AKH_2	İkinci bölgedeki AKH
M_p	Maksimum aşma
P_a	İvme gücü
P_e	Elektriksel güç
P_m	Mekanik güç
P_{Gn}	Generatör ünitesinin nominal çıkış gücü
R_1	Birinci bölgedeki hız ayar karakteristiğinin eğiminin genliği
R_2	İkinci bölgedeki hız ayar karakteristiğinin eğiminin genliği
S_x	Güneş radyasyon değerindeki değişim
S_n	Baz güç değeri
T_a	İvme momenti
T_e	Elektriksel moment
T_m	Mekaniksel moment
U_1	Birinci bölgedeki kontrol edilen sinyal
U_2	İkinci bölgedeki kontrol edilen sinyal
V_{ad}	Açık devre gerilimi
f_1	Birinci bölge frekans değeri
f_{G1}	Yüksüz durumdaki frekans
f_{G2}	Nominal güç çıkışındaki frekans
f_{Gn}	Nominal frekans
t_o	Oturma zamanı
δ_1	Birinci bölge hat sonu gerilim faz açısı
δ_2	İkinci bölge hat sonu gerilim faz açısı
Δ	Sapma ifadesi
D	Sönüm sabiti
E	Elektrik yükü
H	Atalet sabiti

I	Makinanın atalet momenti
K	Boltzman sabiti
M	Makinanın açısai momenti
n, p	Elektron tipleri
o	Sürekli hal ifadesi
α	Açısai ivme
δ	Generatör faz açısı
$c(t)$	Sistem çıkışı
$e(t)$	Hata işareti
$r(t)$	Referans giriş işareti
$u(t)$	Denetleyici çıkışı
ω	Açısai dönme hızı
b_i	Frekans bias değeri
P_{hat}, P_{tie}	Bağlantı hattı gücü
$x(t)$	Sistem çıkışı
$e(t)$	Hata işareti
$r(t)$	Referans giriş işareti
P_1	Birinci bölgedeki toplam güç
K_s	Birinci bölgedeki sistem frekansının karakteristik sabiti
$F(f)$	Uygunluk fonksiyonu
W_{ref-E}	E değeri için sınırlar
W_{ref-DE}	DE değeri için sınırlar
W_{ref-DU}	DU değeri için sınırlar

KISALTMALAR DİZİNİ

A	Ampermetre
AA	Alternatif Akım
ABA	Ateş Böceği Algoritması
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AKH	Alan Kontrol Hatalarının
BAA	Bakteriyel Arama Algoritması
BMD	Bulanık Mantık Denetleyici
ÇKBMD	Çok Katmanlı Bulanık Mantık Denetleyici
D	Türev kazanç
DA	Doğru Akım
DAA	Desen Arama Algoritması
DG	Diferansiyel Gelişim
DGA	Diferansiyel Gelişim Algoritması
DYA	Değiştirilmiş Yarasa Algoritması
ERA	Emperyalist Rekabet Algoritması
FL	Fuzzy Logic
FV	Fotovoltaik
GA	Genetic Algorithm
GA	Genetik Algoritma
GA-FL	Genetic Algorithm-based Fuzzy Logic
GES	Güneş Enerji Sistemleri
I	İntegral kazanç
KEK	Kapasitif Enerji Kaynağı
LFC	Load Frequency Control
MW	Megawatt
ÖÖTO	Öğretme Öğrenme Tabanlı Optimizasyon
P	Oransal kazanç
PID	Proportional-Integral-Derivative

PSO	Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
PV-SPP	Photovoltaic Solar Power Plant
QOHAA	Quasi Oppositional Harmony Arama Algoritması
SBMD	Sinirsel Bulanık Mantık Denetleyici
SBMD	Sugeno Bulanık Mantık Denetleyici
SSSK	Statik Senkron Seri kompanzatör
V	Voltmetre
YFK	Yük Frekans Kontrol
YP	Yakıt pili
YSA	Yapay Sinir Ağları
YUÖ	Yerel Unimodel Örnekleme

1. GİRİŞ

Enerjinin insan yaşamı için vazgeçilmez bir türü olan elektrik enerjisi, hayatımızın her alanında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu nedenle santraller birbirlerine bağlanarak güç artımı sağlamaktadır. Enterkonnekte şebeke, ülkelerin veya bölgelerin sahip oldukları elektrik enerji üretim santrallerini ve tüketicileri arasındaki enerji alış verişini sağlamak için kurulmuş olan sistem olarak adlandırılır. Enterkonnekte şebeke, dünyada hızla artan teknolojiyle birlikte, büyüyen enerji ihtiyacını karşılamak için gün geçtikte genişlemekte ve çeşitlenmektedir. Gelişmiş bir ülke olmanın en büyük göstergesi olan enerji tüketimi, artan bu çeşitlilikle birlikte sağlanmaktadır [1]. Bu çeşitliliği yenilenebilir ve tükenmez enerji kaynaklarından karşılamak, yaşamış olduğumuz Dünya'nın kaçınılmaz bir sonudur. Özellikle Güneş Rüzgâr, Yakıt Pili, Dalga sistemleri gibi yenilenebilir enerji kaynakları, teknoloji ve enerji sektöründeki hızlı gelişmeyle birlikte, enterkonnekte şebekeye bağlanmaktadır [2]. Şebekeye bağlı ve şebekeden bağımsız olacak şekilde sınıflandırılan bu güç santralleri, geleneksel elektrik santrallerinin daha fazla iklim koşullarından etkilenmemeleri ve yük-frekans kontrolü gibi teknik problemlerin çözümünde kullanılmaları açısından önemli hale gelmiştir [3].

Geleneksel enterkonnekte şebekelere gün geçtikte eklenen yenilenebilir ve nispeten daha küçük güçlü santraller sayesinde, iklim koşullarının da doğrudan şebekeyi etkileme olasılığı artmaktadır. Büyük veya küçük bütün santrallerin şebeke frekansına uyum zorunluluğu bulunmaktadır. Özellikle güneş ve rüzgâr gibi enerji kaynaklarına bağlı yenilenebilir santrallerin şebeke frekansına uyum durumu daha da önemli olmaktadır. Şebeke üzerindeki frekansın takip ve kontrolü ülkemizde Yük Tevzi Merkezleri tarafından yapılmaktadır ve santrallerin ürettiği oldukları enerji miktarları da anlık olarak izlenmektedir. Bu merkezlerin asıl amacı, elektrik üretim santralleri ile elektrik tüketim merkezleri arasındaki aktif güç dengesinin sağlanmasıdır [4]. Aktif güç dengelenmesi enterkonnekte şebekeye bağlı tüketicilerden veya arızalardan kaynaklanan sistemin değişen frekans değerinin sabit halde tutulması olarak açıklanabilir [5]. Aktif güç dengelemesi yapan yük frekans kontrolü (YFK) sistemleri, jeneratörlerin çıkış güçlerini ayarlayarak elektrik üretim miktarını düzenlemektedir.

Hızla değişen dünya ile birlikte elektrik şebekesinin de gelişmesi, kontrol yöntemlerinden şebeke ve güç sistemleri için en iyi olanı seçmenin önemini daha da arttırmıştır. Güç sistemlerinde kullanılan frekans algılayıcı sensörler vasıtasıyla ölçülen değerler, frekans değerinin enerji kullanımına bağlı olarak sürekli değiştiğini göstermektedir. Bu ise frekansın sürekli izlenmesi ve kontrol edilmesi gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Özellikle de hızla artan bir oranda küçük ölçekli yenilenebilir enerji kaynakları elektrik şebekesine dâhil olurken, sistemin dengede tutulması daha zorlaşmıştır [6,7]. Rüzgâr santrallerinde rüzgârın hızına bağlı olarak, güneş santrallerinde ise güneş ışığına bağlı olarak elde edilen gücün değişmesi ve ani dalgalanmaları frekansı da ciddi olarak etkilediğinden, güç sisteminin gelecekte karşılaşacağı temel sorunlar arasında gelmektedir.

Bu tez çalışmasında, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de artmakta olan güneş enerji santrallerinin (GES), şebeke frekansı üzerindeki etkilerinin azaltılması amacıyla Bulanık Mantık Denetleyici (BMD) gibi modern kontrol yöntemleri önerilmiştir. Kullanılan bu modern kontrol yöntemleri, Genetik Algoritma (GA) kullanılarak ayarlandı ve şebeke frekansının sabit halde tutularak sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmalar yapılırken, iklime bağlı olarak değişken güç değeri olan GES'lerin kullanıldığı iki bölge-üç kaynaklı enterkonnekte şebekede ki frekansı kontrol edilmiştir. Bu amaçla, literatürde yapılan çalışmalara yenilik olarak GA-BMD kontrolörü tasarlandı ve modellenmesi gerçekleştirilen sisteme uygulanmıştır. Literatürde yenilenebilir enerji santrallerinin kullanıldığı iki bölge-çok kaynaklı enterkonnekte şebekelerdeki yük-frekans kontrolü için genetik algoritmanın bulanık mantığı optimize ettiği çalışmalar bulunmamaktadır. Literatürdeki yapılan çalışmalara yeni bir kontrolör olarak GA-BMD kontrolünün tasarlandığı bu çalışmadaki sonuçlar, PID, GA-PID ve BMD kontrolörlerinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

1.1. Kaynak Özetleri

Güç sistemlerinde frekansın dengelenmesi için literatürde birçok çalışma bulunmaktadır. Yapılan bu çalışmalarda, farklı kontrolörler ve bu kontrolörlerin

parametrelerinin optimum değerlerinde çalıştırılabilmesi için farklı optimizasyon algoritmaları üzerinde incelemeler yapılmıştır. Özellikle son yıllarda YFK için yapılan başlıca önemli çalışmalardan bazıları aşağıda incelenmiştir.

Satya vd. (2016), çok kaynaklı enterkonnekte güç sistemlerinde geleneksel PI kontrolör ile yük frekans kontrolü için yeni bir tasarım yapmışlardır. Tasarlanan bu sistemde PI kontrolör, Biyocoğrafya Optimizasyon (BO) tekniği kullanılarak optimize edilmiş ve güç sistemine uygulanmıştır. Kullanılan enterkonnekte sistemde, ara ısıtmalı termal güç sistemi, hidroelektrik güç sistemi ve gaz türbini güç sistemi gibi farklı generatör birimleri modellenmiş ve yk değişiklikleri durumunda frekansın dengelenmesine çalışılmıştır. Yapılan simülasyon çalışmasında önerilen kontrolörün daha hassas olacak şekilde frekansı sabitledeği sonucuna ulaşılmıştır [8].

Gözde vd. (2010), iki bölgesi ara ısıtmalı termal güç sisteminin yük frekans kontrolü için Parçacık Srs Optimizasyonu (PSO) tabanlı PI kontrolör tasarlamışlardır. İki bölgesi bir g sisteminin kullanıldığı bu çalışmada, Abdel-Magid'in nerdeği PSO-PI kontrolryle elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır [9].

Daneshfar vd. (2012), yük frekans kontrolünde en yaygın olarak kullanılan PI kontrolörü kullanarak üç bölgesi bir enterkonnekte şebekedeki frekansın dengelenmesi için modelleme ve simülasyon çalışması yapmışlardır. Bu alışmada PI kontrolörünü optimize etmek için GA kullanılmıştır. GA'nın karmaşık ve kompleks problemleri çözme yeteneğinden yararlanan bu çalışmada her bölgedeki Alan Kontrol Hatalarının (AKH) karşılaştırmalı sonuçları gösterilmiştir [10].

Sekhar vd. (2016), yaptıkları çalışmada frekansın değişiminde meydana gelen olumsuzluklar için, Ateş Böceği Algoritması (ABA) tabanlı kontrol yöntemleri önermiştir. Farklı senaryolar için gerçekleştirilen bu çalışmada, ABA kullanılarak BMD ve PI kontrolörler optimize edilmiştir [11].

Prakash vd. (2014), yaptıkları çalışmada, dört bölgesi enterkonnekte şebeke için Sinirsel Bulanık Mantık Denetleyici (SBMD) nermişlerdir. Önerdikleri bu kontrolörün avantajı olarak, var olan diğer kontrolörlerden daha hızlı çalıştığını

söylemektedir. Birinci ve ikinci bölgede ara ısıtılmalı türbin, üçüncü ve dördüncü bölgelerde ise hidroelektrik güç sisteminin modellendiği bu çalışmada, BMD, Yapay Sinir Ağları (YSA), PI ve PID kontrolörler çalıştırılmıştır. Akıllı kontrol yaklaşımı olarak belirtilen SBMD'nin oturma süresinin BMD, YSA, PI ve PID kontrolörlerinden daha iyi performans sergilediği belirtilmiştir [12].

Dhillon vd. (2016), tek kaynaklı üç bölgeli bir enterkonnekte güç sistemindeki frekans salınımlarının belirli sınırlar arasında tutulabilmesi için iki farklı algoritma önermiş ve karşılaştırmalı sonuçları göstermişlerdir. Yük tarafındaki ani talep artışı durumunda ve yenilenebilir kaynaklardaki değişikliklerin etkisi incelenmiştir [13].

Sahu vd. (2015), iki bölgeli enterkonnekte şebekeyi modelledikleri bu çalışmalarında, her bölgede üçer adet santral olacak şekilde bir simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Yerel Unimodel Örnekleme (YUÖ) ve Öğretme Öğrenme Tabanlı Optimizasyon (ÖÖTO) algoritmaları geliştirilerek yük frekans kontrolüne uygulamışlardır. Önerilen bu algoritmalar ile elde edilen sonuçlar, Diferansiyel Gelişim (DE) tabanlı PID kontrolör ve BMD tabanlı PID kontrolör ile elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır [14].

Shayeghi vd. (2008), yaptıkları çalışmada Çok Katmanlı Bulanık Mantık Denetleyici (ÇKBMD) için PSO algoritması tasarlamışlardır. Tasarlanan PSO-ÇKBMD kullanılarak güç sistemindeki bağlantı hattındaki güç akışı ve nominal frekansın daha etkili bir şekilde kararlı hale geçtiği gösterilmiştir [15].

Abdelaziz vd. (2015), Guguk Kuşu Algoritması olarak tanımlanan optimizasyon tekniğinin kullanıldığı çalışmalarında PI kontrolörünün optimum değerlerini belirleyerek yük frekans kontrolünü sağlamaya çalışmışlardır. Elde edilen sonuçlar, literatürde bulunan GA-PI ve PSO-PI kontrolör sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Üç bölgeli enterkonnekte şebeke şeklinde tasarlanan güç sisteminden elde edilen sonuçlara göre, önerilen kontrol yöntemi karşılaştırılan diğer kontrol yöntemlerine göre oturma süresi ve aşma miktarlarında daha gelişmiş sonuçlar vermiştir [16].

Sa-ngawong vd. (2014), üç bölgeli olarak modellenen sistemde, yenilenebilir enerji kaynaklarından GES'lerin yük frekans üzerinde etkilerini incelemiştir. Bu çalışmada

PSO tabanlı Sugeno Bulanık Mantık Denetleyici (SBMD) tasarlanarak frekans dalgalanması üzerinde göstermiş oldukları performansları gösterilmiştir. Sonuçlara göre önerilmiş olan kontrolörün daha uygun olduğu belirtilmiştir [17].

Khalghani vd. (2016), geleneksel PI kontrolörünün ve FLC-PI kontrolörünün modellenerek karşılaştırmalı sonuçlarının vurgulandığı çalışmalarında, önerilen kontrol yönteminin yük frekans kontrolü için iyi bir yaklaşım içerisinde bulunduğunu belirtmiştir [18].

Parmar vd. (2014), dengesiz koşullar için tasarladıkları modellerinde çok bölgeli güç üretim sisteminde yük frekans kontrolü yapmıştır. Her bölgede üçer adet enerji santrali olarak modellenmiş sistem için, farklı bölgelerdeki dengesiz koşulların birbirlerine etkisi incelenmiş ve sonuçlar tartışılmıştır [19].

Shankar vd. (2014), güç sistemlerini tek bölgeli ve iki bölgeli olarak ayrı ayrı modelledikleri çalışmalarında, çok kaynaklı ve çok bölgeli enterkonnekte şebeke üzerinde yük frekans kontrolüne yönelik çalışmalar yapmışlardır. Enterkonnekte sistemin her bölgesinde termal, hidroelektrik, gaz temelli türbin kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmada, Quasi Oppositional Harmony Arama Algoritması (QOHAA) yeni bir yöntem olarak geliştirilmiş ve P, PI ve PID kontrolörlerinin parametrelerin optimizasyonunda kullanılmıştır. Optimize edilen bu kontrolörlerin karşılaştırmalı sonuçları gösterilmiş ve PID kontrolörün daha iyi performans sergilediği vurgulanmıştır [20].

Sahu vd. (2014), yeni hibrit bir kontrol mekanizması tasarladıkları çalışmalarında, çok bölgeli enterkonnekte güç sistemindeki yük frekans sorununu çözmek için yöntemler sunmuşlardır. Güç sisteminin her bölgesinde ara ısıtmalı termal sistem, gaz türbinli güç sistemi ve hidroelektrik güç sistemi kullanılmıştır. Her iki bölgedeki frekansların ve bağlantı hattındaki güç değişimin sonuçların gösterilerek, karşılaştırma yapılmıştır. Diferansiyel Gelişim Algoritması (DGA) ve Desen Arama Algoritması (DAA) kullanılarak elde edilen yeni kontrolörle, karşılaştırılmıştır. DGA-PID, DGA-BMD-PID ve bu çalışmadan önerilen DGA-DAA-BMD-PID kontrolörü ile elde edilen sonuçlara göre, önerilen kontrol yöntemi daha iyi sonuçlar vermiştir [21].

Ponnusamy vd. (2015), iki bölge ve her bölgede de iki enerji kaynağı olarak tasarlanan çalışmalarında Integral kontrolör tasarlamış ve uygulamıştır. Ayrıca güç sistemine Statik Senkron Seri kompanzator (SSSK) ve Kapasitif Enerji Kaynağı (KEK) modellenerek uygulanmış ve her iki koşulda frekansın değişimi incelenmiştir. Bu çalışmada vurgulanan Emperyalist Rekabet Algoritmasının (ERA) dalgalanmalarını hafiflettiği belirtilmiştir [22].

Khooban vd. (2015), öncelikli olarak otomatik üretim sistemlerinin incelendiği çalışmada, Değiştirilmiş Yarasa Algoritması (DYA) kullanarak dört bölge enterkonnekte güç sistemindeki YFK problemi için çözümler önermiştir. Geleneksel PID ve BMD-PID kontrolörlerin modellenip karşılaştırmalı olarak sunulduğu bu çalışmada, önerilen DYA-BMD-PI kontrolörünün verdiği sonuçların daha etkili olduğu belirtilmiştir [23].

1.2. Enerji Kavramı

İnsanların yaşam standartlarının hızla artması, buna paralel olarak insan hayatını kolaylaştıran pek çok makinanın enerjinin değişik formlarını kullanarak çalışabilmesi, günümüzde enerjisiz bir yaşamın olmayacağına en önemli kanıtı sayılmaktadır.

Enerji doğada değişik formlarda bulunmaktadır. Enerjinin insanların doğrudan kullanabileceği veya icat edilen teknolojik cihazların kullanabileceği formlara dönüştürülmesi gerekmektedir. En yaygın şekilde enerjinin kullanılma formu elektrik enerjisidir. Elektrik enerjisi, ilk kullanılmaya başladığı günden beri genellikle fosil kaynaklarının dönüştürülmesiyle elde edilmekteydi. Ancak petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil kaynaklarının dünya üzerinde sınırlı miktarda rezervinin bulunması ve bu rezervlerin hızla tükenme eğilimi göstermesi, insanları farklı enerji kaynaklarından elektrik elde etmeye doğru sürüklemiştir [24].

İnsan ihtiyaçlarının karşılanması için sürekli enerji elde edilebilecek ve elektrik enerji formuna dönüşebilecek yeni enerji kaynaklarına ihtiyaç vardır. Bu nedenle fosil

kaynaklı yenilenemeyen enerji kaynaklarına alternatif olması için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı artmıştır. Enerji kaynaklarını, yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak iki farklı başlık altında incelemek gerekmektedir. Çizelge 2.1’de yaygın olarak bilinen yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları gösterilmektedir.

Çizelge 2.1. Enerji Kaynakları

<u>Yenilenemeyen Enerji Kaynakları</u>	<u>Yenilenebilir Enerji Kaynakları</u>
Kömür	Hidroelektrik
Petrol	Güneş
Doğalgaz	Rüzgâr
Nükleer enerji	Jeotermal
Kaya gazı	Dalga
Diğer fosil kaynaklı enerji kaynakları	Okyanus (Gel-Git)
---	Biyoyakıt
---	Hidrojen (Yakıt Pili)

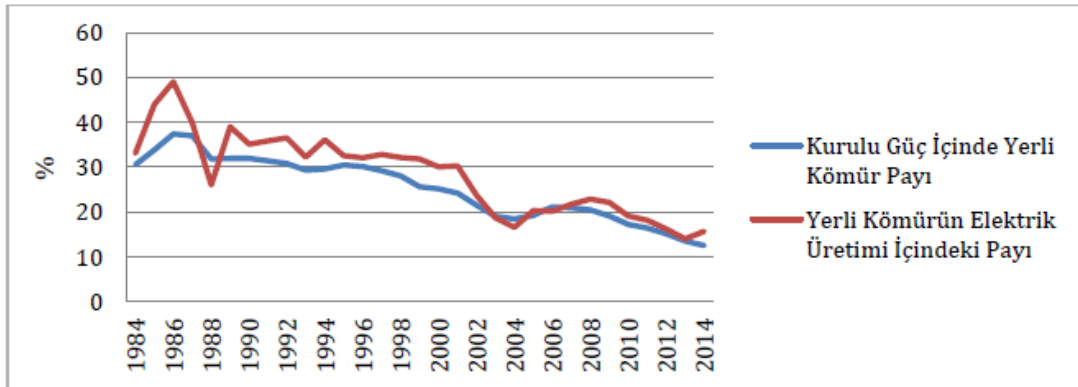
1.2.1. Geleneksel Enerji Kaynakları

Dünya üzerinde var olan ancak herhangi bir enerji dönüşüm süreci içerisine girdikten sonra atık madde haline dönüşen ve kendisini yenileyemeyen enerji kaynakları olarak tanımlanabilirler. Mevcut elektrik enerji ihtiyacının büyük bir kısmı, kömür ve doğalgaz gibi sürdürülebilir özelliği olmayan kaynaklardan temin edilmektedir. Kömür ve doğalgaz gibi maddelerin yanında, nükleer santrallerde ısı elde etmek için kullanılan uranyum ve toryum atomları da tükenemediği için yenilenemeyen enerji kaynağı sınıfına girmektedir.

1.2.1.1. Kömür

Kömür bir enerji kaynağı olarak, dünya üzerinde, ilk Çin’de kullanılmaya başlanmıştır. Yanabilen organik kaya parçaları olarak bilinen kömür, çoğunlukla ölü bitkilerden meydana gelmiştir. İçerisinde Hidrojen ve Oksijen elementleri bulunan bu kaya parçalarında inorganik maddeler olan silt ve iz elementleri de bulunabilmektedir. Kaya parçaları arasında ortaya çıkan basınç ve sıcaklık değişimleri sonucunda genellikle siyah ve kahverengi renk tonlarında görülen fosil kaynaklı bir maddedir. Fosillerden oluşan enerji kaynağı olarak düşünüldüğünde ilk akla gelen madde olan kömürün, Roma imparatorluğu zamanında ilk kez ticarete kullanıldığı bilinmektedir. Sanayi devrimi ile yoğun bir şekilde kullanılmaya başlayan bu madde elektrik çağına yaygınlaşmasını sağlamıştır.

Dünya Enerji Konseyi’nin yayınlamış olduğu bilgilere göre, dünya genelinde kullanılabilirliği müsait olan 861 milyar ton kömür rezervi bulunmaktadır. Şekil 1.1’de Türkiye’de yerli kömürün kurulu güç ve brüt elektrik üretimi içindeki payının 1984 ile 2014 yılları arasındaki değişimi gösterilmiştir.

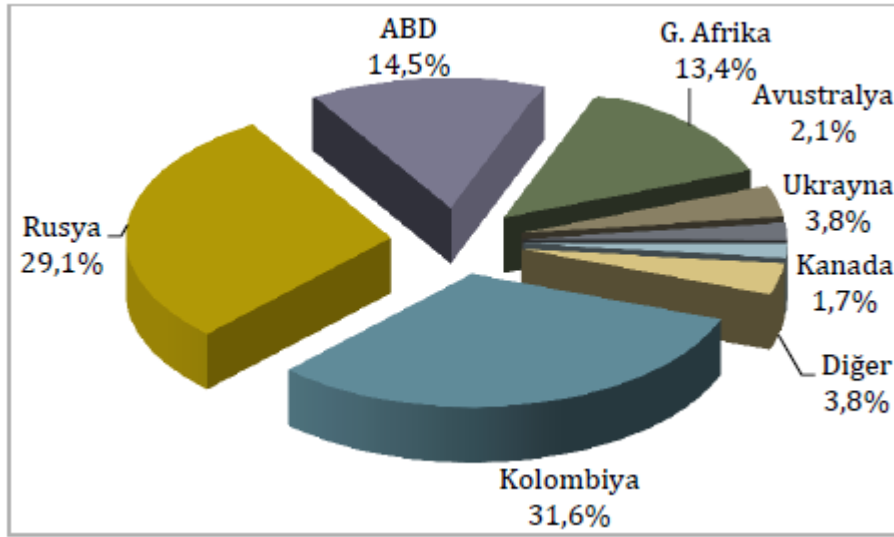


Şekil 1.1. Yerli kömürün kurulu güç ve brüt elektrik üretimi içindeki payı

Türkiye’de üretilen kömürün, elektrik kurulu gücü ve brüt elektrik üretiminde bulunan ağırlığı son yıllarda hızlı bir düşüş eğilimindedir. 1984 yılında %30 seviyelerinde bulunan kurulu güç içindeki kömürün payı yıllarda %10 seviyelerine gerilemiştir. Son

10 yıl içerisinde devreye alınan, Çanakkale Çan ve Afşin-Elbistan bölgelerinde bulunan santraller sayesinde %20 seviyelerine tekrar çıkmıştır. Ayrıca Türkiye’de yerli kömür kullanan 40 adet elektrik santrali bulunmaktadır ve bu 40 santralden 26 tanesi küçük, 14 tanesi büyük güçlü santrallerdir. Bunların yanında 2 tane taşkömürü, 37 tane linyit ve 1 tane ise asfaltit bazlı elektrik üretim santrali bulunmaktadır [25].

Şekil 1.2’de kömür ithal eden ülkelerin sınırları gösterilmiştir. Kolombiya %31,6 ile birinci sırada bulunmaktadır. İkinci %29,1 ile Rusya ve üçüncü % 14,5 ile Amerika Birleşik Devletleri’dir [25,26].

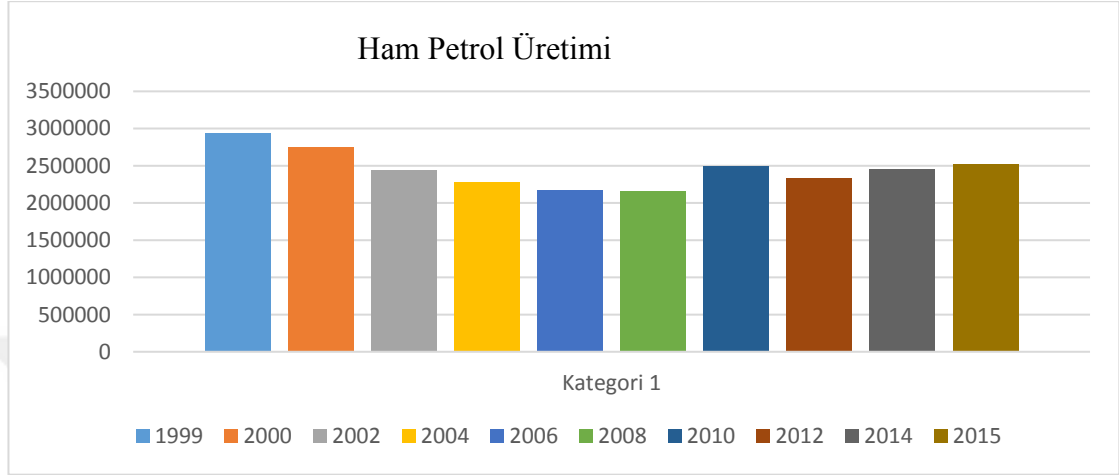


Şekil 1.2. Kömür ithalatında ülke payları

1.2.1.2. Petrol

Dünya üzerindeki öncelikli enerji kaynaklarının arasında ilk sırayı alan petrol, bu önemli yerini uzun yıllar koruyacak gibidir. Uluslararası Enerji Ajansının araştırmalarına göre, 2030 yılında tüketilen enerji içerisindeki petrol tüketim artışının %33 olacağı tahmin edilmektedir. 2012 yılı sonundaki verilere göre, dünya genelindeki araştırmalar ile kanıtlanmış petrol rezervin 1637 milyar varildir ve bu

miktarın dünya üzerindeki tüketim hızıyla ancak 45-50 yıl yeteceği tahmin edilmektedir [27,28]. Şekil 1.3’de Türkiye’de ham petrol üretiminin 1999 ile 2015 yılları arasındaki değişimi gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Ham Petrol Üretimi (Milyon Ton)

Türkiye’de petrole bağımlılığı yükselten sebepler aşağıdaki gibi açıklanabilir. Petrol bulma çalışmalarının yetersiz ve sınırlı olması nedeniyle yurt içi üretimin olmaması, kentlerdeki düzensiz ve hızlı büyüme ve kentleşme sebebiyle hızlı genişleyen şehirlerde toplu taşımacılığın yeterince yapılamaması, bu ihtiyacı gidermek için daha verimsiz çalışan minibüs ağının fazla olması, ülke içerisindeki ulaşımda karayolu tipinin aşırı gelişmiş olması, buna karşın demiryolu veya deniz yolu ulaşımının sınırlı olması bu sebepler arasında gösterilebilir [26].

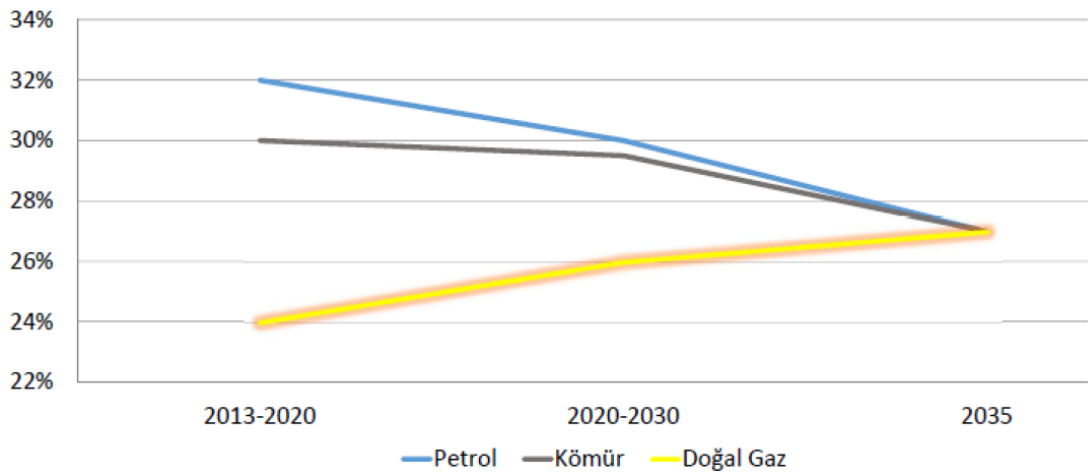
1.2.1.3. Doğalgaz

Doğalgaz genellikle petrolün ardından en önemli kaynak olarak nitelendirilmektedir. Bu durum tüm dünya genellikle bu şekildedir.

Doğalgaz, hava ile kıyaslandığında daha uçucu, kokusu ve rengi bulunmayan bir maddedir. Genelde petrol ile birlikte aynı bölgelerde çıkartılmaktadır. Yer altından kullanılabilir hale dönüştürülme işlemi petrol ile benzerlik göstermektedir.

Çok uzun yıllar boyunca, yer altında veya okyanus taban kısmında bitki ve hayvan atıklarının tabaka altında kalması sonucu oluşan ve yüksek basınçla beraber gaz halini alan, yanıcı madde olarak tanımlanmaktadır.

Doğalgaz potansiyelinin büyük bir çoğunluğu %46'lık bir oranla Ortadoğu ülkelerindedir. Ortadoğu ülkelerini %33 ile Rusya ve Bağımsız Devletler Topluluğu ve %17'lik kısımla ise Asya-Afrika devletleri takip etmektedir. 2014 yılında ki "BP Energy Outlook 2035" kaynağına göre, 2030-40'lı yıllarda dünya enerji tüketiminde petrol ile aynı oranda olacağı gösterilmiştir. Dünya öncelikli enerji tüketimindeki üç temel enerji kaynağının değişimi Şekil 1.4'de gösterilmektedir [26].

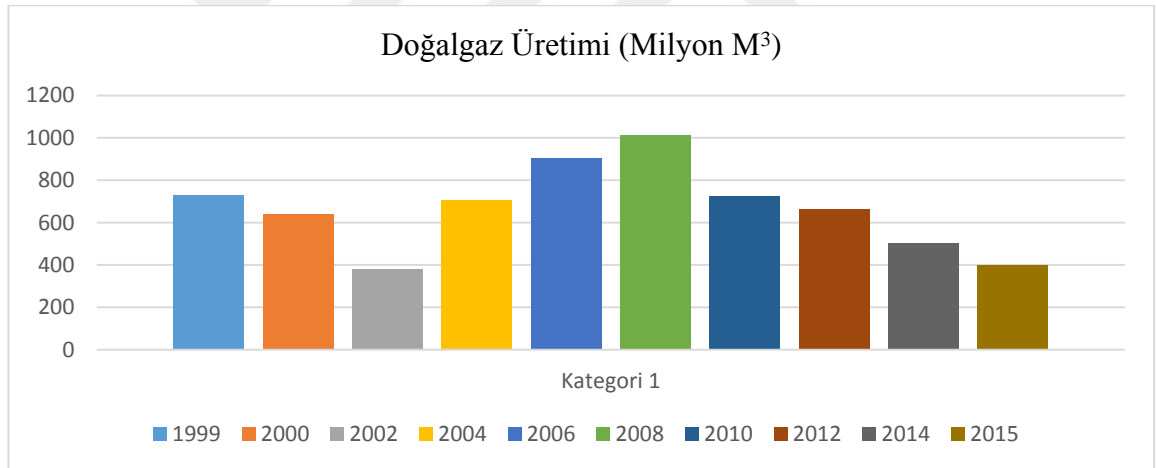


Şekil 1.4. Dünya enerji tüketiminde kömür, petrol ve doğalgazın payları

Ülkemizdeki elektrik enerjisinin elde edilmesinde doğalgaz ile çalışan santrallerin önemi büyüktür. Elektrik üretiminin daha verimli sağlanabilmesi, yüksek kapasitede çalışan doğalgaz elektrik santrallerinin çabuk çalışabilir duruma getirilebilmesi, kömür gibi diğer yer altı kaynaklarına göre daha az miktarlarda çevreyi kirlenici madde

salınması gibi pek çok nedenden dolayı elektrik üretiminde doğalgaz santralleri kurulması için yatırımcıların talepleri artmaktadır. Ayrıca soğuk mevsimlerde ısınmak amaçlı elektrik kullanımının yüksek olduğu zamanlarda, hızlı elektrik enerjisine dönüşümü sayesinde doğalgazın kullanımı daha da artmaktadır. Doğalgazın gün geçtikçe hızlı bir yüksek kullanım oranı sayesinde devletler arasında ki önemi de artmaktadır. Şekil 1.5’de 1999 ile 2015 yılları arasındaki Türkiye de ki doğalgaz üretim değerleri gösterilmektedir [29].

Türkiye’de doğal gaz kaynağının sınırlı olmasından dolayı, doğalgazın büyük bir kısmı yurt dışındaki ülkelerden temin edilmektedir. Özellikle doğalgaz kaynağı bakımından zengin olan Rusya, İran ve Azerbaycan’dan doğalgaz nakil sistemleri sayesinde her yıl milyonlarca m³ doğalgaz ülkemize getirilmektedir. Bunun yanında bazı Afrika ülkelerinden deniz yoluyla da doğalgaz ithal edilmektedir.



Şekil 1.5. Doğalgaz üretimi

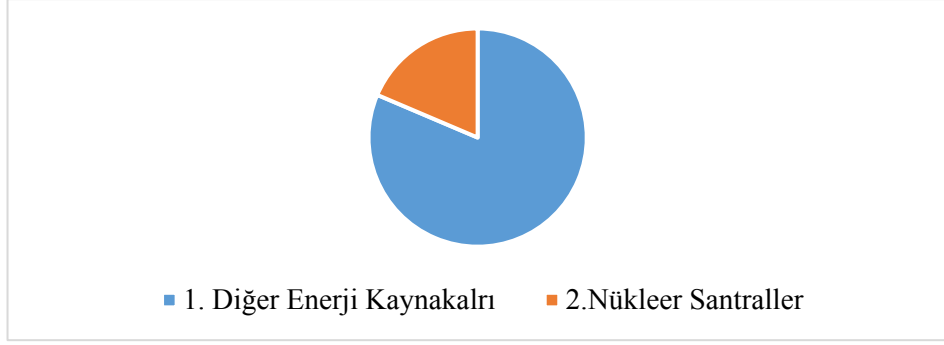
1.2.1.4. Nükleer Enerji

Radyoaktif parçacıkların değişik reaksiyonlarla birleşmesi veya parçalarına ayrılması yöntemiyle açığa çıkan çok yüksek miktarlardaki ısı enerjisinin elde edilmesi yöntemi olarak tanımlanabilir. Bu atomların parçalanarak bölünmesi işlemi fisyon, daha küçük

atomların birleşmesi yöntemine ise füzyon adı verilmektedir [26]. Fisyon ve füzyon sonucu çok yüksek değerlere sahip ısı ortaya çıkmaktadır. Reaktör kısmında gerçekleşen bu parçalanma veya birleşme işlemi sonucu elde edilen ısı enerjisi, türbinler vasıtasıyla elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

Dünya genelinde nükleer enerji ilk kez, II. Dünya savaşında Japonya'da ki Hiroşima ve Nagazaki bölgelerine atılan atom bombalarının yapımında kullanılmasıyla duyuldu. En fazla nükleer santrale sahip ülkeler Amerika Birleşik Devletleri (ABD) ve Fransa olarak sıralanabilir.

Türkiye'de ki nükleer santrallerin kurulması ile ilgili çalışmalara Küçük Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi kurulması ile başlanmıştır. 1962 yılında kurulan bu merkezden sonra faaliyetlerine başlamasıyla birlikte, 1980'li yıllara kadar pek fazla ilerleme sağlanamamıştır. 1983 yılında Çernobil nükleer santralinde meydana gelen kaza sonucu yaşanan nükleer sızıntının etkilerinden dolayı, bu çalışmalar geçici olarak durdurulmuştur. 1992 yılına gelindiğinde tekrar nükleer santral kurulması için inceleme ve Ar-Ge çalışmalarına girişilmiştir ve Mersin Akkuyu Nükleer Santral Projesi yatırım programına alınmıştır. 2009 yılında Rusya ile İşbirliği Ortak Beyannameşi anlaşması sağlanmıştır. Santral inşaatına 2015 yılında başlanması kararlaştırılmış ve ilk ünitelerin devreye alınmasının 2019 yılında, diğer kısımların da her yıl birer tane şeklinde devreye alınması olarak düşünülen çalışmalar devam etmektedir. Yaygın şekilde bilinenin aksine nükleer santrallerin çalışması ve işletilmesi esnasında kömür ile çalışan öteki santrallere göre, doğaya daha az zarar verilmektedir. Şekil 1.6'da dünya üzerindeki elektrik üretiminde kullanılan nükleer santrallerin payı gösterilmektedir [30]. Türkiye henüz elektrik üretiminde nükleer santrale sahip olmadığı için değer gösterilmemiştir.



Şekil 1.6. Dünya genelinde kurulu olan nükleer santrallerin payı

1.2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Doğa dostu enerji kaynağı olarak bilinen yenilenebilir enerji kaynaklarının en önemli özelliği, dünyanın iklim dengesi var olduğu sürece sürekli enerjisinin var olmasıdır. Bir diğer ismi yeşil enerjidir. Mevcut enerji taleplerinin çoğunun sağlandığı kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtlarının yakın bir gelecekte tükenecek olması, insanları enerji ihtiyacına çözüm bulma arayışlarına doğru itmiştir. Bu çözümlerden en önemli olan yenilenebilir enerji kaynakları, herhangi bir hammadde ihtiyacı olmadan, tamamıyla dünyanın hareketi veya iklimi gibi kendisine has özelliklerinden yararlanılarak elektrik enerjisi üretilebilmektedir. Klasik enerji kaynakları gibi çevreye ve insan yaşamına herhangi bir zararı bulunmamaktadır. Bunun yanı sıra sürekli elektrik enerjisi üretilme kabiliyeti ve potansiyeli bulunmaktadır. Dünyanın dönme hareketi ve yıllar var olduğu sürece güneş, rüzgâr, nehirler, gelgitler ve dalgalar gibi pek çok enerji var olacaktır ve herhangi bir şekilde tükenmeleri de söz konusu değildir.

Klasik enerji kaynaklarına bağlı bir elektrik üretim sistemi, ekonomik değerlere olumsuz bir etkide bulunmasının yanı sıra, oluşturduğu kirli atıklar ve havaya karışan tehlikeli gazlar atmosferde ve dünya yaşamında kalıcı ve olumsuz etkilere sebep olmaktadır. Bütün bu sebepler göz önüne alındığında pek çok ülke, enerji ihtiyacını yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılamak için adımlar atmaktadır. Enerji ile ilgili raporlar, 2050 yılına kadar dünyada üretilen enerjinin büyük bir kısmının kendini yenileyebilen enerji kaynaklarından karşılanacağını ortaya koymaktadır [27,31].

Yenilenebilir enerji kaynakları yeryüzünde var olan herhangi bir nesnenin hareketiyle sağlanabilir. Genel olarak bu kaynaklar şu şekilde sıralanabilir:

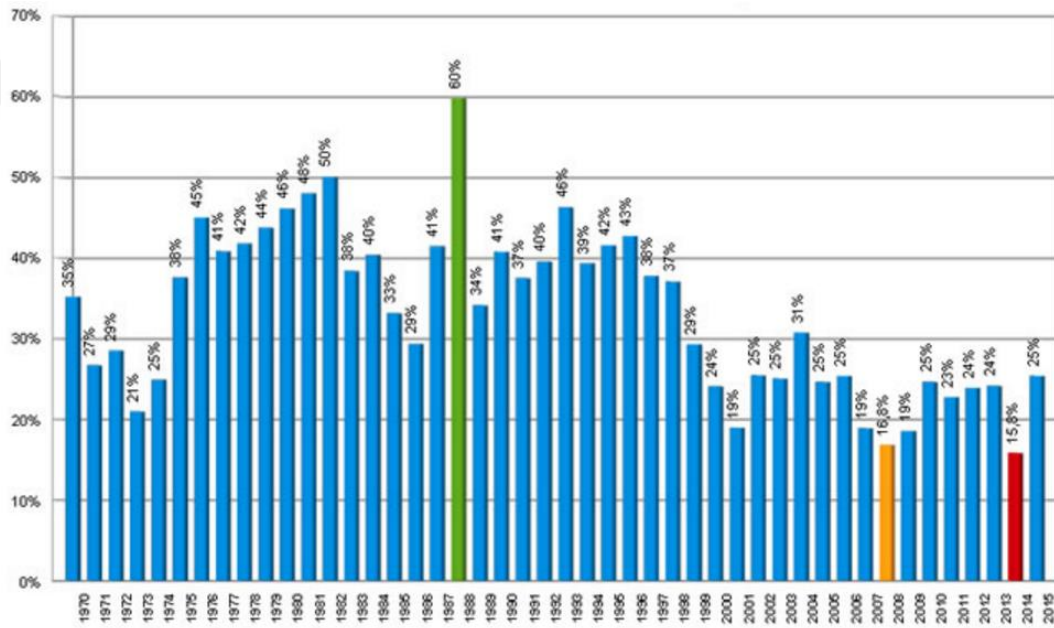
1. Hidroelektrik enerji
2. Güneş enerjisi
3. Rüzgâr enerjisi
4. Jeotermal enerji
5. Dalga enerjisi
6. Okyanus enerjisi
7. Biyoyakıt enerjisi

1.2.2.1. Hidroelektrik Enerjisi

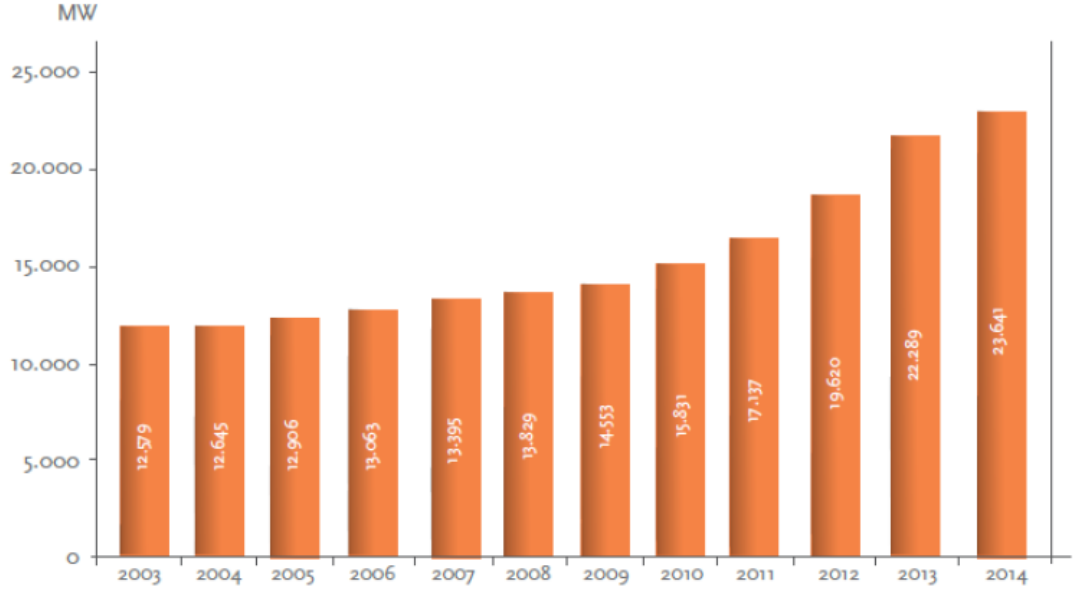
Elektrik enerjisinin elde edilmesinde kullanılan ilk santral tiplerinden biri olan hidroelektrik santraller, yenilenebilir enerji kaynağı olarak bilinmektedir. Akarsulardaki suyun hareket enerjisinden faydalanarak elde edilen enerji, iklime bağlı olarak değişmektedir. Farklı şekillerdeki sistem tasarımları mevcuttur. Barajlarda suyu biriktirmek suretiyle ona daha yüksek oranda kinetik enerji kazandırılmaktadır. Daha sonra bu biriktirilip yükseltile debi değerine sahip su, hızlı bir düşüş haline bırakılarak, türbin kanatçıklarına çarptırılmaktadır. Türbin kanatlarında oluşan dönme hareketi, jeneratör miline akuple edilmiş bir mekanizmaya sahiptir. Diğer bir hidroelektrik santral tipi ise akarsu tipi hidroelektrik santral olarak bilinmektedir. Bu tip santraller genellikle dağlık arazilerde kurulabilmektedir. Akarsuyun akış yönü dağın yamacına doğru verilerek yönü değiştirilmektedir. Bu sayede aşağı doğru akmayıp, kendisine yükselti kazandıracak şekilde dağın yamacı üzerinde, aktarım boruları ile taşınmaktadır. Gerekli yüksekliği sağladıktan sonra, türbinlere doğru hızlı bir kinetik enerjiyle hareket eden su akıntısı sayesinde elektrik enerjisi elde edilmiş olmaktadır.

Hidroelektrik santraller, doğanın içerisindeki doğal döngüden yararlanarak elektrik enerjisi elde ettikleri ve doğaya zararlı sera gazı etkisi oluşturmadığı için yaygın bir

şekilde kullanılmaktadır. Bu özelliklerinin yanı sıra teknik olarak ömrünün uzun olması ve bakım ve çalıştırma giderlerinin ani olması gibi özelliklerinden dolayı yaygın bir şekilde tercih edilmektedir. Şekil 1.7’de, Türkiye’deki kurulu hidroelektrik santralleri toplam enerji üretim değerinin toplam tüketimi karşılama oranının 1970 ile 2015 yılları arasındaki değişimini gösterilmektedir [32]. Ayrıca Şekil 1.8’de, Türkiye’deki hidroelektrik kurulu gücünün son yıllardaki artışı gösterilmektedir. Buradan anlaşıldığı gibi ülkemizin başlıca yenilenebilir enerji kaynağı olan hidroelektrik santral yatırımları son yıllarda hızlı bir artış içerisinde [32,33].



Şekil 1.7. Hidroelektrik santral kaynaklı elektrik üretiminin toplam enerji tüketimini karşılama oranı; 1970-2015 yılları arasındaki değişimi



Şekil 1.8. Hidroelektrik santral kurulu gücünün yıllar içindeki değişimi

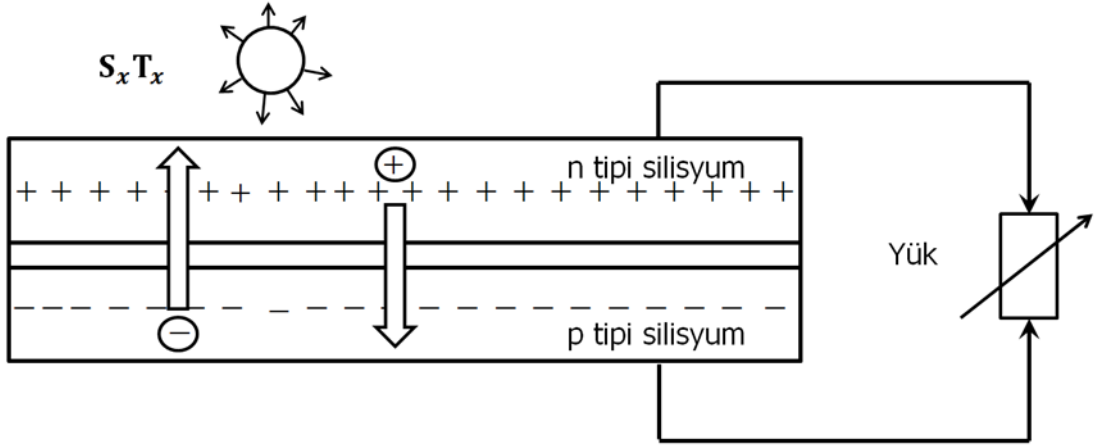
Hidroelektrik santrallerin doğa ve insan yaşamına olumsuz etkileri incelendiğinde bazı etkilerinin olduğunu söylemek mümkündür. Baraj sularının kaplayacağı yüzey alanı içerisinde bulunan doğal yaşam ve tarihsel yapılar sular altında kalacağından, bazı hidroelektrik potansiyeli yüksek havzalara santral kurulumu ve baraj yapımı bölgeyi olumsuz olarak etkiler.

1.2.2.2. Güneş Enerjisi

Bütün enerjilerin asıl kaynağı güneş enerjisidir. Dünya üzerindeki rüzgârların, yağmurların ve fosil kaynaklarının oluşmasına neden olmuştur. Güneş enerjisi, enerjinin ışık ve ısı biçiminde uzay içerisinde dağılması olarak tanımlanır. Güneş içerisindeki enerji kaynağı insan var olduğu süre boyunca devam edeceğinden, sonsuz enerji kaynağı olarak adlandırılmaktadır. Güneş enerjisi ışın olarak 170MW'lık bir güç değeri ile dünyamıza doğru gelmektedir.

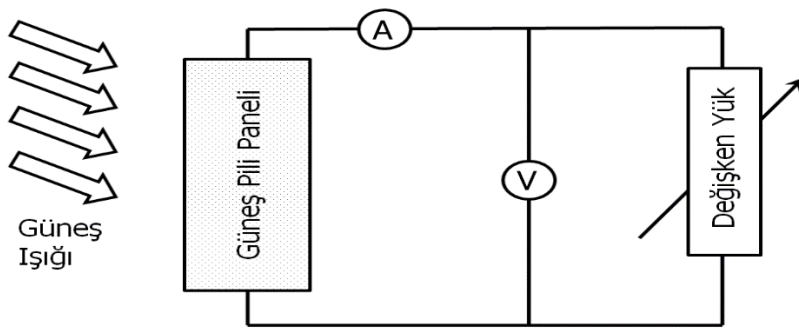
Sürdürülebilir enerji kaynaklarından en yüksek potansiyele sahip olan güneş enerjisini, direk olarak elektrik enerjisine dönüştürebildikleri için güneş pilleri yeni bir üretim aracı olarak son yıllarda popülerliğini arttırmaktadır. Sonuçta güneş pilleri ile ilgili olarak araştırmalar, yasal süreçlerin kolaylaştırılmasıyla birlikte, hızla devam ederken, her gün yeni projeler öne sürülmektedir. Güç talebine bağlı olarak parçalar birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak bir kaç Watt'tan Mega Watt'lara kadar sistem oluşturulur. Güneş enerji santralleri, elektrik enerjisinin götürülmesinin zor olduğu yerlerde, yerleşim yerlerinden uzak yerlerde, ekonomik açıdan uygun olarak kurulabilmekte ve işletme maliyetleri minimum olacak şekilde de çalıştırılabilmektedir. Bu ve bunun gibi birçok olumlu sebepten dolayı ve istenen ölçüde kurulabilmeleri nedeniyle genellikle sinyalizasyon, sulama, kırsal kesimin elektrik ihtiyacının karşılanması vb. kullanım alanlarında yaygın bir şekilde kendisine yer bulmaktadır. Fotovoltaik yapılar, algıladıkları ışın enerjisinden eşit sayıda pozitif ve negatif yükler oluşturarak güneş enerjisini, farklı bir dönüşüm kullanmadan dönüştürebilen ve faydalı elektrik enerjisi üreten tasarımlardır. Yüzey kısımları kare, dikdörtgen, daire şeklinde şekillendirebilecek farklılıkta olabilir. Oluşturulan pozitif ve negatif yükler fotovoltaj ve fotoakım meydana getirmek üzere ayrıştırılırlar. Negatif (elektronlar) ve pozitif (delikler) yükleri ayırtmak için en uygun malzemeler Silikon, Bakır-Kadmium Sülfat ve Galyum-Arsenit gibi yarıiletkenler olup, fotovoltaj güneş pillerinin üretiminde en fazla bunlar kullanılırlar [34].

Plakalardan oluşan ve kendi halinde doğal olan parçalar birleştirildiğinde, birleşme kesitinde “n” tip katmanının içindeki elektronlar, “p” katmanının içindeki pozitif boşlukları dolduracaktır. Elektronlar “n” tip katman elektronunu “p” tipe gönderdiğinden, birleşme noktasında “+” alan oluşacak, diğer tarafta ise “p” tip elektron aldığından “-” alan oluşturacaktır [35]. Şekil 1.9’da elektronların silikonda yapmış olduğu hareket görülmektedir.



Şekil 1.9. Fotonların katmanlarda elektron hareketi oluşturması

Güneş ışığının içindeki foton denilen enerji bu birleşmiş malzemeye yansıdığıında, elektronları serbest bıraktıracaktır. Serbest kalan elektronların yeri de boş kalacaktır. Ancak bu hareket yapışma alanı yakınında oluyorsa elektronlar “n” tipe, boşluklarda “p” tipe geçecektir. Bu iki parça bir iletkenle birbirine bağlanırsa, elektronlar tekrar eski yerine, deliklerde eski yerine döneceklerdir [36]. Potansiyel fark temel prensibinden dolayı bu elektron hareketinden akım, elektrik alanından dolayı da voltaj elde edilir. Bu döngü ışık olduğu sürece devam eder.



Şekil 1.10. FV pil panelinin doğrudan doğruya ayarlanabilen bir yüke bağlanması

Sonuç olarak, Şekil 1.10' da verilen güneş pili paneli ve elektrik devresi kullanılarak yapılan ölçümler, bu güneş pili panelinin akım ve gerilimini verir. Eğer panelin akımı I_{panel} , gerilimi de V_{panel} ile gösterilirse, paneli oluşturan her bir pilin akım ve gerilimi sırasıyla,

$$I_{pil} = \frac{I_{panel}}{N_p} \quad (1.1)$$

$$V_{pil} = \frac{V_{panel}}{N_s} \quad (1.2)$$

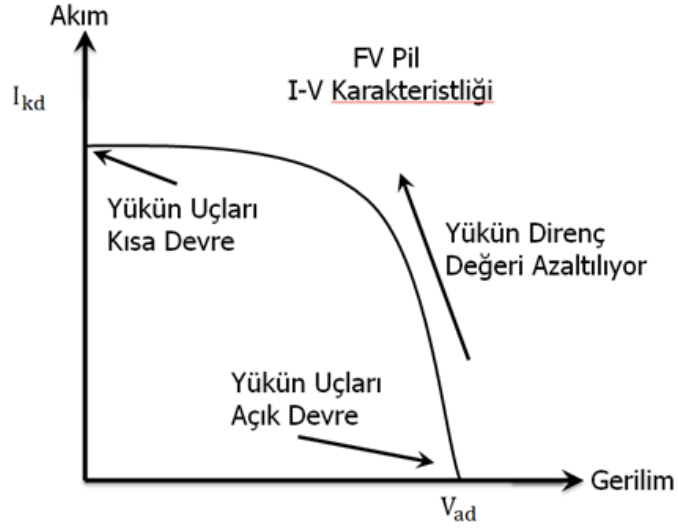
bağlantıları kullanılarak belirlenir. Panel çıkış gücü;

$$P_{panel} = V_{panel} * I_{panel} \quad (1.3)$$

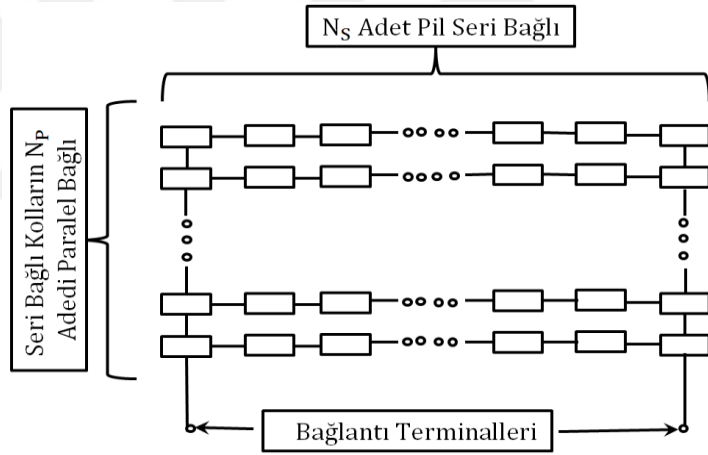
olarak elde edilirken, bir tek pilin gücünde;

$$P_{pil} = V_{pil} * I_{pil} = \frac{V_{panel}}{N_s} * \frac{I_{panel}}{N_p} = \frac{P_{panel}}{N_p * N_s} \quad (1.4)$$

bağlantısı kullanılarak belirlenebilir. Önceki bilgilerde verilen eşitliklerden ve Şekil 1.11'de elde edilen grafikten görüleceği üzere, akım ve gerilimden herhangi biri ya da her ikisi birden sıfırken, çıkış gücü de sıfırdır. Şekil 1.12'de güneş hücrelerinin seri-paralel bağlanması ile oluşturulan güneş panelinin içyapısı gösterilmektedir.



Şekil 1.11. Güneş pilinin Akım-Gerilim (I-V) karakteristiği

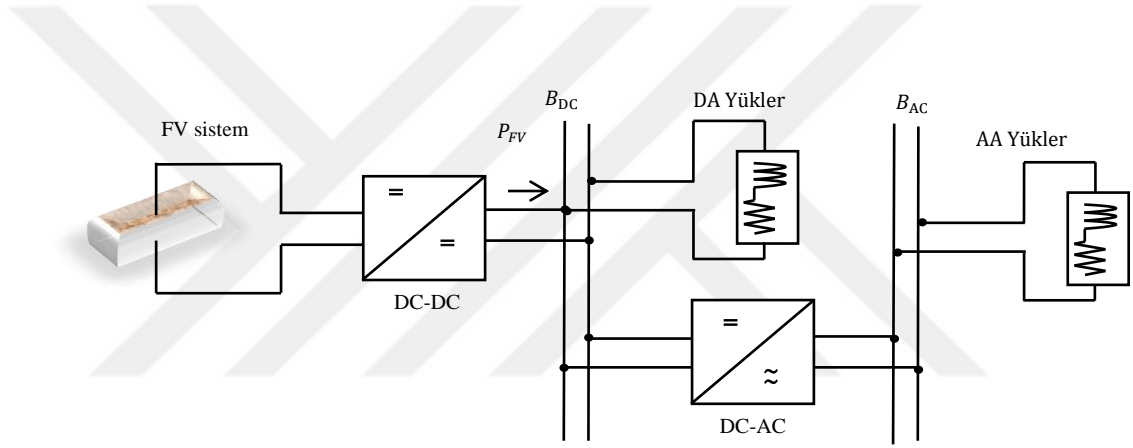


Şekil 1.12. FV pillerin seri-paralel bağlanması ile oluşturulan FV güneş pili paneli

1.2.2.2.1. Şebeke Bağlantılı Güneş Enerjisi

Şebeke bağlantılı bir sistem Şekil 1.13'de gösterilmektedir. Güç aktarımı okları ile belirtilen bu sisteme, güneş santrali bir DA bara üzerinden şebeke bağlanmıştır. Şebeke bağlantılı bu sistemde karşılaşılan en büyük sorunlardan birisi, güç akışının kontrolünün nasıl yapıldığıdır. Bu sorunu 4 farklı şekilde açıklayabiliriz.

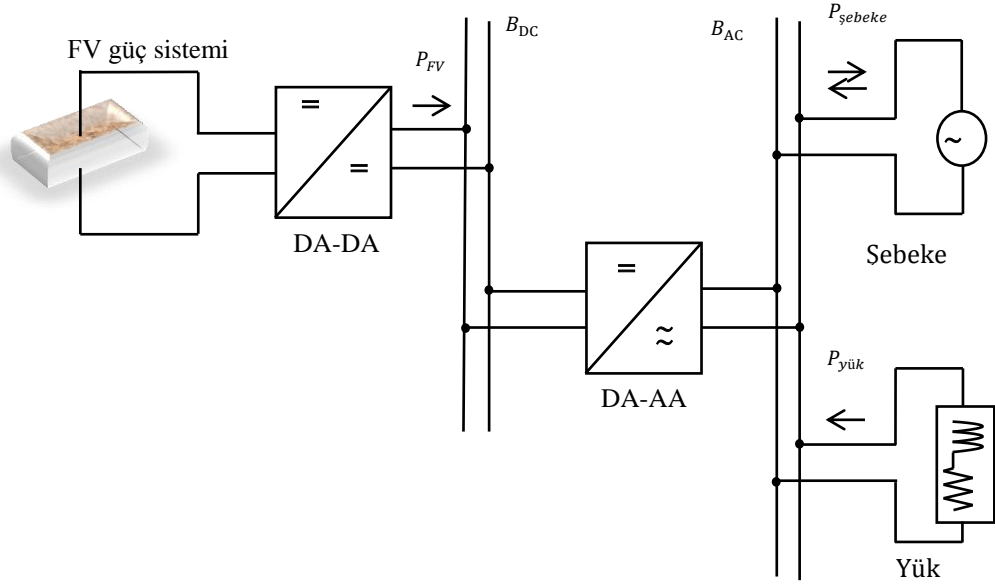
1. Durum: $P_{FV} > P_{yük}$. Bu durumda FV sistemden elde edilen enerji ile yüklerin beslemesi yapıldıktan sonra fazla enerji şebekeye aktarılır.
2. Durum: $P_{FV} = P_{yük}$. Bu durumda şebeke üzerinde yüklerle güç iletimi yapılmaz. FV sistem yüklerin enerji ihtiyacını karşılayabilir seviyededir. Şebeke bağlantısı pasif haldedir.
3. Durum: $P_{FV} < P_{yük}$. FV sistemin yetersiz kaldığı bu durumda, şebeke üzerinden yüklerle enerji beslemesi sağlanır.
4. Durum: $P_{FV} = 0$. FV sisteminde herhangi bir arıza meydana geldiğinde veya bakım yapılması gerektiğinde yüke güç aktarımı şeklinde yapılır.



Şekil 1.13. Şebeke bağlantısız bir güç sistem

1.2.2.2.2. Şebeke Bağlantısız Güneş Enerjisi

Şebekeden bağımsız enerji sistemleri birden fazla enerji kaynağı ve en az bir enerji depolayabilme özelliği olan bir kaynaktan oluşur. Şekil 1.14’de şebekeden bağımsız kurulan GES sisteminin modeli gösterilmektedir.



Şekil 1.14. Şebeke bağlantılı sistem modeli

Bu sistem modelinde karşılaşılan problemler aşağıda verilmiştir.

- Yükleri üzerindeki enerji kalitesi FV güneş pili ve dönüştürücüler üzerinden elde edilen enerjiye bağlı olduğu için bu sistemlerde karşılaşılan en büyük sorun gerilim düzensizliğidir.
- FV güneş sistemindeki elektrik enerjisinin iklim koşullarına bağlı olması gerilimin düzensiz olma ihtimalini yüksek tutmaktadır.
- Şebeke bağlantısı olmadığından yükler üzerindeki ani güç değişikliklerine hızlı cevap verebilme kapasite sorunları meydana gelmektedir.
- Şebekeden bağımsız sistemlerde karşılaşılan diğer bir sorun ise, FV sistemlerindeki gücü ortak bir Doğru Akım (DA) barasına aktarmak için kullanılan DA-DA çeviricilerin ve Alternatif Akıma (AA) dönüştürülmesinde kullanılan doğrultucuların oluşturmuş oldukları harmonik ve bozucu etkilerdir.

1.2.2.3. Rüzgâr Enerjisi

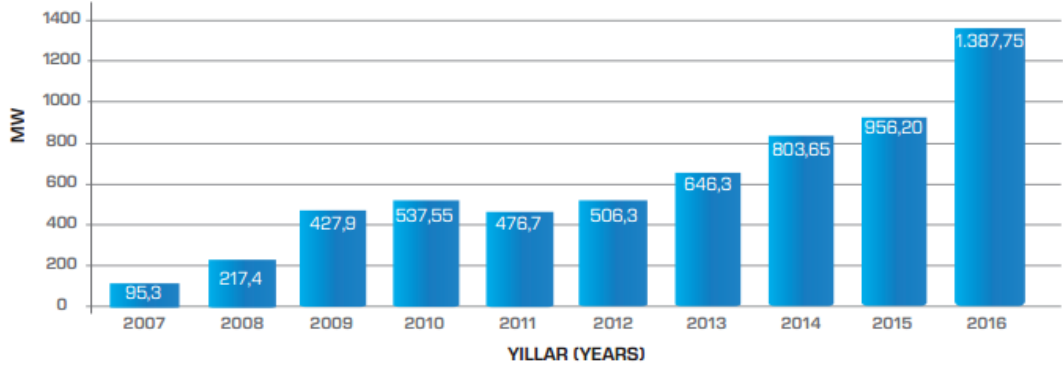
Rüzgâr farklı ısıya sahip hava kütlelerinin yer değiştirmesi olarak tanımlanabilir. Doğal, sürdürülebilir özelliğe sahip bir enerji kaynağı olan rüzgar enerjisi, güneşin etkisiyle oluşan sıcaklık farkları ve buna paralel meydana gelen basınç değişimi nedeniyle meydana gelmektedir [37].

En büyük enerji kaynağı olan güneş ışınlarının, dünyaya ulaşan %2'lik kısmı rüzgâr enerjisinin oluşmasını sağlamaktadır. Oluşan bu enerji hızlı hava kütleleri oluşturduğu için meydana bir kinetik enerji çıkmış olur. Bu kinetik enerji de rüzgâr türbinleri vasıtasıyla rüzgar elektrik santrallerinden üretilen elektrik olarak şebeke ağına dahil edilir.

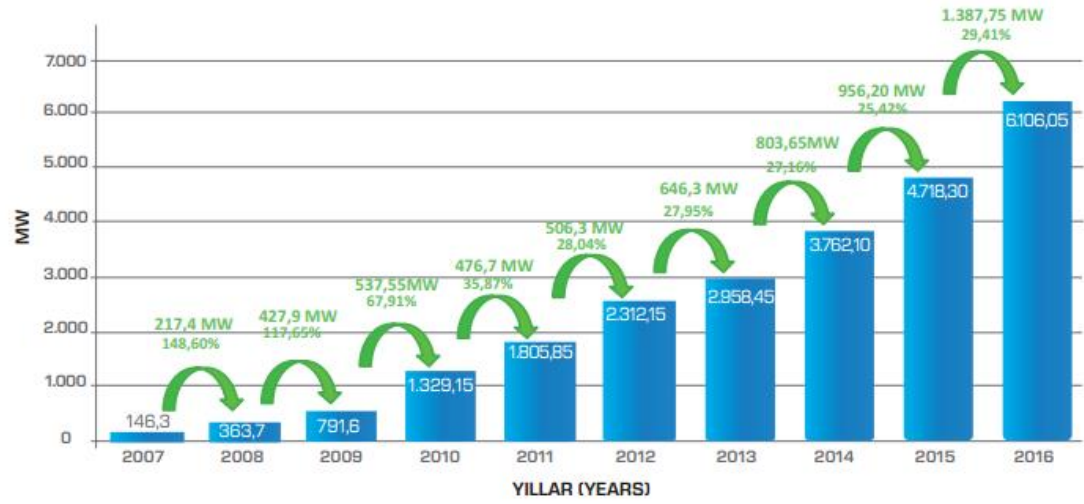
Rüzgâr enerji santrallerinin özellikleri kısaca şu şekilde sıralanabilir:

- ✓ Rüzgârın sağladığı kinetik enerji dünyanın çeşitli bölgelerinde elektrik enerjisi üretilmesi için yeterince bulunmaktadır.
- ✓ Hammadde ihtiyacı yoktur.
- ✓ Sürdürülebilir ve doğa dostu bir enerji santralidir.
- ✓ Rüzgâr enerji santrallerinden elde edilen enerji, rüzgârın esme hızının küpü ile doğru orantılıdır.
- ✓ Yoğunluğu düşüktür.
- ✓ Üretilen enerji dönüştürülmeye ihtiyaç duyulmadan doğrudan şebekeye bağlanabilir.

Son yıllarda Türkiye'de rüzgâr enerji yatırımları yüksek oranda artış göstermektedir. Bunun oluşmasında, yasal düzenlemelerin payı büyüktür. Şekil 1.15'de, 2007 ile 2016 yılları arasındaki rüzgâr enerji santrallerinin yıllık kurulu güç değerleri gösterilmektedir. 2007 yılında sadece 95,3 MW olan değer, 2016 yılına gelindiğinde ise yaklaşık 14 kat artarak 1387 MW değerlerine ulaşmıştır [38].

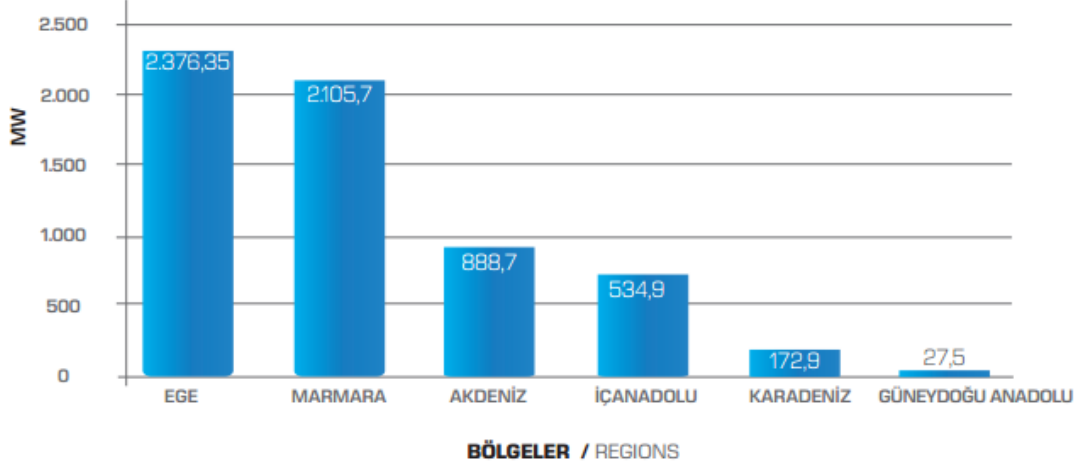


Şekil 1.15. 2007-2016 yılları arası Türkiye’deki rüzgâr enerji santralleri yıllık kurulu güç miktarları



Şekil 1.16. 2007-2016 yılları arası Türkiye’deki rüzgâr enerjisi santralleri kümülatif kurulu güç miktarları

Yasal işlemlerin yatırımcılara sağlanan kolaylıklar sonucunda, rüzgâr enerji santrallerinden üretilen yıllık enerji miktarı her yıl bir önceki yıla göre üzerine koyarak artmaya devam etmektedir. Şekil 1.16’da 2007 ile 2016 yılları arasında rüzgâr enerji santrallerinin kümülatif kurulu güç değerleri gösterilmektedir [28,38].



Şekil 1.17. İşletmede olan rüzgâr enerji santrallerinin bölgelere göre dağılımı

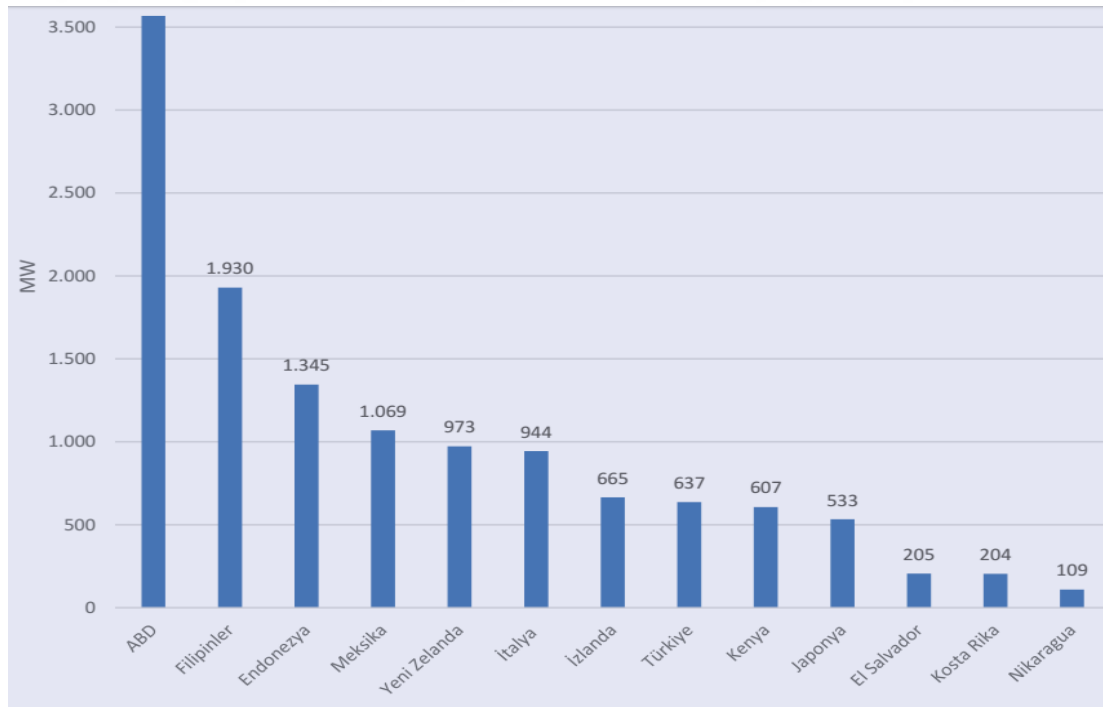
Türkiye, coğrafi özelliklerinden dolayı, rüzgâr enerjisi bakımından zengin bir ülkedir. Özellikle ülkenin batı bölgelerinde ki yüksek hızlar nedeniyle, yatırımcılar bu bölgeleri tercih etmektedir. Şekil 1.17’de Türkiye’nin altı bölgesi için 2016 yılındaki kurulu santrallerin toplam güç değerleri gösterilmiştir. Şekil 1.17’den de anlaşılacağı gibi Ege bölgesi ve Marmara bölgeleri sırasıyla 2367 MW ve 2105 MW kurulu güç değerleriyle ilk iki sırayı almaktadır.

Rüzgâr türbinleri kullanım şekline göre üç alt başlık altında detaylandırılabilir. Bunlardan birincisi, güneş santrallerinde de olduğu gibi şebeke bağlantısı olmayan, şebeke bağımsız sistemlerdir. Bu uygulamaya verilebilecek en iyi örnek ada uygulamasıdır. Ayrıca şebekeye uzak bölgelerin elektrik enerji ihtiyacının karşılanması için de yaygın bir kullanımı bulunmaktadır. İkinci olarak, ulusal veya uluslararası şebekeye bağlı sistemlerdir. Üretilen elektrik enerjisi uygun şartlar sağlandıktan sonra doğrudan şebekeye aktarılır. Diğer bir uygulama şekli ise daha özel amaç gerektiren yerlerin enerji ihtiyacının karşılanmasıdır. Bunlara verilebilecek örnekler ise; deniz fenerleri, gözetleme kuleleri ve demiryolu kontrol noktalarıdır.

1.2.2.4. Jeotermal Enerjisi

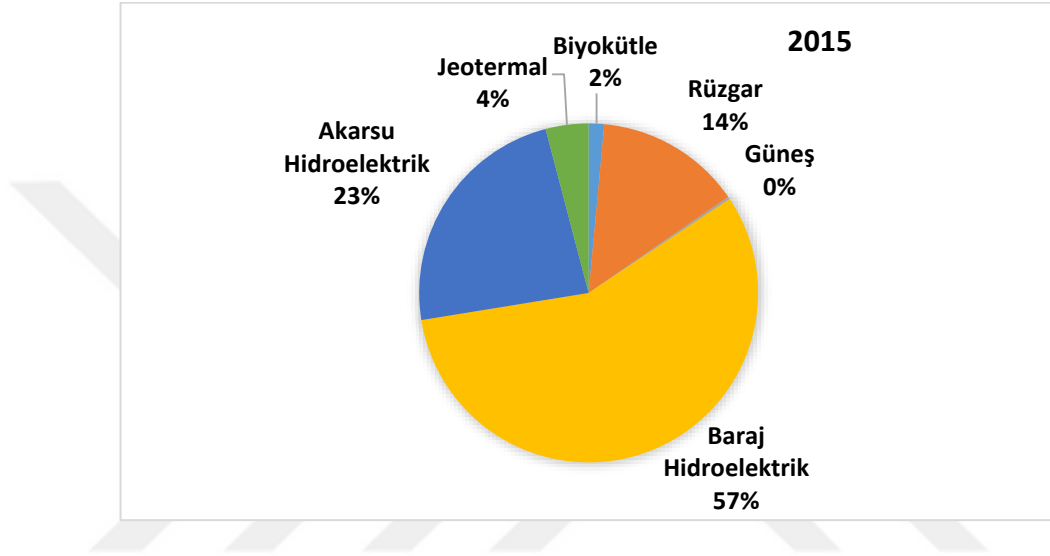
Jeotermal enerji, yer yüzeyinin altında, farklı ve sıcak yer kabuğu katmanları arasında bulunmalarından dolayı yüksek sıcaklık seviyelerine ulaşmış sıcak suların veya buharların yer yüzeyine çıkmasıyla elde edilmektedir. Jeotermal enerji kaynağı, coğrafi yapıya bağlı olarak, diğer alanlardaki sulara göre daha fazla madde veya gaz içerebilen, doğal yolla veya insan eli sayesinde yeryüzüne çıkan sıcak su olarak tanımlanabilmektedir.

Jeotermal enerji zenginliği bakımından ülkeler sıralandığında, ilk sırada ABD bulunmaktadır. Ardından Filipinler, Endonezya ve Meksika gelmektedir. 2015 yılındaki veriler incelendiğinde Türkiye sekizinci sırada bulunmaktadır. Şekil 1.18’de bu durum gösterilmiştir. Türkiye de 2017 yılı Nisan ayı sonu itibariyle toplam kurulu gücün %1,1 miktarındaki kısmı jeotermal kaynaklı santrallerden elde edilmektedir. 32 adet jeotermal elektrik santralinden elde edilen %1,1 kadarlık enerji 850 MW civarındadır.



Şekil 1.18. 2015 yılı Jeotermal enerji kaynağı bakımından ülke kapasiteleri

Jeotermal enerji, döngü meteorolojik olduğundan ve yer altındaki ısı depoları sürekli farklı kaynaklardan beslendiklerinden dolayı, yenilenebilir enerji kaynağı olarak düşünülmektedir. Türkiye’de 2015 yılı için yenilenebilir enerji kaynakları arasında bir dağılım yapıldığında, jeotermalden elde edilen elektrik enerjisinin %4 değerlerinde kaldığı Şekil 1.19’da görülmektedir [29].



Şekil 1.19. 2015 yılı Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarının dağılımı

1.2.2.5. Dalga Enerjisi

Dünya üzerindeki sıcaklık farklarından ve dünyanın hareketinden kaynaklı meydana gelen rüzgârların deniz üst kısmında esmesiyle oluşan dalgaların hareket enerjisine bu ad verilmektedir. Teorik ve uygulamalı olarak yapılan pek çok çalışma, bu hareket enerjisini yenilenebilir enerji sistemine dönüştürülebilecek bir potansiyelinin olduğunu göstermektedir [26]. Dalga Enerji santralleri, dalganın kısa süreli hareketindeki kinetik enerjiyi kullanarak elektrik enerjisi üretmeyi amaçlayan sistemlerdir. Pek çok uygulama yöntemi bulunmaktadır. Bunlardan bazıları şu şekilde sıralanabilir:

- ✓ Salınlımlı Su Kolonu (Kıyıda)
- ✓ Daralan Kanal Sistemi (Kıyıda)
- ✓ Pendula (Kıyıda)
- ✓ Osprey (Kıyıya yakın)
- ✓ Wosp 3500 (Kıyıya yakın)
- ✓ McCabe Dalga Pompası (Kıyıdan uzakta)
- ✓ OPT Dalga Enerji Dönüştürücüsü (Kıyıdan uzakta)
- ✓ Pelamis (Kıyıdan uzakta)

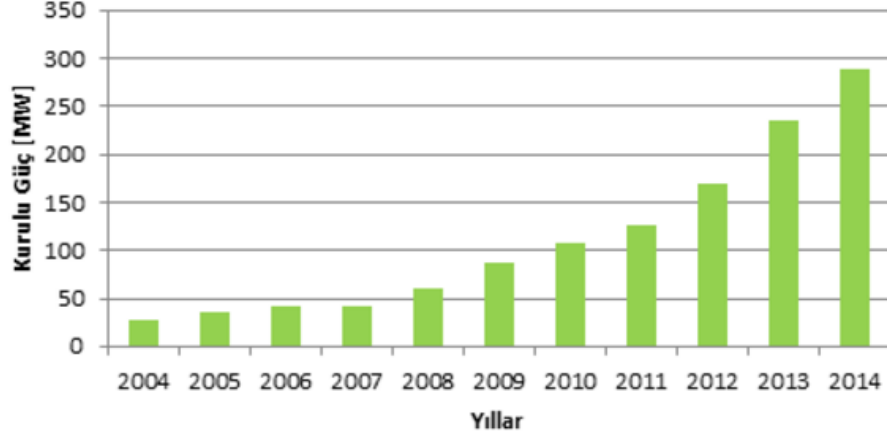
1.2.2.6. Okyanus (Gelgit, Medcezir) Enerjisi

Gelgit tipi elektrik santralleri, ayın dünya üzerindeki etkileri ile okyanuslarda oluşan büyük su kütlelerinin hareketi esnasında açığa çıkan kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmeyi amaçlayan santral tipidir. Oluşan kinetik enerjiden iki farklı şekilde elektrik enerjisine dönüşüm sağlanabilir. Birincisi su kütlelerinin gelgit esnasında bir alanda tutulmasıdır. İkincisi ise suyun hareketi esnasında okyanus tabanına yerleştirilmiş türbinlerin dönme hareketi ile elektrik enerjisi üretilmesidir.

1.2.2.7. Biyoyakıt Enerjisi

Odun, odun kömürü, hayvan atıkları, tarımsal atıklar ve organik atıklardan çeşitli kimyasal süreçlerden geçirilmek suretiyle, elde edilen enerji cinsi biyokütle enerjisi olarak tanımlanmaktadır.

Biyokütle, sürdürülebilir özelliğe sahip, özellikle merkezlere uzak bölgelerde kolaylıkla elde edilmesi, sosyolojik olaylara sağladığı yararlar ile önemli bir enerji türü olarak görülmektedir. Tükenmekte olan fosil kaynakları için iyi bir alternatif olarak akıllara gelen enerji kaynaklarından bir tanesidir. 2004-2014 yılları arasındaki yenilenebilir biyokütle enerjisinin kurulu gücü Şekil 1.20'de gösterilmiştir [39].



Şekil 1.20. 2004-2014 yılları arasındaki yenilenebilir biyokütle enerjisinin kurulu gücü

Biyoyakıt enerji kaynağı olarak aşağıdakiler gösterilebilir:

- ✓ Odun,
- ✓ Tohumlar,
- ✓ Karbonhidrat bitkileri,
- ✓ Elyaf bitkileri
- ✓ Bitkisel artıklar
- ✓ Şehirselle ve endüstriyel atıklar [33].

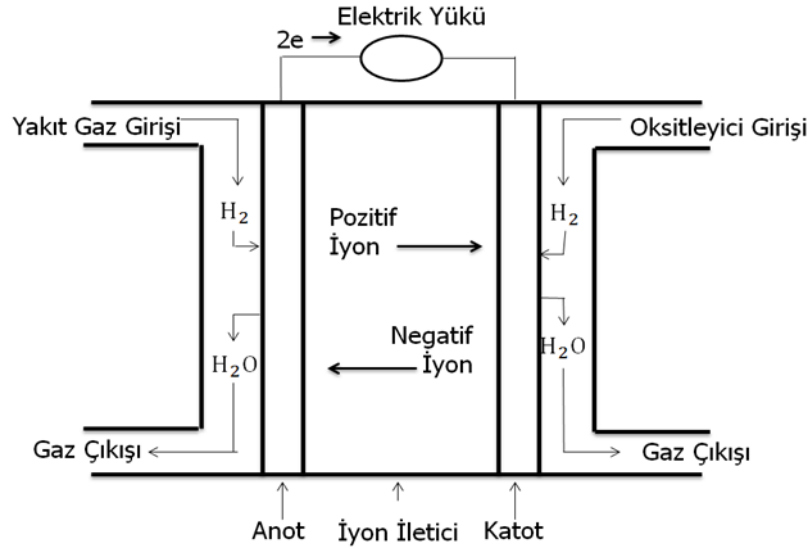
Biyoyakıt yaygınlaşmasının gereklilikleri şu şekilde sıralanabilir:

- ✓ Yurt dışından petrol alımlarını makul seviyelere çekilmesini sağlar,
- ✓ Sürdürülebilir toplum için gerekli yenilenebilir kaynak meydana gelir,
- ✓ Enerjinin çok yönlü olmasını sağlar,
- ✓ Kırsal bölgelerin kalkınmasına sebep olur,
- ✓ Çevre dostu olması insan ve doğa yaşamını destekler,
- ✓ Biyodizel motorun uzun ömürlü olmasını sağlar,
- ✓ Dizele göre daha güvenli çalışma şartları sağlar,

1.2.2.8. Hidrojen Enerjisi (Yakıt Pilleri)

Yakıt pillerinde kimyasal enerji, ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüşümü olmadan, doğrudan doğruya elektrik enerjisine dönüştürülür. Bu yüzden, diğer bir ifadeyle, elektrokimyasal dönüştürücüler olarak bilinirler. Bu nedenle diğer enerji üreticinden farklılık gösterir. Yaşanan kimyasal süreçte içten yanmalı motorlarda olduğu gibi yanma evresi olmadığından, temiz enerji kaynağıdır. Çevreye zararı olan atık maddeler oluşturmazlar. Bunun yanında, elektrik enerjisinin yüksek verimlilik ile elde edilmesine olanak sağlarlar. Hidrojeni yakıt olarak kullanması, yakıt hücrelerinin veriminin yüksek, çevre dostu ve güvenli olması yakıt hücreleriyle olan çalışmaların artmasını sağlamıştır. Güneş pilleri, gündüz gece zaman dilimine ve mevsimlere göre değişen ışık şiddetine bağlı olarak elektrik üretmesi ve benzer biçimde bir rüzgâr türbininin üreteceği elektrik enerjisi de, rüzgâr hızına dolayısıyla iklim şartlarına bağlı olması, Yakıt Pili (YP) sistemlerini farklı kılmaktadır. Yakıt pilleri iklim şartlarından bağımsız olarak, ihtiyacın olduğu yerde kesintisiz biçimde enerji üretimine olanak sağlayabilmektedirler [40]. Dolayısıyla yenilenebilir enerji kaynakları içinde özel bir yere sahiptir. Bu nedenlerle yakıt hücreleri ile ilgili olarak, hızla artan bir biçimde, araştırma ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Bağımsız ve dağınık biçimde enerji üretimine olanak sağlayan yakıt hücreleri, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de giderek önem kazanacak ve geniş uygulama alanları bulacaktır.

Çok basit bir temel çalışma prensibine sahip olan yakıt pillerinin ilk gösterimi 1839'da William Grove tarafından yapılmıştır. Yakıt pilleri yakıt ve oksitleyicinin reaksiyonundan meydana gelen kimyasal enerjiyi doğrudan elektron akışına dönüştüren elektrokimyasal bir cihazdır. Yakıt pilinin yapısı, Şekil 1.21'de görüldüğü gibi, ortada bir elektrolit ve elektrolit ile temas halinde gözenekli anot ve katottan oluşmaktadır. Herhangi bir yakıt pilinde gaz yakıtlar anot kısmından oksitleyici gazlar ise katot kısmından enjekte edilir. Anotta yükseltgenme yani elektron bırakma reaksiyonları katotta ise indirgenme yani elektron alma reaksiyonları gerçekleşir. Sonuç olarak su ve ısı oluşur. Elde edilen suyun kimyasal potansiyeli hidrojen ve oksijenin kimyasal potansiyellerinin toplamından düşüktür [41].



Şekil 1.21. Yakıt pilinin yapısı

Sonuçta bu olay gerçekleştiğinden dolayı toplam kimyasal potansiyel farkı hidrojen ve oksijende su oluşması yani reaksiyonun gerçekleşmesi yönünde başlamayı zorlayan bir güç oluşturmaktadır. Elektrokimyasal reaksiyonlar elektrotlarda meydana gelir ve bir elektrik akımı ortaya çıkar [42].

Başlıca avantajları;

- ✓ Sabit bir sıcaklıkta çalışırlar ve yüksek sıcaklıkta çalışanları kojenerasyon uygulamaları için uygundur,
- ✓ Boyuttan bağımsız olduğundan, küçük yakıt pili santralleri büyükleri ile aynı verimlerde çalışırlar,
- ✓ Hareketli parçanın az olması sebebiyle servis süresi azdır ve sürekli bir gözetleme gerekmez,
- ✓ Sessiz çalışır,
- ✓ Her türlü sıcak ve soğuk ortamda kullanılabilir,
- ✓ Yakıt esnekliğine sahiptir,
- ✓ Diğer sistemlere göre yüksek verime sahiptir,
- ✓ Fosil yakıtlarla kullanıldığında dahi çok düşük emisyon değerlerine sahiptir,
- ✓ Doğrudan enerji dönüşümü sağlar,
- ✓ Kısmi yüklemelerde yüksek verim sağlar,

- ✓ Yerleştirme kolaylığı vardır,
- ✓ Hızlı alışma avantajına sahiptir.

Başlıca dezavantajları ise;

- ✓ Enerji endüstrisi için tanınmayan bir teknolojidir,
- ✓ Altyapı eksik durumdadır.
- ✓ Yeni bir teknoloji olması sebebiyle maliyetler yüksektir.

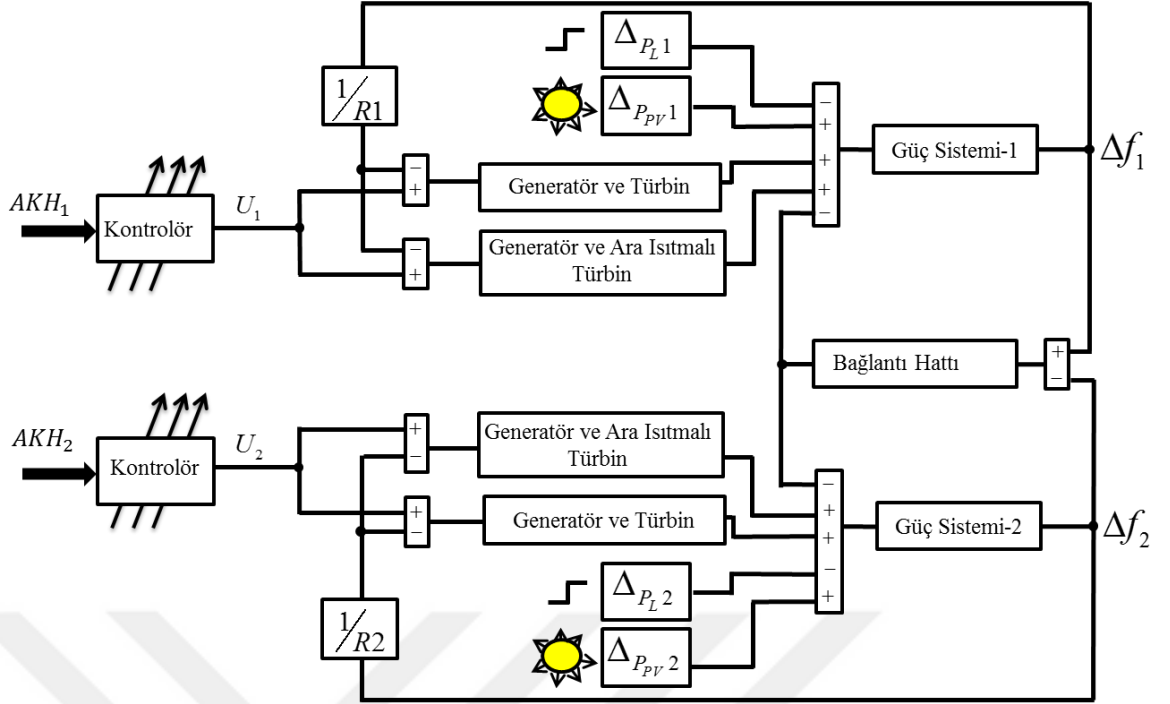


2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında Güneş Enerji Sistemi (GES) bağlanmış iki bölgeli enterkonnekte güç sisteminin yük-frekans kontrolü yapılacaktır. Bu amaçla materyal olarak güneş ışınım değerleri ve modeli Matlab/Simulink'te geliştirilmiş güç sistemi kullanılmıştır. Tezin yöntem kısmında ise, yük-frekans kontrolünün yapılabilmesi için gerekli kontrol teknikleri incelenmiş ve önerilerde bulunularak yeni bir tasarım yapılmıştır.

2.1. Enterkonnekte Güç Sistemi Modelleri

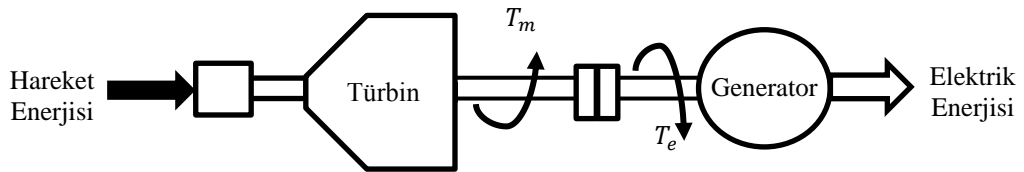
Elektrik enerjisi tüketiciye yüksek güçlü elektrik enerji üretim santrallerinin bağlı olduğu enerji iletim hatları üzerinden aktarılır. Elektrik enerjisinin üretilmesi gibi hızlı ve kayıpsız bir şekilde tüketim merkezlerine aktarılması da son derece önemlidir [43]. Üretilmiş ve sistematikleştirilmiş her sistem gibi, güç sistemlerinin de kendi içerisinde bir dengeye sahip olması gerekmektedir. Gerilim kararlılığı ve frekans kontrolü bu parametrelerden en önemli iki tanesidir [44]. Güç sistemlerinin bilgisayar ortamında modellenebilmesi için ilk önce matematiksel modellerin çıkartılması gerekir. Elde edilen matematiksel modeller birleştirilip bir araya getirildikten sonra, bir bütün halinde bir güç sistemi çalıştırılıp, analizi gerçekleştirilebilir [4,45,46]. Bu amaçla, güç sistem bölümlerinin modelleri tek tek incelenecektir. Aşağıda örnek olması açısından iki bölgeli bir güç sisteminin blok şeması Şekil 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.1. İki bölgeli güç sisteminin blok şeması

Verilen modeli oluşturan alt modeller sırasıyla açıklanacaktır.

2.1.1. Generatör Modeli



Şekil 2.2. Türbin-generatör sistemi fiziksel modeli

Mekanik enerji ile harekete geçen türbin ile tahrik edilen generatör birbirlerine etkide bulunan iki ters momentli bir kütle gibi temsil edilebilir. Mekaniksel moment, (T_m), dönme hızını artırırken, elektriksel moment, (T_e), bu kuvvete ters bir etki oluşturarak

azalmasına sebep olur. T_m ve T_e büyüklük olarak eşitlendiğinde dönme hızı ($\omega = \omega_0$) sabit olur. Elektriksel yük arttırılırsa ($T_e > T_m$) tüm dönen sistem yavaşlamaya başlar. Çok fazla yavaşlaması sisteme zarar vereceğinden dengeyi sağlamak için mekanik momenti arttırmak yöntemiyle sistem kontrol edilmelidir. Bu, dönme hızını uygun bir değere getirmek ve hız tekrar sabit kalacak şekilde momentlerin eşitliğini sağlayarak gerçekleştirilir. Modelleme yapılırken kullanılacak eşitliklerdeki kısaltmalar aşağıdaki gibi verilebilir.

ω = Açısal hız

α = Açısal ivme

δ = Generatör Faz Açısı

T_a = İvme momenti

T_m = Mekanik moment

T_e = Elektriksel moment

P_a = İvme gücü

P_m = Mekanik güç

P_e = Elektriksel güç

I = Makinanın atalet momenti

M = Makinanın açısal momenti

Generatör modellenirken faz açısı hariç tüm büyüklükler pen-unit değere dönüştürülüp, sürekli halde büyüklüklerin türevi kullanılarak işlem yapılır. Tüm sürekli hal değerleri “0” alt işaretiyle ve nominal değerden tüm sapmalar “ Δ ” alt işareti kullanılarak gösterilir. Temel formüller Eşitlik 2.4-2.5 ile ifade edilmiştir [9,45,47].

$$T_a = T_m - T_e \quad (2.1)$$

$$P_a = P_m - P_e \quad (2.2)$$

$$T_a = I \times \alpha \quad (2.3)$$

$$M = \omega \times I \quad (2.4)$$

$$P_a = \omega \times T_a = \omega \times (I \times \alpha) = M \times \alpha \quad (2.5)$$

Bir tek dönen makine olduğu ve makinanın ω_0 sürekli hızında, δ_0 faz açısına sahip olduğu varsayılırsa; farklı elektriksel ve mekanik bozulmalardan dolayı makine, hızlanmasına ya da yavaşlamasına sebep olan elektriksel ve mekaniksel momentlerindeki fark nedeniyle zorlanır. Burada asıl üzerinde durulması gereken, nominal değerlerden, $\Delta\omega$ kadar hız değişimi ile $\Delta\delta$ kadar faz açısı değişimi oluşmasıdır. Faz açısı sapması $\Delta\delta$, α hızlanmasına maruz kalan makine faz açısı ile ω_0 hızında dönen bir referans eksenin faz açısı arasındaki farka eşittir. Hızlanma durumundaki makinenin hızı;

$$\omega = \omega_0 - \alpha \times t \quad (2.6)$$

$$\Delta\delta = \int (\omega_0 + at) dt - \int \omega_0 dt = \omega_0 t + \frac{1}{2}at^2 - \omega_0 t = \frac{1}{2}at^2 \quad (2.7)$$

olur. Bu durumda nominal hızdan sapma, $\Delta\omega$, şu şekilde ifade edilir;

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

Faz açısı sapması, hız sapması ve ivme momenti arasındaki bağıntı;

$$T_a = I\alpha = I \frac{d}{dt}(\Delta\omega) = I \frac{d^2}{dt^2}(\Delta\delta) \quad (2.9)$$

şeklindedir.

Döner hız ve mekanik momentteki sapmalar ile mekanik ve elektrik gücündeki sapmalar göz önüne alınırsa, ivmelenme gücü ile mekaniksel ve elektriksel güç arasındaki bağlantılarından;

$$P_a = P_{a_0} + \Delta P_a \quad (2.10)$$

$$P_{a_0} = P_{m_0} + P_{e_0} \quad (2.11)$$

$$\Delta P_a = \Delta P_m - \Delta P_e \quad (2.12)$$

$$P_a = (P_{m_0} - P_{e_0}) + (\Delta P_m - \Delta P_e) \quad (2.13)$$

$$T_a = (T_{m_0} - T_{e_0}) + (\Delta T_m - \Delta T_e) \quad (2.14)$$

ifadeleri elde edilir. Eşitlik 2.5 ile Eşitlik 2.14 kullanılarak Eşitlik 2.15 yazılabilir. Aynı şekilde Eşitlik 2.13 ile Eşitlik 2.14 kullanılarak Eşitlik 2.16 yazılabilir.

$$P_a = P_{a_0} + P_{a_0} = (\omega_0 + \Delta\omega) \times (T_{a_0} + \Delta T_e) \quad (2.15)$$

$$(P_{m_0} - P_{e_0}) + (\Delta P_m - \Delta P_e) = (\omega_0 + \Delta\omega) [(T_{m_0} - T_{e_0}) + (\Delta T_m - \Delta T_e)] \quad (2.16)$$

Senkron çalışma hızında $P_{m_0} = P_{e_0}$ ve $T_{m_0} = T_{e_0}$ 'dır. ΔT_m ve ΔT_e ile $\Delta\omega$ 'nın çarpımı ihmal edilirse, Eşitlik 2.17 elde edilir. Moment hız değişimi ile bağlantılı olduğundan Eşitlik 2.18'ye ulaşılır. Ayrıca sürekli durumda $T_{m_0} = T_{e_0}$ olduğundan Eşitlik 2.16 ve Eşitlik 2.17 birleştirilirse, Eşitlik 2.19 elde edilir. Eşitlik 2.19'e Laplace dönüşümü uygulanırsa Eşitlik 2.20 elde edilir ve Şekil 2.3'deki gibi temsil edilir.

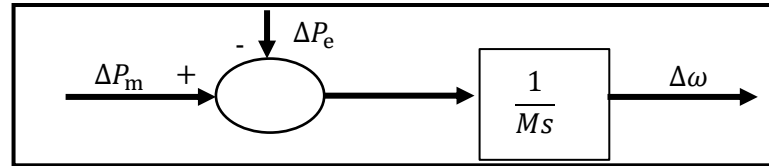
$$\Delta P_m - \Delta P_e = \omega_0(\Delta T_m - \Delta T_e) \quad (2.17)$$

$$(T_{m_0} - T_{e_0}) + (\Delta T_m - \Delta T_e) = I \times \frac{d}{dt}(\Delta\omega) \quad (2.18)$$

$$\Delta P_m - \Delta P_e = \omega_0 \times I \times \frac{d}{dt}(\Delta\omega) = M \times \frac{d}{dt}(\Delta\omega) \quad (2.19)$$

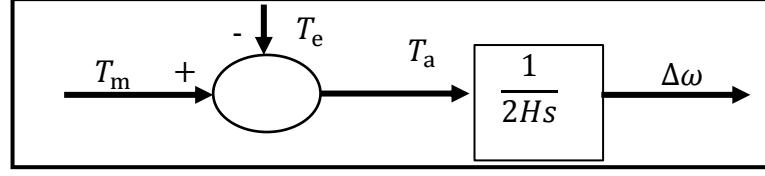
$$\Delta P_m - \Delta P_e = M_s \times \Delta\omega \quad (2.20)$$

Buna göre blok diyagram çizilirse Şekil 2.3 elde edilir.



Şekil 2.3. Mekanik ve elektriksel güç ile hız değişikliği transfer fonksiyonu

Hız ile moment arasındaki transfer fonksiyonu ise; $M=2H$ olmak üzere Şekil 2.4'deki gibidir. Burada, H =Atalet sabiti (MW-sn/MVAr)'dır [4,45,48].



Şekil 2.4. Hız-moment arasındaki transfer fonksiyonu

2.1.2. Yük Modeli

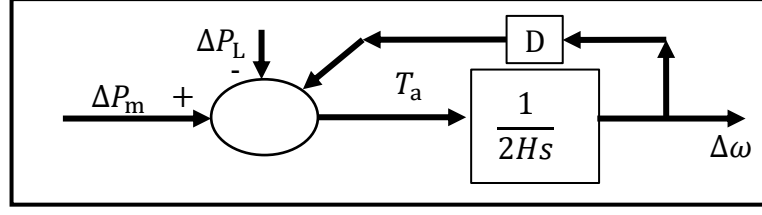
Enterkonnekte şebekedeki tüketicileri modellemek için yük modeli kullanılır. Yüklerin bir kısmı frekansa bağlı, bir kısmı da bağımsız olarak çalışır. Fan ve motor gibi, şebekede ki indüktif yükler, frekansa karşı aşırı duyarlıdırlar. Ayrıca motor türü tüketiciler, tüketim merkezlerindeki tüketilen elektrik enerjisinin büyük bir kısmını oluşturduklarından, frekansta meydana gelecek herhangi bir değişikliğin yük üzerindeki etkisinin bir model ile belirtilmesi gerekmektedir [45]. Frekansın değişikliğe uğramasıyla yük tarafında oluşacak değişiklik Eşitlik 2.21 ve 2.22 ile ifade edilmiştir.

$$\Delta P_D = D \times \Delta \omega \quad (2.21)$$

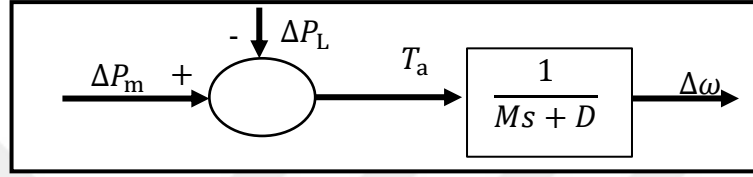
$$\Delta P_e = \Delta P_L + D \times \Delta \omega \quad (2.22)$$

Burada; ΔP_D frekansa duyarlı yük değişimini, D yük sönüm sabitini ve $\Delta \omega$ açısal hızdaki değişimi (rad/sn) ifade etmektedir. Sönüm sabiti; yükteki yüzde değişim için frekanstaki yüzde değişim olarak tanımlanır. D 'nin genel aralığı %1-%2 arasındadır. Frekansa duyarsız yük değişimi ΔP_L ve elektriksel yükteki net değişiklik ΔP_e olarak tanımlanır.

Şekil 2.5'de yük değişikliğinin etkisini veren transfer fonksiyonu ve Şekil 2.6'da basitleştirilmiş modeli verilmiştir.



Şekil 2.5. Döner kütle ve yükün blok şeması



Şekil 2.6. Döner kütle ve yükün basitleştirilmiş blok modeli

2.1.3. Hız Regülatörü Modeli

Generatörden talep edilen güç arttığında elektriksel güç, mekanik gücü aşar. Bu güç dengesizliği, döner sistemde depolanan kinetik enerjiden karşılanır. Kinetik enerjide meydana gelen azalma, türbin hızını etkiler ve sonuç olarak generatörün frekansı düşer. Hızdaki bu değişim türbin yöneticisi tarafından hissedilir ki bu durumda türbin giriş valfinin ayarlanması sayesinde, mekanik güç çıkışı, yeni kalıcı durum hızına getirilerek sağlanır. Bu olay Hız Kontrol Üniteleri ile sağlanmaktadır. Hız regülatörü, hızı düzenleyen mekanizmanın pozisyonu ile belirlenen yük-frekans referans değerini (ΔP_{ref}) karşılaştırarak bu işlemi yapar. Hata sinyali (ΔP_g), kontrol valfini kontrol etmek için kullanılır. ΔP_g Eşitlik 2.23'deki gibi ifade edilebilir.

$$\Delta P_g = \Delta P_{ref} - \frac{1}{R} \times \Delta f \quad (2.23)$$

$$R_u = \frac{(f_2 - f_1)/f_n}{P_{Gn}/S_n} \text{ (p.u)} \quad (2.24)$$

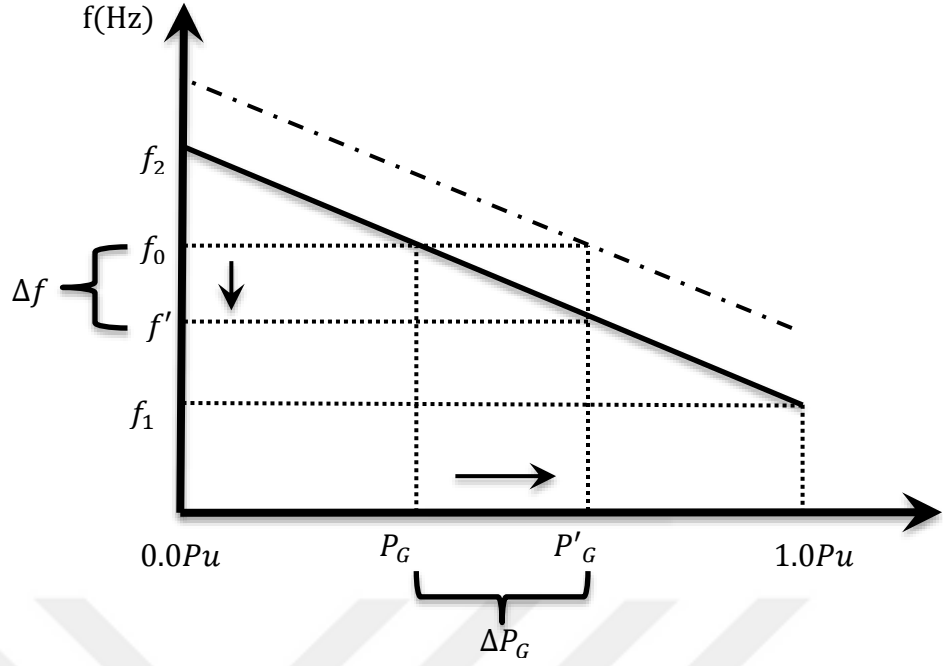
Eşitlik 2.24'deki generatör ünitesinin hız genliği (R_u) ifadesi, hız-çıkış gücü karakteristiğinin eğiminin genliğidir. Bu denklemlerde f_1 yüksüz durumdaki frekansı, f_2 nominal güç çıkışında frekansı, f_n nominal frekansı, P_{Gn} generatör ünitesinin nominal çıkış gücünü, S_n MW cinsinden baz değeri ifade etmektedir. Eşitlik 2.24'ün her iki kısmı f_n/S_n ifadesi ile çarpılırsa Eşitlik 2.25 elde edilir. Burada R ifadesi hız ayar karakteristiğinin eğiminin genliğidir. Frekanstaki değişiklik ise Eşitlik 2.26'daki gibi ifade edilir.

$$R = R_u \times \frac{f_n}{S_n} = \frac{f_2 - f_1}{P_{Gn}} \text{ (Hz/MW)} \quad (2.25)$$

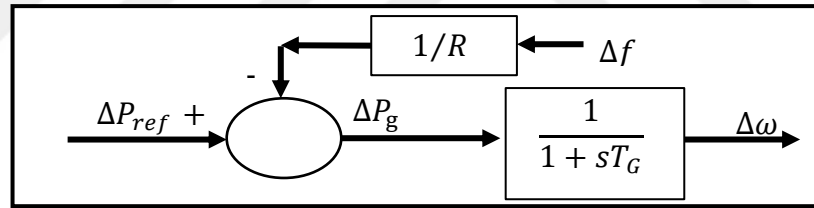
$$\Delta f = -R \times \Delta P_G = -\left(R_u \times \frac{f_n}{S_n}\right) \times \Delta P_G \text{ (Hz)} \quad (2.26)$$

R değeri üretim bölümünün hız-çıkış gücü karakteristiğini belirler. R değeri frekans dalgalanmasının veya hız bozulmasının, valf pozisyonunun veya çıkış gücündeki değişime oranı ile ifade edilir. Türbine gidecek olan akışı ayarlamak üzere kontrol valfinin pozisyonunu değiştirecek sistemin transfer fonksiyonu Eşitlik 2.26'daki gibidir. Burada ΔP_v valf pozisyonunu, ΔP_G ise güç değişimini ifade etmektedir. Burada T_G zaman sabiti olup $T_G = 1/K_G$ ifadesi ile elde edilir. K pozitif bir sabit olup valfin açıklığına, silindir şekline ve akışkan basıncına bağlıdır [4,45]. Şekil 2.8'de ise hız regülatör sisteminin matematiksel modeli gösterilmiştir.

$$G_G(s) = \frac{\Delta P_v}{\Delta P_G} = \frac{1}{1 + s \times T_G} \quad (2.27)$$



Şekil 2.7. Talep yük artışı (ΔPL) öncesi, sonrası ve ikincil kontrol



Şekil 2.8. Buhar türbini hız regülatör sistemi matematiksel modeli

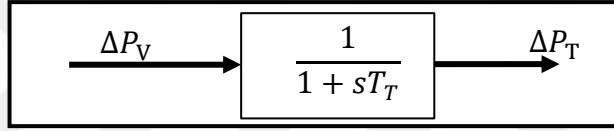
2.1.4. Türbin Modeli

Yer altı kaynakları, fosil yakıtları ve nükleer yakıtlar gibi kaynaklardan elde edilen ısı enerjisi sayesinde su buhara dönüştürülüp, türbin kanatlarına çarptırılması sayesinde, göbeğe bağlı milde dönme hareketi elde edilmektedir. Bu tez çalışmasında iki çeşit türbin modeli kullanılmıştır.

2.1.4.1. Ara Isıtmasız Türbin Modeli

Türbinler nehirlerde hidrolik türbin; gaz, kömür ve nükleer yakıt kullanılan santrallerde buhar türbinleri ve gaz türbinleri olarak sınıflandırılır. Mekanik enerjinin kaynağı olarak türbinler bilinir. Türbin modeli vana konumundaki değişmeler (ΔP_v) ile türbin mekanik güç çıkışındaki değişimlerle (ΔP_T) bağlantılıdır. Burada T_T zaman sabiti olup $T_T = 1/K_T$ ifadesi ile elde edilir. Ara ısıtmasız türbin matematiksel modeli Şekil 2.9'de ve transfer fonksiyonu ise Eşitlik 2.28'de gösterilmiştir.

$$G_G(s) = \frac{\Delta P_T}{\Delta P_v} = \frac{1}{1 + s \times T_T} \quad (2.28)$$

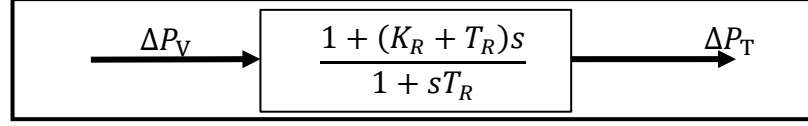


Şekil 2.9. Ara ısıtmasız türbin matematiksel modeli

2.1.4.2. Ara Isıtmalı Türbin Modeli

Ara ısıtmalı türbinlerde buhar iki türbin arasında yeniden ısıtılarak enerjilendirildiği birkaç türbin katından oluşan ve bu sayede verimi arttırılmış türbinlerdir. Genellikle büyük santrallerde kullanılır. Ara ısıtmalı türbin matematiksel modeli Şekil 2.10'da ve Eşitlik 2.29'da gösterilmiştir. Burada K_R ara ısıtma kazancını ve T_R ara ısıtma kazanç sabitini ifade etmektedir [49].

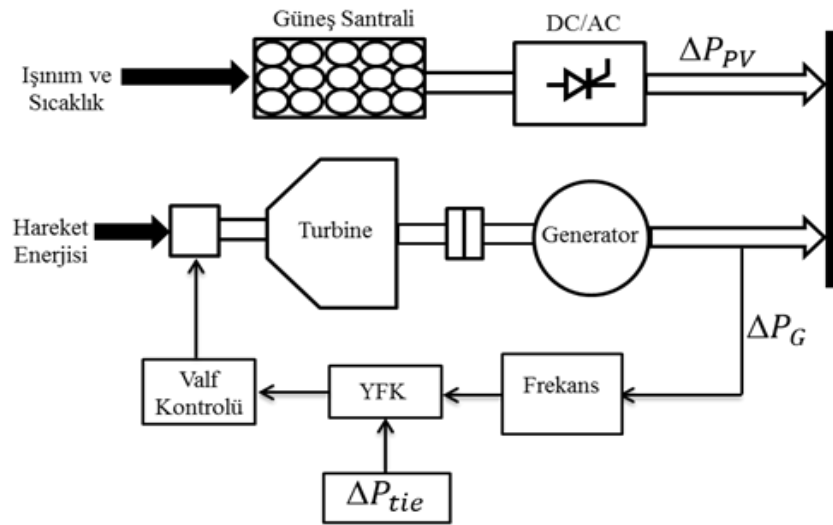
$$G_G(s) = \frac{\Delta P_T}{\Delta P_v} = \frac{1 + s \times (K_R + T_R)}{1 + s \times T_R} \quad (2.29)$$



Şekil 2.10. Ara ısıtmalı türbin matematiksel modeli

2.1.5. Güneş Enerji Santrali Modeli

Tek bölgeli güç sisteminde kullanılan bloklar genel olarak nonlineer sistemlerdir. Çalışma noktasında yer alan yükler ve GES'ler bölgenin frekansını etkilemektedir. Şekil 2.11'de tek bölgeli sisteme uygulanmış Yük-Frekans kontrolü gösterilmektedir. Burada türbin, generatör ve diğer modeller gösterilmiştir. Ayrıca güneş ışığı ile güç elde eden fotovoltaik santralin sisteme bağlantısı gösterilmiştir. Burada sistemin olabildiğince hızlı kontrol edilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kontrol işlemi birincil ve ikincil kontrol olmak üzere iki aşamada yapılır. Birincil frekans kontrolünde, elektrik enerjisinin iki farklı merkezde değişik olması durumunda güç dengesini türbin hız regülatörünü ayarlayarak yapılan frekans kontrolüdür. İkincil frekans kontrolü ise bölgeler arasındaki güç akışını kontrol ederek enterkonnekte şebekedeki kalıcı frekans hatasının sıfıra indirilmesi sayesinde gerçekleştirilir [50,51].



Şekil 2.11. Tek bölgeli güç sistemine uygulanmış frekans kontrolü

2.1.5.1. Güneş Pilinin Eşdeğer Devre Modeli

Fotovoltaik panel sistemleştirilirken, gerekli çıkış gerilimini elde etmek için yeterli sayıda “N_s” adet pil seri bağlanırken, gerekli akımı elde edebilmek için de pillerin seri bağlanmasıyla meydana gelen yeterli sayıda “N_p” adet kol paralel bağlanır. FV güneş pilinin benzetimini gerçekleştirebilmek için bir devre modeli gerekmektedir. 1960’lı yıllardan günümüze kadar değişik modellemeler gerçekleştirilmiştir. Güneş pilinin genel statik eşdeğer devre modelindeki seri ya da paralel olarak birleştirilen FV hücreleri üzerindeki değişken ışık şiddeti ve sıcaklığa bağlı olması gerçekleştirilecek modelin değişimlere cevap verecek bir dinamiğe sahip olmalıdır. Böyle bir dinamiğe sahip bir model gerçekleştirmek uzun süredir araştırmacılar tarafından önemini koruyan bir konu olmaktadır. 1960’lı yıllardan günümüze kadar değişik modellemeler gerçekleştirilmiştir [34]. Bir FV güneş pilinin en basite indirgenmiş eşdeğer devresi Şekil 2.12’de gösterilmektedir. Şekil 2.12’de FV güneş pili bir akım kaynağı (I_{FV}) ile temsil edilmektedir [16]. Bu akım kaynağı gün ışığı sayesinde gelen fotonların etkisi ile elde edilen elektrik akımını akım kaynağı olarak göstermektedir [52]. I_D, FV güneş pilinde oluşan ters doyma akımını, R_S direnci ise P-N noktasındaki ısıl kayıpları temsil etmektedir. Şekil 2.12’deki devreden elde edilecek olan çıkış gerilimi Eşitlik 2.30’da gösterilmektedir.

$$V_{pil} = \frac{A \cdot k \cdot T_{pil}}{e} \ln \left(\frac{I_{FV} + I_0 - I_{pil}}{I_0} \right) - R_S \cdot I_{pil} \quad (2.30)$$

Burada;

I_{pil} : FV güneş pilinin çıkış akımı (A)

I₀ : D diyotunun ters doyma akımı (A)

I_{FV} : Fotoakım, Işık seviyesi ve P-N birleşim noktası sıcaklığının fonksiyonu (A)

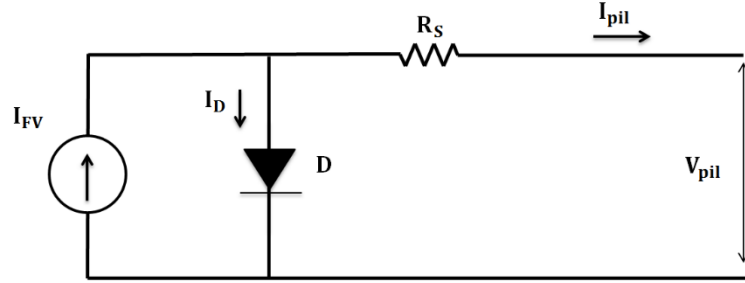
V_{pil} : FV güneş pilinin çıkış gerilimi (V)

R_S : Eşdeğer seri direnci (Ω)

E : Elektron Yüğü (C)

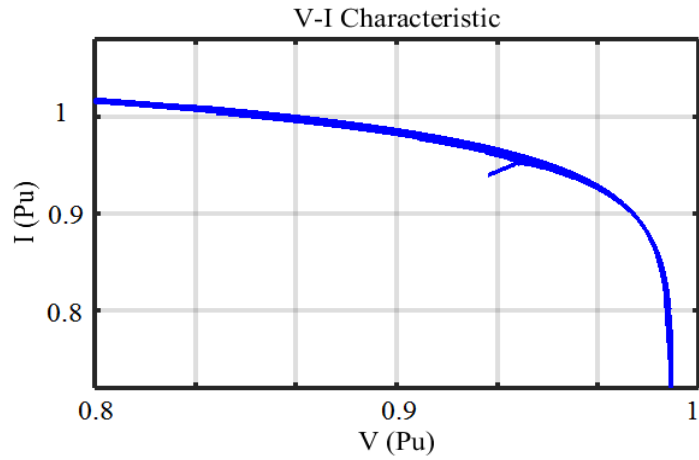
K : Boltzmann sabiti ($J/^\circ K$)

T_{pil} : Referans çalışma sıcaklığı ($^\circ K$)

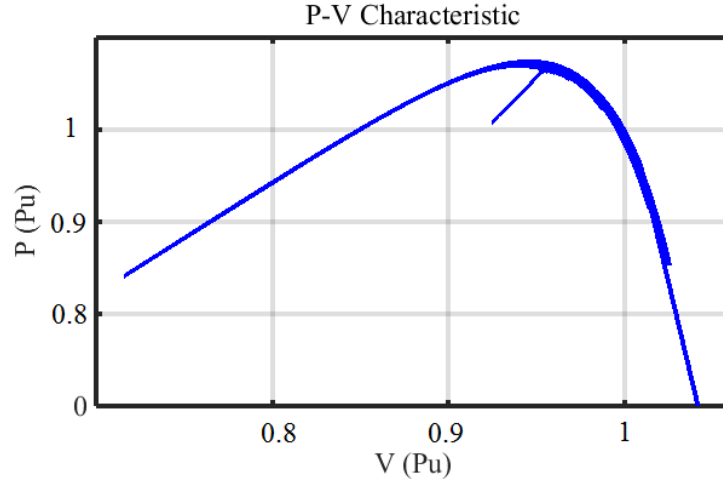


Şekil 2.12. Güneş pilinin basite indirgenmiş eşdeğer devresi

Bir fotovoltaik güneş pilinin elektriksel özelliklerini belirlemek için, akım ve geriliminin değişken yükten ne ölçüde etkilendiğini gözlemleyebilmek gerekir. Günün belirli bir saatinde, gün ışığı ve ortam sıcaklığındaki değişmelerin ihmal edilebilecek kadar az olduğu kabul edilir. Yük açık konumdan uçlarının kısa devre olduğu konuma kadar ayarlanırken, ampermetre ve voltmetredeki değerler her yük kademesi için kaydedilip grafik olarak çizilir. Sonuçta Şekil 2.13 ve 2.14’de gösterilen eğriler elde edilir.



Şekil 2.13. Güneş paneli V-I karakteristiği



Şekil 2.14. Güneş paneli P-V karakteristiği

2.1.5.2. I-V Karakteristiğinin Belirlenmesi

Güneş panelinin bulunduğu ortamın sıcaklığı ve güneş radyasyonu seviyesi değişince, paneldeki FV pillerin çalışma sıcaklığı T_{pil} 'de değişerek yeni bir fotoakımı ve yeni bir çıkış gerilimi oluşturur. FV pillerin çalışma sıcaklığı, güneş radyasyonu seviyesi ve ortamın sıcaklığına bağlı olarak değişir. Değişken ortam sıcaklığı T_x , pilin çıkış gerilimi ve fotoakımını etkiler. Bu etkiler pil modelinde sırasıyla sıcaklık gerilim ve akım katsayıları Eşitlik 2.31 ve Eşitlik 2.32'de C_{TV} ve C_{TI} ile gösterilmektedir.

$$C_{TV} = 1 + \beta_T * (T_a - T_x) \quad (2.31)$$

$$C_{TI} = 1 + \frac{\gamma_T}{S_{pil}} * (T_x - T_a) \quad (2.32)$$

Burada T_a test sırasında bilinen referans ortam sıcaklığını temsil etmektedir. T_x Farklı zamanlardaki farklı ortam sıcaklıklarını temsil eder. β_T ve γ_T katsayıları ise sırasıyla sıcaklık nedeniyle pil gerilimi ve akımında meydana gelen değişimlerin eğimlerini temsil etmektedirler. Bu β_T ve γ_T katsayıları FV pil tipine bağlı olarak değişir ve deneysel olarak belirlenirler. Normalde β_T 0,004 ile 0,006 arasında, γ_T ise 0,02 ile 0,1 arasında değerler alır [1,3,34].

Gün boyunca ortam sıcaklığı önemli ölçüde değişmese de, güneş radyasyonu seviyesi, günışığı miktarı ve havanın bulutluluk durumuna bağlı olarak etkin biçimde değişerek FV pilin fotoakımını ve çalışma sıcaklığını, dolayısıyla da çıkış gerilimini etkiler. Bu etkiler çıkış gerilimi için C_{SV} fotoakım için ise C_{SI} ile verilmekte ve sırasıyla Eşitlik 2.33 ve Eşitlik 2.34 ile tanımlanmaktadır.

$$C_{SV} = 1 + \beta_T * \alpha_s (S_x - S_{pil}) \quad (2.33)$$

$$C_{SI} = 1 + \frac{Y_T}{S_{pil}} * (S_x - S_{pil}) \quad (2.34)$$

Burada, S_{pil} referans güneş radyasyon seviyesi olarak kullanılan günışığı şiddetidir. S_x ise farklı zamanlardaki farklı güneş radyasyon seviyelerini temsil etmektedir. α_s , güneş radyasyon seviyesindeki değişimin pil çalışma sıcaklığında meydana getireceği değişime ait bir katsayı olup Eşitlik 2.35 ile tanımlanır.

$$\alpha_s = \frac{\Delta T_{pil}}{S_x - S_{pil}} = \frac{T_{pil} - T_a}{S_x - S_{pil}} \quad (2.35)$$

α_s nin değeri, aynı özelliklere sahip olmayan FV piller için farklıdır ve deneysel olarak belirlenir. Ancak bu değer genellikle 0.3 ile 0.4 °C cm²/mW arasındadır [34].

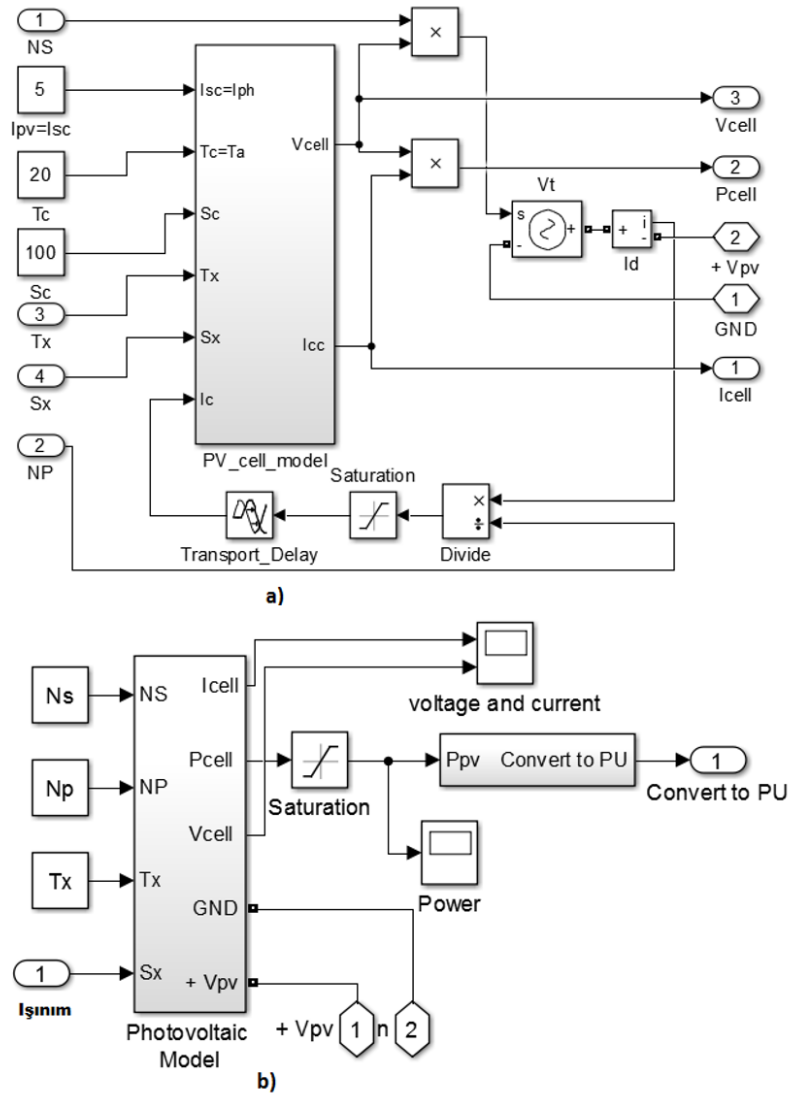
Yukarıda verilen düzeltme katsayıları C_{TV} , C_{TI} , C_{SV} ve C_{SI} kullanılarak FV pilin yeni çıkış gerilimi V_{Xpil} ve yeni fotoakımı I_{XFV} , yeni çalışma sıcaklığı T_x ve yeni güneş radyasyonu seviyesi S_x için Eşitlik 2.36 ve Eşitlik 2.37’de gösterildiği gibi hesaplanır.

$$V_{Xpil} = C_{TV} * C_{SV} * V_{pil} \quad (2.36)$$

$$I_{XFV} = C_{TI} * C_{SI} * I_{FV} \quad (2.37)$$

Burada, C_{TV} ve C_{TI} Eşitlik 2.31 ve Eşitlik 2.32’de verildiği gibi ortam sıcaklığındaki değişimi ifade eder. Sırasıyla pil gerilimi ve akımı üzerindeki etkilerini, C_{SV} ve C_{SI} ise Eşitlik 2.33 ve Eşitlik 2.34’de görüldüğü gibi, güneş radyasyonu seviyesindeki artış veya azalış sırasıyla pil gerilimi ve akımı üzerindeki etkilerini temsil ederler. Bu

ifadelerdeki V_{pil} ve I_{FV} ise referans alınan pil çalışma sıcaklığı ve güneş radyasyonu seviyelerindeki pil çıkış gerilimi ve fotoakımının değerleridir. Kısa devre sırasında diyotun I_0 ters doyma akımı, I_{FV} fotoakımına kıyasla çok küçüktür ve göz ardı edilebilir. Dolayısıyla I_{FV} fotoakımı, I_{kd} kısa devre akımına eşit alınabilir [34,53]. Matlab/simulink programı ortamında tasarlanan GES'lerin alt modelleri Şekil 2.15'de görülmektedir.

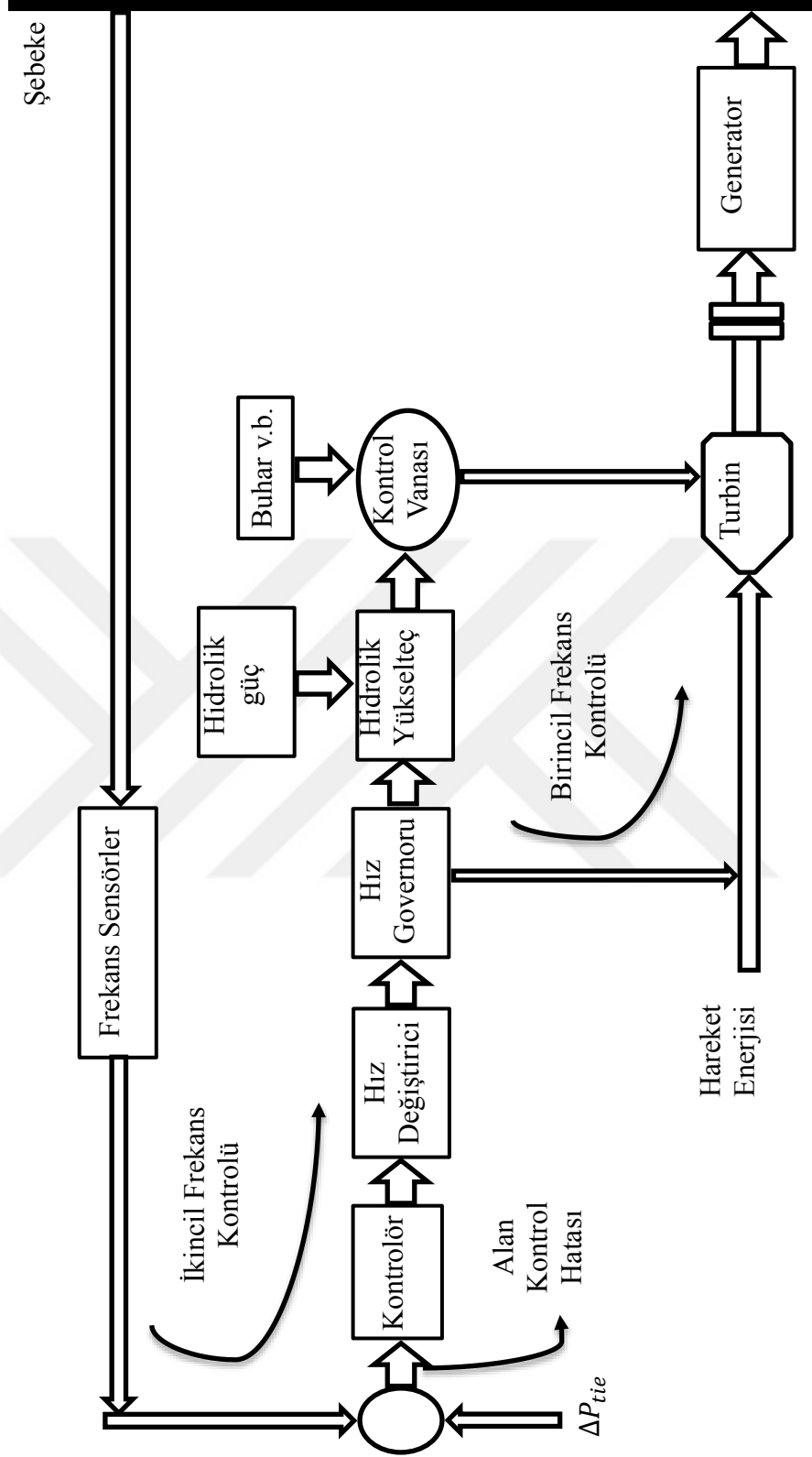


Şekil 2.15. (a) PV cell Simulink modeli; (b) PV-SPP Simulink modeli

2.1.6. Yük Frekans Kontrolü

Enterkonnekte gç sistemleri, iki veya daha fazla tüketicisi ve üreticisi guruplarını temsil eden bölgelerden meydana gelir. Bu bölgeler birbirlerine iletim hatlarıyla bağlantılıdır. Bu iletim hatları ile bölgeler arasında aktif güç değişimi yapılmak yoluyla yk dengelemesi gerçekleştirilir [54]. Güç sistemlerinde yk dalgalanmaları neticesinde dengesizleşen aktif güç akışı ve frekansın, uygulanan yük frekans kontrolü ile kararlı çalışma koşullarını yakalaması istenir [55,56]. Gç dengesi ile ulaşılmak istenen durum üretilen güç değeri ile sistem üzerinde tüketilen toplam gç değeri ile bütün kayıpların toplamının eşit olmasıdır. Şekil 2.16'da bir gç sisteminde temel yük frekans kontrolü kısımları gösterilmiştir.





Şekil 2.16. Güç sisteminde temel yük frekans kontrolü kısımları

2.1.6.1. Birincil Frekans Kontrolü

Sistemdeki yük değerinde meydana gelen değişim, frekansın değişmesine neden olacaktır. Birincil frekans kontrolünde, sistem üzerindeki aktif güç akışı bozulmaya başladığında değişmeye zorlanan sistem frekansının değişimini minimum sürede durdurarak belirli bir değerde sabitlemek için üretim bölümünün rezerv kapasitesi ile frekansı dengelemeye çalışmasıdır. Temelde yapılmak istenen üretilen aktif gücü, tüketilen ve kayıp aktif güç değerlerinin toplamına eşitlemektir. Bu kontrolde frekanstaki farklılaşma hız regülatörü ile tespit edilir. Hız regülatörünün konumu Şekil 2.17’de gösterilmektedir. Hız regülatörünün görevi türbin milinin hızını süreli takip etmek ve değişim anında hidrolik yükselteci harekete geçirip gerekli mekanik gücü elde edilmesini sağlamaktır. Sonuçta türbine giren ve buhar veya su ile elde edilen güç ayarlanmış olur. Ancak birincil frekans kontrolünde, kontrol işleminin sonunda frekans değerinde kalıcı durum hatası oluşur. Bu hatayı ortadan kaldırmak için ise, ikincil frekans kontrolüne ihtiyaç duyulur [48].

2.1.6.2. İkincil Frekans Kontrolü

İkincil frekans kontrolü, birincil frekans kontrolü işleminin yetersiz kalması sonucu ortaya çıkan kalıcı durum hatasını ortadan kaldırmak için yapılan kontrol işlemidir [51]. Enterkonnekte şebeke sistemi bütün diğer küçük ve büyük sistemlerin bağlı olduğu, merkezi bir noktadan işletilir. Bütün bu sistemler bir SCADA ağı ile birbirleri ile iletişim halindedir. Türkiye’de bu merkezin adı Yük Tevzi Merkezi’dir. Bu merkezlerde temel 3 görev gerçekleştirilir. Bunlardan birincisi; kontrol edilen bölgelerin arasında ve ara bağlantı bölgeleri arasında gerçekleştirilen güç iletimini anlaşmalara bağlı olarak yürütülmesidir. Ayrıca frekans değerinde herhangi bir değişiklik olması durumunda, frekansı kontrol yöntemlerini kullanarak tekrar işletme şartlarına uygun değere getirir. Üçüncü görevi ise birincil frekans kontrol rezerv kapasitesinin tekrar kullanılabilir duruma getirilmesinin sağlanmasıdır.

2.1.6.3. Bağlantı Hattı Kontrolü

İletim hatlarındaki güç akışı, yük akış yöntemi kullanılarak modellenenbilir ve hatlar arasındaki güç akışı Eşitlik 2.38-2.42 gibi ifade edilir. Bu eşitliklerde; V_1 birinci bölge hat sonu gerilim değerini, V_2 ikinci bölge hat sonu gerilim değerini, X_{12} bölgeler arasındaki iletim hattının eşdeğer reaktasını, δ_1 birinci bölge hat sonu gerilim faz açısını, δ_2 ikinci bölge hat sonu gerilim faz açısını, T_{12} hattın senkronize edici moment katsayısını temsil etmektedir. Bağlantı hattının blok diyagramı Şekil 2.17'de gösterilmiştir.

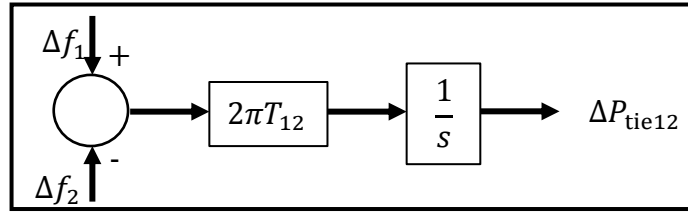
$$P_{hat12} = \frac{|V_1| \times |V_2|}{X_{12}} \times \sin(\delta_1 - \delta_2) \quad (2.38)$$

$$T_{12} = \frac{|V_1| \times |V_2|}{X_{12}} \times \cos(\delta_1 - \delta_2) \quad (2.39)$$

$$P_{hat12} = T_{12} \times \sin(\delta_1 - \delta_2) \quad (2.40)$$

$$\Delta\delta = 2 \times \pi \times \int \Delta f dt \quad (2.41)$$

$$P_{hat12} = 2 \times \pi \times T_{12} \times \left(\int \Delta f_1 dt - \int \Delta f_2 dt \right) \quad (2.42)$$



Şekil 2.17. Bağlantı hattı blok diyagramı

2.2. Kontrol Yöntemleri

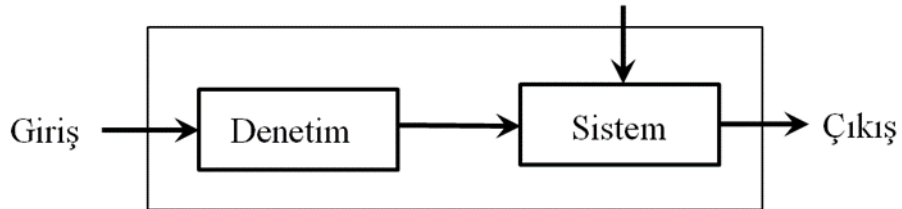
Klasik kontrol açık ve kapalı çevrim kontrol sistemlerinden meydana gelir. Kontrol sisteminin amacı sistemin değişkenlerini, belirli durumlarını istenen aralıkta

gözlemek ve istenen denetleme işlemini uygulayarak sistemi istenen şekilde çalıştırmaktır. Aynı aşamada yapılan hatanın minimuma indirgenebilmesi, kontrol kalitesi ve doğruluğu açısından önemlidir. Sistemlerde bir giriş ve bir çıkış olmak üzere temelde iki işaret bulunur. Bu işaret sistemin istenen kontrol değeridir. Ayrıca algılayıcı ve ölçü aletleri ile dış ortamdan alınan verilerde sisteme dâhil edilebilir.

Bu tez çalışmasında iki bölge, güneş enerji sistemi bağlanmış enterkonnekte güç sistemlerindeki yük frekans kontrolü için geleneksel ve modern kontrol tekniklerinin performansı karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Yük-frekans kontrolünde kontrolör bloğunun ihtiyaç duyduğu sinyal, iki tiptir. Birinci sinyal, kalıcı durum hatasıdır. İkinci sinyal ise geçici aşmaları gösteren değerdir. Geçici durum ani sapmalarda frekansın aşırı yükselmesi veya aşırı düşmesi anında ortaya çıkmaktadır.

2.2.1. Açık Çevrimli Kontrol Sistemi

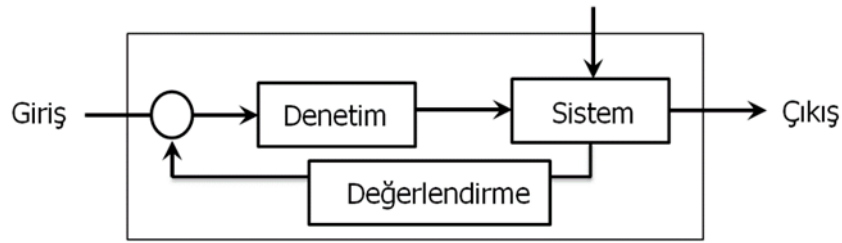
Kontrol edilen fiziksel büyüklüğün kontrol sistemine etkisinin olmadığı sistemlerdir. Bu sistemler kritik davranış koşullarını yerine getiremezler. Oldukça ekonomik sistemlerdir. Ancak hassas değildirler. Bu tür açık çevrimli kontrol sistemlerine basit ve ekonomik olmaları nedeniyle, çok sayıda karmaşık olmayan uygulamalarda rastlamak mümkündür. Mekanizma, denetleyici ve kontrol edilen sistem olmak üzere iki kısma ayrılırlar [37]. Şekil 2.18'de açık çevrimli sistemin yapısı görülmektedir.



Şekil 2.18. Açık çevrimli kontrol sistemlerinin öğeleri

2.2.2. Kapalı Çevrimli Kontrol Sistemi

Sistem çıkışından girişine bir bağlantının oluşturulması ya da geri beslemesi, açık çevrimli kontrol sistemlerinin hatasız ve iyi kontrolü için gerekli olan bir unsurdur. Bu amaçla, kontrol edilen işaret geri beslenmeli ve referans işaretle karşılaştırılmalı, giriş-çıkış işaretleri farkı ile orantılı bir sürücü işaret, hatayı gidermek üzere, sisteme uygulanmalıdır. Burada tanımlandığı üzere bir veya daha çok geri besleme yoluna sahip bir sisteme kapalı çevrimli sistem denir. Şekil 2.19'da kapalı çevrimli sistemin yapısı görülmektedir [47].



Şekil 2.19. Kapalı çevrimli kontrol sistemi

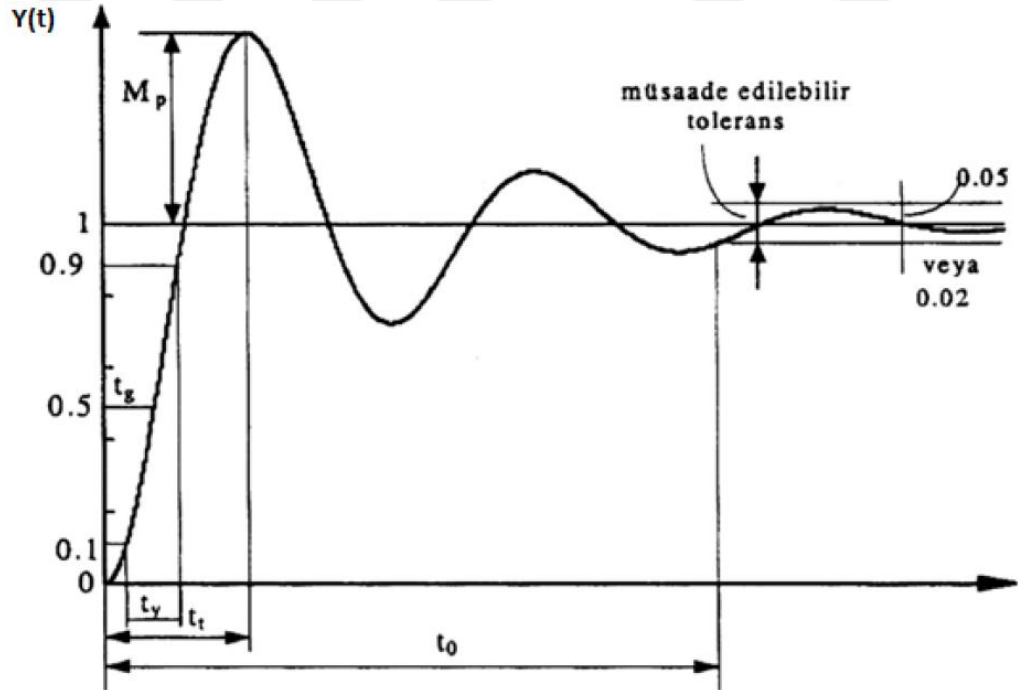
2.2.3. Birim Basamak Cevabı

Kontrol işlemi gerçekleştirilen sistemde, birim basamak karşısında vermiş olduğu cevap sabit bir değere yaklaşma eğilimi göstermektedir. Şekil 2.20'de lineer bir sistemde birim basamak yanıtı gösterilmiştir. Kontrol edilen sistemde vurgulanması veya denetlenmesi gereken bazı parametreler bulunmaktadır. Bu parametreler, sistemin geçici durumunun analiz edilmesinde belirleyici faktörlerdir [57,58].

Bu belirleyici faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Gecikme Zamanı: Sistemden alınan yanıtın son ifadesini yarısını elde etmesi için geçen zaman olarak tanımlanmaktadır. t_g sembolü ile ifade edilmiştir.

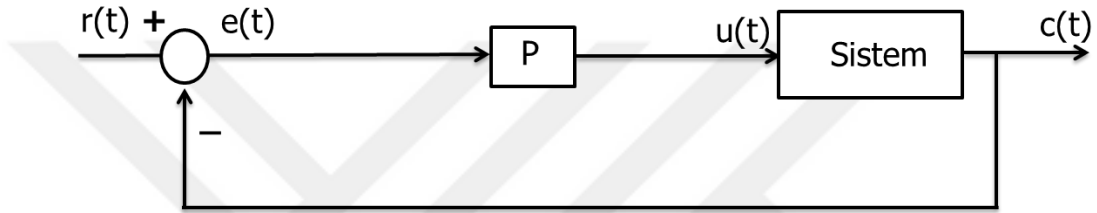
- Yükselme Zamanı: Sistemden alınan yanıtın son değerinin, %100 veya belirlenen en yüksek değere ulaşması için geçen süredir. t_y sembolü ile ifade edilmiştir.
- Tepe Zamanı: Sistemden alınan yanıtın ilk aşma durumunda ulaştığı maksimum nokta için geçen zaman olarak tanımlanmaktadır. t_t sembolü ile ifade edilmiştir.
- Maksimum Aşma: Sistemden alınan yanıt eğrisinin son değerinde ulaşması gerektiği belirlenmiş hedef değerden ölçülen maksimum değerdir. Maksimum aşma değeri, sistemin kontrol edilmesi gereken en önemli değişkenlerden birisidir. M_p sembolü ile ifade edilmiştir.
- Oturma Zamanı: Sistemden alınan yanıt eğrisinde titreşim gibi kısa süreli değişim genliklerinin, sistemin müsaade edebildiği sınırlara erişmesi için geçen süredir. Genellikle %2-%5 aralığında belirlenen oturma zamanı, kontrol sistemlerinden tanımlanan en büyük zaman sabitidir. t_o sembolü ile ifade edilmiştir.



Şekil 2.20. Linear sistem birim basamak cevabı

2.2.4. Oransal Denetleyici

Oransal kazanç terimi çıkış işaret değerine sabit bir K sabiti ile doğrudan bağlantılı olduğundan, oransal kontrol olarak adlandırılır. Oransal denetleyici, sistemin çıkış değeri olan hata miktarına, K_p katsayısını kullanarak işlem yapar. Tasarlanan modelin veya sistemin dinamik kararlılığını artırır. Sistemin oransal denetleyicisiyle birlikte kapalı çevrim blok diyagramı Şekil 2.21’de gösterilmiştir. Bir oransal denetleyici için $u(t)$ denetim sinyalinin sürekli zamanda Eşitlik 2.43’deki gibi yazılması mümkündür.

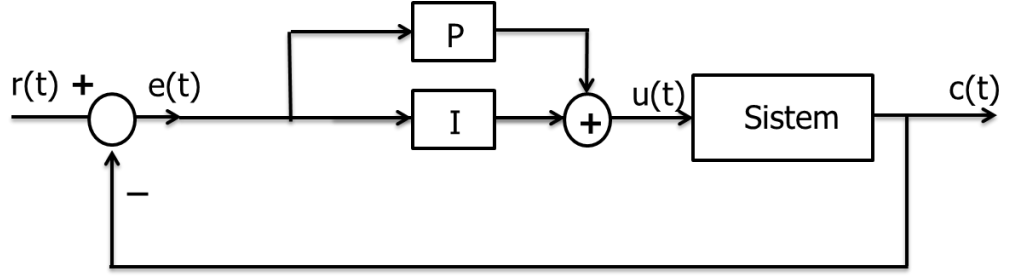


Şekil 2.21. Oransal denetimli kontrol sistemi

$$u(t) = K_p \times e(t) \quad (2.43)$$

2.2.5. Oransal-İntegral Denetleyici

İntegral kavramı, sistemin oluşturduğu hatanın büyüklüğü ve sönümlenme zamanını direk etkilemektedir. Bu denetleyicide integral terimi, zaman içinde oluşan anlık hataların toplamı şeklinde ifade edilir. Bu toplam değeri, sistemin sönümlemesi gereken toplam sapma değerini göstermektedir. Sistemin oransal-integral (PI) denetleyicisiyle birlikte kapalı çevrim blok diyagramı Şekil 2.22’de gösterilmiştir. Bir oransal denetleyici için $u(t)$ denetim sinyalinin sürekli zamanda Eşitlik 2.44’deki gibi yazılması mümkündür.

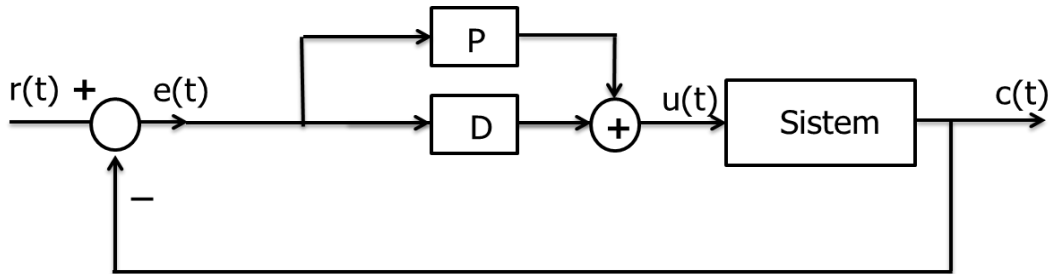


Şekil 2.22. Oransal-İntegral denetimli kontrol sistemi

$$u(t) = K_p \times \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right] \quad (2.44)$$

2.2.6. Oransal-Türev Denetleyici

Türev kavramı, referans değerine göre sistem tarafından üretilen hatanın, zaman içerisindeki değişim eğrisinin eğiminin bulunmasıyla elde edilir. Bu değişim türev sabit değeri ile çarpılarak çıkışa gönderilir. Türev operatörü, sistemde ancak oransal operatör bulunuyorsa dâhil edilebilir. Sistemin oransal-türev (PD) denetleyicisiyle birlikte kapalı çevrim blok diyagramı Şekil 2.23’de gösterilmiştir. Bir oransal-türev denetleyici için $u(t)$ denetim sinyalinin sürekli zamanda Eşitlik 2.45’deki gibi yazılması mümkündür.

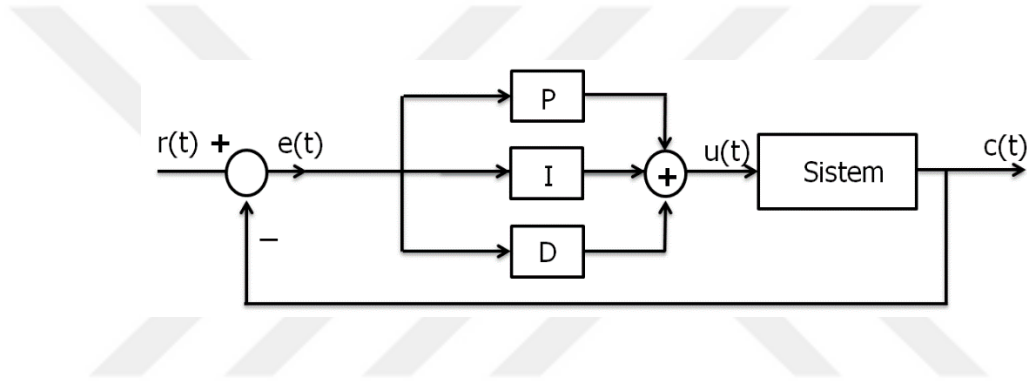


Şekil 2.23. Oransal-Türev denetimli kontrol sistemi

$$u(t) = K_p \times \left[e(t) + T_d \frac{e(t)}{dt} \right] \quad (2.45)$$

2.2.7. Oransal-İntegral-Türev Denetleyici

Günümüzde pek çok endüstriyel alanda, cihazlarda ve günlük hayatta en yaygın kullanılan kontrolör yöntemidir [59]. Bir Oransal-İntegral-Türev kontrolörü temelde üç ana bileşenden oluşur: oransal eleman (P), integral elemanı (I) ve türev elemanı (D). PID denetleyici basitleştirilmiş kontrol sisteminin blok diyagramı Şekil 2.24'de görülmektedir.



Şekil 2.24. PID denetimli kontrol sistemi

Burada $r(t)$ referans giriş işareti, $u(t)$ denetleyici çıkışı, $c(t)$ sistem çıkışı ve $e(t)$ hata işaretidir. Bu hata işareti referans giriş ile sistem çıkış işareti arasındaki fark değeri elde edilerek bulunmaktadır. Bir PID denetleyici için $u(t)$ denetim sinyalinin sürekli zamanda Eşitlik 2.46'daki gibi yazılması mümkündür.

$$u(t) = K_p \times \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{e(t)}{dt} \right] \quad (2.46)$$

Aynı denetleyicinin sahip olduğu transfer fonksiyonu bağlantısı s -domeninde Eşitlik 2.47'deki gibidir.

$$Sistem = \frac{u(s)}{e(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad (2.47)$$

Literatürdeki yük-frekans kontrolü çalışmalarında en çok P, PI ve PID kontrol metotları tercih edilmektedir. Yapılan bu çalışmalar yeterli görünse bile, ani iklim değişiklikleri ve yük dalgalanmalarında sistemi dengede tutmakta zorlanmaktadır.

Yük-frekans kontrolünde kontrolör bloğun ihtiyaç duyduğu sinyal iki tiptir. Birinci hata, kalıcı durum hatasıdır. İkinci hata ise, geçici aşmaları gösteren değerdir. Geçici durum ani sapmalarda frekansın aşırı yükselmesi veya aşırı düşmesi anında ortaya çıkar. Bu tez çalışmasında iki bölgeli güneş enerji sistemi bağlanmış enterkonnekte güç sistemlerindeki yük frekans kontrolü için geleneksel ve modern kontrol tekniklerinin performansı gösterilmiştir. Kontrol sürecinde, klasik kontrolörler olan PI ve PID için Ziegler Nichols (ZN), metodu uygulanmış ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Model çalıştırılırken, değişken yükler ve hava koşulları göz önünde bulundurulmuştur. Ayrıca PV sistemin çıkış gücü, iklim koşullarına göre değişiklik gösterecek şekilde modellenmiştir. Hava koşullarının değiştiği durumdaki yük-frekans kontrolü sağlandı.

ZN, metodu PI ve PID kontrolörlerinin katsayılarının optimum değerlerinin belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu metot ile parametreler belirlenirken, sistemin sonsuz döngüye girdiği andaki K_u ve T_u değerleri kullanılır [21,59]. Bu değerler kullanılarak K_p , K_i ve K_d katsayılarının belirlenmesiyle ilgili matematiksel eşitlikler aşağıda Çizelge 2.2’de ve P, I ve D katsayılarının etkileri de Çizelge 2.3’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. PI ve PID parametrelerinin belirlenmesinde Ziegler Nichols Yöntemi

Controller	K_p	K_i	K_d
PI	$\frac{2*K_u}{5}$	$\frac{K_u}{2*T_u}$	0
PID	$\frac{3*K_u}{5}$	$\frac{6*K_u}{5*T_u}$	$\frac{3*K_u*T_u}{40}$

Çizelge 2.3. Oransal, İntegral ve Türev uygulamalarının bağımsız etkileri

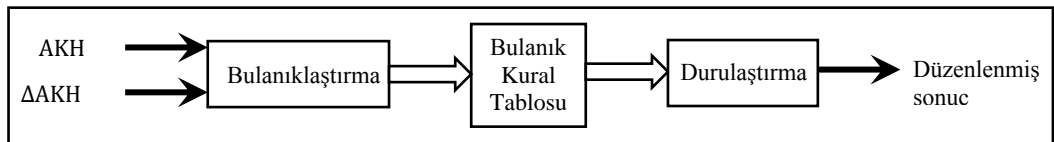
Kontrolör Türü	Kapalı Çevrim Cevabı	Yükseliş Zamanı	Aşım	Yerleşim Zamanı	Sürekli Rejim Hatası
Oransal	K_p	Azalır	Artar	Küçük oranda artar	Azalır
İntegral	K_i	Küçük oranda azalır	Artar	Artar	Büyük oranda azalır
Türev	K_d	Küçük oranda değişir	Azalır	Azalır	Önemsiz değişim

2.2.8. Bulanık Mantık Denetleyici

Günlük hayatta rastgele kullandığımız birçok terim genellikle bulanık bir yapıya sahiptir. Bir şeyi tanımlarken, bir olayı açıklarken, komut verirken ve daha birçok durumda kullandığımız sözel veya sayısal ifadeler bulanıklık içerir [60]. Bu terimlere örnek olarak; *yaşlı, genç, uzun, kısa, sıcak, soğuk, ılık, bulutlu, parçalı bulutlu, güneşli, hızlı, yavaş, çok, az, biraz, fazla, çok az, çok fazla* gibi daha pek çok sözel terim gösterilebilir. İnsanlar bir olayı anlatıp, bir durum karşısında karar verirken bu tür kesinlik ifade etmeyen terimler kullanır [61]. Kişinin yaş durumuna göre ona *yaşlı, orta yaşlı, genç, çok yaşlı ve çok genç* denir, Yolun kayganlık ve rampa

durumuna göre arabanın gaz veya fren pedalına biraz daha yavaş veya biraz daha hızlı basılır. Çalışılan odanın ışığı yetersiz ise biraz artırılır, fazla ise biraz azaltılır. Bütün bunlar insan beyninin belirsiz ve kesinlik içermeyen durumlarda nasıl davrandığına ve olayları nasıl değerlendirip, tanımlayıp, komut verdiğine dair birer örnektir. Bulanık mantığın ve bu mantık kurallarını kullanan bulanık küme teorisinin Lotfi A. Zadeh tarafından geliştirilip 1965 tarihli makalesinde yayınlanmasından sonra belirsizlik içeren sistemlerin incelenmesi yeni bir boyut kazanmıştır. 1965'de ortaya atılmasına rağmen, bulanık küme kavramı ancak 1970'li yılların ikinci yarısından sonra kullanılmaya başlanmıştır. Bunda özellikle Zadeh'in 1965'deki ilk makalesinden daha fazla etkili olan ve bulanık mantığın belirsizlik içeren sistemlere uygulanabilirliğini açıklayan makaleleri etkili olmuştur. 1980'li yılların ikinci yarısından sonra Japonların ürünlerinde bulanık mantığı kullanmalarıyla da hız kazanarak günümüzdeki doruk noktasına gelmiştir. Artık hemen her alanda bulanık mantık uygulamalarına rastlamak mümkündür [61,62].

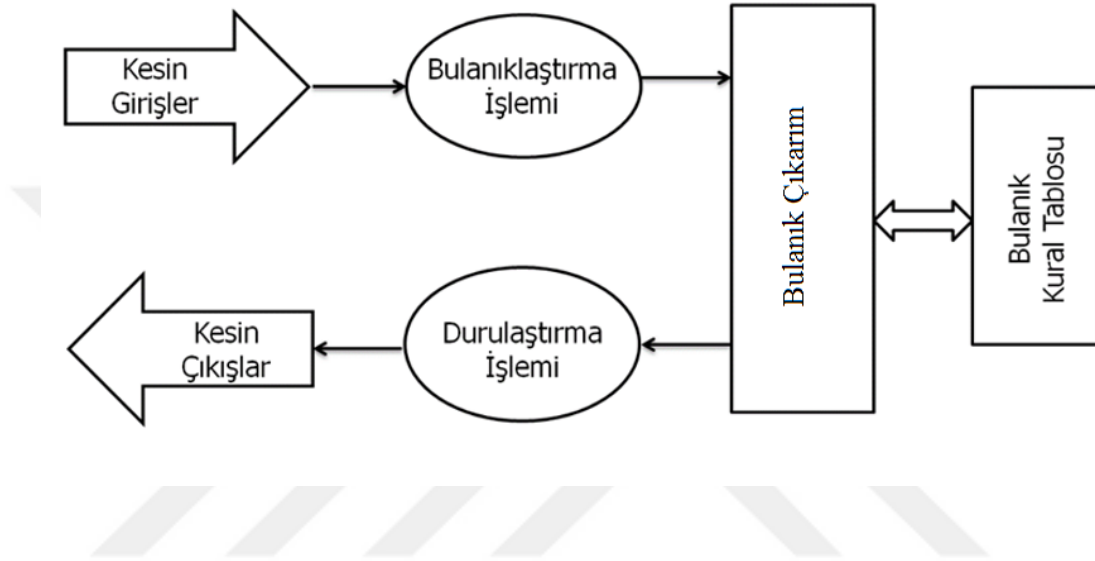
Bulanık Mantık (BM) matematiksel eşitlikler yerine sözel terimlere dayanan bir sistemin işlevsel kanunlarını ifade etmek üzere tasarlanmış bir yöntemdir. Pek çok sistem kesin matematik modellemesi yapılamayacak kadar karmaşıktır. Bunun nedeni bu sistemlerin lineer olmamasıdır. Fakat bulanık mantığın sözel ifadelere dayalı olması böyle bir sistemin belirleyici özelliklerini tanımlayıcı elverişli bir yöntem sunar [60]. Böylece kontrol edilecek sistem hakkında bilgi olmamasına rağmen sistem kontrol edilebilir. Bu sözel ifadeler, genelde mantıksal önermeler formundadır. Aşağıda Şekil 2.25'de frekans kontrolüne uygulanmış bulanık mantık denetleyicinin blok şeması verilmiştir.



Şekil 2.25. Frekans kontrolüne uygulanmış bulanık çıkarım ana yapısı

2.2.8.1. Bulanık İşlemcinin Yapısı

Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı Şekil 2.26'deki gibidir. Temel olarak dört bölümden oluşur; bulanıklaştırma bloğu, bulanık kural tabanı, bulanık sonuçlandırma ve durulaştırma bloğudur.



Şekil 2.26. Bulanık mantık denetleyicinin temel yapısı

2.2.8.2. Bulanıklaştırma

Gerçek işaretler bu birimde bulanıklaştırılır. Yani giriş işaretleri sözel olarak "az, çok az, fazla, çok fazla ..." ifade edilirler. Sayısal işaretleri bulanıklaştırmak için üyelik fonksiyonlarından üçgen üyelik fonksiyonu, yamuk üyelik fonksiyonu, gaussian üyelik fonksiyonu, çan biçimli üyelik fonksiyonlarından yararlanılır [63].

2.2.8.3. Bulanık Kural Tabanı

Kural tabanı ve veri tabanından oluşur. Bilgi ve düşüncelerin sözel ifadelerle temsil edilip saklandıkları bir birimdir. Bulanık verilerin saklandığı bir depo görevi

gördüğünden aslında bulanık işlemcinin en önemli birimidir. “eğer ... ise” koşul cümleleri ile oluşturulan kurallar bulanık verilerin saklanması temin etmektedir. Bu bulanık veriler gözlem sonuçları ile birleştirildiğinde ortaya bir sonuç çıkar [47,64]. Yani gözlemle elde edilen bir veri daha önce kurallar dizisinde depolanmış verilerle birlikte kullanılıp yeni sonuç ve kararlar alınabilmektedir.

2.2.8.4. Bulanık Çıkarım

Kurallara bağlı olarak elde edilen koşullardan gerekli sonuçların çıkarıldığı bölümdür. Burada kurallara bağlı olarak elde edilen pek çok sonuç birleştirilerek tek bir sonuca indirgenir. Burada *mamdani, larsen, tsukamoto, sugeno*, gibi sonuçlandırma metotları kullanılmaktadır [17]. *Mamdani ve larsen* metotlarında alanlar hesaplanırken *sugeno ve tsukamoto* metotlarında sınırlı ortalamalar hesaplanmaktadır [61].

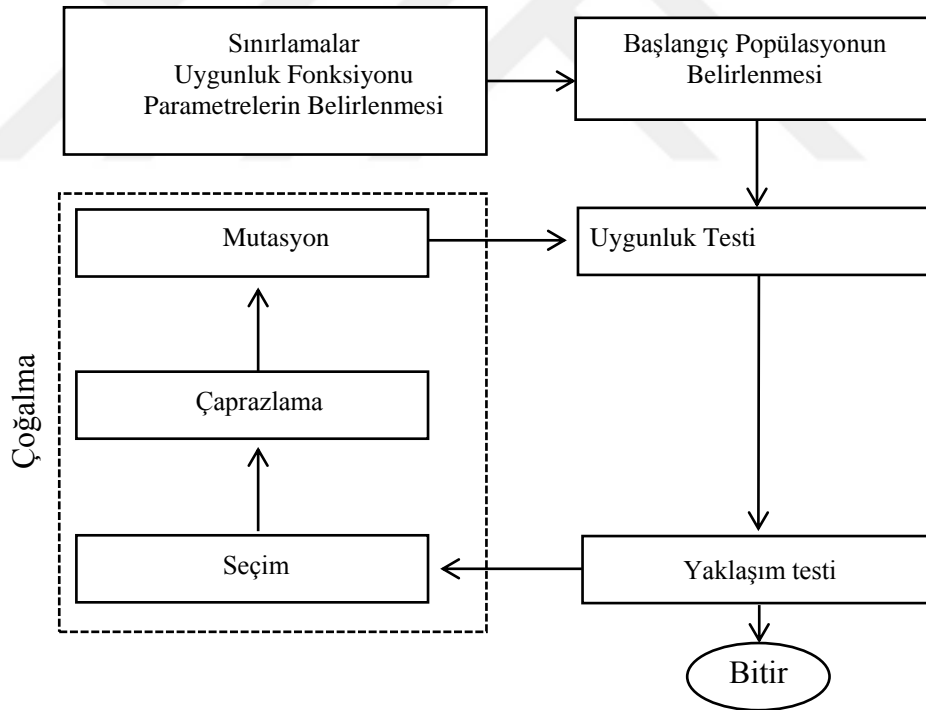
2.2.8.5. Durulaştırma

Çıkarım motorunda elde edilen sonuç bulanıktır. Bu değer sisteme uygulanabilmesi için kesin bir sayısal değere çevrilmesi gerekir. Yapılan işlem bulanık ifadeden kesin ifadeye dönüşüm işlemidir. Farklı şekillerde durulaştırma işlemi yapılabilir. En çok kullanılan metotlar en büyüklerin ortası, sınır merkezi yöntemi, ortalama merkezi yöntemi ve iki bölümlü alan yöntemi metotlarıdır.

2.2.9. Genetik Algoritma

Akıllı uygulamalarının bir parçası olan Genetik Algoritmalar, Çoğalma, Çiftleşme ve Mutasyon gibi süreçler sonucunda, yeni ve daha iyi çözümlerin oluşturulabilmesine dayanır [10,65]. Geleneksel yöntemlerin çok uzun zamanda ulaştığı çözümlere, çok daha kısa sürede ulaşarak zamandan tasarruf etmektedir. Ayrıca çok geniş tarama sahası kullanarak en etkili sonucu bulabilmektedir [66]. Genetik algoritma, genetik

yapıların simülasyon ortamında modellenmesi ve rastgele bir arama tekniği ile çalışmaktadır [67,68]. Problemin karmaşıklık ve zorluk derecesinin önemli olmadığı GA ile tanımlanmış ve formülle ifade edilmiş uygunluk fonksiyonunu kullanarak işlemlerini sürdürür. Uygunluk fonksiyonunun doğru belirlenmesi problemin çözümünde en önemli aşamadır. Her problemin kendi çözüm odağının belirlenme aşamasını vurgulamaktadır. Genetik algorithmada ilk olarak taranacak alanın sınırları belirlenir [66]. Çözüm için bireylerin uygunluk fonksiyonu ve optimize edilecek parametreler belirlenir. Ardından ilk nesil rastgele olacak şekilde belirlenir. Daha sonra jenerasyondaki her bir birey uygunluk testine sokulur. Bu aşamanın hemen ardından yeni ve daha iyi bireylerin üretildiği Çoğalma kısmına geçilir. Yeni bireyler üç ana operatörden oluşan sürece dâhil edilir. Rastgele Seçim, Çaprazlama ve Mutasyon olarak gruplandırılan operatörler birbirlerinden bağımsız çalışmaktadır [69,70]. GA'nın ana döngüleri Şekil 2.27'de verilmiştir.



Şekil 2.27. Genetik Algoritmanın ana döngü adımları

2.2.9.1. Genetik Algoritmanın Yapısı

Genetik algoritmalar gerçekte doğada var olan seçim ile doğrudan ilgilidir. Dünyadaki nesillerin gelişmesini ve ileriki nesiller arasındaki mücadeleyi anlatır. GA ilk olarak John Holland tarafından 1975 yılında ortaya atılmıştır [71]. Kromozom yapısı ile çok benzerlik gösteren GA'nın yapısı için temel kısımlar alt bölümlerde anlatılmıştır.

2.2.9.2. Seçim

Genetik algoritma iterasyon sürecine başlamadan önce rastgele bir çözüm kümesi meydana getirir [72]. Oluşturulan bu çözüm kümesinin ilk değerlendirme sonuçlarına göre uygun olanlar seçilir ve uygun olmayanlar atılır. Sonraki adımda seçilen bu üyeler yani hayatta kalan bireylerden yeni çözümler üreten operatördür. Uygunluk fonksiyonundan faydalanarak, istenen değeri yakalamaya çalışılır. Bu adımda toplamda en iyi değeri alan sonuçlar daha fazla çoğalma işlemine uğratılır. En kötü sonucu olan bireyler ise üreme işlemine giremezler. Bu adıma sağlam ve iyi bireylerin hayatta kalması adı verilir [73]. Genetik algoritmanın en büyük avantajı zayıf olan bireyleri bu adımda elemesidir.

2.2.9.3. Çaprazlama

Genetik algoritmanın çaprazlama operatöründeki amacı, neslin devam etmesi için seçilen bireylerin çiftler halinde eşleştirilerek yer değiştirmesidir. Bu sayede yeni bireylerin elde edilmesi sağlanacaktır. Bu adımda, uygunluk fonksiyonundan faydalanılarak seçilen, önceki adımda seçilmiş olan bireyler ebeveyn olarak, bu ebeveynlerden kromozomların yer değiştirilmesi ile elde edilen yani bireylere de çocuk bireyler denir. Bu adımdaki asıl elde edilmesi istenen amaç, üstün bireyleri kullanarak daha üstün bireylerin elde edilmesidir. Çaprazlama operatörü, rastlantısal bir işlem içerdiği için her zaman daha üstün bireylere ulaşamayacaktır. [74].

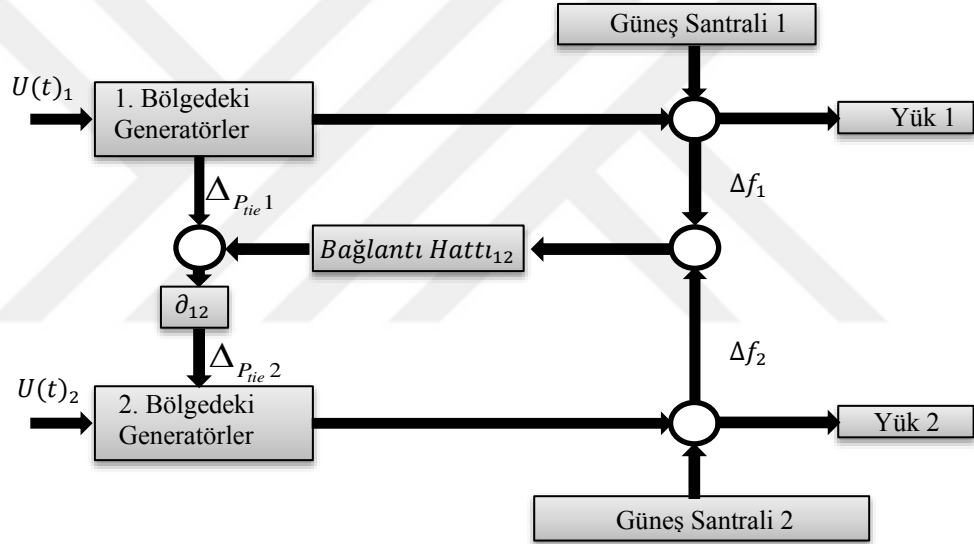
2.2.9.4. Mutasyon

Mutasyon operatöründe, önceki adımlarda elde edilen kromozomların bir veya birden fazla olacak şekilde genlerinin değiştirilmesi sağlanır. Bu sayede genleri değiştirilmiş kromozomlar elde edilecek ve neslin yenilenerek devam etmesi sağlanacaktır. Ancak bu adımdaki en önemli amaç, her yeni nesildeki kromozomların birbirlerini tekrar edecek konuma gelip, yeni kromozom üretiminin yavaşlaması veya durmasının önüne geçilmesidir [75]. Bu yüzden mutasyon genetik algoritmanın en önemli adımlarından birisidir. Burada kromozomlardaki bitler “1” ise “0”, “0” ise “1” yapılarak mutasyon gerçekleştirilmiş olur [76].

2.3. Güç Sistem Modelleri

2.3.1. İki Bölge Enterkonnekte Güç Sisteminin Modellenmesi

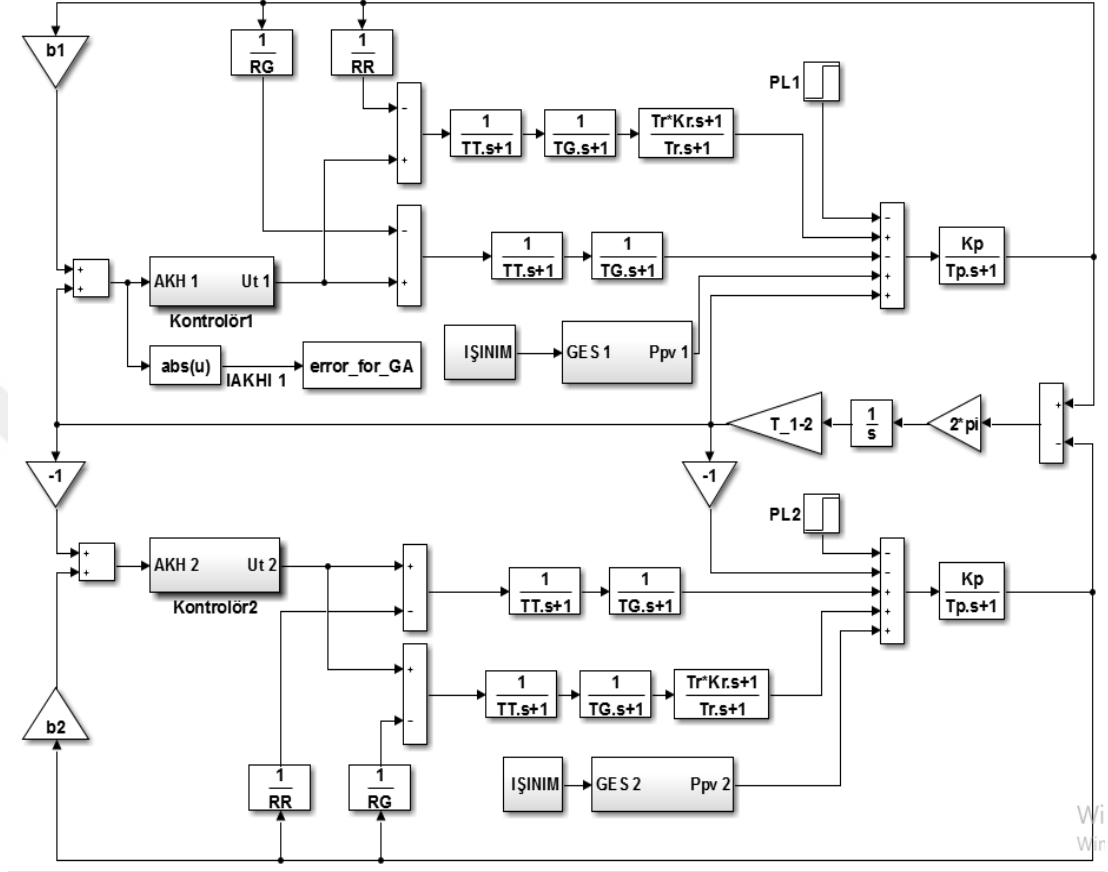
İki bölge enterkonnekte şebeke bir bağlantı hattı modeli ile birleştirilmiştir. Sistemin MATLAB/Simulink ile modellenecek kapalı hali Şekil 2.28’de verilmiştir. Burada kontroller gösterilmemiştir. Ancak kontrol sinyalleri $U(t)_1$ ve $U(t)_2$ olarak, hatlar arası güç değişimleri $\Delta_{P_{tie1}}$ ve $\Delta_{P_{tie2}}$ olarak ve giriş frekans değişkenleri Δ_{f1} ve Δ_{f2} olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.28. Kontrolsüz güç sisteminin blok şeması

Bu tez çalışmasında gerçekleştirilen iki bölge enterkonnekte şebekenin MATLAB/Simulink modeli Şekil 2.29’de gösterilmektedir. Burada, Δ_{f_i} sistem frekansını tanımlamaktadır. Ayrıca; R_i regülasyon sabiti, $\Delta_{P_{L_i}}$ yük değişimlerini, $\Delta_{P_{PV_i}}$ GES sisteminde güneş ışımından kaynaklanan güç değişimini, AKH_i alan kontrol hata değerini $U(t)_i$ kontrolör çıkışlarını tanımlamaktadır. Bütün sistem çok değişken parametrelili olacak şekilde Eşitlik 3.1-3.4’deki gibi tanımlanabilir. Bu

denklemlerde, A sistem matrisini B ve L giriş ve bozucu dağıtık matrislerini $x(t)$, $u(t)$ ve $d(t)$ durum, kontrol ve yük değişim matrislerini ifade etmektedir.



Şekil 2.29. Güneş enerjisi santrali bağlanmış iki bölgeyi enterkonnekte şebeke Matlab Simulink şeması

$$\dot{x} = Ax(t) + Bu(t) + Ld(t) \quad (3.1)$$

$$x(t) = \left[\Delta f_1 (\Delta P_{gt1} + \Delta P_{gtr1}) \Delta P_{v1} \Delta P_{ie12} \Delta f_1 (\Delta P_{gt2} + \Delta P_{gtr2}) \Delta P_{v1} \right] \quad (3.2)$$

$$u(t) = [u_1 u_2] \quad (3.3)$$

$$d(t) = \left[(P_{L1} + P_{PV1}) (P_{L2} + P_{PV2}) \right] \quad (3.4)$$

Sistemin çıkışı ise Şekil 2.29’de gösterilen alan kontrol hatasına (AKH) bağlıdır. AKH

Eşitlik 3.6'daki gibi ifade edilir. Burada, b_i frekans bias sabiti, Δf_i frekans değişimi, ΔP_{tie12} bağlantı hattındaki güç değişimi ve C çıkış matrisini temsil etmektedir. b_i frekanstaki değişimin güç birimindeki ifadesidir.

$$y(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_1(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} ACE_1 \\ ACE_1 \end{bmatrix} = Cx(t) \quad (3.5)$$

$$AKH_i = \Delta P_{tie_j} + b_i \Delta f_i \quad (3.6)$$

Frekans kararlılığı, üretilen ve talep edilen güç arasındaki dengesizliğin ardından kararlı frekansı devam ettirebilme yeteneği olarak tanımlanmaktadır. Birinci bölgedeki toplam güç (P_1), birinci bölgede yer alan generator sistemlerinin güçleri ile güneş enerji sistemleri güçlerinin toplamına eşittir. Güç dengesi, yük tarafında veya üretim tarafında herhangi bir farklılık meydana geldiği zaman bozulur [55]. Burada P_{L1} birinci bölgedeki yük değişimini ifade etmektedir. $P_{\Delta 1}$ sıfırdan farklı bir değer olduğu zaman, sistemin frekansı değişmeye uğrayacaktır. Frekans değişimi denklem 3.9 ile ifade edilmektedir. Burada K_s , birinci bölgedeki sistem frekansının karakteristik sabiti olarak tanımlanmaktadır. Sistem frekansı üzerine etkisi olan yük değişimlerini ifade eden transfer fonksiyonu ise aşağıdaki denklemlerde sunulmaktadır [8].

$$P_1 = P_{Gt_1} + P_{V1} \quad (3.7)$$

$$P_{\Delta 1} = P_1 + P_{L1} \quad (3.8)$$

$$\Delta \omega_1 = \frac{P_{\Delta 1}}{K_{S1}} \quad (3.9)$$

$$G_{L(s)} = \frac{1}{M_{(s)} + 1} \quad (3.10)$$

Güneş enerji sisteminin dâhil edildiği bu şebekedeki yük-frekans kontrolü, sistemin dengeli bir şekilde kalmasını sağlamıştır. Modellenen kontrol akış diyagramı tasarlanırken Matlab/Simulink programı kullanılmıştır. GES eklenerek tasarlanan yeni enterkonnekte güç sisteminde, yüklerdeki ani artış durumları incelenmiştir. Model çalıştırılırken kullanılan her iki bölgedeki yük artış değerleri farklı zamanlarda ve farklı büyüklüklerde değişecek şekilde referans alınarak incelenmiştir. Ayrıca modellenen GES'lerden elde edilen güç değerinin iklime bağlı değişiklik gösterecek

şekilde referans alınmıştır. AKH değerini bulmak için Eşitlik 3.11, iki bölgeli güç sistemleri için birinci bölgede meydana gelen P_{L1} 'lik bir yük artışının gerçekleşmesi durumunda frekansta meydana gelecek değişimi ifade ederken, Eşitlik 3.12 ise bağlantı hattında meydana gelecek değişimi ifade etmektedir [77]. Frekans kontrolü için ihtiyaç duyulan AKH Eşitlik 3.13'de hesaplanmıştır [78].

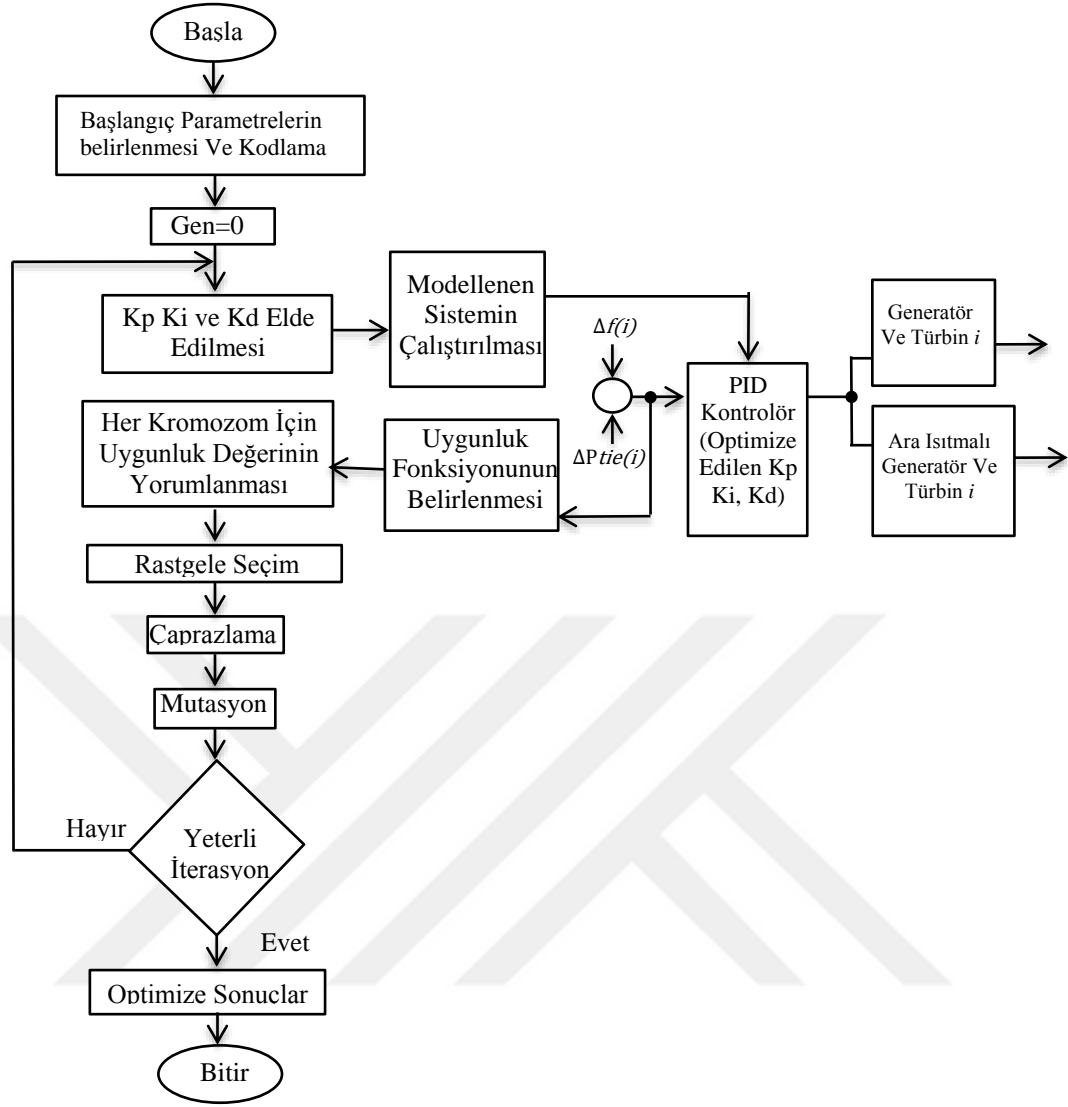
$$\Delta_{\omega} = \left(\frac{-\Delta_{PL1}}{\left(\left(\frac{1}{R_1} \right) + \left(\frac{1}{R_2} \right) + D_1 + D_2 \right)} \right) \quad (3.11)$$

$$\Delta_{P_{1-2}} = \left(\frac{-\Delta_{PL1} \times \left(\left(\frac{1}{R_2} \right) + D_2 \right)}{\left(\left(\frac{1}{R_1} \right) + \left(\frac{1}{R_2} \right) + D_1 + D_2 \right)} \right) \quad (3.12)$$

$$ACE_1 = (-\Delta_{P_{1-2}} - b_1 \times \Delta_{\omega}) \quad (3.13)$$

2.3.2. Genetik-PID Denetleyicinin Modellenmesi

PID kontrolörünün parametrelerinin belirlenme aşaması, kontrol sisteminin en önemli kısmıdır. Genetik algoritma, PID kontrolörün katsayılarının (K_p, K_i ve K_d) belirlenmesinde kullanılmıştır [75]. Bu tez çalışmasında katsayıları genetik algoritma optimizasyonu ile belirlenen GA-PID kontrolör Matlab-Simulink'de modellenmiştir. Modellenen GA-PID kontrolörünün akış şeması Şekil 2.30'de gösterilmiştir.

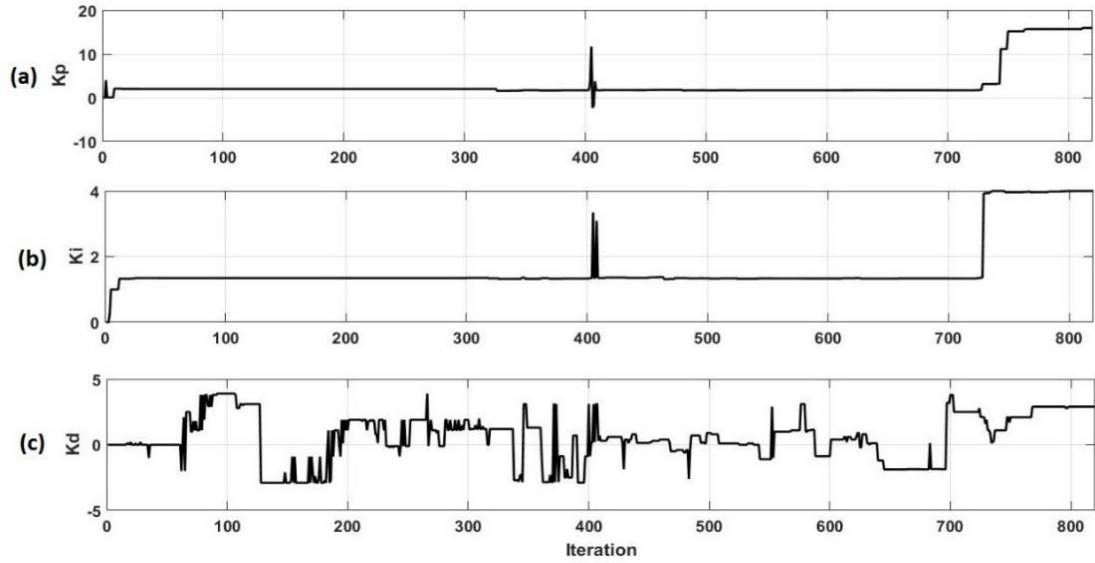


Şekil 2.30. Genetik algoritmanın PID katsayılarının belirlenmesi için akış şeması

Yük-Frekans kontrolü için PID katsayıları ayarlanırken ilk basamak, başlangıç popülasyonunun rastgele ve binary olacak şekilde kodlanmasıdır. K_p, K_i ve K_d kazanç değerleri, kontrol sistemine uygulanabilir şekilde ve birey karakteristiği şeklinde hesaplanmıştır. İterasyona başlamadan önce ilk çalışma değerleri sıfır olarak seçilmiştir. Yük-frekans kontrolü, üretim santrallerindeki güç ile yük tarafındaki talep edilen güç arasındaki dengeyi ifade ettiği için AKH değerinin sıfır olması gerekmektedir. Bunun için uygunluk fonksiyonu Eşitlik 3.14'deki gibi tanımlanmıştır. Her iterasyon sonunda elde edilen AKH değeri ölçülerek genetik algoritmaya

gönderilmiştir. GA bu değeri referans olarak çalıştırılmış ve hata değerini minimum yapacak şekilde yeni K_p, K_i ve K_d değerleri oluşturmuştur. Her iterasyon sonunda yeni K_p, K_i ve K_d değerleriyle çalıştırılan model, öncekinden daha iyi AKH değerine ulaşmayı çalışmıştır. Bu döngü 800'den fazla iterasyon yapacak şekilde çalıştırılmıştır. Şekil 2.31'de yapılan iterasyonlar sonucunda K_p, K_i ve K_d değerlerindeki değişim görülmektedir. Şekil 2.31'de görüldüğü gibi bu değerler 800 iterasyondan sonra sabit kalmaya başlamıştır ve bulunan en iyi K_p, K_i ve K_d değerlerini kullanarak sistemi çalıştırıp sonuçlar elde edilmiştir. GA-PID kontrolörü için uygunluk fonksiyonu Eşitlik 3.14'de verilmiştir. GA'nın çalıştırılması esnasında kullanılan parametreler Çizelge 2.4'de gösterilmiştir. Bu değerler hem PID kontrolörünün ayarlanmasında hem de BMD'nin ayarlanmasında kullanılmıştır.

$$F(f) = \left[\frac{0,5}{\text{Ortalama}[\text{Mutlak}(GA - PID(AKH_1))]} \right] \quad (3.14)$$



Şekil 2.31. GA-PID katsayılarının iterasyon süresindeki değişimi; a-) K_p 'nin değişimi b-) K_i 'nin değişimi ve c-) K_d 'nin değişimi

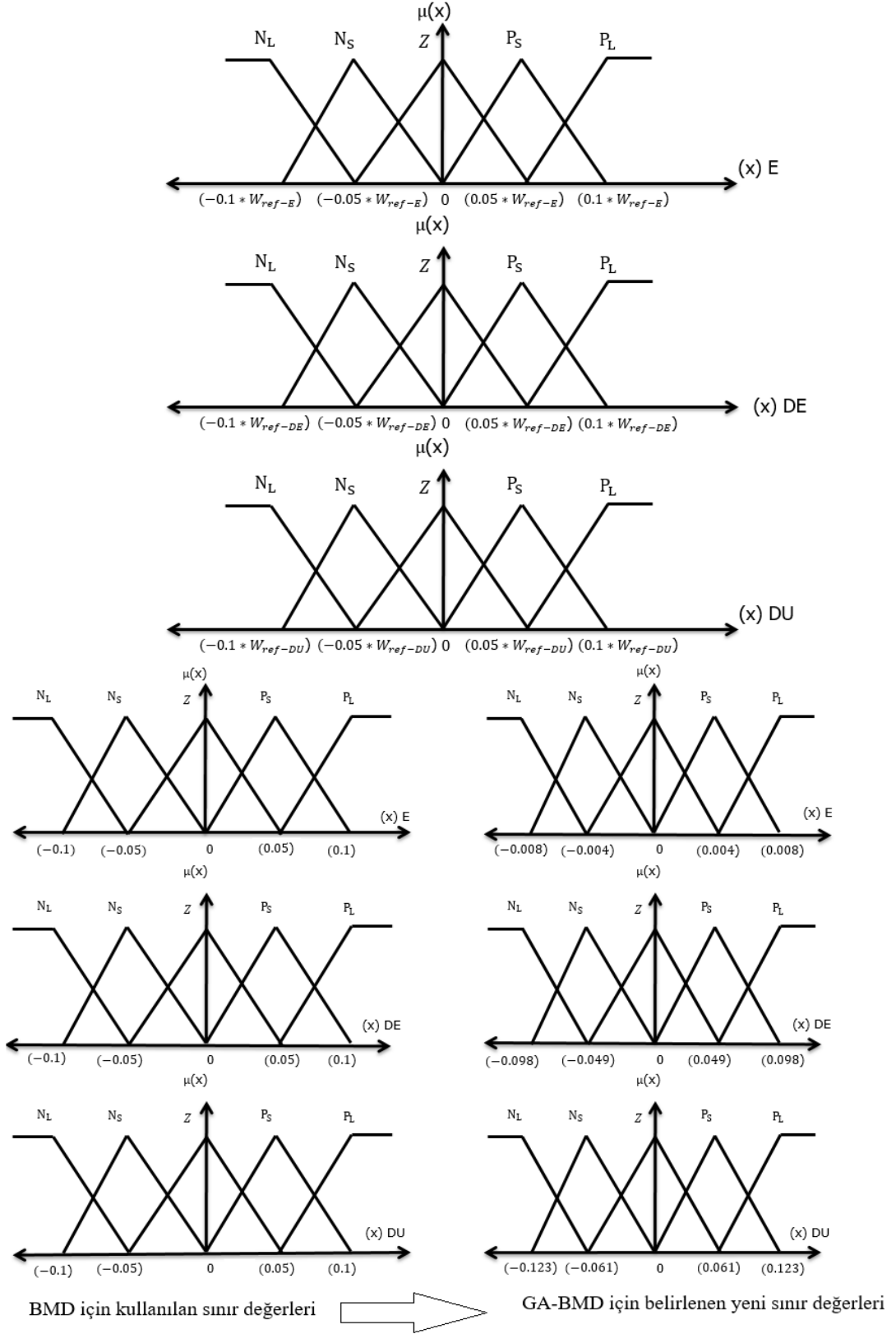
Çizelge 2.4. GA-PID ve GA-BMD için kullanılan kontrol parametreleri

GA parametre türü	Değer
Popülasyon büyüklüğü	20
Başlangıç popülasyonu	0
Çaprazlama oranı	0.9
K_p Limiti	10
K_i Limiti	5
K_d Limiti	5
Mutasyon değeri	8
İterasyon sayısı	PID: 800
	FLC: 190

2.3.3. Genetik-Bulanık Mantık Denetleyicinin Modellenmesi

Literatürde yapılan çalışmalara yenilik olarak bu çalışmada, genetik algoritma ile sınırlarının optimize edildiği bulanık mantık denetleyici tasarlanmıştır. Geliştirilen GA-BMD kontrolörünün blok modeli farklı sistemlere kolaylıkla adapte olabilmekte ve kullanıcılara tasarım konusunda zaman kazandırabilmektedir. Ayrıca model içeriğine girerek değişiklik yapma imkânı sağlayabilmektedir. Kontrol hatası (E) ve bu hatanın bir örnekleme sürecindeki değişimi olan (DE) iki boyutlu uzayın temel elemanlarıdır.

Tasarlanan bu yeni kontrol tekniğinde BMD'nin üçgen üyelik fonksiyonlarının değerleri ayarlanmaktadır. Şekil 2.32'te GA-BMD kontrolünde kullanılan üçgen üyelik fonksiyonları sınırlar şeklinde gösterilmiştir.



Şekil 2.32. GA-BMD kontrolünde kullanılan üçgen üyelik fonksiyonları

Çizelge 2.5’de GA-BMD kontrolörü için tasarlanan 5 kurallı kural tablosu görülmektedir. Burada genetik algoritmanın ve bulanık mantık kontrolörünün bir arada kullanılmasından oluşan sistemin yavaşlaması problemini azaltmak için yedi kural yerine 5 kurallı bir kural tablosu kullanılmıştır.

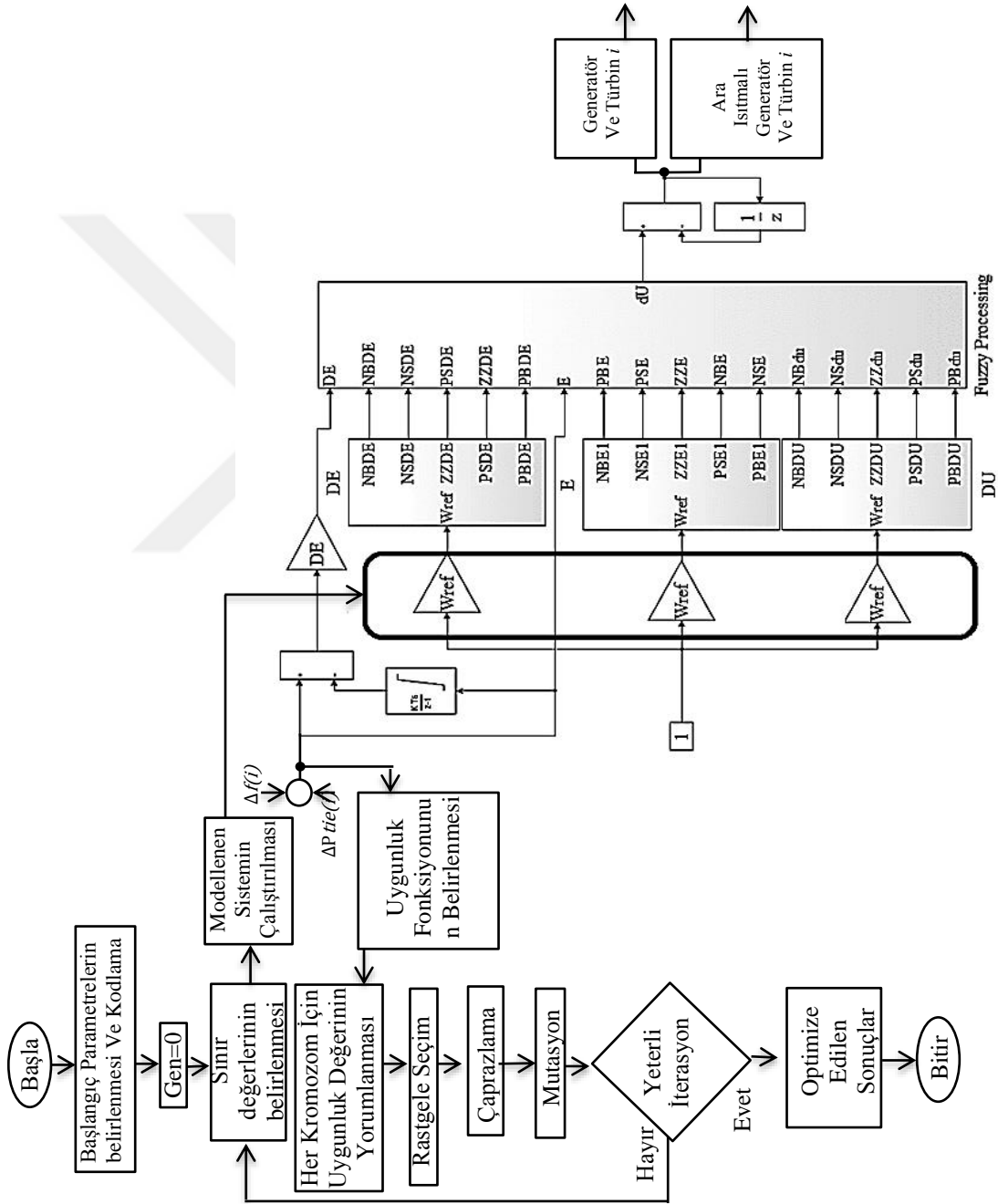
Çizelge 2.5. GA-BMD için kural tablosu

GA-BMD (5) için bulanık kural tablosu					
AKH	$\Delta AKH(k)$				
	N_L	N_S	Z	P_S	P_L
N_L	N_L	N_S	N_S	N_S	Z
N_S	N_S	N_S	N_S	Z	P_S
Z	N_S	N_S	Z	P_S	P_S
P_S	N_S	Z	P_S	P_S	P_S
P_L	Z	P_S	P_S	P_S	P_L

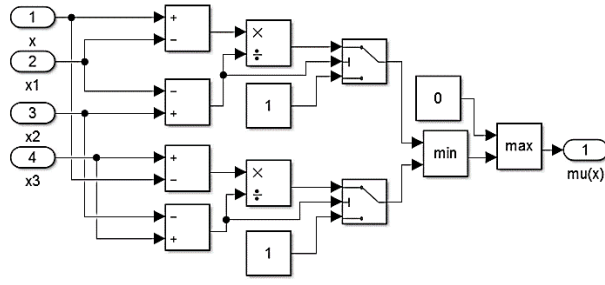
BMD için tasarlanan Genetik Algoritma akış şeması ve bulanık mantık denetleyici modelinin giriş ve çıkış blokları Şekil 2.33’de gösterilmiştir. Burada ilk adım bulanık uzaydaki giriş ve çıkış bölümleri için bulanık üyelik fonksiyonlarını oluşturmaktır. Bu doğrultuda üçgen üyelik fonksiyonun denklemi Eşitlik 3.15’de ve Simulink modeli Şekil 2.34’de gösterilmiştir. Burada X_1 , X_2 ve X_3 üçgenin yerini ve bölgeyi belirlemede kullanılan kesin parametrelerdir. Bu üçgen üyelik fonksiyonu hem *Bulanıklaştırma* hem de *Durulaştırma* işlemlerinde kullanılmıştır. Bulanık mantık denetleyicinin modellenmesi ile ilgili daha detaylı bilgiye [61] numaralı kaynaktan ulaşılabilir. GES’li enterkonnekte şebekelerdeki YFK için önerilen GA-BMD’de, genetik algoritma kullanılarak çalıştırılan her simülasyonda hata (E), hatanın değişimi (DE) ve durulaştırma (DU) üyelik fonksiyonları için gerekli olan sınırlar belirlenmiştir. Bu sınırların kullanıldığı üçgen üyelik fonksiyonları Şekil 2.33’de gösterilmiştir. Genetik algoritma ile her iterasyon sonucunda elde edilen hata değerine bağlı olarak yeni W_{ref-E} , W_{ref-DE} , W_{ref-DU} sınırları belirlenmiştir. Bir sonraki iterasyonda bu

değerleri kullanarak sistem frekansındaki değişim gözlenmiştir. Bu çözüm için gerekli olan uygunluk fonksiyonu Eşitlik 3.14'e benzer şekilde kullanılmıştır.

$$\mu(x) = \max \left[\min \left(\frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, \frac{x_3 - x}{x_3 - x_2} \right), 0 \right] \quad (3.15)$$



Şekil 2.33. GA- BMD kontrolörünün sınırlarının belirlenmesinin akış şeması



Şekil 2.34. Üçgen üyelik fonksiyonu Simulink modeli

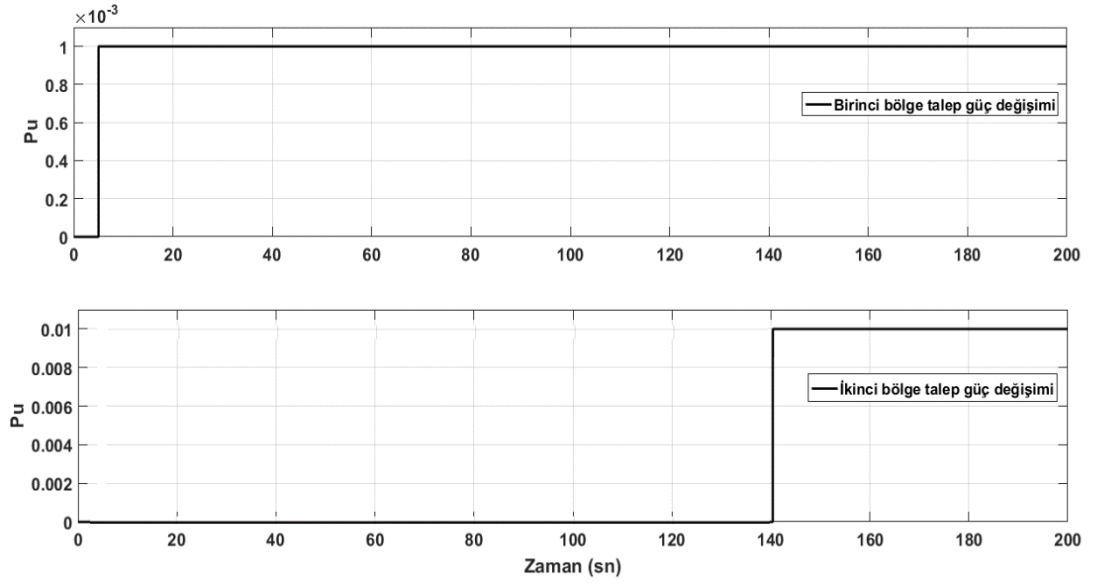
Genetik Algoritma, rastgele özelliği bulunan bir optimizasyon yöntemi olduğundan bulunan sonuçların tesadüf olma olasılığı da vardır. İterasyon sonuçlarında elde edilen değerlerin güvenilirliğini sağlamak için her çalıştırma bağımsız olarak 30 kere gerçekleştirilmiştir. PID ve GA için gerçekleştirilen 30 çalıştırma sonuçlarından elde edilen Minimum, Ortalama, Ortanca, Maksimum ve standart sapma değerleri Çizelge 2.6’de verilmiştir.

Çizelge 2.6. Sistemi 30 kere bağımsız çalıştırılması sonucu elde edilen veriler

Kontrolör	Kontrolör parametresi	Minimum	Ortalama	Ortanca	Maksimum.	Stardart Sapma
GA-PID	K_p	6.4295	13.6868	15.4255	15.9988	2.8714
	K_i	3.8590	7.5896	7.8589	7.9999	0.7833
	K_d	0.4094	2.8252	2.4297	6.4565	1.2078
GA-BMD	W_{ref-DE}	0.1369	0.4931	0.4588	0.8591	0.1391
	W_{ref-E}	0.0086	0.1761	0.1262	0.9371	0.1986
	W_{ref-DU}	0.1000	1.2374	0.7393	5.3660	1.4304

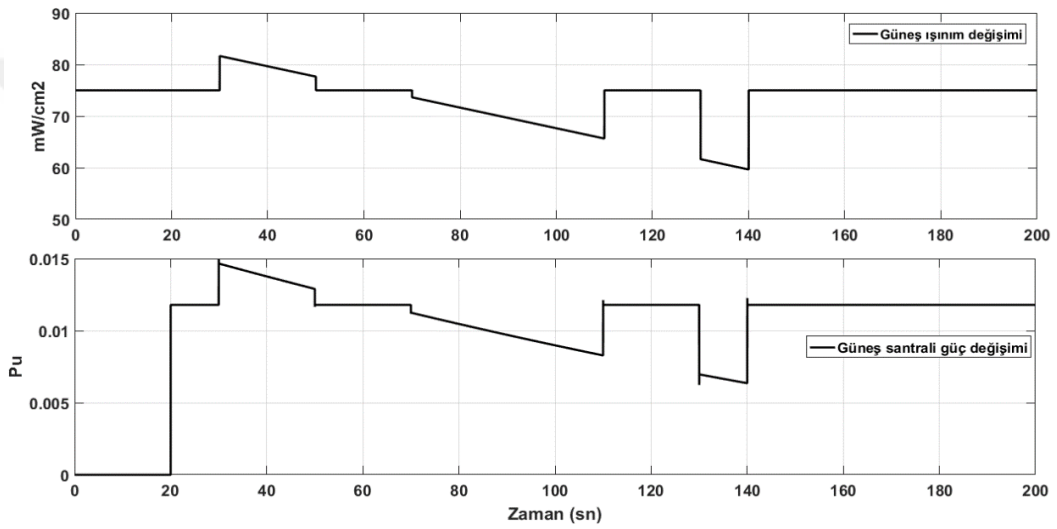
3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu tez çalışmasında, iki bölge-çok kaynaklı enterkonnekte güç sistemine GES eklenerek bir modelleme gerçekleştirilmiştir. Bu sistemin yük-frekans kontrolü PID, GA-PID, BMD ve önerilen GA-BMD kontrolörlerini karşılaştırılması yapılarak yük frekans kontrolünde daha iyi bir noktaya taşımak amaçlanmıştır. Sırasıyla elde edilen sonuçlar bu bölümde gösterilmiştir. Simülasyon süresi 200 saniye olarak belirlenmiş ve bu süre içerisinde her iki bölgede farklı zamanlarda ve büyüklüklerde meydana gelen yük değişimlerinin frekans üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ayrıca önerilen kontrol yöntemi ile oturma zamanı ve aşım değerlerinde daha iyi performans sergilemesi sağlanmıştır. Kontrol işlemi gerçekleştirilirken 5. saniyede ikinci bölgede ki talep edilen güç değerinde 0.001Pu'luk bir güç artışı ve 140. saniyede ikinci bölgede ki talep edilen güç değerinde 0.01Pu'luk bir güç artışı olacak şekilde modelleme yapılmıştır. Bu değerler Şekil 3.1'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Birinci ve ikinci bölgedeki talep edilen güç değişim

Ayrıca her iki bölgede ki güneş enerji santrallerinde 20. saniyeden başlamak üzere iklim koşullarına bağlı olarak üretilen güç miktarında dalgalanmalar modellenmiştir. İklim koşullarının etkisinin birebir ve gerçekçi olacak şekilde değişimi sağlamak için Şekil 3.2'deki gibi bir dalgalanma belirlenmiş ve her iki bölgeye de uygulanmıştır. Bazen ani artma ve azalmalar olacak şekilde, bazense de uzun süreli değişimler sisteme dahil edilmiştir. Bu sayede güneş ani kesilmesi anında, gölgenin enterkonnekte şebeke üzerinde frekans değerine olan etkileri sağlıklı bir şekilde gözlemleyebiliriz.



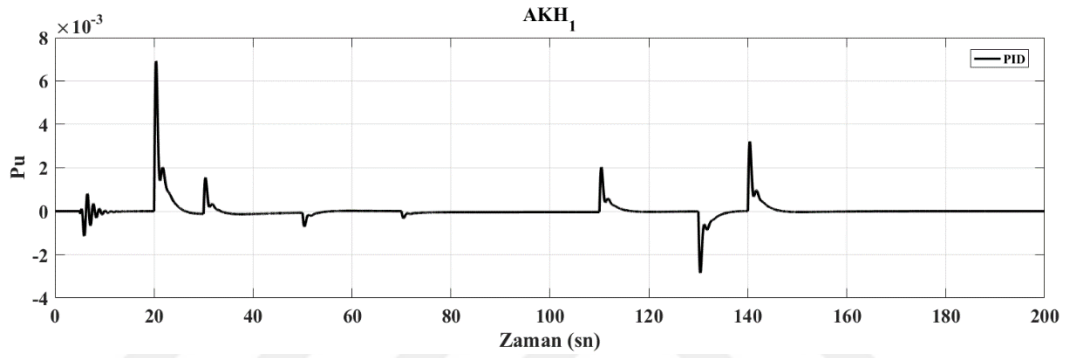
Şekil 3.2. Güneş ışınım güç değişimi karakteristiği

3.1. Birinci Bölge İçin Bulgular

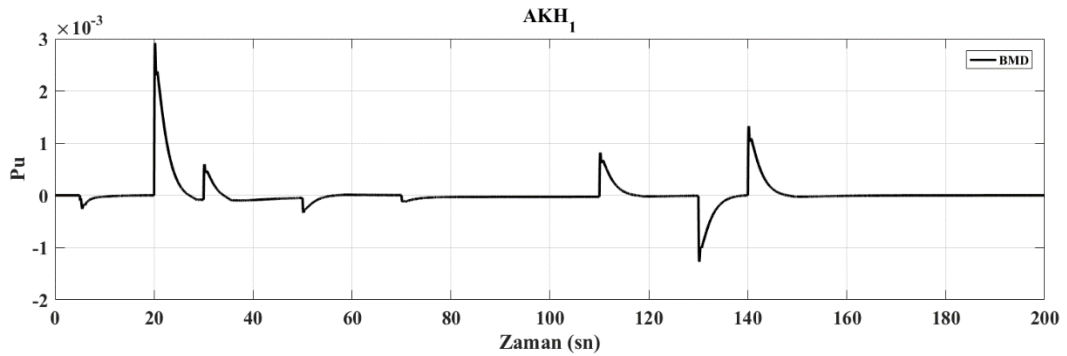
Modellenen enterkonnekte güç sistemi önerilen kontrol sistemi dahil olmak üzere tasarlanan her kontrolör 200 saniye süresi boyunca çalıştırılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Kontrol mekanizmalarının enterkonnekte şebekeyi kontrol edebilmesi için gerekli olan sinyal değeri AKH değeridir. YFK için yapılan bütün çalışmalarda takip edilen referans değer olan AKH alınır. Bunun sebebi sistemin frekansında meydana gelen

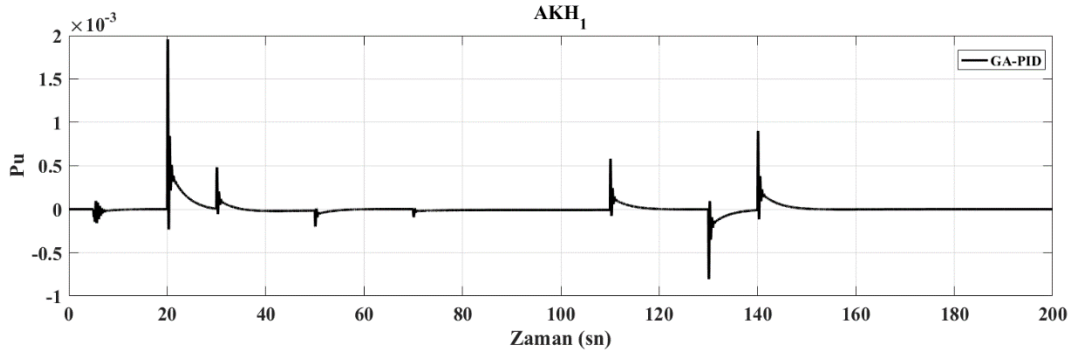
değişimin pu ve sayısal olarak ifade edilmiş halidir. Birinci bölgedeki oluşan AKH'nın değişimi Şekil 3.3-3.6 arasında gösterilmiştir. Şekil 3.3'de PID kontrolör kullanılarak, Şekil 3.4'de BMD kullanılarak, Şekil 3.5'de GA-PID kullanılarak ve Şekil 3.6'da önerilen GA-BMD kullanılarak elde edilen AKH'nın değerleri gösterilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar karşılaştırıldığında Şekil 3.6'da elde edilmiş olan değişim grafiğinin daha küçük genlikte olduğu görülmektedir. Ayrıca Çizelge 3.1'deki sonuçlar değerlendirildiğinde; oturma zamanı olarak PID kontrolör 13.2 saniye, BMD 8.6 saniye, GA-PID 6.8 saniye ve önerilen GA-BMD ise 5.5 saniye elde edilmiştir.



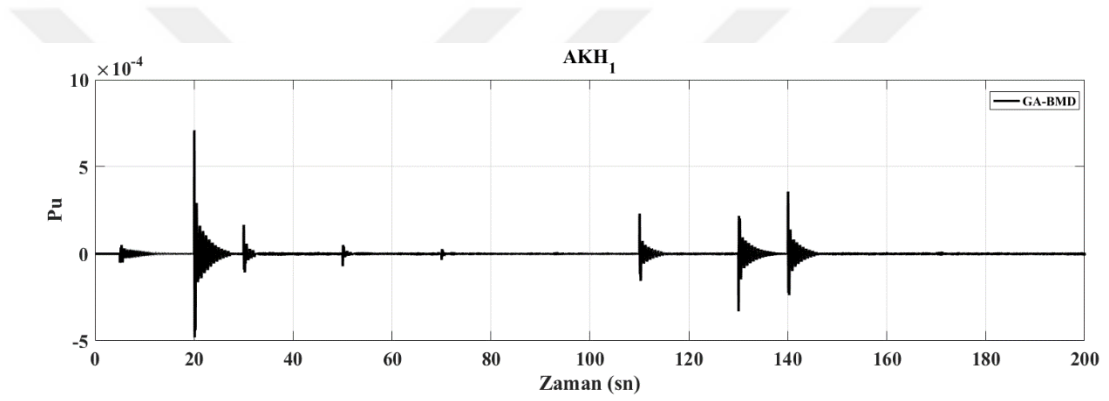
Şekil 3.3. Birinci bölgedeki AKH'nın PID kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi



Şekil 3.4. Birinci bölgedeki AKH'nın BMD kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi

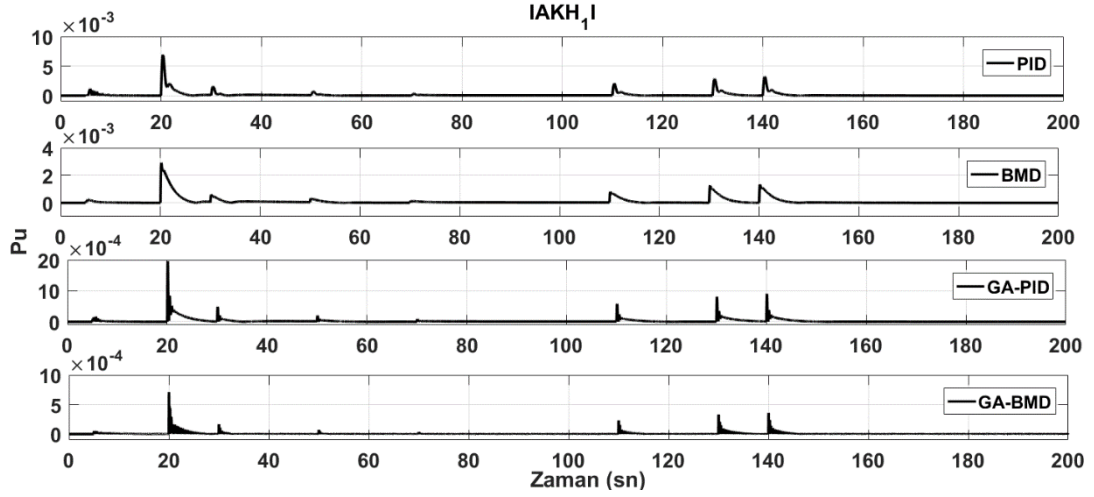


Şekil 3.5. Birinci bölgedeki AKH'nın GA-PID kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi



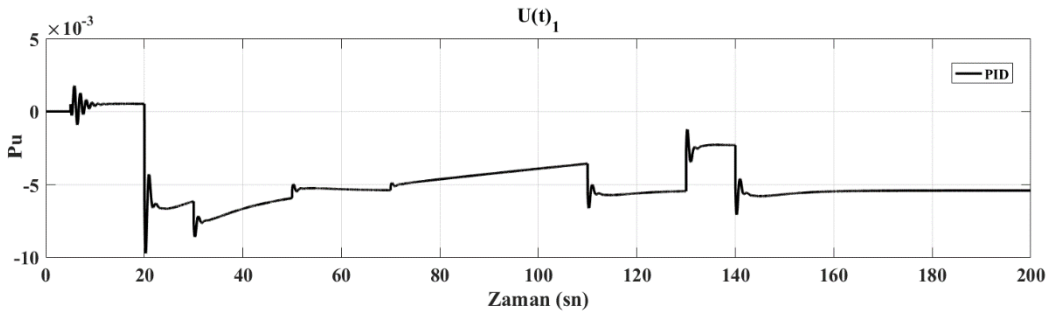
Şekil 3.6. Birinci bölgedeki AKH'nın GA-BMD kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi

Birinci bölgedeki AKH'nın mutlak değer değişimleri Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Mutlak ifadelerinin gösterilmesinin amacı, GA süreçlerinde kullanılan mutlak AKH'nın değişiminin sıfırdan pozitif yönde ne kadar uzaklaştığının görülebilmesidir.

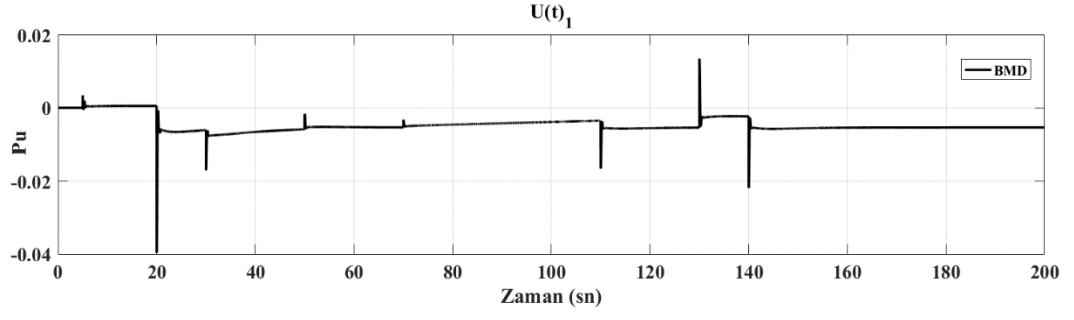


Şekil 3.7. Birinci bölgedeki mutlak AKH'nın bütün kontrolörler ile tüm simülasyon boyunca değişimi

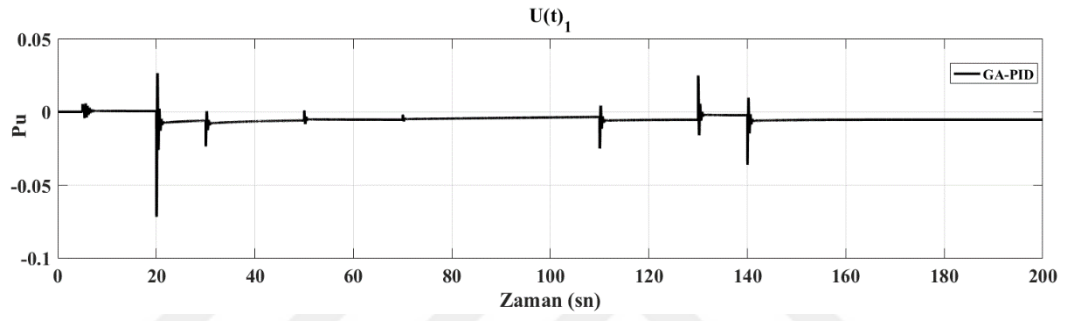
İki bölgeyi enterkonnekte şebekedeki kontrol edilen AKH'nın $U(t)$ sinyal şekline dönüştürülerek frekansı dengeleyebilmesi için governör türbin ünitelerine gönderilmektedir. Şekil 3.8'de PID kontrolör kullanılarak, Şekil 3.9'da BMD kullanılarak, Şekil 3.10'da GA-PID kullanılarak ve Şekil 3.11'da önerilen GA-BMD kullanılarak elde edilen $U(t)_1$ 'in değerleri gösterilmiştir. Burada amaç türbin ve generatörlere giden sinyallerin değişimi gözlemlemektir.



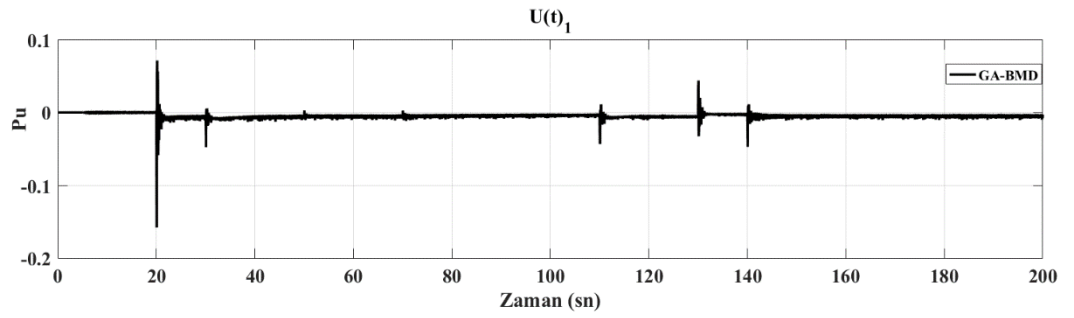
Şekil 3.8. Birinci bölgedeki $U(t)_1$ 'in PID kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi



Şekil 3.9. Birinci bölgedeki $U(t)_1$ 'in BMD kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi



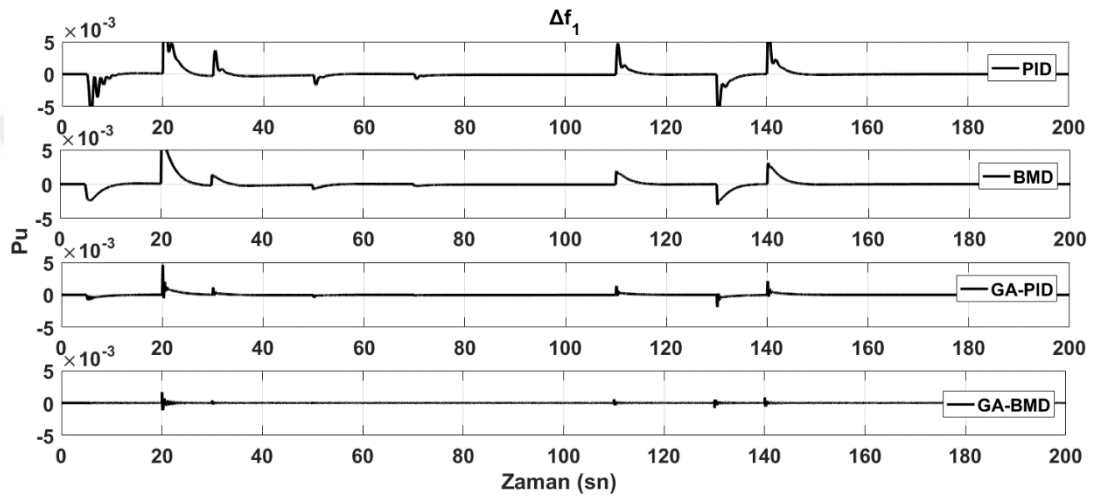
Şekil 3.10. Birinci bölgedeki $U(t)_1$ 'in GA-PID kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi



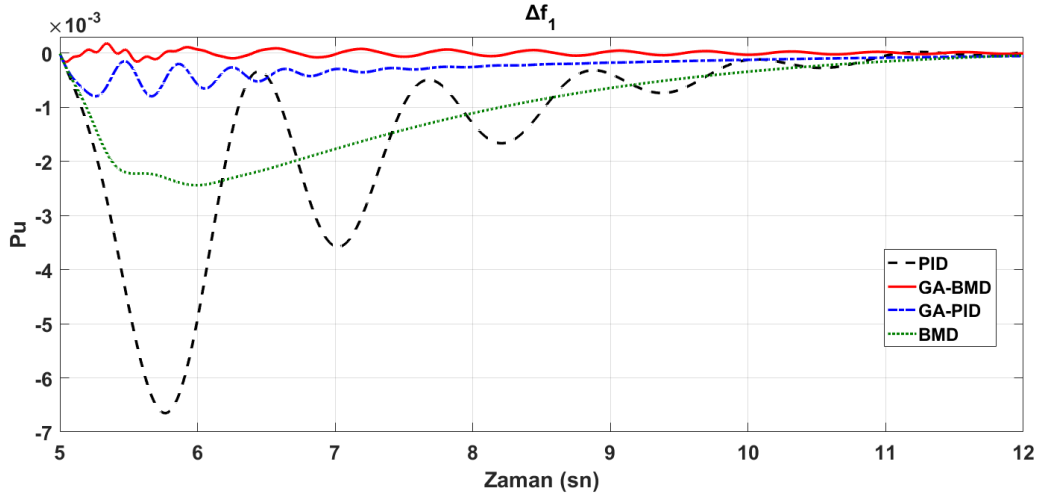
Şekil 3.11. Birinci bölgedeki $U(t)_1$ 'in GA-BMD kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi

Bu tez çalışmasında kontrol edilmesi istenen en önemli parametre olan frekans değerinin birinci bölgedeki sonuçları Şekil 3.12, 3.13 ve 3.14'de gösterilmiştir. Şekil

3.12’de tüm simülasyon boyunca dört ayrı kontrolör tarafından elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. Aynı eksen ölçülerinde gösterilen bu sonuca göre önerilen GA-BMD’nin daha az salınım yaptığı görülmektedir. Şekil 3.13’de birinci bölgede 0.001 pu’luk bir yük artışı meydana geldiğinde frekanstaki düşme gözlenmektedir. Bütün sayışan ifadeler Çizelge 3.1’de verilmiştir. Dört farklı kontrolörün aynı ekseninde gösterildiği bu sonuçlar incelendiğinde en iyi minimum aşma miktarını GA-BMD’nin sağladığı anlaşılmıştır.

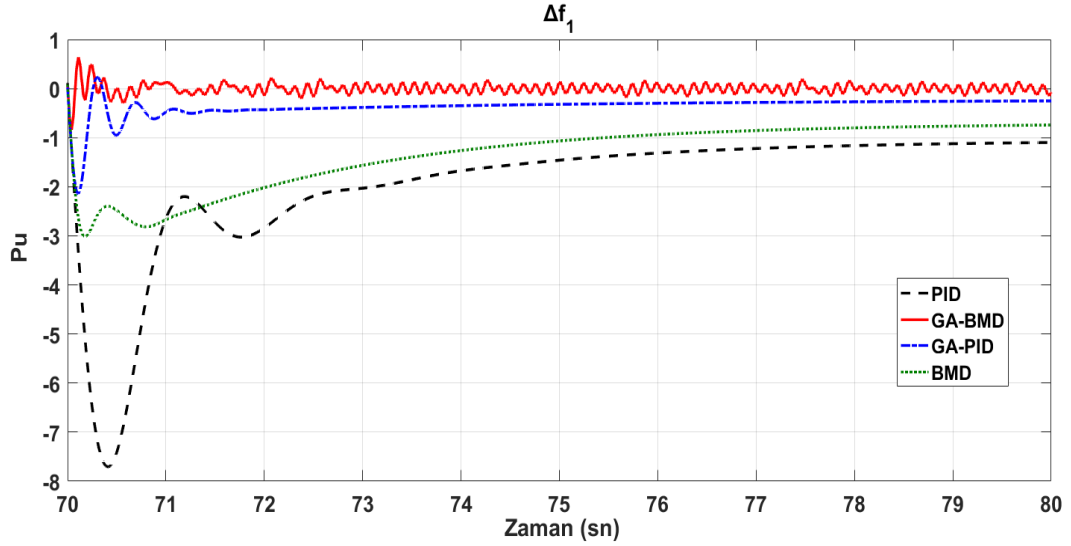


Şekil 3.12. Birinci bölgedeki Δf değerinin bütün kontrolörler ile tüm simülasyon boyunca değişimi



Şekil 3.13. Birinci bölgedeki Δf değerinin birinci bölgede 0.001pu'luk bir yük azalması sonucu 5. saniyedeki değişimi

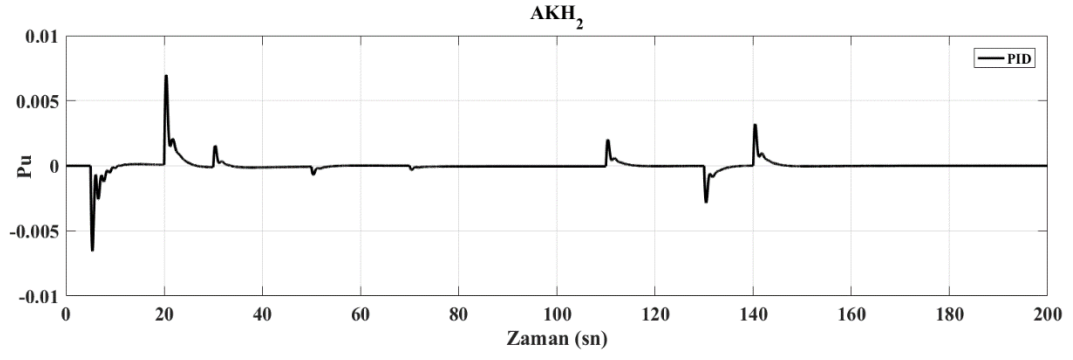
Son yıllarda enterkonnekte şebekeye çok fazla miktarlarda dahil olan GES'lerin etkisini incelemek için 70. Saniyesinde başlayarak gölgelenmenin artış etkisiyle birlikte azalan gücün frekansın üzerindeki etkileri Şekil 3.14'de görülmektedir. Dört farklı kontrolörün sergiledikleri performansın görüldüğü bu şekilde kalıcı durum hatası bakımından en iyi performansı önerilen GA-BMD göstermiştir. Mevcut olan kalıcı durum hatasının ani değişim durumlarına göre daha fazla ve uzun süreli olmasının sebebi GES'lerde 70. Saniyede başlayıp uzun süre devam eden iklime bağlı güç azalması olarak gösterilebilir.



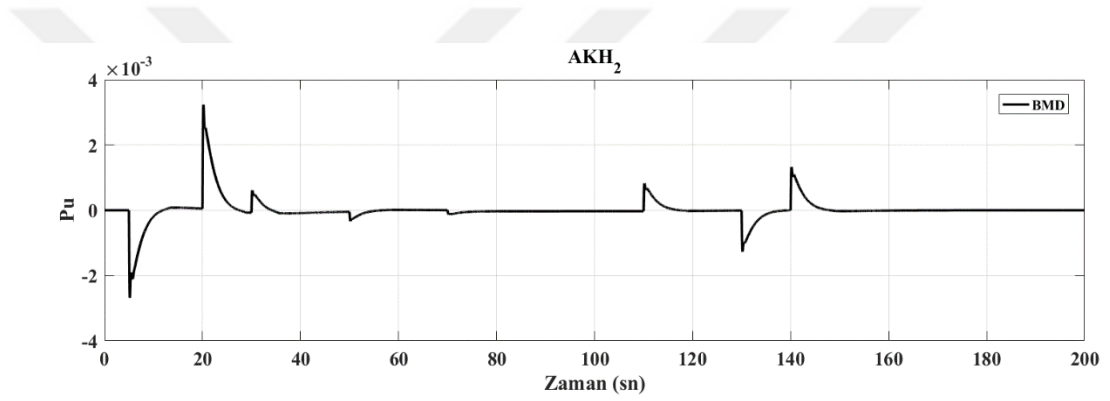
Şekil 3.14. Birinci bölgedeki Δf değerinin GES'lerde gölgelenmeye bağlı güç azalması sonucu meydana gelen değişimi

3.2. İkinci Bölge İçin Bulgular

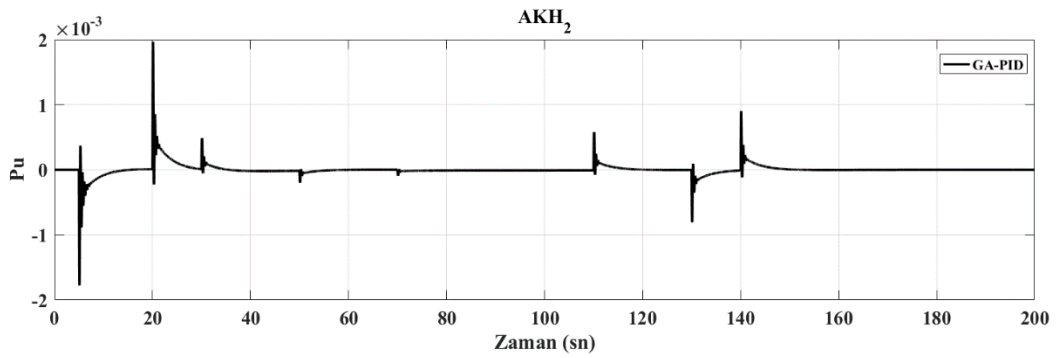
İkinci Bölgedeki oluşan AKH'nın değişimi Şekil 3.15-3.18 arasında gösterilmiştir. Şekil 3.15'te PID kontrolör kullanılarak, Şekil 3.16.'da BMD kullanılarak, Şekil 3.17'de GA-PID kullanılarak ve Şekil 3.18'de önerilen GA-BMD kullanılarak elde edilen AKH'nın değerleri gösterilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar karşılaştırıldığında Şekil 3.18'de elde edilmiş olan değişim grafiğinin daha küçük genlikte olduğu görülmektedir. Çizelge 3.1'deki sonuçlar değerlendirildiğinde; 5. Saniyede yük birinci bölgede yük artışı meydana geldiğinde, bundan ikinci bölgedeki AKH'nın ne derece etkilendiği görülmektedir. Ayrıca oturma zamanları PID kontrolör 8.9 saniye, BMD 8.4 saniye, GA-PID 5.8 saniye ve önerilen GA-BMD ise 5.1 saniye olarak elde edilmiştir. Aşım miktarları bakımında değerlendirildiğinde AKH'nın en minimum aşım değerinin GA-BMD ile 0.00069 olarak elde edildiği görülmektedir.



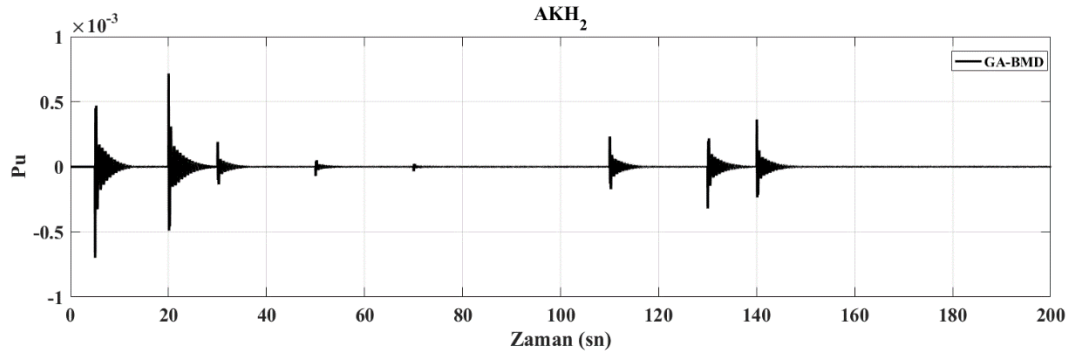
Şekil 3.15. İkinci bölgedeki AKH'nın PID kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi



Şekil 3.16. İkinci bölgedeki AKH'nın BMD kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi

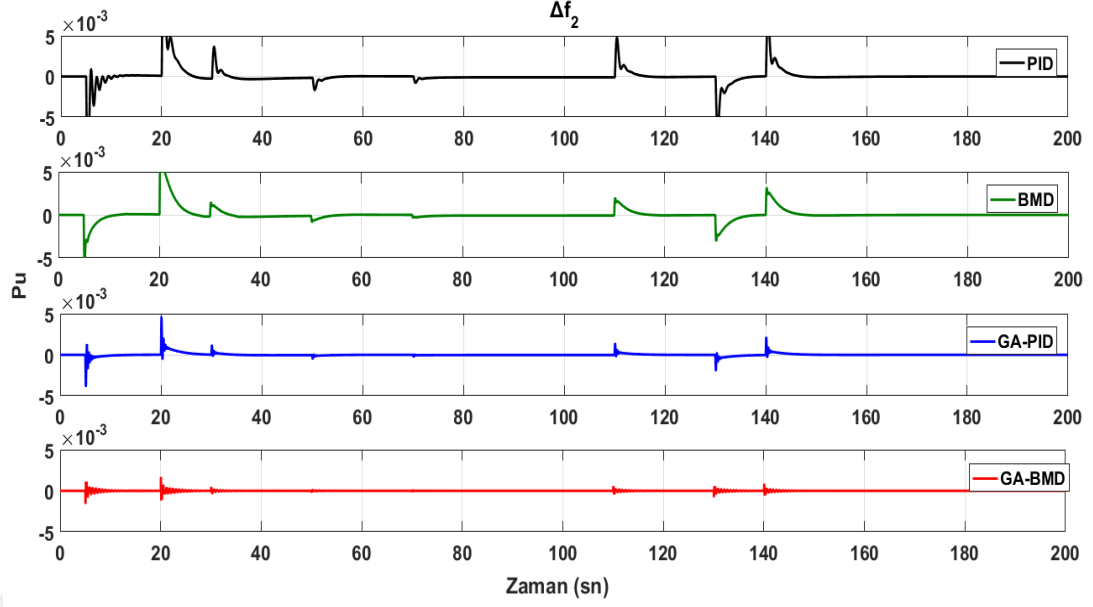


Şekil 3.17. İkinci bölgedeki AKH'nın GA-PID kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi



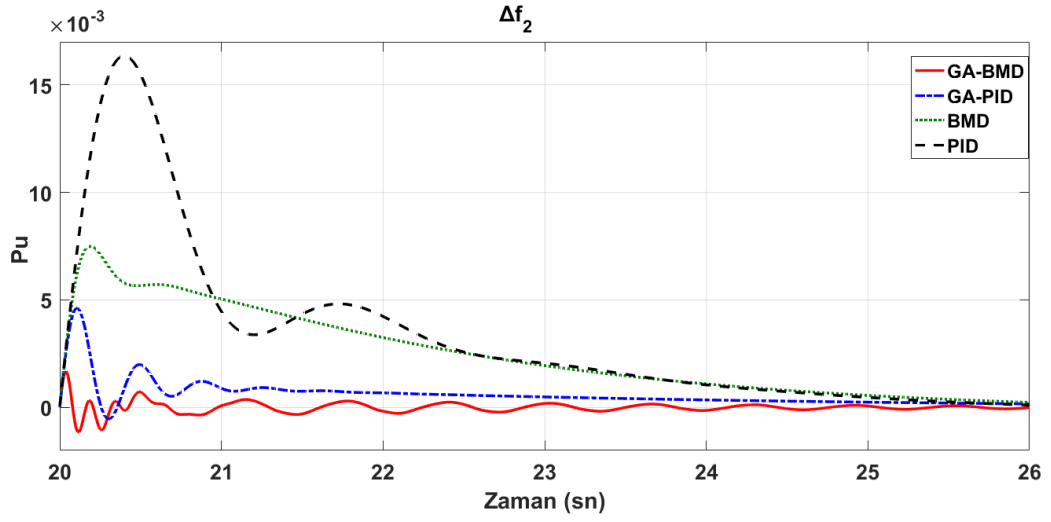
Şekil 3.18. İkinci bölgedeki AKH'nın GA-BMD kontrolör ile tüm simülasyon boyunca değişimi

Yük tarafında meydana gelen artışlar ve iklim şartlarına bağlı GES'lerde meydana gelen güç değişikliklerinin etkilediği tüm simülasyon süresindeki ikinci bölgedeki frekans değişiminin dört farklı kontrolörler elde edilmiş olan grafikleri Şekil 3.19'da gösterilmiştir. Ayrıca Δf_2 değerinin farklı kontrolörler kullanılarak oturma süreleri için elde ettikleri 5. Saniyedeki değerleri şu şekildedir: PID kontrolör 9.6 saniye, BMD 8.3 saniye, GA-PID 5.9 saniye ve önerilen GA-BMD ise 5.5 saniye olarak elde edilmiştir. Sonuçlardan da görüldüğü gibi önerilen GA-BMD en kısa sürede frekansı sabitleyebilmiştir.

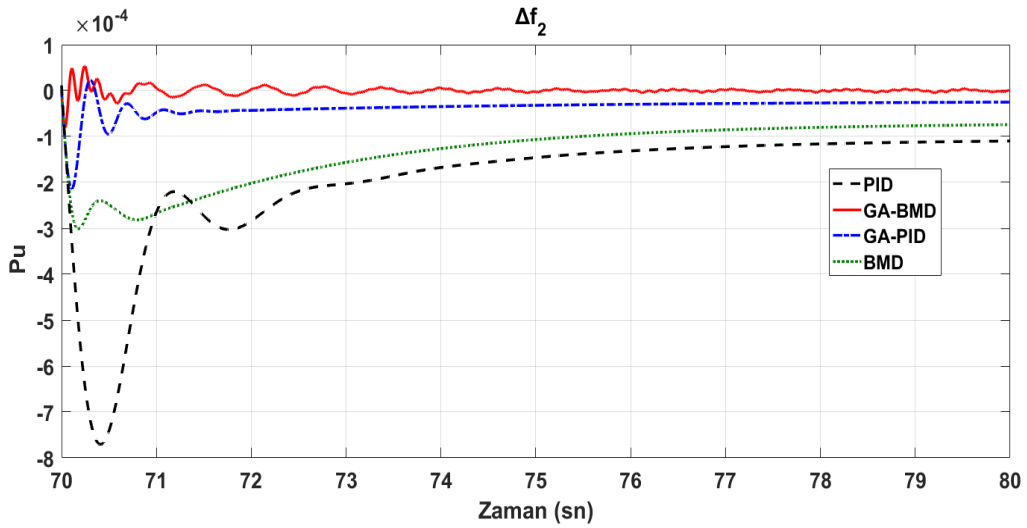


Şekil 3.19. Birinci bölgedeki Δf değerinin bütün kontrolörler ile tüm simülasyon boyunca değişimi

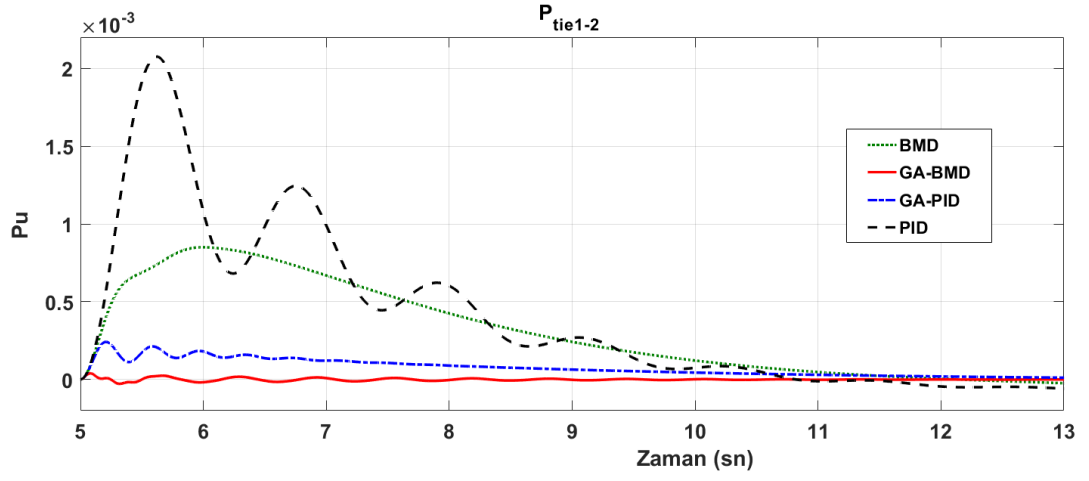
GES'lerin her iki bölgeye de ani bir şekilde dahil oldukları 20. saniyede frekans değerinde ani bir şekilde artış meydana gelmiştir. İkinci bölgedeki frekans dalgalanmalarının gösterildiği Şekil 3.20 ve Şekil 3.21'de ise kontrolörlerin sağlıklı karşılaştırılabilmesi için gösterilmiştir. Artışı en iyi sönmüleyen kontrolörün GA-BMD olduğu Şekil 3.20'de anlaşılmaktadır. Ayrıca uzun süreli gölgeleme etkisinin şebekeye etkisinin incelendiği 70. saniyedeki değişimler ise Şekil 3.21'de verilmiştir. Bu şekilde dikkat edilmesi gereken nokta güç değerinin sürekli azalma gösterdiği durumda bile GA-BMD kontrolörünün sistemi hızlı bir şekilde uygun çalışma koşullarına getirerek frekans değerindeki kalıcı durum hatasını ortadan kaldırması ve dalgalanmayı durdurabilme yeteneğidir. Şekil 3.22'de ise bağlantı hattındaki güç akışı üzerindeki dört ayrı kontrolörün göstermiş oldukları performans görülmektedir. Kontrolörlerin 5. saniyede elde ettikleri aşma miktarları sırasıyla PID kontrolör 0.00207 pu, BMD 0.00084 pu, GA-PID 0.00024 pu ve önerilen GA-BMD ise 0.00018 pu olarak elde edilmiştir ve Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.20. GES'lerde 0.01 pu'luk güç sistemine ani bir güç girişi olduğu andaki Δf değerindeki değişim



Şekil 3.21. İkinci bölgedeki Δf değerinin GES'lerde gölgenmeye bağlı güç azalması sonucu meydana gelen değişimi



Şekil 3.22. Birinci ve ikinci bölge arasındaki bağlantı hattı üzerindeki güç değişimi

Çizelge 3.1.1. Elde Edilen Sonuçlar

Parametre	Kontrolör	Birinci Bölgedeki Yük Artışı (5. saniye)			Birinci Bölgedeki Yük Artışı (70. saniye)			İkinci Bölgedeki Yük Artışı (5. saniye)		
		Aşım Miktarı	Oturma Zamanı	Aşım Miktarı	Aşım Miktarı	Oturma Zamanı	Aşım Miktarı	Oturma Zamanı	Aşım Miktarı	Oturma Zamanı
AKH	PID	-0.00114	13.1	-0.00032	80.5	-0.00655	8.9			
	BMD	-0.00025	8.6	-0.00012	78.5	-0.00267	8.4			
	GA-PID	-0.00016	6.8	-0.00009	71.5	-0.00177	5.8			
	GA-BMD	-0.00005	5.5	-0.00003	70.6	-0.00069	5.1			
Δf	PID	-0.00665	9.6	-0.00077	76.1	-0.00128	9.6			
	BMD	-0.00244	9.1	-0.00031	73.4	-0.00381	8.3			
	GA-PID	-0.00078	6.7	-0.00021	70.5	-0.00556	5.9			
	GA-BMD	-0.00018	5.1	-0.00008	70.1	-0.01224	5.5			
Δf_{ie1-2}	PID	0.00207	-	-	-	-	-			
	BMD	0.00084	-	-	-	-	-			
	GA-PID	0.00024	-	-	-	-	-			
	GA-BMD	0.00002	-	-	-	-	-			

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında termal generatör, ara ısıtmalı termal generatör ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak Güneş Enerji Santrali kullanılarak iki bölgeyi enterkonnekte şebekedeki frekans dalgalanması ve yük frekans kontrolü sorunlarına yönelik yeni bir kontrol yöntemi geliştirilmiştir. Şekil 3.1-3.22 ve Çizelge 3.1’de önerilen kontrol tekniği ile literatürde kullanılan diğer üç farklı kontrol tekniklerinin karşılaştırmalı sonuçları gösterilmiştir. Genetik optimizasyon tekniği ile üyelik fonksiyonlarının sınır değerlerinin optimize edildiği bulanık mantık denetleyici, iki bölgeyi-üç kaynaklı enterkonnekte güç sistemindeki yük-frekans kontrol problemi için yeni bir şekilde önerilmiştir.

Önerilen bu kontrol tekniği sayesinde iklim şartlarına bağlı olarak şebekeye dahil edilen güç miktarındaki değişikliklerden, sistem frekansının minimum oranda etkilenmesi sağlanmıştır. Ayrıca talep edilen güç değerindeki ani yükselmelere karşı sistemin uyum sağlama kabiliyeti de arttırılmıştır. Bu yeni geliştirilen kontrol tekniği PID, GA-PID ve BMD kontrolörleriyle karşılaştırılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalarda frekans salınımlarının ve frekansın oturma zamanının minimum oranda kalması sağlanmıştır. Genetik algoritma tekniğinin kullanıldığı bu tez çalışmasında PID değerleri için K_p , K_i ve K_d katsayılarının optimum değerleri belirlenmiştir. Ayrıca Bulanık mantık üçgen üyelik fonksiyonlarının sınırlarının şebekedeki değişikliklere adapte olabilmesi için genetik algoritma ile optimize edilerek frekans değerini sabit seviyede tutması sağlanmıştır. Bu sayede enterkonnekte şebekedeki yenilenebilir enerji kaynaklarından kaynaklanan frekans dengesizliği problemlerine daha optimum bir çözüm üretilmiştir. Bu sonuçlara göre güç sistemlerindeki frekans bozulması problemlerine önerilen GA-BMD kontrolörü ile geleneksel PID kontrolörüne göre yaklaşık %90 daha iyi bir sonuç sağlanmıştır. Ayrıca önerilen kontrol tekniği ile aşma değerinde, BMD kontrolöründen %75, GA-PID kontrolöründen ise yaklaşık olarak %40 değerinde daha iyi performans sergilediği sonuçlardan görülmektedir. Aşma ve oturma süresi değerleri şebekelerin işletme ömürlerini, işletme maliyetlerini ve verimlerini doğrudan etkilediği için pek çok yönden yenilenebilir kaynakların dahil olduğu enterkonnekte şebekelere faydalı

olmuştur. Ayrıca son yıllarda ortaya atılan daha gelişmiş algoritma teknikleri ve kontrol stratejileri kullanılarak daha akıllı ve sistematik bir şekilde kontrolör tasarlanabilir ve günümüz dünyasında hızla yaygınlaşan yenilenebilir enerji kaynakların kullanıldığı şebekelerdeki yük frekans kontrolü probleminde çözüm aranabilir.



KAYNAKLAR

1. Altas, I.H., Sharaf, A.M., A novel on-line mpp search algorithm for pv arrays. Energy Conversion, IEEE Transactions on, 11, 748-754, 1996,
2. G. Göksu, Şebeke bağlantısız fv-yp birleşik sistemleri için anahtarlamalı bir güç ve gerilim düzenleyicisi. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, 2013.
3. Altas, I.H., Sharaf, A.M., A novel maximum power fuzzy logic controller for photovoltaic solar energy systems. Renewable Energy, 33, 388-399, 2008.
4. H. Gözde, Güç sistemlerinde yapay arı kolonisi algoritması yöntemi ile yük-frekans kontrolü optimizasyonu. Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, 2010.
5. Şahin, S. Haberleşme gecikmesi içeren yük frekans kontrol sistemlerinin kararlı olacağı makzimum zaman gecikme değerlerinin hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2013.
6. Falahati, S., Taher, S.A., Shahidehpour, M., A new smart charging method for evs for frequency control of smart grid. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 83, 458-469, 2016.
7. Mackey, K.N. McCann, R.A. An optimal load-frequency control method for inverter-based renewable energy transmission. IEEE Green Technologies Conference, April 2013, Washington, DC, pp. 239-243.
8. Sathya, M.R., Mohamed Thameem Ansari, M., Design of biogeography optimization based dual mode gain scheduling of fractional order pi load frequency controllers for multi source interconnected power systems. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 83, 364-381 2016.

9. Gozde, H., Taplamacioglu, M.C., Kocaarslan, I., Senol, M.A., Particle swarm optimization based pi-controller design to load-frequency control of a two area reheat thermal power system. *Journal of Thermal Science and Technology*, 30, 13-21, 2010.
10. Daneshfar, F., Bevrani, H., Multiobjective design of load frequency control using genetic algorithms. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 42, 257-263, 2012.
11. Chandra Sekhar, G.T., Sahu, R.K., Baliarsingh, A.K., Panda, S., Load frequency control of power system under deregulated environment using optimal firefly algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 74, 195-211, 2016.
12. Prakash, S., Sinha, S.K., Simulation based neuro-fuzzy hybrid intelligent pi control approach in four-area load frequency control of interconnected power system. *Applied Soft Computing*, 23, 152-164, 2014.
13. Dhillon, S.S., Lather, J.S., Marwaha, S. Multi objective load frequency control using hybrid bacterial foraging and particle swarm optimized pi controller. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 79, 196-209, 2016.
14. Sahu, R.K., Chandra Sekhar, G.T., Panda, S., De optimized fuzzy pid controller with derivative filter for lfc of multi source power system in deregulated environment. *Ain Shams Engineering Journal*, 6, 511-530, 2015.
15. Shayeghi, H., Jalili, A., Shayanfar, H.A., Multi-stage fuzzy load frequency control using pso. *Energy Conversion and Management*, 49, 2570-2580, 2008.

16. Abdelaziz, A.Y., Ali, E.S., Cuckoo search algorithm based load frequency controller design for nonlinear interconnected power system. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 73, 632-643, 2015.
17. Sa-ngawong, N., Ngamroo, I., Intelligent photovoltaic farms for robust frequency stabilization in multi-area interconnected power system based on pso-based optimal sugeno fuzzy logic control. *Renewable Energy*, 74, 555-567, 2015.
18. Khalghani, M.R., Khooban, M.H., Mahboubi-Moghaddam, E., Vafamand, N., Goodarzi, M., A self-tuning load frequency control strategy for microgrids: Human brain emotional learning. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 75, 311-319, 2016.
19. Parmar, K.P.S., Majhi, S., Kothari, D.P., Lfc of an interconnected power system with multi-source power generation in deregulated power environment. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 57, 277-286, 2014.
20. Shankar, G., Mukherjee, V., Quasi oppositional harmony search algorithm based controller tuning for load frequency control of multi-source multi-area power system. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 75, 289-302, 2016.
21. Sahu, R.K., Panda, S., Yegireddy, N.K., A novel hybrid debs optimized fuzzy pi/pid controller for load frequency control of multi-area interconnected power systems. *Journal of Process Control*, 24, 1596-1608, 2014.
22. Ponnusamy, M., Banakara, B., Dash, S.S., Veerasamy, M., Design of integral controller for load frequency control of static synchronous series compensator and capacitive energy source based multi area system consisting of diverse sources of generation employing imperialistic competition algorithm.

- International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 73, 863-871, 2015.
23. Khooban, M.H., Niknam, T., A new intelligent online fuzzy tuning approach for multi-area load frequency control: Self adaptive modified bat algorithm. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 71, 254-261, 2015.
 24. Çam, E., Arcaklıoğlu, E., Çavuşoğlu, A., Akbıyık, B., A classification mechanism for determining average wind speed and power in several regions of turkey using artificial neural networks. Renewable Energy, 30, 227-239, 2005.
 25. 2015 kömür (linyit) raporu, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, 2015.
 26. Ö. T. Gedik, Türkiye’de yenilenebilir enerji kaynaklari ve çevresel etkileri. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2015.
 27. Y. Arıkan, Yenilenebilir enerji sistem yatirimlarında enerji potansiyeli ve ekonomik analiz tabanlı yazılım tasarımı. Yüksek Lisans Tezi. Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 2014.
 28. C. Demirtürk, Yenilenebilir enerji kaynaklarından, rüzgar ve güneş enerjisi karşılaştırmalı, yatırım fizibilitesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Ticaret Üniversitesi, İstanbul, 2013.
 29. Erdal Tanas Karagöl, İ. K. Dünyada ve Türkiye’de yenilenebilir enerji, SETA, 2017.
 30. Nükleer santraller ve ülkemizde kurulacak nükleer santrale ilişkin bilgiler. Nükleer Enerji Proje Uygulama Dairesi Başkanlığı, T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yayın No:1.

31. E., Damacı, Alternatif enerji kaynaklarının sezgisel bulanık topsis yöntemiyle değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi, Ankara, 2016.
32. Hidroelektrik santrallerin elektrik üretimi istatistikleri. <http://www.enerjiatlası.com/elektrik-uretimi/hidroelektrik> (Erişim tarihi:16.04.2017)
33. C. Zeray, Renewable energy sources. Master Thesis. University of Cukurova, Adana, 2010.
34. Altas, I.H. and Sharaf, A.M., In A photovoltaic array simulation model for matlab-simulink gui environment. Clean Electrical Power. May 2007, Capri-Italy, pp 341-345.
35. Altaş, İ.H., Fotovoltaik güneş pilleri: Yapısal özellikleri ve karakteristikleri. Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, 47, 1998.
36. Hersch, P.A.Z., Basic photovoltaic principles and methods. U.S. Department of Energy by the Midwest Research Institute, 1982.
37. Mengi, O.O. Altas, I.H. In A fuzzy decision making energy management system for a pv/wind renewable energy system. Innovations in Intelligent Systems and Applications, June 2011, Istanbul-Turkey, pp 436-440.
38. Türkiye rüzgar enerjisi istatistik raporu. Türkiye Rüzgar Enerji Birliği, 2017.
39. Elektrik İşleri Etüt İdaresi http://www.eie.gov.tr/images/gra_son_ist.png (Erişim tarihi: 12.03.2017)
40. Ural, Z. Gümüş, B. ve Gençoğlu, M.T. Bir pem yakıt pili sisteminin matlab ile modellenmesi. IV.Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, 2007, Gaziantep, pp 106-112.

41. Gencoglu, M.T.A.U., Z. Design of a pem fuel cell system for residential application. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34, 5242–5248, 2009.
42. Wang, C., Nehrir, M. H., and Shaw, S. Dynamic models and model validation for pem fuel cells using electrical circuits. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 20, 442-451, 2005.
43. Kundur, P., *Power system stability and control*. McGraw-Hill Education, 1994.
44. Chia-Feng, J. Chun-Feng, L. In *Power system load frequency control with fuzzy gain scheduling designed by new genetic algorithms*, *Fuzzy Systems*, 2002, pp 64-68.
45. Karayeyen, A. Çok bölgeli elektrik güç sistemlerinde optimum yük frekans kontrolü. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
46. Madureira, A. Moreira, C. ve Lopes, J.P. Secondary load-frequency control for microgrids in islanded operation, *Proceedings of the International Conference on Renewable Energy and Power Quality*, 2005.
47. Kocaarslan, I., Cam, E., Fuzzy logic controller in interconnected electrical power systems for load-frequency control. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 27, 542-549, 2005.
48. Cam, E.; Kocaarslan, I., A fuzzy gain scheduling pi controller application for an interconnected electrical power system. *Electric Power Systems Research*, 73, 267-274, 2005.
49. Jagatheesan, K., Anand, B., Ebrahim, M., Stochastic particle swarm optimization for tuning of pid controller in load frequency control of single area reheat thermal power system. *International Journal of Electrical and Power Engineering*, 8, 33-40, 2014.

50. Cam, E., Application of fuzzy logic for load frequency control of hydroelectrical power plants. *Energy Conversion and Management*, 48, 1281-1288, 2007.
51. Datta, M. Ishikawa, H. Naitoh, and H. Senjyu, T. In Lfc by coordinated virtual inertia mimicking and pevs in power utility with mw-class distributed pv generation, *Control and Modeling for Power Electronics*, June 2012, pp 1-8.
52. Altas, I.H. and Sharaf, A.M. In Novel control strategies using load matching for maximum photovoltaic energy utilization, *Electrical and Computer Engineering*, April 2007, Canadian Conference, pp 1578-1581.
53. Elbakush, E. Sharaf, A.M. and Altas, I.H. In An efficient tri-loop controller for photovoltaic powered four-wheel electric vehicle. *Innovations in Information Technology*, Nov. 2007. Dubai-UAE, pp 421-425.
54. Mohamed, T.H., Shabib, G., Ali, H., Distributed load frequency control in an interconnected power system using ecological technique and coefficient diagram method. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 82, 496-507, 2016.
55. Nikmanesh, E., Hariri, O., Shams, H., Fasihozaman, M., Pareto design of load frequency control for interconnected power systems based on multi-objective uniform diversity genetic algorithm (muga). *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 80, 333-346, 2016.
56. Liu, X., Zhang, Y., Lee, K.Y., Robust distributed mpc for load frequency control of uncertain power systems. *Control Engineering Practice*, 56, 136-147, 2016.
57. Kuo, B.C. *Otomatik kontrol sistemleri. Literatür Yayınları*, 2005; Vol. 7.

58. Ogata, K. Modern control engineering. Prentice Hall, 2001; Vol. 4th Edition.
59. Valério, D., da Costa, J.S., Tuning of fractional pid controllers with ziegler–nichols-type rules. *Signal Processing*, 86, 2771-2784, 2006.
60. Altas, I.H. and Neyens, J. A fuzzy logic decision maker and controller for reducing load frequency oscillations in multi-area power systems. *Power Engineering Society General Meeting*, 2006, pp 9.
61. Altas, I.H., Sharaf, A.M., A generalized direct approach for designing fuzzy logic controllers in matlab/simulink gui environment. *International Journal of Information Technology and Intelligent Computing*, 1, 1-27, 2007.
62. Altaş, İ.H., Bulanık mantık: Bulanıklık kavramı. *Otomasyon Dergisi*, 62, 80-85, 1999.
63. Yanmaz, K. Altas, I.H. and Sharaf, A.M. Application of fuzzy reasoning based power filter and dynamic voltage regulator for single phase micro wind power generation systems. *Innovations in Intelligent Systems and Applications July 2012, Trabzon-Turkey*, pp 1-5.
64. Eminoğlu, I., Altas, I.H., The effects of the number of rules on the output of a fuzzy logic controller employed to a pmc Motor. *Computers & Electrical Engineering*, 24, 245-261, 1998.
65. Mahdavian, M. Wattanapongsakorn, N. Azadeh, M. Ayati, A. Poudeh, M.B. Jabbari, M. and Bahadory, S. Load frequency control for a two-area hvac/hvdc power system using hybrid genetic algorithm controller, *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology*, May 2012, Phetchaburi, Thailand, pp 1-4.

66. Rerkpreedapong, D., Hasanovic, A., Feliachi, A., Robust load frequency control using genetic algorithms and linear matrix inequalities. *Power Systems, IEEE Transactions*, 18, 855-861, 2003.
67. Vladu, E.E. and Dragomir, T.L. Controller tuning using genetic algorithms, *Proc. of SACI-Symposium on Applied Computational Inteligence*. 2004, Szeged-Arad, pp 29-38.
68. Merei, G., Berger, C., Sauer, D.U., Optimization of an off-grid hybrid pv–wind–diesel system with different battery technologies using genetic algorithm. *Solar Energy*, 97, 460-473, 2013.
69. Li, D., Gao, F., Xue, Y., Lu, C., Optimization of decentralized pi/pid controllers based on genetic algorithm. *Asian Journal of Control*, 9, 306-316, 2007.
70. Kumar, A. Chanana, S. Genetic fuzzy pid controller based on adaptive gain scheduling for load frequency control, *Power Electronics, Drives and Energy Systems*. Dec. 2010, India, pp 1-8.
71. Tiwari, P.K. Sood, Y.R. Optimal location of facts devices in power system using genetic algorithm. *Nature & Biologically Inspired Computing*, Dec. 2009, pp 1034-1040.
72. Civelek, Z., Cam, E., Luy, M., Mamur, H., Proportional–integral–derivative parameter optimisation of blade pitch controller in wind turbines by a new intelligent genetic algorithm. In *IET Renewable Power Generation*, Institution of Engineering and Technology, 10, 1220-1228, 2016.
73. Safaei, A. Roodsari, H.M. and Abyaneh, H.A. Optimal load frequency control of an island small hydropower plant, *Thermal Power Plants*, Oct. 2011, Tehran, Iran, pp 1-6.

74. Ramaprabha, R. Gothandaraman, V; Kanimozhi, K. Divya, R. Mathur, B.L. Maximum power point tracking using ga-optimized artificial neural network for solar pv system. Electrical Energy Systems, Jan. 2011, Newport Beach, CA, USA, pp 264-268.
75. Aly, A.A., Pid parameters optimization using genetic algorithm technique for electrohydraulic servo control system. Intelligent Control and Automation, 2, 69, 2011.
76. Das, D.C., Roy, A., Sinha, N., Genetic algorithm based pi controller for frequency control of an autonomous hybrid generation system. Proc. International Multiconference of engineers and Computer scientists, 2, 2011.
77. Gozde, H. Taplamacioglu, M.C. and Kocaarslan, I. A swarm optimization based load frequency control application in a two area thermal power system, Electrical and Electronics Engineering. Nov. 2009, Bursa-Turkey, pp I-124-I-128.
78. Prakash, S., Sinha, S., Load frequency control of three area interconnected hydro-thermal reheat power system using artificial intelligence and pi controllers. International Journal of Engineering, Science and Technology, 4, 23-37, 2011.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Göksu Görel
Doğum Tarihi :22/11/1984
Yabancı Dil :İngilizce

Eğitim Durumu

Lisans : Marmara Üniversitesi - 2006
Yüksek Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi - 2013

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl/Yıllar

Çankırı Karatekin Üniversitesi – 2009 (Devam ediyor)

Yayımları (Uluslararası SCI-E index dergi) :

- Cam, E.; Gorel, G.; Mamur, H., Use Of The Genetic Algorithm-Based Fuzzy Logic Controller For Load-Frequency Control in A Two Area Interconnected Power System. Appl. Sci. 2017, 7, 308.1.

Yayımları (Uluslararası diğer index dergi) :

- Civelek Z.; Luy M.; Cam E.;, Gorel G., A New Fuzzy Controller For Adjusting of Pitch Angle of Wind Turbine. The Online Journal of Science and Technology. 2016, 6, 3.
- Gorel, G.; Cam, E., The Solar Panel Surface Temperat. Control By Using Genetic-PI and Fuzzy-PI Controller, Journal of Solar Energy Research (JSER), 2017, 2, 1.

Yayınları (Uluslararası bildiri) :

- Gorel, G. Cam E. and Altas. I. H., Temperature effect on the load of the panel to be controlled by the p_i for utility independent pv systems. 2nd International Symposium On Environment And Morality, 2014.
- Gorel, G. Cam, E. Luy, M. Civelek Z. Genetic based p_i controller for cooling independent pv systems. 1st International Conference On Environmental Science And Technology, 2015.
- Gorel, G. Cam, E. Luy, M. Gurbuz, R. Operation of load frequency control with pid controller in single area renewable green photovoltaic energy systems. 1st International Conference On Environmental Science And Technology, 2015
- Gorel, G. Cam, E. Implementation of fuzzy p_i for load frequency control in photovoltaic energy systems. 8th International Ege Energy Symposium And Exhibition, 2016.
- Gorel, G. Cam, E. The solar panel surface temperature control by using genetic p_i and fuzzy p_i controller. 8th International Ege Energy Symposium And Exhibition, 2016.

Araştırma Alanları: Yenilenebilir Enerji Kaynaklar, Fotovoltaik Güneş Pilleri, Gerilim Kararlılığı, Anahtarlama Güç Filtresi, Bulanık Mantık, Optimizasyon Yöntemleri.