

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞEBEKE BAĞLANTILI FV SİSTEMLERDE DA BARA GERİLİMİNİN PSO
TABANLI KONTROLÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halit UFACIK

OCAK 2014
TRABZON

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞEBEKE BAĞLANTILI FV SİSTEMLERDE DA BARA GERİLİMİNİN PSO
TABANLI KONTROLÜ

Halit UFACIK

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"ELEKTRİK YÜKSEK MÜHENDİSİ "
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 31.12.2013
Tezin Savunma Tarihi : 23.01.2014

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ

Trabzon 2014

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Halit UFACIK tarafından hazırlanan

ŞEBEKE BAĞLANTILI FV SİSTEMLERDE DA BARA GERİLİMİNİN PSO
TABANLI KONTROLÜ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 07 / 01 / 2013 gün ve 1536 sayılı
kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda

YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Fatih Mehmet NUROĞLU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bekir DİZDAROĞLU

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Mühendisliği Yüksek Lisans Programı kapsamında gerçekleştirilen bu çalışmada, şebeke bağlantılı fotovoltaik güç sistemi için PSO tabanlı anahtarlamalı aktif güç filtresi kullanılarak sabit bir DA gerilimi eldesine yönelik gerekli tasarımlar yapılmıştır.

Bu çalışmanın başından sonuna kadar, gerek yüksek lisans tez konusu seçiminde, gerek yenilikçi fikirlerin uygulanmasında, gerekse mesleki ahlak ve etik kurallarının uygulanmasında değerli fikirlerini, tecrübelerini ve akademik bilgi birikimini esirgemeyen danışman hocam Sayın Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ'a teşekkürü bir borç bilirim. Değerli fikirleriyle bu çalışmaya katkı sağlayan Prof. Dr. Adel M. SHARAF'a teşekkürlerimi arz ederim.

Ayrıca Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ kuruculuğunda ve önderliğinde çalışmalarını yürüten POWENCON (Power, Energy and Control) Araştırma Grubu'nun başta Öğr. Gör. Erdinç ŞAHİN olmak üzere çok değerli üyelerine ve çalışma arkadaşlarıma gönülden teşekkür ederim.

Son olarak beni bugünlere getiren, hayatımın her aşamasında olduğu gibi eğitimim süresince de maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, zor günlerimde yanımda olduklarını hissettiren çok değerli aileme sonsuz şükran ve teşekkürlerimi sunarım.

Halit UFACIK

Trabzon 2014

TEZ BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Şebeke Bağlantılı FV Sistemlerde DA Bara Geriliminin PSO Tabanlı Kontrolü” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ’ın sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.
31/12/2013

Halit UFACIK

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	III
TEZ BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Araştırması	2
1.3. Yenilenebilir Enerji	4
1.3.1. Dünyada Yenilenebilir Enerji.....	4
1.3.2. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji.....	8
1.3.3. Türkiye’de Güneş Enerjisi.....	11
1.4. Fotovoltaik Güneş Pilleri.....	12
1.4.1. Fotovoltaik Güneş Pili nin Yapısı ve Çalışması.....	12
1.4.2. Fotovoltaik Güneş Pili nin Eşdeğer Devre Modelleri	16
1.4.3. Fotovoltaik Güneş Pili Karakteristikleri.....	24
1.4.3.1. Sıcaklığın Fotovoltaik Güneş Pili Karakteristiklerine Etkisi	27
1.4.3.2. Işık Şiddetinin Fotovoltaik Güneş Pili Karakteristiklerine Etkisi	29
1.4.3.3. Fotovoltaik Güneş Pili nin Akım-Gerilim (I-V) Karakteristiğinin Değişen Ortam Sıcaklığı ve Işık Seviyesi İçin Yeniden Belirlenmesi	31
1.4.4. Fotovoltaik Sistemler.....	33
1.4.4.1. Şebeke Bağlantısız Fotovoltaik Sistemler	33
1.4.4.2. Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistemler	35
1.4.4.3. Hibrid Sistemler.....	36
1.5. DA-DA Dönüştürücüler	38
1.5.1. Yükselten Dönüştürücü	38

1.6.	DA-AA Dönüştürücü.....	39
1.7.	Darbe Genişlik Modülasyonu.....	39
1.8.	Maksimum Güç Noktası Takibi	41
1.8.1.	Değiştir-Gözle (P&O) Algoritması	42
1.9.	PID Kontrolör.....	44
1.9.1.	PID Parametrelerinin Ayarlanması.....	46
1.10.	Parçacık Sürü Optimizasyonu	48
1.10.1.	Parçacık Sürü Optimizasyonu Genel İşleyişi	50
1.10.2.	PSO Kontrol Parametreleri	52
1.10.3.	PSO ile PID Parametrelerinin Ayarlanması	56
1.11.	Aktif Güç Filtreleri	58
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	59
2.1.	Giriş	59
2.2.	Güneş Pilinin Modellenmesi	62
2.3.	Anahtarlama Güç Filtresi	62
2.3.1.	Anahtarlama Güç Filtresi Denetimi	63
2.4.	Çift Çevrimli Dinamik Hata Toplayıcı.....	64
2.5.	PSO-PID Denetleyici.....	65
2.6.	DA-DA Yükselten Dönüştürücü	66
3.	BULGULAR	73
3.1.	Sabit Sıcaklık ve Sabit Işınım Durumunda Elde Edilen Bulgular.....	73
3.2.	Sabit Sıcaklık ve İki Kademeli Azalan Işınım Durumunda Elde Edilen Bulgular..	79
3.3.	Sabit Sıcaklık ve Değişik Azalan-Artan Işınım Durumunda Elde Edilen Bulgular	88
3.4.	Sabit Sıcaklık ve Sabit Işınım Altında Yükteki Değişmeler Durumunda Elde Edilen Bulgular	95
4.	İRDELEME	101
5.	SONUÇLAR.....	102
6.	ÖNERİLER	103
7.	KAYNAKLAR.....	104
	ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

ŞEBEKE BAĞLANTILI FV SİSTEMLERDE DA BARA GERİLİMİNİN PSO TABANLI
KONTROLÜ

Halit UFACIK

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ
2014, 116 Sayfa

Bu tezde şebeke bağlantılı FV sistemin DA bara gerilimi kontrolü ele alınmıştır. DA bara gerilimini sabit bir değerde tutmak amacıyla parçacık sürü optimizasyonu (PSO) PID denetleyici tasarlanmış ve önerilen sisteme uygulanmıştır. Değişken ışınım miktarı ve yükün etkileri çoklu dinamik hata toplayıcısı tarafından kontrol algoritmasına dahil edilmiştir. Böylece PID denetleyici DA bara gerilimini sabit bir değerde tutmak ve dengeleyici filtrenin kontrolünü sağlamak amacıyla çevre koşullarındaki ve yükteki değişimlere bağlı olarak bir kontrol işareti üretmektedir. PID denetleyicinin parametreleri, güvenilir, sağlam ve kararlı bir çalışma sağlamak amacıyla PSO algoritması ile optimize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Güneş enerjisi, Fotovoltaik sistemler, Parçacık sürü optimizasyonu, PID denetleyici, Aktif güç filtresi.

Master Thesis

SUMMARY

A PSO BASED CONTROL OF DC BUS VOLTAGE IN UTILITY CONNECTED PV
SYSTEMS

Halit UFACIK

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical-Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof. Dr. İsmail Hakkı ALTAŞ
2014, 116 Pages

DC bus voltage control of a utility connected PV system is studied in this thesis. In order to maintain a constant DC bus voltage, a particle swarm optimization (PSO) based PID controller is designed and employed in the proposed system. The effects of changing solar irradiation level and load switching are included in control algorithm by a multi-loop dynamic error collector. Therefore PID controller acts to generate control signal in response to changes in environmental conditions to control a green plug filter compensator and also in response to switching in load side in order to maintain a constant DC bus voltage. The parameters of the PID controller are optimized using a PSO algorithm to ensure a reliable, robust and stable operation.

Key Words: Renewable Energy, Solar Energy, photovoltaic systems, Particle Swarm Optimization, PID controller, Active power filter.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. 1996-2011 yılları arasında fotovoltaik ve rüzgar enerjisi toplam kapasitesindeki değişim[7]	6
Şekil 1.2. Güneş pilinin Yapısını Oluşturan P-N eklemleri	13
Şekil 1.3. Güneş pili P-N eklemine oluşması ve elektron-boşluk durumu	14
Şekil 1.4. Güneş pilinde fotovoltaik akım oluşumu	15
Şekil 1.5. Fotovoltaik güneş pilini oluşturan katmanlar	15
Şekil 1.6. Fotovoltaik güneş pilinin genel statik eşdeğer devresi.....	16
Şekil 1.7. Fotovoltaik güneş pilinin dinamik eşdeğer devre modeli	18
Şekil 1.8. Fotovoltaik güneş pilinin basit eşdeğer devre modeli	19
Şekil 1.9. Fotovoltaik Güneş Pillerinin Seri Bağlanması	20
Şekil 1.10. Seri bağlanmış fotovoltaik güneş pili modellerinin eşdeğer devresi.....	21
Şekil 1.11. Fotovoltaik güneş pili dizisi eşdeğer devresi	22
Şekil 1.12. Paralel bağlanmış fotovoltaik güneş pili dizilerinin eşdeğer devresi	22
Şekil 1.13. $N_s \times N_p$ boyutlu fotovoltaik güneş pili panel modeli.....	23
Şekil 1.14. Fotovoltaik güneş panelinin ayarlı yüke bağlanması	24
Şekil 1.15. Fotovoltaik güneş pili panelinin akım-gerilim (I-V) karakteristiğinin yükte değişimi.....	25
Şekil 1.16. Fotovoltaik güneş pili panelinin (I-V) ve (P-V) karakteristiğinin yükte değişimi.....	26
Şekil 1.17. Fotovoltaik güneş pilinin akım-gerilim (I-V) karakteristiğine sıcaklığın etkisi	28
Şekil 1.18. Fotovoltaik güneş pilinin güç-gerilim (P-V) karakteristiğine sıcaklığın etkisi.	29
Şekil 1.19. Fotovoltaik güneş pilinin akım-gerilim (I-V) karakteristiğine ışık seviyesinin etkisi.....	30
Şekil 1.20. Fotovoltaik güneş pilinin güç-gerilim (P-V) karakteristiğine ışık seviyesinin etkisi.....	31
Şekil 1.21. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem	34
Şekil 1.22. Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem	36
Şekil 1.23. Güneş ve Rüzgar enerjisinden oluşan hibrid sistem.....	37
Şekil 1.24. Yükselten dönüştürücü devresinin genel yapısı	38
Şekil 1.25. DA-AA dönüştürücünün(evirici) genel devre şeması.....	39

Şekil 1.26. Darbe genişlik modülasyonu	40
Şekil 1.27. MGNT kontrol yönteminin blok şeması	41
Şekil 1.28. D&G Algoritmasının akış diyagramı	43
Şekil 1.29. Kapalı çevrim PID kontrol blok diyagramı	44
Şekil 1.30. PSO hız güncelleme denklemi bileşenleri.....	51
Şekil 1.31. Parçacığın konum değiştirmesinin vektörel ifadesi	52
Şekil 1.32. Parçacık sürü optimizasyonu akış diyagramı	55
Şekil 1.33. PSO ile PID parametrelerinin ayarlamasına ilişkin blok diyagram	56
Şekil 1.34. PID parametrelerinin PSO ile ayarlanmasına ilişkin akış diyagramı	57
Şekil 2.1. Şebeke bağlantılı fotovoltaik güç sisteminin genel yapısı	60
Şekil 2.2. Kurulan sistemin Matlab/Simulink modeli	61
Şekil 2.3. Fotovoltaik güneş pili Matlab/Simulink benzetim modeli	62
Şekil 2.4. Anahtarlama güç filtresi (GPFC) Matlab/Simulink modeli	63
Şekil 2.5. Anahtarlama güç filtresine ait denetim bloğu	64
Şekil 2.6. Çift çevrimli dinamik hata toplayıcısı	64
Şekil 2.7. Yükselten dönüştürücünün iletim durumu	66
Şekil 2.8. Yarı iletken anahtar iletimde iken yükselten dönüştürücü dalga şekilleri.....	67
Şekil 2.9. Yükselten dönüştürücünün kesim durumu	68
Şekil 2.10. Yarı iletken anahtar kesimde iken yükselten dönüştürücü dalga şekilleri	69
Şekil 2.11. Yarı iletken anahtarın iletim ve kesim durumundaki dalga şekilleri.....	71
Şekil 3.1. GPFC devre dışı iken fotovoltaik güneş paneli gerilimi	75
Şekil 3.2. GPFC devrede iken fotovoltaik güneş paneli gerilimi	75
Şekil 3.3. GPFC devre dışı iken fotovoltaik güneş paneli akımı.....	76
Şekil 3.4. GPFC devrede iken fotovoltaik güneş paneli akımı.....	76
Şekil 3.5. MGNT birimi ile kontrol edilen doluluk boşluk oranı	77
Şekil 3.6. GPFC devre dışında iken yükseltici çıkışındaki gerilim	77
Şekil 3.7. GPFC devrede iken yükseltici çıkışındaki gerilim.....	78
Şekil 3.8. GPFC devrede iken yarı iletken anahtarın çalışma durumu.....	78
Şekil 3.9. GPFC devre dışında iken modülasyon indeksinin durumu	79
Şekil 3.10. GPFC devrede iken modülasyon indeksinin durumu.....	79
Şekil 3.11. Sıcaklığın 25°C’de sabit olduğu durumda iki kademeli azalan ışınım durumu	80
Şekil 3.12. Sıcaklığın 25°C’de sabit, ışınımın iki kademeli azaldığı durumda gerilim üzerinde GPFC etkisi	82

Şekil 3.13. Sıcaklığın 25°C’de sabit, ışınımın iki kademeli azaldığı durumda akım üzerinde GPFC etkisi.....	83
Şekil 3.14. Sıcaklığın 25°C’de sabit, ışınımın iki kademeli azaldığı durumda akım üzerinde GPFC etkisi.....	83
Şekil 3.15. Sıcaklığın 25°C’de sabit, ışınımın iki kademeli azaldığı durumda GPFC devre dışında iken doluluk boşluk oranı.....	84
Şekil 3.16. Sıcaklığın 25°C’de sabit, ışınımın iki kademeli azaldığı durumda GPFC devrede iken doluluk boşluk oranı.....	84
Şekil 3.17. Sıcaklığın 25°C’de sabit, ışınımın iki kademeli azaldığı durumda yükselten dönüştürücü çıkış gerilimi.....	85
Şekil 3.18. GPFC devrede iken yarı iletken anahtarın çalışma durumu.....	85
Şekil 3.19. Sıcaklığın 25°C’de sabit, ışınımın iki kademeli azaldığı durumda şebekeye aktarılan güç.....	86
Şekil 3.20. Şekil3.19’daki “a” bölgesinin detaylı görünümü.....	86
Şekil 3.21. Sıcaklığın 25°C’de sabit, ışınımın iki kademeli azaldığı durumda şebekeye aktarılan akım.....	87
Şekil 3.22. Şekil3.20’deki “b” bölgesinin detaylı görünümü.....	87
Şekil 3.23. Sıcaklığın 25°C’de sabit olduğu durumda değişik azalan-artan ışınım durumu	88
Şekil 3.24. Sıcaklığın 25°C’de sabit, ışınımın değişik azalıp-arttığı durumda gerilim üzerinde GPFC etkisi.....	90
Şekil 3.25. Sıcaklığın 25°C’de sabit, ışınımın değişik azalıp-arttığı durumda akım üzerinde GPFC etkisi.....	91
Şekil 3.26. Sıcaklığın 25°C’de sabit, ışınımın değişik azalıp-arttığı durumda güç üzerinde GPFC etkisi.....	91
Şekil 3.27. Sıcaklığın 25°C’de sabit, ışınımın değişik azalıp-arttığı durumda GPFC devre dışında iken doluluk boşluk oranı.....	92
Şekil 3.28. Sıcaklığın 25°C’de sabit, ışınımın değişik azalıp-arttığı durumda GPFC devrede iken doluluk boşluk oranı.....	92
Şekil 3.29. Sıcaklığın 25°C’de sabit, ışınımın değişik azalıp-arttığı durumda yükselten dönüştürücü çıkış gerilimi.....	93
Şekil 3.30. GPFC devrede iken yarı iletken anahtarın çalışma durumu.....	93
Şekil 3.31. Sıcaklığın 25°C’de sabit, ışınımın değişik azalıp-arttığı durumda şebekeye aktarılan güç.....	94
Şekil 3.32. Sıcaklığın 25°C’de sabit, ışınımın değişik azalıp-arttığı durumda şebekeye aktarılan akım.....	94
Şekil 3.33. Sabit sıcaklık ve sabit ışınım altında yükteki artış durumunda gerilimde GPFC etkisi.....	97
Şekil 3.34. Sabit sıcaklık ve sabit ışınım altında yükteki artış durumunda akımda GPFC etkisi.....	97

Şekil 3.35. Sabit sıcaklık ve sabit ışıınım altında yükteki artış durumunda güçte GPFC etkisi.....	98
Şekil 3.36. Sıcaklığın sabit, ışıınımın sabit ve yükte artış olduğu durumda yükselten dönüştürücü çıkış gerilimi	98
Şekil 3.37. GPFC devrede iken yarı iletken anahtarın çalışma durumu.....	99
Şekil 3.38. Sabit sıcaklık ve sabit ışıınım altında yükteki artış durumunda şebekeye aktarılan güçte GPFC etkisi	100
Şekil 3.39. Sabit sıcaklık ve sabit ışıınım altında yükteki artış durumunda GPFC devrede iken yüke aktarılan akımın değişimi	100

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. 2008-2011 yılları arasında yenilenebilir enerji alanındaki bazı gelişmeler	5
Tablo 1.2. 2010 yılında yenilenebilir enerji sektöründeki ilk beş ülke	7
Tablo 1.3. 2011 yılında yenilenebilir enerji sektöründeki ilk beş ülke	8
Tablo 1.4. Hidroelektrik Üretimin Toplam Elektrik Üretimi İçinde Payı[35]	9
Tablo 1.5. Türkiye'nin rüzgâr kurulu gücünün yıllara göre değişimi[36].....	10
Tablo 1.6. Türkiye'nin bölgeler göre güneş enerjisi potansiyelleri.....	11
Tablo 1.7. Türkiye'nin bölgelere göre güneşlenme süreleri.....	12
Tablo 1.8. Şekil 1.17 için kullanılan değerler.....	27
Tablo 1.9. Şekil 1.18 için kullanılan değerler.....	28
Tablo 1.10. Şekil 1.19 için kullanılan değerler.....	29
Tablo 1.11. Şekil 1.20 için kullanılan değerler.....	30
Tablo 2.1. PSO algoritması kontrol parametreleri.....	66
Tablo 2.2. DA-DA Yükselten Dönüştürücü Parametreleri.....	72
Tablo 3.1. Sabit sıcaklık ve sabit ışınlım durumunda PSO algoritmasıyla elde edilen sonuçlar.....	74
Tablo 3.2. Sabit sıcaklık ve iki kademeli azalan ışınlım durumunda PSO algoritmasıyla elde edilen sonuçlar	81
Tablo 3.3. Sabit sıcaklık ve değişik azalan-artan ışınlım durumunda PSO algoritmasıyla elde edilen sonuçlar	89
Tablo 3.4. Sabit sıcaklık ve sabit ışınlım altında yükteki değişimler durumunda PSO algoritmasıyla elde edilen sonuçlar	96

SEMBOLLER DİZİNİ

I_{pil}	Fotovoltaik güneş pilinin çıkış akımı
I_{FV}	Işık seviyesi ve p-n birleşim noktası sıcaklığının fonksiyonu, Fotoakım
I_0	D diyotunun ters doyma akımı
V_{pil}	Fotovoltaik güneş pilinin çıkış gerilimi
R_S	Eşdeğer devrenin seri direnci
R_{SH}	Eşdeğer devrenin paralel direnci
e	Elektron yükü ($1.6021917 \times 10^{-19} \text{ C}$)
k	Boltzmann sabiti ($1.380622 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$)
T_{pil}	Referans çalışma sıcaklığı ($^\circ\text{K}$)
$^\circ\text{K}$	Kelvin
$^\circ\text{C}$	Santigrat
I_D	Diyot akımı
N_S	Seri bağlı güneş pili sayısı
N_P	Paralel bağlı güneş pili sayısı
I_{Panel}	Fotovoltaik panel akımı
V_{Panel}	Fotovoltaik panel gerilimi
P_{Panel}	Fotovoltaik panel gücü
V_{ad}	Açık devre gerilimi
I_{ad}	Açık devre akımı
V_{kd}	Kısa devre gerilimi
I_{kd}	Kısa devre akımı
T_x	Değişken ortam sıcaklığı
C_{TV}	Sıcaklık gerilim katsayısı
C_{TI}	Sıcaklık akım katsayısı
T_a	Referans ortam sıcaklığı
β_T	Sıcaklık etkisi gerilim katsayısı
γ_T	Sıcaklık etkisi akım katsayısı
C_{SV}	Işınım gerilim katsayısı
C_{SI}	Işınım akım katsayısı
S_{pil}	Referans ışık şiddetini

S_x	Işık şiddeti
α_S	Işınım değişim katsayısı
V_{xpil}	Güncellenen foto gerilim
I_{xFV}	Güncellenen foto akım
T	Peryot
D	Doluluk boşluk oranı
t_{on}	Yarı iletken anahtarın iletim süresi
t_{off}	Yarı iletken anahtarın kesim süresi
ΔP	Güçteki değişim
K_P	Oransal katsayı
K_I	İntegral katsayısı
K_D	Türev katsayısı
P_{best}	Lokal en iyi değer
G_{best}	Global en iyi değer
V_{ij}^{k+1}	i . parçacığın $k+1$ iterasyonundaki hızı
W	Atalet ağırlık katsayısı
X_{ij}	Konum vektörü
C_1, C_2	Hızlandırma katsayıları
e_{tA}	Toplam hata
C	Kondansatör
L	Endüktans
V_G	Giriş gerilimi
V_C	Çıkış gerilimi
P_C	Çıkış gücü
P_G	Giriş gücü
$\Delta \dot{I}_L$	Endüktans akım değişimi
Δt	Süredeki değişim
L_{min}	Minimum endüktans değeri
C_{min}	Minimum kondansatör değeri
\dot{I}_L	Endüktans akımı

PSO	Parçacık Sürü Optimizasyonu
GPFC	Aktif Güç Filtresi (Green Plug Filter Compansator)
DA	Doğru Akım
AA	Alternatif Akım
MGNT	Maksimum Güç Noktası Takibi
D&G	Değiştir-Gözle Algoritması
PID	Proportional İntegral Derivative
GA	Genetik Algoritma
ACO	Ant Colony Algoritm
GW	Giga Watt
MW	Mega Watt
kWh	Kilo Watt Hour
DMİ	Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
GEPA	Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
DGM	Darbe Genişlik Modülasyonu
ISE	Integral Square Error
IAE	Integral Absolute Error
ITSE	Integral Time Square Error
ITAE	Integral Time Absolute Error
AGF	Aktif Güç Filtresi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Her geçen gün sanayi alanında yaşanan gelişmeler, teknolojideki hızlı değişimler ve artan nüfus, enerjiye olan talebi sürekli olarak artırmaktadır. Artan bu enerji talebi kömür, petrol ve doğalgaz gibi geleneksel fosil yakıtlardan karşılanmaya çalışılsa da, yakında bu enerji kaynaklarının tükeneceğinin öngörülmesi ve çevre üzerinde kötü etkilerinin bulunması nedeniyle, artan bu enerji talebinin karşılanması için temiz, tükenmeyen, alternatif enerji kaynaklarının bulunmasına yönelik yapılan çalışmalar geçmişten günümüze sürmektedir. Bu çalışmalar sonucunda; güneş, rüzgâr, hidrojen, biokütle gibi çeşitli yenilenebilir alternatif enerji kaynakları ortaya konulmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarından bir tanesi olan güneş enerjisi, kaynağı güneş olan, tükenmeyen, temiz bir enerji kaynağıdır. Güneş enerjili sistemlerin kullanılan en yaygın türü fotovoltaik sistemlerdir. Güneşten doğrudan elektrik enerjisi elde edilmesi; fotovoltaik güneş pilleri ile sağlanmaktadır. Fotovoltaik güneş pillerinin ürettiği çıkış gücü, ışınım seviyesi ve güneş pili sıcaklığı gibi parametrelere bağlı olarak değişmektedir. Atmosferik durumların yanı sıra güneş pillerinin verimlerinin düşük olması ve yatırım maliyetlerinin yüksek olması, fotovoltaik güneş pillerinin ürettiği gücün maksimum değerde tutulmasını zorunlu kılmaktadır.

Elektrik enerjisinin tüketiciye güvenilir ve kesintisiz bir şekilde ulaşabilmesi için mevcut güç sistemlerinin en optimum şekilde planlanması gerekmektedir. Tüketici için gerekli olan kaliteli elektrik enerjisinin sahip olması gereken belirli kıstaslar bulunmaktadır. Bu kıstaslar; sabit gerilim, sabit frekans ve gerilimin dalga şekli tam sinüs olmasıdır. Bu özelliklerin teoride bu şekilde olması istenirken, uygulamada bu değerler belirli sınır değerler arasında tutulması amaçlanmaktadır.

Kaliteli bir elektrik enerjisi için sağlanması gereken kıstaslar sistemin iyi optimize edilmesini gerektirmektedir. Optimizasyon; en iyileme anlamına gelmektedir. Bir problem için verilen şartlar altında tüm çözümler arasından en iyi çözümü elde etme işidir. Belirli sınırlamaları sağlayacak şekilde, bilinmeyen parametre değerlerinin bulunmasını içeren herhangi bir problem, optimizasyon problemi olarak adlandırılabilir. Bu problemlerin çözümü için geçmişten günümüze kadar birçok optimizasyon tekniği geliştirilmiştir. Bu

tekniklerden bir tanesi de Parçacık Sürü Optimizasyon (PSO) yöntemidir. Parçacık sürü optimizasyonu son yıllarda kullanılan akıllı esnek hesap yöntemlerinden bir tanesidir. PSO karmaşık denklem takımlarını içeren problemlerde başarı ile uygulanmaktadır. Klasik optimizasyon yöntemlerinden en önemli farkı problem çözümünde türev kullanmamasıdır. Bunun sonucunda çözümlenmesi istenilen problemde sonuca ulaşma süresinin kısalmasını sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında şebeke bağlantılı fotovoltaik güç sistemi için PSO tabanlı aktif güç fitresi kullanarak sabit DA gerilim elde etmek için gerekli tasarımlar yapılmıştır. Kullanılan aktif güç filtresinin denetimi çift çevrimli hata toplayıcı ile yapılmaktadır. Çift çevrimli hata toplayıcısındaki PID denetleyicinin parametreleri Parçacık Sürü Optimizasyonu ile optimum şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. Fotovoltaik panellerden elde edilen gerilim dinamik Green Plug Filter Compensator (GPFC) ile filtre edildikten sonra DA-DA yükselten dönüştürücü ile sabit bir gerilim düzeyinde tutulmaya çalışılmıştır. DA-DA yükselten dönüştürücü değiştir-gözle (D&G) Maksimum Güç Noktası Takibi (MGNT) algoritması ile kontrol edilmektedir. DA yükler beslendikten sonra, gerilim DA-AA dönüştürücü vasıtasıyla alternatif gerilime dönüştürülüp, hibrid AA yükler beslenirken, aynı zamanda şebekeye de enerji aktarımı yapılmıştır. Sistem için önerilen PSO tabanlı aktif güç filtresinin, değişken atmosfer koşullarında ve değişken yük durumundaki performansı, verilen sonuçlarla değerlendirilmiştir.

1.2. Literatür Araştırması

Yapılan araştırmanın ilk konusu olan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemler üzerine literatürde yapılmış olan birçok farklı çalışma bulunmaktadır. *Ramkumar* [1] fotovoltaik sistemlerin modellenmesini ve tasarımını ekonomik açıdan geniş bir çerçevede ele almıştır. Fotovoltaik sistem teknolojilerinin dünya çapında geleceği hakkında fikirler vermiştir. *Bolduc* [2] 1 kW amorf silisyum fotovoltaik panellerden oluşan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemin performansını ve üretilen enerjinin depolanması üzerine bilgiler vermiştir. Pilin şarj ve deşarj konumundaki durumunu incelemiştir. Aynı çalışmanın benzerini *Roman* [3] 3 kW amorf silisyum fotovoltaik panellerden oluşan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemi ve üretilen enerjinin depolanmasını incelemiştir. *Li* [4] şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemleri ekonomik açıdan incelemiştir. Yapılan çalışmada sistemin kurulum maliyetinin yaklaşık 8.9 yılda amorti edileceğinden bahsetmiştir. *Sritakaew* [5] şebeke

bağlantılı fotovoltaik güç sistemlerinin dağıtım sistemlerine güvenilirlik açısından etkilerini incelemiştir. Şebekeye bağlanan fotovoltaik sistemin çıkış karakteristiklerini deneysel olarak ölçümlenmiş, dağıtım sisteminin güvenilirliğini artırmak için kurulan fotovoltaik sistemin kurulum etkilerini ölçülen veriler doğrultusunda incelemiştir.

Udea [6] şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem çeşitleri üzerine ve şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlere yönelimler üzerine analizler yapmıştır. Modellenen fotovoltaik panellerin toplam enerji verimi üzerine etkilerini incelemiştir. *Mulder* [7] nolu kaynakta Belçika şartlarında konutlar için enerji depolamalı şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin depolanan enerji ile şebekeye aktarılan enerji akışı arasındaki ilişkiyi incelemiştir. *De La Hoz* [8] İspanya'da 1998-2008 yılları arasında şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin teknik ve ekonomik analizini fotovoltaik enerji politikasının ekonomik ve teknik çerçevesi dahilinde ele almıştır. *Elhodeiby* [9] yaptığı çalışmada 3.6 kW gücündeki şebeke bağlantılı çatı üstü montajlı fotovoltaik sistemi incelemiştir. Sistemin ürettiği elektrik enerjisini 220 V, 50 Hz lik şebeke ile tüketiciye aktarılmasını, 1 yıl boyunca gözlemleyip sonuçlar ortaya koymuştur. *Mondal* [10] Bangladeş'teki 1 MW lık şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemi 14 farklı noktadan takip edip, uygulanabilirlik açısından incelemiştir. Bu çalışma Bangladeş'te, şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerin geliştirilmesine büyük katkı sağlamıştır.

Fotovoltaik sistemlerin çalışmalarında sıcaklık, ışınım, panellerin güneşe göre konumları ve fotovoltaik panel verimlerinin yeteri kadar tatminkâr olmaması gibi negatif etki yaratabilen durumlar etkili olmaktadır. Bu durumlarla başa çıkmak için, fotovoltaik sistemlerin tasarımı en optimum şekilde yapılmalıdır. Bunu sağlamak için de optimize yeteneğine sahip yöntemler literatürde fazlaca kullanılmıştır. Fotovoltaik sistemlerin tasarımı sürekli bir optimizasyon problemi olarak görülmüş ve bu yüzden evrimsel algoritmalar kullanılarak çözülmeye çalışılmıştır. Bu teknikler [11-13] farklı sürekli optimizasyon problemlerinde başarıyla kullanılmıştır [14,15]. Kullanılan bu tekniklerden bir tanesi de 1995 yılında *Kennedy ve Eberhart* tarafından ileri sürülen Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) dur. Güç sistemlerinde, PSO çok sayıda güç sistemi optimizasyonu probleminde etkili ve başarılı bir şekilde uygulanmıştır [16-18].

Güç sistemlerinde önem teşkil eden bir diğer konu da sistemde kullanılan denetleyicilerdir. En genel ve en çok karşımıza çıkan denetleyici ise PID (Proportional İntegral Derivative) denetleyicilerdir. PID denetleyicilerin sistemde etkili bir şekilde görevini yerine getirmesi için PID denetleyici parametrelerinin iyi şekilde ayarlanması

gerekmektedir. PID parametrelerinin ayarlanmasına yönelik yöntemlerin başında *Ziegler ve Nichols (Z-N)*(1942), *Cohen-Coon* (1953), *Aström ve Hägglund* (1984) gelmektedir. Bu yöntemlerin arasında en öne çıkan yöntem *Ziegler ve Nichols (Z-N)* yöntemidir. Bu yöntem yeteri kadar iyi sonuçlar vermektedir. Fakat zahmetli ve çok zaman almaktadır. Bu nedenle, kontrol performansının geliştirilmesi amacıyla parçacık sürü optimizasyonu (PSO), genetik algoritma (GA), karınca kolonisi optimizasyonu (ACO) gibi esnek hesaplama teknikleri sistemlere uygulanmıştır.

PSO algoritması PID parametrelerinin optimum şekilde belirlenmesi amacıyla literatürde bir çok çalışmaya konu olmuş, ve başarılı sonuçlar alınmıştır [19-24].

1.3. Yenilenebilir Enerji

Geçtiğimiz yüzyılda en fazla tüketilen enerji kaynağı olan fosil yakıtların gün geçtikçe tükenmesi, çevreye verilen zararların giderek artması; bilim adamlarını çevre dostu, temiz ve tükenmeyecek yeni alternatif enerji kaynakları arayışına itmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları, sürdürülebilir şekilde kullanılabilen, çevreyi kirletmeyen, enerji çeşitliliğini artırarak fosil temelli kaynaklara olan bağımlılığı azaltmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının birçok avantajının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Enerji kaynağının sabit olmayıp değişkenlik göstermesi ve çoğu zaman kurulum maliyetlerinin yüksek olmasıdır [25].

1.3.1. Dünyada Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerji sektörü 1990 yılından 2000 yılına kadar tahmin edildiğinden daha hızlı bir şekilde büyüme göstermiştir [26].

Yenilenebilir enerji pazarında, yatırımlarında, endüstrilerinde ve politikalarındaki değişiklikler son yıllarda çok hızlanmıştır. 2009 yılındaki genel kriz sonrası, küresel enerji tüketimi 2010 yılında yeniden fırlamıştır. 2009 yılında kriz yaşanmayan yenilenebilir enerji sektörü, tüm nihai kullanıcı ve sektörlerde güçlü bir şekilde büyümeye devam etmiştir. Bunun sonucu olarak nihai küresel enerji tüketiminin yaklaşık %16'sı sağlanmıştır. Yenilenebilir enerji, 2010 yılında küresel elektrik arzının %20'ye yakınına sağlamıştır. 2011 başlarında tüm kaynaklardan sağlanan küresel güç kapasitesinin dörtte birini

oluşturmaktadır. Yenilenebilir enerji alanında 2008-2011 yılları arasında gerçekleşen bazı göstergeler aşağıdaki tabloda verilmiştir [27-31].

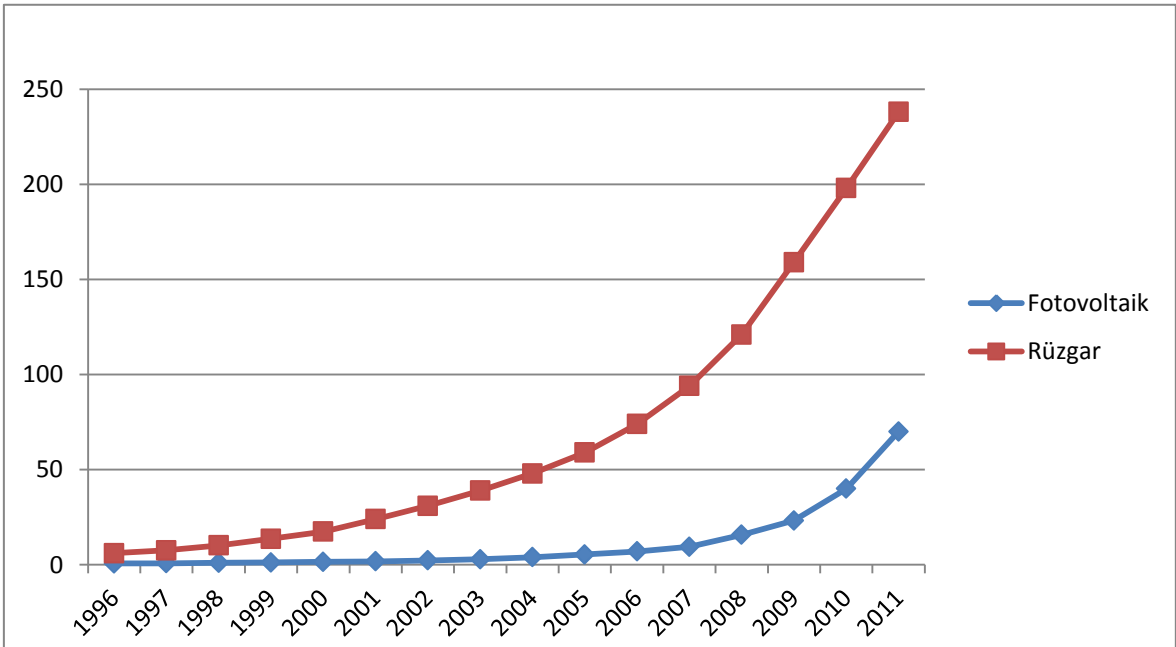
Tablo 1.1. 2008-2011 yılları arasında yenilenebilir enerji alanındaki bazı gelişmeler

		2008	2009	2010	2011
Yenilenebilir Enerjideki Küresel Yeni Yatırımlar(Yıllık)	(Milyar Dolar)	130	160	211	257
Yenilenebilir Güç Kapasitesi (Mevcut, Hidroelektrik Hariç)	GW	200	250	312	390
Yenilenebilir Güç Kapasitesi (Mevcut, Hidroelektrik Dahil)	GW	1,150	1,230	1,320	1,360
Hidroelektrik Kapasitesi (Mevcut)	GW	950	980	1010	1040
Rüzgar Enerjisi Kapasitesi (Mevcut)	GW	121	159	198	238
Fotovoltaik Enerji Kapasitesi (Mevcut)	GW	16	23	40	70
Etanol Üretimi (Yıllık)	(Milyar Litre)	67	76	86,5	86,1
Biyodizel Üretimi (Yıllık)	(Milyar Litre)	12	17	19	21,4
Politika Hedefleri Olan Ülkeler	Adet	79	89	96	118

Amerika Birleşik Devletleri'nde, yenilenebilir enerji yerli birincil enerji tüketiminin yaklaşık %10,9'unu oluşturmaktadır. Bu oran 2009 yılına göre %5,6 artış göstermiştir. Çin; 263 GW olan toplam enerji kapasitesine, yaklaşık 29 GW değerinde şebeke bağlantılı yenilenebilir enerji kapasitesi eklemiştir. Bu durum 2009 yılı ile karşılaştırıldığında %12 oranında bir artışa tekabül etmektedir. Yenilenebilir enerjiler, Çin'in toplam elektrik kapasitesinin yaklaşık %26'sını, üretiminin %18'ini oluşturmaktadır. Almanya; elektrik tüketiminin yaklaşık %16,8'ini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlamaktadır. Yenilenebilir enerji üretiminin yaklaşık %36'sını rüzgar enerjisi oluşturmaktadır. Bunu biokütle, hidroelektrik ve fotovoltaik enerji takip etmektedir. Bazı ülkeler; 2010 yılında kendi elektrik taleplerinin yüksek payını rüzgar enerjisi ile sağlamışlardır. Bu ülkelere örnek olarak Danimarka (%22),Portekiz (%21),İspanya (%15,4) ve İrlanda (%10,1) verilebilir [27-28].

Yenilenebilir enerji alanındaki eğilimler, tüm pazar sektörleri arasında güçlü bir büyüme ve yatırımları yansıtmaktadır.2005 yılı sonundan 2010 yılına kadar olan süreçte pek çok yenilenebilir enerji teknolojilerinden oluşan; fotovoltaik enerji, rüzgar enerjisi, konsantre termal enerji, güneş enerjili su ısıtma sistemleri ve biyoyakıtlar dahil olmak üzere toplam küresel kapasitenin yıllık ortalama oranları yaklaşık %15'den %50'ye kadar yükselmiştir [28].

Özellikle fotovoltaik enerji teknolojilerindeki maliyet düşüşü, fotovoltaik enerji sektöründeki yüksek büyüme oranlarını ifade etmektedir. Aynı zamanda, rüzgâr türbinleri ve biyoyakıt işletme teknolojilerindeki maliyet düşüşleri de yenilenebilir enerji sektöründeki büyümeye katkıda bulunmuştur.2011 yılı başlarına kadar en az 118 ülke; ulusal düzeyde, çeşitli tipte politika hedefleri veya yenilenebilir enerji destek politikaları oluşturmuştur. Şuan bütün ülkelerin yarısından fazlasını temsil eden gelişmekte olan ülkeler, yenilenebilir enerji destek politikaları ile yenilenebilir enerjiyi geliştirmede giderek daha önemli bir rol oynamaktadır [27-29]. Şekil 1.1. de 1996-2011 yılları arasında fotovoltaik ve rüzgar enerjisindeki toplam kapasitenin değişimi görülmektedir.



Şekil 1.1. 1996-2011 yılları arasında fotovoltaik ve rüzgar enerjisi toplam kapasitesindeki değişim[7]

Gelişmekte olan ülkeler, küresel yenilenebilir enerji güç kapasitesinin yarısından fazlasını elinde bulundururken, Avrupa ve Amerika Birleşik Devletleri'nin dışındaki; Avustralya, Kanada ve Japonya gibi gelişmiş ülkelerde kazanç ve geniş teknoloji çeşitlendirilmesi yaşanmaktadır [29]. Çin; şuan itibariyle yenilenebilir enerji pazarındaki çeşitli göstergeler doğrultusunda lider konumundadır. 2010 yılında; rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi ve hidroelektrik enerjisinde başı çekmiştir. Hindistan; toplam mevcut rüzgâr enerjisi kapasitesi, biyogaz, fotovoltaik enerji gibi kırsal yenilenebilir enerjinin birçok formlarının hızla genişlemesiyle Dünyada beşinci sırada yer almıştır [27-30].

Tablo 1.2. 2010 yılında yenilenebilir enerji sektöründeki ilk beş ülke

	1	2	3	4	5
Yenilenebilir Enerji Kapasitesi (Hidroelektrik Hariç)	ABD	ÇİN	ALMANYA	İSPANYA	HİNDİSTAN
Yenilenebilir Enerji Kapasitesi (Hidroelektrik Dahil)	ÇİN	ABD	KANADA	BREZİLYA	ALMANYA/ HİNDİSTAN
Rüzgar Enerjisi	ÇİN	ABD	ALMANYA	İSPANYA	HİNDİSTAN
Biyokütle Enerjisi	ABD	BREZİLYA	ALMANYA	ÇİN	İSVEÇ
Jeotermal Enerji	ABD	FİLİPİNLER	ENDONEZYA	MEKSİKA	İTALYA
Fotovoltaik Enerji	ALMANYA	İSPANYA	JAPONYA	İTALYA	ABD
Güneş Enerjisi sıcak su/ısınma	ÇİN	TÜRKİYE	ALMANYA	JAPONYA	YUNANİSTAN

Orta Doğu, Kuzey Afrika ve Sahra-altı Afrika'da en az 20 ülkenin aktif yenilenebilir enerji pazarları bulunmaktadır. Üretimdeki liderlik; Avrupa'dan Asya'ya kaymaya devam etmektedir. Örneğin; Çin, Hindistan ve Güney Kore yenilenebilir enerji konusundaki taahhütlerini artırmaktadırlar. Piyasalar ve üretimde artan coğrafi çeşitlilik yenilenebilir enerji politikası ya da pazardaki durumun daha dayanıklı olması, güveni artırmıştır. Yenilenebilir enerji politikalarına iten güçlerden biri de, yeni sanayi dalları oluşturması ve yeni iş alanları yaratma potansiyeli olmasıdır.

Yenilenebilir enerjideki toplam yatırım; 2009 yılında 160 milyar doları aşarken, 2010 yılında 211 milyar dolara ulaşmıştır. 2011 yılında yenilenebilir enerji sektöründeki lider ülkeler ufak değişikliklerin haricinde yerlerini korumuşlardır [27-30].

Tablo 1.3. 2011 yılında yenilenebilir enerji sektöründeki ilk beş ülke

	1	2	3	4	5
Yenilenebilir Enerji Kapasitesi (Hidroelektrik Hariç)	ÇİN	ABD	ALMANYA	İSPANYA	İTALYA
Yenilenebilir Enerji Kapasitesi (Hidroelektrik Dahil)	ÇİN	ABD	BREZİLYA	KANADA	ALMANYA
Rüzgar Enerjisi	ÇİN	ABD	ALMANYA	İSPANYA	HİNDİSTAN
Biyokütle Enerjisi	ABD	BREZİLYA	ALMANYA	ÇİN	İSVEÇ
Jeotermal Enerji	ABD	FİLİPİNLER	ENDONEZYA	MEKSİKA	İTALYA
Fotovoltaik Enerji	ALMANYA	İTALYA	JAPONYA	İSPANYA	ABD
Güneş Enerjisi sıcak su/ısıtma	ÇİN	TÜRKİYE	ALMANYA	JAPONYA	BREZİLYA

2011 yılı sonları itibariyle, toplam yenilenebilir güç kapasitesi dünya çapında %8 artarak 1360 GW'ı aşmıştır. Birçok ülkede; yenilenebilir enerji, toplam enerji arzının hızla büyüyen bir payını temsil etmektedir. Avrupa Birliği'nde, yenilenebilir enerji 2011 yılında toplam elektrik kapasitesinin yaklaşık %71'den fazlasını oluştururken, Amerika Birleşik Devletleri'nde, yenilenebilir enerji ulusal elektrik kapasitesinin yaklaşık %39'unu oluşturmaktadır. Çin; 2010 yılında yenilenebilir enerji pazarındaki liderliğini 2011 yılında da korumuştur. 2011 yılında da hidroelektrik, rüzgar ve güneş enerjisinde başı çekmektedir. ABD ise 2011 yılında da yenilenebilir enerji pazarında Çin'in gerisinde kalmayı sürdürmüştür [31].

1.3.2. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji

Türkiye, Dünya'nın 17. Büyük ekonomisidir [32]. Türkiye ekonomisi son 10 yıldır güçlü ve sağlam bir şekilde gelişmektedir. Ekonomi ve sanayileşmedeki hızlı gelişmeler, artan talep ve şehirleşme oranı daha fazla enerji üretimini gerektirmektedir. Türkiye'nin elektrik enerjisi talebi 2020 yılına kadar 580 milyar kWh olması beklenmektedir [33]. Türkiye enerji gereksiniminin büyük bir kısmını çok yüksek maliyete ithal etmektedir. Bu yüzden, farklı türden yenilenebilir enerji kaynakları, Türkiye'nin enerji sorunları ve

sürdürülebilir kalkınması için etkin çözümler olarak görülmektedir. Türkiye enerji üretimi ve kullanımı için birçok farklı yenilenebilir enerji kaynağına sahiptir. Türkiye'nin başlıca yenilenebilir enerji kaynakları hidroelektrik, güneş, rüzgâr, biokütle ve jeotermal enerjidir [34]. Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları arasında hidroelektrik en büyük paya sahip iken, son yıllarda biokütle enerjisinin de payı hızla artmaktadır. Güneş, rüzgâr ve jeotermal enerjide ise yakın gelecekte büyük artışlar beklenmektedir [32].

Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynakları arasında en büyük paya sahip olan hidroelektrik enerjisine ait bazı veriler Tablo 1.4. de verilmiştir.

Tablo 1.4. Hidroelektrik Üretimin Toplam Elektrik Üretimi İçinde Payı[35]

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012 Nisan sonu
Toplam Elektrik Üretimi (MW)	176.299,8	191.558,1	198.418,0	194.812,9	211.207,7	229.395,1	80.185,9
Hidroelektrik Üretim (MW)	44.244,2	35.850,8	33.269,8	35.958,4	51.795,5	52.338,6	23.664,3
Hidroelektrik Üretim Payı (%)	25	18,3	16,6	18,1	24,2	22,7	28,7

Türkiye, Avrupa'da rüzgâr enerjisi potansiyeli bakımından zengin ülkelerden birisidir. Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlasına göre Türkiye'deki teorik rüzgâr enerjisi potansiyeli yaklaşık 48.000 MW civarındadır. Söz konusu potansiyelin 38.000 MW'ı karasal bölgelerde ve 10.000 MW' da deniz üzerinde yer almaktadır. 2011 yılında 476 MW gücünde rüzgâr enerjisi santralinin devreye alınmasıyla Türkiye rüzgâr enerjisi kurulu gücü 1805 MW'a yükselmiştir [36].

Tablo 1.5. Türkiye'nin rüzgâr kurulu gücünün yıllara göre değişimi[36]

Yıl	Kurulu Güç (MW)	Yıllık Eklenen Yeni Kapasite (MW)	Yıllık Kurulu Güç Artış Oranı (%)
2000	18,9	10,2	117,2
2001	18,9	0,0	0,0
2002	18,9	0,0	0,0
2003	20,1	1,2	6,3
2004	20,1	0,0	0,0
2005	20,1	0,0	0,0
2006	65,0	44,9	223,4
2007	207,0	142,0	218,5
2008	333,0	126,0	60,9
2009	801,0	468,0	140,5
2010	1.329,0	528,0	65,9
2011	1.800	476	35

Küresel Rüzgar Enerjisi Konseyi verilerine göre Türkiye'de 2011 yılı sonunda 1.8 GW olan rüzgar türbini kapasitesi, 2012 yılında 0.5 GW artarak 2.3 GW değerine ulaşmıştır [37].

Türkiye, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü verileri doğrultusunda, jeotermal enerjide yıllık 31 GW teorik elektrik üretim kapasitesine göre Dünya'da 7. Sırada yer alırken, Avrupa'da ise başı çekmektedir [38]. Türkiye, yenilenebilir enerji sektöründe hala istenilen düzeye ulaşmamış olsa da bu sektörde devlet tarafından verilen teşvikler ve koyulan hedeflerle yenilenebilir enerji kapasitesinin toplam enerji kapasitesindeki payının artırılması amaçlanmaktadır. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının 2010-2014 stratejik planında verilen yenilenebilir enerji sektöründeki hedefler;

1. Kaynak çeşitliliğinin özellikle yerli kaynaklara öncelik verilerek sağlanması, 2023 yılına kadar yenilenebilir enerji kaynaklarından maksimum yararlanılması
2. Enerji arzında yenilenebilir enerji payının artırılması. 2023 yılında elektrik üretiminin en az %30'unun yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması
 - 2013 yılı sonuna kadar inşa halindeki 5000 MW hidrolik santrallerin tamamlanması
 - 2015 yılı sonuna kadar rüzgâr kurulu gücünün 10.000 MW olması
 - 2015 yılı sonuna kadar jeotermal kurulu gücünün 300 MW olması

–2023 yılı sonuna kadar güneş kurulu gücünün 3000 MW olması olarak sıralanmaktadır [39].

1.3.3. Türkiye’de Güneş Enerjisi

Güneş enerjisinin önemi 1973’deki dünyada baş gösteren enerji kriziyle anlaşılmaya başlanmıştır. Günümüzde, güneş enerjisinden birçok alanda yararlanılmakta ve her geçen gün de faydalanma oranı artırılmaktadır. Petrol, doğalgaz ve elektrik fiyatlarındaki hızlı artış sebebiyle, 1975 yılından sonra başta güneş enerjisi ile sıcak su temin edilen sistemler olmak üzere, güneş enerjisi uygulamaları yaygınlaşmaya başlamıştır [40].

Ülkemiz, coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır [41]. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nde (DMİ) mevcut bulunan ve en az 20 yıl boyunca alınan güneşlenme süresi ve ışınım şiddeti verilerinden yararlanarak EİE tarafından yapılan çalışmaya göre; Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası(GEPA) oluşturulmuştur [42].

Bu atlasta verilen güneş kaynağı haritaları ve diğer bilgiler güneş enerjisinden elektrik üretimine aday bölgelerin belirlenmesinde kullanılabilecek bir alt yapı sağlamaktadır [43]. Türkiye'nin en fazla güneş enerjisi alan bölgesi Güneydoğu Anadolu Bölgesi olup, bunu Akdeniz Bölgesi izlemektedir. Güneş enerjisi potansiyeli ve güneşlenme süresi değerlerinin bölgelere göre dağılımı Tablo1.6. ve Tablo1.7. de görülmektedir.

Tablo 1.6. Türkiye’nin bölgeler göre güneş enerjisi potansiyelleri

Bölge	Toplam Ortalama Güneş Enerjisi	En Çok Güneş Enerjisi	En Az Güneş Enerjisi
	(kWh/m ² -yıl)	(kWh/m ² -gün)	(kWh/m ² -gün)
Güneydoğu Anadolu	1,460	6,81	1,80
Akdeniz	1,390	6,83	1,86
Doğu Anadolu	1,365	6,83	1,63
İç Anadolu	1,314	6,64	1,66
Ege	1,304	6,53	1,62
Marmara	1,168	6,06	1,25
Karadeniz	1,120	6,25	1,34

Tablo 1.7. Türkiye'nin bölgelere göre güneşlenme süreleri

Bölge	Ortalama Güneşlenme Süresi	En Çok Güneşlenme Süresi	En Az Güneşlenme Süresi
	Saat/gün	Saat	Saat
Güneydoğu Anadolu	8,19	12,37	4,29
Akdeniz	8,13	11,73	4,36
Doğu Anadolu	7,7	11,48	3,92
Ege	7,69	11,57	3,98
İç Anadolu	7,62	11,69	3,60
Marmara	7,1	11,36	3,28
Karadeniz	6,54	9,91	3,15

Türkiye'nin eğimi üç dereceden düşük ve yıllık güneşlenme süresi metrekarede 1650 kWh'den yüksek ve santral kurulabilmeye uygun alanlar (4600 km²) göz önüne alınarak Türkiye'nin termik güneş enerjisi potansiyeli EİE tarafından yılda 380 Milyar kWh olarak hesaplanmıştır [43]. Türkiye, güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin bölgelere göre dağılımı yönünden, her türlü güneş enerjisi uygulamalarına müsait bir ülke sayılabilir. Topoğrafyanın, yerleşim yerlerinin ve tarım alanların dağılımı ve ulaşım gibi kısıtlayıcı faktörlerin, bu alanın ancak % 1'inin kullanılmasına imkân sağlayacağı kabul edildiğinde, Türkiye için, güneş enerjisi gerçek kullanma alanı yaklaşık 7,8 milyon m² olmaktadır [41].

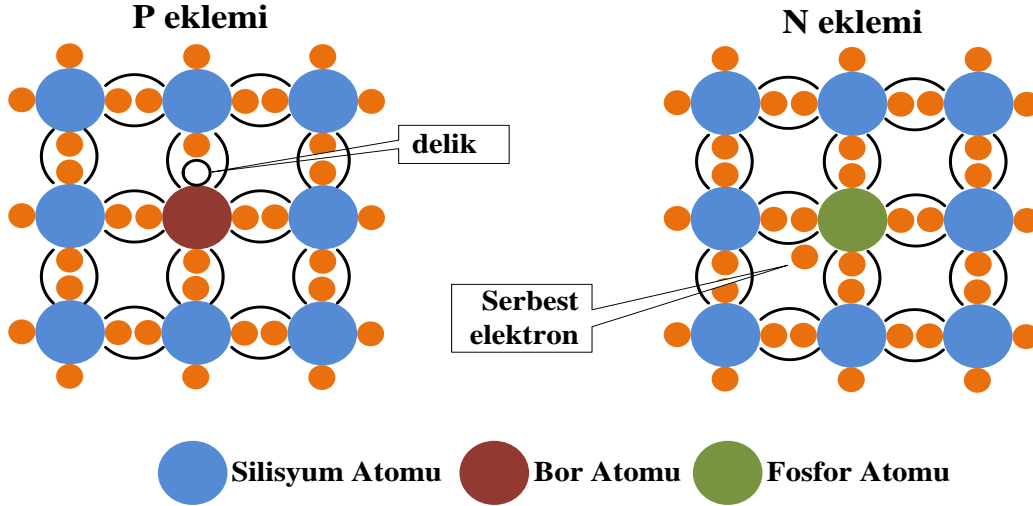
1.4. Fotovoltaik Güneş Pilleri

1.4.1. Fotovoltaik Güneş Pili Yapısı ve Çalışması

Fotovoltaik güneş pilleri, güneşten gelen foton enerjisi ile eşit sayıda pozitif ve negatif yük meydana getirerek, güneşten elde ettiği foton enerjisini elektrik enerjisine çeviren yarıiletken cihazlardır [44].

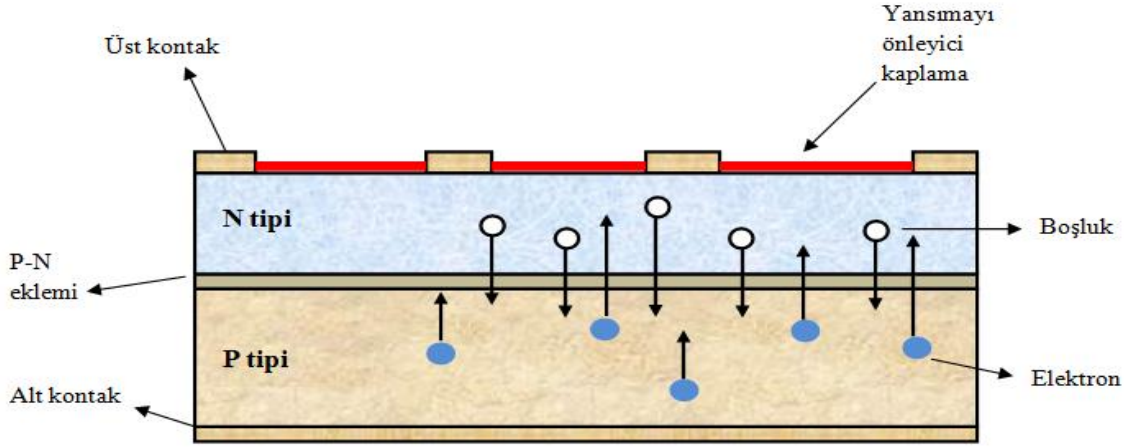
Güneş pili üretimi için en çok yarıiletken maddelerden olan silisyum, kadmiyum-sülfür(CdS), kadmiyum-tellür(CdTe) kullanılmaktadır. Yarıiletken maddelerin güneş pili özelliği gösterebilmeleri için, N tipi ya da P tipi olarak ifade edilen katkılanma durumunun sağlanması gereklidir. Katkılanma olarak ifade edilen şey ise; saf yarıiletken eriyik içerisine, eklenmek istenilen katkı maddelerinin kontrollü bir şekilde ilave edilmesiyle

yapılır. Katkı maddesinin eklenmesiyle elde edilen yarıiletkenin, N tipi ya da P tipi olması katkı maddesine bağlıdır. Güneş pili yapımında en çok kullanılan silisyumdan N tipi silisyum oluşturmak için, silisyum eriyiğine genelde en fazla tercih edilen element olan fosfor eklenir. Aynı şekilde P tipi silisyum elde etmek için ise, eriyiğe genelde en fazla tercih edilen element olan bor eklemek gerekir [45].



Şekil 1.2. Güneş pilinin Yapısını Oluşturan P-N eklemleri

Fosfor eklenen Silikon parçasında yani N tipi ekleme serbest elektronlar oluşurken, Bor eklenen parçada da yani P tipi ekleme de boşluklar (delikler) oluşur. N tipi ve P tipi eklemler birleştirilmeden önce her biri kendi içerisinde eşit sayıda proton ve elektron sayısına sahiptir. N ve P tipi eklemler birleştirildikten sonra N tipi ekleme elektronlar P tipi ekleme doğru hareket ederken, P tipi ekleme delikler de N tipi ekleme doğru hareket etmeye başlar. Ortaya çıkan bu hareketin sonucunda N tipi ekleme valans elektronlarından bazılarını kaybedip pozitif yükle yüklenir. Diğer yandan P tipi ekleme de kazandığı elektronlar sonucunda negatif yüklenmiş olur. Fakat fotovoltajik pile ışık etki ettiğinde, ışıktaki foton etkisiyle yukarıdaki durumun tersi oluşur. Foton etki ettiği atomun valans elektronuna çarptığında, elektron ve delik oluşan elektrik alanı tarafından ayrılmaya zorlanır. Bunun sonucunda elektronlar N tipi ekleme doğru, delikler de P tipi ekleme doğru geçmeye başlayacaktır [44].



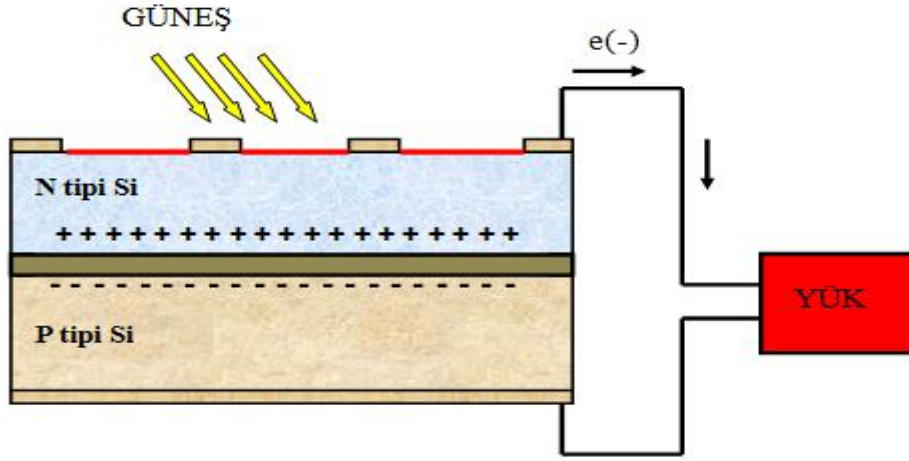
Şekil 1.3. Güneş pili P-N ekleminin oluşması ve elektron-boşluk durumu

Bir foton fotovoltajik bir maddeye girdiğinde yansıyabilir, emilebilir veya yayılabilir. Bu foton, etki ettiği atomun valans elektronu tarafından emildiğinde elektronun enerjisi, fotonun enerji miktarıyla artar.

Eğer bu durumda fotonun enerjisi yarı-iletkenin kuşak aralığının enerjisinden büyük ise fazla enerjiye sahip olan elektron serbestçe hareket edebileceği iletim kuşağına geçebilir. Bu nedenle foton emildiğinde atom bir elektron kaybeder. Elektron, fotovoltajik güneş pilinin ön ve arkasında oluşan bir elektrik alanından atılabilir ve bu bir p-n eklemi yardımıyla gerçekleşir.

Elektron, elektriksel alan yokluğunda tekrar atomla birleşir; oysaki elektriksel alan olduğunda bir akım yaratarak atomun içinden akar. Eğer foton enerjisi kuşak aralığının enerjisinden küçükse, elektron iletim kuşağına atlayabilmesi için gereken yeterli enerjiye sahip olamaz ama sahip olduğu fazla enerji kinetik enerjiye dönüşür ki bu da sıcaklık artışına neden olur.

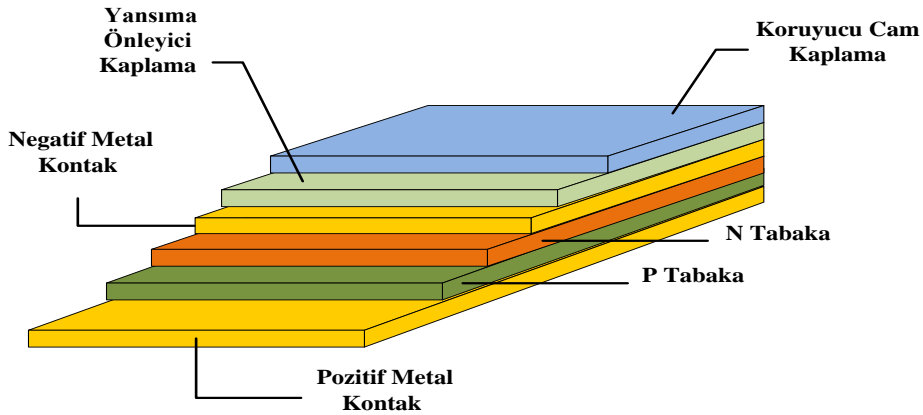
Foton enerjisinin kuşak aralığı enerjisine göre yoğunluğuna rağmen sadece bir adet elektronun serbest bırakılabildiği göz önünde bulundurulmalıdır. Güneş pillerinin düşük verimli olmasının sebebi budur.



Şekil 1.4. Güneş pilinde fotovoltajik akım oluşumu

Bir güneş pilinin çalışması Şekil 1.4. de gösterilmiştir. Bu tip güneş pilleri p-n eklemi olarak adlandırılan P tipi ve N tipi yarı iletkenlerin birleşiminden oluşmaktadır. Elektronlar ve boşluklar bu eklemde yayılarak bir elektrik alanı oluştururlar. Serbest elektronlar, n eklemine gelen fotonların etkisi ile üretilmektedir.

Güneş ışığının fotonları güneş pilinin yüzeyine çarptığında ve yarı iletken tarafından soğurulduğunda elektron ve boşluk çiftleri oluşturur. Eğer bu çiftler P-N eklemine yeterince yakın ise elektrik alanı yüklerin ayrılması sebep olur ve daha önce de bahsedildiği gibi elektronlar N tipi eklem tarafına ve boşluklar da P tipi eklem tarafına hareket eder. Eğer güneş pilinin iki tarafı bir yüke bağlanmış ise, pile güneş geldiği sürece bir elektrik akımı diğer bir deyişle fotoakım oluşmaya devam edecektir [46]. Şekil 1.5. de bir fotovoltajik güneş pilinin oluştuğu katmanlar görülmektedir.



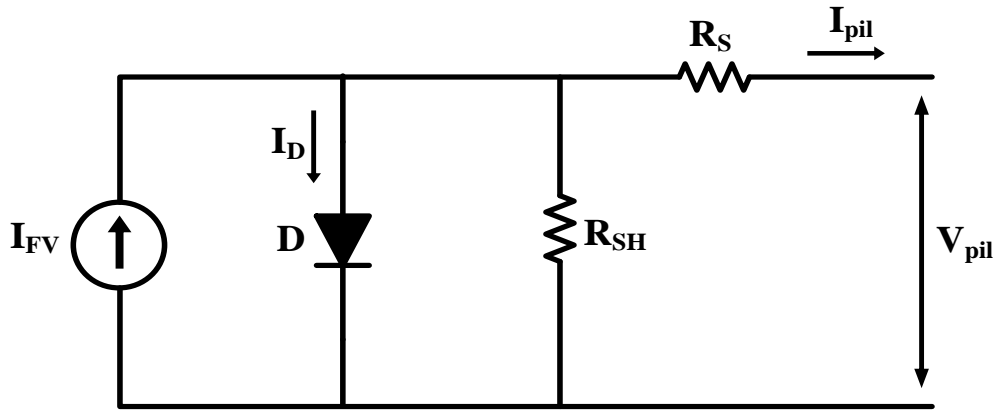
Şekil 1.5. Fotovoltajik güneş pilini oluşturan katmanlar

Oluşan fotoakımı kullanabilmek için, birleşme yüzeyinin her iki tarafına metal kontaklar yerleştirilmiştir. Elektriksel bağlantı noktaları ile bağlantı arka temas yüzeyinin tümü ve ön temas yüzeyinin bir kenarı kullanılarak gerçekleştirilir.

Gelen güneş ışınımı malzeme üzerinden belli oranda bir yansımaya ile geri döner. Bu durum enerji kaybına neden olur. Bu durumu önlemek için ön yüzey yansımaya önleyici bir madde ile kaplanmıştır. Hücre bu haliyle gelebilecek darbelerden kolaylıkla zarar görebilir. Bu nedenle saydam bir yapıştırıcı ile ön yüzün üstüne yerleştirilen cam ile mekanik koruma sağlanmıştır [47].

1.4.2. Fotovoltaik Güneş Piliin Eşdeğer Devre Modelleri

Fotovoltaik güneş pili, akım ve gerilim değerinin sıcaklık ve güneş radyasyon değerine bağlı olarak değişen p-n eklemli yarı iletken bir cihazdır. Fotovoltaik güneş pili ışık enerjisini elektrik enerjisine çevirir. Fotovoltaik güneş pilinin birkaç eşdeğer devre modeli bulunmaktadır. Tek diyotlu modeli bir fotovoltaik güneş pilinin eşdeğer devre modeli için kullanılan en basit modeldir [48,49].



Şekil 1.6. Fotovoltaik güneş pilinin genel statik eşdeğer devresi

Şekil 1.6’da verilen eşdeğer devre, fotovoltaik güneş pilinin genel statik eşdeğer devresidir. Model, ışık şiddeti ve sıcaklığa bağlı olduğundan dolayı elde edilecek akım, gerilim ve güç değerlerinin herhangi bir anda herhangi bir değeri için ışık ve sıcaklık değerleri bilinmesi gerekmektedir. Şekil 1.6’da verilen eşdeğer devre modelinin matematiksel ifadesi denklem (1.1)’de verilmektedir [48].

$$I_{pil} = I_{FV} - I_0 \left[\exp \left[\frac{e}{kT_{pil}} (V_{pil} + R_s \times I_{pil}) \right] - 1 \right] - \frac{V_{pil} + R_s \times I_{pil}}{R_{SH}} \quad (1.1)$$

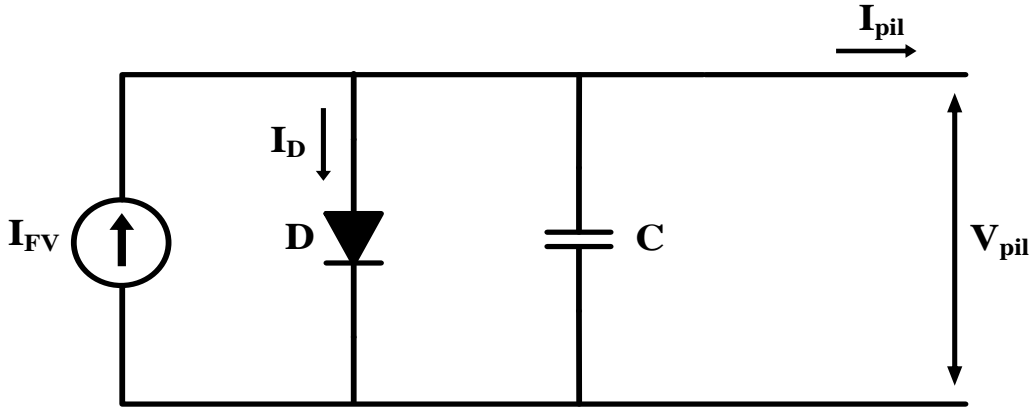
Burada:

- I_{pil} : Fotovoltaik güneş pilinin çıkış akımı (A)
 I_{FV} : Işık seviyesi ve p-n birleşim noktası sıcaklığının fonksiyonu, Fotoakım (A)
 I_0 : Diyotun ters doyma akımı (A)
 V_{pil} : Fotovoltaik güneş pilinin çıkış gerilimi (V)
 R_s : Eşdeğer devrenin seri direnci (Ω)
 R_{SH} : Eşdeğer devrenin paralel direnci (Ω)
 e : Elektron yükü ($1.6021917 \times 10^{-19}$ C)
 k : Boltzmann sabiti (1.380622×10^{-23} J/°K)
 T_{pil} : Referans çalışma sıcaklığı (°K)

Eşdeğer devre için gerekli olan parametrelerin içindeki Boltzmann sabitinin (k) ve referans çalışma sıcaklığının (T_{pil}) birimleri aynı olmalıdır. Bundan dolayı birim olarak ya derece ya da Kelvin kullanılmalıdır. Genelde boltzman sabiti kelvin olarak verildiğinden referans çalışma sıcaklığını (T_{pil}) kelvine dönüştürüp kullanmak daha uygun olmaktadır [48].

Fotovoltaik güneş pilinin dinamik eşdeğer devre modelini elde etmek için literatürde değişik eşdeğer devre modelleri kullanılmıştır. Örneğin; diyot, şönt direnç (R_{SH}) ve bu şönt dirence bağlı bir kondansatör veya diyot ve bu diyota paralel bağlı bir kondansatör ile fotovoltaik güneş pilinin dinamik eşdeğer devre modeli elde edilmiş olur [50,51].

Fotovoltaik güneş pilinin dinamik eşdeğer devre modelinin kullanılması sistemdeki geçici durum halinin gözlemlenmesi için gereklidir. Şekil 1.7’de fotovoltaik güneş pilinin dinamik eşdeğer devre modeli görülmektedir.



Şekil 1.7. Fotovoltaik güneş pilinin dinamik eşdeğer devre modeli

Literatür taraması yapıldığında fotovoltaik güneş pilinin statik eşdeğer devre modelinin çıkış akım ve gerilim değerleri ile fotovoltaik güneş pilinin dinamik eşdeğer devre modelinin çıkış akım ve gerilim değerlerinin yaklaşık aynı olduğu görülmüştür. Fotovoltaik güneş pilinin dinamik eşdeğer devre modelinden yola çıkarak elde edilen pil akımının (I_{pil}) matematiksel ifadesi denklem (1.2)'de verilmiştir.

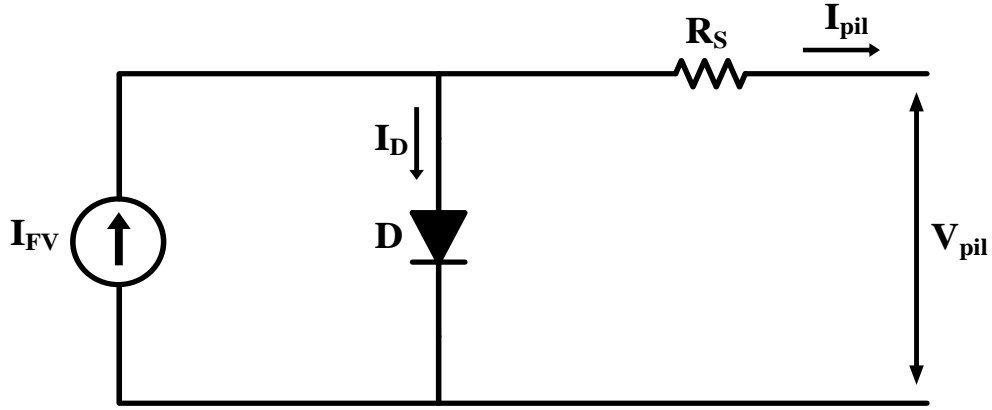
$$I_{pil} = I_{FV} - I_0 \left[\exp \left[\frac{e}{kT_{pil}} (V_{pil}) \right] - 1 \right] - C \frac{dV_C}{dt} \quad (1.2)$$

Bundan dolayı fotovoltaik güneş pili statik eşdeğer devre modeline kondansatör ekleyip işlemleri zorlaştırmak gereksizdir. Buradan çıkan sonuç fotovoltaik güneş pili eşdeğer devre modeli için dinamik model yerine statik model kullanmak yeterli olacaktır.

Statik eşdeğer devre modelinde bulunan şönt direnç (R_{SH}) seri direnç (R_S) den çok çok büyük olduğu için denklem(1.1)'de şönt dirence bölünen kısım I_{pil} ile karşılaştırıldığında çok küçük bir değer olduğu görülür. Bunun sonucunda bu kısım ihmal edilebilir. Denklem(1.1) yeniden düzenlenirse oluşan yeni denklem daha basit bir matematiksel ifadeyle denklem(1.3)'de verilmiştir.

$$I_{pil} = I_{FV} - I_0 \left[\exp \left[\frac{e}{kT_{pil}} (V_{pil} + R_S \times I_{pil}) \right] - 1 \right] \quad (1.3)$$

Şönt direncin ihmal edilmesiyle elde edilen denklem(1.3)'den yola çıkarak Şekil 1.6'daki fotovoltaik güneş pili statik eşdeğer devre modeli yeniden düzenlenerek basit eşdeğer devre modeline dönüştürülebilir.



Şekil 1.8. Fotovoltaik güneş pilinin basit eşdeğer devre modeli

Ele alınan tüm fotovoltaik güneş pili eşdeğer devre modellerinde görülen D diyotuna ait I_D akımı yarıiletken bir yapıya sahip olan fotovoltaik güneş pilinin p-n ekleminden akan akımı temsil etmektedir. D diyotundan akan I_D akımını yük akımını (I_{pil}), yük gerilimi (V_{pil}) ve pilin mutlak sıcaklığı (T_{pil}) bağlı olarak değişmektedir [52,53]. İfade edilen I_D akımının matematiksel eşitliği denklem(1.4)'de verilmiştir.

$$I_D = I_0 \left[\exp \left[\frac{e}{AkT_{pil}} (V_{pil} + R_s \times I_{pil}) \right] - 1 \right] \quad (1.4)$$

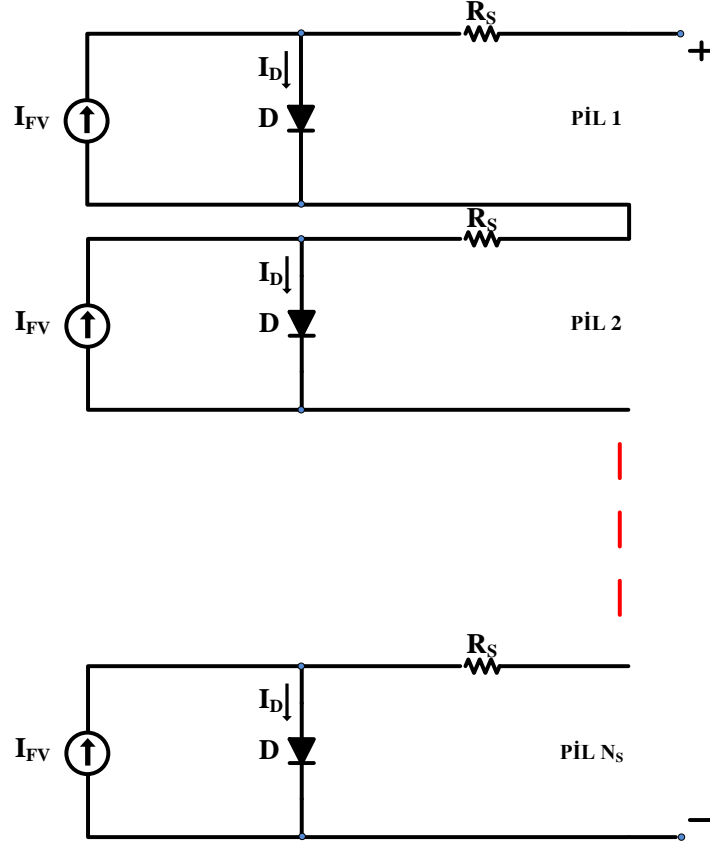
Fotovoltaik güneş pilinin akımı aynı zamanda yük akımı olarak ifade edilebileceğinden, fotovoltaik güneş piliyle yapılacak simülasyonlarda yük akımı pil akımı olarak alınıp, pil akımı biliniyor kabul edilebilir. Bunun sonucu olarak denklem (1.1) ve (1.3)'de akımın gerilime bağlı fonksiyonu olarak verilen denklemler yerine gerilimin akıma bağlı fonksiyonu olarak tanımlanan, gerilim denklemlerinin kullanılması daha uygun olmaktadır [48]. I_{pil} akımının matematiksel ifadesinin verildiği denklem(1.3)'den hareket ederek, fotovoltaik güneş pilinin gerilimi, akımın fonksiyonu olarak denklem(1.5)'de verilmiştir.

$$V_{pil} = \frac{A \times k \times T_{pil}}{e} \ln \left(\frac{I_{FV} + I_0 - I_{pil}}{I_0} \right) - R_S \times I_{pil} \quad (1.5)$$

Denklem(1.5)'da fotovoltaik güneş pilinin Mutlak sıcaklığı(T_{pil}) ve Boltzmann sabitiyle(k) çarpılan 'A' katsayısı fotovoltaik güneş pilinin simülasyonunda elde edilecek olan I-V karakteristiğini elde ederken, deneysel yolla elde edilen fotovoltaik güneş pilinin I-V karakteristiğine uygun hale getirmek için kullanılan bir eğri uydurma katsayısıdır [48].

Fotovoltaik güneş pilinin akım ve gerilim ifadelerini fotovoltaik güneş pilinin basit eşdeğer devre modeli yardımı ile elde etmiştik. Farklı sistem gereksinimleri sonucunda farklı akım, gerilim ve güç değerlerini elde etmemizi gerektiren durumlar ortaya çıkmaktadır. Bu durumların sonucunda, elde edilmek istenilen akım, gerilim ve güç değerleri için fotovoltaik güneş pilleri seri ve paralel bağlanarak fotovoltaik güneş paneli elde edilir.

N_s seri bağlı fotovoltaik güneş pili sayısını belirtmek üzere, seri bağlı fotovoltaik güneş pillerini temsil eden şekil aşağıda şekil 1.9'da verilmiştir.



Şekil 1.9. Fotovoltaik Güneş Pillerinin Seri Bağlanması

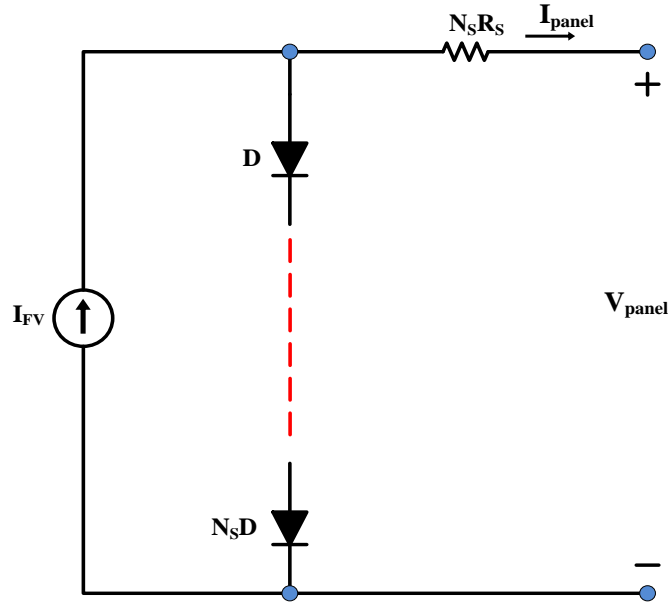
Seri bağlanan fotovoltaik güneş pillerinin her birinin üretim teknolojilerinin ve parametrelerinin birbirinin aynısı olduğu düşünülür [54]. Eğer seri bağlanan fotovoltaik güneş pillerinin kısa devre akımları birbirlerinin aynı, ya da çok yakın değerlerde değilse, kısa devre akımı küçük olan fotovoltaik güneş pili hasar görecektir ve kutuplarında ters gerilim meydana gelen bir diyot gibi davranacaktır.

Bunun önlenmesi için kısa devre akımı küçük olan fotovoltaik güneş pilinin uçları arasına bir bypass diyodu bağlanarak akımın akacağı farklı bir geçiş yolu oluşturulmalıdır [48].

Seri bağlanan fotovoltaik güneş pili devresinin Thevenin eşdeğeri göz önüne alınırsa, birbirine seri olarak bağlı güneş pillerinin toplam seri dirençleri, diziyi oluşturan pillerin sayısı kadar artacaktır [54].

$$R_s' = N_s R_s \quad (1.6)$$

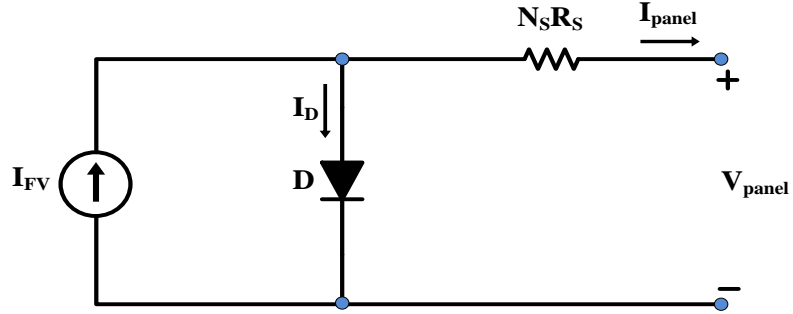
Bu durumda Şekil 1.10'da verilen eşdeğer devre elde edilmiş olacaktır.



Şekil 1.10. Seri bağlanmış fotovoltaik güneş pili modellerinin eşdeğer devresi

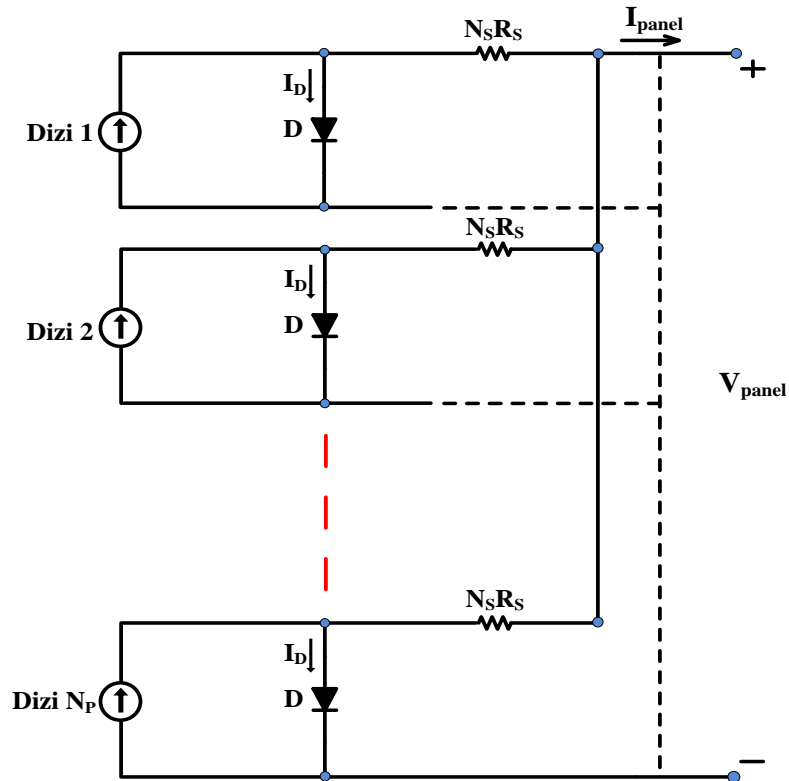
Şekil 1.9'da seri bağlanmış fotovoltaik güneş pillerinin üzerinden akan akım aynı olmakta ve her bir kol bir diyot ile temsil edilebilmektedir [55]. Bu durum tüm seri dirençler (R_s) üzerinden akmaktadır. Diğer bir deyişle toplam seri direnç; tüm seri

dirençlerin toplamı, yani $N_S R_S$ olmaktadır. Böylece fotovoltaik güneş pili dizisi aşağıdaki şekilde ifade edilebilmektedir.



Şekil 1.11. Fotovoltaik güneş pili dizisi eşdeğer devresi

Birbirine paralel bağlı dizilerden oluşan panel modeli aşağıda Şekil 1.12’de verilmektedir.

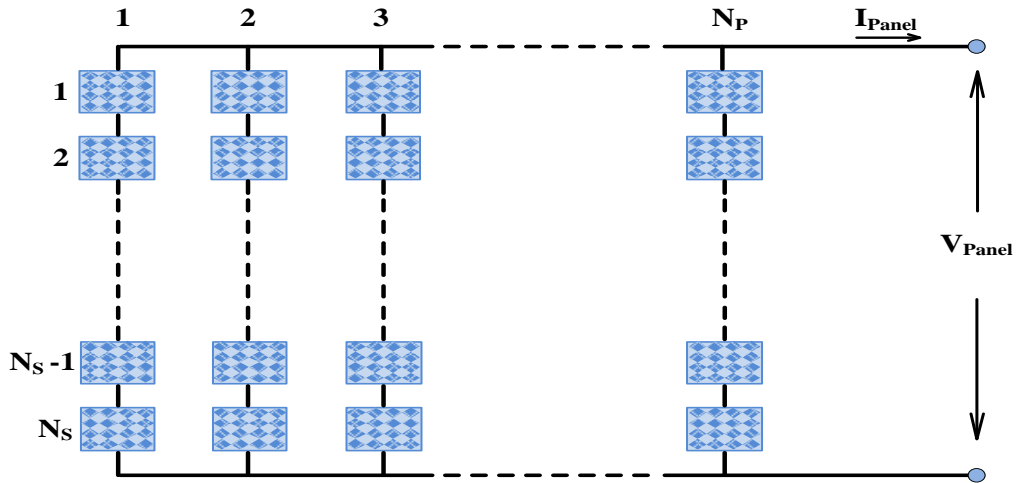


Şekil 1.12. Paralel bağlanmış fotovoltaik güneş pili dizilerinin eşdeğer devresi

Özet olarak; fotovoltaik güneş pillerinin seri ve paralel bağlanarak elde edilen fotovoltaik güneş panelinin çıkış gerilimini elde etmek için aşağıda sırasıyla verilen işlemler yerine getirilmelidir.

- İlk olarak yük akımı “ N_p ” olarak ifade edilen paralel kol sayısına bölünerek bir tek fotovoltaik güneş pilinden akan akım bulunur.
- İkinci işlem olarak; ilk işlemde bulunan bir tek fotovoltaik güneş pilinden akan akım değeri Denklem (1.5) da yerine yazılarak, bir tek fotovoltaik güneş pilinin ürettiği gerilim değeri bulunur.
- Son işlem olarak; Denklem (1.5) yardımı ile elde ettiğimiz bir tek fotovoltaik güneş pili gerilim değeri, paralel bağlı kollardan herhangi birinde bulunan “ N_s ” olarak ifade edilen seri bağlı pil sayısı ile çarpılarak fotovoltaik güneş panelinin çıkış gerilimi bulunmuş olur [48].

Şekil 1.13’de N_s adet seri bağlı fotovoltaik güneş piline ve N_p adet paralel kol sayısına sahip bir fotovoltaik güneş paneli görülmektedir.



Şekil 1.13. $N_s \times N_p$ boyutlu fotovoltaik güneş pili panel modeli

Şekil 1.13’deki fotovoltaik güneş panelinde panel akımı “ I_{Panel} ” ve panel gerilimi “ V_{Panel} ” olarak ifade edilmiştir. Buradan yola çıkarak her bir fotovoltaik güneş pilinin akım ve gerilim değeri bulunmak istenirse;

$$I_{pil} = \frac{I_{Panel}}{N_p} \quad (1.7)$$

$$V_{pil} = \frac{V_{Panel}}{N_s} \quad (1.8)$$

bağıntıları yardımıyla bulunabilir. Fotovoltaik güneş paneli gücü ise;

$$P_{Panel} = V_{Panel} \times I_{Panel} \quad (1.9)$$

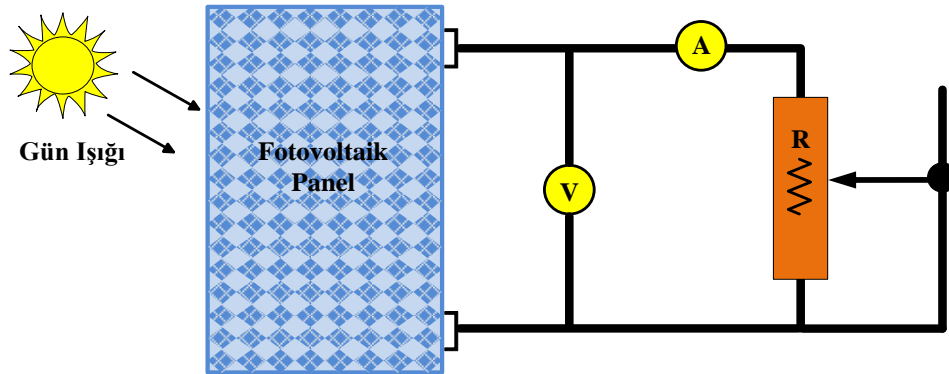
bağıntısı ile elde edilebilir. Bir tek fotovoltaik güneş pilinin gücü de;

$$P_{pil} = V_{pil} \times I_{pil} = \frac{V_{Panel}}{N_s} \times \frac{I_{Panel}}{N_p} = \frac{P_{Panel}}{N_s \times N_p} \quad (1.10)$$

bağıntısı ile bulunabilir [44].

1.4.3. Fotovoltaik Güneş Pili Karakteristikleri

Fotovoltaik güneş pilinin karakteristiklerini belirlerken, güneş pilinin elektriksel özelliklerini yani fotovoltaik güneş pilinin yüke bağlanması halinde gözlemlenen etkilerin neler olduğunu belirlemek gerekir. Bu durumu elde etmek için fotovoltaik pil paneli ayarlanabilen bir yüke seri bağlı bir ampermetre üzerinden bağlanmıştır. Gerekli bağlantı şekli Şekil 1.14'de görülmektedir.



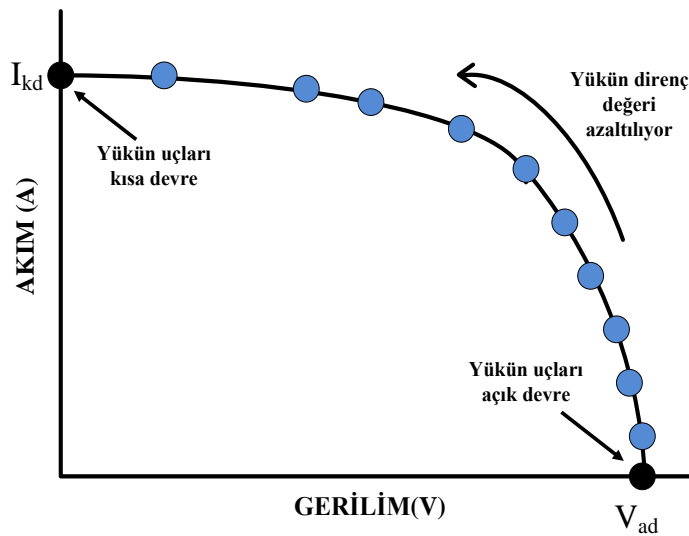
Şekil 1.14. Fotovoltaik güneş panelinin ayarlı yüke bağlanması

İfade edilen bağlantının yapıldığı durumda günün belirli bir saatinde, gün ışığı ve ortam sıcaklığında kayda değer bir değişim olmadığı varsayılmaktadır. Şekil 1.14’de görülen bağlantı yapıldıktan sonra, fotovoltaik güneş pili karakteristiklerini elde etmek için başta yükün uçları açık devre edilir ve yükün uçları kısa devre olana kadar ayarlı direnç değeri değiştirilmektedir. Bu ayarlamalar yapılırken devrede bulunan ampermetre ve voltmetre yardımı ile gerekli değerler kaydedilerek akım-gerilim (I-V) karakteristiği elde edilebilir [48,44].

Fotovoltaik güneş panelinin uçlarına bağlanan ayarlı yükün değeri değiştirilerek, gerekli akım ve gerilim değerlerinin kaydedilerek I-V karakteristiğinin elde edileceğini söylemiştik. Başlangıçta yükün değeri devreyi açık devre halinde tutacak şekilde yüksek seçilip, ayarlı yük değeri devrenin kısa devre oluncaya kadar değerinin azaltılmasıysa istenilen I-V karakteristik eğrisi elde edilmiş olur.

Fotovoltaik güneş panelinin uçlarına bağlanan ayarlı direncin değeri başlangıçta yüksek değerlidir, bu durumda yükün uçları açık devredir yani açık devre gerilimi (V_{ad}) panel gerilimine eşittir aynı durumda panel akımı (I_{kd}) ise sıfırdır.

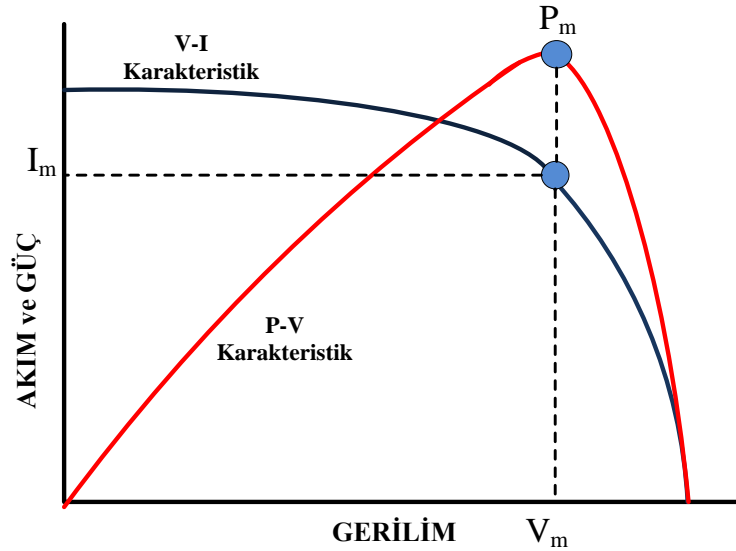
Elde edilen bu durum kaydedilerek ayarlı direncin değeri gitgide azaltılmaya devam edilir. Bulunan değerler yükün uçları kısa devre yani kısa devre gerilimi (V_{kd}) sıfır, kısa devre akımı (I_{kd}) panel akımına eşit oluncaya kadar kaydedilir. Kaydedilen bu sonuçlar doğrultusunda fotovoltaik güneş panelinin akım gerilim (I-V) karakteristiğinin yükten nasıl etkilendiğini gözlemlemiş oluruz [47,48,56]. Şekil 1.15’de bu durum görülmektedir.



Şekil 1.15. Fotovoltaik güneş pili panelinin akım-gerilim (I-V) karakteristiğinin yükle değişimi

Daha önce gerekli denklemlerle fotovoltaik güneş panelinin çıkış gücünün nasıl elde edildiğinden bahsetmiştik. Bu denklemler ve bunlara ek olarak elde ettiğimiz Şekil 1.15 yardımı ile fotovoltaik güneş panelinin veya pilinin çıkış gücündeki değişimi gözlemlenebilmektedir.

Buradan da anlaşılacağı gibi bir fotovoltaik güneş pilinin veya panelinin akım ve geriliminden herhangi biri ya da her ikisi birden sıfırken, pilin ya da panelin çıkış gücü de sıfırdır. Bu bilgiler doğrultusunda fotovoltaik güneş panelinin güç-gerilim (P-V) karakteristik eğrisinin genel biçimi akım-gerilim (I-V) karakteristik eğrisiyle birlikte Şekil 1.16'de görülmektedir. Buradan da görüldüğü üzere akım ve gerilimin belirli değerleri için fotovoltaik güneş pilinin ya da panelinin çıkış gücünün maksimum değere ulaştığı belirlenmektedir [47,57].



Şekil 1.16. Fotovoltaik güneş pili panelinin (I-V) ve (P-V) karakteristiğinin yükü değişimi

Fotovoltaik güneş pilinin ya da panelinin maksimum çıkış gücü; beslenen yüke ek olarak panelin üzerine gelen ışık şiddeti (radyasyon seviyesi) ve çalışma sıcaklığına bağlı olarak değişir. Buradan yola çıkarak bir fotovoltaik güneş panelinin en verimli şekilde çalıştırılması için panelin çıkış gücünün elde edilebilecek maksimum değerde tutulması gerekir. Şekil 1.16 'da akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristikleri görülmektedir. Sıcaklık ve ışık şiddeti (radyasyon seviyesi) değiştiğinde; akım, gerilim ve

güç değerleri değişir. Fakat değişen yeni karakteristiklerin biçimleri benzer şekilde olacaktır [47,44].

1.4.3.1. Sıcaklığın Fotovoltaik Güneş Pili Karakteristiklerine Etkisi

Fotovoltaik güneş pillerinde göz önünde bulundurulması gereken en önemli iki etki; sıcaklık ve ışık şiddetinin değişim etkileridir. Fotovoltaik güneş pilleri en basit halleriyle p-n ekleminden oluşan yarı iletken cihazlardır. Bundan dolayı parametreleri diyotların parametreleri gibi sıcaklık ile değişmektedir.

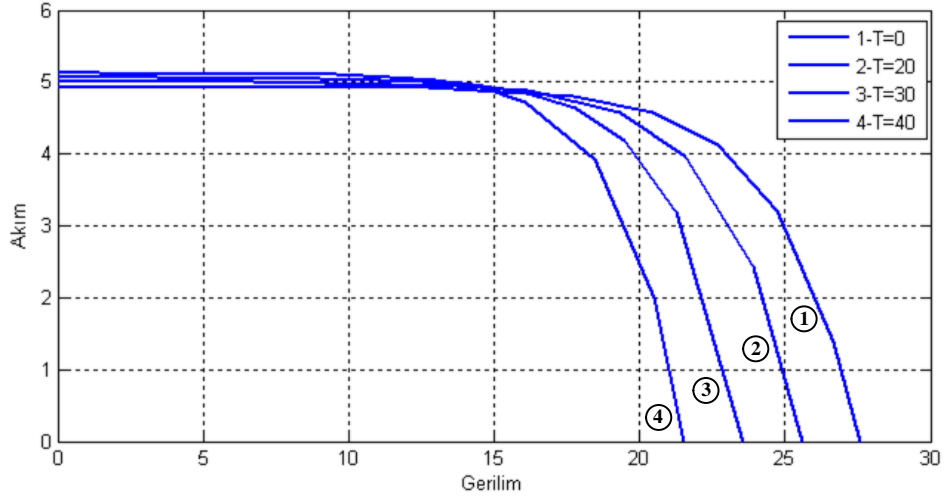
Ortam sıcaklığındaki yükselme fotovoltaik güneş pilinin çalışma sıcaklığını yükseltmekte, çalışma sıcaklığındaki bu yükselme fotovoltaik güneş pilinin çıkış geriliminde azalmaya neden olmaktadır. Çünkü sıcaklıktaki artış, yarı iletken maddedeki elektron-boşluk çiftinin hareket kabiliyetini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu yüzden çıkış gerilimi de azalmaktadır. Ayrıca sıcaklığın artmasından akım da etkilenmektedir. Ancak sıcaklığın asıl etkisi gerilimde meydana gelmektedir [58-61].

Şekil 1.17’de fotovoltaik güneş pilinin akım-gerilim (I-V) karakteristiğinin sıcaklık ile değişimi görülmektedir. Şekil 1.17’deki durumları elde etmek için Tablo 1.8’de ifade edilen dört farklı sıcaklık değerinde hesaplama yapılmıştır.

Tablo 1.8. Şekil 1.17 için kullanılan değerler

Eğri No	Sıcaklık Değeri	Işık Seviyesi
1	0°C	100 mW/cm ²
2	20°C	100 mW/cm ²
3	40°C	100 mW/cm ²
4	60°C	100 mW/cm ²

Tablo 1.8’deki sıra ile elde edilen grafikler Şekil 1.17’de birlikte çizdirilmiştir.



Şekil 1.17. Fotovoltaik güneş pilinin akım-gerilim (I-V) karakteristiğine sıcaklığın etkisi

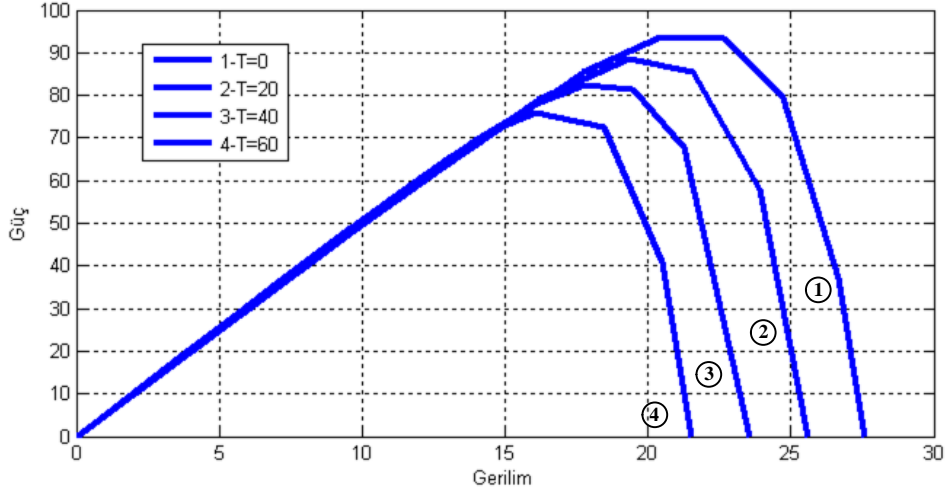
Akımdan çok gerilimde görülen, sıcaklık artışının yarattığı bu olumsuz etki benzer şekilde fotovoltaik güneş pilinin çıkış gücünde de görülmektedir. Yani ortam sıcaklığının artmasıyla fotovoltaik güneş pilinin çıkış gücü azalmaktadır.

Şekil 1.18’de fotovoltaik güneş pilinin güç-gerilim (P-V) karakteristiğinin sıcaklık ile değişimi görülmektedir. Şekil 1.18 ’deki durumları elde etmek için Tablo 1.9’da ifade edilen dört farklı sıcaklık değerinde hesaplama yapılmıştır.

Tablo 1.9. Şekil 1.18 için kullanılan değerler

Eğri No	Sıcaklık Değeri	Işık Seviyesi
1	0°C	100 mW/cm ²
2	20°C	100 mW/cm ²
3	40°C	100 mW/cm ²
4	60°C	100 mW/cm ²

Tablo 1.9’daki sıra ile elde edilen grafikler Şekil 1.18’de birlikte çizdirilmiştir.



Şekil 1.18. Fotovoltaik güneş pilinin güç-gerilim (P-V) karakteristiğine sıcaklığın etkisi

1.4.3.2. Işık Şiddetinin Fotovoltaik Güneş Pili Karakteristiklerine Etkisi

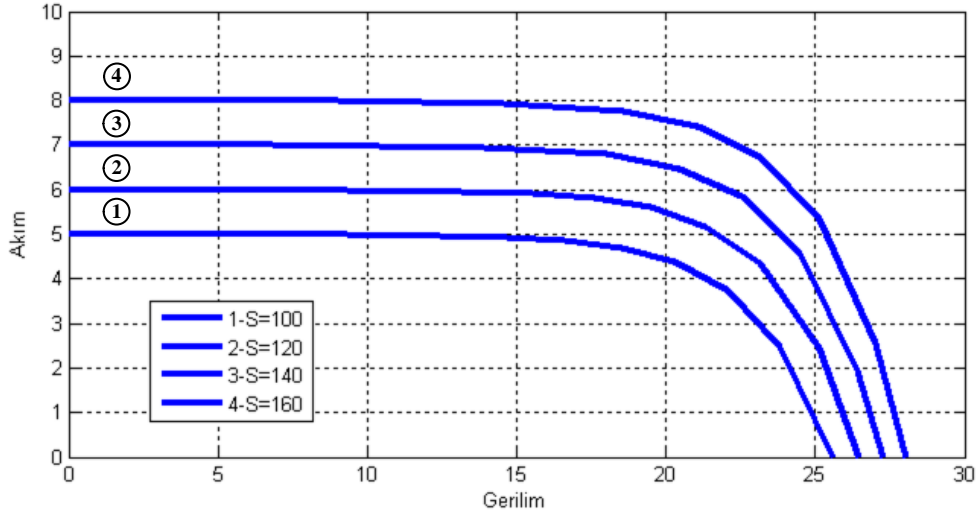
Fotovoltaik güneş pillerinde göz önünde bulundurulacak iki önemli etkiden bir diğeri ise ışık şiddetindeki değişim etkisidir. Işık şiddetindeki artış veya azalış, fotovoltaik güneş pilinin çıkış akımı ile doğru orantılıdır. Işık şiddetinde bir artış meydana geldiğinde, fotovoltaik güneş pilinin çıkış akımı da artmaktadır. Aynı şekilde fotovoltaik güneş pilinin geriliminde de bir artış görülmektedir. Ancak akımda meydana gelen bu artış, gerilimde meydana gelen artışa oranla daha yüksektir [58-61].

Şekil 1.19'a bakıldığında bu durum daha iyi anlaşılacaktır. Şekil 1.19'da fotovoltaik güneş pilinin akım-gerilim (I-V) karakteristiğinin ışık seviyesi ile değişimi görülmektedir. Şekil 1.19'daki durumları elde etmek için Tablo 1.10'da ifade edilen dört farklı ışık seviyesi değerinde hesaplama yapılmıştır.

Tablo 1.10. Şekil 1.19 için kullanılan değerler

Eğri No	Sıcaklık Değeri	Işık Seviyesi
1	20°C	100 mW/cm ²
2	20°C	120 mW/cm ²
3	20°C	140 mW/cm ²
4	20°C	160 mW/cm ²

Tablo 1.10'deki sıra ile elde edilen grafikler Şekil 1.19'da birlikte çizdirilmiştir.



Şekil 1.19. Fotovoltaik güneş pilinin akım-gerilim (I-V) karakteristiğine ışık seviyesinin etkisi

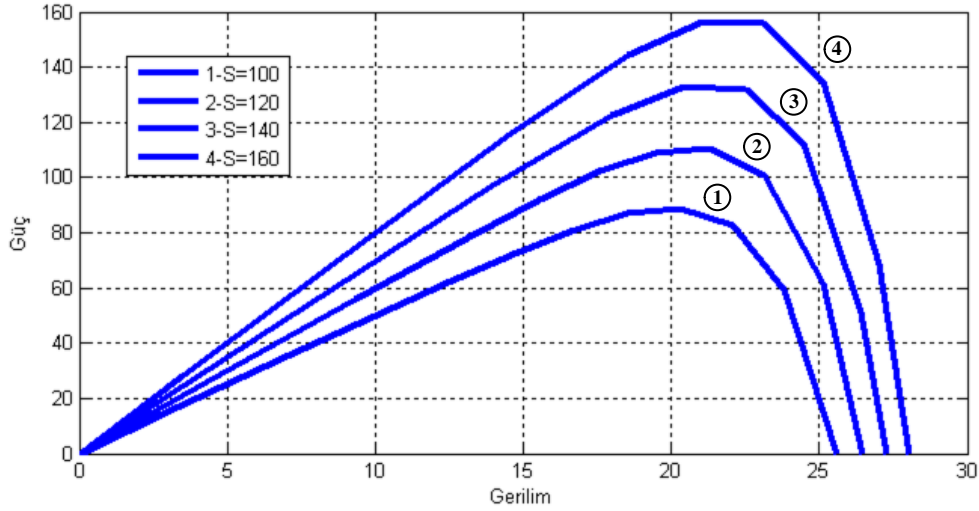
Akım ve gerilimde görülen artışın doğal sonucu olarak fotovoltaik güneş pilinin çıkış gücü de artmaktadır. Sonuçta; ışık şiddetindeki artış fotovoltaik güneş pilinin gücünün de artmasına neden olmaktadır.

Şekil 1.20'de fotovoltaik güneş pilinin güç-gerilim (P-V) karakteristiğinin ışık seviyesi ile değişimi görülmektedir. Şekil 1.20'deki durumları elde etmek için Tablo 1.10'da ifade edilen dört farklı sıcaklık değerinde hesaplama yapılmıştır.

Tablo 1.11. Şekil 1.20 için kullanılan değerler

Eğri No	Sıcaklık Değeri	Işık Seviyesi
1	20°C	100 mW/cm ²
2	20°C	120 mW/cm ²
3	20°C	140 mW/cm ²
4	20°C	160 mW/cm ²

Tablo 1.10'deki sıra ile elde edilen grafikler Şekil 1.20'de birlikte çizdirilmiştir.



Şekil 1.20. Fotovoltaik güneş pilinin güç-gerilim (P-V) karakteristiğine ışık seviyesinin etkisi

Sonuç olarak; fotovoltaik güneş pillerinin akım-gerilim (I-V) ve güç-gerilim (P-V) karakteristikleri incelendiğinde; akım-gerilim (I-V) ilişkisinin doğru akım kaynağına benzemediği, yani doğrusal olmadığı ve maksimum güç noktasının sıcaklık ve ışık şiddetine bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Fotovoltaik güneş pilinde maksimum güç elde etmek için ışık şiddetinin yüksek ve sıcaklığın düşük olduğu ortamlar tercih edilmelidir.

1.4.3.3. Fotovoltaik Güneş Pilinin Akım-Gerilim (I-V) Karakteristiğinin Değişen Ortam Sıcaklığı ve Işık Seviyesi İçin Yeniden Belirlenmesi

Ortam sıcaklığı ve ışık şiddetindeki değişimin, Fotovoltaik güneş pillerinde göz önünde bulundurulması gereken en önemli iki etki olduğundan daha önce bahsetmiştik. Değişen ortam sıcaklığı ve ışık şiddeti; fotovoltaik güneş pillerinin çalışma sıcaklığını (T_{pil}) da değiştirerek, oluşan bu yeni sıcaklık ve ışık şiddeti değeri sonucu yeni bir fotoakım ve çıkış gerilimi oluşturur.

Fotovoltaik güneş pillerinin çalışma sıcaklığı (T_{pil}), ışık şiddeti ve ortam sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Değişken ortam sıcaklığı olarak tanımlanan " T_x ", fotovoltaik güneş pillerinin fotoakımını ve çıkış gerilimini etkilemektedir. Bahsedilen bu etkiler, sıcaklık gerilim katsayısı (C_{TV}) ve sıcaklık akım katsayısı (C_{TI}) denklem (1.11) ve (1.12)'de ifade edilmektedir.

$$C_{TV}=1+\beta_T(T_a-T_x) \quad (1.11)$$

$$C_{TI}=1+\frac{\gamma_T}{S_{pil}}(T_x-T_a) \quad (1.12)$$

Yukarıdaki denklemlerde verilen “ T_a ”, bilinen referans ortam sıcaklığını temsil etmektedir ve fotovoltaik güneş pili karakteristiklerini elde ederken 20°C olduğu varsayılmıştır. “ T_x ” değişik zamanlarda kaydedilen, değişik ortam sıcaklık değerini temsil etmektedir. “ β_T ” ve “ γ_T ” sırasıyla; değişen sıcaklık sonucu, fotovoltaik güneş pili gerilimindeki ve akımındaki değişimlerin eğimlerini temsil etmektedir. Bu katsayılar fotovoltaik güneş pili türüne göre değişim göstermektedir. Genelde β_T 0.004 ile 0.006 arasında, γ_T ise 0.02 ile 0.1 arasında değerler almaktadır.

Fotovoltaik güneş pili karakteristiği, ortam sıcaklığındaki değişime ek olarak ışık şiddetindeki değişimlere de bağlıdır. Gün içinde değişen ışık şiddetine bağlı olarak fotovoltaik güneş pilinin çıkış gerilimi ve fotoakımı da değişmektedir. Işık şiddetindeki değişimin, gerilimdeki etkisi “ C_{SV} ” ve fotoakımdaki etkisi “ C_{SI} ” olarak tanımlanıp, sırasıyla denklem (1.13) ve (1.14)’de ifade edilmektedir.

$$C_{SV}=1+\beta_T\alpha_s(S_x-S_{pil}) \quad (1.13)$$

$$C_{SI}=1+\frac{1}{S_{pil}}(S_x-S_{pil}) \quad (1.14)$$

Denklem (1.13) ve (1.14)’de verilen “ S_{pil} ” referans ışık şiddetini ve “ S_x ” değişik zamanlarda kaydedilen değişik ışık şiddetini temsil etmektedir. “ α_s ” ise ışık şiddetindeki değişimin pil çalışma sıcaklığında meydana getireceği değişime ait bir katsayıdır. Denklem (1.15)’de nasıl ifade edildiği görülmektedir.

$$\alpha_s = \frac{\Delta T_{pil}}{S_x - S_{pil}} = \frac{T_{pil} - T_a}{S_x - S_{pil}} \quad (1.15)$$

Denklem (1.15)’de verilen α_s ’nin değeri farklı özelliklere sahip fotovoltaik güneş pilleri için farklılık gösterir ve değeri genelde 0.3 ile $0.4^\circ\text{C cm}^2/\text{mW}$ arasında

değişmektedir. Denklem (1.11),(1.12),(1.13) ve (1.14)'de ifade edilen düzeltme katsayıları C_{TV} , C_{TI} , C_{SV} , C_{SI} kullanılarak fotovoltaik güneş pilinin yeni çıkış gerilimi " V_{xpil} " ve yeni fotoakımı " I_{xFV} ", yeni çalışma sıcaklığı " T_x " ve yeni ışık şiddeti " S_x " için denklem (1.16) ve (1.17)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$V_{xpil} = C_{TV} \times C_{SV} \times V_{pil} \quad (1.16)$$

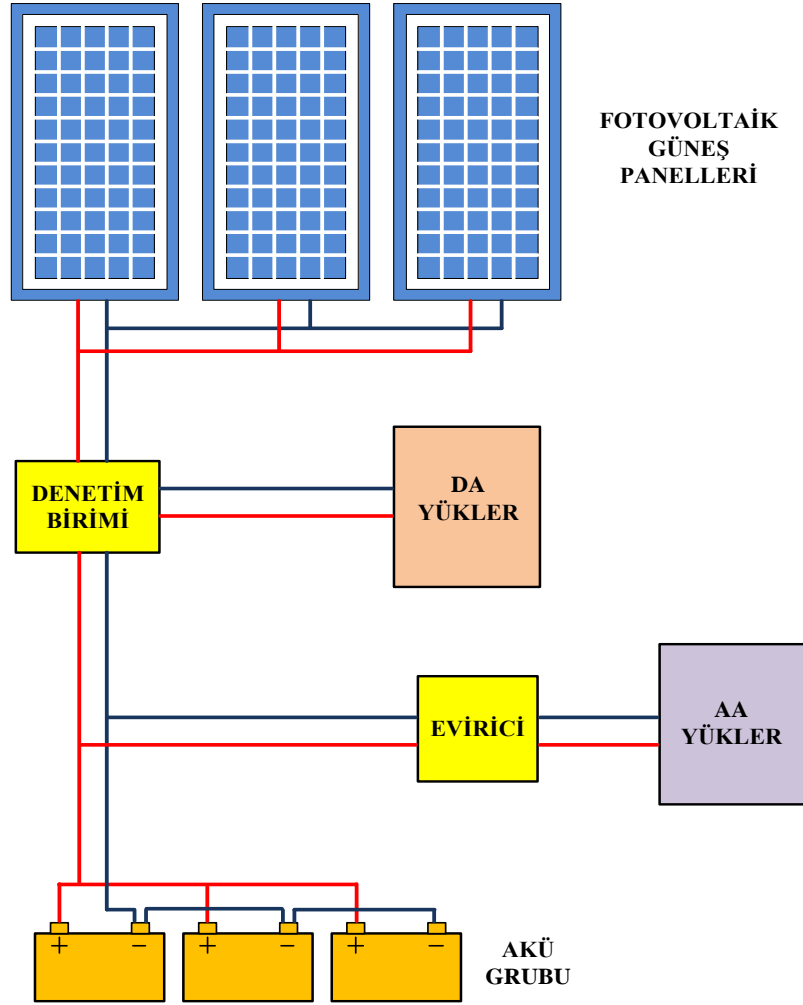
$$I_{xFV} = C_{TI} \times C_{SI} \times I_{FV} \quad (1.17)$$

Bu ifadelerde geçen V_{pil} ve I_{FV} referans çalışma sıcaklığı ve ışık şiddetindeki fotovoltaik güneş pili çıkış gerilimi ve fotoakımının değerleridir. Daha önce ifade edildiği gibi kısa devre sırasında diyottan akan " I_0 " ters doyma akımı, " I_{FV} " fotoakımına göre çok küçüktür ve ihmal edilebilir. Bundan dolayı " I_{FV} " fotoakımı, " I_{kd} " kısa devre akımına eşit alınabilir. Böylece elde edilen her yeni durumda oluşan " I_{xFV} " fotoakımına karşılık, fotovoltaik güneş pili (I-V) karakteristiğinde yeni bir " I_{kd} " kısa devre akımı oluşacaktır.

1.4.4. Fotovoltaik Sistemler

1.4.4.1. Şebeke Bağlantısız Fotovoltaik Sistemler

Şebekeden bağımsız (stand-alone, off-grid) fotovoltaik sistemler, elektrik şebekesine erişimin olmadığı veya elektrik şebekesine bağlantının mümkün olmadığı ulaşım sıkıntısı olan yerleşim yerlerinden uzak kırsal alanlarda ve şebekeden temin edilecek elektrik enerjisinin daha yüksek maliyete sebep olacağı yerlerde tercih edilirler. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemler genelde küçük güçlü birçok farklı uygulamalarda kullanılmaktadır. Bu sistemlerin elektrik şebekesine bağlantısı bulunmamaktadır [62,63]. Şekil 1.21'de şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemin genel yapısı görülmektedir.



Şekil 1.21. Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistem

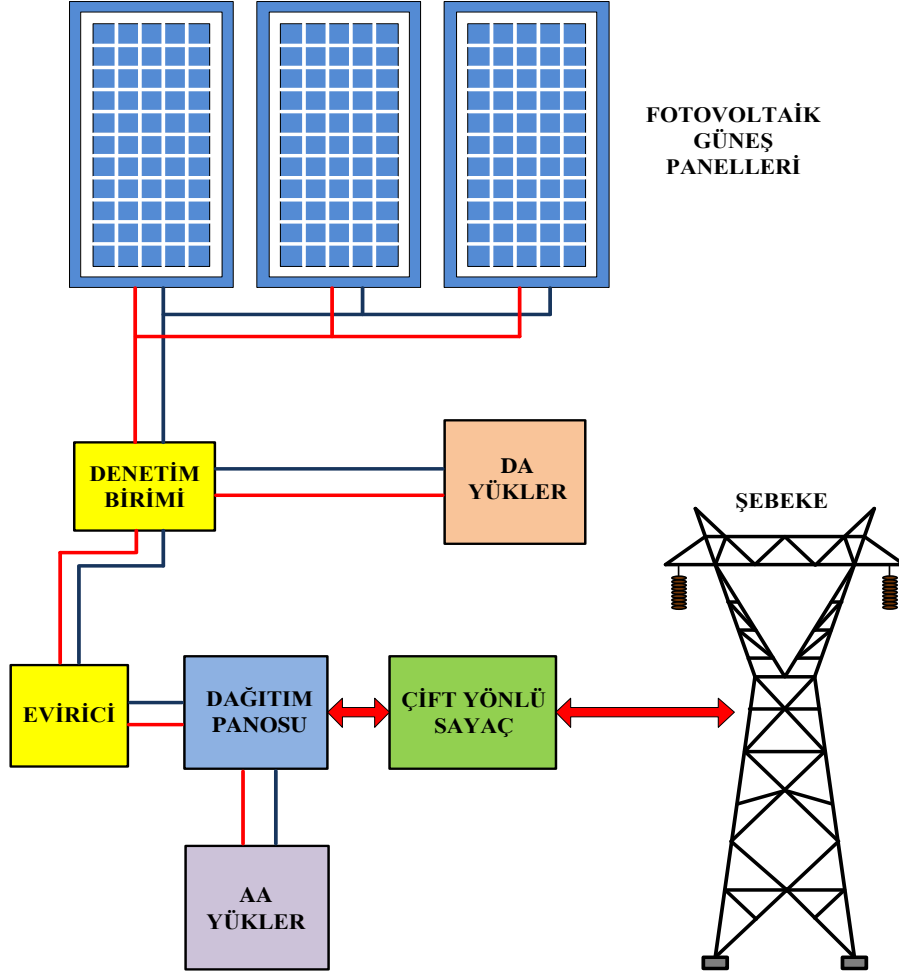
Şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlerde güneş ışınlarının olmadığı veya az olduğu zamanlarda, elektrik enerjisinin sürekliliğini sağlamak için aküler kullanılmaktadır. Güneş ışınlarının, ihtiyaç olunan elektrik enerjisi için yeterli olduğu zamanlarda kullanılacak sistemlerde ise elektrik enerjisini depolamaya gerek kalmaz [64,65].

Günümüzde çok çeşitli uygulamalarda bu sistemler kullanılmaktadır. Hesap makineleri, saatler, trafik kontrol işaretleri, GSM baz istasyonları ve su pompalarının elektrik ihtiyacını karşılamak amacıyla kurulan sistemler, şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlere örnek gösterilebilir. Bu sistemler akülü ve aküsüz doğru akımla çalışan sistemler olabileceği gibi evirici kullanarak elde edilen alternatif akımla çalışan sistemlerde olabilmektedir [66].

1.4.4.2. Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistemler

Fotovoltaik sistemler, şebeke bağlantılı olarak genel anlamda iki farklı türde tasarlanmaktadır. Birincisi; fotovoltaik panellerden elde edilen doğru akımın eviriciler yardımı ile alternatif akıma dönüştürülerek doğrudan şebekeye bağlanmasıdır. İkincisi ise sistemde bulunan eviriciden sonra çift yönlü sayaç kullanılarak bir yandan sistem dahilindeki alternatif akımla ve doğru akımla çalışan yükler beslenirken diğer yandan tüketilmeyen fazla enerji şebekeye aktarılır. Çift yönlü sayaç yerine, iki tane tek yönlü sayaç da kullanılabilir. Birisi şebekeye gönderilen gücü ölçmekteyken, diğeri şebekeden çekilen gücü ölçmektedir [67].

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerde enerji açığının meydana geldiği durumlarda, sistem ihtiyacı olan enerjiyi şebekeden tedarik edecektir. Uygun ışık şiddeti ve sıcaklık değerinin olduğu zamanlarda ise gereken enerji fotovoltaik sistemden sağlanacak, hatta üretilen enerjinin sistem talebinden fazla olması durumunda da talep fazlası enerji şebekeye aktarılacaktır [68]. Şekil 1.22’de şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemin genel yapısı görülmektedir.



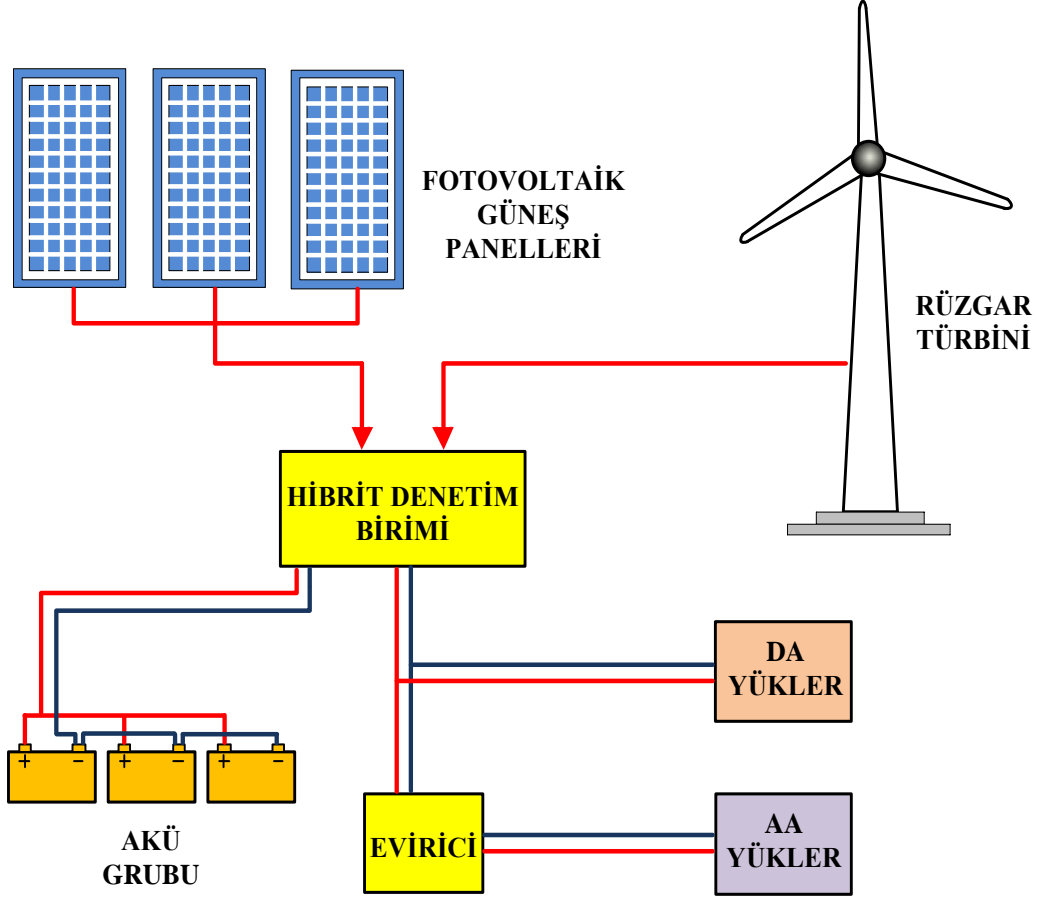
Şekil 1.22. Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem

Şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemlerde enerji depolanmasına gerek kalmadığı için şebekeden bağımsız fotovoltaik sistemlere göre maliyetleri daha düşüktür. Bu durum şebeke bağlantılı fotovoltaik sistemleri endüstriyel ve özellikle evsel uygulamalarda gün geçtikçe çok cazip hale getirmektedir [69,70].

1.4.4.3. Hibrid Sistemler

Gün geçtikçe önemi daha da belirginleşen yenilenebilir enerji kaynaklarının birlikte kullanılıp, enerji sürekliliğini daha verimli bir şekilde sağlamak amacıyla oluşturulan sistemlere hibrid sistemler denmektedir. Hibrid sistemler, genelde yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşturulsalar da bazen yenilenebilir olmayan, fosil yakıtla çalışan dizel

jeneratörler de hibrid sistemlere dâhil edilip yenilenebilir enerji kaynaklarıyla beraber kullanıldığı görülmektedir [71,72].



Şekil 1.23. Güneş ve Rüzgar enerjisinden oluşan hibrid sistem

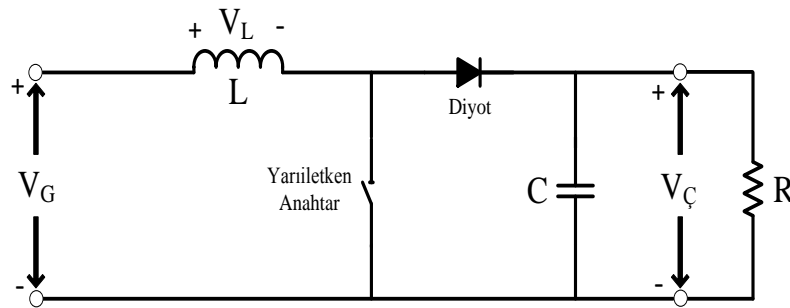
Yenilenebilir enerji kaynaklarında, mevsimsel ve meteorolojik olaylardan dolayı enerji süreksizliği veya kesintisi ortaya çıkmaktadır. Enerji sürekliliğinin ne kadar önemli olduğu düşünülürse, bu olumsuz durum birden fazla enerji kaynağı kullanılarak yani hibrid sistemler oluşturularak ortadan kaldırılabilir. Birçok farklı hibrid sistem uygulamaları bulunmaktadır. Bu uygulamalardan en fazla tercih edilen enerji kaynakları ise güneş enerjisinin ve rüzgar enerjisinin birlikte kullanıldığı hibrid sistemlerdir. Şekil 1.23'de güneş ve rüzgar enerjisinden oluşan hibrid sistem uygulaması görülmektedir [73-75].

1.5. DA-DA Dönüştürücüler

Dönüştürücüler, DA gerilim seviyesini bir değerden başka bir değere getiren ve anahtarlama mantığı ile çalışan elektronik elemanlardır. Dönüştürücülerin temel çalışma prensibi bir pasif filtrenin çıkış geriliminin kontrol edilmesi esasına dayanmaktadır [76]. DA-DA dönüştürücülerde, çıkış doğru gerilimi öyle denetlenmelidir ki, giriş gerilimi ve çıkış yükü değişse bile, çıkış geriliminin ortalaması istenen değerde olmalıdır. Anahtarlama DA-DA dönüştürücülerde doğru akımı bir düzeyden başka bir düzeye ulaştırmak için bir ya da daha fazla anahtar kullanılmaktadır. Verilen bir giriş gerilim değeri için bir DA-DA dönüştürücüde çıkış gerilimi, anahtarların iletimde ve kesimde olduğu sürelerin denetlenmesiyle ayarlanmaktadır [77].

1.5.1. Yükselten Dönüştürücü

Yükselten dönüştürücü, DA gerilimi yükseltme işlemi, yapısındaki enerji depolayıcı olarak kullanılan endüktansın, üzerinden geçen akımdaki değişime karşı koyma eğilimi sayesinde gerçekleştirmektedir. Yükselten dönüştürücülerde çıkış gerilimi giriş geriliminden büyüktür. Şekil 1.24'de yükselten dönüştürücü devre şeması verilmiştir. Devredeki anahtar kapatıldığında diyot ters kutuplandığı için iletime geçmez. Böylece, çıkış katı girişten izole edilmiş olur. Anahtar açıldığında, çıkış katı endüktans üzerinden beslenir. Kararlı durum analizinden, sabit bir çıkış gerilimi elde etmek için çıkış filtre kondansatörünün kapasitesi oldukça büyük olmalıdır [78-80].



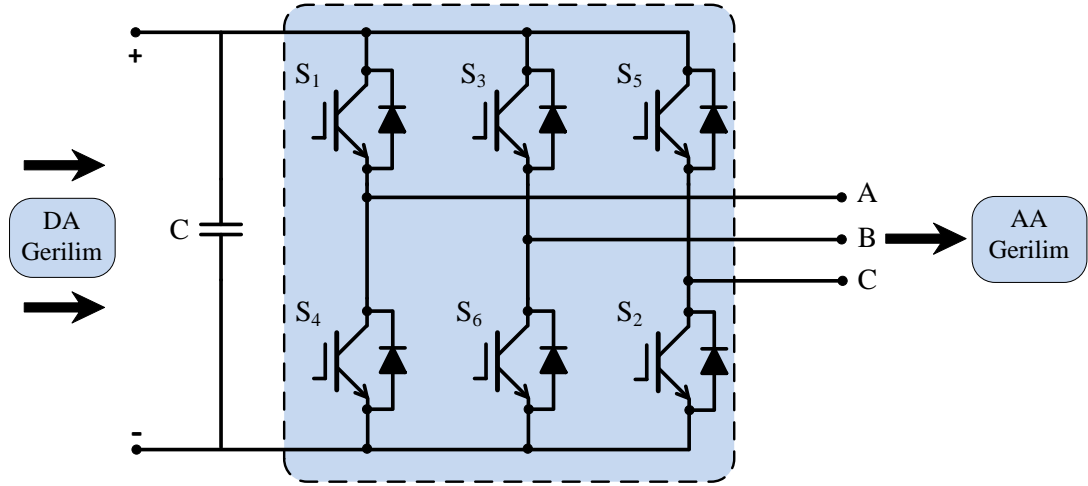
Şekil 1.24. Yükselten dönüştürücü devresinin genel yapısı

Devrede anahtar kapalı konumda olduğunda endüktansta enerji depolanırken, endüktans akımı doğrusal olarak artacak ve bu sırada diyot kapalı konumda olduğu için devre kapasiteden beslenecektir. Anahtar açık olduğu durumda ise endüktans üzerinde depolanan enerji, diyot üzerinden kapasiteyi şarj edecek ve kaynak gerilimi ile endüktans üzerindeki gerilimin toplamı değerinde bir gerilim çıkışta görülecektir [78,79,81].

1.6. DA-AA Dönüştürücü

DA-AA dönüştürücüler(Eviriciler), kullanılan uygun transformatör, anahtarlama ve kontrol devreleriyle, istenilen herhangi bir gerilim ve frekans değerinde doğru akımı alternatif akıma dönüştüren elektriksel elemanlardır [82,83]. Şekil 1.25’de eviricinin genel devre şeması verilmiştir.

Eviriciler değişken hızlı AA motor sürücülerini, endüksiyonla ısıtma, kesintisiz güç kaynakları gibi çok geniş endüstriyel uygulama alanlarına sahiptir. Eviricinin girişinde bir akü, yakıt pili, güneş paneli veya başka bir DA kaynak olabilir [84,85].



Şekil 1.25. DA-AA dönüştürücünün (evirici) genel devre şeması

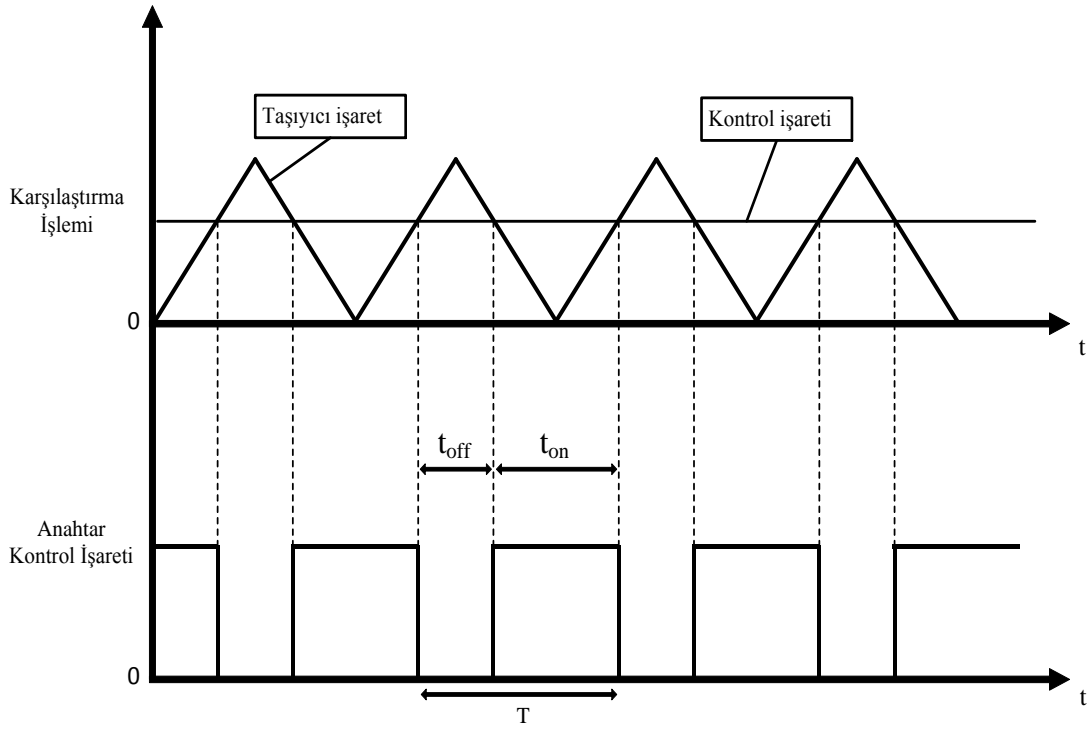
1.7. Darbe Genişlik Modülasyonu

Darbe genişlik modülasyonu (DGM), üretilecek olan darbelerin, genişliklerini kontrol ederek, çıkışta üretmek istenen elektriksel işaretin elde edilmesi tekniğidir. Temel olarak, yarı iletken anahtarlama elemanlarının “ t_{on}/t_{off} ” kontrolü olarak tanımlanabilir.

Çıkış işaretinin kontrolünde anahtarlama frekansı sabit tutulur ve yarı iletken anahtarın iletimdeki süresini (t_{on}) ayarlayarak çıkış işareti denetlenmektedir. Burada ayarlanan " t_{on} " süresinin " T " periyot süresine oranı anahtar çalışmasındaki darbe periyot oranıdır ve " D " olarak ifade edilir.

$$T = t_{on} + t_{off} \quad (1.18)$$

$$D = \frac{t_{on}}{T} \quad (1.19)$$



Şekil 1.26. Darbe genişlik modülasyonu

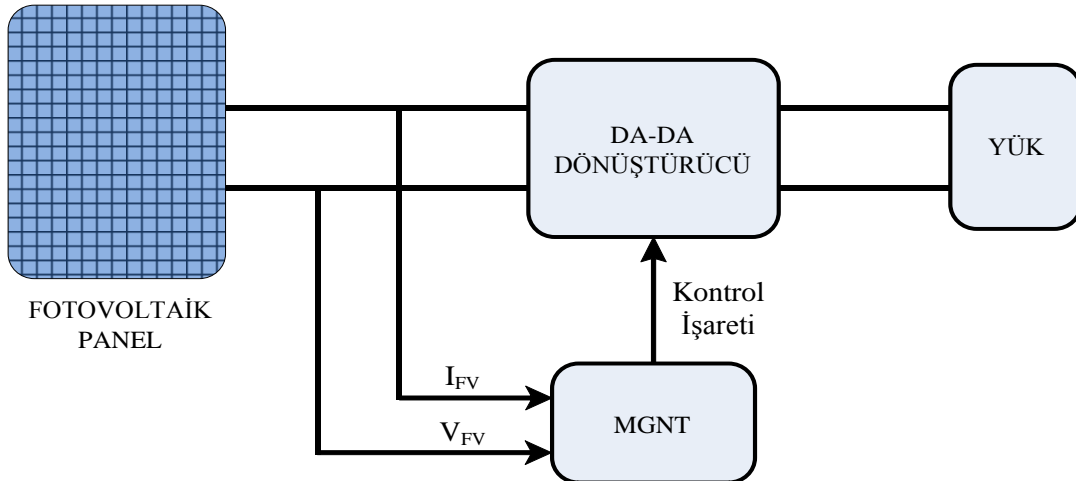
Sabit anahtarlama frekansındaki DGM ile anahtarlama, yarı iletken anahtarın iletimde ya da kesimde olduğunu belirleyen anahtar kontrol işareti, Şekil 1.26'de gösterilen taşıyıcı işaret ile kontrol işaretinin karşılaştırılması ile elde edilir.

1.8. Maksimum Güç Noktası Takibi

Güneş panelleri; fotovoltaik sistemlerin temel enerji dönüşüm bileşenleridir. Güneş panellerinin enerji dönüşüm verimliliği güneşlenme süresi, sıcaklık ve yük durumu gibi birçok dış faktöre bağlıdır. Orta ve büyük ölçekli sistemlerde maksimum güç eldesi için üç ana yaklaşım vardır. Bunlar güneş takip sistemleri, maksimum güç noktası takip (MGNT) sistemleri ya da her iki sistemin beraber kullanıldığı sistemlerdir.

MGN takibi ekonomik nedenlere bağlı olarak küçük ölçekli sistemler için tercih sebebidir. MGNT için en çok kullanılan algoritmalar değiştir-gözle(D&G), artan iletkenlik ve dinamik yaklaşım yöntemidir [86].

Fotovoltaik üretim sistemleri aktif olarak teşvik edilmektedir. Fotovoltaik üretim sistemlerinde başlıca iki büyük sorun bulunmaktadır. Birincisi; elektrik enerjisinin üretim verimliliği özellikle düşük güneş radyasyonu bir diğer deyişle ışık şiddeti gibi durumlarda çok düşüktür. İkincisi; güneş panelleri tarafından üretilen elektrik enerjisi miktarı hava koşullarına bağlı olarak sürekli değişmektedir [87]. Bu nedenle, maksimum güç noktası takibi (MGNT) kontrol yöntemi fotovoltaik üretim sistemlerinde gerçek zamanlı maksimum güç çıkışı sağlamak için vazgeçilmez olmaktadır. Günümüze kadar MGNT için birçok teknik önerilmiştir. Şekil 1.27’de MGNT kontrol yönteminin blok şeması verilmiştir.



Şekil 1.27. MGNT kontrol yönteminin blok şeması

Literatürde maksimum güç noktası takibi (MGNT) için geliştirilen yöntemler aktif ve pasif yöntemler olarak ikiye ayrılmıştır. Pasif yöntemler ışık şiddeti, sıcaklık ve modül ile ilgili bazı parametrelerin doğrudan veya matematiksel eşitliklerden faydalanılarak tahmin edilmesine dayanmaktadır [88]. Kullanılan parametreler seçilen modül için önceden hesaplanır ve bunun sonucunda maksimum güç noktası (MGN) tespit edilmeye çalışılır. Gün geçtikçe modülün veriminin düşmesi ve önceden belirlenen parametrelerin gerçekten uzak sonuçlar vermesi gibi nedenlerden dolayı (MGNT) işlemi tam olarak yapılamayabilir [89,90].

Aktif yöntemlerde ise fotovoltaik modüllerin karakteristik özelliklerinin dikkate alınmadığı, modülden bağımsız olarak modül ve/veya dönüştürücü devresinin çıkış akımı, gerilimi veya gücü gibi parametrelerinin sürekli olarak takip edilmesi ile (MGNT) işlemi gerçekleştirilir. Aktif yöntemler pasif yöntemlerden daha çok tercih edilmektedir [89-91].

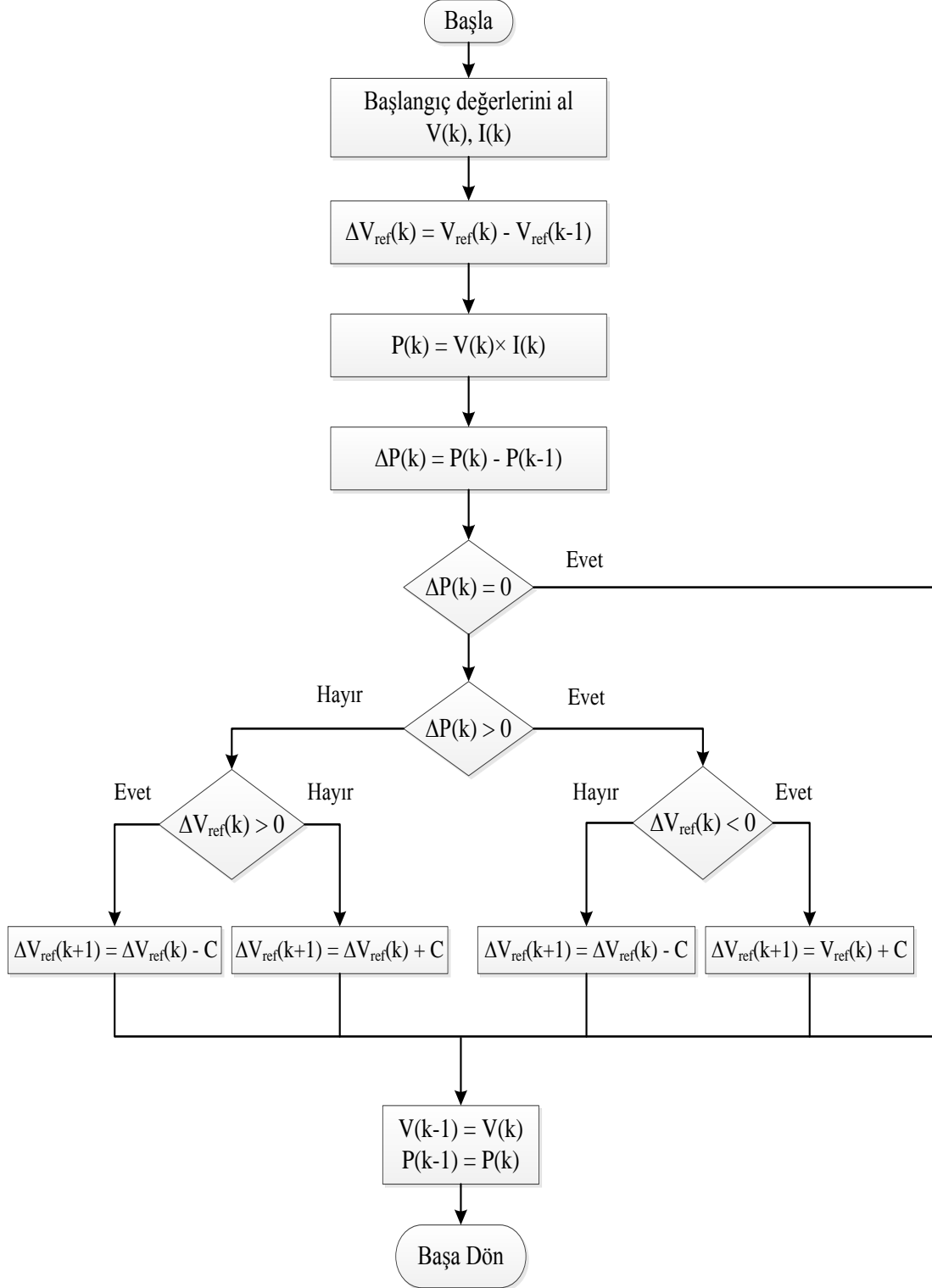
1.8.1. Değiştir-Gözle (P&O) Algoritması

Maksimum güç noktası takibi (MGNT) için kullanılan Değiştir-Gözle (D&G) yöntemi uygulama kolaylığı ve basitliğinden dolayı çok tercih edilmektedir [92-96]. Adından da anlaşıldığı üzere; D&G yönteminin çalışma prensibi, fotovoltaik kısmın belirlenen parametreleri değiştirilir (artırma/azaltma) ve yapılan değişikliğin fotovoltaik kısmın çıkış gücü üzerindeki etkisini gözlemlemeye dayanmaktadır.

Tepeye tırmanma (Hill Climbing) olarak da bilinen D&G algoritması, daha önce de bahsedildiği üzere fotovoltaik kısım ile konvertör arasındaki dc hatta yapılan değişiklik esasına dayanmaktadır [96]. Yani; D&G algoritmasıyla, kontrol edilen konvertörün doluluk boşluk oranı değiştirilir. Bu şekilde MGN'nin bulunması için fotovoltaik kısımda da değişiklik yapılmış olunur. Bu değişiklik farklı bir çıkış gücü ile yeni bir çalışma noktasının ortaya çıkmasına neden olmaktadır [97-102].

D&G maksimum güç noktası takibi (MGNT) yönteminde fotovoltaik kısmın küçük bir artışla değiştirilir ve güçte meydana gelen değişiklik " ΔP " ölçülüp belirlenir. Eğer ΔP pozitif ise; fotovoltaik çalışma noktası, çalışma gerilimindeki değişiklik sonucunda MGN'ye daha yakın bir noktaya taşınır. Böylece; aynı yönde gerçekleşen daha fazla gerilim değişikliği, çalışma noktasının MGN'ye doğru hareket etmesini sağlamaktadır. Eğer ΔP negatif ise; sistemin çalışma noktası MGN'den uzaklaşmaktadır ve değişimin

cebirsel işareti MGN'ye doğru geri dönmek için tersine olmalıdır [103,104]. Bu yöntemin akış şeması Şekil 1.28'de görülmektedir.



Şekil 1.28. D&G Algoritmasının akış diyagramı

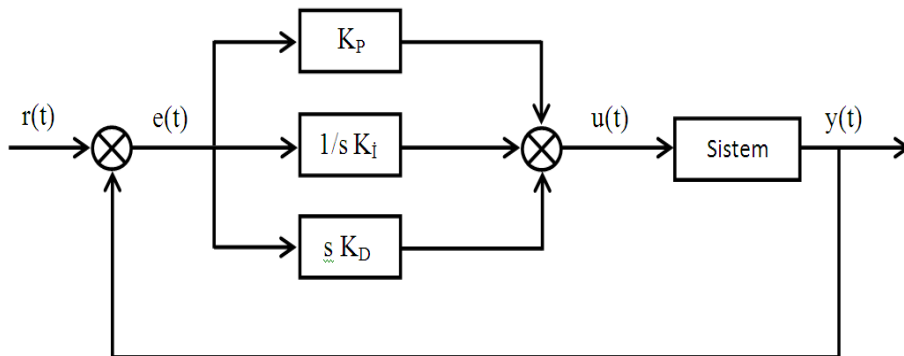
1.9. PID Kontrolör

PID kontrolör, kontrol sektöründe bugüne kadar en sık kullanılan kontrolör çeşididir [105,106]. 2006 yılında verilen rakamlara göre endüstrideki kontrol çevrimlerinin %90'ından fazlasının PID kontrolör kullandığı tahmin edilmektedir [107]. Yaygın kullanılmasının sebebi, birçok işletme koşullarındaki güçlü performansı ve basit yapısı olarak ifade edilmektedir [108]. PID kontrolör ya tek başına olarak ya da SCADA, PLC gibi kontrol yöntemleriyle birlikte sisteme uygulanabilmektedir.

PID kontrolör üç terime sahiptir. Birincisi; oransal terim olan “P” oransal kontrole dayanmaktadır. İkincisi; integral terimi olan “I” hatanın integralini veren kontrol etkisidir. Bu integral etkisi, sürekli hal hatasının sıfır olmasını veya çok küçük değerde kalmasını sağlar. Üçüncü terim, türevsel etki yapan “D” kontrol hatasının zamana göre türevi ile orantılıdır. Bu terim sonraki hatanın tahminine izin vermektedir [105,109,110].

Sonuç olarak PID kontrolör; temel kontrol etkileri olan orantı, integral ve türev etkilerini birleştiren bir sürekli kontrol yöntemidir. Bu demek oluyor ki kontrolörde sürekli olarak hata var olduğu sürece kontrol konutu da var olacaktır [111,112].

Denetlenecek sistem için belirlenen “ $r(t)$ ” referans değeri, sistemden ölçülen değer ile karşılaştırılarak, ikisi arasındaki fark alınıp “ $e(t)$ ” hata sinyali elde edilmektedir. Kontrolör “ $e(t)$ ” hata sinyaline göre “ $u(t)$ ” kontrol çıkış sinyali üretmekte ve hatayı en aza indirmeye çalışmaktadır. PID kontrolör çıkışındaki kontrol sinyali, daha önce bahsedilen üç terim ile ilişkilendirilerek hesaplanmaktadır [113].



Şekil 1.29. Kapalı çevrim PID kontrol blok diyagramı

Şekil 1.29’da $r(t)$ sistem için uygun görülen referans değerini, $e(t)$ sistemin hata sinyalini, $u(t)$ PID kontrolör çıkışını, $y(t)$ ise gerçek çıkış değerini ifade etmektedir. PID kontrolör daha önce de bahsedildiği üzere üç kontrol teriminden oluşmaktadır [111]. Bunlardan “P(t)” olarak ifade edilen oransal etki terimi, o andaki sinyalin hata sinyaline orantılı olduğu durumdur ve denklem (1)’deki gibi ifade edilir [114].

$$P(t) = K_p \times e(t) \quad (1.20)$$

Oransal kontrol hatayı giderici bir etki sağlamaktadır. “ K_p ” olarak ifade edilen oransal katsayı PID kontrolörün oransal kazancı olarak bilinmektedir. Kazanç arttıkça sistem cevabı, değişen referansa göre daha hızlı hale gelmekte ve kalıcı durum hatası küçülmekte, ancak sistem kararlılığı azalmakta, aşma ve salınımlar oluşmaktadır [113]. “ $I(t)$ ” ile ifade edilen integral etkisi, o zamana kadarki hata sinyalinin değişen değerlerine orantılı olduğu duruma karşılık gelmektedir. Denklem(2)’deki gibi ifade edilir [111].

$$I(t) = K_i \int_0^t e(t) dt \quad (1.21)$$

$P(t)$ olarak ifade edilen oransal kontrolün hatayı belirli bir oranda azaltmasına rağmen hatanın sıfır olmasını sağlayamamaktadır. Fakat hatanın sıfıra yaklaştırılması işleminde kontrol sistemine $I(t)$ olarak ifade edilen integral teriminin eklenmesiyle daha iyi sonuçlar alınabilmektedir. Sisteme uygun belirlenen integral kazanç sabiti “ K_i ” ile hata sıfıra indirilebilirken, K_i arttıkça salınımlar ve kararsızlık oluşacaktır [113]. Oluşan bu durumların önüne geçmek için kontrolöre çoğu zaman türev etkisinin eklenmesi gerekmektedir. $D(t)$ ile ifade edilen türev etkisi, o andaki hata sinyalinin değişim hızı ile orantılı olup denklem (3)’de gösterilmiştir.

$$D(t) = K_D \frac{d}{dt} e(t) \quad (1.22)$$

Daha önce de bahsedilen $P(t)$ ve $I(t)$ terimlerine $D(t)$ türev teriminin eklenmesiyle, kararlılık artmaktadır. Yüksek kazançlı oransal ve/veya integral terimleri sonucu oluşan aşmayı azaltmaktadır ve sistemin cevap hızı artmaktadır. “ K_D ” türevsel kazanç sabiti eğer

küçük seçilmişse gidermesi gereken aşma devam edebilirken, yüksek seçilmesi sonucunda ise sistem cevabının yavaş olmasına neden olmaktadır.

Toplam kontrol etkisi $u(t)$ aşağıdaki denklemlerle ifade edilmektedir.

$$u(t) = P(t) + \dot{I}(t) + D(t) \quad (1.23)$$

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int_0^t e(t) dt + K_D \frac{d}{dt} e(t) \quad (1.24)$$

$u(t)$ 'nin lablace dönüşümü alındığı takdirde, PID kontrolörün en genel şekli elde edilmiş olur.

$$U(s) = K_P + K_I/s + sK_D \quad (1.25)$$

1.9.1. PID Parametrelerinin Ayarlanması

PID kontrol tekniği; aşmanın azaltılması, yükselme zamanının hızlandırılması ve kararlı hal hatasını ortadan kaldırmak gibi sistem özelliklerini kontrol etmek ve arttırmak için uygulanır. PID parametrelerinin her biri için kontrol sistemlerinin özelliklerini geliştirmeye yarayan belirli kıstaslar mevcuttur [115]. PID denetiminin kullanıldığı sistemlerde, sistem için gerekli olan amaca uygun bir denetim sağlayabilmek için, PID denetleyicinin temel yapısını oluşturan üç adet parametrenin dikkatli ve uygun şekilde belirlenmesi gerekir. Bahsedilen bu parametreler; “ K_p ” orantı kazanç sabiti, “ K_i ” integral kazanç sabiti ve “ K_d ” türev kazanç sabitidir. Bu parametrelerin uygun şekilde elde edilebilmesi amacıyla ortaya çıkan çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmalara örnek olarak Ziegler- Nichols (Z-N) Metodu [116], Cohen- Coon Metodu [117], dâhili modele dayalı yaklaşım (Internal Mode Control, IMC) [118] ile kazanç-faz paylarını dikkate alan metot [119] sayılabilir.

PID denetleyici parametrelerinin ayarlanmasında geleneksel PID ayarlama tekniklerinin yanı sıra yapay zekâya dayalı yaklaşımlar da sıklıkla kullanılmaktadır [96-98]. Chen ve Huang, yüksek duyarlılıkta konumlandırma tablosu için gerçek kodlu genetik algoritma kullanarak PID tasarımı gerçekleştirmiştir [123]. Shen, kontrol parametrelerini belirlemede bulanık sinir ağlarını kullanmıştır [124]. Karaboğa ve Kalınlı, PID tasarımı için tabu araştırma algoritmasına dayalı bir yaklaşım önermişlerdir [125]. Bunların dışında PID parametrelerinin ayarlanmasına yönelik PSO algoritmasına dayanan birçok çalışma bulunmaktadır [126-128]. PID parametreleri ayarlanırken klasik yöntemler ve yapay zekaya dayalı yani bir diğer deyişle optimizasyon tabanlı yöntemler kullanılmaktadır. PID parametre ayarlaması yapılırken, optimizasyon tabanlı yapay zekaya dayalı yöntemlerde, çoğu zaman yapılacak parametre ayarlaması için performans indeksleri kullanılmaktadır. Performans indeksi olarak adlandırılan fonksiyonun tanımı, yapay zekaya dayalı optimizasyonun da kullanılmasıyla kontrolör tasarım işlemi için optimum sonuca ulaşmayı mümkün kılmaktadır. Performans indeksi, sistemi gerçeklemeye çalışan bazı performans karakteristikleri içerir. Bu fonksiyon kontrolör parametrelerine dayanmaktadır ve nümerik olarak optimize edilir.

Bu işlem, istenilen sistem cevabı için en uygun kontrolör parametrelerini vermektedir. Performans indeksi sistem parametrelerine göre en küçük değerlere ayarlanırsa, sisteme optimal kontrolör sistemi adı verilir. Performans indeksi daima pozitif ya da sıfırdır. Yani, ideal sistem bu indeksi minimize eden bir sistem olarak tanımlanır. Genellikle kontrolörün, kontrol edilen çıkış “ $y(t)$ ” ve referans “ $r(t)$ ” arasındaki fark olan hata işaretini minimize etmesi gerekir. Böylece bir sistemin zaman cevabını tanımlayan uygun ölçüt; genellikle hatanın integrali ve ağırlıklı çarpımları olarak verilen bir fonksiyon olarak tanımlanır [129,130]. Bundan dolayı, bir optimum dinamik performans, fonksiyonun minimum değerini veren zaman cevabı olarak alınabilir. İntegral performans ölçütü değişik şekillerde açıklanabilir ve seçilen performans indeksi değişen kontrolör parametreleri ile minimize ediliyorsa böylece bu kontrol sisteminin optimal olduğu düşünülür. Baya uzun yıllardır sistem optimum geçici hal cevabına yönelik tasarım ölçütü geliştirmek için birçok yaklaşım kullanılmaktadır. 1953'te Graham ve Lathrop tarafından önerilen hatanın karesinin integrali (ISE) ve hatanın mutlak değerinin integrali (IAE) ölçütleri en sık kullanılan iki performans ölçütüdür [131,132].

$$ISE = \int_0^t e(t)^2 dt = \int_0^t (r(t) - y(t))^2 dt \quad (1.26)$$

$$IAE = \int_0^t |e(t)| dt = \int_0^t |r(t) - y(t)| dt \quad (1.27)$$

Fakat bu ölçütler zaman faktörü içermediğinden, tüm hataları eşit bir şekilde değerlendirerek salınımlı basamak cevabı vermektedir. Bu dezavantajı gidermek için, ilk anlardaki hatalara karşı daha toleranslı olup, zamanın ilerlemesiyle doğru orantılı olarak hatanın daha fazla dikkate alındığı yöntemler geliştirilerek hatanın optimal bir şekilde minimize edilmesi sağlanmıştır. Bu doğrultuda, (ISE) ve (IAE) ölçütlerine, zamanın uygun bir ağırlık faktörü olarak eklenmesiyle zaman ağırlıklı hatanın karesinin integrali (ITSE), zaman ağırlıklı hatanın mutlak değerinin integrali (ITAE) performans ölçütleri elde edilmiştir [131].

$$ITAE = \int_0^t t |e(t)| dt = \int_0^t t |r(t) - y(t)| dt \quad (1.28)$$

$$ITSE = \int_0^t t e(t)^2 dt = \int_0^t t (r(t) - y(t))^2 dt \quad (1.29)$$

1.10. Parçacık Sürü Optimizasyonu

Birçok alanda olduğu gibi mühendislik alanında da, doğadaki sürülerin karakteristik özellikleri ve davranışları çeşitli optimizasyon yöntemleri aracılığıyla kullanılmaktadır. Doğadaki sürülerin davranışlarından, başka bir deyişle kendi problemlerini çözüme ulaştırırken çözüm için en iyi sonuçları seçmesi ve çeşitli problemleri çözerken sergiledikleri davranışlar göz önüne alınarak çeşitli optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Karınca sürülerinin yaşadıkları koloniden besin bulunan bölgeye gitmeleri için en kısa yolu bulmasından, kullanmasından esinlenerek ortaya konulan karınca kolonisi optimizasyonu yöntemi, bal arılarının beslenme davranışlarından esinlenerek ortaya atılan arı kolonisi optimizasyonu yöntemi [133,134], kuş sürülerinin besin bulmak amacıyla

gösterdikleri davranışlardan esinlenerek ortaya çıkmış olan parçacık sürü optimizasyon yöntemi bu yöntemlerin başında gelmektedir [135].

Parçacık sürü optimizasyonu (PSO) 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından geliştirilen evrimsel hesaplama tekniğidir [136]. Parçacık sürü optimizasyonu; diğer evrimsel hesaplama tekniklerinde de olduğu gibi popülasyon temelli bir algoritmadır. 1998'den bu yana parçacık sürü optimizasyonu ile ilgili çalışmalar, Evrimsel Hesaplamalar Kongresi başta olmak üzere birçok konferansta ve kongrede tartışılmıştır. Parçacık sürü optimizasyonunu konu alan ilk kitap James Kennedy, Russell Eberhart ve Yui Shi tarafından Sürü Zekâsı (Swarm Intelligence) adıyla yayımlanmıştır [137]. Parçacık sürü optimizasyonu algoritması, kuşların sosyal yaşamlarının örnek gösterilebileceği sürü psikolojisi temelli bir algoritmadır. Kuş sürüsünün bir bölgede yiyecek arayışı, sürüyü oluşturan kuşların o bölgeye rastgele dağılımı ile gerçekleşir. Sürüdeki kuşlar eş zamanlı olarak farklı yönlerde arama bölgesine yayılırlar ve yiyecek ararlar. Daha sonra bir araya gelerek yiyeceğin konum bilgisini paylaşırlar. Bu durumun sonucunda sürüdeki kuşların yiyeceğe olan mesafeleri ve bu yiyeceğe en yakın olan kuşun konumu öğrenilmiş olur [138]. Gerçek hayattaki kuşlar, parçacık sürü optimizasyonu algoritmasında parçacık adını alır ve her bir parçacığın konumu bir çözümü ifade eder. Parçacığın pozisyon değiştirme miktarı ise parçacığın hızı olarak tanımlanır. Bütün parçacıklar kendi elde ettikleri en iyi konum değerini ve sürüde elde edilen en iyi konum değerine sahip parçacığı referans alarak çözüme ulaşmaya çalışırlar.

Parçacık sürü optimizasyonunun klasik optimizasyon tekniklerinden en önemli farklılığı türev bilgisine ihtiyaç duymamasıdır. Parçacık sürü optimizasyonunda ayarlanması gereken parametre sayısının az olması nedeniyle diğer optimizasyon yöntemlerine göre uygulanması daha kolay olan bir optimizasyon yöntemidir. Diğer bir özelliği ise parçacıklar hem kendi en iyi pozisyon değerini hem de sürüdeki diğer komşularının en iyi pozisyon değerlerini hatırladıkları için iyi bir hafıza yeteneğine sahiptir. Parçacık sürü optimizasyonu yöntemi; fonksiyon optimizasyonu, kontrole dayalı sistemler, yapay sinir ağı eğitimi gibi bir çok mühendislikle ilgili alanlarda başarıyla uygulanmaktadır [139-141].

1.10.1. Parçacık Sürü Optimizasyonu Genel İşleyişi

Parçacık sürü optimizasyonu, parçacıkların başlangıçta rastgele pozisyon ve hız değerleri olarak arama işlemine başlayıp, güncellemelerle optimum çözüm bulmaya çalışması olarak ifade edilir. Her güncellemede yani diğer bir deyişle her iterasyonda parçacık konumları iki en iyi değere göre güncellenir [142,143]. Birincisi; “Pbest” olarak adlandırılan, o zamana kadar parçacığın elde ettiği en iyi çözümü sağlayan koordinatlarıdır. Bu değer hafızada tutulur. İkinci en iyi değer ise, parçacık sürüsünün o zamana kadar elde ettiği en iyi çözümü sağlayan koordinatlarıdır. Bu değer de “Gbest” olarak ifade edilir [144,145]. Parçacık sürü optimizasyonu algoritmasında parçacıklar hız ve konumlarını her iterasyonda değiştirirler. Hız güncelleme işlemi üç kısımdan oluşmaktadır. Hız güncelleme denklemindeki ilk kısım bir önceki hızın “eylemsizliğini” göstermektedir. Hız aniden değişmez, maddelerin bir eylemsizliği bulunmaktadır. Yani mevcut hızdan değişim olmaktadır. İkinci kısım parçacığın kendi kendine düşünmesini ve kendi geçmiş tecrübesini gösteren kısımdır. Üçüncü kısım ise parçacıklar arasındaki işbirliğini temsil eden “sosyalleşme” kısmıdır. Bu kısım ile parçacıklar sürünün tecrübesinden yararlanırlar [146].

Parçacık sürü optimizasyonu algoritmasının en temel yapısı üç adımdan oluşmaktadır. Birinci adım; parçacıkların konumlarının ve hızlarının oluşturulması, ikinci adım; parçacıkların hızlarının güncellenmesi ve son adım olarak da parçacıkların konumlarının güncellenmesidir. Parçacıklar konumlarını her iterasyonda güncellenen hızları dikkate alarak değiştirirler. Aşağıda verilen denklemler parçacıklara başlangıç konumu ve hızı atanırken kullanılır [147].

$$V_{ij}^{k+1} = W \times V_{ij}^k + C_1 \times r_1 (P_{ij} - X_{ij}^k) + C_2 \times r_2 (Gbest_i - X_{ij}^k) \quad (1.30)$$

$$X_{ij}^{k+1} = X_{ij}^k + V_{ij}^{k+1} \quad (1.31)$$

k : iterasyon sayısı

j : 1,2,...,d

d boyutlu bir problemde sürüdeki i . parçacığın konum vektörü $X_{ij} = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{id})$ olarak tanımlanmaktadır. Sürüde en iyi uygunluk değerine sahip olan parçacık “G_{best}”

(küresel en iyi) olarak tanımlanmaktadır. Sürüdeki her bir parçacığın elde ettiği en iyi uygunluk değeri de “P_{best}” (kişisel en iyi) olarak tanımlanmaktadır. Buna göre sürüde bulunan *i*. parçacığın P_{best} değerleri $P_{ij} = (P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{id})$ olarak ifade edilmektedir. Sürüdeki *i*. parçacığın yer değişim vektörü yani hız vektörü ise $V_{ij} = (V_{i1}, V_{i2}, \dots, V_{id})$ olarak tanımlanmaktadır. Denklem (1.30) sonucunda *k*. iterasyonda *i*. parçacığın (*k*+1). iterasyondaki hız vektörü bulunmuş olur. Formül (2)'de ise bulunan hız vektörü (V_{ij}^{k+1}), *i*. parçacığın *k*. iterasyondaki pozisyon vektörüne eklenerek (*k*+1). İterasyondaki pozisyon vektörü (X_{ij}^{k+1}) bulunmuş olunur. Bulunan bu pozisyon vektörü probleme yeni bir çözüm önerisi demektir.

$$V_{ij}^{k+1} = \underbrace{W \times V_{ij}^k}_{\text{Eylemsizlik Bileşeni}} + \underbrace{C_1 \times r_1 (P_{ij} - X_{ij}^k)}_{\text{Anlama Bileşeni}} + \underbrace{C_2 \times r_2 (Gbest_i - X_{ij}^k)}_{\text{Sosyalleşme Bileşeni}}$$

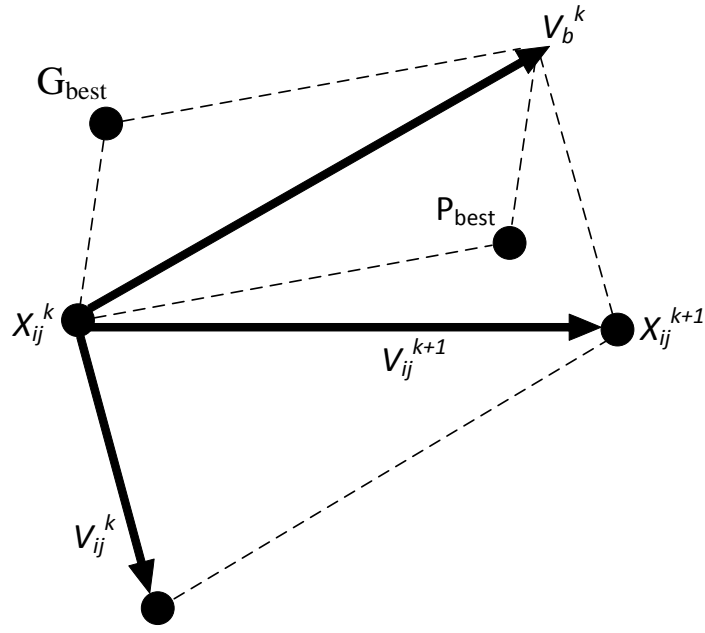
(Parçacığın Hareketine Kendi Tecrübesinin Etkisi) (Parçacığın Hareketine Sürü Tecrübesinin Etkisi)

Şekil 1.30. PSO hız güncelleme denklemi bileşenleri

Hız güncelleme denklemi bileşenleri aşağıda açıklanmaktadır.

- V_{ij}^{k+1} = *i*. parçacığın *k*+1 iterasyonundaki hızı
- W = Atalet ağırlık katsayısı
- $W \times V_{ij}^k$ = Mevcut hareket (Eylemsizlik bileşeni)
- C_1 ve C_2 = Hızlandırma katsayıları
- $C_1 \times r_1 (P_{ij} - X_{ij}^k)$ = Parçacığın hareketine kendi tecrübesinin etkisi
- $C_2 \times r_2 (Gbest_i - X_{ij}^k)$ = Parçacığın hareketine sürü tecrübesinin etkisi

Bir parçacığın (1.30) denklemindeki üç terime bağlı olarak ve (1.31) pozisyon güncelleme denklemine göre hareketi Şekil 1.31’de gösterilmiştir.



Şekil 1.31. Parçacığın konum değiştirmesinin vektörel ifadesi

X_{ij}^k = i . parçacığın k . iterasyondaki konumu

V_{ij}^k = i . parçacığın k . iterasyondaki hızı

G_{best} = Sürüdeki en iyi konuma sahip parçacığın konumu

P_{best} = i . parçacığın kişisel en iyi konumu

V_b^k = k . iterasyonda G_{best} ve P_{best} bileşkesi

X_{ij}^{k+1} = i . parçacığın $(k+1)$. iterasyondaki konumu

V_{ij}^{k+1} = i . parçacığın $(k+1)$. iterasyondaki hızı olarak tanımlanır.

1.10.2. PSO Kontrol Parametreleri

Parçacık sürü optimizasyonu algoritmasında ayarlanması gereken çok fazla kontrol parametresi bulunmamaktadır. Parçacık sürü optimizasyonu algoritmasında ayarlanması gereken başlıca kontrol parametreleri; parçacık sayısı, parçacık boyutu, hızlandırma katsayısı, atalet ağırlığı katsayısı olarak tanımlanmaktadır.

1) Parçacık Sayısı: Parçacık sayısında belirli bir sınır değeri bulunmamaktadır. Çözülmesi gereken problemde probleme göre parçacık sayısının farklılık gösterdiği bilinmektedir. Bazı özel ve zor problemler için 100 ile 200 veya daha fazla parçacık

kullanılabilir. Parçacık sayısı problemin çözümünde etkili unsurlardan bir tanesi olarak görülmektedir.

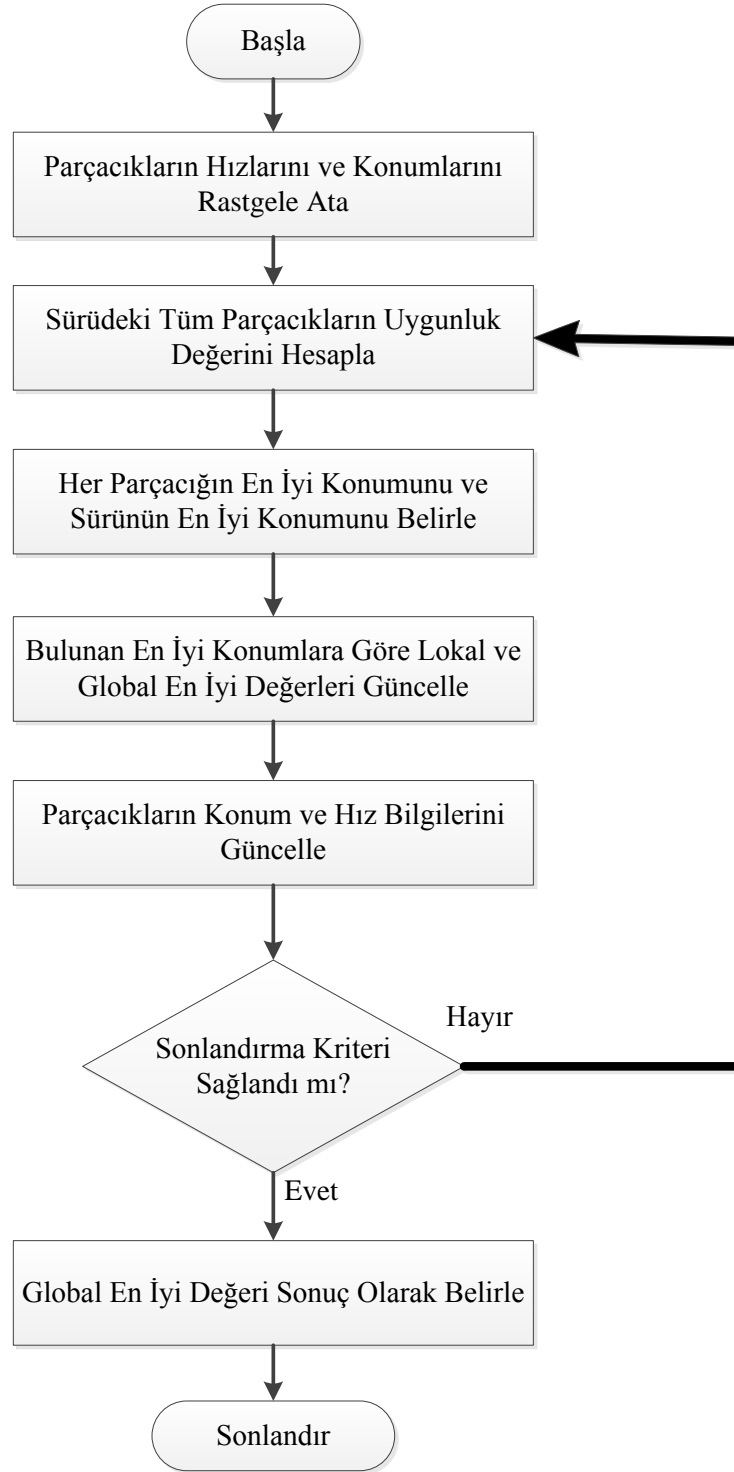
2) Parçacık Boyutu: Parçacık boyutu herhangi bir problemde optimize edilmesi istenen parametre sayısı olarak ifade edilebilir. Bundan dolayı optimize edilecek probleme göre değişim göstermektedir.

3) Hızlandırma katsayıları: Hızlandırma katsayıları olarak bilinen “ C_1 ve C_2 ” katsayıları parçacık sürü optimizasyonunda önemli yer tutmaktadır. Bu katsayılardan birincisi olan “ C_1 ” hızlandırma katsayısı parçacıkların “ P_{best} ” değerine doğru çekilmesini kontrol ederken, bu katsayılardan ikincisi olan “ C_2 ” hızlandırma katsayısı parçacıkların “ G_{best} ” değerine doğru çekilmesini kontrol etmektedir. Hızlandırma katsayılarının çok büyük değerde seçilmeleri sürüdeki parçacıkların üzerinde negatif etki yaratarak birbirlerinden uzaklaşıp ayrılmalarına sebep olmaktadır. Bu katsayıların çok küçük değerde seçilmeleri ise sürüdeki parçacıkların hareket kabiliyetlerinin düşmesine ve çözüm uzayının parçacıklar tarafından yeterince taranamamasına sebep olmaktadır. Bu katsayıların birbirlerine eşit olma zorunluluğu bulunmamakla birlikte genelde $C_1=C_2=2,0$ değeri tercih edilmektedir [148,149].

4) Atalet Ağırlığı Katsayısı: Temel parçacık sürü optimizasyonu algoritması Kennedy ve Eberhart tarafından ilk olarak ortaya atıldığında, algorithmada atalet ağırlığı katsayısı diye bir şey bulunmamaktaydı [150]. İlk olarak Eberhart ve Shi tarafından yapılan bir çalışmada hız güncelleme formülünün birinci kısmına bir çarpan olarak eklenmiştir [151]. Atalet ağırlığı katsayısı parçacıkların her bir iterasyonda güncelleme hızlarını belirlerken, mevcut hızlarını da ölçeklemede kullanılır. Böylelikle, atalet ağırlığı katsayısı kullanılarak parçacığın bir önceki hızının yeni hızına etkisi kontrol altına alınmış olunur. Atalet ağırlığı katsayısının uygun bir değer seçilmesi optimum çözüm için önemlidir. Atalet ağırlığı katsayısı global(küresel) ve lokal(kişisel) arama yeteneği arasındaki dengeyi sağlamaktadır. Atalet ağırlığı katsayısının seçimi aramanın türünü etkilemektedir. Atalet ağırlığı katsayısının 0,5-2,5 değerleri arasında yüksek bir değer seçilmesi durumunda algoritma tarafından küresel bir arama gerçekleştirilirken 0,1-0,5 değerleri arasında küçük bir değer seçilmesi durumunda ise algoritma yerel bir arama gerçekleştirmektedir [136,152]. Bahsedildiği gibi atalet ağırlığı katsayısı algorithmada sabit değerli seçilebileceği gibi, başlangıçta büyük bir değer atanarak iterasyon ilerledikçe azaltılacak şekilde dinamik olarak da kullanılabilir [151].

Parçacık sürü optimizasyonu algoritması adım adım aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- 1) Popülasyondaki parçacıkların başlangıç konumları ve hızları rastgele belirlenir.
- 2) Popülasyondaki parçacıkların taşıdıkları parametreler, parçacık sürü optimizasyonu algoritmasının uygulanacağı sisteme özgü uygunluk fonksiyonu ile değerlendirilip, her parçacık için bir uygunluk değeri elde edilir.
- 3) Her bir parçacık için belirlenen uygunluk değerine göre, her bir parçacığın lokal(kişisel) en iyi konumları " P_{best} " ve sürünün en iyi konumu " G_{best} " belirlenir.
- 4) Her parçacık için uygunluk fonksiyonuna göre belirlenen " P_{best} " değeri bir önceki uygunluk değeri ve konuma göre daha iyi ise bu yeni değer " P_{best} " olarak atanır. Her iterasyonda bu güncelleme devam eder.
- 5) Belirlenen " P_{best} " ve " G_{best} " değerleri karşılaştırılır. Eğer " P_{best} " değeri " G_{best} " değerinden daha iyi ise P_{best} 'in değeri G_{best} olarak atanır.
- 6) Parçacıkların hızları ve konumları güncellenir.
- 7) Sonlandırma kriteri sağlanmış ise algoritma sonlandırılır, aksi halde 2. adımdan itibaren aynı işlemler uygulanmaya devam edilir.
- 8) Sonuçta elde edilen global(küresel) en iyi değer " G_{best} ", problemin optimum çözümü olarak atanır.

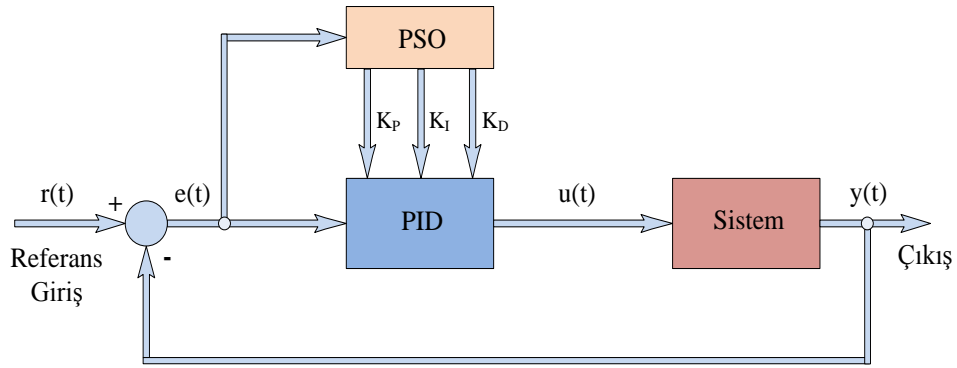


Şekil 1.32. Parçacık sürü optimizasyonu akış diyagramı

Bu işlemler sonucunda parçacık sürü optimizasyonu algoritması uygulanan sisteme ait optimal sonuçlar elde edilmiş olunur. Parçacık sürü optimizasyonu, diğer optimizasyon yöntemlerine göre daha basit ve daha az iterasyonla uygun sonuca ulaşabilen bir algoritma olması nedeniyle son yıllarda birçok alanda kullanılan bir yöntem olmuştur [153].

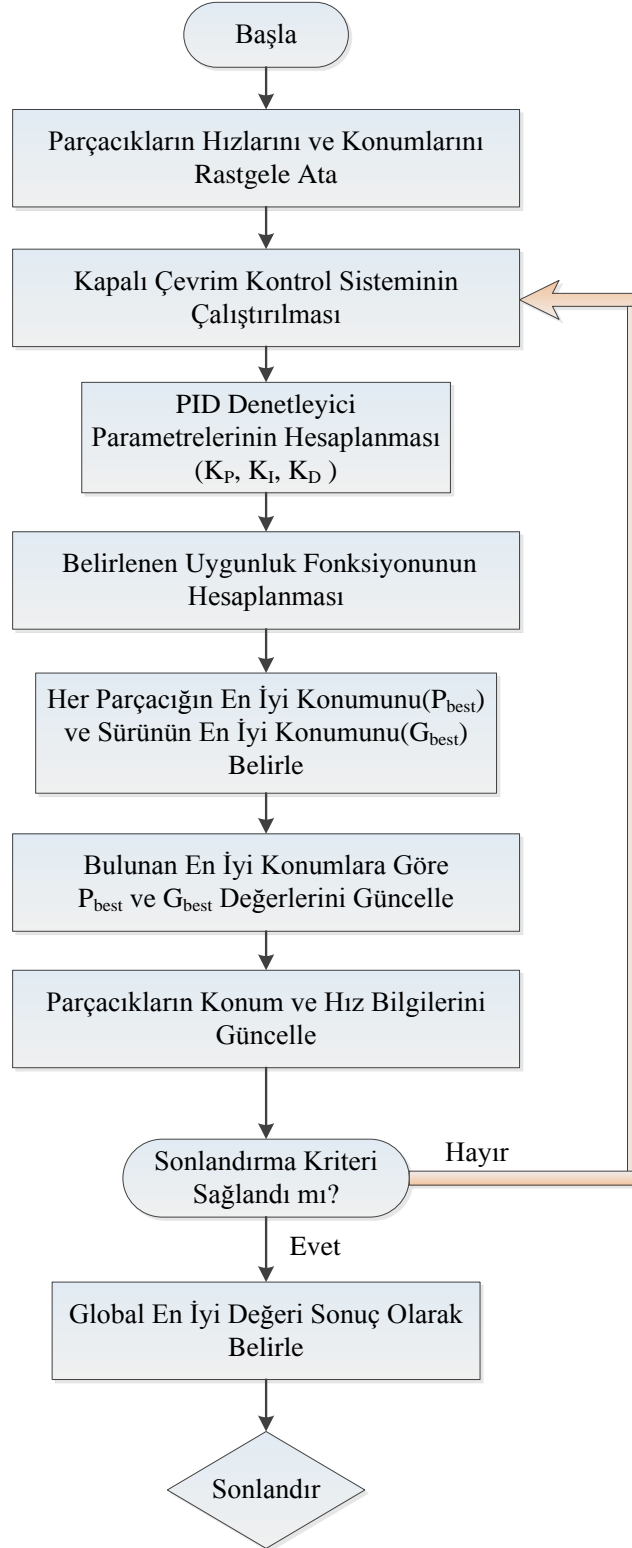
1.10.3. PSO ile PID Parametrelerinin Ayarlanması

PID parametrelerinin ayarlanması yapılırken optimizasyon tabanlı yapay zekaya dayalı yöntemlerden bir tanesi olan Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO) çoğu zaman tercih edilen bir yöntemdir. PSO ile PID parametrelerinin ayarlanması, aynı zamanda optimum parametre değerleri hedef alınarak parametrelerin optimize edilmesi üzerine birçok çalışma literatürde yer almaktadır [154-160]. Şekil 1.33’de PID parametrelerinin PSO algoritması ile ayarlanması ve optimize edilmesine ilişkin blok diyagram verilmiştir.



Şekil 1.33. PSO ile PID parametrelerinin ayarlamasına ilişkin blok diyagram

PID parametrelerinin ayarlanabilmesi için bir uygunluk fonksiyonu seçilerek minimize edilmesi gerekmektedir. Bu uygunluk fonksiyonu çoğunlukla kapalı çevrim PID kontrol sisteminin performans ölçütleri arasından seçilmektedir. En çok kullanılan performans ölçütlerinin ISE, IAE, ITSE, ITAE olduğu bilinmektedir [161-167]. PID parametrelerinin ayarlanmasının anlatıldığı bölümde bu performans ölçütlerine dair detaylı bilgi verilmiştir. Şekil 1.34’de PID parametrelerinin PSO algoritmasıyla ayarlanıp optimize edilmesine ilişkin akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 1.34. PID parametrelerinin PSO ile ayarlanmasına ilişkin akış diyagramı

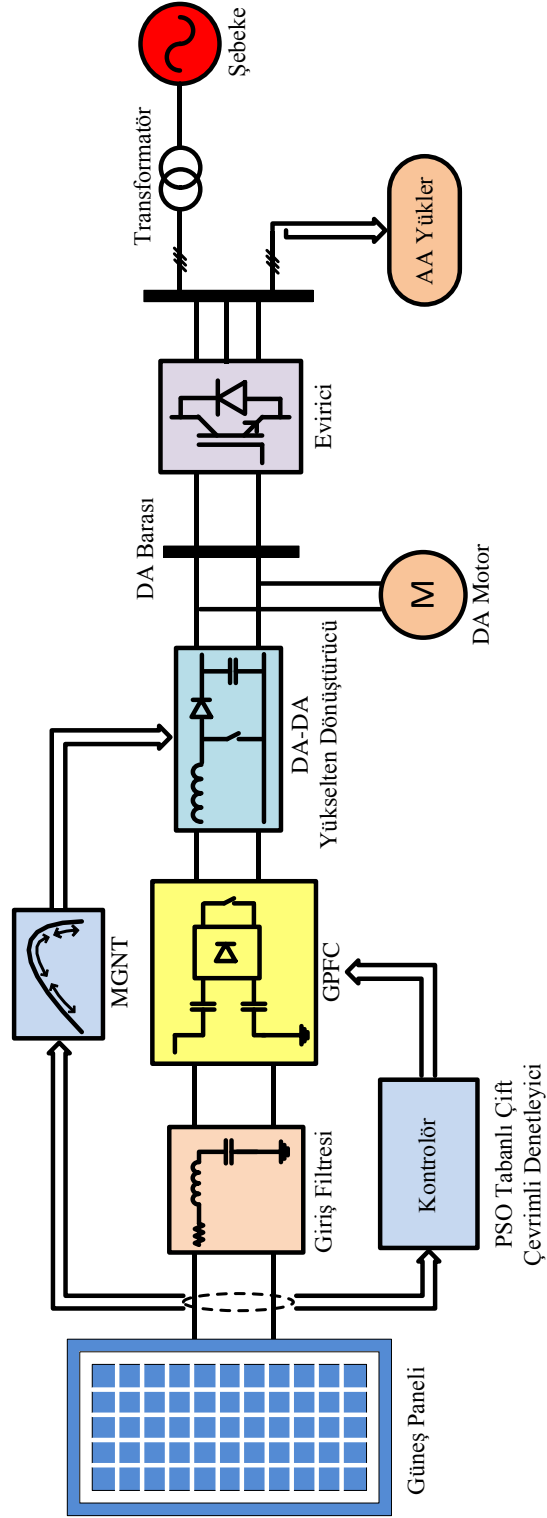
1.11. Aktif Güç Filtreleri

Teknolojide yaşanan hızlı gelişmelerle birlikte gerek elektrik enerjisindeki artan talep, gerekse güç elektroniği elemanlarının daha yaygın ve daha aktif bir şekilde günlük hayatımıza girmeye başlaması ile birçok farklı yeni sorun karşımıza çıkmaktadır. Güç sistemlerindeki kayıplar, gerilim düşümleri, güç faktörünün değişmesi, harmonikler gibi teknik ve ekonomik problemler, karşımıza çıkan sorunlara örnek gösterilebilir. Bu sorunların temelini oluşturan manyetik ve elektrik devrelerindeki doğrusal olmayan değişimler aktif ve pasif güç filtreleriyle giderilmeye çalışılmaktadır. Aktif güç filtresi (AGF) geniş kapsamlı bir ifade olmakla beraber, güç yarı-iletkenleri ile enerji depolayan pasif devre elemanlarının birlikte çalıştığı güç elektroniği devrelerini içermektedir. Aktif güç filtreleri; akım ve gerilim harmoniklerinin süzülmesi, reaktif güç kompanzasyonu, gerilim kırışımlarının bastırılması, akım ve gerilim dengesizliklerinin dengelenmesi gibi pek çok güç kalitesi probleminin çözümünde tek başına veya çeşitli aktif güç filtresi yapılarının birleştirilmesi ile kullanılmaktadır. Gelişen güç elektroniği teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak 1980'li yılların başlarından itibaren kullanımı pratik bir değer kazanmış ve endüstriyel tesislerde kullanılmaya başlanmıştır. Bu filtreler; ileri güç elektroniği temellerine dayanırlar ve pasif filtrelerden daha kullanışlı fakat daha pahalıdırlar.

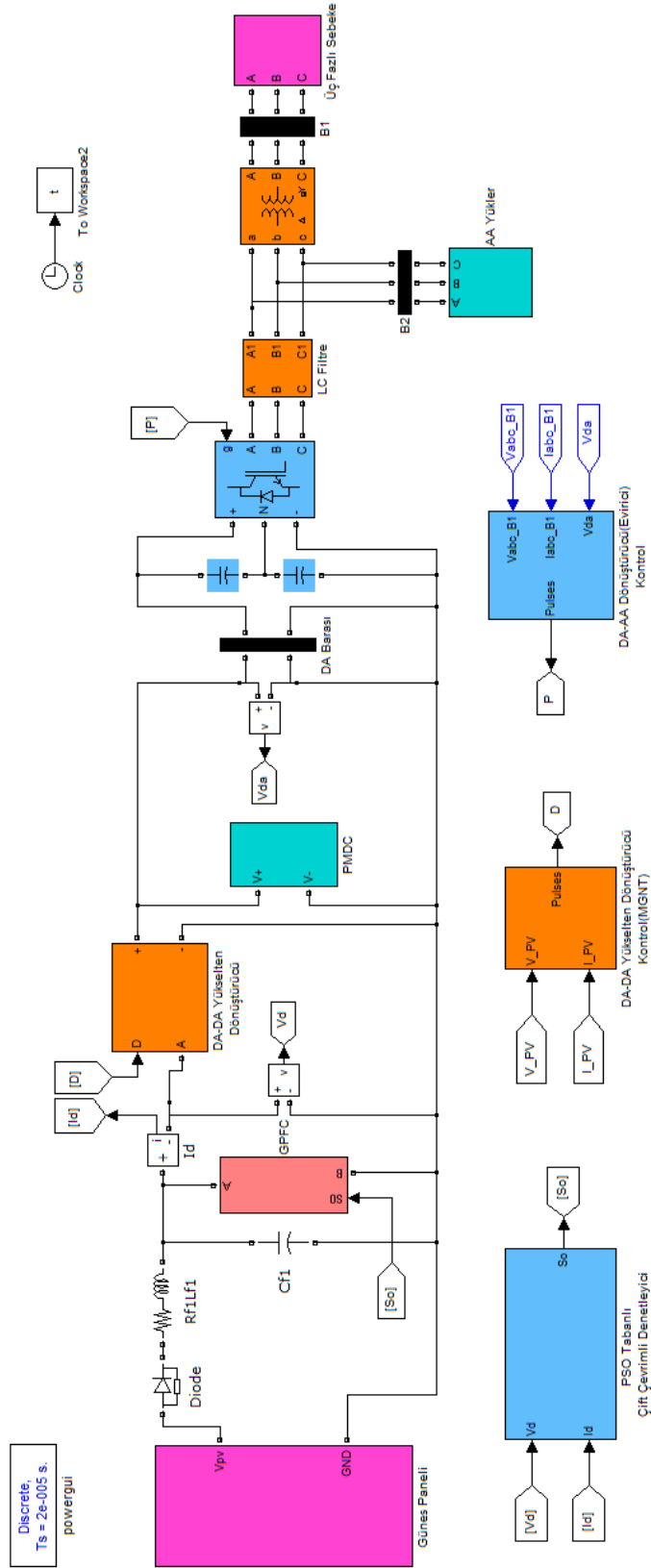
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Giriş

Yapılan bu tez çalışmasında; şebeke bağlantılı fotovoltaik güç sisteminde literatürde Green Plug Filter Compensator (GPFC) olarak bilinen aktif güç filtresi kullanarak sabit DA gerilim elde etmek için gerekli tasarımlar ve benzetimler gerçekleştirilmiştir. Sistemin genel yapısı Şekil 2.1' de verilmiştir. Sistemde güneş panelinden üretilen DA gerilimin, tasarlanan PSO tabanlı aktif güç filtresi ile istenmeyen etkileri filtre edilmektedir. Bu işlemten sonra filtre edilen gerilim tasarlanan DA-DA yükselten dönüştürücüyle istenilen değerde sabitlenmeye çalışılmıştır. DA-DA yükselten dönüştürücünün anahtarlama işlemi için gerekli olan doluluk boşluk oranı “D” klasik değiştir-gözle(D&G) algoritması tabanlı MGNT bloğu ile kontrol edilmektedir. Elde edilen sabit DA gerilim ile DA yükler beslenip, DA-AA dönüştürücü üzerinden alternatif gerilime dönüştürülerek hem hibrid yükler beslenmektedir hem de şebekeye enerji aktarılmaktadır. Tezin ana konusunu oluşturan PSO tabanlı anahtarlama güç filtresinin kurulan bu sistemdeki etkisi farklı koşullarda incelenmiştir. Öyle ki farklı atmosfer koşullarında yani değişken ışınım ve/veya sıcaklık durumunda ve değişken yük durumunda PSO tabanlı anahtarlama güç filtresinin sisteme etkisi gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalar Matlab/Simulink ortamında tasarlanıp, elde edilen sonuçlar verilmiştir. Kurulan sistemin Matlab/Simulink modeli Şekil 2.2' de verilmiştir.



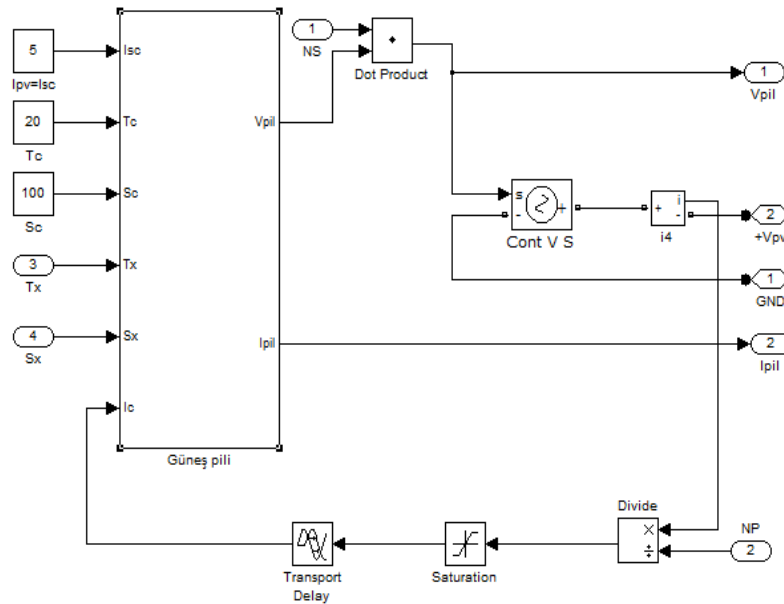
Şekil 2.1. Şebeke bağlantılı fotovoltaik güç sisteminin genel yapısı



Şekil 2.2. Kurulan sistemin Matlab/Simulink modeli

2.2. Güneş Pilinin Modellenmesi

Sistemde kullanılan fotovoltaik güneş pili, Bölüm 1.4’de fotovoltaik güneş pillerinin yapısı, çalışması ve eşdeğer devre modelleri üzerine verilen detaylı bilgiler doğrultusunda Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Literatürde fotovoltaik güneş pillerini akım veya gerilim kaynağı olarak temsil eden çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada literatürde en yaygın fotovoltaik güneş pili eşdeğer devre modeli olan akım kaynağı ile temsil edilen güneş pili yapısıdır. Bölüm 1.4.2’de verilen denklemler, Matlab/Simulink ortamında yapılan bu modellenmeye temel oluşturmuştur. Bölüm 1.4.2’de bahsedildiği üzere fotovoltaik güneş panelleri seri ve/veya paralel bağlanarak istenilen gerilim ve akım değerini elde etmek mümkün kılınmaktadır. Şekil 2.3’de modellenen fotovoltaik güneş pili gerekli seri ve paralel bağlantı yapılarak, sabit 1000 W/m^2 ışınım ve sabit 25°C sıcaklık değerinde; 275.3 V gerilim, 38.7 A akım ve 10.65 kW ’lık güç değerlerine sahip fotovoltaik modelleme sağlanmıştır.

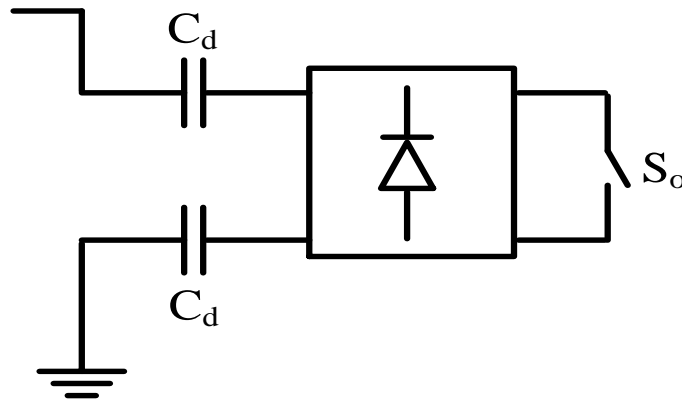


Şekil 2.3. Fotovoltaik güneş pili Matlab/Simulink benzetim modeli

2.3. Anahtarlamalı Güç Filtresi

Güneş paneli, şebeke ve yüklerden oluşan sistemde iyileştirme yapmak ve sistem performansını artırmak için sistemin DA kısmına yani güneş panelinin ve DA yüklerin

bulunduğu kısma anahtarlama kondansatörlerinden oluşan aktif güç filtresi (GPFC) eklenmiştir. Güç sistemlerinde, üretilen ve tüketilen enerjinin güç kalitesinin istenilen değerlerde olması için dikkat edilmesi gereken bazı durumlar bulunmaktadır. Bu durumlara örnek olarak; aşırı gerilim, düşük gerilim, akım ve gerilim dengesizliği, akım ve gerilim dalga şekillerindeki bozulmalar gösterilebilir. Kurulan sistemde istenmeyen durumları önlemek ve gereksiz güç tüketimini azaltmak için tasarlanan anahtarlama güç filtresi (GPFC) sistemin DA kısmına eklenmiştir. Sistemde kullanılan anahtarlama güç filtresinin Matlab/Simulink modeli Şekil 2.4’de verilmiştir. Devrede bulunan “ C_d ” kondansatörleri sistemde meydana gelen hataya bağlı olarak üretilen pwm işaretine göre açılıp/kapanan “ S_o ” anahtarı ile devreye alınıp devreden çıkarılarak gerilim ve akımdaki düzensizlikler giderilmeye çalışılmıştır. “ C_d ” kondansatör değeri 0.008 F seçilmiştir.

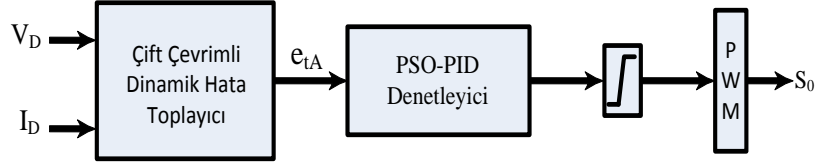


Şekil 2.4. Anahtarlama güç filtresi (GPFC)

2.3.1. Anahtarlama Güç Filtresi Denetimi

Anahtarlama Güç filtresindeki “ C_d ” kondansatörlerinin etkili bir şekilde devreye alınıp devreden çıkartılması için “ S_o ” anahtarı kontrol edilmektedir. “ S_o ” anahtarı için üretilen anahtarlama sinyallerine ait blok diyagram Şekil 2.5’de verilmiştir. Çift çevrimli dinamik hata toplayıcısından elde edilen “ e_{tA} ” hatası PSO-PID denetleyicisine aktarılmaktadır. Bu kısımda uygulanan PSO optimize algoritmasıyla sistem için en uygun PID parametreleri belirlenerek, hatanın azaltılması sağlanmaktadır. PSO-PID denetleyici ile sistem için en optimum hata değeri hedeflenip, bununla birlikte pwm bloğu “ S_o ” anahtarı için anahtarlama sinyalleri üretmektedir. Üretilen bu anahtarlama sinyalleri

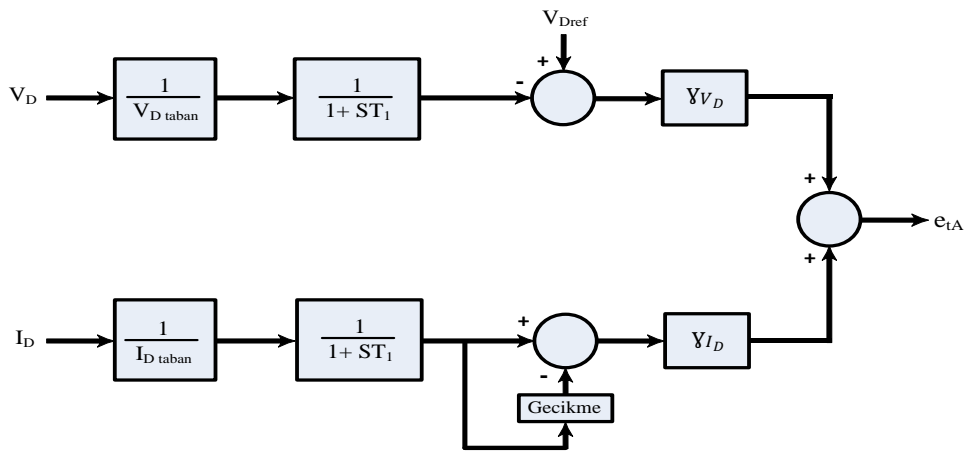
doğrultusunda, sistemdeki dengesizlikleri gidermek üzere aktif güç filtresinin denetimi sağlanmış olmaktadır.



Şekil 2.5. Anahtarlamalı güç filtresine ait denetim bloğu

2.4. Çift Çevrimli Dinamik Hata Toplayıcı

Yapılan tez çalışmasında, denetim kısmının bir parçasını oluşturan çift çevrimli dinamik hata toplayıcısı kullanılmıştır. Denetlenecek kısımdan alınan gerilim ve akım değerleri çift çevrimli dinamik hata toplayıcısının girişine uygulanarak, çıkışından hata işareti üretilmektedir. Sistemin denetlenen kısmından alınan gerilim değeri seçilen referans (taban) gerilim değerine bölünerek, denetlenecek gerilimin birim değere (pu) çevrilmesi sağlanır. Bu işlemde sonra elde edilen değer alçak filtreden geçirilir. Bu kısımdan sonra uygulanan işlemler sonucunda elde edilen değer temel 1 pu değeri ile karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma işleminden sonra elde edilen değer gerilim katsayısı ile çarpılmaktadır. Tüm bu işlemlerden sonra elde edilen gerilim hata değeri akım hata değeri ile toplanmak üzere toplama noktasına gönderilir.



Şekil 2.6. Çift çevrimli dinamik hata toplayıcısı

Sistemin denetlenen kısmından alınan akım değeri seçilen referans (taban) akım değerine bölünerek denetlenecek akımın birim değere (pu) çevrilmesi sağlanır. Bu işlemden sonra elde edilen değer alçak filtreden geçirilir. Bu kısımdan sonra uygulanan işlemler sonucunda elde edilen değer $t=10\text{ms}$ 'lik bir gecikmeyle bir önceki değeri ile karşılaştırılmaktadır. Karşılaştırma işleminden sonra elde edilen değer akım katsayısı ile çarpılmaktadır. Tüm bu işlemlerden sonra elde edilen akım hata değeri gerilim hata değeri ile toplanmak üzere toplama noktasına gönderilir. Tüm bu gerçekleştirilen işlemler Denklem (2.1), (2.2) ve (2.3) de matematiksel olarak ifade edilmektedir.

$$e_{vA}(k) = \left[V_{Dref}(k) - \left(\frac{V_D(k)}{V_{Dtaban}} * \frac{1}{1+sT_1} \right) \right] * (\gamma_{V_D}) \quad (2.1)$$

$$e_{iA}(k) = \left[\left(\frac{I_D(k)}{I_{Dtaban}} * \frac{1}{1+sT_1} \right) - \left(\frac{I_D(k)}{I_{Dtaban}} * \frac{1}{1+sT_1} \right)_{t=10\text{ms}} \right] * (\gamma_{I_D}) \quad (2.2)$$

$$e_{tA}(k) = e_{vA}(k) + e_{iA}(k) \quad (2.3)$$

2.5. PSO-PID Denetleyici

PSO-PID denetleyici, sistemimizin optimum şekilde çalışmasını amaçlayarak tasarlanmıştır. Bölüm 1.9.1'de ve Bölüm 1.10'da daha detaylı şekilde anlatılan bilgiler doğrultusunda benzetimi yapılan PSO-PID denetleyici, Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. PSO optimizasyon algoritmasında simulink ortamındaki PID parametreleri PSO M-dosyasına gönderilir ve algoritmaya PID parametreleri tanıtılmış olunur. PSO optimizasyon işlemi için başlangıçta, minimize edilmesi gereken bir hedef fonksiyonu tanımlanması gerekir. Bu çalışmada hedef fonksiyonu olarak bilinen performans kriterleri (ISE, IAE, ITSE, ITAE) kullanılmıştır. Amacımız belirlenen hedef fonksiyonu doğrultusunda “ e_{tA} ” toplam hatasının azaltılmasıdır. Bölüm 1.10.2'de detaylı şekilde bahsedilen PSO kontrol parametrelerinden atalet ağırlığı katsayısı (W), hızlandırma katsayıları (C_1, C_2), optimize edilecek parametre sayısına bağlı olduğundan (K_P, K_I, K_D) parçacık boyutu sabittir ve optimizasyonun başında belirlenen değerler atanmıştır. Bu değerler Tablo 2.1'de verilmiştir. Parçacık sayısı ve iterasyon sayısı farklı değerler atanarak en iyi sonuca ulaşmak için değiştirilmiştir. Belirlenen PSO kontrol parametreleri

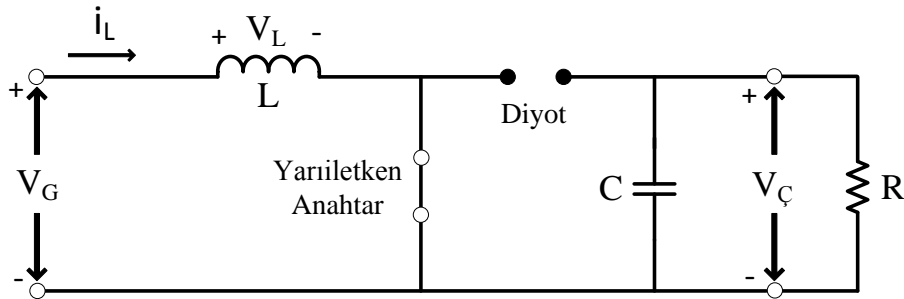
doğrultusunda PSO algoritması ile belirlenen sınırlamalar dahilinde (parçacık sayısı, iterasyon sayısı) her iterasyonda güncel “ K_P , K_I , K_D ” değerleri PID denetleyiciye atanıp, sistem için en uygun sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır.

Tablo 2.1. PSO algoritması kontrol parametreleri

Parçacık Boyutu	K_P, K_I, K_D	3
Lokal Hızlandırma Katsayısı	C_1	2
Global Hızlandırma Katsayısı	C_2	2
Atalet Ağırlığı Katsayısı	W	1

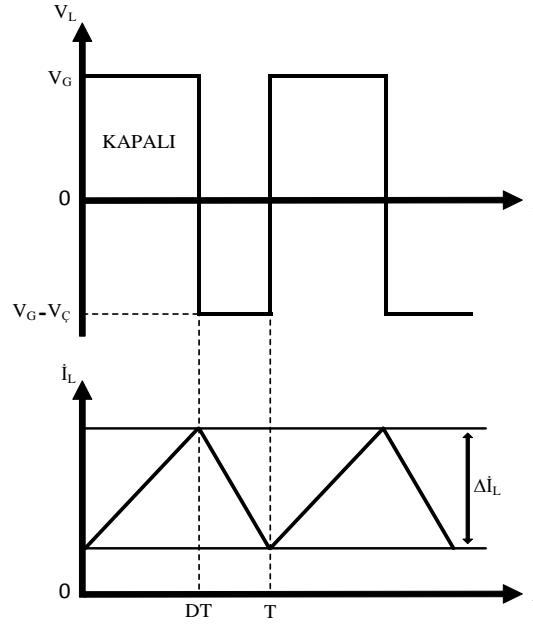
2.6. DA-DA Yükselten Dönüştürücü

Fotovoltaik Güneş panellerinden elde edilen elektrik enerjisi günün değişik zamanlarında farklı gerilim değerleri vermektedir. Oluşturulacak sistemin, yükün türüne bağlı olarak sürekli sabit çıkış gerilimi vermesi istenir. Bunu sağlamak için devreye bir adet DA-DA yükselten dönüştürücü sisteme eklenmiştir. Sisteme eklenen yükselten dönüştürücü iletimde ve kesimde olmak üzere iki farklı durumda incelenmiştir. Yarı iletken anahtarın iletime geçtiği durumda endüktans içerisinde geçen akım artar ve endüktans üzerinde enerji depolanmaya başlanır. Yarı iletken anahtar kesime geçtiği durumda endüktans içerisinde geçmekte olan şarj akımı “D” diyotu üzerinden “C” kapasitesine ve yüke doğru akım akmaya başlar. Endüktans, depoladığı enerjisini deşarj eder ve endüktans üzerindeki gerilimin polaritesinin yönü gerilim kaynağının polaritesi ile aynı olur ve “D” diyotu üzerinden yüke bağlanır. Bunun sonucunda çıkış geriliminin seviyesi yükseltilmiş olunur. Böylece “D” diyotu da kesime gider ve devre Şekil 2.7’deki halini alır. Bu işlemlerin sonucunda çıkış gerilimi sabit tutulmuş olunur.



Şekil 2.7. Yükselten dönüştürücünün iletim durumu

Yarı iletken anahtarın iletimi ve kesimi sabit frekansta yapılmaktadır ve bu frekans değeri T periyodunu belirler. İletim oranı D ile ifade edilir ve iletim süresi DT değerine eşit olur. Anahtarın kesimde olduğu süre ise (1-D)T ile ifade edilir. Yarı iletken anahtarın iletimde olduğu yani kapalı olduğu durumda, yükselten dönüştürücü ile ilgili dalga şekilleri Şekil 2.8’de verilmiştir.



Şekil 2.8. Yarı iletken anahtar iletimde iken yükselten dönüştürücü dalga şekilleri

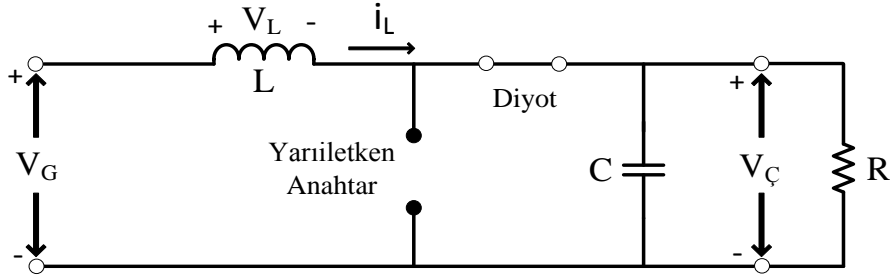
Yarı iletken anahtar bir anahtarlama periyodundaki DT aralığı boyunca iletimde kalır ve DT aralığı Δt şeklinde ifade edilebilir. Yarı iletken anahtarın iletimde iken yani kapalı olduğu durumla ilgili gerekli denklemler aşağıda ifade edilmiştir.

$$V_L = V_G = L \left(\frac{dI_L}{dt} \right) \quad (2.4)$$

$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{V_G}{L} \quad (2.5)$$

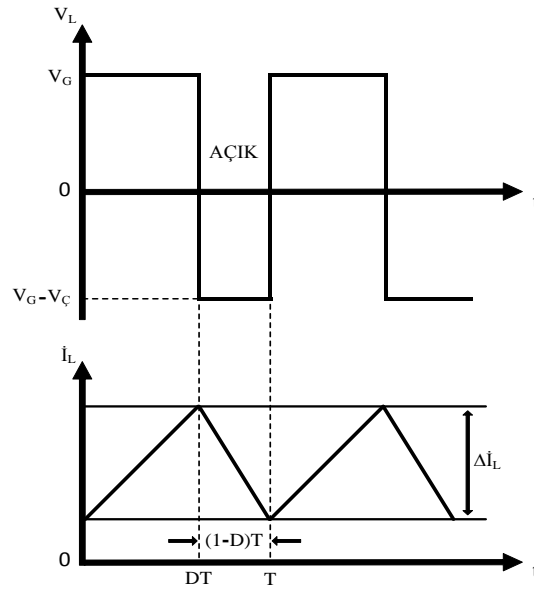
$$\frac{dI_L}{dt} = \frac{\Delta I_L}{\Delta t} = \frac{\Delta I_L}{DT} \quad (2.6)$$

$$(\Delta I_L)_K = \frac{V_G(DT)}{L} \quad (2.7)$$



Şekil 2.9. Yükselten dönüştürücünün kesim durumu

Daha önce de bahsettiğimiz üzere yarı iletken anahtarın aldığı ikinci durum ise yarı iletken anahtarın kesimde olduğu durum yani yarı iletken anahtarın açık olduğu durumdur. Bu durumda devre Şekil 2.9'daki halini almaktadır. Yarı iletken anahtarın kesimde olduğu yani açık olduğu durumda endüktans üzerindeki gerilim, yükselten dönüştürücünün giriş ve çıkış gerilimlerinin farkına eşit olmaktadır. Sonuçta çıkış gerilimi endüktans gerilimi ve giriş geriliminin toplamına eşit olmaktadır. Yarı iletken anahtarın bir anahtarlama periyodunda kesimde kaldığı yani yarı iletken anahtarın açık olduğu aralık $(1-D)T$ ile ifade edilmektedir. Yarı iletken anahtarın kesimde olduğu yani açık olduğu durumda, yükselten dönüştürücü ile ilgili dalga şekilleri Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10. Yarı iletken anahtar kesimde iken yükselten dönüştürücü dalga şekilleri

Yarı iletken anahtarın kesimde iken yani açık olduğu durumla ilgili gerekli denklemler aşağıda ifade edilmiştir.

$$V_L = V_G - V_Ç = L \left(\frac{di_L}{dt} \right) \quad (2.8)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_G - V_Ç}{L} \quad (2.9)$$

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{\Delta i_L}{\Delta t} = \frac{\Delta i_L}{(1-D)T} \quad (2.10)$$

$$(\Delta i_L)_A = \frac{(V_G - V_Ç)(1-D)T}{L} \quad (2.11)$$

DA-DA yükselten dönüştürücünün her iki durumda çalışmaları incelenmiş Kararlı çalışma durumundaki gerekli denklemler aşağıda verilmiştir.

$$(\Delta \dot{I}_L)_K + (\Delta \dot{I}_L)_A = 0 \quad (2.12)$$

$$\frac{V_G DT}{L} + \frac{(V_G - V_\zeta)(1-D)T}{L} = 0 \quad (2.13)$$

$$V_\zeta = \frac{V_G}{1-D} \quad (2.14)$$

$$P_G = P_\zeta \Rightarrow V_G I_G = \frac{V_\zeta^2}{R} \quad (2.15)$$

$$V_G I_L = \frac{\left(\frac{V_G}{(1-D)}\right)^2}{R} = \frac{V_G^2}{(1-D)^2 R} \quad (2.16)$$

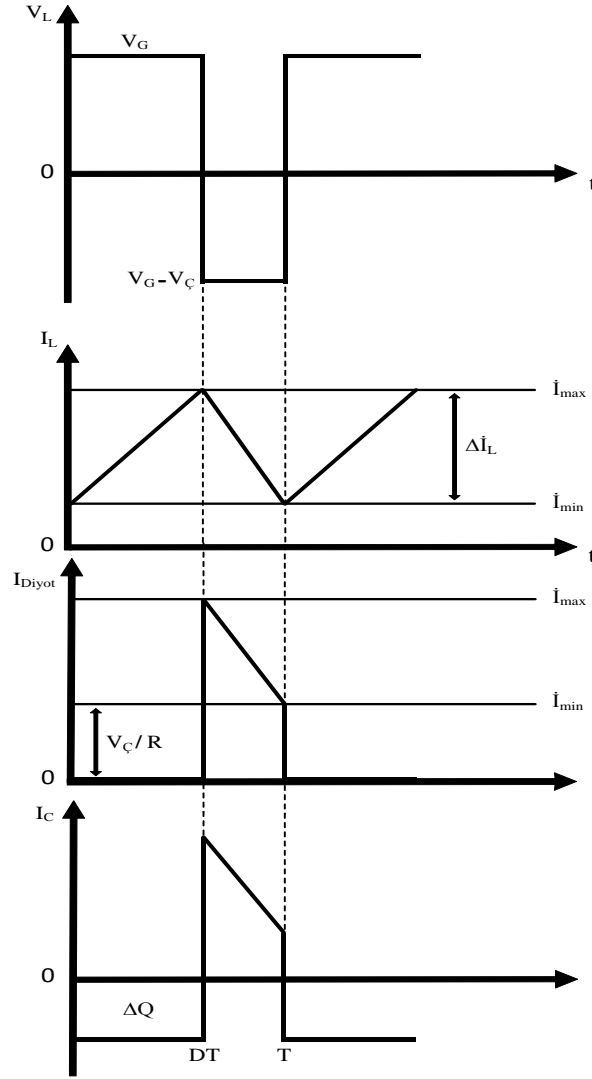
Ortalama endüktans akımı;

$$I_L = \frac{V_G}{(1-D)^2 R} \quad (2.17)$$

Maksimum ve Minimum endüktans akımı;

$$I_{\max} = I_L + \frac{\Delta \dot{I}_L}{2} = \frac{V_G}{(1-D)^2 R} + \frac{V_G DT}{2L} \quad (2.18)$$

$$I_{\min} = I_L - \frac{\Delta \dot{I}_L}{2} = \frac{V_G}{(1-D)^2 R} - \frac{V_G DT}{2L} \quad (2.19)$$



Şekil 2.11. Yarı iletken anahtarın iletim ve kesim durumundaki dalga şekilleri

Kararlı çalışma durumunda L ve C değerleri;

$$I_{\min} \geq 0;$$

$$\frac{V_G}{(1-D)^2 R} - \frac{V_G DT}{2L} \geq 0 \quad (2.20)$$

$$L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 TR}{2} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2.21)$$

$$|\Delta Q| = \left(\frac{V_{\zeta}}{R} \right) DT = C \Delta V_{\zeta} \quad (2.22)$$

$$\Delta V_{\zeta} = \frac{V_{\zeta} DT}{RC} = \frac{V_{\zeta} D}{RCf} \quad (2.23)$$

$$r = \frac{\Delta V_{\zeta}}{V_{\zeta}} = \frac{D}{RCf} \quad (2.24)$$

$$C_{\min} = \frac{V_{\zeta} D}{\Delta V_{\zeta} Rf} = \frac{D}{rRf} \quad (2.25)$$

Kararlı çalışma durumundaki denklemlerden de görüldüğü üzere DA-DA yükselten dönüştürücü giriş gerilimi ile çıkış gerilimi arasındaki ilişkiyi belirleyen ana faktör D ile ifade edilen iletim oranıdır. Bu oran; sistemde kullanılan MGNT algoritmasıyla fotovoltaik güneş panelinin gerilim ve akım değerlerinin kontrolü doğrultusunda belirlenmektedir. Yükselten dönüştürücünün çıkış gerilimi 500 V gerilim düzeyine yükseltip sabit bir gerilim düzeyi elde edilmiştir. Verilen bu denklemler doğrultusunda belirlenen yükselten dönüştürücü parametreleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2. DA-DA Yükselten Dönüştürücü Parametreleri

Giriş Gerilimi	V_G	250V-300V
Çıkış Gerilimi	V_{ζ}	500V
Endüktans Değeri	L	0.005 H
Kondansatör Değeri	C	0.024 F

3. BULGULAR

Bu bölümde; tez çalışmasına konu olan, Şekil 2.2’de Matlab/Simulink modeli verilen şebeke bağlantılı fotovoltaik sisteme ilişkin bulgular verilmiştir.

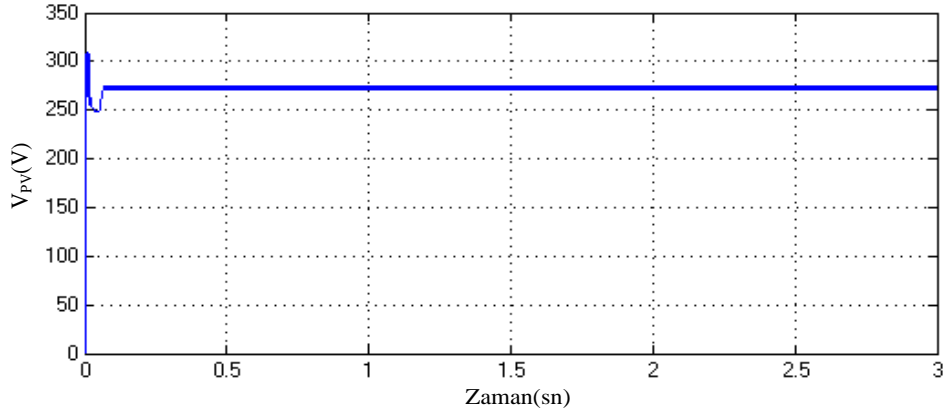
3.1. Sabit Sıcaklık ve Sabit Işınım Durumunda Elde Edilen Bulgular

Sıcaklığın 25°C’de sabit olduğu ve ışınım değerinin de sabit 1000 W/m² olduğu durumda, PSO tabanlı aktif güç filtresinin (GPFC) devrede olduğu ve devreden çıkarıldığı durumlara ilişkin bulgular aşağıda verilmiştir. GPFC’nin devrede olduğu durumda belirlenen sıcaklık ve ışınım şartları altında PSO kontrol parametrelerinden olan parçacık sayısı, iterasyon sayısı ve hedef fonksiyon türü değiştirilerek PSO algoritması çalıştırılmış ve bulgular Tablo 3.1’de gösterilmiştir. Bulunan bu sonuçlar doğrultusunda, en optimum değerler sistem için belirlenmiş ve bu doğrultuda bulgular verilmiştir. Tablo 3.1’de görülen sonuçlar doğrultusunda parçacık sayısının, iterasyon sayısının ve seçilen performans indeksinin sistemin çalışmasında etkili olduğu açıkça ortadadır. Parçacık sayısının ve iterasyon sayısının artırılması sistem için daha iyi sonuç vermiştir. En iyi sonuç; parçacık sayısının 50, iterasyon sayısının da 5 olduğu durumda elde edilmiştir. Aynı sonuç parçacık sayısının 100 olduğu durumda da elde edilmiştir, fakat sistem sonucunun elde edildiği sürenin daha kısa olduğu 50 parçacık sayılı durumdaki PID parametre değerleri sonuç olarak belirlenmiştir. Bu sonucun elde edildiği durumda hedef fonksiyonumuzun ITSE (İntegral Time Square Error) olduğu görülmektedir. Bu durumda hedef fonksiyonunun elde edilen en küçük değeri aldığı ve bu değerin 0,0036 olduğu görülmektedir.

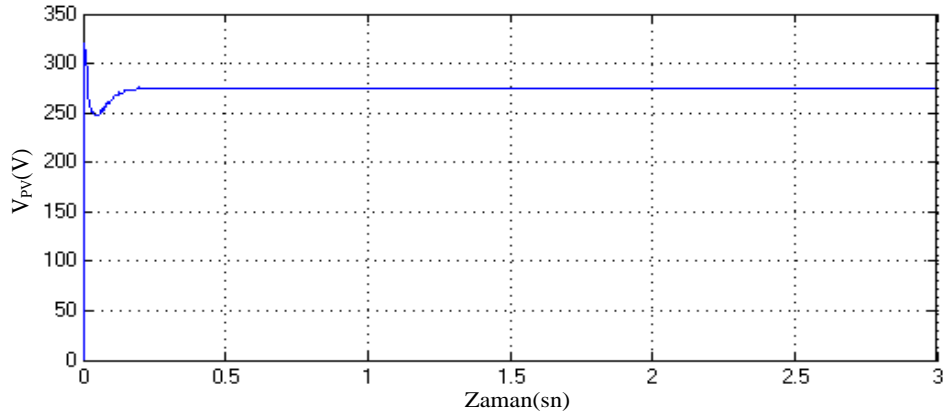
Tablo 3.1. Sabit sıcaklık ve sabit ışınım durumunda PSO algoritmasıyla elde edilen sonuçlar

Parçacık Sayısı (popsiz)	Maksimum İterasyon (maxit)	Performans İndeksi	Kp	Ki	Kd	Hedef Fonksiyon Değeri
5	5	ISE	60,1766	144,2302	60,8768	0,0689
		IAE	94,6327	84,1857	31,2544	0,1162
		ITSE	0,301	83,6161	65,6766	0,0038
		ITAE	0,3021	81,0167	63,2783	0,0173
5	10	ISE	52,1996	106,2253	190,1163	0,0689
		IAE	93,9551	82,1029	44,1759	0,1162
		ITSE	0,002	24,8449	60,2259	0,0038
		ITAE	0,001	19,4735	59,3047	0,0171
5	20	ISE	80,2443	134,4598	81,6462	0,0689
		IAE	103,9713	95,5047	0,001	0,1160
		ITSE	0,1027	79,3921	48,2364	0,0037
		ITAE	0,001	75,0914	24,9460	0,0171
5	50	ISE	85,8184	120,6966	177,1212	0,0689
		IAE	99,2458	87,2358	0,0025	0,1158
		ITSE	0,011	114,2847	58,1450	0,0037
		ITAE	0,001	69,3391	58,0978	0,0171
5	100	ISE	106,6031	93,3810	83,3149	0,0689
		IAE	103,9717	87,8608	1,7859	0,1158
		ITSE	0,001	87,7430	57,1028	0,0037
		ITAE	0,001	82,6724	78,0796	0,0171
10	5	ISE	21,7442	118,3218	80,4711	0,0689
		IAE	88,2325	124,2957	51,6028	0,1162
		ITSE	26,9557	121,6624	60,4025	0,0038
		ITAE	1,2839	91,1684	81,0482	0,0171
20	5	ISE	13,0502	93,2720	74,1713	0,0689
		IAE	73,7092	49,5017	69,4586	0,1162
		ITSE	8,0874	82,2147	65,3018	0,0038
		ITAE	0,001	94,0771	81,4758	0,0171
50	5	ISE	41,7554	108,2943	87,4878	0,0689
		IAE	81,1366	105,7050	3,1968	0,1161
		ITSE	0,0021	108,1697	50,3147	0,0036
		ITAE	0,001	93,7789	80,9472	0,0171
100	5	ISE	13,4295	108,1826	66,3993	0,0689
		IAE	97,2258	48,2893	7,8792	0,1159
		ITSE	0,0021	108,3241	51,1028	0,0036
		ITAE	0,031	94,1126	82,0107	0,0171

Fotovoltaik güneş panellerinden elde edilen DA gerilimin üzerinde, PSO tabanlı aktif güç filtresinin (GPFC) etkisi incelenmiştir. GPFC'nin devrede olmadığı durumda; fotovoltaik güneş panellerinden, sabit 25°C sıcaklık ve sabit 1000 W/m² ışınım şartlarında elde edilen 275,3 V gerilimde yaklaşık tepeden tepeye %2'lik yani yaklaşık 6V'luk gerilim dalgalanması meydana gelirken, GPFC devreye alındığı durumda gerilim dalgalanmasının değeri yaklaşık tepeden tepeye %0,09'lık yani yaklaşık tepeden tepeye 0,25V'luk değere düşürülmüştür. Şekil 3.1'de GPFC'nin devrede olmadığı, Şekil 3.2'de de GPFC'nin devreye alındığı durumdaki fotovoltaik güneş paneli gerilimleri görülmektedir.

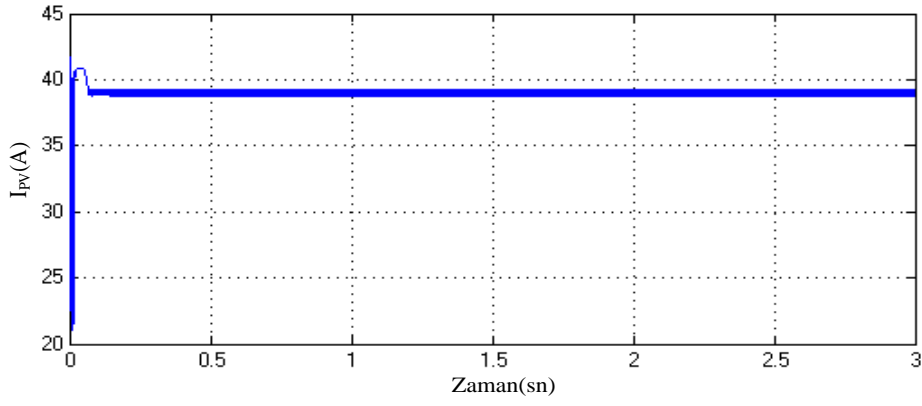


Şekil 3.1. GPFC devre dışı iken fotovoltaik güneş paneli gerilimi

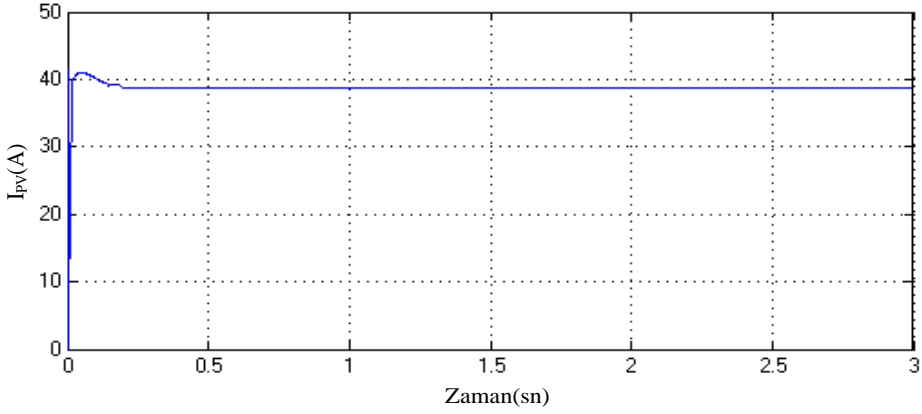


Şekil 3.2. GPFC devrede iken fotovoltaik güneş paneli gerilimi

Aynı şekilde belirlenen sıcaklık ve ışınım şartlarında sisteme eklenen PSO tabanlı aktif güç filtresinin (GPFC) fotovoltaik güneş panelinden elde edilen akımın üzerindeki etkisi incelendiğinde, Fotovoltaik güneş panelinden elde edilen 38,7 A'lık akımda, GPFC devre dışında iken yaklaşık tepeden tepeye %7,6'lık akım dalgalanması yani tepeden tepeye 3A'lık akım dalgalanması meydana gelirken, GPFC devreye alındığı durumda akım dalgalanmasının değeri yaklaşık tepeden tepeye %1,3'lük yani yaklaşık tepeden tepeye 0,5A'lık değere düşürülmüştür. Şekil 3.3'de GPFC'nin devrede olmadığı, Şekil 3.4'de de GPFC'nin devreye alındığı durumdaki fotovoltaik güneş panelini akım değerleri görülmektedir.

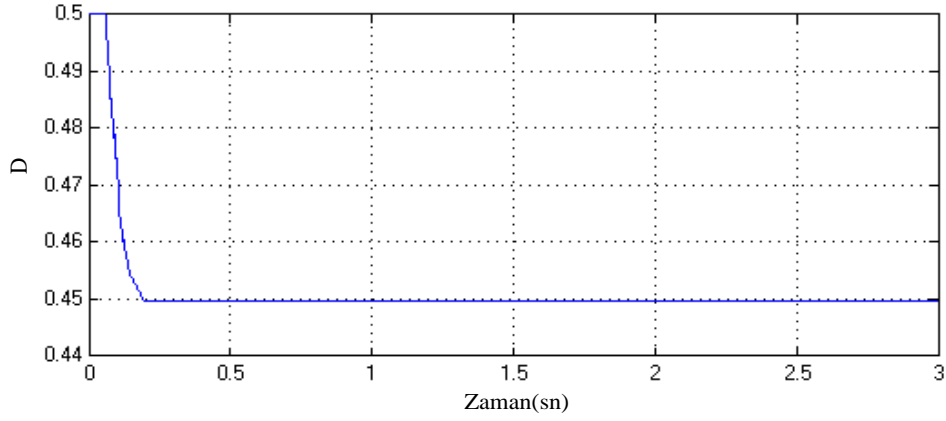


Şekil 3.3. GPFC devre dışı iken fotovoltaik güneş paneli akımı



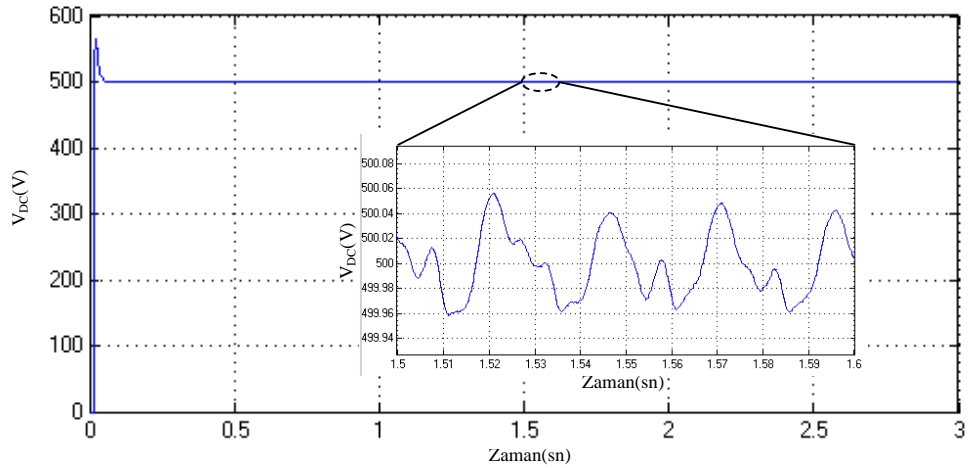
Şekil 3.4. GPFC devrede iken fotovoltaik güneş paneli akımı

Kurulan sistemde fotovoltaik güneş panelinden üretilen akım ve gerilimin devreye eklenen aktif güç filtresi (GPFC) ile gerekli iyileştirmeler yapıldıktan sonra üretilen gerilim değeri DA-DA yükselten dönüştürücü ile yükseltılarak 500V'a sabitlenmeye çalışılmıştır. Bu işlem sistemdeki MGNT birimi ile yükselten dönüştürücünün "D" ile ifade edilen doluluk boşluk oranının kontrol edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Şekil 3.5'de doluluk boşluk oranı görülmektedir.

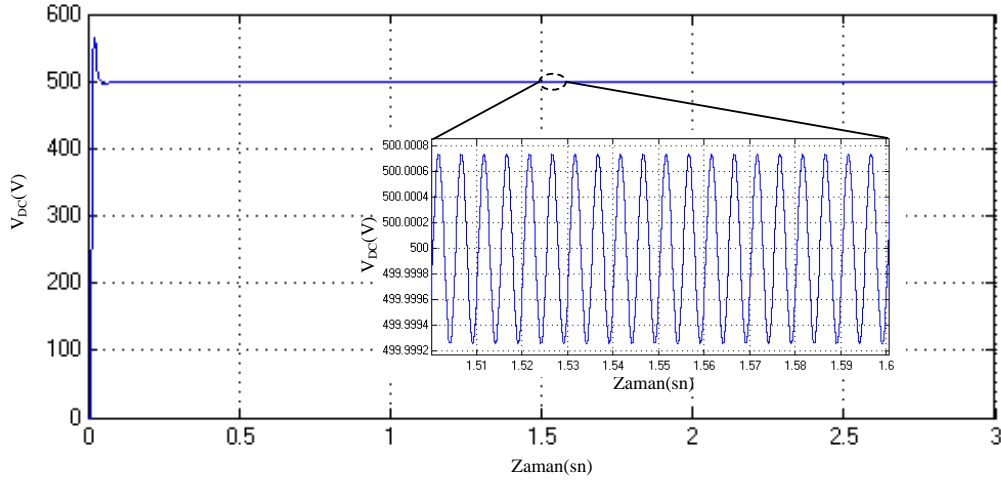


Şekil 3.5. MGNT birimi ile kontrol edilen doluluk boşluk oranı

Bu işlemler aktif güç filtresinin (GPFC) devre dışında ve devrede olduğu durumlarda incelenmiş, elde edilen sonuçlar Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'de verilmiştir. GPFC devre dışında iken 500V'a yükseltilip sabitlenmeye çalışılan DA gerilimde tepeden tepeye yaklaşık 0,1V'luk bir gerilim dalgalanması mevcut iken, GPFC devreye alındığı durumda ise gerilim dalgalanması tepeden tepeye yaklaşık 0,0014V'luk çok düşük bir değere düşmekte ve daha düzgün bir şekil almaktadır.

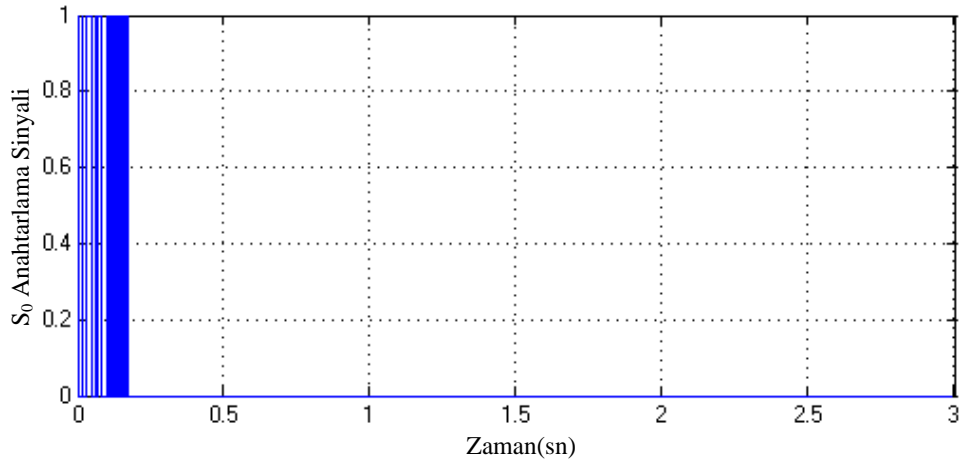


Şekil 3.6. GPFC devre dışında iken yükseltici çıkışındaki gerilim



Şekil 3.7. GPFC devrede iken yükseltici çıkışındaki gerilim

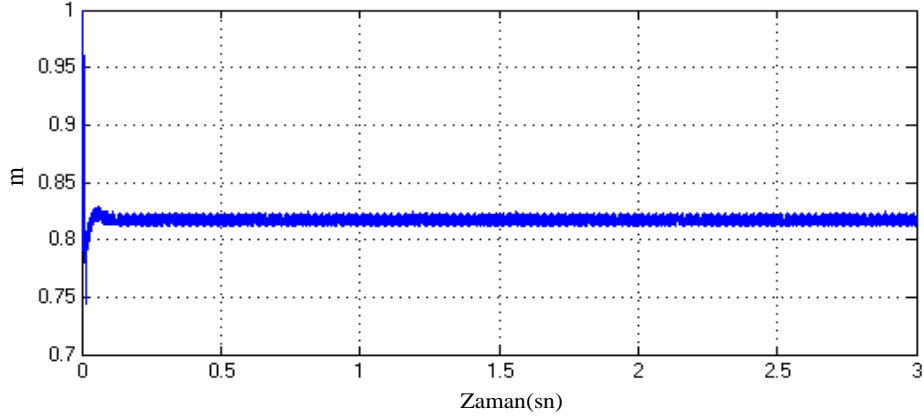
PSO tabanlı anahtarlama güç filtresinin (GPFC) devrede olduğu durumda, daha önce bahsedildiği üzere şebekenin DA kısmından alınan gerilim ve akım örnekleri çift çevrimli dinamik hata toplayıcısından geçirildikten sonra elde edilen “ e_{tA} ” hatası, PSO-PID denetleyiciye gönderildikten sonra elde edilen optimize edilmiş işarete bağlı olarak GPFC’deki “ S_o ” yarı iletken anahtarın kontrolü yapılmış, “ S_o ” yarı iletken anahtarın etkin bir şekilde çalıştığı Şekil 3.8’de gösterilmektedir.



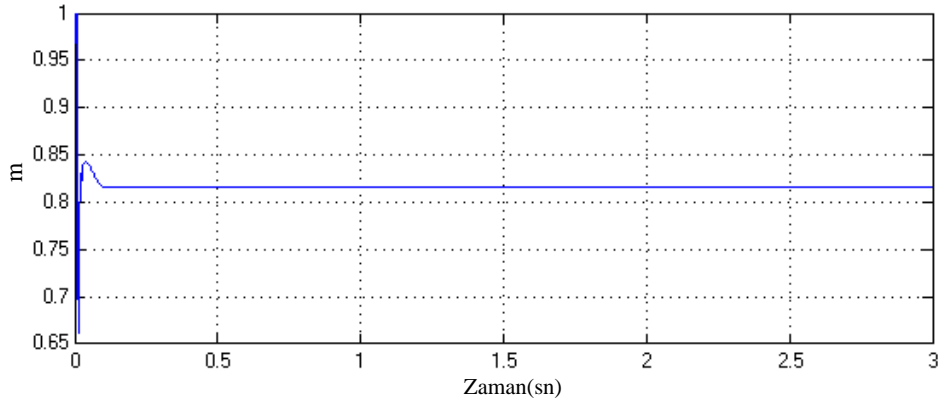
Şekil 3.8. GPFC devrede iken yarı iletken anahtarın çalışma durumu

Fotovoltaik güneş panellerinden üretilen doğru gerilim, aktif güç filtresi (GPFC) ile filtre edildikten sonra yükselten dönüştürücü ile 500 V gerilim düzeyine yükseltip bu

değerde sabitlendikten sonra alternatif gerilime dönüştürülmüştür. Bu dönüşümün ne kadar iyi yapıldığı, modülasyon indeksinin GPFC devre dışındayken ve devredeyken elde edilen bulgularda görülmektedir.



Şekil 3.9. GPFC devre dışında iken modülasyon indeksinin durumu

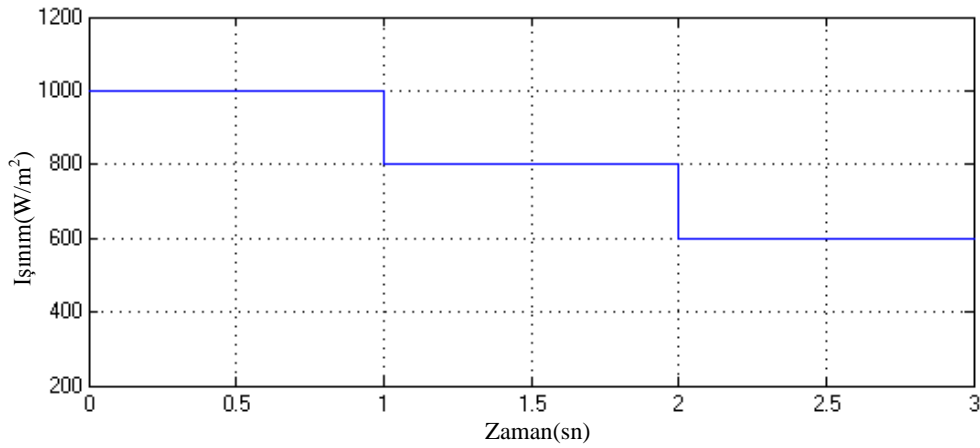


Şekil 3.10. GPFC devrede iken modülasyon indeksinin durumu

3.2. Sabit Sıcaklık ve İki Kademeli Azalan Işınım Durumunda Elde Edilen Bulgular

Sıcaklığın 25°C 'de sabit olduğu ve ışınım değerinin 0-1sn aralığında 1000 W/m^2 , 1-2sn aralığında 800 W/m^2 , 2-3sn aralığında 600 W/m^2 olduğu durumda, PSO tabanlı aktif güç filtresinin (GPFC) devrede olduğu ve devreden çıkarıldığı durumlara ilişkin bulgular aşağıda verilmiştir. GPFC'nin devrede olduğu durumda belirlenen sıcaklık ve ışınım şartları altında PSO kontrol parametrelerinden olan parçacık sayısı, iterasyon sayısı ve

hedef fonksiyon türü değiştirilerek PSO algoritması çalıştırılmış ve bulgular Tablo 3.2’de gösterilmiştir. Bulunan bu sonuçlar doğrultusunda, en optimum değerler sistem için belirlenmiş ve bu doğrultuda bulgular verilmiştir. Tablo 3.2’de görülen sonuçlar doğrultusunda parçacık sayısının, iterasyon sayısının ve seçilen performans indeksinin sistemin çalışmasında etkili olduğu açıkça ortadadır. Parçacık sayısının ve iterasyon sayısının artırılması sistem için daha iyi sonuç vermiştir. En iyi sonuç; parçacık sayısının 20, iterasyon sayısının da 5 olduğu durumda elde edilmiştir ve bu durumdaki PID parametre değerleri sonuç olarak belirlenmiştir. . Bu sonucun elde edildiği durumda hedef fonksiyonumuzun ITAE (İntegral Time Absolute Error) olduğu görülmektedir. Bu durumda hedef fonksiyonunun elde edilen en küçük değeri aldığı ve bu değer 0,0091 olduğu görülmektedir.



Şekil 3.11. Sıcaklığın 25°C’de sabit olduğu durumda iki kademeli azalan ışıınım durumu

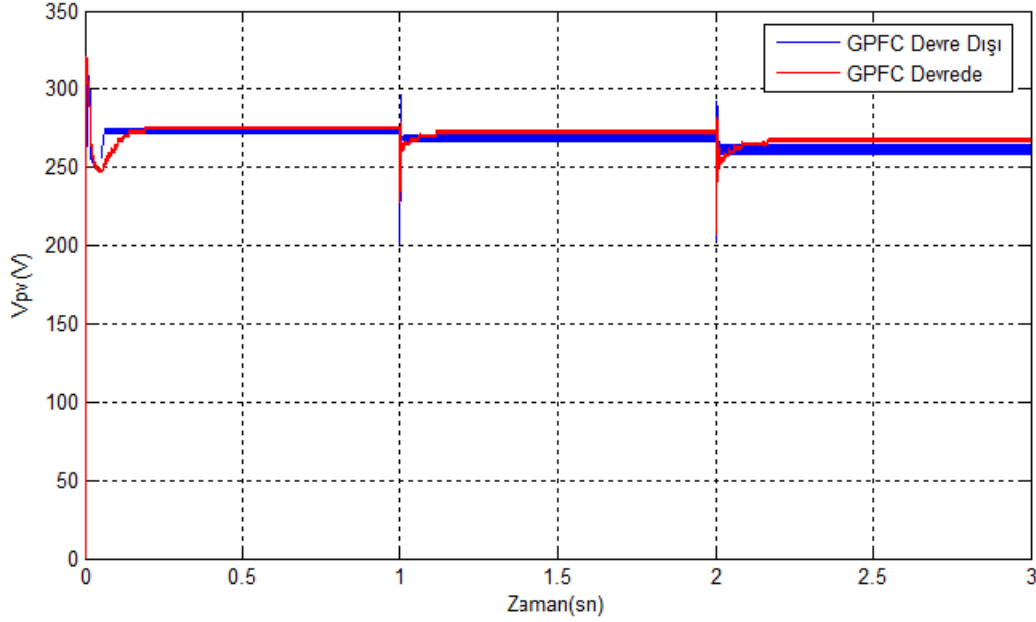
Tablo 3.2. Sabit sıcaklık ve iki kademeli azalan ışınım durumunda PSO algoritmasıyla elde edilen sonuçlar

Parçacık Sayısı (popsiz)	Maksimum İterasyon (maxit)	Performans İndeksi	Kp	Ki	Kd	Hedef Fonksiyon Değeri
5	5	ISE	124,2980	61,6683	192,4814	0,0749
		IAE	66,0404	130,3994	128,8661	0,1343
		ITSE	6,5202	73,7833	128,9529	0,0379
		ITAE	91,0738	124,1047	83,2108	0,0094
5	10	ISE	71,0713	58,3599	163,8150	0,0745
		IAE	62,1845	56,8466	156,6532	0,1340
		ITSE	6,5202	73,7833	128,9529	0,0379
		ITAE	82,3187	116,7141	70,9069	0,0094
5	20	ISE	74,0718	58,6259	179,0666	0,0745
		IAE	62,1845	56,8466	156,6532	0,1340
		ITSE	6,5202	73,7833	128,9529	0,0379
		ITAE	82,3187	116,7141	70,9069	0,0092
5	50	ISE	121,3126	53,9683	174,9883	0,0745
		IAE	69,0990	58,6213	183,2031	0,1340
		ITSE	0,001	72,2702	168,9314	0,0378
		ITAE	114,2444	1,000	84,6194	0,0091
5	100	ISE	0,001	65,2406	157,9430	0,0743
		IAE	69,0990	58,6213	183,2031	0,1340
		ITSE	0,001	72,2702	168,9314	0,0378
		ITAE	114,2444	1,000	84,6194	0,0091
10	5	ISE	69,1783	22,9837	168,8157	0,0745
		IAE	62,1845	56,8466	156,6532	0,1340
		ITSE	6,5202	73,7833	128,9529	0,0379
		ITAE	82,3187	116,7141	70,9069	0,0094
20	5	ISE	71,0354	58,7741	175,3896	0,0745
		IAE	62,1845	56,8466	156,6532	0,1340
		ITSE	6,5202	73,7833	128,9529	0,0379
		ITAE	82,3187	116,7141	70,9069	0,0091
50	5	ISE	0,001	64,9945	158,1430	0,0743
		IAE	69,0990	58,6213	183,2031	0,1340
		ITSE	0,001	72,2702	168,9314	0,0378
		ITAE	114,2444	1,000	84,6194	0,0091
100	5	ISE	0,001	65,2406	157,9430	0,0743
		IAE	69,0990	58,6213	183,2031	0,1340
		ITSE	0,001	72,2702	188,9314	0,0378
		ITAE	124,2444	1,000	62,6194	0,0091

Fotovoltaik güneş panellerinden elde edilen DA gerilimin üzerinde, PSO tabanlı aktif güç filtresinin (GPFC) etkisi incelenmiştir. Sıcaklığın 25°C’de sabit olduğu ve ışınım değerinin 0-1sn aralığında 1000 W/m², 1-2sn aralığında 800 W/m², 2-3sn aralığında 600 W/m² olduğu durumda, Fotovoltaik güneş panelinin gerilimi Şekil 3.12’de görülmektedir. GPFC devrede olmadığı durumda ışınım değerinin her iki kademede de azalmasıyla gerilimde meydana gelen dalgalanma değeri artmıştır.

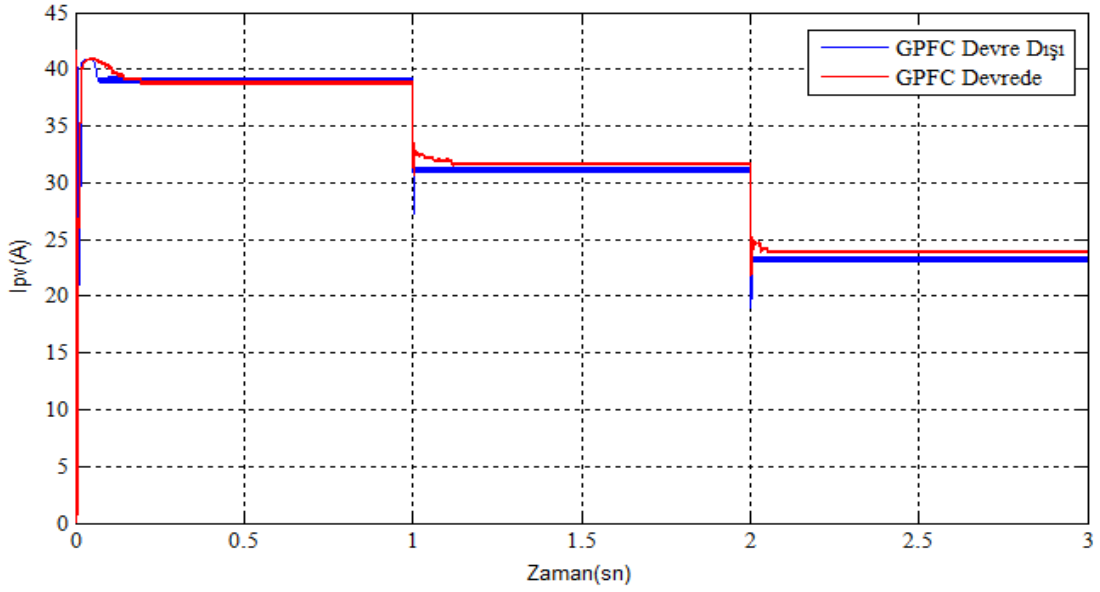
GPFC devrede değilken gerilimdeki dalgalanmanın fazlalığı, 1. ve 2.sn’de ışınımında gerçekleşen ani düşüşlerde gerilimde meydana gelen ani azalmalar, GPFC aktif güç filtresi

devreye alındığı durumda kayda değer bir biçimde bastırılmıştır. GPFC devreye alınarak, ışınımında gerçekleşen ani düşüşlerin yaşandığı durumlarda, gerilimdeki ani değişimler yerini daha yumuşak geçişlere bırakmıştır.

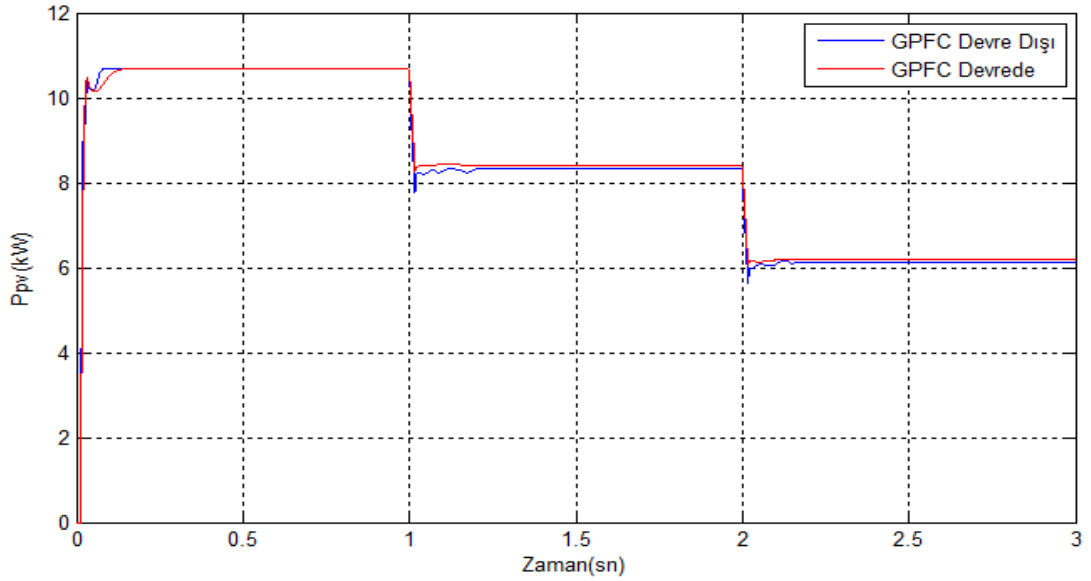


Şekil 3.12. Sıcaklığın 25°C'de sabit, ışınımın iki kademeli azaldığı durumda gerilim üzerinde GPFC etkisi

1.sn'de ışınımın etkisiyle meydana gelen değişim 0.1sn sonra ve 2.sn'de meydana gelen değişim 0.22sn sonra bastırılmıştır. Aynı şartlar altında fotovoltaik güneş panelinden elde edilen akımda meydana gelen değişimler Şekil 3.13'de görülmektedir. GPFC devrede değilken, 1.ve 2.sn'de gerilime oranla akım değerinde daha fazla ani düşüş görülmektedir. 1.sn'de ışınımın etkisiyle meydana gelen değişim 0.1sn sonra ve 2.sn'de meydana gelen değişim 0.06sn sonra bastırılmıştır. Belirlenen şartlarda gerilimin değerinde fazla değişim görülmezken, akımda yaklaşık 15A'lık bir değişim söz konusu olmuştur. Buradan da anlaşılacağı üzere ışınımın, fotovoltaik güneş panelinden elde edilen akım üzerinde daha çok etkisi olduğu görülmektedir. Şekil 3.14'de de fotovoltaik güneş panelinin gücündeki değişim görülmektedir.

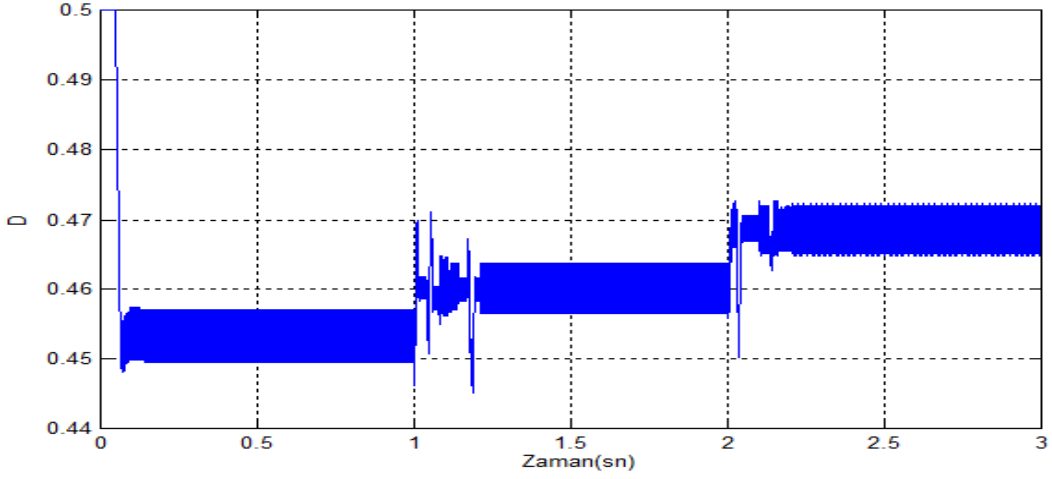


Şekil 3.13. Sıcaklığın 25°C 'de sabit, ışınımın iki kademeli azaldığı durumda akım üzerinde GPFC etkisi

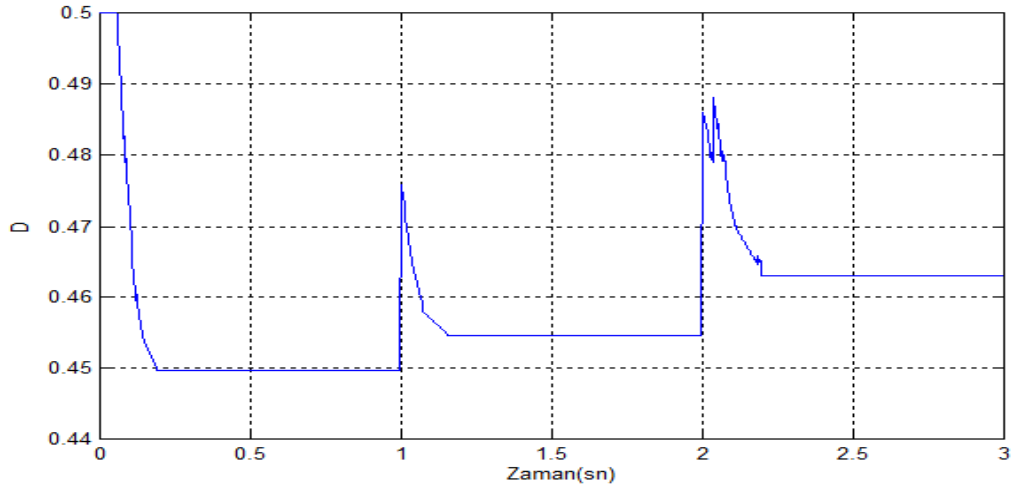


Şekil 3.14. Sıcaklığın 25°C 'de sabit, ışınımın iki kademeli azaldığı durumda akım üzerinde GPFC etkisi

Sıcaklığın 25°C 'de sabit olduğu ve ışınım değerinin 0-1sn aralığında 1000 W/m^2 , 1-2sn aralığında 800 W/m^2 , 2-3sn aralığında 600 W/m^2 olduğu durumda, devreye eklenen aktif güç filtresi (GPFC) ile gerekli iyileştirmeler yapıldıktan sonra üretilen gerilim değeri DA-DA yükselten dönüştürücü ile yükseltiyerek 500V 'a sabitlenmeye çalışılmıştır. Bu işlemler sırasında "D" doluluk boşluk oranı ilgili şekillerde görülmektedir.

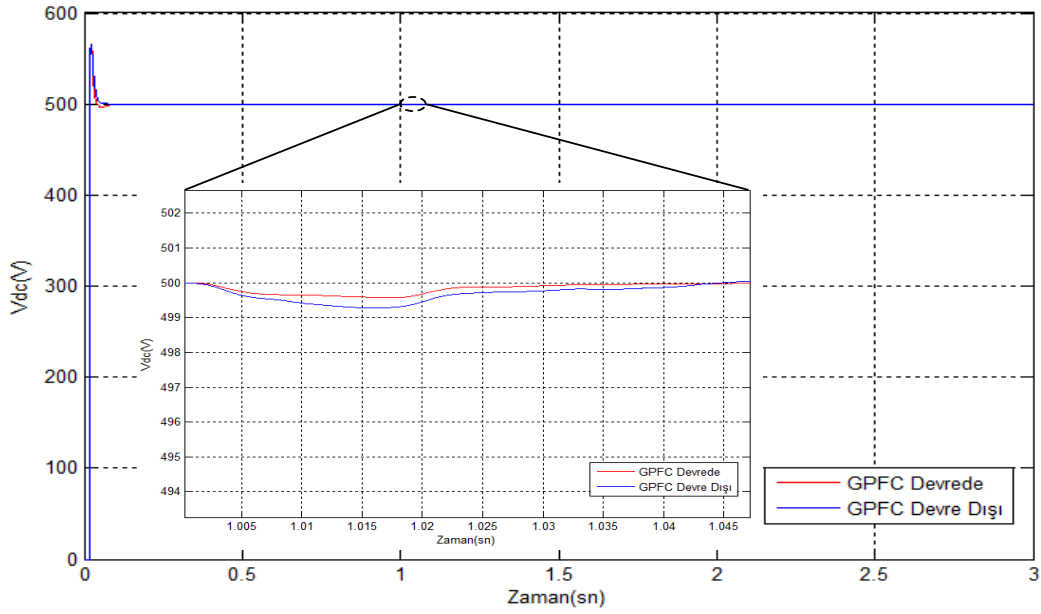


Şekil 3.15. Sıcaklığın 25°C'de sabit, ışınımın iki kademeli azaldığı durumda GPFC devre dışında iken doluluk boşluk oranı



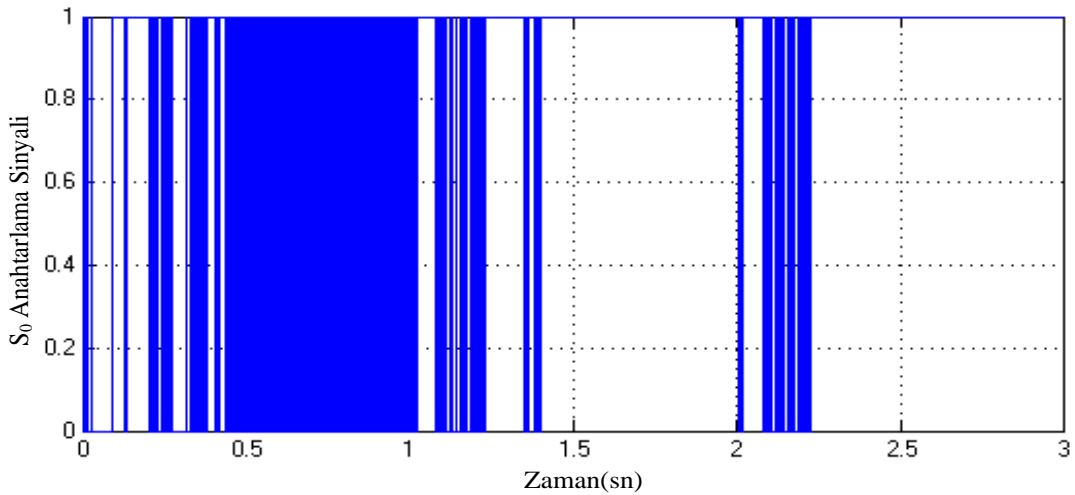
Şekil 3.16. Sıcaklığın 25°C'de sabit, ışınımın iki kademeli azaldığı durumda GPFC devrede iken doluluk boşluk oranı

Bu işlemler aktif güç filtresinin (GPFC) devre dışında ve devrede olduğu durumlarda incelenmiş, elde edilen sonuçlar Şekil 3.17'de verilmiştir. İlgili şekilde 1.sn'deki değişikliğin detaylı görünümü de verilmiştir.



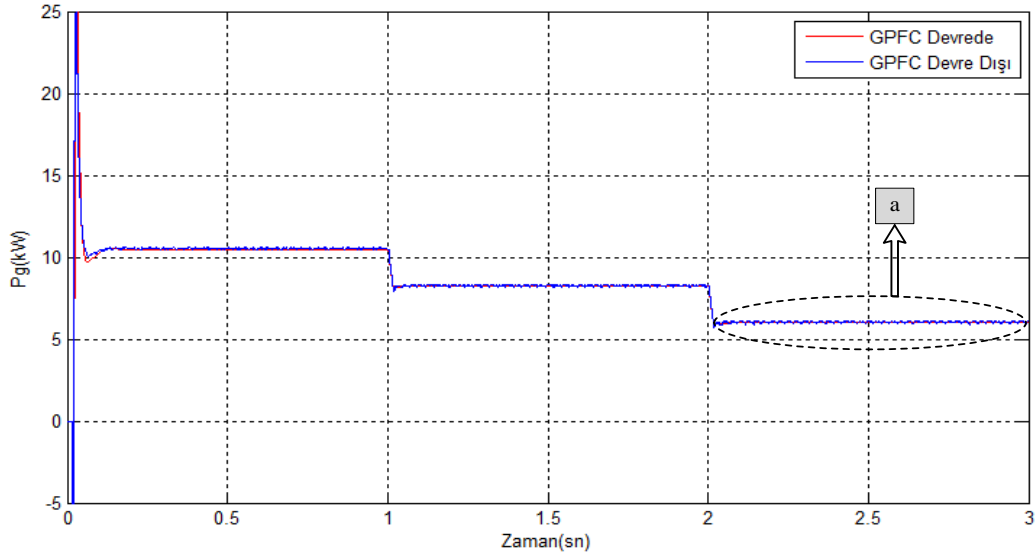
Şekil 3.17. Sıcaklığın 25°C 'de sabit, ışınlımın iki kademeli azaldığı durumda yükselten dönüştürücü çıkış gerilimi

PSO tabanlı anahtarlama güç filtresinin (GPFC) devrede olduğu durumda, daha önce bahsedildiği üzere şebekenin DA kısmından alınan gerilim ve akım örnekleri çift çevrimli dinamik hata toplayıcısından geçirildikten sonra elde edilen " e_{tA} " hatası, PSO-PID denetleyiciye gönderildikten sonra elde edilen optimize edilmiş işarete bağlı olarak GPFC'deki " S_o " yarı iletken anahtarın kontrolü yapılmış, " S_o " yarı iletken anahtarın etkin bir şekilde çalıştığı Şekil 3.18'de gösterilmektedir.



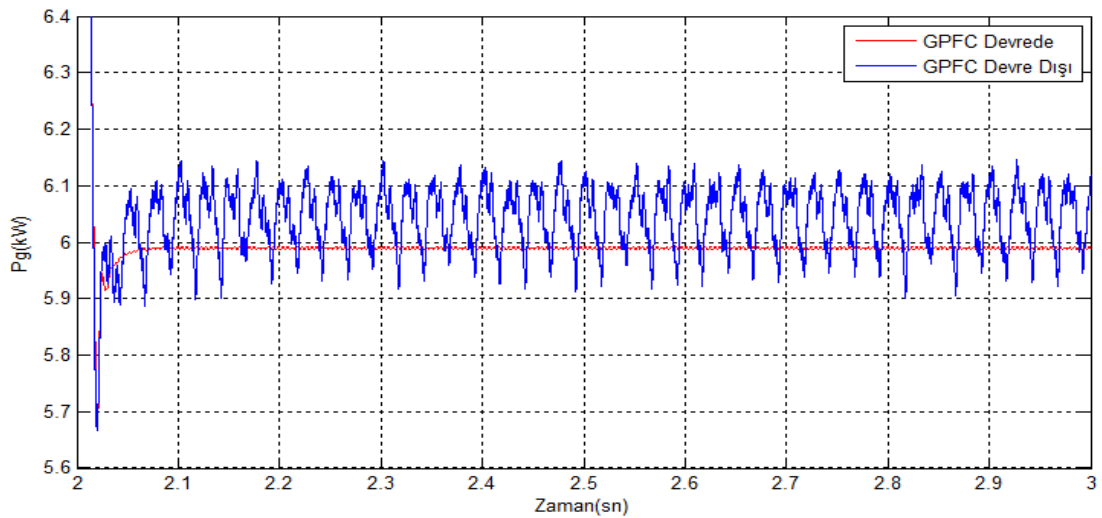
Şekil 3.18. GPFC devrede iken yarı iletken anahtarın çalışma durumu

Fotovoltaik güneş panellerinden üretilen doğru gerilim, aktif güç filtresi (GPFC) ile filtre edildikten sonra DA yükler beslenip, yükselten dönüştürücü ile 500 V gerilim düzeyine yükseltilip bu değerde sabitlendikten sonra alternatif gerilime dönüştürülmüştür.

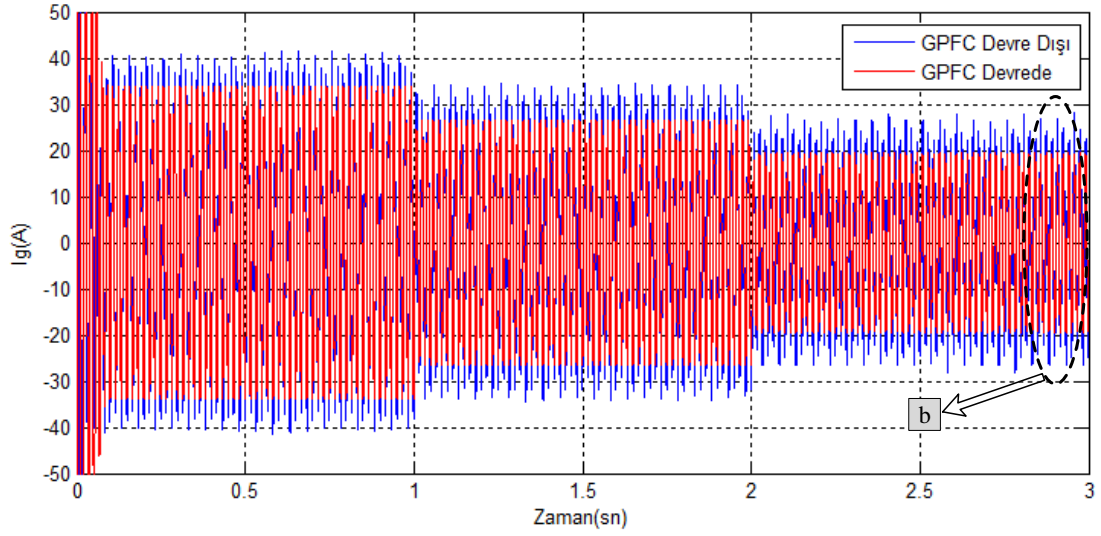


Şekil 3.19. Sıcaklığın 25°C'de sabit, ışınımın iki kademeli azaldığı durumda şebekeye aktarılan güç

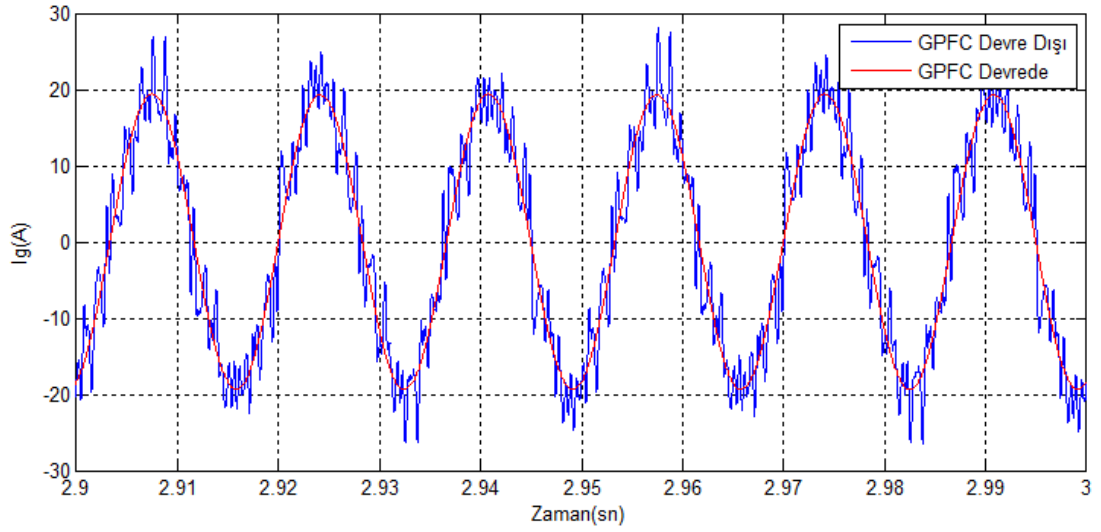
Alternatif gerilime dönüştürüldükten sonra hem hibrid AA yükler beslenip hem de şebekeye enerji aktarımı yapılmıştır. Şebekeye aktarılan güç Şekil 3.19'da görülmektedir. Şekilde belirlenen "a" bölgesinin detaylı görünümü Şekil 3.20'de verilmiştir.



Şekil 3.20. Şekil 3.19'daki "a" bölgesinin detaylı görünümü



Şekil 3.21. Sıcaklığın 25°C 'de sabit, ışınımın iki kademeli azaldığı durumda şebekeye aktarılan akım

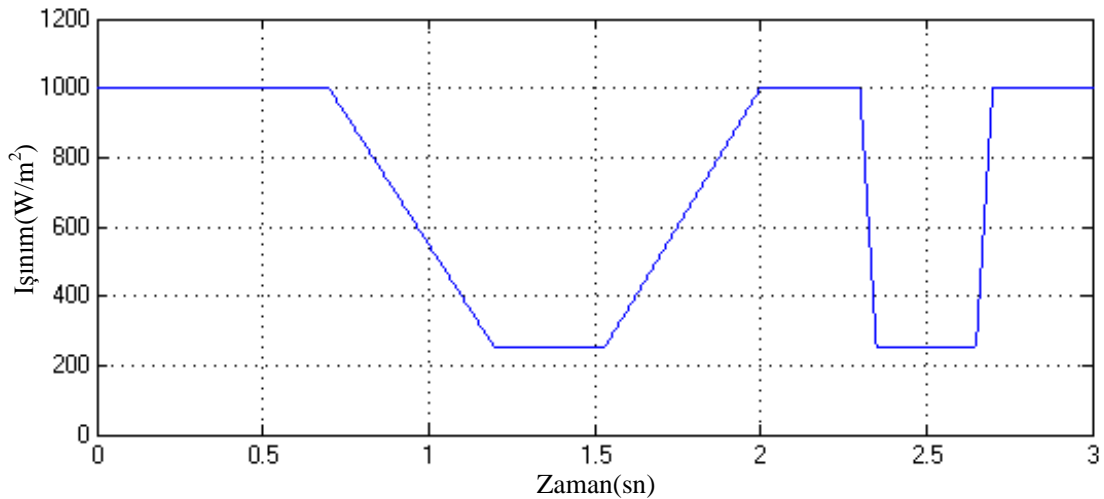


Şekil 3.22. Şekil3.20'deki "b" bölgesinin detaylı görünümü

Şebekeye aktarılan akım Şekil 3.21'de görülmektedir. Şekilde belirlenen "b" bölgesinin detaylı görünümü Şekil 3.22'de verilmiştir. Detaylı verilen "b" bölgesinde 2.9-3sn'de şebekeye aktarılan akım üzerinde GPFC'nin etkisi açıkça görülmektedir. GPFC devreye alınarak şebekeye aktarılan akımdaki dalgalanma ve bozukluklar giderilip, bu haliyle şebekeye aktarılmıştır. Işınım azaldıkça şebekeye aktarılan akımın kalitesinde de azalma olduğu tespit edilmiştir.

3.3. Sabit Sıcaklık ve Değişik Azalan-Artan Işınım Durumunda Elde Edilen Bulgular

Sıcaklığın 25°C 'de sabit olduğu ve ışınım değerinin değişik artıp-azaldığı durumda, PSO tabanlı aktif güç filtresinin (GPFC) devrede olduğu ve devreden çıkarıldığı durumlara ilişkin bulgular aşağıda verilmiştir. GPFC'nin devrede olduğu durumda belirlenen sıcaklık ve ışınım şartları altında PSO kontrol parametrelerinden olan parçacık sayısı, iterasyon sayısı ve hedef fonksiyon türü değiştirilerek PSO algoritması çalıştırılmış ve bulgular Tablo 3.3'de gösterilmiştir. Bulunan bu sonuçlar doğrultusunda, en optimum değerler sistem için belirlenmiş ve bu doğrultuda bulgular verilmiştir. Tablo 3.3'de görülen sonuçlar doğrultusunda parçacık sayısının, iterasyon sayısının ve seçilen performans indeksinin sistemin çalışmasında etkili olduğu açıkça ortadadır. Parçacık sayısının ve iterasyon sayısının artırılması sistem için daha iyi sonuç vermiştir. En iyi sonuç; parçacık sayısının 5, iterasyon sayısının da 100 olduğu durumda elde edilmiştir ve bu durumdaki PID parametre değerleri sonuç olarak belirlenmiştir. . Bu sonucun elde edildiği durumda hedef fonksiyonumuzun ITAE (İntegral Time Absolute Error) olduğu görülmektedir. Bu durumda hedef fonksiyonunun elde edilen en küçük değeri aldığı ve bu değer 0,0125 olduğu görülmektedir.



Şekil 3.23. Sıcaklığın 25°C 'de sabit olduğu durumda değişik azalan-artan ışınım durumu

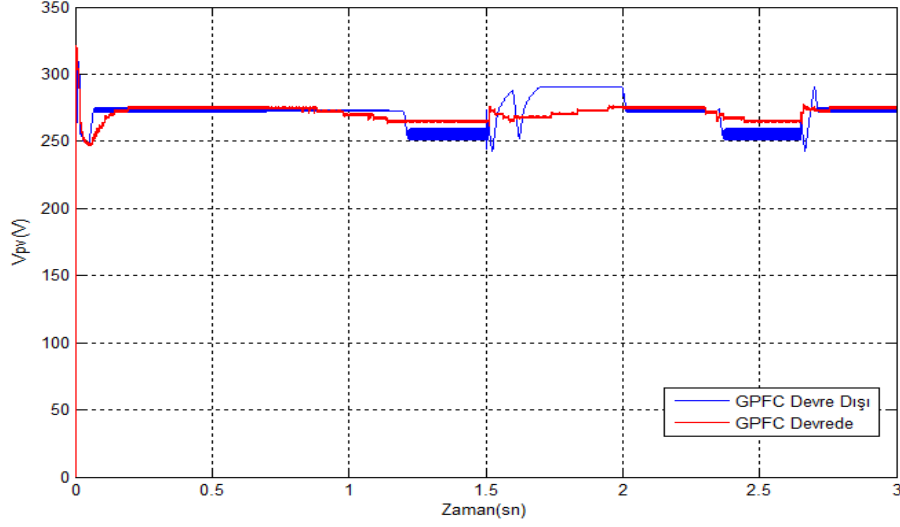
Tablo 3.3. Sabit sıcaklık ve değişik azalan-artan ışınım durumunda PSO algoritmasıyla elde edilen sonuçlar

Parçacık Sayısı (popsiz)	Maksimum İterasyon (maxit)	Performans İndeksi	Kp	Ki	Kd	Hedef Fonksiyon Değeri
5	5	ISE	186,8897	180,4690	46,6228	0,1367
		IAE	0,0091	1,000	0,001	0,1911
		ITSE	141,3207	108,3442	0,0176	0,0164
		ITAE	71,9270	41,8234	20,8023	0,0128
5	10	ISE	188,2614	191,3028	51,1128	0,1353
		IAE	0,0088	2,6722	0,001	0,1910
		ITSE	11,8706	99,8292	0,001	0,0161
		ITAE	2,4935	49,2785	0,001	0,0127
5	20	ISE	14,6481	22,8846	5,7146	0,1351
		IAE	0,001	8,5993	0,001	0,1907
		ITSE	12,6235	87,3018	0,001	0,0161
		ITAE	0,0011	51,4362	0,001	0,0127
5	50	ISE	13,2319	24,7145	6,3139	0,1351
		IAE	0,001	8,7254	0,001	0,1907
		ITSE	11,6987	87,2047	0,001	0,0161
		ITAE	0,0011	51,4362	0,001	0,0127
5	100	ISE	11,6427	26,1328	7,2051	0,1351
		IAE	0,001	8,9941	0,001	0,1907
		ITSE	2,9331	30,7909	0,001	0,0160
		ITAE	0,0011	51,4362	0,001	0,0125
10	5	ISE	161,5062	174,4326	41,6043	0,1352
		IAE	0,0109	3,7719	0,001	0,1909
		ITSE	14,5691	77,0846	0,001	0,0161
		ITAE	2,3191	47,1066	0,001	0,0127
20	5	ISE	12,9471	26,6012	7,5570	0,1351
		IAE	0,001	8,5064	0,001	0,1907
		ITSE	13,4028	69,7124	0,001	0,0161
		ITAE	0,0011	51,4362	0,001	0,0127
50	5	ISE	11,7328	25,1964	7,3940	0,1351
		IAE	0,001	8,7128	0,001	0,1907
		ITSE	1,4773	30,7909	0,001	0,0161
		ITAE	0,0011	51,4362	0,001	0,0126
100	5	ISE	11,8125	25,2311	7,1215	0,1351
		IAE	0,001	8,9941	0,001	0,1907
		ITSE	1,4773	30,7909	0,001	0,0161
		ITAE	0,3011	41,4362	0,001	0,0126

Fotovoltaik güneş panellerinden elde edilen DA gerilimin üzerinde, PSO tabanlı aktif güç filtresinin (GPFC) etkisi incelenmiştir. Sıcaklığın 25°C’de sabit olduğu ve ışınım değerinin değişik azalıp-arttığı durumda, Fotovoltaik güneş panelinin gerilimi Şekil 3.24’de görülmektedir. GPFC devrede olmadığı durumda ışınım değerinin azalıp-artması ile gerilimde meydana gelen dalgalanma bozulmalar artmıştır.

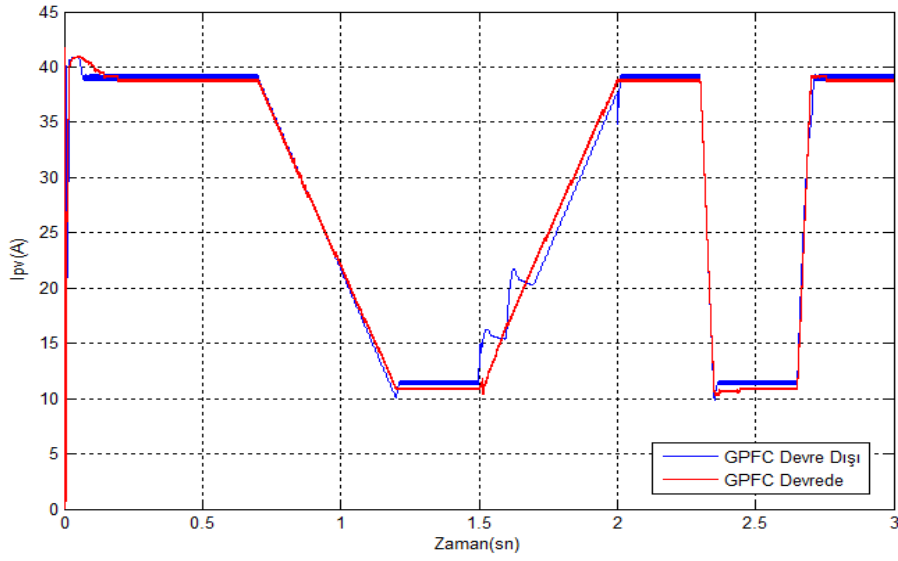
GPFC devrede değilken gerilimdeki dalgalanmanın ve bozulmanın fazlalığı, ışınımda gerçekleşen ani düşüşlerde gerilimde meydana gelen ani azalmalar, GPFC aktif güç filtresi devreye alındığı durumda kayda değer bir biçimde bastırılmıştır. GPFC devreye alınarak,

ışınımda gerçekleşen ani düşüşlerin yaşandığı durumlarda, gerilimdeki ani değişimler yerini daha yumuşak geçişlere bırakmıştır.

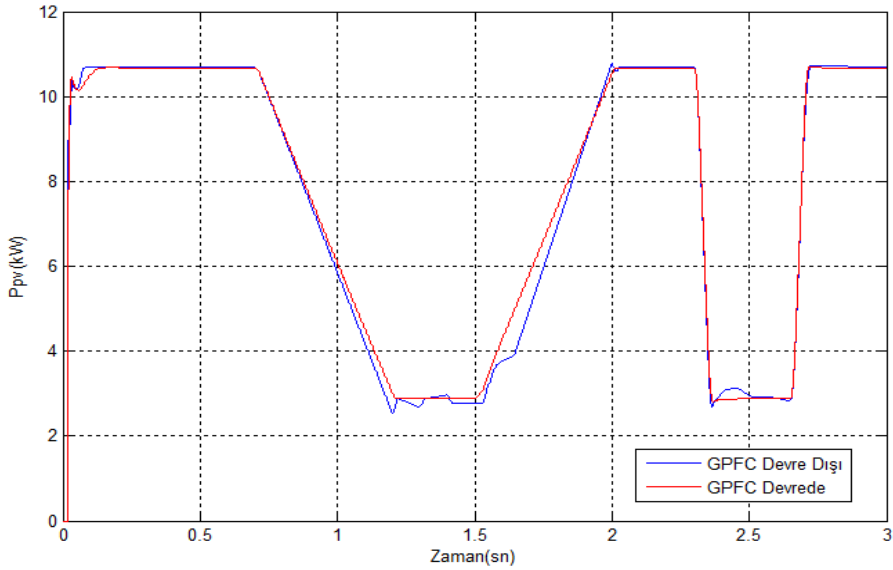


Şekil 3.24. Sıcaklığın 25°C'de sabit, ışınımın değişik azalıp-arttığı durumda gerilim üzerinde GPFC etkisi

Aynı şartlar altında fotovoltaik güneş panelinden elde edilen akımda meydana gelen değişimler Şekil 3.25'de görülmektedir. GPFC devrede değilken, ışınımın değiştiği durumlarda, gerilime oranla akım değerinde daha fazla değişim gerçekleştiği görülmektedir. Belirlenen şartlarda gerilimin değerinde fazla değişim görülmezken, ışınım değerinin 1000 W/m²'den 250 W/m² değerine düşmesi ile akımda yaklaşık 28A'lık bir değişim söz konusu olmuştur. Buradan da anlaşılacağı üzere ışınımın, fotovoltaik güneş panelinden elde edilen akım üzerinde daha çok etkisi olduğu görülmektedir. Şekil 3.26'de de fotovoltaik güneş panelinin gücündeki değişim görülmektedir.

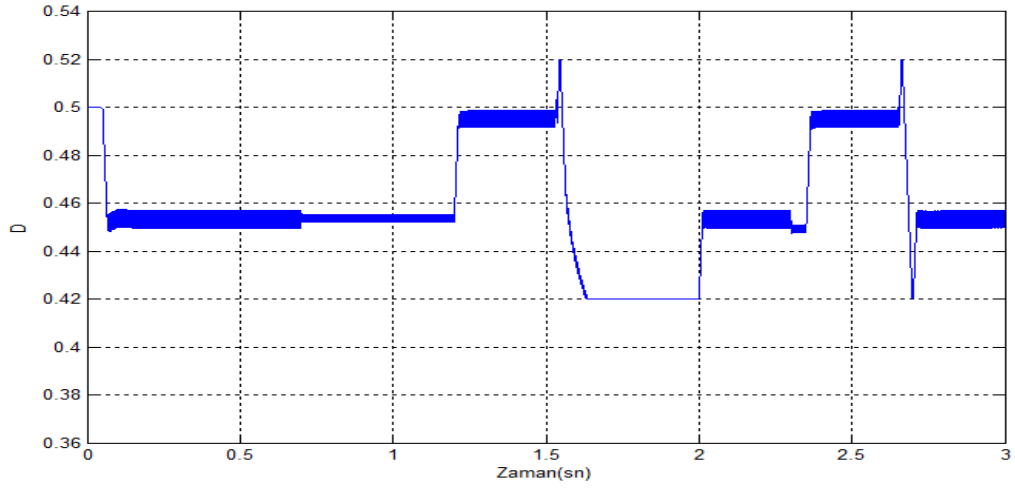


Şekil 3.25. Sıcaklığın 25°C'de sabit, ışınımın değişik azalıp-arttığı durumda akım üzerindeki GPFC etkisi

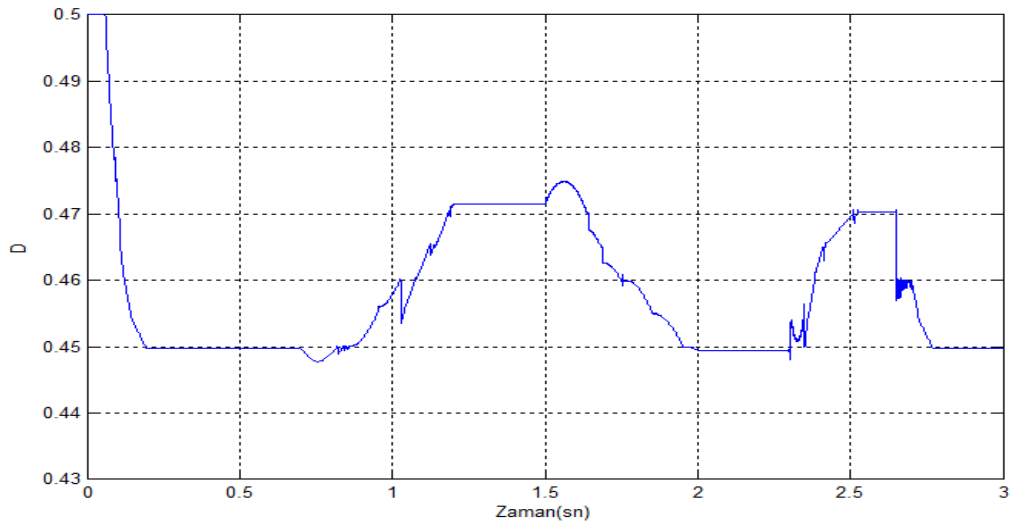


Şekil 3.26. Sıcaklığın 25°C'de sabit, ışınımın değişik azalıp-arttığı durumda güç üzerindeki GPFC etkisi

Sıcaklığın 25°C'de sabit olduğu ve ışınım değerinin değişik azalıp-arttığı durumda, devreye eklenen aktif güç filtresi (GPFC) ile gerekli iyileştirmeler yapıldıktan sonra üretilen gerilim değeri DA-DA yükselten dönüştürücü ile yükseltilerek 500V'a sabitlenmeye çalışılmıştır. Bu işlemler sırasında "D" doluluk boşluk oranı ilgili şekillerde görülmektedir.

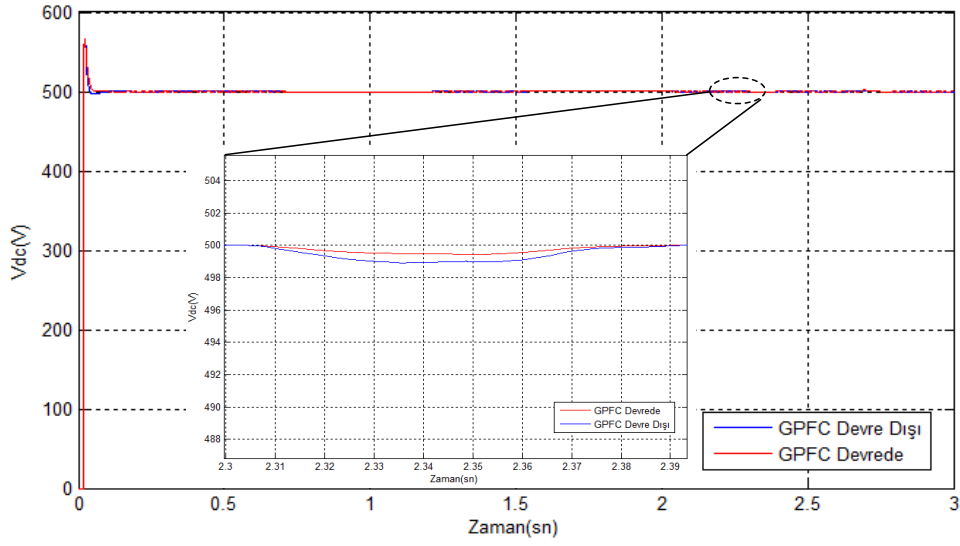


Şekil 3.27. Sıcaklığın 25°C'de sabit, ışınımın değişik azalıp-arttığı durumda GPFC devre dışında iken doluluk boşluk oranı



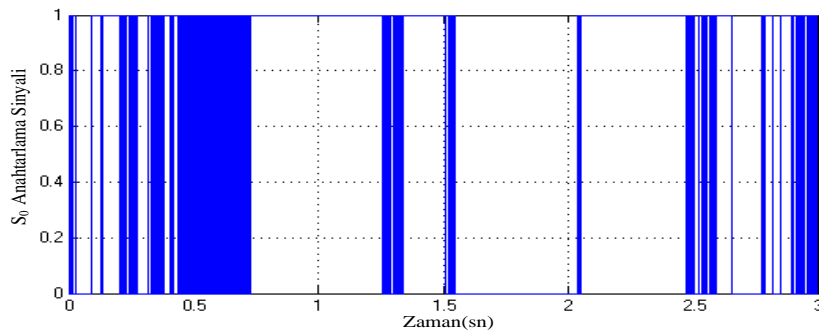
Şekil 3.28. Sıcaklığın 25°C'de sabit, ışınımın değişik azalıp-arttığı durumda GPFC devrede iken doluluk boşluk oranı

Bu işlemler aktif güç filtresinin (GPFC) devre dışında ve devrede olduğu durumlarda incelenmiş, elde edilen sonuçlar Şekil 3.29'de verilmiştir. İlgili şekilde 2.3-2.4.sn aralığındaki değişikliğin detaylı görünümü de verilmiştir.



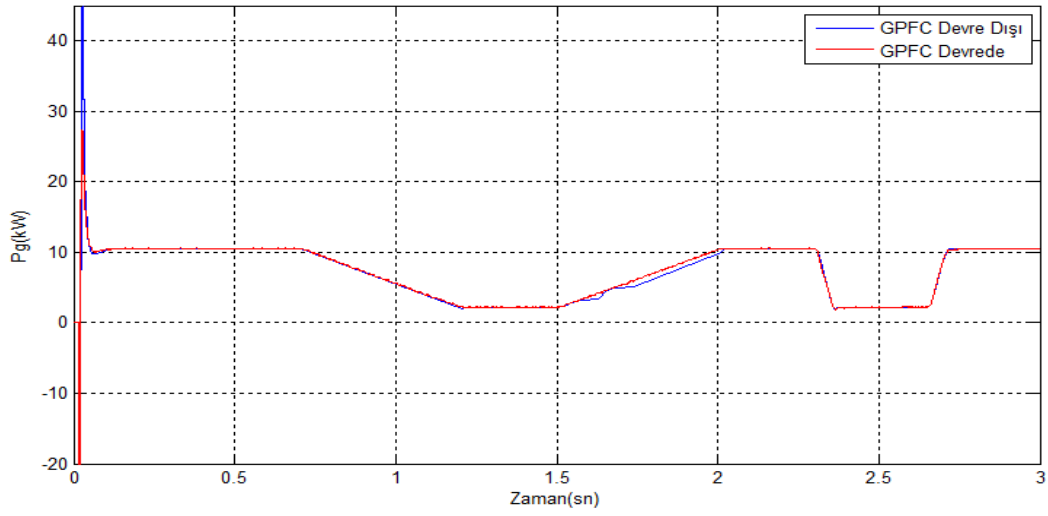
Şekil 3.29. Sıcaklığın 25°C 'de sabit, ışımının değişik azalıp-arttığı durumda yükselten dönüştürücü çıkış gerilimi

PSO tabanlı anahtarlama güç filtresinin (GPFC) devrede olduğu durumda, daha önce bahsedildiği üzere şebekenin DA kısmından alınan gerilim ve akım örnekleri çift çevrimli dinamik hata toplayıcısından geçirildikten sonra elde edilen " e_{tA} " hatası, PSO-PID denetleyiciye gönderildikten sonra elde edilen optimize edilmiş işarete bağlı olarak GPFC'deki " S_o " yarı iletken anahtarın kontrolü yapılmış, " S_o " yarı iletken anahtarın etkin bir şekilde çalıştığı Şekil 3.30'da gösterilmektedir.



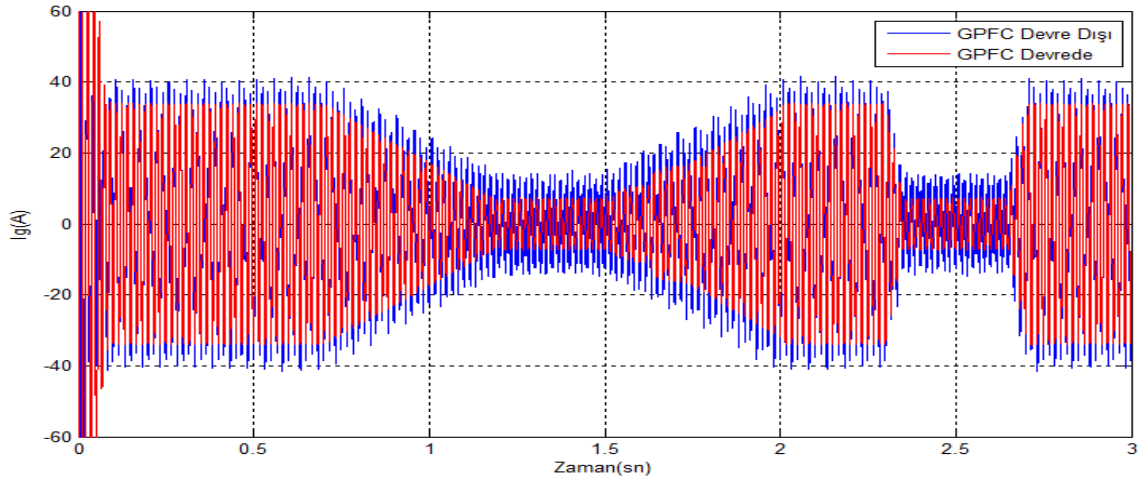
Şekil 3.30. GPFC devrede iken yarı iletken anahtarın çalışma durumu

Fotovoltaik güneş panellerinden üretilen doğru gerilim, aktif güç filtresi (GPFC) ile filtre edildikten sonra DA yükler beslenip, yükselten dönüştürücü ile 500 V gerilim düzeyine yükseltip bu değerde sabitlendikten sonra alternatif gerilime dönüştürülmüştür.



Şekil 3.31. Sıcaklığın 25°C'de sabit, ışınımın değişik azalıp-arttığı durumda şebekeye aktarılan güç

Alternatif gerilime dönüştürüldükten sonra hem hibrid AA yükler beslenip hem de şebekeye enerji aktarımı yapılmıştır. Şebekeye aktarılan güç Şekil 3.31'de görülmektedir. Şekil 3.32'de şebekeye aktarılan akım üzerinde GPFC'nin etkisi açıkça görülmektedir. GPFC devreye alınarak şebekeye aktarılan akımdaki dalgalanma ve bozukluklar giderilip, bu haliyle şebekeye aktarılmıştır. Işınım azaldıkça şebekeye aktarılan akımın kalitesinde de azalma olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.32. Sıcaklığın 25°C'de sabit, ışınımın değişik azalıp-arttığı durumda şebekeye aktarılan akım

3.4. Sabit Sıcaklık ve Sabit Işınım Altında Yükteki Değişmeler Durumunda Elde Edilen Bulgular

Sıcaklığın 25°C’de sabit olduğu ve ışınım değerinin de sabit 1000 W/m² olduğu durumda, Kurulan şebeke bağlantılı fotovoltaik sistem; 275.3 V gerilim, 38.7 A akım ve 10.65 kW’lık güç değerlerine sahiptir. Yük durumunun incelendiği bu bölümde 1 kW’lık DA motor, 2 kW’lık asenkron motor ve 1 kW-500 Var’lık R-L yükü sistemde bulunmaktadır. Yapılan 3sn’lik simülasyonda başlangıçtan 1.5sn sonra DA motor ve asenkron motor yükleri iki katına çıkarılmış, R-L yükü ise 1.5 kW-500 Var değerine yükseltilmiştir.

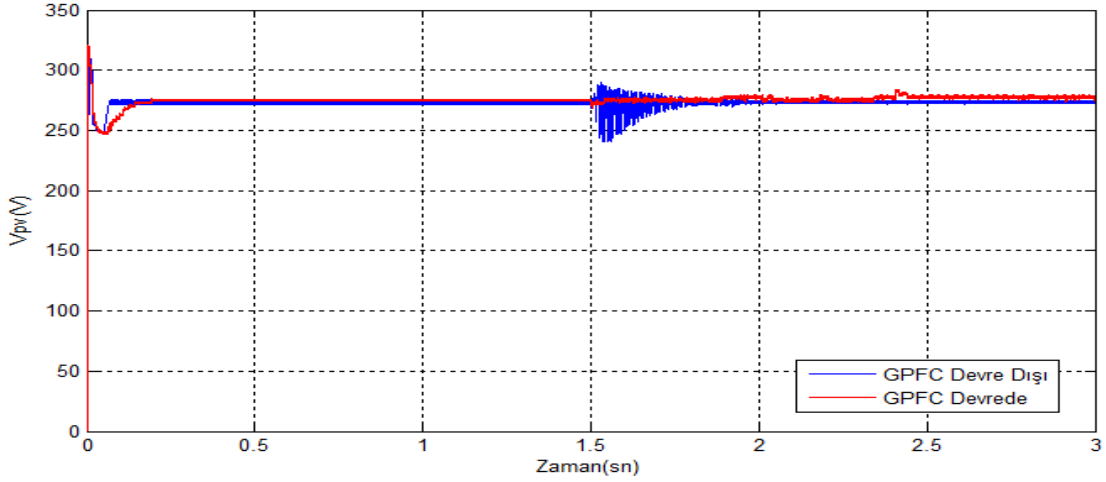
Bu şartlar altında PSO tabanlı aktif güç filtresinin (GPFC) devrede olduğu ve devreden çıkarıldığı durumlara ilişkin bulgular aşağıda verilmiştir. GPFC’nin devrede olduğu durumda belirlenen sıcaklık ve ışınım şartları altında PSO kontrol parametrelerinden olan parçacık sayısı, iterasyon sayısı ve hedef fonksiyon türü değiştirilerek PSO algoritması çalıştırılmış ve bulgular Tablo 3.4’de gösterilmiştir. Bulunan bu sonuçlar doğrultusunda, en optimum değerler sistem için belirlenmiş ve bu doğrultuda bulgular verilmiştir. Tablo 3.4’de görülen sonuçlar doğrultusunda parçacık sayısının, iterasyon sayısının ve seçilen performans indeksinin sistemin çalışmasında etkili olduğu açıkça ortadadır. Parçacık sayısının ve iterasyon sayısının artırılması sistem için daha iyi sonuç vermiştir. En iyi sonuç; parçacık sayısının 5, iterasyon sayısının da 100 olduğu durumda elde edilmiştir. Aynı sonuç parçacık sayısının 100 olduğu durumda da elde edilmiştir, fakat sistem sonucunun elde edildiği sürenin daha kısa olduğu 50 parçacık sayılı durumdaki PID parametre değerleri sonuç olarak belirlenmiştir. Bu sonucun elde edildiği durumda hedef fonksiyonumuzun ITAE (İntegral Time Absolute Error) olduğu görülmektedir. Bu durumda hedef fonksiyonunun elde edilen en küçük değeri aldığı ve bu değer 0,0118 olduğu görülmektedir.

Tablo 3.4. Sabit sıcaklık ve sabit ışınım altında yükteki değişimler durumunda PSO algoritmasıyla elde edilen sonuçlar

Parçacık Sayısı (popsiz)	Maksimum İterasyon (maxit)	Performans İndeksi	Kp	Ki	Kd	Hedef Fonksiyon Değeri
5	5	ISE	0,201	9,403	91,4830	0,0886
		IAE	71,5353	0,0793	33,5080	0,1599
		ITSE	3,5579	79,2896	99,8748	0,0196
		ITAE	6,5202	73,7833	128,9529	0,0119
5	10	ISE	7,8865	0,001	110,4716	0,0884
		IAE	71,9270	41,7893	20,8023	0,1599
		ITSE	6,4037	73,8950	127,9627	0,0196
		ITAE	7,7145	77,1232	119,4741	0,0119
5	20	ISE	0,001	22,5633	11,4636	0,0884
		IAE	93,9043	50,7511	0,001	0,1598
		ITSE	6,6374	73,6829	129,1380	0,0196
		ITAE	6,4923	75,4629	123,1028	0,0119
5	50	ISE	0,001	1,000	73,5116	0,0883
		IAE	11,3851	0,0011	17,3400	0,1596
		ITSE	6,6167	75,9641	127,1732	0,0195
		ITAE	5,9876	74,2886	122,3658	0,0119
5	100	ISE	0,001	0,001	46,2234	0,0876
		IAE	0,1746	0,2354	13,4527	0,1592
		ITSE	3,4476	77,2467	98,7856	0,0195
		ITAE	6,5237	75,1426	125,0410	0,0118
10	5	ISE	30,3735	0,003	74,0168	0,0884
		IAE	71,5353	0,0793	33,5080	0,1599
		ITSE	7,2153	69,8427	89,4547	0,0196
		ITAE	8,0816	77,2045	107,9265	0,0120
20	5	ISE	55,5426	0,001	85,3901	0,0884
		IAE	46,0321	0,1748	23,1421	0,1598
		ITSE	11,3025	59,7125	92,4938	0,0196
		ITAE	6,1928	76,4887	122,4339	0,0119
50	5	ISE	0,004	44,4376	80,0586	0,0882
		IAE	4,7743	0,1428	10,3330	0,1597
		ITSE	5,2059	72,3356	97,1328	0,0196
		ITAE	6,1905	74,5581	119,6209	0,0119
100	5	ISE	0,001	1,8234	0,001	0,0887
		IAE	2,0307	1,7785	7,2563	0,1593
		ITSE	4,0123	77,1461	101,1759	0,0195
		ITAE	5,4978	76,2389	124,3143	0,0119

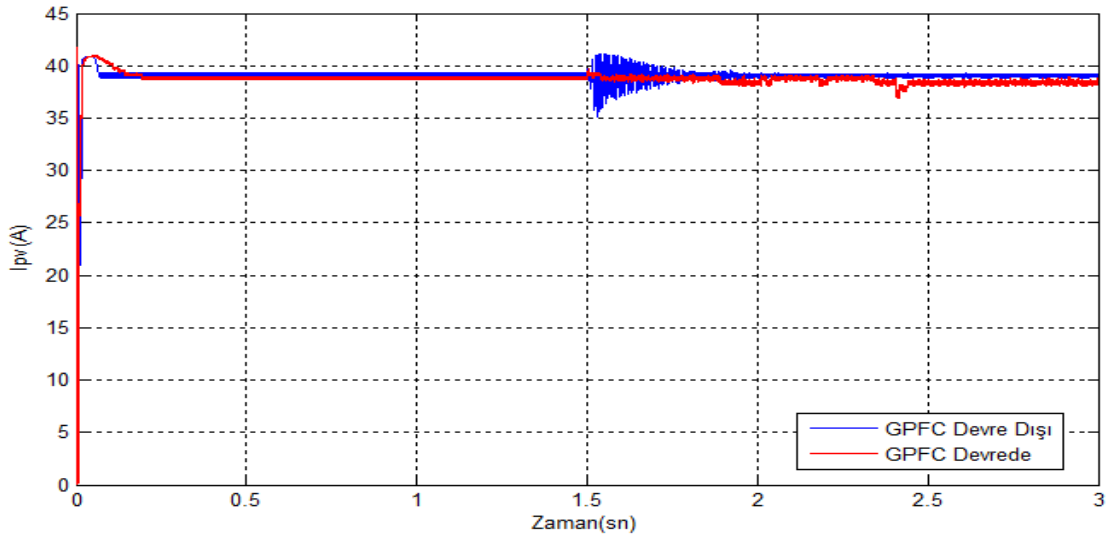
Fotovoltaik güneş panellerinden elde edilen DA gerilimin üzerinde, PSO tabanlı aktif güç filtresinin (GPFC) etkisi incelenmiştir. GPFC'nin devrede olmadığı durumda; fotovoltaik güneş panellerinden, sabit 25°C sıcaklık ve sabit 1000 W/m² ışınım şartlarında elde edilen 275,3 V gerilimde simülasyonun başlangıcından 1.5sn sonra yükte meydana gelen artış sonucu yaklaşık tepeden tepeye 40 V'luk ani bozuk dalgalanma ortaya çıkarken, GPFC devreye alındığı durumda gerilimde meydana gelen bu ani değişim bastırılmaktadır.

Şekil 3.33'de belirlenen şartlar altında yükte meydana gelen artış sonucu, GPFC'nin fotovoltaik panel gerilimi üzerindeki etkisi görülmektedir.

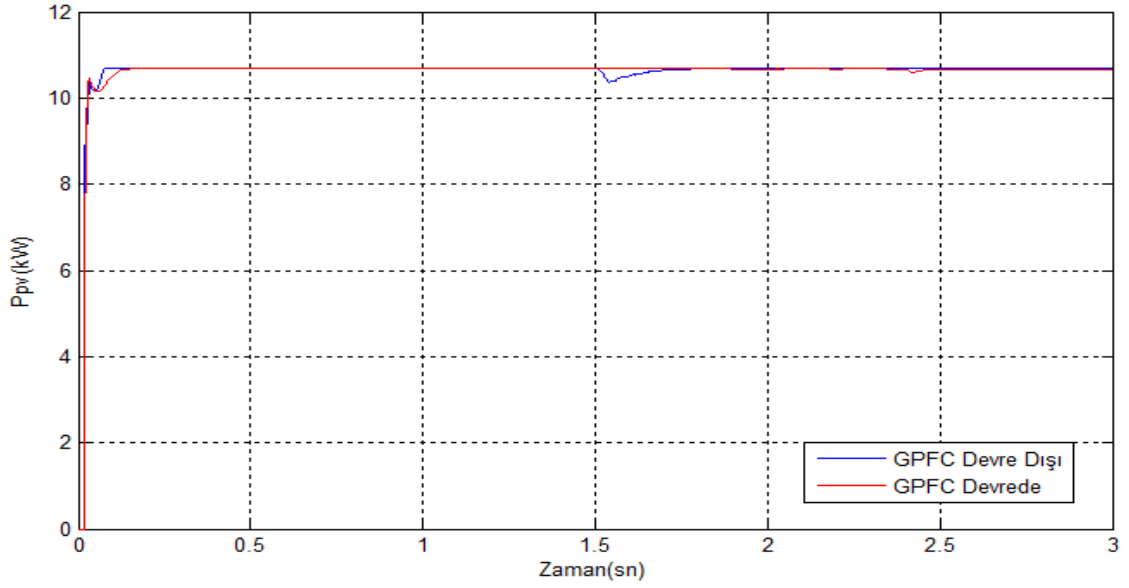


Şekil 3.33. Sabit sıcaklık ve sabit ışınım altında yükteki artış durumunda gerilimde GPFC etkisi

Aynı şekilde, fotovoltaik güneş panellerinden, sabit 25°C sıcaklık ve sabit 1000 W/m^2 ışınım şartlarında elde edilen 38.7 A akımda simülasyonun başlangıcından 1.5 sn sonra yükte meydana gelen artış sonucu yaklaşık tepeden tepeye 7 A 'lık ani bozuk dalgalanma ortaya çıkarken, GPFC devreye alındığı durumda akımda meydana gelen bu ani değişim bastırılmaktadır. Ayrıca fotovoltaik panel gücündeki değişim de Şekil 3.35'de görülmektedir.

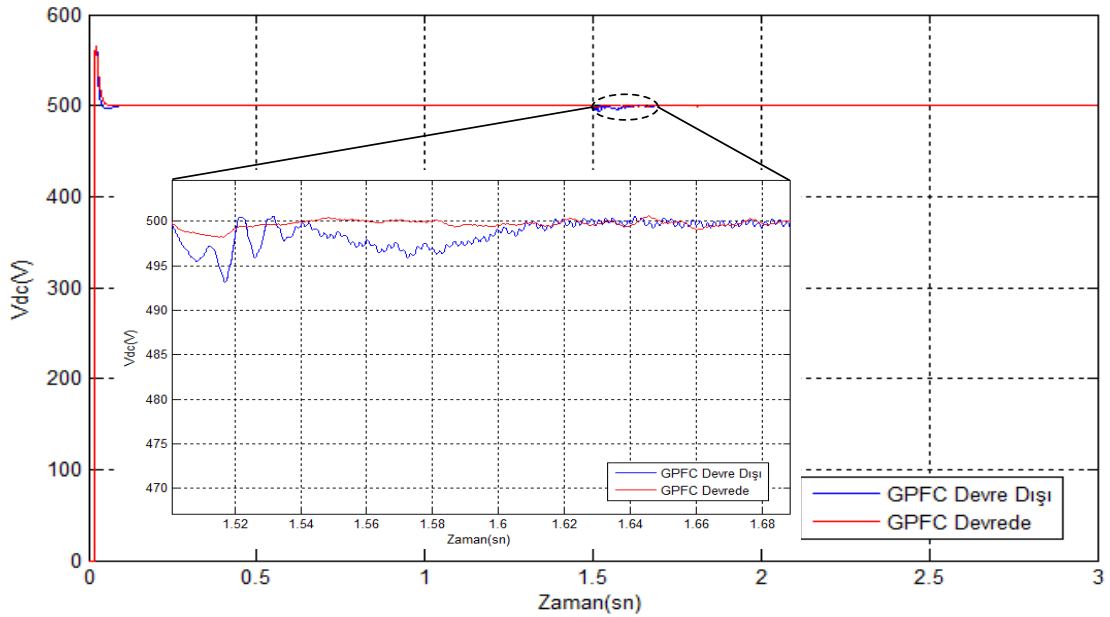


Şekil 3.34. Sabit sıcaklık ve sabit ışınım altında yükteki artış durumunda akımda GPFC etkisi



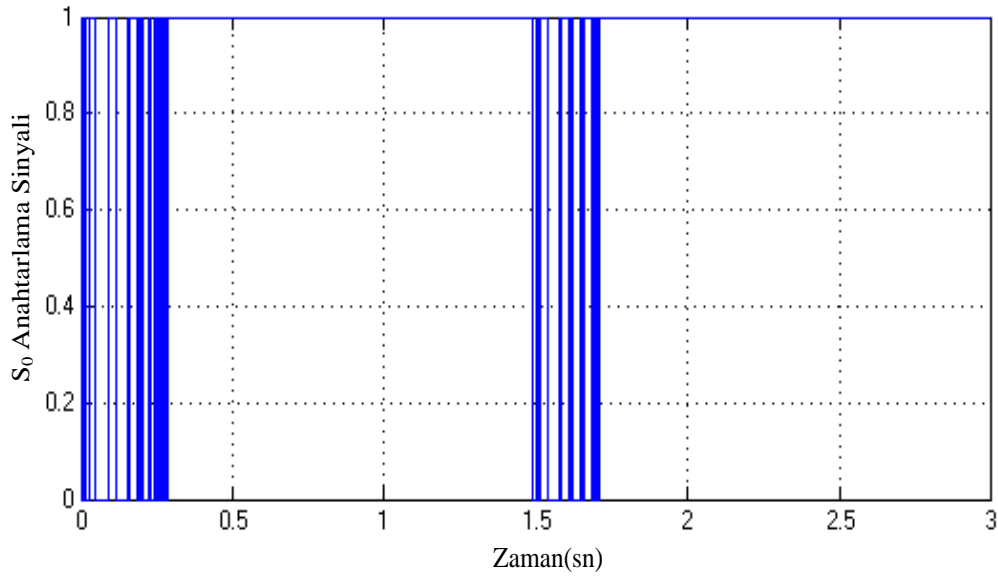
Şekil 3.35. Sabit sıcaklık ve sabit ışınlam altında yükteki artış durumunda güçte GPFC etkisi

Sıcaklığın 25°C 'de sabit olduğu ve ışınlam değerinin 1000 W/m^2 olduğu durumda, devreye eklenen aktif güç filtresi (GPFC) ile gerekli iyileştirmeler yapıldıktan sonra üretilen gerilim değeri DA-DA yükselten dönüştürücü ile yükseltilecek 500V'a sabitlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.36. Sıcaklığın sabit, ışınlamın sabit ve yükte artış olduğu durumda yükselten dönüştürücü çıkış gerilimi

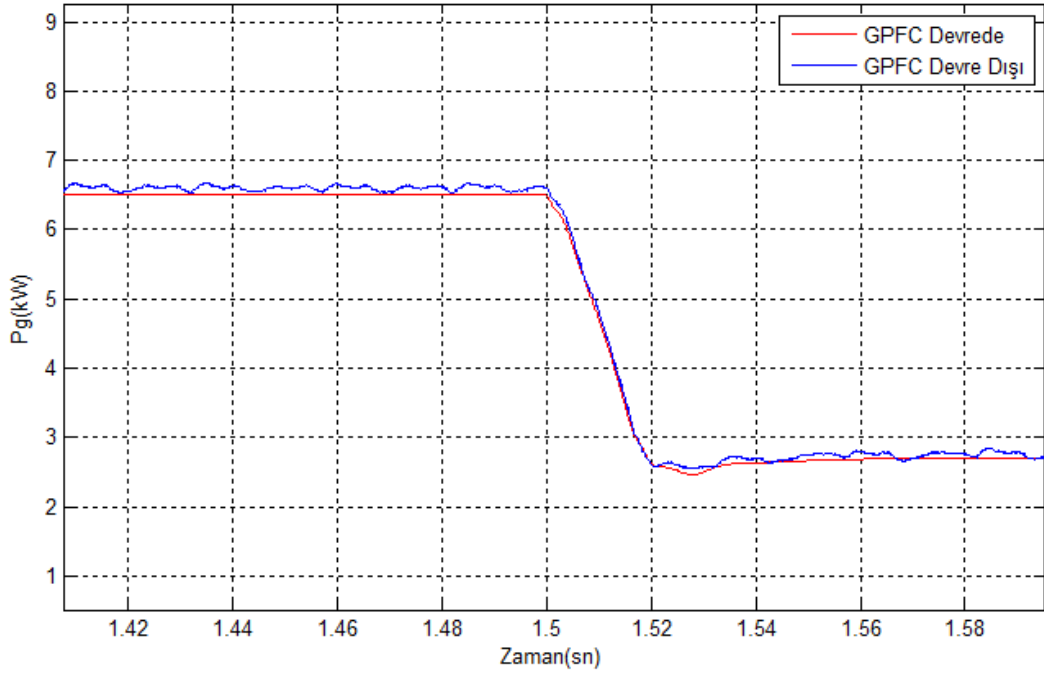
PSO tabanlı anahtarlama güç filtresinin (GPFC) devrede olduğu durumda, daha önce bahsedildiği üzere şebekenin DA kısmından alınan gerilim ve akım örnekleri çift çevrimli dinamik hata toplayıcısından geçirildikten sonra elde edilen “ e_{IA} ” hatası, PSO-PID denetleyiciye gönderildikten sonra elde edilen optimize edilmiş işarete bağlı olarak GPFC’deki “ S_o ” yarı iletken anahtarın kontrolü yapılmış, “ S_o ” yarı iletken anahtarın etkin bir şekilde çalıştığı Şekil 3.37’de gösterilmektedir.



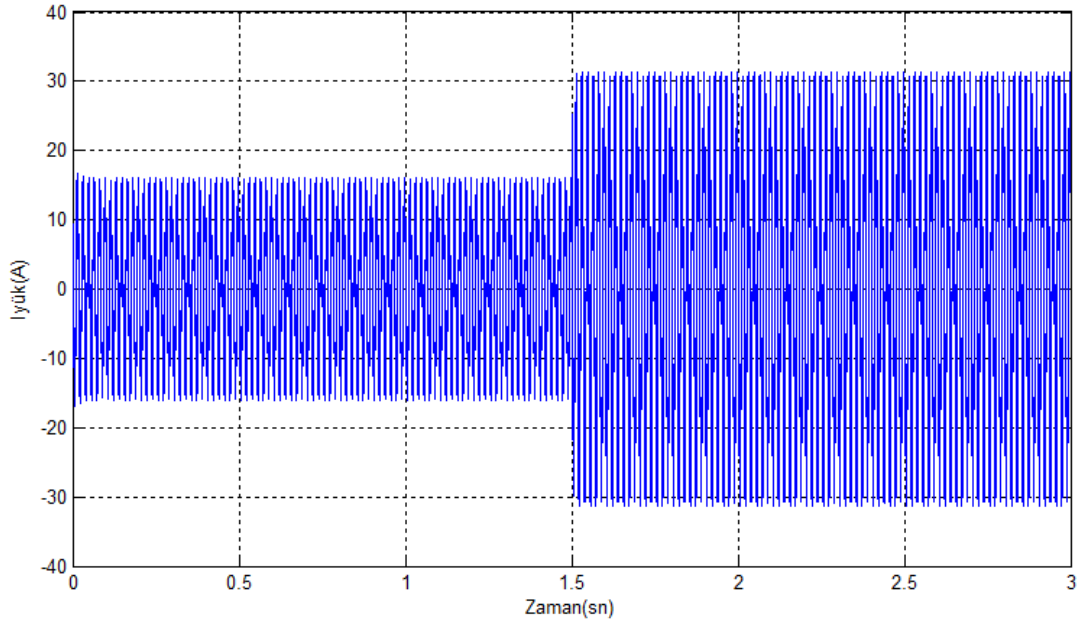
Şekil 3.37. GPFC devrede iken yarı iletken anahtarın çalışma durumu

Fotovoltaik güneş panellerinden üretilen doğru gerilim, aktif güç filtresi (GPFC) ile filtre edildikten sonra DA yükler beslenip, yükselten dönüştürücü ile 500 V gerilim düzeyine yükseltilip bu değerde sabitlendikten sonra alternatif gerilime dönüştürülmüştür.

Alternatif gerilime dönüştürüldükten sonra yükte meydana gelen artış durumunda hem hibrid AA yükler beslenip hem de şebekeye enerji aktarımı yapılmıştır. Şebekeye aktarılan gücün durumu Şekil 3.38’de görülmektedir. Şekil 3.39’de GPFC devrede iken yüke aktarılan akımın bir fazına ilişkin sonuç görülmektedir. GPFC devreye alınarak şebekeye aktarılan güçteki dalgalanma ve bozukluklar giderilip, bu haliyle şebekeye aktarılmıştır. GPFC’nin devreye alındığı durumda toplam harmonik bozulması %1.85 olarak ölçülmüştür.



Şekil 3.38. Sabit sıcaklık ve sabit ışınlam altında yükteki artış durumunda şebekeye aktarılan güçte GPFC etkisi



Şekil 3.39. Sabit sıcaklık ve sabit ışınlam altında yükteki artış durumunda GPFC devrede iken yüke aktarılan akımın değişimi

4. İRDELEME

PSO tabanlı aktif güç filtresinin (GPFC) kurulan sistem üzerindeki etkileri incelendiğinde, GPFC'nin devrede olmadığı duruma göre devreye alındığında sistemin daha iyi sonuçlar ortaya koyduğu görülmüştür. Sistem dört farklı durum için incelenmiştir. İlk durum sıcaklığın ve ışınımın sabit olduğu durum olmakla birlikte, ikinci ve üçüncü durumda ışınım seviyesi farklı şekillerde değiştirilmiştir. Son durumda ise kurulan sistemde belirli bir saniyede sistemden beslenen yük artırılmıştır.

Sistem için belirlenen bu şartlarda, sistem ilk önce her dört farklı durum için GPFC devrede olmadan çalıştırılmış ve sonuçlar kaydedilmiştir. GPFC'nin devrede olmadığı durumlarda Fotovoltaik güneş panellerinden elde edilen akım, gerilimde bozulmalar, dalgalanmalar ve ani sıçramalar gözlemlenmiştir. Akım ve gerilimde meydana gelen bu bozulmalar fotovoltaik gücü de aynı şekilde etkilemektedir. Sistemde bulunan yüklerin verimli ve düzgün şekilde beslenebilmesi ve sistemin bağlı olduğu şebekeye kaliteli ve düzgün enerji aktarılması için tasarlanan PSO tabanlı aktif güç filtresi (GPFC) kullanılmıştır. PSO ile optimize edilen GPFC devrede olduğu durumda akım ve gerilimde oluşan dalgalanmalar, ani sıçramalar ve dengesizlikler büyük oranda bastırılmıştır. Aynı zamanda D&G Algoritması tabanlı MGNT birimi ile denetlenen DA-DA yükseltilen dönüştürücü ile 500 V'a yükseltilip sabitlenen gerilim, düzgün bir şekilde alternatif gerilime dönüştürülmeye, AA hibrid yüklerini beslemeye ve geriye kalan enerjinin de kaliteli bir şekilde şebekeye aktarılması sağlanmıştır.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında şebeke bağlantılı fotovoltaik güç sistemi için PSO tabanlı aktif güç fitresi (GPFC) kullanarak sabit DA gerilim elde etmek için gerekli tasarımlar yapılmıştır. Kullanılan aktif güç filtresinin denetimi çift çevrimli hata toplayıcı ile denetlenmektedir. Çift çevrimli hata toplayıcısındaki PID denetleyicinin parametreleri Parçacık Sürü Optimizasyonu ile optimum şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. Fotovoltaik panellerden elde edilen gerilim GPFC ile filtre edildikten sonra DA-DA yükselten dönüştürücü ile sabit bir gerilim düzeyinde tutulmaya çalışılmıştır. DA-DA yükselten dönüştürücü değiştir-gözle (D&G) Maksimum Güç Noktası Takibi (MGNT) algoritması ile kontrol edilmektedir. DA yükler beslendikten sonra, gerilim DA-AA dönüştürücü vasıtasıyla alternatif gerilime dönüştürülüp, hibrid AA yükler beslenirken, aynı zamanda şebekeye de enerji aktarımı yapılmıştır. Sistem için önerilen PSO tabanlı aktif güç filtresinin, değişken atmosfer koşullarında ve değişken yük durumundaki performansı, verilen sonuçlarla değerlendirilmiştir.

6. ÖNERİLER

Bu çalışmada şebeke bağlantılı fotovoltaik güç sistemi için tasarlanan PSO tabanlı aktif güç fitresi (GPFC) incelenmiştir. Fotovoltaik sistemler üzerinde bilindiği üzere atmosferik koşullar etkili olmaktadır. Değişen atmosferik koşullarda yani sıcaklık ve ışınımın değiştiği durumlarda, sistemin verimli şekilde çalışmasını sürdürmesi için iyi bir şekilde denetlenmesi, üretilen akım ve gerilimin iyi şekilde filtrelenmesi gerekmektedir. Sistemde kullanılan aktif güç filtresinin denetimi PSO-PID ile yapılmaktadır. Burada kullanılan PSO algoritmasına ek olarak genetik algoritma, karınca kolonisi algoritması, arı kolonisi algoritması ve bulanık mantık gibi esnek akıllı hesaplama teknikleri kullanılabilir. Sistemde DA yükselten dönüştürücüyle elde edilen sabit gerilim D&G algoritması tabanlı MGNT birimi ile sağlanmaktadır. Burada farklı algoritma tabanlı MGNT sistemleri de kullanılabilir. Ayrıca sistemin alternatif gerilimle çalıştığı kısımda farklı filtreler kullanılarak sistemdeki elektrik enerjisinin verimi ve kalitesi artırılabilir.

7. KAYNAKLAR

1. Ramkumar, R. ve Bigger, J. E., "Photovoltaic Systems". Proceedings of IEEE. 81 (1993) 365 – 377.
2. Bolduc, P., Lehmicke, D. ve Smith, J., "Performance of a grid connected PV system with energy storage". IEEE Photovoltaic. (1993) 1159 – 1162.
3. Román, E., Alonso, R. ve Ibañez, P., "Intelligent PV Module for Grid- Connected PV Systems", IEEE Transactions on Industrial electronics, 53,4 (2006) 1066 – 1073.
4. Li, D., Cheung, K. L., Lam, T., ve Chan, W. A study of grid-connected photovoltaic PV system in Hong Kong. *Applied Energy*, 2011.
5. Sritakaew, P., ve Sangswang, A., "On the Reliability Improvement of Distribution Systems Using PV Grid-Connected Systems". IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and systems. (2006) 1354 - 1357.
6. Udea, Y., Kurokawa, K., Kitamura, K., Yokota, M., Akanuma, K., ve Sugihara, H. "Performance analysis of various system configurations on grid-connected residential PV systems". Solar energy materials & solar cells, (2009) 945-949.
7. Mulder, G., De Ridder, F., ve Six, D. "Electricity storage for grid-connected household dwellings with PV panels". Solar energy, 84 (2010) 1284-1293.
8. De La Hoz, J., Boix, O., Martin, H., Martin, B. ve Gralles, M. "Promotion of grid-connected Photovoltaic systems in Spain: performance analysis of the period 1998-2008". Renewable and sustainable energy reviews, 14, (2010) 2547-2563.
9. Elhodeiby, A.S., Metwally, H.M.B., ve Farahat, M.A., "Performance analysis of 3.6KW Rooftop grid connected photovoltaic system Egypt. International Conference on Energy Systems and Technologies (ICEST 2011) March 2011, Cairo, Egypt.
10. Mondal, M., ve Islam, A., "Potential and viability of grid connected solar PV system in Bangladesh". Renewable energy, 36 (2011) 1869-1874.
11. Eiben, A., ve Smith, J. E., "Introduction to Evolutionary Computing". Berlin: Springer-Verlag,2003.
12. Fernández, A., García, S., Luengo, E., Bernadó-Mansilla, J., ve Herrera, F., "Genetics-based machine learning for rule induction: State of the art, taxonomy and comparative study". IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 14,6 (2010) 913–941.

13. García, S. ve Herrera, F., “Evolutionary under-sampling for classification with imbalanced data sets: Proposals and taxonomy”. *Evolutionary Computation*, 13,3 (2009) 275–306.
14. Triguero, I., García, S. ve Herrera, F., “IPADE: Iterative prototype adjustment for nearest neighbor classification”. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 21,12 (2010) 1984–1990.
15. Triguero, I., García, S., ve Herrera, F., “Differential evolution for optimizing the positioning of prototypes in nearest neighbor classification”. *Pattern Recognition*, 44,4 (2011) 901–916.
16. Panda, S. ve Padhy, N.P., “Robust Power System Stabilizer Design Using Particle Swarm Optimization Technique”, *International Journal of Electrical Systems Science and Engineering*, 1,1 (2008) 1-8.
17. Wang, Z., Chung, C.Y., Wong, K.P. ve Tse, C.T., “Robust PSS Design under Multioperating Conditions Using Canonical Particle Swarm Optimization”, *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, (2007) 1-7.
18. Al-Rashidi, M.R. ve El-Hawary, M.E., “A Survey of Particle Swarm Optimization Applications in Electric Power Systems”, *IEEE Trans. Evolut. Comput.*, accepted for future publication. 2006.
19. Z.L. Gaing, “A Particle Swarm Optimization approach for Optimum Design of PID controller in AVR System,” *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 19,2 (2004) 284-291.
20. Zheng, Y., Ma, L., Zhang, L., ve Qian, J., "Robust PID Controller Design Using Particle Swarm Optimizer," *Proceedings of the 2003 IEEE International Symposium on Intelligent Control*, Houston, Texas, (2003) 974-979.
21. Kao, C.C., “The Self-Tuning PID Controller in a Slider-Crank Mechanism System by applying Particle Swarm Optimisation Approach,” *Mechatronics*, 16, 513 -522, Elsevier, 2006.
22. Ghoshal, S.P., “Optimisations of PID Gains by Particle Swarm Optimisations in Fuzzy Based Automatic Generation Control,” *Electric Power Systems*, 72 203 – 212, Elsevier, 2004.
23. Eberhart, R.C. ve Shi, Y., “Comparing inertia weights and constriction factors in particle swarm optimization” *Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation*, (2000) 84-88.
24. Fathi, A.H., Khaloozadeh, H., ve Nekoui, M.A., “Tuning of PID controller parameters using PSO and GA”, *In Proceedings of the 16th International Symposium on Power Electronics*, T4-2.7 (2011) 1-4.

25. Şen, Z., Solar Energy Fundamentals and Modeling Techniques, “*Atmosphere, Environment, Climate Change and Renewable Energy*”, Springer, 2008.
26. Renewables Global Futures Report, (Paris: REN21), 2013.
27. Renewables 2011 Global Status Report, (Paris: REN21 Secretariat), 2011.
28. Renewable Energy Data Book, Energy Efficiency & Renewable Energy, U.S. Department of Energy, 2010.
29. Renewable Energy Data Book, Energy Efficiency & Renewable Energy, U.S. Department of Energy, 2011.
30. Global Trends in Sustainable Energy Investment, “*Analysis of Trends and Issues in the Financing of Renewable Energy and Energy Efficiency*”, United Nations Environment Programme(UNEP), 2010.
31. Renewables 2012 Global Status Report,(Paris: REN21 Secretariat), 2012.
32. U.S. Energy Information Administration(EIA), Turkey Report, 2013.
33. Bilgen, S., Keleş, S., Kaygusuz, A., Sarı, A. ve Kaygusuz, K., “Global warming and renewable energy sources for sustainable development: A case study in Turkey”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, (2008) 372-396.
34. Canka Kilic, F., “Recent renewable energy developments, studies, incentives in Turkey”, Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research, 28,1 (2011) 37-54.
35. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Görünümü, 2010.
36. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Enerji Raporu 2012, Ankara, Aralık 2012.
37. Global Wind Energy Council(GWEC), Global Wind Statistics 2012, 2013.
38. McBDC Business Development & Consultancy Services Co.Ltd, Renewable Energy in Turkey, 2013.

39. T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2010-2014 Stratejik Planı, 2010.
40. Çolak, L., “Güneş Enerjisi Uygulamalarının Yaygınlaştırılmasında Yük Faktörü, Ar-Ge Destekleri ve Teşviklerin Önemi”, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye 11. Enerji Kongresi, Ekim 2009, İzmir.
41. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Dünya’da ve Türkiye’de Güneş Enerjisi, 2009.
42. Turgu Alaçakır, F.B., “Güneş Pilleri (Photovoltaik Sistemler) Kullanılarak Kurulacak Elektrik Üretim Güç Santralleri”, Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye 11. Enerji Kongresi, Ekim 2009, İzmir.
43. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, Oda Raporu: “Türkiye’nin Enerji Görünümü”, MMO/588, 2012.
44. Altaş, İ.H., Fotovoltaik Güneş Pilleri: Yapısal Özellikleri ve Karakteristikleri, Aylık 3e (Enerji, Elektrik, Elektromekanik) Dergisi, 47 (1998) 66-71.
45. Goetzberger, A. ve Hoffmann, V.U., Photovoltaic Solar Energy Generation, SSOS 112, Springer, 2005.
46. Kalogirou, S.A., Solar Energy Engineering, Processes and Systems, Elsevier, 2009.
47. Patel, M.R., Wind and Solar Power Systems, CRC Press, 1999.
48. Altaş, İ.H., Fotovoltaik Güneş Pilleri: Eşdeğer Devre Modelleri ve Gün Işığı ile Sıcaklığın Etkileri, Aylık 3e (Enerji, Elektrik, Elektromekanik) Dergisi, 46 (1998) 86-91.
49. Qiufeng, S., Sujuan, L. ve Hai-Zhu, Y., “ Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic System by Using Fuzzy Algoritm”, International Conference on Intelligence Computing and Cognitive Informatic, 2010.
50. Stosovic, M.A., Lukac, D. ve Litovski, V., “Realistic Modelling and Simulation of the PV System-Converter Interface”, Proceeding of Small System Simulation Symposium 2012, 12th-14th February, Serbia, 2012.
51. Di Piazza, M.C., Ragusa, A., Luna, M. ve Vitale, G., “A Dynamic Model of a Photovoltaic Generator Based on Experimental Data”, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ’10), Granada, Spain, March, 2010.

52. Skocil, T. ve Donsion, M.P., "Mathematical Modeling and Simulation of Photovoltaic Array", International Conference On Renewable Energies And Power Quality (ICREPQ'08), Santander, March 2008.
53. Leban, K. ve Ritchie, E., "Selecting The Accurate Solar Panel Simulation Model", Proceedings of the Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics (NORPIE/2008), Helsinki University of Technology, 2008.
54. Costaner, L. ve Santiago, S., Modelling Photovoltaic System Using Pspice, John Wiley & Sons, 2002.
55. Shekoafa, O. ve Taherbanch, M., "Modelling of Silicon Solar Panel by Matlab/Simulink and Evaluating the Importance of its Parameters in a Space Application", June 2007, IEEE, 1-4244-1057.
56. González-Longatt, F.M., "Model of Photovoltaic Module in Matlab", II CIBELEC, 2005.
57. Shuhui, L. ve Huiying, Z., "Energy Extraction Characteristic Study of Solar Photovoltaic Cells and Modules", Power and Energy Society General Meeting, , July 2011, IEEE.
58. Durgadevi, A., Arulselvi, S. ve Natarajan, S.P., "Photovoltaic Modeling and Its Characteristics", Proceedings of Ictect, IEEE, 2011.
59. Huan-Liang, T., Ci-Siang, T. ve Yi-Jie, S., "Development of Generalized Photovoltaic Model Using Matlab/Simulink", Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science (WCECS), October 2008, San Francisco, USA.
60. Krisztina, L. ve Ewen, R., "Selecting the Accurate Solar Panel Simulation Model", Proceedings of the Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics (NORPIE), 2008.
61. Bayrak, G. ve Cebeci, M., "3.6kW Gücündeki Fotovoltaik Generatörün Matlab Simulink İle Modellenmesi", Mart 2012, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 198-204.
62. MacGill, I.F., Watt, M.E. ve Kaye, R.J., "Field experience and comparison of photovoltaic off-grid power systems and reticulated supply", Photovoltaic Energy Conversion, Conference Record of the Twenty Fourth, IEEE Photovoltaic Specialists Conference, IEEE First World Conference, 1994.

63. Misak, S. ve Prokop, L., "Off-grid power systems", Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 9th International Conference, May 2010, Prague.
64. Manju, B.S., Ramaprabha, R. ve Mathur, B.L., "Modelling and control of standalone solar photovoltaic charging system", Emerging Trends in Electrical and Computer Technology (ICETECT), March 2011, India.
65. Weixiang, S. ve See Kok Bin, A., "Investigation of standalone photovoltaic systems", Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 6th IEEE Conference, June 2011, China.
66. Ofualagba, G., "Photovoltaic technology, applications and market", Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, July 2008, IEEE.
67. Çalıkoğlu, S., Özdemir, E. ve Uçar, M., "Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Elektrik Üretim Sistemlerinin Güç Kalitesine Etkileri", 4. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu(EVK), 2011, 275-279.
68. Schonardie, M.F. ve Martins, D.C., "Three-phase grid-connected photovoltaic system with active and reactive power control using dq0 transformation", Power Electronics Specialists Conference, PESC 2008, June 2008, IEEE.
69. Samerchur, S., Premrudeepreechacharn, S., Kumsuwun, Y. ve Higuchi, K., "Power control of single-phase voltage source inverter for grid-connected photovoltaic systems", Power Systems Conference and Exposition (PSCE), March 2011, IEEE/PES.
70. Xianglian, X., Jian, C., Shunjie, L., Ka, H. ve Liang, Y., "FPGA Implementation of CPS-SPWM for Grid Connected Photovoltaic System", Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), March 2011, Asia-Pacific.
71. Başaran, K., Çetin, N.S. ve Çelik, H., "Rüzgar-Güneş Hibrit Güç Sistemi Tasarımı ve Uygulaması", 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), May 2011, Elazığ.
72. Zhang, B., Yang, Y. ve Gan, L., "Dynamic control of wind/photovoltaic hybrid power systems based on an advanced particle swarm optimization", Industrial Technology, ICIT 2008, April 2008, IEEE International Conference.
73. Jiang, Z., "Power management of hybrid photovoltaic - fuel cell power systems", Power Engineering Society General Meeting, IEEE, 2006, Montreal

74. Jian, C., Yanbo, C. ve Lihua, Z., “Design and research of off-grid wind-solar hybrid power generation systems”, Power Electronics Systems and Applications (PESA), June 2011, 4th International Conference.
75. Yanıktepe, B., Özalp, C. ve Savrun, M.M., “Rüzgar-Güneş Hibrid Güç Sistemi Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Uygulama Örneği”, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), May 2011,Elazığ.
76. Şekkeli M.,Yıldız C. ve Özçalık H.R., “Bulanık Mantık ve PI Denetimli Dc-Dc Konvertör Modellenmesi ve Dinamik Performans Karşılaştırması”, 4. otomasyon sempozyumu , Mayıs 2007, Samsun.
77. Mohan, N., Undeland, M., T. ve William P., R., Power Electronic: Converters, Applications, And Design, January, 2002.
78. Verma A.K., Singh B., ve Kaushik S.C., “ An Isolated Solar Power Generation using Boost Converter and Boost Inverter,” in Proc. National Conference on Recent Advances in Computational Technique in Electrical Engineering, SLITE, Longowal (India), (2010) 1-8.
79. Athimulam K. ve Subharensu S. D., “Simulation of Closed Loop Controlled Boost Converter for Solar Installation”, Serbian Journal of Electrical Engineering , 7,1 (2010) 121-130.
80. Skvarenina T.L., The Power Electronic Handbook, Industrial Electronics Series, CRC Press, Purdue University,West Lafayette, Indiana, 2002.
81. Rashid M. H., “DC DC Converters”, Power Electronics Handbook, Academic Press, San Diego, 2001.
82. Bose, B.K., Modern Power Electronics and AC Drives, Prentice Hall Inc., USA, 2002.
83. Rashid, M.H., Power Electronics Handbook,Academic Press, Florida USA, 2001.
84. Sımard, R., Cheriti, A., Meynard, T.A. ve Al- Haddad, K., “An Eprom-Based PWM Modulator For a Three- Phase Soft Commutaded Inverter”, IEEE Transaction on Industrial Electronics, 38,1 (1991) 79-81.
85. Mohan, N., Power Electronics-Converters, Application and Design, John Wiley&Sons Inc., New York, 1995.

86. Darla, R.B., "Development of Maximum Power Point Tracker For PV Panels Using SEPIC Converter", IEEE, 2007, India, 650-655.
87. Mutoh, N., Ohno, M. ve Inoue, T. "A Method for MPPT Control While Searching Parameters Corresponding to Weather Conditions for PV Generation Systems" pp, IEEE, 53,4 (2006) 1055-65.
88. Masoum M. A. S., Dehbonei H. ve Fuchs E. F., "Theoretical and Experimental Analysis of Photovoltaic Systems with Voltage-and Current-Based Maximum Power-Point Tracking", IEEE Engineering Review, 22 (2002) 172-174.
89. D'Souza N. S., Lopes L. A. C. ve Liu X., "An Intelligent Maximum Power Point Tracker Using Peak Current Control", IEEE 36th Power Electronics and Specialists Conference, (2005) 172
90. Diab A. A. ve Sourkounis C., "Variable Step Size P&O MPPT Algorithm for PV Systems", 12th International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipment (OPTIM), 2010, 1097-1102.
91. Ahmed E. M. ve Shoyama M., "Single Variable Based Variable Step Size Maximum Power Point Tracker for Stand-Alone Battery Storage PV Systems", IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), 2011, 210-216.
92. Oi, A., "Design and Simulation of Photovoltaic Water Pumping System", Faculty of California Polytechnic State University, 2005.
93. Pongratananukul, N., "Analysis and Simulation Tools for Solar Array Power Systems", University of Central Florida, 2005.
94. Persen, T.E., "FPGA-Based Design of a Maximum-Power-Point-Tracking System for Space Applications", University of Florida, 2004.
95. Salas, V., Olias, E., Barrado, A., ve Lazaro, A., "Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems", Solar Energy Materials & Solar Cells, 90 (2006) 1555-1578.
96. ESRAM, T. ve P.L. Chapman, "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques," IEEE Transactions on Energy Conversion, 22 (2007) 439-449.
97. Faranda, R., Leva, S. ve Maugeri, V., "MPPT Techniques for PV Systems: Energetic and Cost Comparison", Italy: Elect. Eng. Dept. Politecnico di Milano, Milano, 2008.

98. Wai, R.J., Wang, W.H., ve Lin, C.Y., “High-performance stand-alone photovoltaic generation system,” IEEE Trans. Ind. Electron, 55,1 (2008) 240–250.
99. Yan, Z., Fei, L., Jinjun, Y. ve Shanxu, D., “Study on realizing MPPT by improved incremental conductance method with variable step-size,” IEEE ICIEA, (2008) 547–550.
100. Liu, F., Duan, S., Liu, F., Liu, B. ve Kang, Y., “A variable step size INC MPPT method for PV systems,” IEEE Trans. Ind. Electron, 55,7 (2008) 2622–2628.
101. González-Longatt, F.M., “Model of Photovoltaic Module in Matlab”, II CIBELEC, 2005.
102. Xiao W., Dunford W. G., Palmer P. R. ve Capel A., “Regulation of photovoltaic voltage,” IEEE Trans. Ind. Electron, 54,3 (2007) 1365– 1374.
103. Femia N., Petrone G., Spagnuolo G. ve Vitelli M., “Optimization of perturb and observe maximum power point tracking method,” IEEE Trans. Power Electron, 20,4 (2005) 963-973.
104. Nobuyoshi Mutoh, Masahiro Ohno, Takayoshi Inoue, “A Method for MPPT Control While Searching for Parameters Corresponding to Weather Conditions for PV Generation Systems,” ,” IEEE Transaction on Industrial Electronics, 53,4 (2006) 1055-1065.
105. Åström K. ve Hägglund T., “PID controllers: Theory, Design and Tuning”, ISA, Research Triangle Park, NC, 1995.
106. Åström K. ve Hägglund T., “Revisiting the Ziegler-Nichols Step Response method for PID control ”, Journal of Process Control, 14 (2004) 635-650.
107. Knospe C., “PID Control”, IEEE Control System Magazine, 26 (2006) 30-31.
108. Gaing Z.L., “A Particle Swarm Optimization approach for Optimum Design of PID controller in AVR System”, IEEE Transactions On Energy Conversion, 19,2 (2004) 284-291.
109. Datta A., Ho M.T. ve Bhattacharyya S.P., Structure and Synthesis of PID Controllers., Springer, 2000.
110. Ho M.T., Datta A. ve Bhattacharyya S.P., “Design of P PI PID controllers for interval plants”, Proc. of Amer. Contr. Conf, June 1998, Philadelphia.

111. İbrahim A.M., Fuzzy Logic for Embedded Systems Applications, Amsterdam, Boston, Mass, 2004.
112. Yüksel İ., Otomatik Kontrol Sistem Dinamiği ve Denetim Sistemleri, Nobel, 5. baskı, Ankara, 2006.
113. Kizir S. ve Ertunç H.M., “Mikro Kontrolör Tabanlı PID Kontrol Sistemi Eğitim Seti”, Otomatik Kontrol Türk Milli Komitesi, Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı, Kasım 2006, 474-479.
114. Anderson P.M. ve Fouad A.A., “Power System Control and Stability”, IEEE Press, New York, 1994.
115. Lin, M.G., Lakshminarayanan S. ve Rangaiah, G.P., “A comparative study of recent/popular PID tuning rules for stable, first-order plus dead time, single-input single output processes”, Industrial and Engineering Chemistry Research, 47,2 (2008) 344–368.
116. Ziegler, J.G. ve Nichols, N.B., Optimum Settings For Automatic Controllers, Trans. Asme, 64,8 (1942) 759–768.
117. Cohen, G.H. ve Coon, G.A., Theoretical Investigation of Retarded Control, Transactions of the ASME 75, (1953) 827-834.
118. Morari, M. ve Zafiriou, E., Robust Process Control, Englewood Cliffs NJ, Prentice-Hall, 1989.
119. Ho, W.K., Hang, C.C. ve Cao, L.S., “Tuning of PID Controllers Based on Gain and Phase Margin Specifications”, Automatica, 31,3 (1995) 497-502.
120. Alfaro-Cid, E., McGookin, E.W. ve Murray-Smith, D.J., “GA-Optimised PID And Pole Placement Real And Simulated Performance When Controlling The Dynamics Of A Supply Ship”, IEEE Proc.-Control Theory Appl, 153,2 (2006) 228-236.
121. Bağış, A., “Determination of the PID Controller Parameters by Modified Genetic Algorithm for Improved Performance”, Journal of Information Science and Engineering , (2007) 1469-1480.
122. Wang, F. S., Juang, W. S. ve Chan, C. T., “Optimal Tuning of Cascade PID Control Systems”, Second IEEE Conference on Control Applications, B.V, September 1993, Vancouver.

123. Chen, Y.Y. ve Huang, P. Y., "Design of PID Controller for Precision Positioning Table Using Genetic Algorithms", Proceedings of the 36th Conference on Decision and Control, December 1977, USA.
124. Shen, J.C., "Fuzzy Neural Networks for Tuning PID Controller for Plants With Underdamped Responses", IEEE Trans. on Fuzzy Systems, 9,2 (2001) 333-342.
125. Karaboğa, D. ve Kalınlı, A., "Tuning PID Controller Parameters Using Tabu Search Algorithm", Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, 1996, Man and Cybernetics, 134-136.
126. Ghoshal, S.P., "Optimization of PID gains by particle swarm optimizations in fuzzy based automatic generation control," Electric Power Systems Research, 72 (2004) 203-212.
127. Jones, K.O. ve Bouffet, A., "Comparison of bees algorithm, ant colony optimisation and particle swarm optimisation for PID controller tuning," Int. Conf. on Computer Systems and Technologies-CompSysTech'08, pp. 9 (2008) 1-6.
128. Pillay N. ve Govender P., "A Particle Swarm Optimization Approach for Model Independent Tuning of PID Control Loop", IEEE Africon 2007, 2007.
129. Zhuang, M. ve Atherton, D.P., "Automatic Tuning of Optimum PID Controllers", IEEE Proceedings on Control and Applications, 140,3 (1993) 216-224.
130. Pessen, D.W., "A New Look At PID-Controller Tuning, Transactions of the ASME", Journal of Dynamical Systems Measures and Control, 116 (1994) 553-557.
131. Seborg, D.E., Edgar, T.F. ve Mellichamp, D.A., Process Dynamics and control. Wiley, New York, 2004.
132. Ogata K., "Modern Control Engineering", Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1970.
133. Dorigo, M. ve Stützle, T., "Ant Colony Optimization", MIT Press, Cambridge, MA, 2004.
134. Pham, D.T., Ghanbarzadeh, A., Koc, E., Otri, S., Rahim, S. ve Zaidi, M., "The Bees Algorithm - A Novel Tool for Complex Optimisation Problems", Proceedings of IPROMS Conference, (2006) 454-461.
135. Kennedy, J., Eberhart, R.C. ve Shi, Y., Swarm Intelligence. *Morgan Kaufmann Publishers*, San Francisco, CA, 2001.

136. Şevkli, M. ve Yenisey, M. M., “Atölye tipi çizelgeleme problemleri için parçacık sürü optimizasyonu yöntemi”, İtü Dergisi, 2,1 (2006) 59.
137. Yuhui Shi, “Particle Swarm Optimization”, IEEE Neural Networks Society, (2004) 8-13.
138. Hu, X., Shi, Y. ve Eberhart R., "Recent advances in particle swarm", Evolutionary Computation CEC2004 Congress, 1 (2004) 90-97.
139. Selvan, S. E., Subramanian, S. ve Solomon, S. T., “Novel Technique for PID Tuning by Particle Swarm Optimization”, Swarmfest, 2003.
140. Fukuyama Y. ve Yoshida, H., “A Particle Swarm Optimization for Reactive Power and Voltage Control in Electric Power Systems”, Proc. Congress on Evolutionary Computation, 2001, Seoul, Korea, IEEE Service Center.
141. Suganthan, P. N., “Particle swarm optimiser with neighbourhood operator”, Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation, 1999, Piscataway, IEEE Service Center, 1958–1962.
142. Engelbrecht, A. P., Fundamentals of Computational Swarm Intelligence. Wiley, 2005.
143. Sadri, J. ve Suen, C.Y., "A Genetic Binary Particle Swarm Optimization Model", IEEE Congress on Evolutionary Computation, Vancouver, BC, Canada, 2006.
144. Parsopoulos, K.E. ve Vrahatis, M.N., “Recent approaches to global optimization problems through Particle Swarm Optimization”, Natural Computing, 1 (2002) 235–306.
145. Sumathi, S. ve Surekha, P., Computational Intelligence Paradigms, Theory and Applications using MATLAB, Taylor and Francis Group, LLC, 2010.
146. Xie, X. F., Zhang, W. J. ve Yang, Z. L., “A Dissipative Particle Swarm Optimization”, Congress on Evolutionary Computation (CEC), 2002, Hawaii, USA, 1457-1458.
147. Hassan, R., Cohanım, B. ve Weck, O., “A Comparison of Particle Swarm Optimization and The Genetic Algorithm”, Structural Dynamics & Materials Conference, April 2005, Austin, Texas, 1-13.

148. Valle, Y. D., Vanayagamoorthy, G. K., Mohagheghi, S., Hernandez, J. C. ve Harley R. G., "Particle swarm optimization: basic concepts, variants and applications in power system", IEEE Transactions on Evolutionary Computations, 12,2 (2008) 171-195.
149. Engelbrecht, A. P., *Computational Intelligence: An Introduction*, Second Edition, John Wiley & Sons, 2007.
150. Kennedy, J. ve Eberhart, R., "Particle swarm optimization.", Neural Networks Proceedings IEEE International Conference, (1995) 1942-1948.
151. Shi, Y. ve Eberhart, R., "Empirical study of particle swarm optimization", Proc. of the Congress on Evolutionary Computation, 3 (1999) 1945-1950.
152. Tripathi, P.K., Bandyopadhyay, S. ve Pal, S.K., "Multi-Objective Particle Swarm Optimization with Time Variant Inertia and Acceleration Coefficients", Information Sciences, 177 (2007) 5033-5049.
153. Gözde,H., Kocaarslan, İ., Taplamacıoğlu, M.C. ve Çam E.: "Particle Swarm Optimization Based Load Frequency control In A Single Area Power System" University Of Pitesti – Electronics And Computers Science, 2,8 (2008).
154. Payakkawan, P., Pothiya, P. ve Tangamchit, P., "DC motor identification and PID controller tuning using particle swarm optimization," Int. Conf. on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology (ECTI'07) ,1 (2007) 229-232.
155. Jones, K.O. ve Bouffet, A., "Comparison of bees algorithm, ant colony optimisation and particle swarm optimisation for PID controller tuning," Int. Conf. on Computer Systems and Technologies-CompSysTech'08, 9 (2008) 1-6.
156. Kim, T.H., Maruta, I. ve Sugie, T., "Particle Swarm Optimization based Robust PID Controller Tuning Scheme", Proceedings of the 4th IEEE Conf. On Decision and Control, (2007) 200-205.
157. Ou, C. ve Lin, W., "Comparison between PSO and GA for parameters optimization of PID controller", Proc. IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, 2006, Luoyang, China, 2471-2475.
158. Pillay N. ve Govender P., "A Particle Swarm Optimization Approach for Model Independent Tuning of PID Control Loop", IEEE Africon 2007, 2007.

159. Bassi, S.J., Mishra, M.K. ve Omizegba, E.E., “AUTOMATIC TUNING OF PROPORTIONAL– INTEGRAL–DERIVATIVE (PID) CONTROLLER USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO) ALGORITHM”, *International Journal of Artificial Intelligence & Applications (IJAA)*, October 2011, 2-4.
160. Solihin, M.I., Tack, L. F. ve Kean, M.L., “Tuning of PID Controller Using Particle Swarm Optimization (PSO)”, *Proceeding of the International Conference on Advanced Science*, January 2011, Malaysia, Engineering and Information Technology 2011.
161. Iruthayarajan, M.W. ve Baskar, S., “OPTIMIZATION OF PID PARAMETERS USING GENETIC ALGORITHM AND PARTICLE SWARM OPTIMIZATION”, *IET-UK International Conference on Information and Communication Technology in Electrical Sciences (ICTES 2007)*, Dec 2007, India, 81-86.
162. Yongwei Z., Fei Q., Jianfeng L., Lei W. ve Qidi W., “Performance Criteria Research on PSO-PID Control Systems”, *International Conference on Intelligent Computing and Cognitive Informatics*, 2010.
163. Kumar, R.S., “Improving the Boost Converter PID Controller Performance using Particle Swarm Optimization”, *European Journal of Scientific Research* 85,3 (2012) 327-335.
164. Allaoua, B., Gasbaoui, B. ve Mebarki, B., “Setting Up PID DC Motor Speed Control Alteration Parameters Using Particle Swarm Optimization Strategy”, *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, 14 (2009) 1583-1078.
165. Ramzy S. ve Al-Waily, A., “ Design of Robust Mixed H₂/H_∞ PID Controller Using Particle Swarm Optimization”, *International Journal of Advancements in Computing Technology*, 2,5 (2010).
166. Shih-Feng, C. “PARTICLE SWARM OPTIMIZATION FOR PID CONTROLLERS WITH ROBUST TESTING”, *Proceedings of the Sixth International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, August 2007, Hong Kong.
167. Belsam Jeba Ananth M., “Design of PID Controller for a Linear Brushless DC Motor using Soft Computing Techniques”, *European Journal of Scientific Research*, 73,3 (2012) 357-363.

ÖZGEÇMİŞ

1984 yılında Gaziantep’te doğdu. Ortaokul ve lise eğitimini Gaziantep Anadolu Lisesinde 2002 yılında tamamladı. 2003 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü’nü kazandı. 2009 yılında Lisans eğitimini tamamladı. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2010 yılında özel sektörde proje mühendisliği yaptı. Haziran 2011’de Aksa Çoruh Edaş’ta Arıza-Bakım-Onarım Koordinatörlüğüne başladı. Bu görev dahilinde Trabzon ve Rize’de çalıştı. Ekim 2012’de Trabzon Teknik Yapı Denetim şirketinde Elektrik Kontrol Mühendisi olarak çalışmaya başladığı görevini halen sürdürmektedir.