

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PSO TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP
ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİ VE
UYGULANMASI**

**Tezi Hazırlayan
Davut AYDOĞAN**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Ersan KABALCI**

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Ağustos 2019
NEVŞEHİR**

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**PSO TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP
ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİ VE
UYGULANMASI**

**Tezi Hazırlayan
Davut AYDOĞAN**

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Ersan KABALCI**

**Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**AĞustos 2019
NEVŞEHİR**

Prof. Dr. Ersan KABALCI danışmanlığında Davut AYDOĞAN tarafından hazırlanan "**PSO Tabanlı Maksimum Güç Noktası Takip Algoritmasının Geliştirilmesi ve Uygulanması**" başlıklı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

21/08/2019

JÜRİ

Başkan

:

Doç. Dr. Yasin KABALCI

Üye

:

Prof. Dr. Ersan KABALCI

Üye

:

Dr. Öğr. Üyesi Altan GENCER

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun.. 07/10/2019 tarih ve..62..646... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

07/10/2019
Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Davut AYDOĞAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim ve tez çalışmam süresince tüm bilgilerimi benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan Sayın Hocam Prof. Dr. Ersan KABALCI'ya, maddi ve manevi olarak her zaman desteklerini hissettiren değerli aileme ve eşim Hacer AYDOĞAN'a teşekkür ederim.



PSO TABANLI MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİP ALGORİTMASININ GELİŞTİRİLMESİ VE UYGULANMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Davut AYDOĞAN

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Ağustos 2019

ÖZET

Fosil kökenli kaynakların dünya üzerindeki rezervlerinin giderek azalması, çevreye verdiği zararlardan ve maliyetlerindeki artıştan dolayı elektrik üretimindeki güvenilirlik ve sürdürülebilirliği gibi sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu nedenlerden dolayı alternatif enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Alternatif enerji kaynaklarından olan güneş enerjisinden fotovoltaik (FV) panellerle elektrik üretiminin önemi; hareketli parça bulunmaması, güvenilir, temiz ve gürültü kirliliği olmaması gibi avantajlardan dolayı artmıştır. FV panellerin verimlerinin düşük olmasından dolayı paneller maksimum güç noktasında (MGN) çalıştırılması gerekmektedir. FV panelleri MGN çalıştırmak için DA-DA konvertörleri kontrol eden bir maksimum güç noktası takibi (MGNT) algoritması kullanılmalıdır. Yapılan bu çalışmada yükselten konvertörün MGN çalışması için parçacık sürü optimizasyonu (PSO) tabanlı MGNT algoritması kullanılmıştır. Yapılan çalışmada FV panele sabit veya değişen ışığa ve sabit veya değişen sıcaklık uygulanarak yükselten konvertörün giriş ve çıkış akımı, gerilimi ve üretilen güç analiz edilmiştir. Güç verimleri de hesaplanarak PSO tabanlı MGNT algoritmasının hızlı ve yüksek bir doğrulukta MGN takip edebildiği geliştirilen MATLAB Simulink benzetimi ile doğrulanmıştır.

Anahtar kelimeler: Yenilenebilir enerji, Güneş enerjisi, Konvertör, Evirici, Parçacık sürü optimizasyonu.

Tez Danışman: Prof. Dr. Ersan KABALCI

Sayfa Adeti: 78

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF PSO BASED MAXIMUM POWER POINT TRACKING ALGORITHM

(M. Sc. Thesis)

Davut AYDOĞAN

**NEVSEHIR HACI BEKTAS VELI UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES**

August 2019

ABSTRACT

Problems such as the reliability and sustainability of electricity generation have arisen due to the increasing decreasing reserves of fossil based fuels on Earth, the damage caused to the environment and the increase in costs. There fore, the orientation to alternative energy sources has increased. The importance of electricity generation with photovoltaic (PV) panels from alternative energy sources has increased due to advantages such as lack of moving parts, reliable, clean and noise pollution. Due to the low efficiency of the PV panels, the panels must be operated at the maximum power point (MPP). A maximum power point tracking (MPPT) algorithm that controls DC-DC converters must be used to operate PV panels MPP. In this study, the MPPT algorithm based on particle swarm optimization (PSO) was used for the MPP study of the boost converter. In the study, the input and output current, voltage and power produced by the converter were analyzed by applying constant or changing radiation and constant or changing temperature to the PV panel. Generated power rates were also calculated and verified by Matlab Simulink simulation, which was developed where the PSO-based MPPT algorithm was able to follow MPP at a fast and high accuracy.

Keywords: Renewable energy, Solar energy, Converter, Inverter. particle swarm optimization

Thesis Supervisor: Prof. Dr. Ersan KABALCI

Page Number: 78

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
HARİTALAR LİSTESİ	xiii
SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	xiv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1. Literatür Taraması	3
1.2. Tezin İçeriği ve Bölümleri.....	4
BÖLÜM 2	6
FV PANELLER	6
2.1. FV Panelinin Tarihçesi.....	6
2.2. FV Panelinin Yapısı	7
2.3. FV Panelinin Çalışma İlkesi.....	7
2.4. FV Hücresi Elektriksel Eşdeğer Modeli.....	8
2.5. FV Panellerde Işımanın ve Sıcaklığın Etkisi.....	9
2.6. FV Hücre Çeşitleri.....	11
2.6.1. Kristal silisyum FV hücresi.....	11
2.6.1.1. Monokristal silisyum FV hücresi.....	11
2.6.1.2. Polikristal silisyum FV hücresi.....	11
2.6.1.3. Ribbon silisyum FV hücresi	12
2.6.2. İnce film FV hücresi	12
2.6.2.1. Amorf silisyum FV hücresi	12
2.6.2.2. Bakır indiyum diselenid FV hücresi	13
2.6.2.3. Kadmiyum tellür FV hücresi	13
2.6.3. Tek eklemli galyum arsenit FV hücresi	13
2.6.4. Çok eklemli FV hücresi	14
BÖLÜM 3	15
MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ	15

3.1.	Maksimum Güç Noktası Takibi (MGNT) Algoritmaları	15
3.2.	Geleneksel MGNT Algoritması Yöntemleri	16
3.2.1.	Açık devre gerilim (Voc) MGNT algoritması	16
3.2.2.	Kısa devre akım (Isc) MGNT algoritması	17
3.2.3.	Değiştir ve gözle (P&O) MGNT algoritması.....	18
3.2.4.	Artan iletkenlik (IC) MGNT algoritması	20
3.3.	Esnek Hesaplama MGNT Algoritma Yöntemleri	23
3.3.1.	Yapay sinir ağı tabanlı MGNT algoritması.....	23
3.3.2.	Bulanık mantık denetleyicisi tabanlı MGNT algoritması	24
3.3.3.	PSO tabanlı MGNT algoritması.....	26
3.3.3.1.	PSO kontrol parametreleri	28
BÖLÜM 4	.....	31
KONVERTÖR VE EVİRİCİLER	.....	31
4.1.	DA-DA Konvertörler.....	31
4.1.1.	Yükselten (boost) konvertör.....	32
4.1.1.1.	Anahtar iletim (t_{on}) durumunda.....	33
4.1.1.2.	Anahtar kesim (t_{off}) durumunda.....	34
4.2.	DA-AA Eviriciler	37
4.2.1.	Tek fazlı eviriciler	38
4.2.1.1.	Yarım köprü evirici.....	39
4.2.1.2.	Tam köprü evirici	40
4.3.	Eviricilerde Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) Üretimi	41
4.4.	PI SDGM Modülatörü	42
4.5.	Evirici Çıkış Filtreleri.....	42
BÖLÜM 5	.....	46
TASARIM ÇALIŞMALARI	.....	46
5.1.	Yükselten Konvertör Tasarımı	46
5.2.	DA-AA Tam Köprü Evirici Tasarımı.....	48
BÖLÜM 6	.....	53
KONVERTÖRÜN VE MİKRO EVİRİCİNİN BENZETİM ÇALIŞMASI	.....	53
6.1.	Yükselten Konvertörün Benzetim Çalışması	57
6.1.1.	Değişken sıcaklık durumlarında analizi	57
6.1.2.	Değişken ışımada analizi	62
6.2.	Mikro Evirici Benzetim Çalışması	69

6.2.1. Yükselten konvertörlü mikro evirici benzetim çalışması.....	69
BÖLÜM 7	72
SONUÇ VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ	78



TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1. Üyelik fonksiyonu için BMD kural tablosu.....	25
Tablo 4.1. Yarım köprü eviricinin anahtarlama durumları	39
Tablo 4.2. Tam köprü eviricinin anahtarlama durumları	41
Tablo 5.1. Tasarlanan yükselten konvertörün elamanları	47
Tablo 5.2. Tasarlanan LCL filtre devre elemanları.....	49
Tablo 6.1. Yükselten konvertörün tasarımında kullanılan MATLAB/Simulink programının bir SunPower SPR-300E-WHT-D FV panelin parametresi	53
Tablo 6.2. Simülasyon için kullanılan PSO parametreleri.....	53
Tablo 7.1. FV panele uygulanan değişken sıcaklıktaki benzetim sonuçları	72
Tablo 7.2. FV panele uygulanan değişken ışımadaki benzetim sonuçları	73

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Türkiye'nin aylara göre günlük (a)ışım değerleri (kWh/m ² -gün) ve (b) güneşlenme süresi (Saat).....	2
Şekil 2.1. FV hücre, panel ve dizi yapısı.....	6
Şekil 2.2. FV paneli kesiti	7
Şekil 2.3. FV hücresi elektriksel eşdeğer devre yapısı.....	8
Şekil 2.4. FV panelinin farklı ışımada (a) I-V ve (b) P-V eğrileri.....	9
Şekil 2.5. FV panelinin farklı sıcaklıkta (a) I-V ve (b) P-V eğrileri	10
Şekil 2.6. Monokristal hücre ve paneli.....	11
Şekil 2.7. Polikristal FV paneli	12
Şekil 2.8. Amorf silisyum FV paneli	12
Şekil 2.9. Bakır indiyum diselenid FV paneli	13
Şekil 2.10. Kadmiyum-Tellür FV hücresi.....	13
Şekil 3.1. MGNT kontrollü ve kontrolsüz elde edilen enerjinin karşılaştırılması	15
Şekil 3.2. Açık devre gerilim algoritması akış şeması.....	17
Şekil 3.3. Kısa devre akım algoritması akış şeması	18
Şekil 3.4. Değiştir gözle algoritmasının temel çalışma eğrisi	19
Şekil 3.5. Değiştir gözle algoritması akış şeması.....	20
Şekil 3.6. Artan iletkenlik algoritması temel çalışma eğrisi	21
Şekil 3.7. Artan iletkenlik algoritması akış şeması	22
Şekil 3.8. YSA'nın temel yapısı.....	23
Şekil 3.9. Bulanık mantık blok şeması.....	24
Şekil 3.10. Bulanık kümenin üyelik fonksiyonu.....	25
Şekil 3.11. PSO algoritmasında parçacığın hareketi	26
Şekil 3.12. PSO algoritmasının akış diyagramı	30
Şekil 4.1. Basit bir konvertörün (a) yapısı (b) çıkış eğrisi	31
Şekil 4.2. Yükselten konvertörün devre yapısı	32
Şekil 4.3. Yükselten konvertörün anahtar iletim durumundaki devre yapısı.....	33
Şekil 4.4. Yükselten konvertörün kesim durumundaki devre yapısı	34
Şekil 4.5. Yükselten konvertörün dalga şekilleri	37
Şekil 4.6. Tek fazlı evirici (a) blok diyagram (b) çıkış sinyal eğrileri.....	38
Şekil 4.7. Tek fazlı yarım köprü eviricinin (a) devre yapısı (b) çıkış eğrisi	39

Şekil 4.8. Tek fazlı tam köprü eviricinin (a) devre yapısı (b) çıkış eğrisi.....	40
Şekil 4.9. Tam köprü eviricinin SDGM işaretinin PI kontrolcü ile üretilmesi	42
Şekil 4.10. LCL filtre devre yapısı.....	43
Şekil 4.11. r parametresine bağlı salınım miktarı	44
Şekil 5.1. Tasarlanan yükselten konvertörün devre yapısı.....	47
Şekil 5.2. Tasarlanan yükselten konvertörün çıkış gerilimi.....	47
Şekil 5.3. Tasarlanan LCL filtresi düğüm grafiği	50
Şekil 5.4. Tasarlanan evirici devresi şeması	50
Şekil 5.5. Evirici çıkışı yük uçlarındaki V_{rms} ve I_{rms} dalga şekilleri	51
Şekil 5.6. Evirici çıkışı yük uçlarındaki V_{rms} ve I_{rms} dalga şekli detayları.....	52
Şekil 6.1. PSO algoritmasının detaylı akış diyagramı.....	56
Şekil 6.2. Yükselten konvertörlü PSO MPPT kontrollü FV sistem modeli.....	57
Şekil 6.3. Yükselten konvertörlü FV sistemin modelinde kullanılan SunPower SPR-300E-WHT-D FV panelin akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri.....	58
Şekil 6.4. Yükselten konvertörün giriş ve çıkış akımının (a) 10°C sıcaklıkta, (b) 25°C sıcaklıkta ve (c) 40°C sıcaklıktaki eğrileri	59
Şekil 6.5. Yükselten konvertörün giriş ve çıkış geriliminin (a) 10°C sıcaklıkta, (b) 25°C sıcaklıkta ve (c) 40°C sıcaklıktaki eğrileri	61
Şekil 6.6. Yükselten konvertörün giriş ve çıkış gücünün (a) 10°C sıcaklıkta, (b) 25°C sıcaklıkta ve (c) 40°C sıcaklıktaki eğrileri	62
Şekil 6.7. Yükselten konvertörlü FV sistemin modelinde kullanılan SunPower SPR-300E-WHT-D FV panelin akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri.....	63
Şekil 6.8. Yükselten konvertörün giriş akımı, çıkış akımı, görev oranı ve ışıma eğrileri	64
Şekil 6.9. Yükselten konvertörün giriş gerilimi, çıkış gerilimi, görev oranı ve ışıma eğrileri	65
Şekil 6.10. Yükselten konvertörün giriş gücü, çıkış gücü, görev oranı ve ışıma eğrileri.....	66
Şekil 6.11. Yükselten konvertörün 0,1s' deki giriş gücü, çıkış gücü, görev oranı ve ışıma eğrilerinin detayı.....	67
Şekil 6.12. Şekil 6.12. Yükselten konvertörün 3,5s' deki giriş gücü, çıkış gücü, görev oranı ve ışıma eğrilerinin detayı.....	67
Şekil 6.13. Yükselten konvertörün 14s' deki giriş gücü, çıkış gücü, görev oranı ve ışıma eğrilerinin detayı	68

Şekil 6.14. Yükselten konvertörlü FV sistemli mikro evirici modeli	69
Şekil 6.15. Yükselten konvertörlü mikro eviricinin (a) çıkışı gerilimi ve çıkış akımı dalga şekilleri, (b) çıkışı gerilimi ve çıkış akımı detaylı dalga şekilleri	70
Şekil 6.16. Yükselten konvertörlü mikro evirici toplam harmonik bozulma oranları (a) gerilim, (b) akım	71



HARİTALAR LİSTESİ

Harita 1.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA).....	2
---	---



SİMGE VE KISALTMALAR LİSTESİ

c_1, c_2	Hızlandırma katsayısı
Δ	Görev periyodu
dI	Akım değişimi
dP	Güç değişimi
dV	Gerilim değişimi
E	Hata oranı
f_s	Anahtarlama frekans
f_{res}	Rezonans frekansı
q	Elektron yükü
I_{rms}	Akım etkin değeri
I_{FV}	Fotovoltaik panel akımı
I_{sc}	FV hücresi kısa devre akımı
I_d	Diyot akımı
I_o	Ters sızıntı akımı
k	Bolzmann sabiti
m_a	Modülasyon oranı
n	Diyotun ideal faktörü
P_{FV}	Fotovoltaik panel gücü
R_s	FV hücresi iç direnci
R_p	FV hücresinin paralel kaçak akım direnci
T_s	Periyot
T	FV hücre sıcaklığı
V_{FV}	Fotovoltaik panel gerilimi
V_i	Giriş gerilimi
V_o	Çıkış gerilimi
V_r	Çıkış gerilimdeki dalgalanma değeri
V_{rms}	Gerilim etkin değeri
V_{oc}	Açık devre gerilimi
Z_b	Temel baz empedansı
ΔE	Hata değişimi
w	Atalet ağırlığı katsayısı

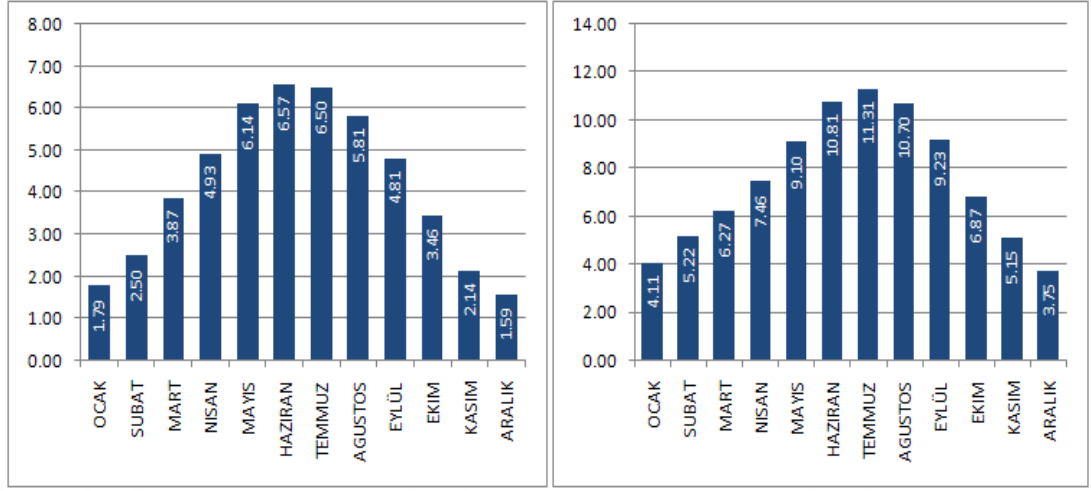
APSO	Adaptif parçacık sürü optimizasyonu
BMD	Bulanık mantık denetleyici
DA	Doğru akım
FV	Fotovoltaik
GA	Genetik algoritma
HC	Tepe tırmanma
IC	Artan iletkenlik
MGN	Maksimum güç noktası
MGNT	Maksimum güç noktası takibi
MGTS	Maksimum güneş takip sistemi
NS	Negatif küçük
NB	Negatif büyük
PSO	Parçacık sürü optimizasyonu
PID	Oransan integral türev
PI	Oransal integral
PB	Pozitif büyük
PS	Pozitif küçük
THD	Toplam harmonik distorsiyon
UVM	Uzay vektör modülasyonu
YSA	Yapay sinir ağı
ZE	Sıfır

BÖLÜM 1

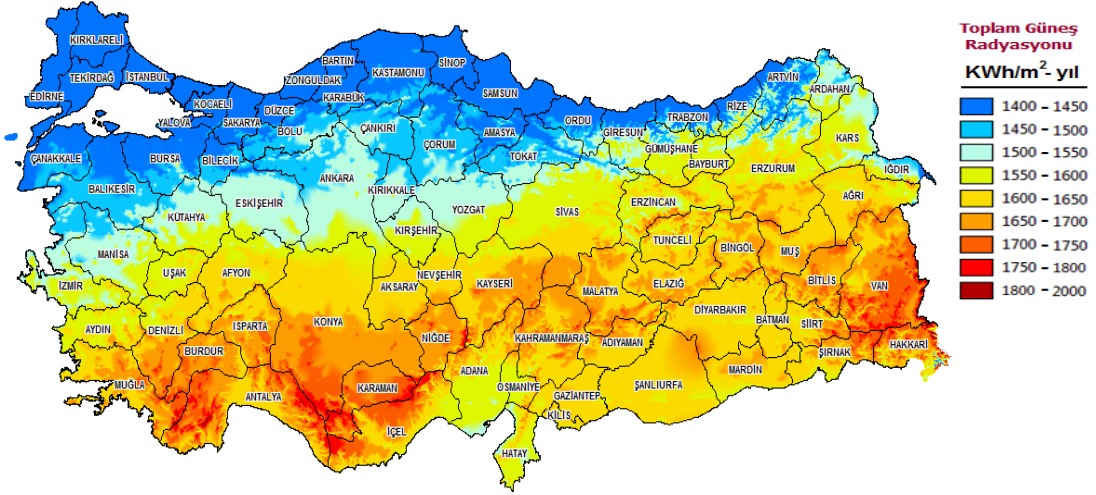
GİRİŞ

Dünyada nüfusun artması ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte elektrik enerjisine olan ihtiyaç sürekli artmaktadır. Kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil kökenli kaynakların rezervleri hızla azalmaktadır. Bu nedenle fosil kaynakların fiyatları yükseldiğinden enerji üretim maliyetleri de artmakta ve bu sebeple elektrik enerjisinin güvenilirliği ve sürdürülebilirliği gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Fosil kökenli kaynakların enerji üretimi sırasında ortaya çıkardıkları zararlı atıklar çevreyi olumsuz etkilemektedir. Diğer bir enerji üretim yöntemi de nükleer enerjidir. Dünyada birden çok nükleer enerji kazaları meydana geldiğinden ve nükleer atıkların çevreye zarar vermeden nasıl depolanacağı gibi tartışmalardan dolayı, güvenilir bir enerji üretim yöntemi olarak görülmediğinden, alternatif enerji kaynaklarına olan yönelim artmıştır [1,2]. Yenilenebilir enerji kaynakları olarak hidroelektrik, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji, biokütle enerjisi ve gel-git enerjisi gösterilebilir. En çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları rüzgâr ve güneş enerjisidir. FV üretim teknolojisindeki yenilikler ve FV sistemlerde elektrik üretiminde hareketli parça bulunmaması, güvenilir, temiz, gürültü kirliliği olmaması gibi avantajlardan dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan güneş enerjisinin önemi artmıştır. FV panellerin elektrik üretimi içindeki payı sürekli artmasına rağmen, üretim maliyetlerinin yüksek olması ve verimlerinin düşük olması gibi dezavantajlara sahiptir [2,3].

Ülkemizde elektrik enerjisi fosil kaynakları ve yenilenebilir enerji kaynaklardan üretilmektedir [4]. Yenilenebilir enerji kaynaklarından birisi olan güneş enerjisinden elektrik üretimiyle ilgili yasal düzenlemeler, yönetmelikler, teşvikler ve destekler giderek artmaktadır. Bu gelişmeler sayesinde fosil kaynaklara bağımlılık azaltılabilir. Türkiye'nin bulunduğu coğrafi konum gereği güneş enerjisi potansiyeli bakımından oldukça verimli bir potansiyeli bulunmaktadır. Türkiye'nin aylara göre günlük ışıma ve güneşlenme süreleri Şekil 1.1'de verilmiştir. Harita 1.1'de görülen Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.741 saat (günlük ortalama 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m², günlük ortalamasının ise 4,18 kWh/m² olduğu tespit edilmiştir [5-7].



Şekil 1.1. Türkiye'nin aylara göre günlük (a)ışırma değeri (kWh/m²-gün) ve (b) güneşlenme süresi (Saat) [5]



Harita 1.1. Türkiye güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA) [5]

GEPA'ya göre kuzey bölgelerimizdeki güneş enerjisi potansiyeli güney bölgelerimize göre daha azdır.

FV üretim teknolojilerinin gelişimiyle maliyetler azalmakta ve verimleri de artmaktadır. FV panellerde diğeri bir sorunda ışırma şiddetine ve sıcaklığa bağılı olarak yüke aktarılan çıkış gücünün değışmesidir. Yüke aktarılabacak FV panel çıkış gücü, gün içerisinde bir noktada akım veya gerilime bağılı olarak en yüksek değere ulaşır. Çıkış gücün en yüksek değere ulaştığı bu noktaya maksimum güç noktası (MGN) denir. FV panellerin elektrik enerjisi üretim verimlerinin düşük olması nedeniyle verimi arttırmak için MGN

noktasında kontrol edilerek çalıştırılması gerekmektedir. FV panelleri MGN noktasında çalıştırmak için DA-DA konvertörleri kontrol eden bir maksimum güç noktası takibi (MGNT) algoritması kullanılmalıdır [2]. MGNT’de kullanılan algoritmalar geleneksel ve esnek hesaplama yöntemleri olarak iki çeşit olup Bölüm 3’te geniş olarak incelenecektir.

1.1. Literatür Taraması

Kulaksız tarafından 2007 yılında yapılan Doktora Tezi çalışmasında şebekeden bağımsız bir FV güç sisteminin MGNT performansının geliştirilmesi amacıyla genetik algoritma (GA) yardımlı yapay sinir ağı (YSA) tabanlı bir yaklaşım sunulmuştur. Üç fazlı eviricinin anahtarlanmasında kullanılmak üzere gerçekleştirilen GA yardımlı YSA tabanlı bir uzay vektör modülasyonu (UVM) metodu önerilmiştir. MGNT algoritmasında YSA’nın gerçekleştirilmesi ve üç fazlı eviricide kullanılan UVM metodunu hesaplamak için ADSP-21992 sayısal işaret işlemcisi (Sİİ) kullanılmıştır. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen benzetim ve deney çalışmalarında GA kullanılmadığı YSA yapısını içeren MGNT algoritmasında FV panel gücü %95,14 ve GA kullanıldığı YSA yapısını içeren MGNT algoritmasında %97,58 olduğu belirtilmiştir [2].

Lui vd. tarafından 2012 yılında yapılan çalışmada kısmi gölgelenme durumu altında çalışan PV sistem için sistemden bağımsız bir MGNT algoritması önerilmiş ve dönüştürücü olarak yükselten konvertör kullanılmıştır. Önerilen sistemde farklı gölgelenme durumlarında benzetim sonuçlarına göre verimi %99,5’ten yüksek elde edilmiştir. Önerilen yöntem diğer global maksimum güç noktası arama yöntemleriyle karşılaştırıldığında, PSO tabanlı MGNT algoritmasının izleme verimliliği çok yüksek olduğu belirtilmiştir [8].

Chao vd. tarafından 2013 yılında yapılan çalışmada kısmi gölgelenme durumunda FV panellerin çıkış özellikleri araştırılmış ve PSO tabanlı global optimum değerini takip edebilen MGNT yöntemi sunulmuştur. PSO’nun izleme performansını artırmak için atalet ağırlığında doğrusal düşüş kavramı eklenmiş, böylece PSO tabanlı MGNT yönteminin performansı geleneksel PSO yönteminden daha iyi olduğu ortaya koyulmuştur [9].

İshaque ve Salam tarafında 2013 yılında yapılan çalışmada kısmi gölgelenme koşulları altında FV panel sisteminin MGNT yeteneğinin geliştirilmesi için deterministik PSO önerilmiştir. PSO algoritması düşüren-yükselten konvertör ile uygulanmıştır. Önerilen PSO algoritması, tepe tırmanma (HC) MGNT yöntemiyle karşılaştırılarak önerilen yöntemin benzetim sonuçlarında HC yönteminden daha iyi performans sağladığı gösterilmiştir [10].

Abdulkadir tarafından 2015 yılında yapılan doktora tezinde FV sistemleri için modifiye PSO tabanlı MGNT yöntemi önerilmiştir. Önerilen yöntem, ağırlıklandırma faktörünü, bilişsel ve sosyal parametreleri sürekli olarak azaltılmıştır. Kontrol şeması ilk olarak MATLAB/Simulink'te oluşturulmuştur. Geliştirilen kontrol algoritmasının uygulanması için TMS320F28335 eZDSP kartı kullanılmıştır [11].

Khan vd. tarafından 2016 yılında yapılan çalışmada MATLAB-Simulink tabanlı PV modül modelinde, akım ve gerilim kaynağı kontrol edilerek maksimum güç noktasını bulmak için kısmi gölge koşulu altında çalışan doğru ve sisteme bağlı bir PSO algoritması geliştirilmiştir. Bu algoritma herhangi bir çevresel değişiklikte MGN'ye ulaşabildiği belirtilmiştir [12].

Wei vd. tarafından 2017 yılında yapılan çalışmada PV sisteminde MGN izleye bilmek için geliştirilmiş bir PSO algoritması önerilmiştir. Temel PSO algoritmasıyla, geliştirilmiş PSO algoritması karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırmada dönüştürücü olarak yükselten konvertör kullanılmıştır. Temel PSO algoritması kullanılırken dalgalanmaların fazla olduğu, MGN'yi bulmak için 0,044 saniye(s) sürdüğü ve geliştirilmiş PSO algoritması ise MGN'yi 0,037 saniye(s) de bulmuştur. Geliştirilmiş PSO algoritması MGN daha hızlı izleyebildiği ve daha az dalgalanma sağlanmıştır [13].

1.2. Tezin İçeriği ve Bölümleri

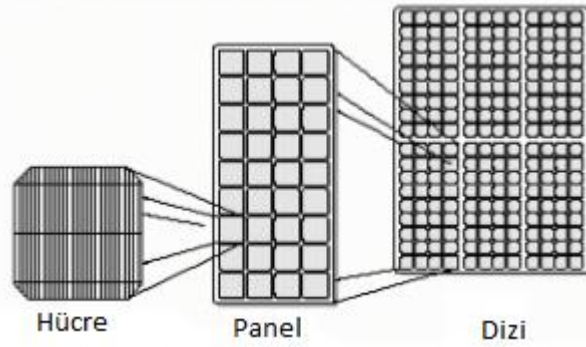
Giriş bölümüyle birlikte bu tez çalışması yedi bölümden oluşmaktadır. Tezin geri kalan ana başlıklarının içeriği aşağıdaki şekilde özetlenmiştir.

- **Bölüm 2:** Bu bölümde, FV panellerin çalışma yapısı, tarihi gelişimi, elektriksel eşdeğer modeli, ışımaya ve sıcaklığın etkisi, FV hücre çeşitleri ve verimi hakkında detaylı bilgi verilmiştir.
- **Bölüm 3:** FV panellerde MGN'den faydalanmak için geleneksel MGNT algoritma yöntemleri ve esnek hesaplamalı MGNT algoritma türleri açıklanarak akış diyagramları verilmiştir.
- **Bölüm 4:** Yükselten konvertör ve eviriciler, evirici modülasyonu üretimi ve filtre türleri hakkında detaylı bilgi verilmiştir.
- **Bölüm 5:** Yükselten konvertör ve DA-AA tam köprü evirici tasarımı yapılmış olup sabit gerilimlerde tasarlanan sistemlerin analizi yapılmıştır.
- **Bölüm 6:** Bir önceki bölümde tasarlanan konvertör, FV paneller ve MGNT algoritması bir araya getirilerek sistemin değişken ışımada ve sıcaklıkta ayrı ayrı benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir. Daha sonra tasarlanan mikro eviricinin benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir.
- **Bölüm 7:** Yükselten konvertör ile mikro eviriciden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

BÖLÜM 2

FV PANELLER

FV hücreler, yüzeylerine gelen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren yarı iletken maddelerdir. Yüzeyleri kare, dikdörtgen, daire şeklinde biçimlendirilen güneş hücrelerinin alanları genellikle 100 cm^2 civarında, kalınlıkları ise $0.1 - 0.4 \text{ mm}$ arasında değişmektedir. FV hücreler üzerine ışık düştüğü zaman uçlarında gerilim oluşur. Güneş enerjisinden gelen ışımaya FV hücrelerin yapısına bağlı olarak %5 ile %30 arasında bir verimle elektrik enerjisine dönüştürülebilir [14]. Güneş paneli sisteminden istenen seviyede çıkış gücü elde etmek için Şekil 2.1’de görüldüğü gibi hücreleri birbirine seri ya da paralel bağlanarak panelleri, paneller de birbirlerine seri ya da paralel bağlanarak dizileri oluşturulabilir.



Şekil 2.1. FV hücre, panel ve dizi yapısı [2]

2.1. FV Panelinin Tarihçesi

FV panelinin çalışma ilkesi, FV olayına dayanır. FV hücreler üzerine düşen güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çeviren yapılardır. İlk kez 1839 yılında Fransız fizikçi Becquerel tarafından elektrolit içerisine daldırılmış elektrotlar arasındaki gerilimin, elektrolit üzerine düşen ışığa bağımlı olduğu gözlemlenerek FV olayını bulmuştur. Katılarda benzer bir olay ilk olarak selenyum kristalleri üzerinde 1876 yılında Adams ve Day tarafından gösterilmiştir. 1883 yılında Fritts tarafından verimi %1 olan FV hücreyi geliştirmiştir [15]. Bunu izleyen yıllarda çalışmalar devam etmiş olup FV panellerin verimliliği %1 değerine ulaşmış ise de gerçek anlamda güneş enerjisini %6 verimlilikle elektrik enerjisine dönüştüren FV paneller ilk kez 1954 yılında silikon kristali üzerine gerçekleştirilmiştir. 1970’li yılların başlarına kadar,

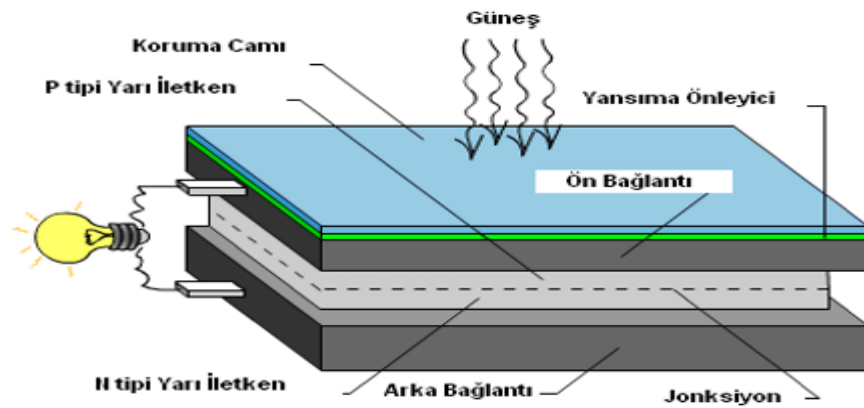
güneş panellerinin uygulamaları ile sınırlı kalmıştır. Güneş panellerinin elektriksel güç sistemi olarak kullanılabilmesine yönelik araştırma ve geliştirme çabaları 1954'ler de başlamış olmasına karşın, gerçek anlamda ilgi 1973 yılındaki petrol krizinden sonra artmış ve Amerika'da Avrupa'da ve Japonya'da büyük bütçeli ve geniş kapsamlı araştırma ve geliştirme projeleri başlatılmıştır [14].

2.2. FV Panelinin Yapısı

FV panelleri yarı-iletken maddelerden yapılırlar. Yarı-iletken özellik gösteren birçok madde arasında güneş paneli yapmak için en elverişli olanlar, silisyum (Si), germanyum (Ge) gibi maddelerdir. Yarı-iletken maddelerin güneş paneli olarak kullanılabilmeleri için "n" ya da "p" tipi katkılanmaları gereklidir. Si ve Ge içine periyodik cetvelin III. ve V. Gurup elementleri (Arsenik, Bor, Fosfor gibi) ilave edilir [14].

2.3. FV Panelinin Çalışma İlkesi

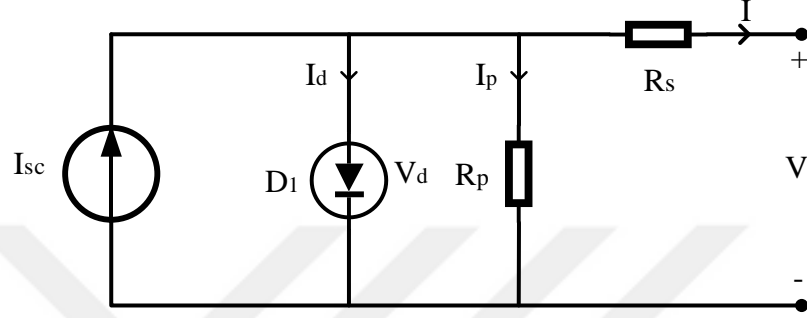
FV panelinin kesiti Şekil 2.2'de gösterilmiştir. FV paneli yapısında N ve P tipi katkılanmış yarı-iletken malzemelerden oluşur. Bu malzemeler ön ve arka bağlantı elemanları sayesinde elektron fazlası olan N tipi yarıiletken ile boşluk fazlası olan P tipi yarıiletken bir elektrik devresi ile birleştirildiğinde elektronlar devre üzerinden boşluklara doğru hareket ederler ve bu bir elektrik akımı oluşturarak elektrik akımını panel dışına aktarılmasını sağlar. Güneş ışığının en iyi şekilde soğurulması yansımayı önleyici madde sayesinde sağlanır. Ayrıca panelin ışınma alan tarafı koruma camı ile kapatılarak yarı iletken malzemenin zarar görmesi engellenir [16].



Şekil 2.2. FV paneli kesiti [16]

2.4. FV Hücresi Elektriksel Eşdeğer Modeli

FV hücrenin elektriksel eşdeğer devre yapısı Şekil 2.3'te görüldüğü gibi bir akım kaynağı (I_{sc}), akım kaynağına paralel bağlı direnç (R_p) ile diyot (D_1) ve oluşan yapıya seri bağlı bir direnç (R_s) ile ifade edilir.



Şekil 2.3. FV hücresi elektriksel eşdeğer devre yapısı

Burada I_{sc} ışık fotonlarıyla üretilen akım veya kısa devre akımı (A), I_d diyot akımı (A), R_s hücredeki iç direnci ve bağlantı dirençlerini temsil ederken, R_p direnci ise paralel kaçak akım direncini temsil etmektedir. Elektriksel eşdeğer devre Kirchoff akım kanunu uygulanırsa Denklem 2.1 elde edilir [17,18].

$$I_{sc} - I_d - \frac{V_d}{R_p} - I = 0 \quad (2.1)$$

$$I_d = I_o \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) = I_o \left(e^{\frac{q(V + I \cdot R_s)}{nkT}} \right) \quad (2.2)$$

$$\frac{V_d}{R_p} = \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (2.3)$$

Denklem 2.2 ve 2.3, Denklem 2.1' de yerine yazılırsa hücreden çekilen akım ifadesi olan Denklem 2.4 elde edilir.

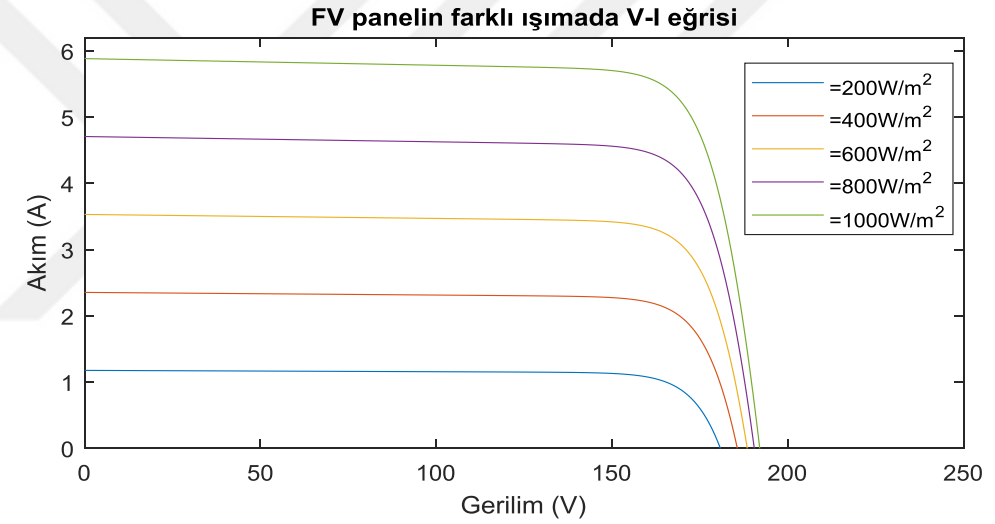
$$I = I_{sc} - I_o \left(e^{\frac{q(V + I \cdot R_s)}{nkT}} \right) - \frac{V + I \cdot R_s}{R_p} \quad (2.4)$$

- I_o : Ters sızıntı akımı (A)
- q : Bir elektron yükü $1,6 \times 10^{-19}$ Coulombs

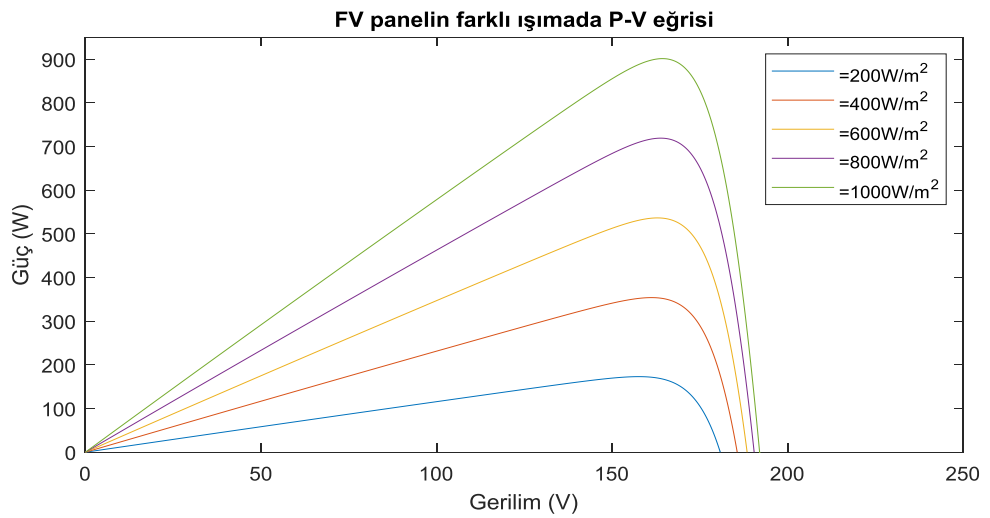
- k: Boltzman sabiti $1,38 \times 10^{-23} \text{J/K}$,
- T: Kelvin cinsinden hücre sıcaklığı
- n: diyotun ideal faktörü olup 1-2 arasında değerler almaktadır.

2.5. FV Panellerde Işımanın ve Sıcaklığın Etkisi

Bir FV panelinin I-V ve P-V karakteristiği ışınma şiddeti (W/m^2) ve sıcaklıkla değişiklik göstermektedir. Işımanın FV paneline olan etkisini Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Şekil 2.4'te sabit sıcaklıkta ışınma şiddeti değişikçe panelin ürettiği kısa devre akımı ve çıkış gücü de doğru orantılı olarak değişmektedir. Açık devre gerilimi ise kısa devre akımına oranla daha az bir oranda değişmektedir[2].



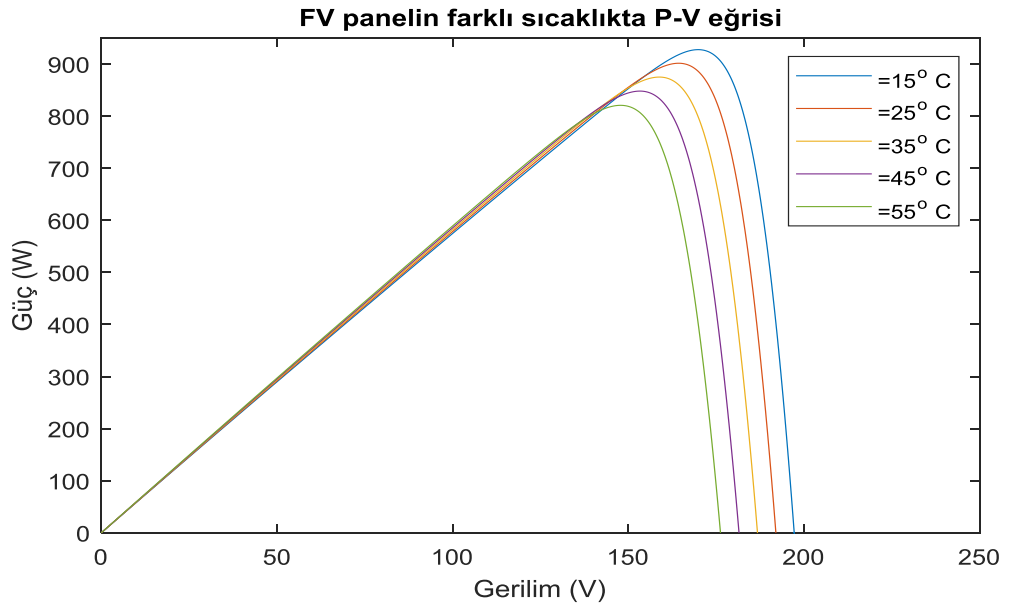
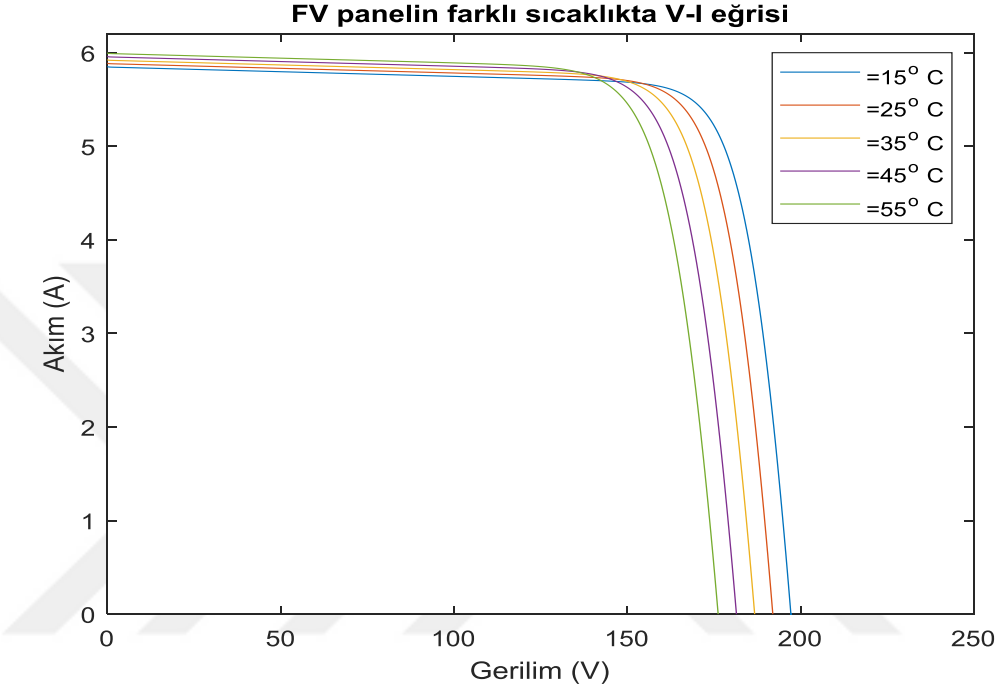
(a)



(b)

Şekil 2.4. FV panelinin farklı ışımadaki (a) I-V ve (b) P-V eğrileri

Sıcaklığın güneş paneline olan etkisini Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Sabit bir ışınım altında, sıcaklık artışı kısa devre akımının az bir miktarda artması yönünde bir etkiye bulunurken açık devre geriliminin azalmasına ve buna bağlı olarak da çıkış gücünün azalmasına neden olmaktadır [2].



Şekil 2.5. FV panelinin farklı sıcaklıkta (a) I-V ve (b) P-V eğrileri

2.6. FV Hücre Çeşitleri

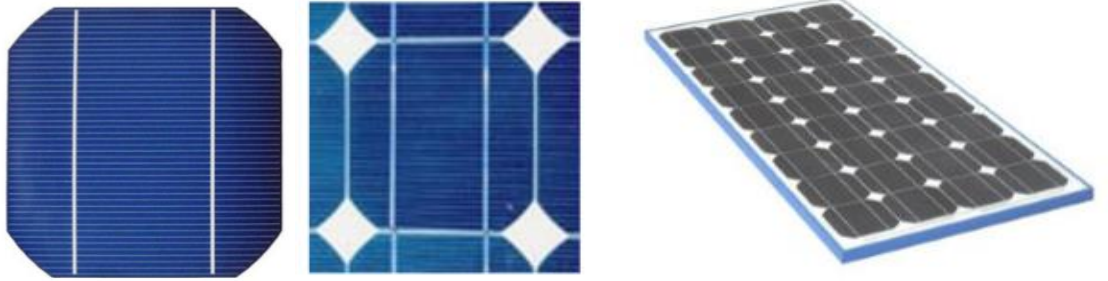
Güneş hücresi yapımında çok farklı maddeler kullanılarak üretilir. Günümüzde en çok kullanılarak yapılan güneş panelleri aşağıda açıklanmıştır.

2.6.1. Kristal silisyum FV hücresi

FV hücresi yapımında en çok tercih edilen madde silisyumdur. Yarı iletken silisyum maddesi kullanım aşamasında kararlılığını korumakta, yapısal, elektriksel ve soğurma özelliklerini uzun süre muhafaza edebilmektedir. Monokristal, polikristal ve ribbon silisyum kristal olmak üzere üç farklı çeşidi bulunmaktadır. Verimleri %20 ile %27 arasında değişmektedir [19,20].

2.6.1.1. Monokristal silisyum FV hücresi

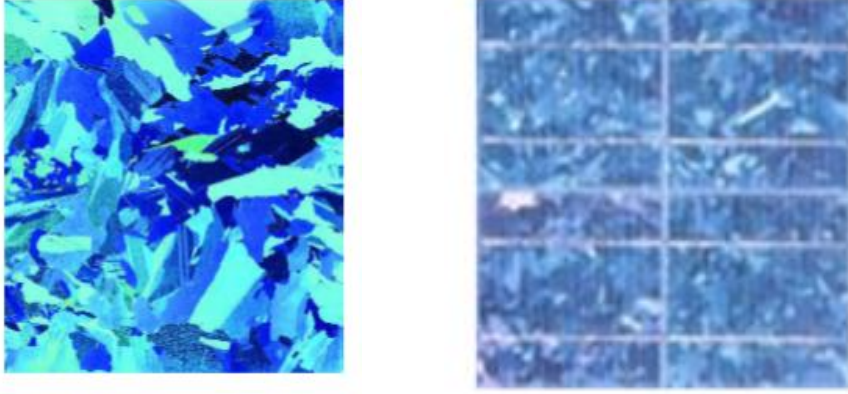
Monokristal silisyum malzemesinin özelliklerini uzun süre muhafaza etmesi ve yapısal ve elektriksel özelliklerinin madde içinde her yerde aynı olmasından dolayı homojen bir yapıya sahip olup bundan dolayı verimleri yüksektir [19].



Şekil 2.6. Monokristal hücre ve paneli [19,21]

2.6.1.2. Polikristal silisyum FV hücresi

Polikristalli hücreler, monokristal silisyum güneş hücrelerine göre daha kolay üretilir ve maliyeti düşüktür. Bu hücrenin dezavantajı monokristal güneş hücreler kadar iyi verimliliğe sahip olmamasıdır. Bunun nedeni polikristalli madde içinde bulunan damarların yapısal ve elektriksel farklılık göstermesidir [19].



Şekil 2.7. Polikristal FV paneli [19,21]

2.6.1.3. Ribbon silisyum FV hücresi

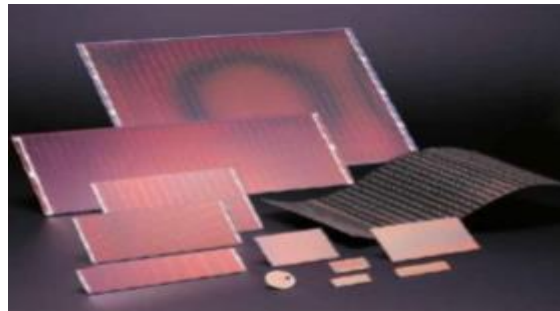
Ribbon silisyumlu FV hücresi, kristalli FV hücresi üretiminde bazı malzeme kayıpları olmaktadır. Bu malzeme kayıpları azaltılması için çeşitli yöntemler kullanılarak üretilmiştir [19].

2.6.2. İnce film FV hücresi

Kristal Silisyum güneş hücresine göre daha ince yapıda ve düşük maliyetlidir. Işığı daha iyi soğurma özelliğine sahiptir. İnce film malzemenin başlıcaları amorf silisyum, kadmiyum tellür ve bakır indiyum-diselenid gibi çeşitleri bulunur. Verimleri %13 ile %23 arasında değişmektedir [19,20].

2.6.2.1. Amorf silisyum FV hücresi

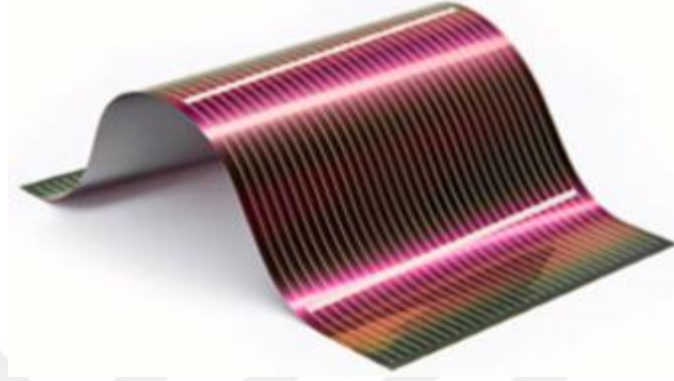
Amorf silisyumun ışığı kristal silisyuma göre soğurma katsayısı çok yüksektir ve rengi kırmızımsı kahverengidir. Günümüzde düşük güç gerektiren elektronik cihazlarda kullanılmaktadır [16,19,21].



Şekil 2.8. Amorf silisyum FV paneli [21]

2.6.2.2. Bakır indiyum diselenid FV hücresi

Periyodik tablonun birinci, üçüncü ve altıncı grubunda yer alan bakır, indiyum ve selenyumdan üretilen bu güneş hücresinin ışığı soğurma özelliği yüksektir [19,21].



Şekil 2.9. Bakır indiyum diselenid FV paneli [21]

2.6.2.3. Kadmiyum tellür FV hücresi

Periyodik tablonun ikinci ve altıncı grubunda yer alan kadmiyum ve tellür elementinden yapılan kadmiyum tellür güneş hücresi ışığı soğurma özelliği yüksektir [19,21].



Şekil 2.10. Kadmiyum-Tellür FV hücresi [21]

2.6.3. Tek eklemlı galyum arsenit FV hücresi

Bu FV hücresi ışığı soğurma özelliği yüksektir. Verimi ise %29 ile %34 arasındadır. Bu FV hücresinin maliyeti yüksek olduğu için uzay araştırmalarında ve güneş enerjisi arabalarında kullanılmaktadır [19,20].

2.6.4. Çok eklemli FV hücresi

Farklı malzemelerin üst üste kullanılarak çok eklemli FV hücreleri üretilmiştir. Bu çok eklemli yapıya sahip FV hücresinin güneş ışığının farklı spektrumlarını soğurmaktadır. Bu nedenle ışıınımdan maksimum düzeyde faydalanmaktadır. Maliyeti yüksek olduğundan dolayı araştırma çalışmalarında kullanılmaktadır. Verimi ise %31-%44 arasındadır [19,20].

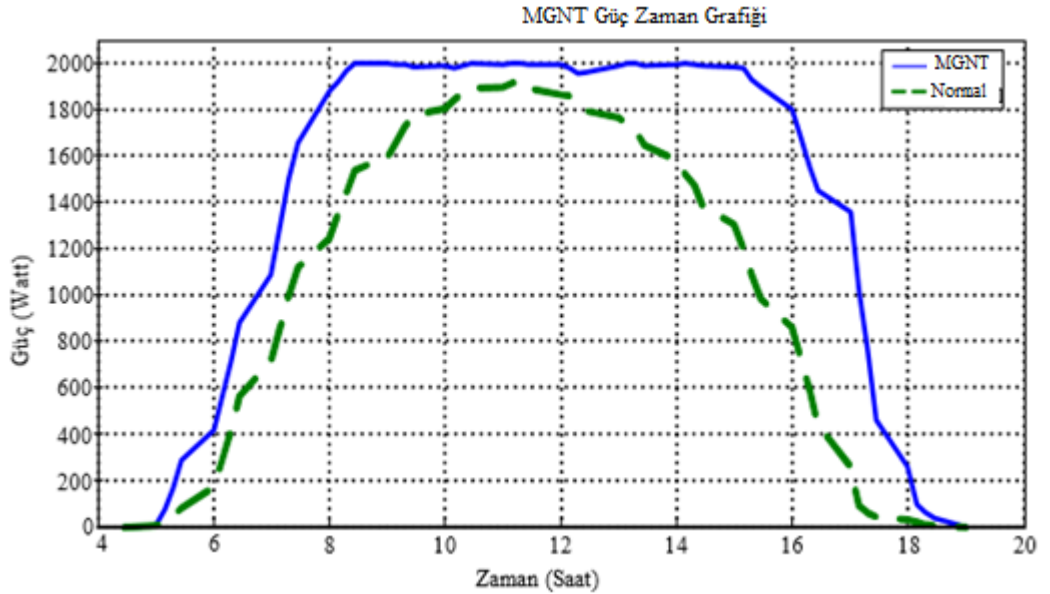


BÖLÜM 3

MAKSİMUM GÜÇ NOKTASI TAKİBİ

3.1. Maksimum Güç Noktası Takibi (MGNT) Algoritmaları

FV sistemlerde akım ve gerilim kontrolü yapılarak panellerin MGN çalıştırılması işlemine MGNT adı verilir. FV panellerin MGN ışımaya, sıcaklık gibi dış etkenlere bağlı olarak değişmektedir. FV panellerde MGN çalışması için panel akım ve gerilim bilgisine bağlı olarak konvertörün bu güç noktasında çalışmasını sağlamak amacıyla üretilen referans işaretini hesaplamak için çeşitli MGNT algoritmaları geliştirilmiştir [16]. MGNT’de kullanılan algoritmalar geleneksel ve esnek hesaplama yöntemleri olarak iki çeşide ayrılabiliriz. Açık devre gerilim, kısa devre akım, değiştir-gözle ve artan iletkenlik gibi geleneksel yöntemler mevcut olup uygun koşullarda başarılı bir şekilde MGN izleyebilmektedirler. Bu yöntemlerin dezavantajı MGN etrafında salınımlara neden olmaları ve kısmi gölgelenme durumlarında MGN takip edememelerinden dolayı güç kayıplarına neden olmalarıdır. Geleneksel yöntemlerin bu dezavantajlarını ortadan kaldırmak için esnek hesaplama yöntemleri önerilmiştir. YSA, BMD ve PSO gibi esnek hesaplama yöntemleri mevcuttur.



Şekil 3.1. MGNT kontrollü ve kontrolsüz elde edilen enerjinin karşılaştırılması [22]

Şekil 3.1’de görüldüğü gibi MGNT algoritmaları sayesinde gün içinde düşük ışımaya değerlerinde bile FV panellerden elde edilen güç seviyesi MGN yakın bir güç noktasına

yaklaşmakta olup kontrolsüz duruma göre %45 daha fazla güç elde edilebilmektedir [16,23].

3.2. Geleneksel MGNT Algoritması Yöntemleri

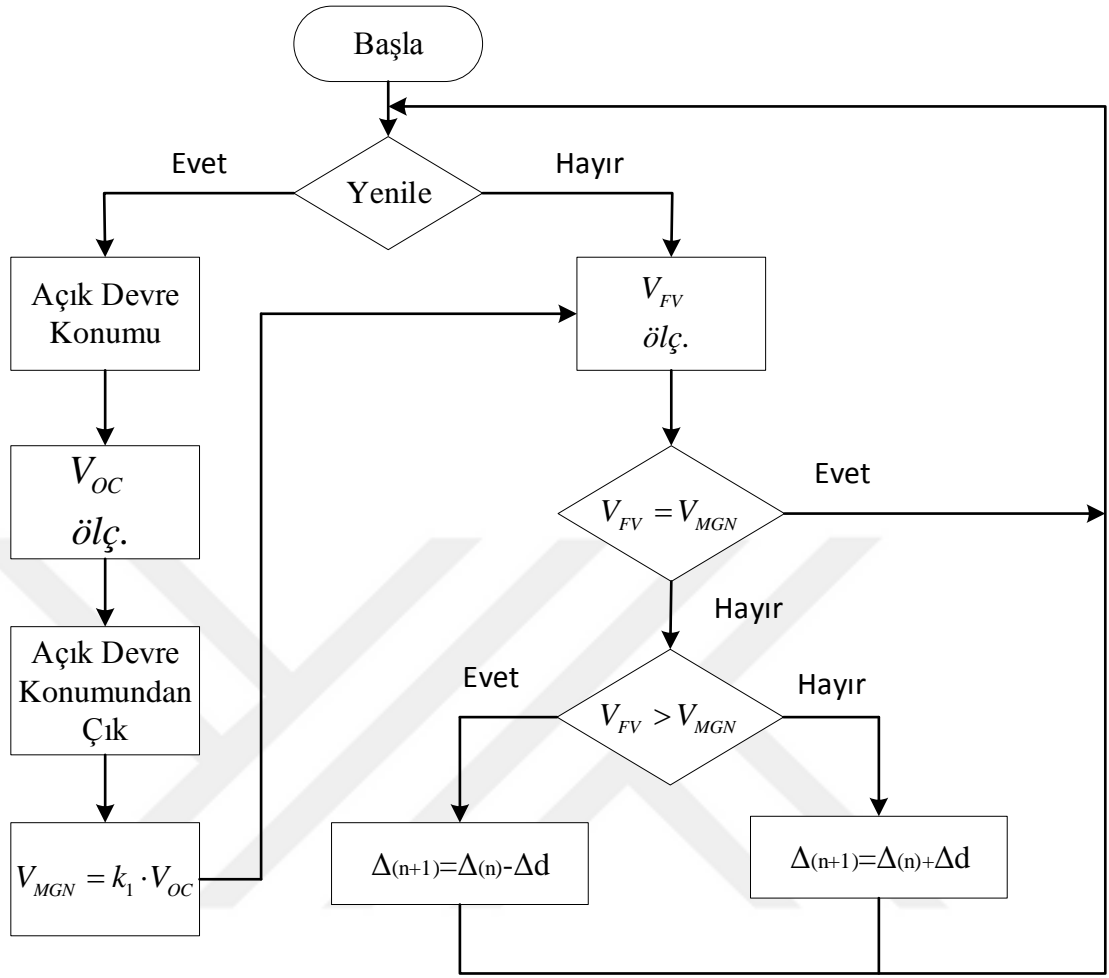
Geleneksel yöntemler olarak açık devre gerilim algoritması yöntemi, kısa devre akım algoritması yöntemi, değiştir ve gözle algoritması yöntemi ve artan iletkenlik algoritması yöntemi gibi çeşitleri mevcut olup aşağıda geniş olarak açıklanacaktır.

3.2.1. Açık devre gerilim (V_{OC}) MGNT algoritması

Bu yöntem kullanışlı ve basit bir MGNT algoritmasıdır. Denklem 3.1’de ifade edildiği gibi FV panelinin MGN gerilimi ile panel açık devre gerilimi arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. FV panelin maksimum güç noktasındaki gerilimi (V_{MGN}), panelin açık devre gerilimi ile k_1 sabiti çarpılarak elde edilir. Denklem 3.1’de bulunan k_1 sabiti genel olarak 0,7 ile 0,8 arasında değerler alır [3,24].

$$V_{MGN} = k_1 \cdot V_{OC} \quad (3.1)$$

Bu yöntemde maksimum güç noktasının V_{MGN} geriliminin belirlenebilmesi için V_{OC} gerilim değeri belirli aralıklarla ölçülmesi gerekmektedir. Bu yöntemin dezavantajı, yapılan bu ölçüm esnasında FV panel yükten ayrılarak yapıldığından güneş enerjisinden yararlanılamamaktadır. Bu yöntemde FV panellerin güneş enerjisinden yararlanabilmesi ve yüklerin enerjisiz kalmamasını sağlamak için eşdeğer bir FV panelin sürekli açık devre durumunda gerilimi ölçülerek denetim yapılabilir [13]. Şekil 3.2’de V_{OC} algoritması akış şeması gösterilmiştir. Şekil 3.2’deki şemada gösterildiği gibi FV panelin V_{OC} gerilimi ile yükteki V_{FV} gerilimi sensörlerle ölçülür. k_1 sabiti ile V_{OC} çarpılarak V_{MGN} değeri elde edilir. V_{FV} ile V_{MGN} bilgileri karşılaştırılır ve eşitse algoritması başa geri döner. Eşit değilse V_{FV} değeri V_{MGN} değerinden küçükse, anahtarlama görev periyodu Δd kadar artırılır, büyükse Δd kadar azaltılır [3].



Şekil 3.2. Açık devre gerilim algoritması akış şeması

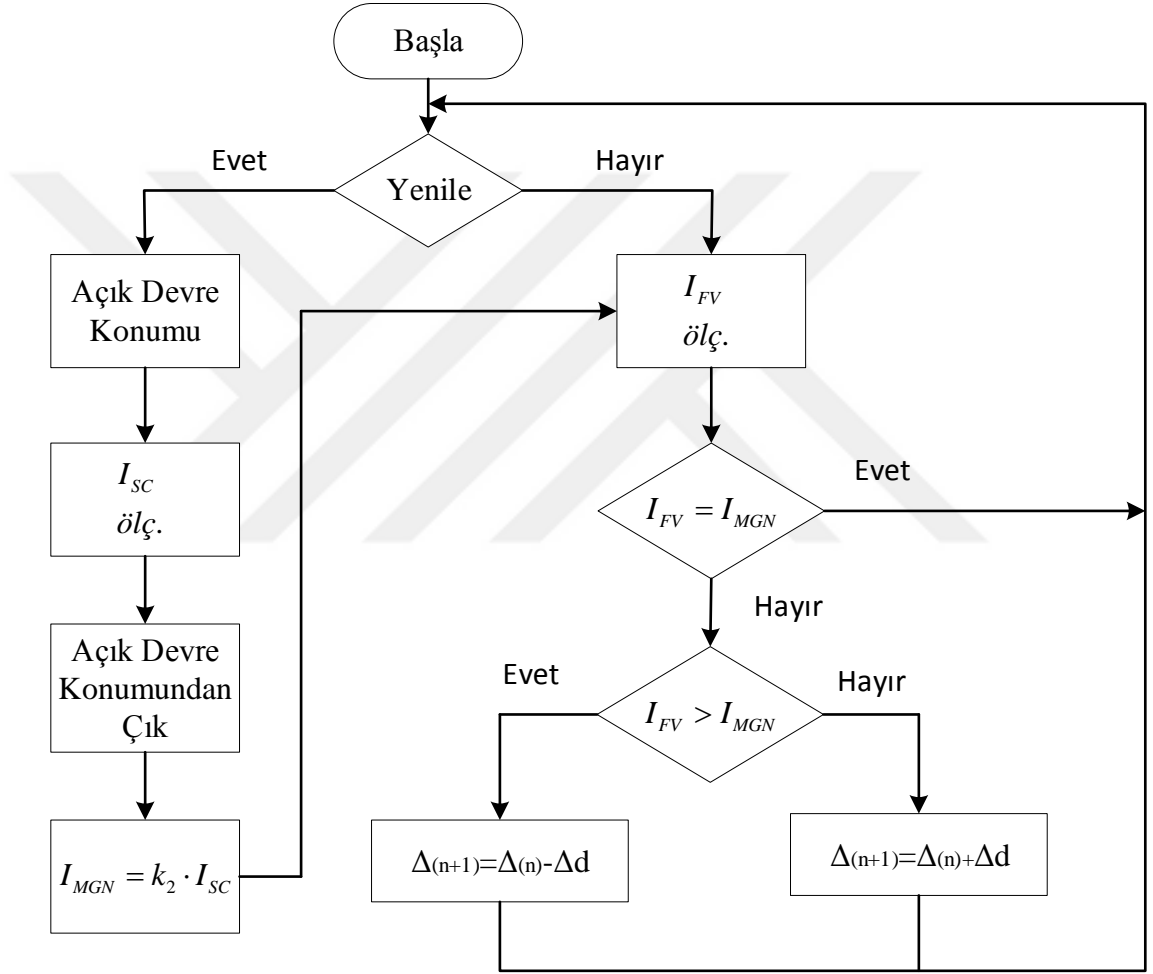
3.2.2. Kısa devre akım (I_{SC}) MGNT algoritması

Bu yöntem açık devre gerilimi yöntemiyle benzerlik göstermektedir. FV panelinin maksimum güç noktası akımı (I_{MGN}) ile panel kısa devre akımı (I_{SC}) arasında doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. FV panelinin maksimum güç noktası akımı Denklem 3.2 ile hesaplanır.

$$I_{MGN} = k_2 \cdot I_{SC} \quad (3.2)$$

Denklem 3.2'deki k_2 sabiti FV panelin imalat sırasında belirlenen ve 0,72 ile 0,98 arasında değişen değerler alır. Bu yöntemde maksimum güç noktası akımının hesaplanabilmesi için önce FV panelin kısa devre akımının ölçülmesi gerekir. Kısa devre akımı, FV panel çıkışına paralel bağlı bir anahtarlama tekniğiyle FV panel kısa devre edilerek

ölçülür [24]. Şekil 3.3'te kısa devre akım algoritması akış şeması gösterilmiştir. Şekil 3.3'teki şemada gösterildiği gibi FV panelin I_{SC} akımı ile yükteki I_{FV} akımı sensörlerle ölçülür. k_2 sabiti ile I_{SC} çarpılarak I_{MGN} değeri elde edilir. I_{FV} ile I_{MGN} bilgileri karşılaştırılır ve eşitse algoritması başa geri döner. Eşit değilse I_{FV} değeri I_{MGN} değerinden küçükse, anahtarlama görev periyodu Δd kadar artırılır, büyükse Δd kadar azaltılır.

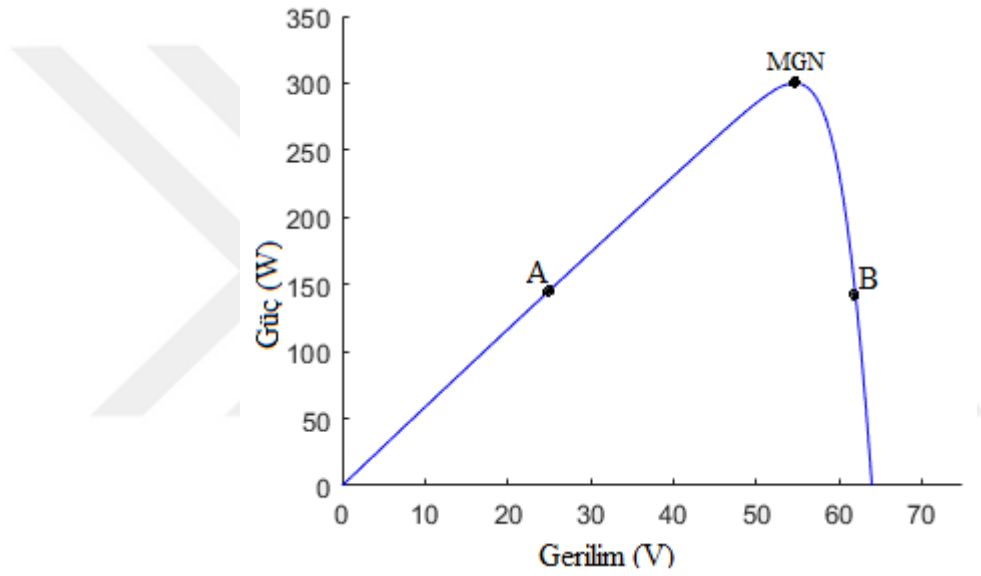


Şekil 3.3. Kısa devre akım algoritması akış şeması

3.2.3. Değiştir ve gözle (P&O) MGNT algoritması

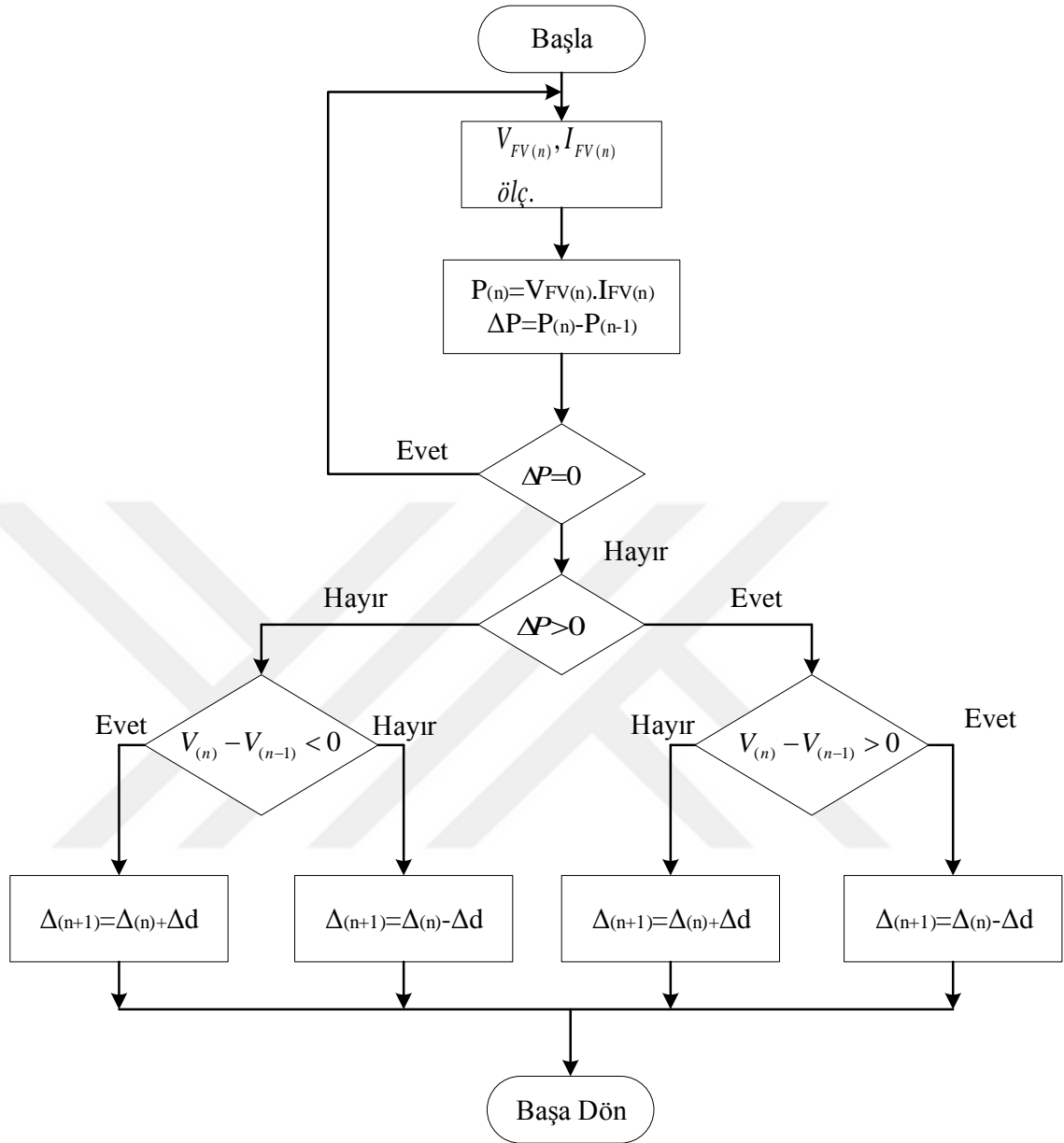
Bu yöntem kolay uygulanabilir olduğundan yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemte tepe tırmanma algoritması adı da verilir. FV panelden üretilen akım ve gerilim değeri ışığa ve sıcaklığa bağlı olarak sensörler vasıtasıyla anlık ölçülerek FV panel çıkış gücü elde edilmiş olur. Bu FV panelin çıkış gücü bir önceki çevrimdeki çıkış gücüyle

karşılaştırılarak ΔP güç farkı elde edilir. Şekil 3.4'te sabit ışımaya ve sıcaklıktaki değişimle algoritmasının çalışma eğrisi verilmiştir. Bu şekilde FV panelin maksimum güç noktasının dışında A veya B noktasında çalıştığı varsayalım. Eğer elde edilen güç farkı ΔP pozitifse MGN solunda A noktasında çalışmaktadır. ΔP pozitif olduğundan MGN yaklaşmış olur ve bir sonraki adımında bu yönde atılması gerekmektedir. Eğer elde edilen güç farkı ΔP negatifse MGN sağında B noktasında çalışmaktadır. ΔP negatif olduğundan MGN uzaklaşmış olur ve bir sonraki adımında ters yönde atılması gerekmektedir [16].



Şekil 3.4. Değişir gözle algoritmasının temel çalışma eğrisi

Şekil 3.5'te değişir ve gözle algoritmasının akış şeması gösterilmiştir. FV panelin gerilim ve akım değerleri sensörler ölçülerek güç hesaplanır ve bir önceki hesaplanan güç ile farkından ΔP hesaplanır. Güç farkı yoksa algoritması başa döner. Güç farkı varsa, güç farkı pozitif ve gerilim farkı da pozitif ise Δ anahtar görev periyodu Δd kadar azaltılır, gerilim farkı negatif ise Δ anahtar görev periyodu Δd kadar artırılır ve algoritma başa geri döner. Güç farkı negatif ve gerilim farkı da negatif ise Δ anahtar görev periyodu Δd kadar artırılır, gerilim farkı pozitif ise Δ anahtar görev periyodu Δd kadar azaltılır ve algoritma başa geri döner.

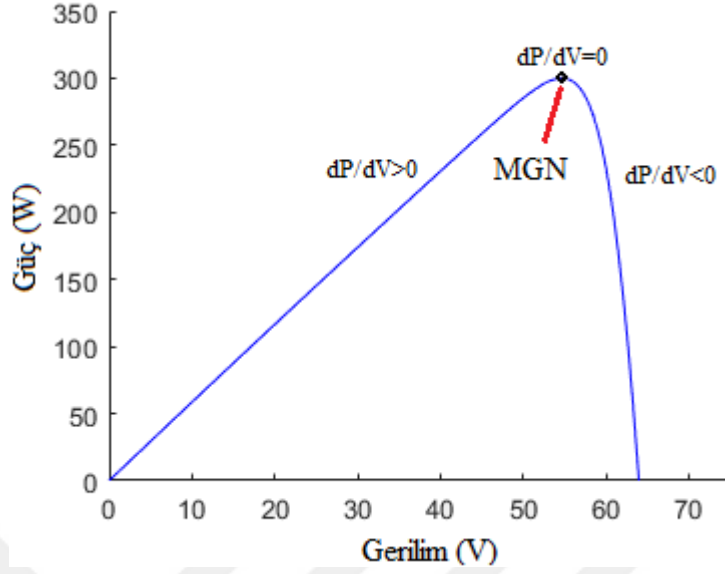


Şekil 3.5. Değiştir gözle algoritması akış şeması

Bu yöntemin dezavantajı MGN etrafında sürekli salınım yaptığından güç kaybı yaşanmaktadır [16].

3.2.4. Artan iletkenlik (IC) MGNT algoritması

Artan iletkenlik algoritmasının FV panel çıkış gücünün gerilime göre türevinin sıfıra eşit olmasına dayanır. Şekil 3.6’da görüldüğü gibi türevin sıfır olduğu nokta maksimum güç noktasıdır [3].



Şekil 3.6. Artan iletkenlik algoritması temel çalışma eğrisi

Şekil 3.6' dan Denklem 3.3, Denklem 3.4 ve Denklem 3.5 çıkarılabilir [16,25].

$$\frac{dP}{dV} = 0 \text{ maksimum güç noktasında} \quad (3.3)$$

$$\frac{dP}{dV} > 0 \text{ maksimum güç noktasının solunda} \quad (3.4)$$

$$\frac{dP}{dV} < 0 \text{ maksimum güç noktasının sağında} \quad (3.5)$$

$$P = V \cdot I \quad (3.6)$$

$$\frac{dP}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} \quad (3.7)$$

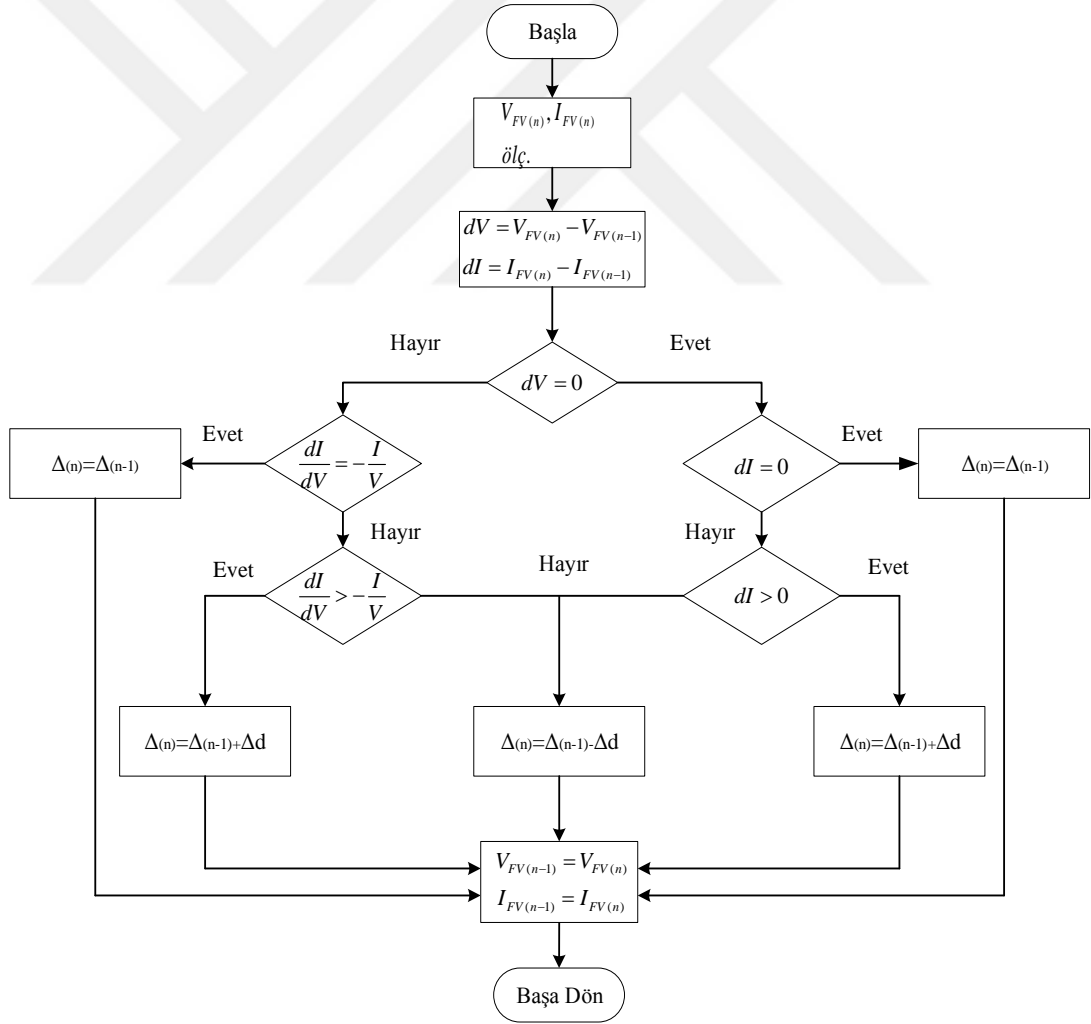
Denklem 3.3, Denklem 3.4 ve Denklem 3.5'teki ifadeler Denklem 3.7 yerine koyulursa Denklem 3.8, Denklem 3.9 ve Denklem 3.10'daki ifadeler elde edilir [16,25].

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \text{ maksimum güç noktasında} \quad (3.8)$$

$$\frac{dI}{dV} > -\frac{I}{V} \text{ maksimum güç noktasının solunda} \quad (3.9)$$

$$\frac{dI}{dV} < -\frac{I}{V} \text{ maksimum güç noktasının sağında} \quad (3.10)$$

Artan İletkenlik Algoritması Akış Şeması Şekil 3.7’de gösterilmiştir. FV panelin gerilim ve akım değerleri anlık olarak sensörler yardımı ile ölçülür. Bu ölçümler bir önceki ölçümlerle karşılaştırılarak dI ve dV farkları hesaplanır [16]. dV gerilimde fark var mı yok mu diye kontrol edilir ve gerilimde fark yoksa dI akımda fark var mı yok mu diye kontrol edilir. Akımda da fark yoksa algoritma başa geri döner. Eğer akımda fark varsa ve negatif ise Δ anahtar görev periyodu Δd değeri kadar azaltılır, pozitif ise Δd değeri kadar artırılır ve algoritma başa geri döner. Eğer gerilimde fark varsa akım farkının gerilim farkına oranının $-I/V$ değerinin eşitliği kontrol yapılır ve eşitlik varsa algoritma başa geri döner. Eşitlik sağlanmadıysa $-I/V$ ’ye küçük ise Δ anahtarlama göre periyodu Δd değeri kadar azaltılır, büyük ise Δd değeri kadar artırılır ve algoritma başa geri döner [3].



Şekil 3.7. Artan iletkenlik algoritması akış şeması

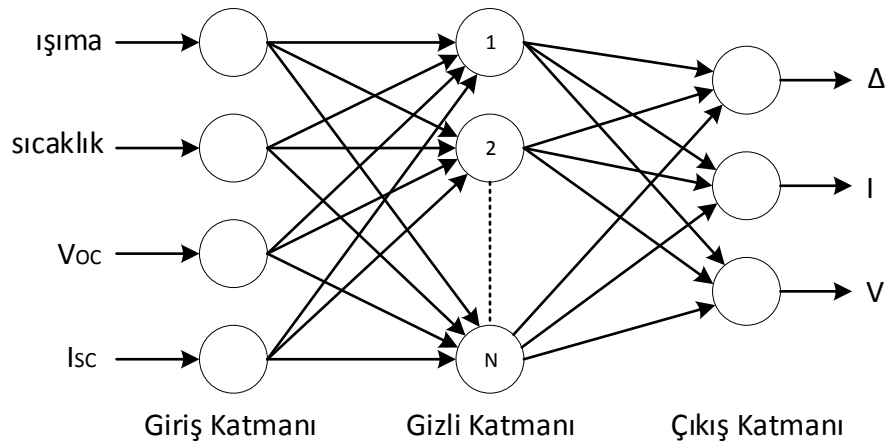
IC algoritması değişken atmosferik şartlarda hızlı cevap verebilmesi ve maksimum güç noktası etrafında değiştir ve gözle algoritmasına göre daha az salınım yapması gibi avantajlara sahiptir [3].

3.3. Esnek Hesaplama MGNT Algoritma Yöntemleri

Bu algoritma yöntemleri olarak YSA algoritma yöntemi, BMD algoritma yöntemi ve PSO algoritma yöntemi gibi çeşitleri mevcut olup aşağıda geniş olarak açıklanacaktır.

3.3.1. Yapay sinir ağı tabanlı MGNT algoritması

YSA algoritması yöntemi insan beyninin çalışmasının modellenmesiyle ortaya çıkmıştır. Bu model beyindeki sinir hücrelerin birbirleriyle bağlantılarını ve birbirlerini etkilemeleri sonucu oluşan karmaşık bir sistemdir [26]. YSA insan beyninin sinir hücrelerin çalışma sistemini bilgisayar veya elektronik devrelerle taklit etmeye çalışır [2]. YSA algoritmasının temel yapısı Şekil 3.8’de verilmiştir. Bu YSA en basit anlamda giriş katmanı, gizli katman ve çıkış katmanı olarak üç bölüme sahiptir. Giriş katmanı değişkenleri ışım, sıcaklık, V_{oc} ve I_{sc} gibi veriler veya bunların birkaçının kombinasyonu olabilir. Gizli katmanda, katman sayısı ve sinir hücresi sayısı problemin zorluk derecesine göre değişir. YSA’nın MGN takip etme yeteneği gizli katmanda kullanılan fonksiyon ve sinir ağının ne kadar iyi eğitildiğine bağlıdır. Katmanlar arasındaki bağlantı ağırlığı (w) eğitim sırasında ayarlanır. Çıkış katmanından gerilim, akım ve görev oranı gibi çıkışlar elde edilir [27,28].

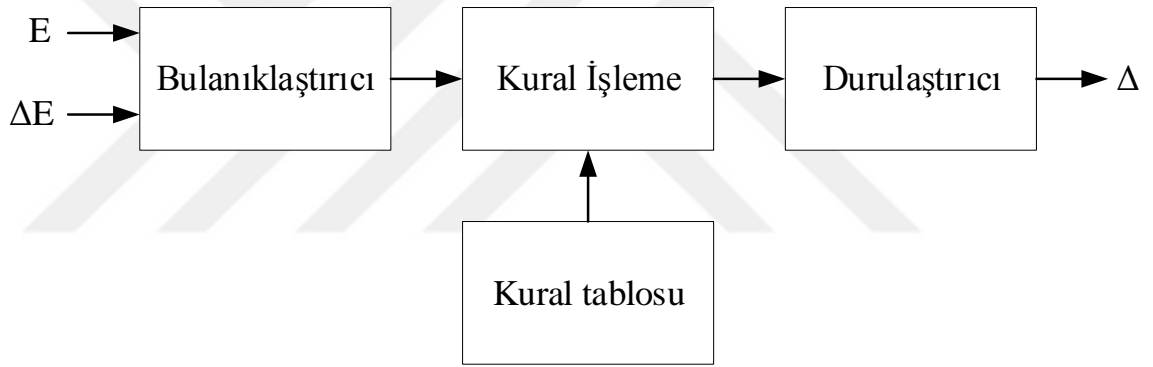


Şekil 3.8. YSA'nın temel yapısı

Bu yöntemin dezavantajı, FV panellerin özellikleri modele ve üretim teknolojisine bağlı olarak değiştiğinden ve atmosferik koşullar konuma bağlı olduğundan, YSA'nın eğitimi sırasında gerekli verilerin FV paneller için edinilmesi gerekmektedir. Bu veriler zamanla değiştiğinden YSA periyodik olarak eğitilmelidir [27,28].

3.3.2. Bulanık mantık denetleyicisi tabanlı MGNT algoritması

Bu algoritma yönteminde FV panelin P_{FV} , V_{FV} , I_{FV} çıktı bilgileri BMD sistemine girdi olarak uygulanır ve BMD'nin dil yapısına dönüştürülüp gerekli işlemler yapıldıktan sonra çıktılar elde edilir. BMD algoritma yönteminin çalışma yapısı dört birimden meydana gelmektedir ve bunlar bulanıklaştırıcı, kural işleme, kural tablosu ve durulaştırıcıdır. Bulanık mantık algoritmasının blok şeması Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Bulanık mantık blok şeması

Bulanık mantık kontrol tabanlı bir MGNT' de girdiler genellikle bir hata (E), hata değişiminden (ΔE) oluşur ve Denklem 3.11 veya Denklem 3.12 ve Denklem 3.13'teki gibi ifade edilir. MGN'de dP/dV sıfır olur [28,29].

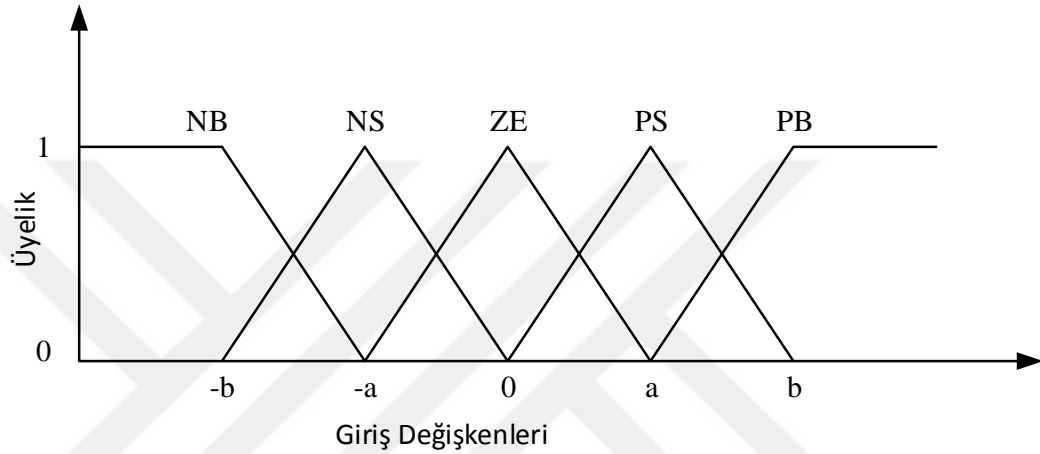
$$E(n) = \frac{P(n) - P(n-1)}{V(n) - V(n-1)} \quad (3.11)$$

veya

$$E(n) = \frac{P(n) - P(n-1)}{I(n) - I(n-1)} \quad (3.12)$$

$$\Delta E = E(n) - E(n-1) \quad (3.13)$$

Denklem 3.11 veya Denklem 3.12 ve Denklem 3.13 hesaplandıktan sonra Şekil 3.10'daki gibi üyelik fonksiyonuna dayalı dil değişkenlerine dönüştürülürler. Girdi değişkenleri BMD'nin dil yapısında pozitif büyük (PB), pozitif küçük (PS), sıfır (ZE), negatif küçük (NS), negatif büyük (NB) şeklinde beş değişken tanımlanır ve bu değişkenlerin ataması kullanıcıya bağlıdır. BMD değişkenleri 0 ile 1 arasında değerler alırlar [28,30].



Şekil 3.10. Bulanık kümenin üyelik fonksiyonu

Durulaştırıcı işleminde BMD çıkışı konvertörün gerilimi (ΔV), akımı (ΔI) veya görev periyodu (Δ) cinsinden tanımlanır. E ve ΔE 'nin farklı kombinasyonu için çıkışa atanan dilsel değişkenler Tablo 3.1'deki gibi kural tablosu oluşturulur ve buna göre işlem yapılır.

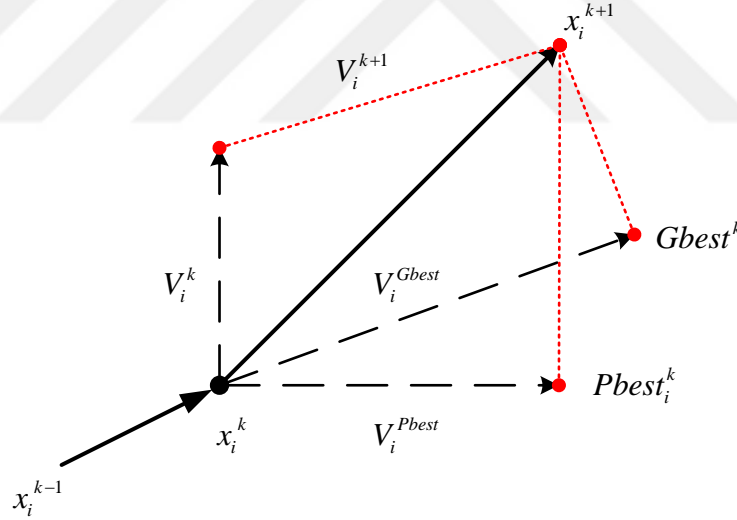
Tablo 3.1. Üyelik fonksiyonu için BMD kural tablosu

ΔE	NB	NS	ZE	PS	PB
E	NB	NS	ZE	PS	PB
NB	NB	NS	ZE	PS	PB
NS	NB	NS	ZE	PS	PB
ZE	NB	NS	ZE	PS	PB
PS	NB	NS	ZE	PS	PB
PB	NB	NS	ZE	PS	PB

Bu yöntemin dezavantajı BMD algoritmasında kullanılan kurallar uzman bilgisine ve deneyimine bağlıdır ve kullanılan üyelik fonksiyonları deneme yanılma ile oluşturulmasıdır [31].

3.3.3. PSO tabanlı MGNT algoritması

PSO, kuş ve balık sürülerinin sosyal davranışlarından esinlenilerek 1995 yılında Dr. Eberhart ve Dr. Kennedy tarafından geliştirilmiş sürü tabanlı bir optimizasyon algoritma yöntemidir [12,32,33]. PSO sürü tabanlı ve sürü zekasına kullanan bir algoritmadır. PSO sürü tabanlı optimizasyon algoritması olduğundan bireyler arasında sosyal bilgi paylaşımı yapılmaktadır. PSO’da her bireye parçacık ve bu parçacıklardan oluşan popülasyona da sürü adı verilir [34]. Parçacığın en uygun çözümünü elde etmek için kendine ait bir hız ve konumu bulunmaktadır ve parçacığın hareketi Şekil 3.11’de gösterilmiştir [33].



Şekil 3.11. PSO algoritmasında parçacığın hareketi

- i : Birey(Parçacık)
- k : Tekrarlama (iterasyon)
- x_i^k : i . parçacığın k iterasyonundaki konumu
- V_i^k : i . parçacığın k iterasyonundaki hızı
- $Gbest^k$: Sürüdeki en iyi konuma sahip parçacık
- $Pbest_i^k$: i . parçacığın kişisel en iyi konumu

- V_i^{Pbest} : Pbest parçacığının hızı
- V_i^{Gbest} : Gbest parçacığının hızı
- x_i^{k+1} : i. parçacığının k+1 iterasyonundaki konumu
- V_i^{k+1} : i. parçacığının k+1 iterasyonundaki hızı

PSO algoritmasında parçacıklar başlangıçta rastgele hız ve pozisyon değerleriyle arama işlemine başlar. Parçacıklar sürekli güncellenerek en uygun değeri bulmaya çalışır. Parçacıklar her iterasyonda farklı hızlarda en iyi çözüme ulaşmak için arama alanında hareket eder. Parçacıklar uygunluk fonksiyonuna göre değerlendirilir. Sürüdeki her bir parçacığının kişisel en iyi çözümü “Pbest” (kişisel en iyi uygunluk değeri) ve sürüdeki tüm parçacıkların en iyi çözümü “Gbest” (sürünün en iyi uygunluk değeri) göre güncellenir. PSO algoritmasındaki her iterasyonda parçacıkların hız ve konumları güncellenir. Parçacığının hızı ve konumu Denklem 3.14 ve Denklem 3.15’deki gibi hesaplanır [33].

$$V_i^{k+1} = w \cdot V_i^k + c_1 \cdot r_1 \cdot (Pbest_i^k - x_i^k) + c_2 \cdot r_2 \cdot (Gbest^k - x_i^k) \quad (3.14)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + V_i^{k+1} \quad (3.15)$$

3.14 ve 3.15 denklemlerinin bileşenleri aşağıda açıklanmıştır.

- i : Birey(Parçacık)
- k : Tekrarlama (iterasyon)
- V_i^{k+1} : i. parçacığının k+1 iterasyonundaki hızı
- w : Atalet ağırlık katsayısı
- $w \cdot V_i^k$: Mevcut hareket (Eylemsizlik bileşeni)
- c_1 ve c_2 : Hızlandırma katsayıları
- r_1 ve r_2 : 0 ile 1 arasındaki rasgele sayılar.
- $Pbest_i^k$: i. parçacığının k iterasyonundaki lokal çözümü
- $Gbest_i^k$: i. parçacığının k iterasyonundaki global çözümü
- $c_1 \cdot r_1 \cdot (Pbest_i^k - x_i^k)$: Parçacığının hareketine kendi tecrübesinin etkisi
- $c_2 \cdot r_2 \cdot (Gbest_i^k - x_i^k)$: Parçacığının hareketine sürü tecrübesinin etkisi
- x_i^{k+1} : i. parçacığının k+1 iterasyonundaki konumu

3.3.3.1. PSO kontrol parametreleri

Parçacık sürü optimizasyonu, parçacıkların sayısı(i), iterasyon sayısı(k), hızlanma katsayıları($c1,c2$), eylemsizlik ağırlığı(w) gibi ayarlanması gereken kontrol parametresi bulunmaktadır.

- **Parçacıkların sayısı (i):** sürüde parçacık sayısı yapılacak işleme göre değişmektedir ve belirli bir sınırı bulunmamaktadır. Sürüde parçacıkların fazla olması her bir iterasyonda daha fazla sayıda çözüm elde edilir. Parçacığın fazla olması daha az iterasyonla çözüme ulaşılmasını sağlar. Parçacık sayısının fazla olması her iterasyonda hesaplama süresini artırır [8].
- **İterasyon sayısı (k):** En iyi çözümü ulaşmak için gerekli olan iterasyon sayısı probleme göre farklılık göstermektedir. PSO algoritmasında iterasyon sayısının fazla olması hesaplama süresini artırır, az olması da iyi bir çözüm elde edilemeyebilir [8].
- **Hızlanma katsayıları (c1,c2):** Hızlandırma katsayıları $c1$, parçacığın bilişsel bileşenini ve $c2$ de sosyal bileşenini etkiler. Bilişsel bileşen, sürüdeki bir parçacığın kendi yerel en iyi konumlarına göre hareket etmesi yeteneğini kontrol eder yani parçacıkların P_{best} değerine doğru hareket etmesini sağlar. Sosyal bileşen ise sürüdeki en iyi parçacığın konumuna göre hareket etmesi yeteneğini kontrol eder yani G_{best} değerine doğru hareket etmesini sağlar. Hızlanma katsayı değerlerinin küçük seçilmesi parçacıkların daha geniş alanda hedefi araması sağlanmış olur. Ancak hedefe ulaşma süresini arttırır. Değerlerin büyük seçilmesi halinde hedefe ulaşmayı hızlandırırken, istenmeyen durumların oluşmasına ve hedefin es geçilmesine neden olabilir. Literatürde yer alan çalışmalarda hızlanma katsayılarının genellikle $c1=c2=2$ seçilmesinin iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir [8].
- **Eylemsizlik Ağırlığı (w):** PSO algoritmasında eylemsizlik ağırlığı yerel ve global arama işlemi arasındaki denge sağlamak için kullanılmaktadır. Büyük eylemsizlik ağırlık değeri global arama yeteneğini ve küçük eylemsizlik ağırlık değeri yerel arama yeteneğini artırır. Bu parametrenin uygun seçilmesi ile az sayıda iterasyonla en iyi sonuca ulaşılabilir. Eylemsizlik ağırlığı bir önceki iterasyondaki hız bilgisinin yeni hız bilgisine etkisini ayarlar [16,19].

Eylemsizlik ağırlığı parametresi, arama süresince sabit bir değere veya iterasyonlar boyunca azalan bir değere ayarlanabilmekte ve Denklem 3.16'da eylemsizlik ağırlığı hesaplaması gösterilmiştir. PSO algoritma uygulamasında w_{max} ve w_{min} parametreleri 0 ile 1 arasında değerlerde ayarlanır [8].

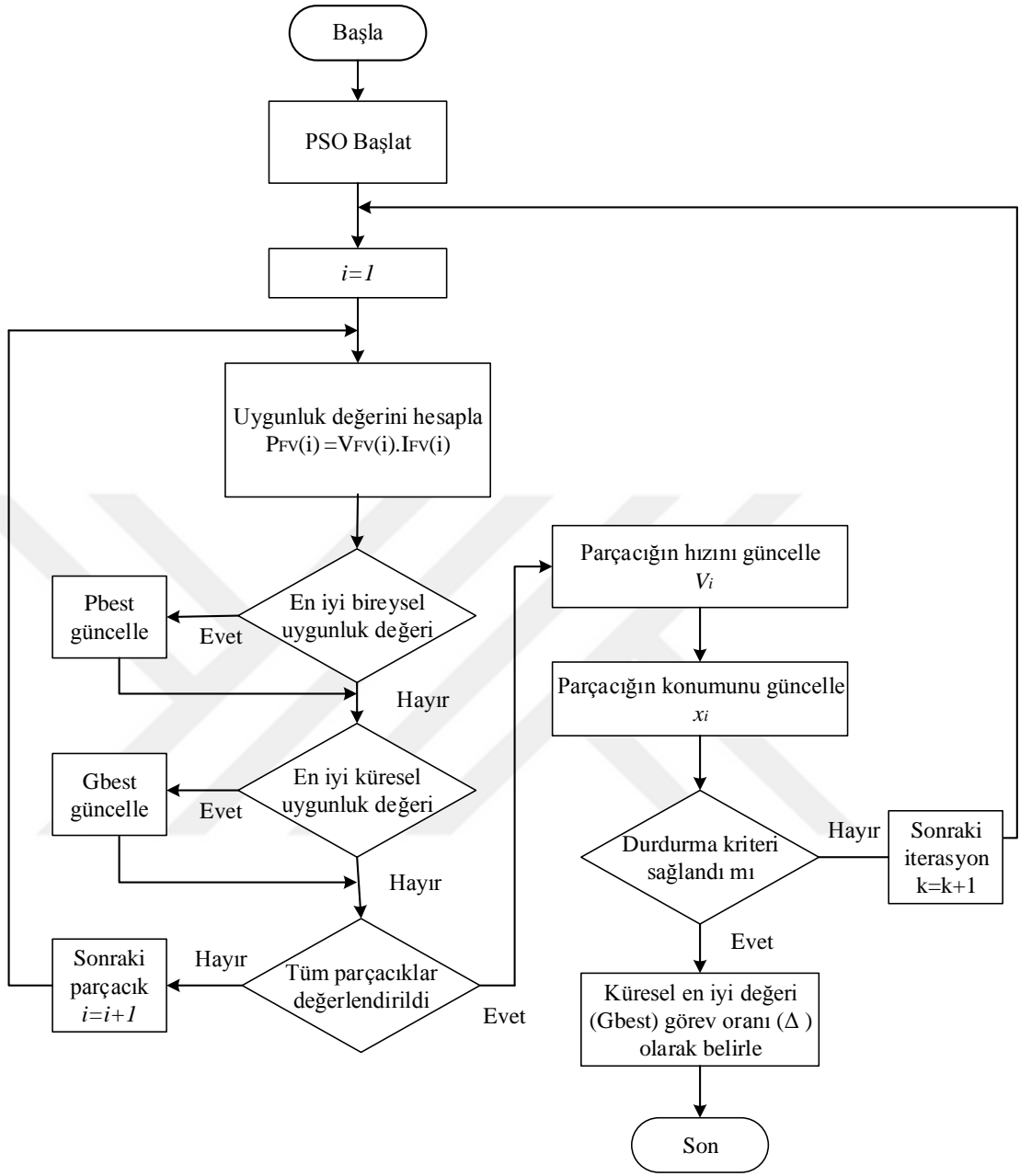
$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{iter_{max}} \cdot iter \quad (3.16)$$

Burada:

- $iter$: Tekrarlama (iterasyon) sayısı.
- $iter_{max}$: Maksimum iterasyon sayısı.
- w_{max}, w_{min} : w 'nin maksimum, minimum değeridir ve 0 ile 1 arasında değerler alır.

PSO algoritmasının akış diyagramı Şekil 3.2'de gösterilmiştir. PSO algoritmasının çalışma yöntemi aşağıda adımları açıklanmıştır.

- **Adım 1:** PSO başlat
- **Adım 2:** Başlangıç hızı (V_i) ve konumu (x_i) rastgele oluşturulur eğer oluşturulmaz ise sıfır değeriyle başlar.
- **Adım 3:** FV panelin çıkışından sensörlerle ölçülen V_{FV} ve I_{FV} değerleri çarpılarak her parçacığın uygunluk fonksiyonunun değeri P_{FV} hesaplanır.
- **Adım 4:** Bireysel ve küresel en iyi uygunluk değerleri (P_{best} ve G_{best}) bir önceki uygunluk değerleri ile karşılaştırılarak güncellenir ve bunlara karşılık gelen konumları da güncellenir.
- **Adım 5:** Sürüdeki her parçacığın hız ve konumu Denklem 3.14 ve Denklem 3.15 kullanılarak güncellenir.
- **Adım 6:** Maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında Küresel en iyi değeri (G_{best}) görev periyodu (Δ) olarak belirlenir ve PSO sona erdirilir.



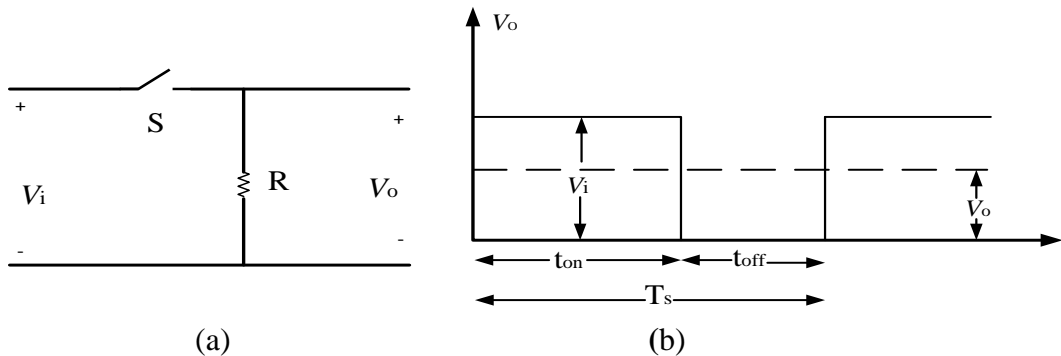
Şekil 3.12. PSO algoritmasının akış diyagramı

BÖLÜM 4

KONVERTÖR VE EVİRİCİLER

4.1. DA-DA Konvertörler

Fosil yakıtlarının rezervlerinin az kalmasından, iklim değişikliğinin ve çevreye verdiği zararın artmasıyla birlikte rüzgâr ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynakları iyi bir alternatif enerji kaynağı olmuştur. Bununla birlikte, rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisinin dezavantajı, hava şartlarından etkilenmesi ve bu şartlara bağlı olarak sağladıkları verimde değişiklik göstermektedir. Rüzgârdan elde edilen enerji ise, rüzgârın esme şiddetine göre verimi değişkendir. Güneş paneli, gün içinde uygun hava şartlarında alabildiği güneş ışını sayesinde daha verimli çalışırken bulutlu havalarda yeterli güneş ışını alamadığından dolayı daha düşük verim çalışmaktadır [34]. Rüzgâr ve güneş enerji kaynaklarının hava şartlarından etkilenmelerinden dolayı sağladığı çıkış gücü ve gerilim değerlerinde dalgalanmalar gösterir. Bundan dolayı, güç kontrolünü yapmak ve bu güçten en iyi verimi sağlamak için MGNT algoritmaları kullanılırken, gerilim dalgalanmalarını önlemek amacıyla çeşitli konvertör devreleri kullanılmaktadır. Konvertörler genel olarak; anahtarlama elemanı(S) ile bobin (L) ve kondansatör (C) elemanlarından oluşur. Bu devre topolojilerinde genel prensip, bobinde depo edilecek ve çıkışa aktarılacak olan enerjinin kontrolünü bir anahtarlama elemanı ile sağlamaktır. Kondansatör ise konvertörün çıkış gerilimindeki dalgalanmayı azaltmak için kullanılır. Devredeki anahtarların iletimde ve kesimde olduğu sürelerle ilgili olarak devrenin girişindeki gerilime göre çıkış gerilim değişimi ayarlanır. Şekil 4.1’de basit bir konvertörün yapısı görülmektedir. V_o çıkış geriliminin değeri, anahtarlama elemanı olarak kullanılan MOSFET veya IGBT’nin iletimde kalma süresi t_{on} ile kesimde kalma süresi t_{off} bağlıdır [3].



Şekil 4.1. Basit bir konvertörün (a) yapısı (b) çıkış eğrisi

Sabit frekansta anahtarlama elemanlarının kontrolü darbe genişlik modülasyonu (DGM) yöntemiyle anahtar görev periyodu (Δ) değiştirilerek çıkış gerilimini kontrol edilir. Konvertörlerde anahtar görev periyodu Denklem 4.1'de gösterildiği gibi hesaplanır. Anahtarın iletimde ve kesimde kalma süreleri ise Denklem 4.2 ve Denklem 4.3 ile elde edilir [3].

$$\Delta = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} = \frac{t_{on}}{T_s} \quad (4.1)$$

$$t_{on} = \Delta \cdot T_s \quad (4.2)$$

$$t_{off} = (1 - \Delta) \cdot T_s \quad (4.3)$$

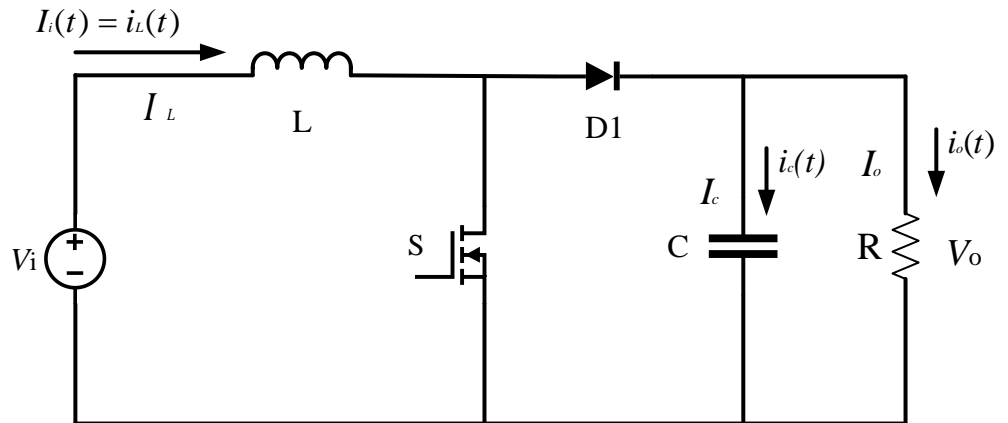
Burada;

T_s , anahtarlama periyodu, t_{on} ve t_{off} anahtarların iletimde ve kesimde kalma süreleridir.

Bu bölümde konvertör olarak yükselten (boost) konvertör incelenecektir.

4.1.1. Yükselten (boost) konvertör

Yükselten konvertör devrenin giriş geriliminden daha yüksek çıkış gerilimi elde edilmesini sağlar. Şekil 4.2'de yükselten konvertörün devre yapısı gösterilmiştir. Yükselten konvertör; bobin (L), anahtarlama elemanı (S), diyot (D), kondansatör (C) ve yükten (R) oluşur [3].

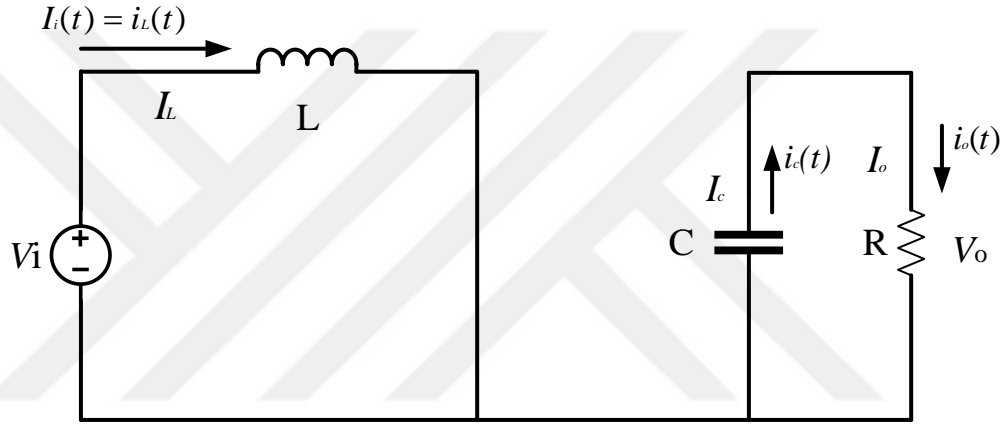


Şekil 4.2. Yükselten konvertörün devre yapısı

Yükselten konvertörün çalışması anahtarlama elemanının (S) konumuna göre iki durumda incelenir.

4.1.1.1. Anahtar iletim (t_{on}) durumunda

Yükselten konvertörün anahtarın iletim durumuna geçtiğinde diyot ters kutuplanır ve giriş çıkıştan ayrılır. Bu durumda giriş bölümünde bobin giriş gerilimi tarafından şarj edilir. Çıkış bölümünde daha önceden kondansatörde depolanan enerji yükü aktarılır [35]. Yükselten konvertörün anahtarın iletim durumunda Şekil 4.3'te gibi çalışmaktadır.



Şekil 4.3. Yükselten konvertörün anahtar iletim durumundaki devre yapısı

Yükselten konvertörde anahtar iletimdeyken bobin akımı minimumdan (I_{Lmin}) maksimum değere (I_{Lmax}) çıkar. Anahtar iletimdeyken giriş gerilimi bobin gerilimine eşittir ve bobin üzerinde indüklenen gerilim Denklem 4.4'e göre elde edilir. Bu değer, endüktansa, akımın değişim oranına ve t_{on} süresine bağlıdır. Anahtar iletimdeyken bobinin akım değişimi ise Denklem 4.5 ile elde edilir [3].

$$V_L(t) = V_i = L \frac{I_{Lmax} - I_{Lmin}}{t_{on}} = L \frac{\Delta I_{Lon}}{t_{on}} \quad (4.4)$$

$$\Delta I_{Lon} = \frac{V_i \cdot t_{on}}{L} \quad (4.5)$$

4.1.1.2. Anahtar kesim (t_{off}) durumunda

Yükselten konvertörde anahtar kesimdeyken giriş gerilimi ile bobinde depolanan enerji toplanarak yükü besler. Yüke devrenin girişinden ve bobin tarafından gerilim uygulanmış olur. Bu sayede giriş geriliminden daha yüksek bir çıkış gerilimi elde edilmiş olur [3,36]. Yükselten konvertörün kesim durumunda Şekil 4.4'te gibi çalışmaktadır.



Şekil 4.4. Yükselten konvertörün kesim durumundaki devre yapısı

Yükselten konvertörde anahtar kesimdeyken bobin üzerindeki akım maksimumdan (I_{Lmax}), minimum (I_{Lmin}) değere düşer. Anahtarın kesimde kaldığı süre olan t_{off} süresince bobin gerilimi Denklem 4.6 ve Denklem 4.7' ye göre elde edilir. Anahtar kesimdeyken bobin akımının değişimi Denklem 4.8'e göre hesaplanır [3].

$$V_L(t) = V_i - V_o = L \frac{I_{Lmin} - I_{Lmax}}{t_{off}} \quad (4.6)$$

$$V_L(t) = V_o - V_i = L \frac{I_{Lmax} - I_{Lmin}}{t_{off}} = L \frac{\Delta I_{Loff}}{t_{off}} \quad (4.7)$$

$$\Delta I_{Loff} = \frac{(V_o - V_i)t_{off}}{L} \quad (4.8)$$

Bobin akımındaki değişimler anahtarın iletim ve kesimde olduğu sürelerde eşit olduğu göz önünde bulundurursak Denklem 4.9 ve Denklem 4.10'a göre ifade edilir [3].

$$\Delta I_L = \Delta I_{Lon} = \Delta I_{Loff} \quad (4.9)$$

$$\frac{V_i t_{on}}{L} = \frac{(V_o - V_i) t_{off}}{L} \quad (4.10)$$

4.2 ve 4.3'teki denklemleri Denklem 4.10'da yerine yazılırsa Denklem 4.11 elde edilir ve bu eşitlik düzenlenerek çıkış gerilim ifadesi Denklem 4.13 ile hesaplanır [3].

$$V_i \cdot \Delta \cdot T_s = (V_o - V_i) \cdot (1 - \Delta) \cdot T_s \quad (4.11)$$

$$V_i = V_o \cdot (1 - \Delta) \quad (4.12)$$

$$V_o = \frac{V_i}{1 - \Delta} \quad (4.13)$$

Denklem 4.13'de görüldüğü gibi çıkış gerilimi $(1 - \Delta)$ süresi ile ters orantılıdır. Kayıpsız bir devrede giriş ve çıkış güçleri birbirine eşit olduğundan yararlanılarak Denklem 4.14 ve Denklem 4.15 elde edilir. [3].

$$P_s = P_o \quad (4.14)$$

$$V_i \cdot I_i = V_o \cdot I_o \quad (4.15)$$

Giriş, çıkış gerilim ve akımın birbirlerine ve Δ 'ya olan bağlantısı Denklem 4.16 ile ifade edilir.

$$\frac{V_i}{V_o} = \frac{I_o}{I_i} = 1 - \Delta \quad (4.16)$$

Giriş ve çıkış güçleri ise Denklem 4.17 ve Denklem 4.18 ile hesaplanır.

$$P_i = \frac{I_{Lmax} + I_{Lmin}}{2} \cdot V_i \quad (4.17)$$

$$P_o = \frac{V_o^2}{R} \quad (4.18)$$

Denklem 4.17 ve Denklem 4.18 birbirine eşitlenirse Denklem 4.19 elde edilir.

$$I_{L_{\max}} + I_{L_{\min}} = \frac{2V_i}{R(1-\Delta)^2} \quad (4.19)$$

Denklem 4.10 ve 4.19 eşitlikleri birlikte çözümlerse $I_{L_{\max}}$ ve $I_{L_{\min}}$ değerleri Denklem 4.20 ve Denklem 4.21'deki gibi elde edilir [3].

$$I_{L_{\max}} = \frac{V_i}{R(1-\Delta)^2} + \frac{V_i}{2L}(\Delta T_s) \quad (4.20)$$

$$I_{L_{\min}} = \frac{V_i}{R(1-\Delta)^2} - \frac{V_i}{2L}(\Delta T_s) \quad (4.21)$$

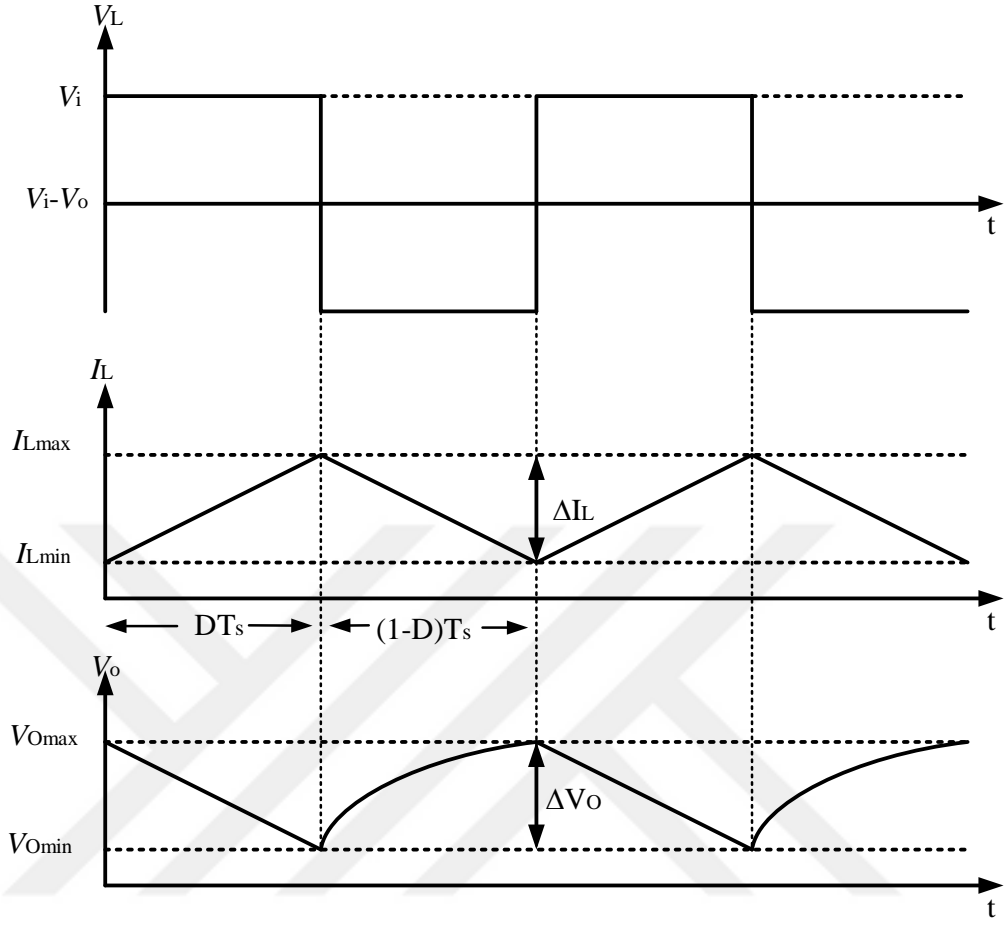
Yükselten konvertörün sürekli durumda çalışması için minimum endüktans değeri $I_{L_{\min}}$ 'in sıfıra eşitlenmesi ile Denklem 4.22 elde edilir [3].

$$L_{\min} = \left(\frac{T_s R}{2} \right) (1-\Delta)^2 \Delta \quad (4.22)$$

Çıkış gerilimindeki dalgalanmayı azaltmak için kullanılan kondansatör değeri ise Denklem 4.23 ile hesaplanır [3].

$$C_{\min} = \frac{\Delta \cdot V_o}{V_r \cdot R \cdot f_s} \quad (4.23)$$

Burada; V_r , çıkış gerilimindeki dalgalanma değeri, R yük direnci ve f_s ise anahtarlama frekansdır [3]. Yükselten konvertörün bobin akımı, gerilimi ve çıkış gerilimlerinin değişiminin dalga şekilleri Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



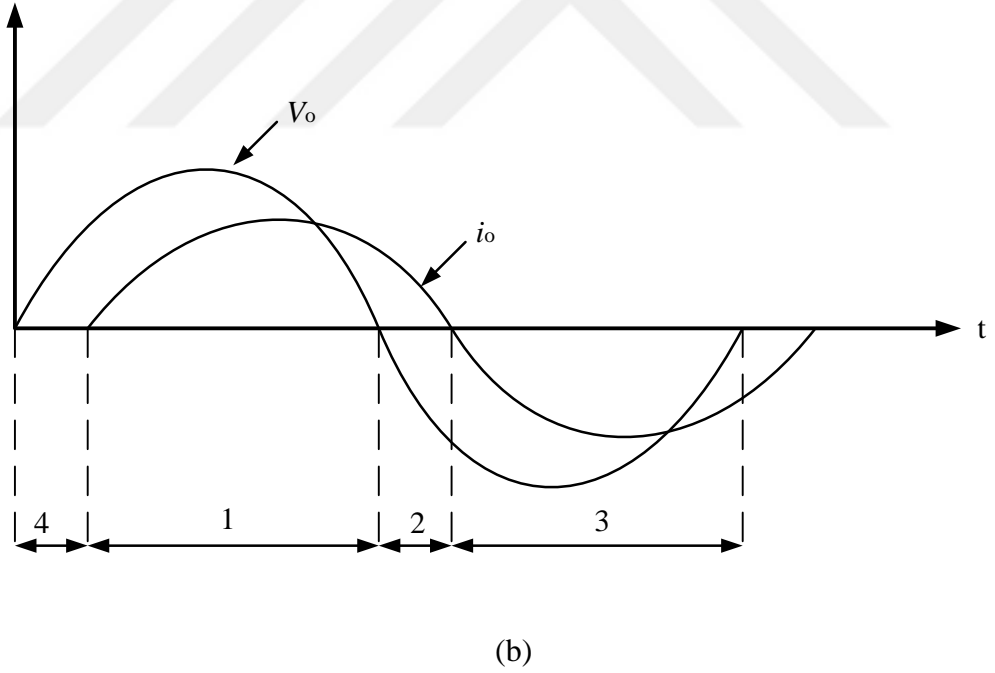
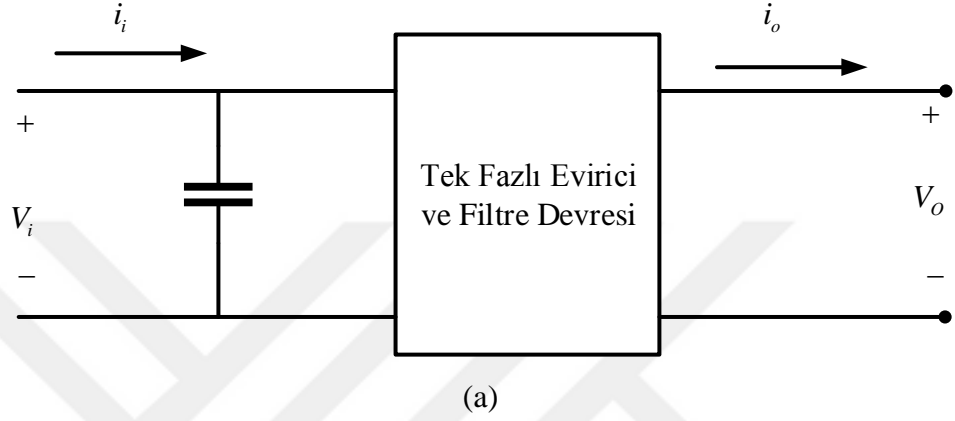
Şekil 4.5. Yükselten konvertörün dalga şekilleri

4.2. DA-AA Eviriciler

Eviriciler girişindeki DA elektrik enerji kaynağını kullanarak çıkışında genlik ve frekansı kontrol edilebilen AA elektrik enerjisine dönüştürürler. Eviriciler BJT, GTO, IGBT, MOSFET gibi anahtarlama elamanları kullanılır ve motor sürücülerinde, kesintisiz güç kaynaklarında, ayarlanabilir hız sürücülerinde, şebekeye enerji aktarımında ve yenilenebilir enerji sistemlerinde çok yaygın olarak kullanılırlar. Eviriciler tek fazlı ya da üç fazlı olarak tasarlanabilmektedir. Tek fazlı eviriciler düşük güç ve gerilime sahip kesintisiz güç kaynakları uygulamalarında yaygın olarak kullanılır. Üç fazlı eviriciler ise tek fazlı eviricilerin aksine orta ve yüksek güç, gerilim uygulamalarında yaygın olarak kullanılır [3,36].

4.2.1. Tek fazlı eviriciler

Tek fazlı eviriciler, yarım köprü ve tam köprü olmak üzere iki ayrı uygulaması bulunmaktadır. Tek fazlı eviricinin genel yapısının blok diyagramı ve çıkış sinyal eğrileri Şekil 4.6'da gösterilmiştir.

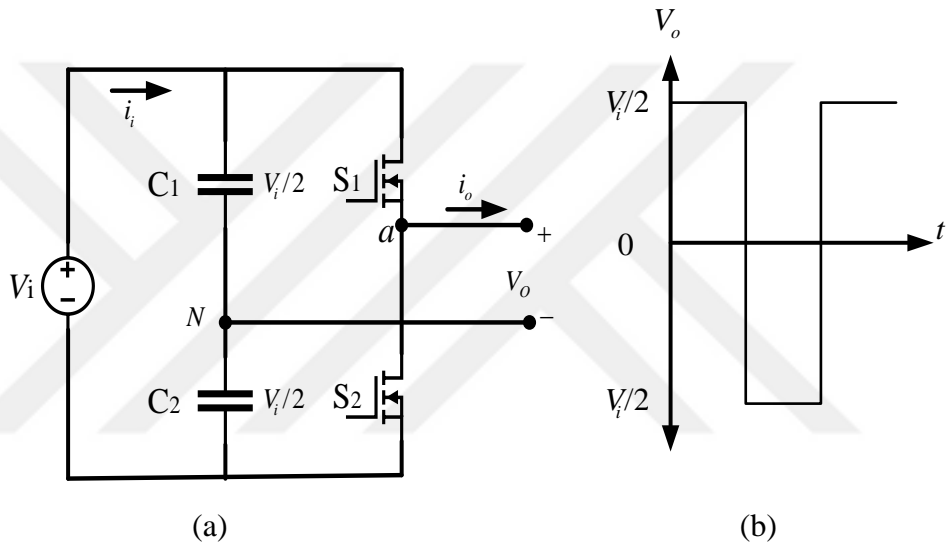


Şekil 4.6. Tek fazlı evirici (a) blok diyagram (b) çıkış sinyal eğrileri

Evirici rezistif ve endüktif bir AA yükü beslediğini varsayarsak çıkış geriliminin şekil 4.6.b'de görüldüğü gibi akımdan ileride olmasına neden olur. Şekil 4.6.b'de 1 ve 3 aralıklarında güç akışı DA taraftan AA tarafa yani evirici modunda, AA taraftan DA tarafa ise 2 ve 4 aralıklarında doğrultucu modunda çalışmaktadır [3,36].

4.2.1.1. Yarım köprü evirici

Tek fazlı evirici çeşidi olan yarım köprü eviricinin devre yapısı ve çıkış eğrisi Şekil 4.7'de görülmektedir. Şekil 4.7'deki devre yapısında, her birisi sabit gerilim $V_i/2$ değerine sahip iki kondansatör eviricinin nötr noktasını oluşturmakta ve S_1 , S_2 anahtarlama elemanı bulunmaktadır. Eviricinin giriş gerilimindeki dalgalanmaları azaltmak ve daha verimli çıkış gücü elde edebilmek için C_1 ve C_2 kondansatörlerinin değerleri yeterince büyük değere sahip olmalıdır [3,36].



Şekil 4.7. Tek fazlı yarım köprü eviricinin (a) devre yapısı (b) çıkış eğrisi

Yarım köprü eviricinin yapısındaki S_1 ve S_2 anahtarların sadece bir tanesi iletimde olmalıdır. Anahtarların ayrı ayrı iletimde olduğu iki durum ve her ikisinin de aynı anda iletimde olduğu bir durum olmak üzere Tablo 4.1'de görüldüğü gibi üç ayrı anahtarlama durumu bulunmaktadır. Her ikisinin de aynı anda iletimde olması durumunda V_i kısa devre olmasını engellemek için anahtarlama elemanın seçimi DGM tekniği ile yapılmalıdır [3,36].

Tablo 4.2.11. Yarım köprü eviricinin anahtarlama durumları

Durum	Anahtarların Durumu	V_o
1	S_1 iletimde, S_2 kesimde	$V_i/2$
2	S_2 iletimde, S_1 kesimde	$-V_i/2$
3	S_1 ve S_2 kesimde	$V_i/2$ $-V_i/2$

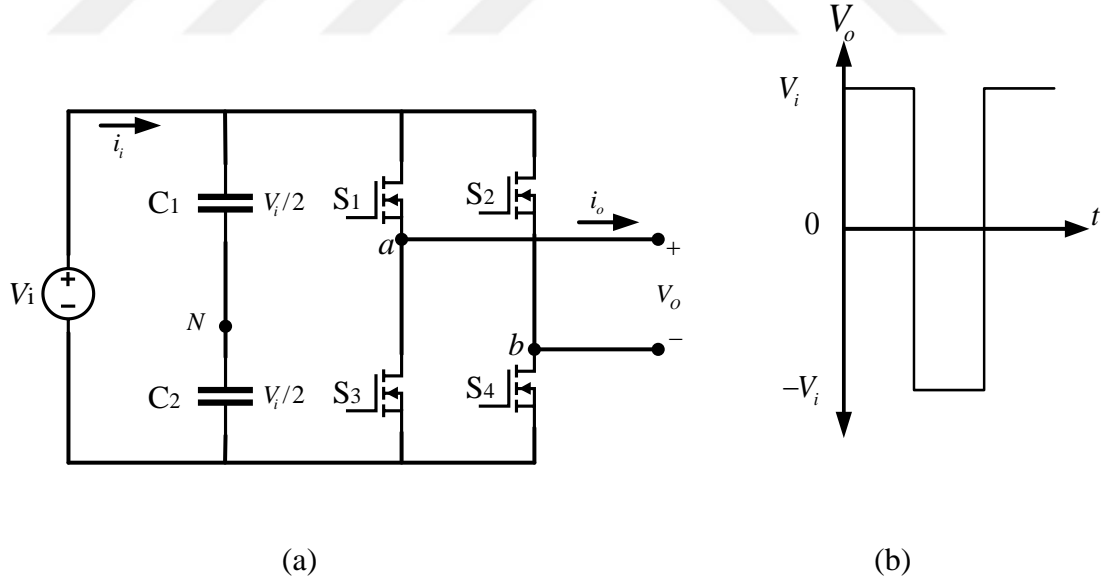
DGM tekniğinde modüle edici bir sinüs işaret (V_s) ve taşıyıcı üçgen işaret (V_t) karşılaştırılarak anahtarlama işaretleri elde edilir. Bu işaretlerin genliklerinin oranı ile modülasyon indeksi (m_a) hesaplanır. Modülasyon indeksi çıkış geriliminin genliğini kontrol etmek içinde kullanılır [3,36].

$$m_a = \frac{V_s}{V_t} \quad (4.24)$$

$$V_o = \frac{V_i}{2} m_a \quad (4.25)$$

4.2.1.2. Tam köprü evirici

Tek fazlı tam köprü eviricinin devre yapısı Şekil 4.8’de gösterilmiştir. Bir fazlı tam köprü evirici DA gerilim kaynağı, iki adet kondansatör, nötr noktası ve dört adet anahtarlama elemanından oluşmakta olup bu yapıya H-köprüsü olarak da adlandırılır. [18].



Şekil 4.8. Tek fazlı tam köprü eviricinin (a) devre yapısı (b) çıkış eğrisi

Anahtarlama elemanlarının giriş gerilimine maruz kaldıkları durumlar göz önünde bulundurularak anahtarlama elemanlarının dayanma gerilimleri giriş geriliminden büyük değerde seçilmelidir. S₁ ve S₄ Anahtarları iletimdeyken, S₂ ve S₃ kesimde olduğunda çıkışta V_i gerilimi elde edilir. S₂ ve S₃ Anahtarları iletimdeyken, S₁ ve S₄

kesimde olduğunda çıkışta $-V_i$ gerilimi elde edilir. S_1 ve S_2 veya S_3 ve S_4 anahtarları aynı anda iletimde olduğu durumlarda çıkış gerilim değeri sıfır olur. S_1 ve S_3 veya S_2 ve S_4 aynı anda iletim durumunda geçemezler çünkü giriş gerilimi V_i kısa devre olur. Tam köprü eviricinin anahtarlama elemanları DGM tekniği ile kontrol edilerek Tablo 4.2’de görüldüğü gibi 4 anahtarla durumu elde edilebilir [3,18,36].

Tablo 4.2.12. Tam köprü eviricinin anahtarlama durumları

Durum	Anahtarların Durumu	V_a	V_b	V_{out}
1	S_1 ve S_4 iletimde, S_2 ve S_3 kesimde	$V_i/2$	$-V_i/2$	V_i
2	S_2 ve S_3 iletimde, S_1 ve S_4 kesimde	$-V_i/2$	$V_i/2$	$-V_i$
3	S_1 ve S_3 iletimde, S_2 ve S_4 kesimde	$V_i/2$	$V_i/2$	0
4	S_2 ve S_4 iletimde, S_1 ve S_3 kesimde	$-V_i/2$	$-V_i/2$	0

4.3. Eviricilerde Darbe Genişlik Modülasyonu (DGM) Üretimi

Evirici yapısında anahtarlama elemanlarını kontrolünde kullanılan farklı DGM teknikleri bulunmaktadır. En çok kullanılan DGM yöntemleri aşağıda belirtilmiştir.

- Sinüzoidal DGM
- Uzay Vektörü DGM
- Histerisiz bant Denetim
- Altı Adım Denetimi

Eviricinin verimi seçilecek olan modülasyonun yöntemine bağlıdır. Sinüzoidal DGM (SDGM) yöntemi en çok kullanılan DGM yöntemlerin başında bulunur. Bu yöntemde üçgen taşıyıcı ile sinüs işareti karşılaştırılarak anahtarlama sinyal işareti üretilir. Evirici çıkışından elde edilen gerilim Denklem 4.26 ile ifade edilir. [3,37].

$$V_o(t) = \frac{m_a V_i}{2} \cos(\omega_r t) \quad (4.26)$$

Parametreler;

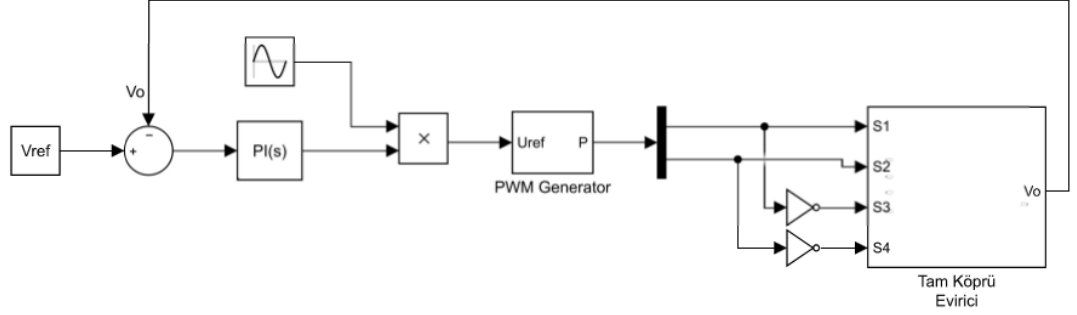
m_a : genlik modülasyon oranı,

V_i : DA besleme gerilimi,

ω_r : sinüzoidal referans frekansdır.

4.4. PI SDGM Modülâtörü

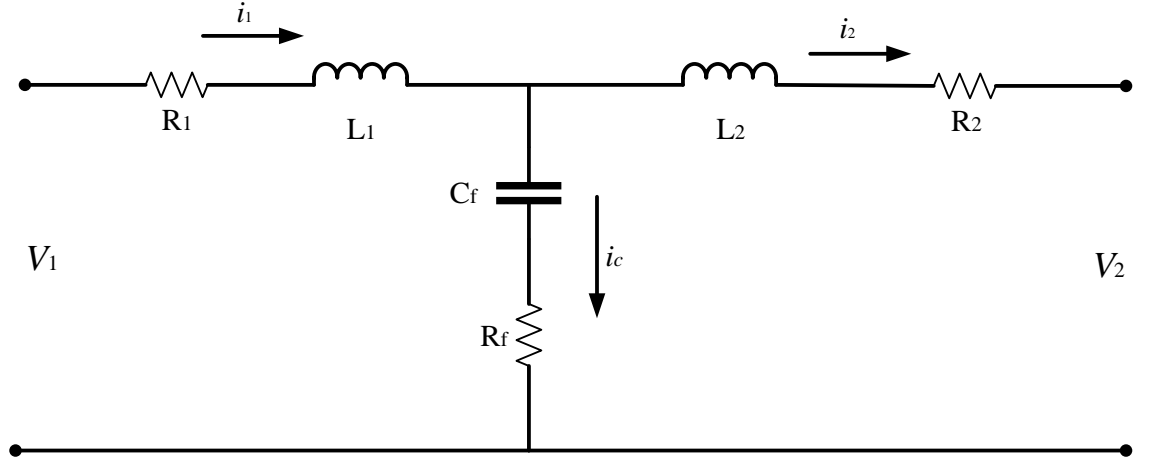
Eviricinin çıkışında istenen seviyede gerilim elde etmek ve gerilimdeki dalgalanmaları en az seviyeye indirmek için SDGM anahtarlama işareti üretilirken oransal-integral (*PI*) kontrolcü kullanılır. Şekil 4.9’da SDGM anahtarlama işaretlerinin PI kontrolcü ile üretiminin blok şekli gösterilmiştir. Çıkış gerilimi (V_o) ile referans gerilim (V_{ref}) değeri karşılaştırılarak PI kontrolcünün girişine uygulamak için hata işareti elde edilir. PI kontrolcü bu hata işaretini en aza indirmek amacıyla modülasyon oranı üretir. Referans sinüs işareti modülasyon oranı ile çarpılarak PWM generatörüne uygulanarak evirici için gerekli olan anahtarlama işaretleri üretilir [3].



Şekil 4.9. Tam köprü eviricinin SDGM işaretinin PI kontrolcü ile üretilmesi

4.5. Evirici Çıkış Filtreleri

Evirici çıkışındaki işaretin, yüksek genlikte DGM işareti olduğundan harmonikler barındırdığı için evirici çıkışına filtre kullanılmalıdır. Filtrelerin L, LC ve LCL gibi türleri vardır. L filtresi 1.dereceden filtre olup -20 dB zayıflamaya sahiptir. LC filtresi ikinci dereceden filtre olup -40 dB zayıflamaya sahiptir [18]. LCL filtresi üçüncü dereceden filtre olup L ve LC filtrelere göre boyut olarak daha küçük ve istenmeyen harmonikleri daha iyi sönümlene yapabildiği gibi avantajlara sahiptir. LCL filtresinin devre yapısı Şekil 4.10’da gösterilmiştir [3,38,39].



Şekil 4.10. LCL filtre devre yapısı

Geri besleme sinyali şebekeye giden akım olduğu için transfer fonksiyonu çıkış akımının giriş gerilimine oranıdır. LCL filtrenin transfer fonksiyonu Denklem 4.27’de verilmiştir [3,38].

$$H(s)_{LCL} = \frac{i_2}{V_i} = \frac{C_f R_f s + 1}{L_1 C_f L_2 s^3 + C_f (L_1 + L_2) R_f s^2 + (L_1 + L_2) s} \quad (4.27)$$

Sistemde güç faktörünü düşürmemek için C_f kondansatörünün değeri C_b baz kondansatörü değerinin %5’i ile sınırlandırılmalıdır. Sistemin baz empedans ve kondansatörü değeri ise Denklem 4.28 ve 4.29 ile ifade edilir. C_f kondansatörün değeri ise Denklem 4.30’ a göre hesaplanır [38,40].

$$Z_b = \frac{V_{2rms}^2}{P} \quad (4.28)$$

$$C_b = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_s \cdot Z_b} \quad (4.29)$$

$$C_f < 0.05 \cdot C_b \quad (4.30)$$

L_1 bobinin değeri ise Denklem 4.31’ e göre hesaplanır [3,37].

$$L_1 = \frac{V_{da}}{16 \cdot f_s \cdot \Delta I_{max}} \quad (4.31)$$

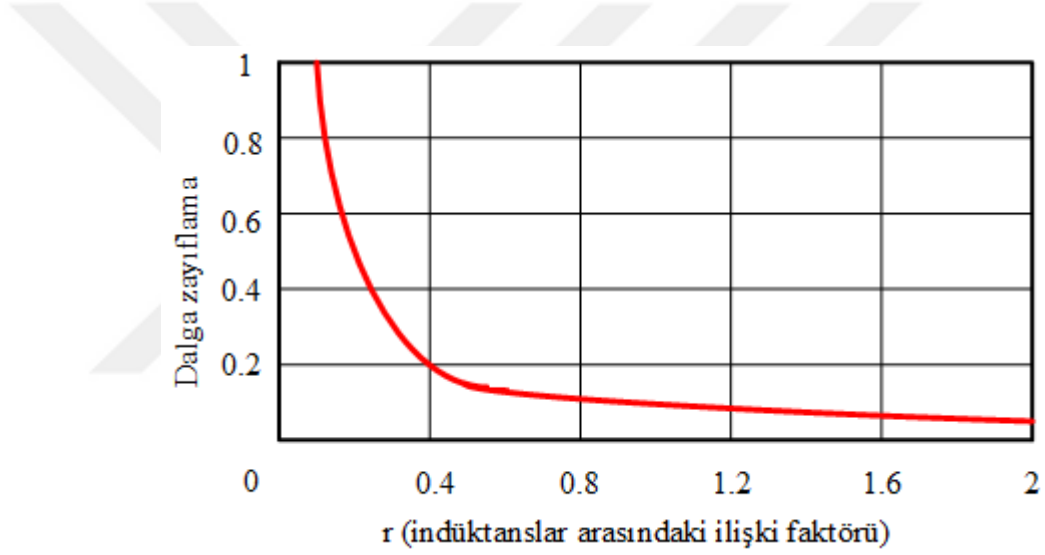
ΔI_{max} değeri ise Denklem 4.32' e göre hesaplanır [38].

$$\Delta I_{max} = 0,1 \cdot \frac{P\sqrt{2}}{V_{2rms}} \quad (4.32)$$

L_2 bobinin değeri ise Denklem 4.33 ile ifade edilir [40,41].

$$L_2 = r \cdot L_1 \quad (4.33)$$

Buradaki L_1 ve L_2 bobini arasındaki ilişkiyi sağlayan r parametresinin değerine göre dalgalanma zayıflatma eğrisi Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11. r parametresine bağlı salınım miktarı

Filtrenin kesim frekansı eviricinin anahtarlama frekansının en az yarısı kadar olmalıdır. Kesim frekansı Denklem 4.34'te ve açılma hızı ise Denklem 4.35 ile hesaplanmaktadır [3,38,41].

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{L_1 \cdot L_2 \cdot C_f}} \quad (4.34)$$

$$w_{res} = 2\pi f_{res} = \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{L_1 \cdot L_2 \cdot C_f}} \quad (4.35)$$

LCL filtrelerde dalgalanmaları azaltmak için kondansatöre seri veya paralel bağlanan sönümlenme direncine ihtiyaç duyar. Sönümlenme direncinin değeri Denklem 4.36'ya göre hesaplanır [3,38,41].

$$R_f = \frac{1}{3 \cdot \omega_{res} \cdot C_f} \quad (4.36)$$



BÖLÜM 5

TASARIM ÇALIŞMALARI

5.1. Yükselten Konvertör Tasarımı

Tasarlanan yükselten konvertör Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Tasarlanan yükselten konvertörde bobin, anahtarlama elemanı, diyot, kondansatör ve yükten oluşmaktadır. Giriş gerilimi (V_i) 165 V, çıkış gerilimi (V_o) 400 V olan yükselten konvertör için gerekli olan anahtar görev oranının değeri Denklem 5.1’de hesaplanmıştır.

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{1-\Delta} \Rightarrow \frac{400}{165} = \frac{1}{1-\Delta} \Rightarrow \Delta = 0,5875 \quad (5.1)$$

Yükselten konvertörün minimum yük değeri Denklem 5.2’de hesaplanmıştır.

$$P = \frac{V_o^2}{R} \Rightarrow R = \frac{V_o^2}{P} = \frac{400^2}{900} \Rightarrow R = 177,78\Omega \quad (5.2)$$

Yükselten konvertör için yük değeri 180 Ω seçilirse L_{\min} ve C_{\min} değeri 50 kHz anahtarlama frekansında Denklem 5.3 ve Denklem 5.4 ile hesaplanmıştır. Burada anahtarlama frekansını büyük değerde seçmemizin amacı kart üzerine yerleştirilecek olan bobin ve kondansatörlerin boyutunun küçük olmasını sağlar.

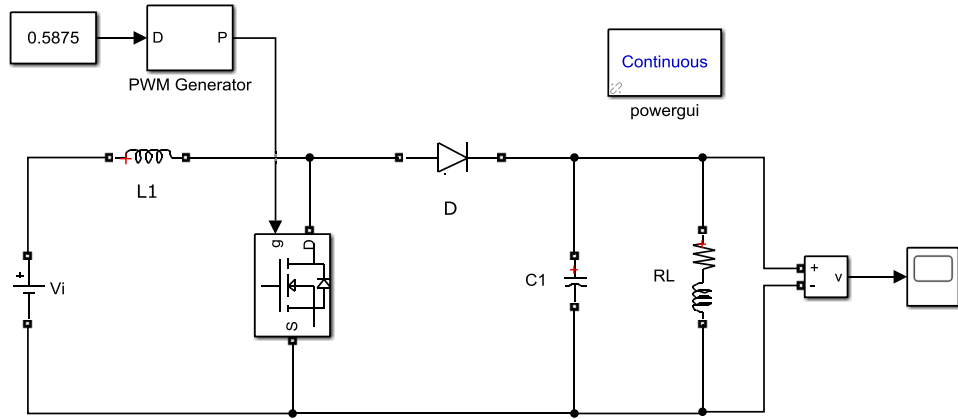
$$L_{\min} = \left(\frac{T_s R}{2} \right) (1-\Delta)^2 \Delta = \left(\frac{180}{2 \cdot 50 \cdot 10^3} \right) (1-0,5875)^2 \cdot 0,5875 \Rightarrow L_{\min} = 179,94 \mu H \quad (5.3)$$

$$C_{\min} = \frac{\Delta \cdot V_o}{V_r \cdot R \cdot f_s} = \frac{0,5875 \cdot 400}{4 \cdot 180 \cdot 50 \cdot 10^3} \Rightarrow C_{\min} = 6,5 \mu F \quad (5.4)$$

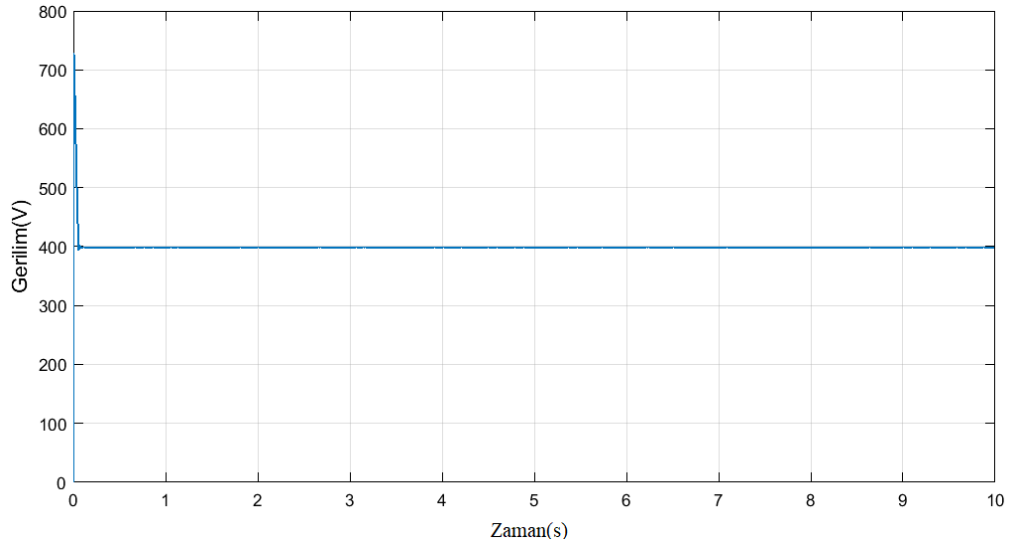
Tasarlanan yükselten konvertörün devre elamanları Tablo 5.1’de gösterilmiştir. Benzetim çalışması sonucu yükselten konvertörün çıkış gerilimi 400 V elde edilmiş ve Şekil 5.2’de gösterilmiştir.

Tablo 5.1. Tasarlanan yükselten konvertörün elamanları

Parametreler	Değerler
V_i	165V
L	$185\mu\text{H}$
C	$85\mu\text{F}$
f_s	50 kHz
Δ	0,5875



Şekil 5.1. Tasarlanan yükselten konvertörün devre yapısı



Şekil 5.2. Tasarlanan yükselten konvertörün çıkış gerilimi

5.2. DA-AA Tam Köprü Evirici Tasarımı

Eviriciler yükselten konvertörden elde edilen DA gerilimini AA gerilimine dönüştürmek için kullanılmaktadır. Tasarlanan evirici devresi Şekil 5.5'te gösterilmiştir. LCL filtreleri eviricinin çıkışında sinüzoidal AA elde etmek için kullanılmıştır. LCL filtrenin parametreleri Bölüm 4'te belirtilen denklemlerden yararlanılarak aşağıdaki gibi değerleri hesaplanmıştır. Eviricinin gücü (P) 270 W, çıkış gerilimi (V_{2rms}) 220 V olup baz empedans değeri (Z_b) Denklem 5.5 ile hesaplanmıştır.

$$Z_b = \frac{V_{2rms}^2}{P} = \frac{220^2}{270} = 179,25\Omega \quad (5.5)$$

Baz kondansatör değeri Denklem 5.6 ile hesaplanmıştır.

$$C_b = \frac{1}{2\pi f_n Z_b} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 179,25} \Rightarrow C_b = 1,77 \cdot 10^{-5} F \quad (5.6)$$

C_f değeri Denklem 5.7 ile hesaplanmıştır.

$$C_f < 0,05 \cdot C_b = 0,05 \cdot 1,77 \cdot 10^{-5} \Rightarrow C_f = 8,88 \cdot 10^{-7} F \quad (5.7)$$

Denklem 5.8'de eviricinin çıkışındaki maksimum akım değişim değeri hesaplanmıştır.

$$\Delta I_{\max} = 0,1 \cdot \frac{P\sqrt{2}}{V_{2rms}} = 0,1 \cdot \frac{270 \cdot \sqrt{2}}{220} \Rightarrow \Delta I_{\max} = 0,1735 A \quad (5.8)$$

Filtrenin L1 bobin değeri DA gerilim giriş kaynağı (V_{da}) 400 V, eviricinin anahtarlama frekansı 5 kHz olarak alınarak Denklem 5.9'a göre değeri hesaplanmıştır.

$$L_1 = \frac{V_{da}}{16f_s \Delta I_{\max}} = \frac{400}{16 \cdot 5 \cdot 10^3 \cdot 0,1735} \Rightarrow L_1 = 28,8mH \quad (5.9)$$

L2 bobin değeri hesabındaki r parametresi Şekil 4.31'den 0,87 olarak seçilmiş olup Denklem 5.10'da hesaplanmıştır [5].

$$L_2 = r \cdot L_1 = 0,87 \cdot 28,8 \cdot 10^{-3} = 25,1mH \quad (5.10)$$

Filtrenin kesim frekansı Denklem 5.11' de hesaplanmıştır.

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi} = \sqrt{\frac{L_1 + L_2}{L_1 L_2 C_f}} = \frac{1}{2\pi} = \sqrt{\frac{28,8 \cdot 10^{-3} + 25,1 \cdot 10^{-3}}{28,8 \cdot 10^{-3} \cdot 25,1 \cdot 10^{-3} \cdot 8,88 \cdot 10^{-7}}} = 1,43 \cdot 10^4 \text{ Hz} \quad (5.11)$$

Filtrenin açılmal hızı Denklem 5.12' de hesaplanmıştır.

$$\omega_{res} = 2\pi f_{res} = 2 \cdot \pi \cdot 1,43 \cdot 10^4 = 9,04 \cdot 10^4 \text{ rad/sn} \quad (5.12)$$

Denklem 5.13'te sönümlenme direncinin değeri hesaplanmıştır.

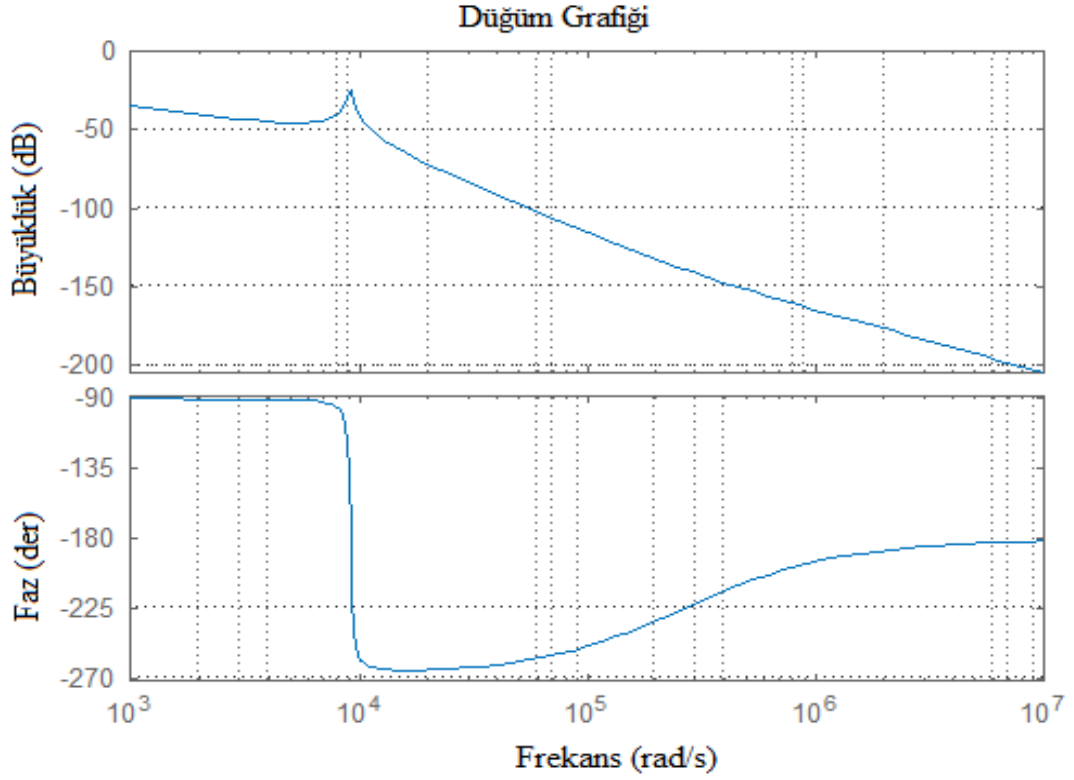
$$R_f = \frac{1}{3\omega_{res} C_f} = \frac{1}{3 \cdot 9,04 \cdot 10^4 \cdot 8,88 \cdot 10^{-7}} = 4,15 \Omega \quad (5.13)$$

Tasarlanan LCL filtrenin devre elemanları Tablo 5.2' de verilmiştir.

Tablo 5.2. Tasarlanan LCL filtre devre elemanları

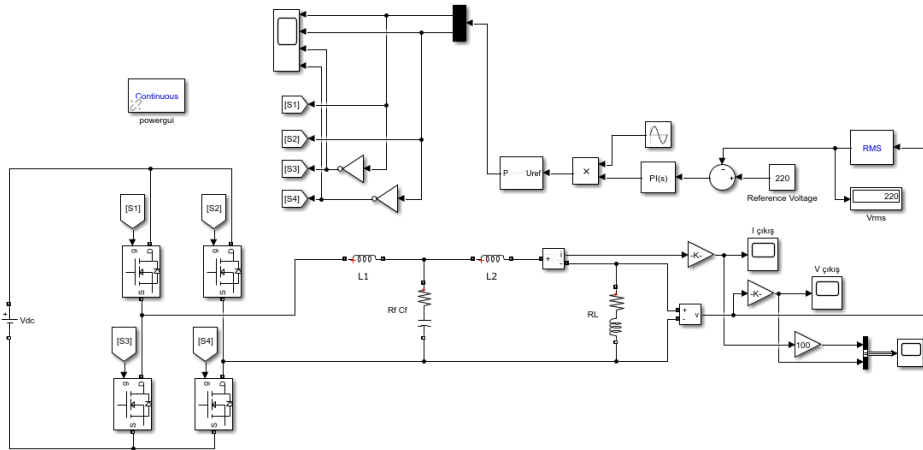
Parametreler	Değerler
L1	28,8mH
L2	25,1mH
Cf	$8,88 \cdot 10^{-7}$ F
Rf	4,15 Ω

Tasarım sırasında hesaplanan Tablo 5.2'deki değerler ve Denklem 4.27'deki LCL filtrenin transfer fonksiyonuna göre tasarlanan düğüm grafiği Şekil 5.3'te gösterilmiştir.



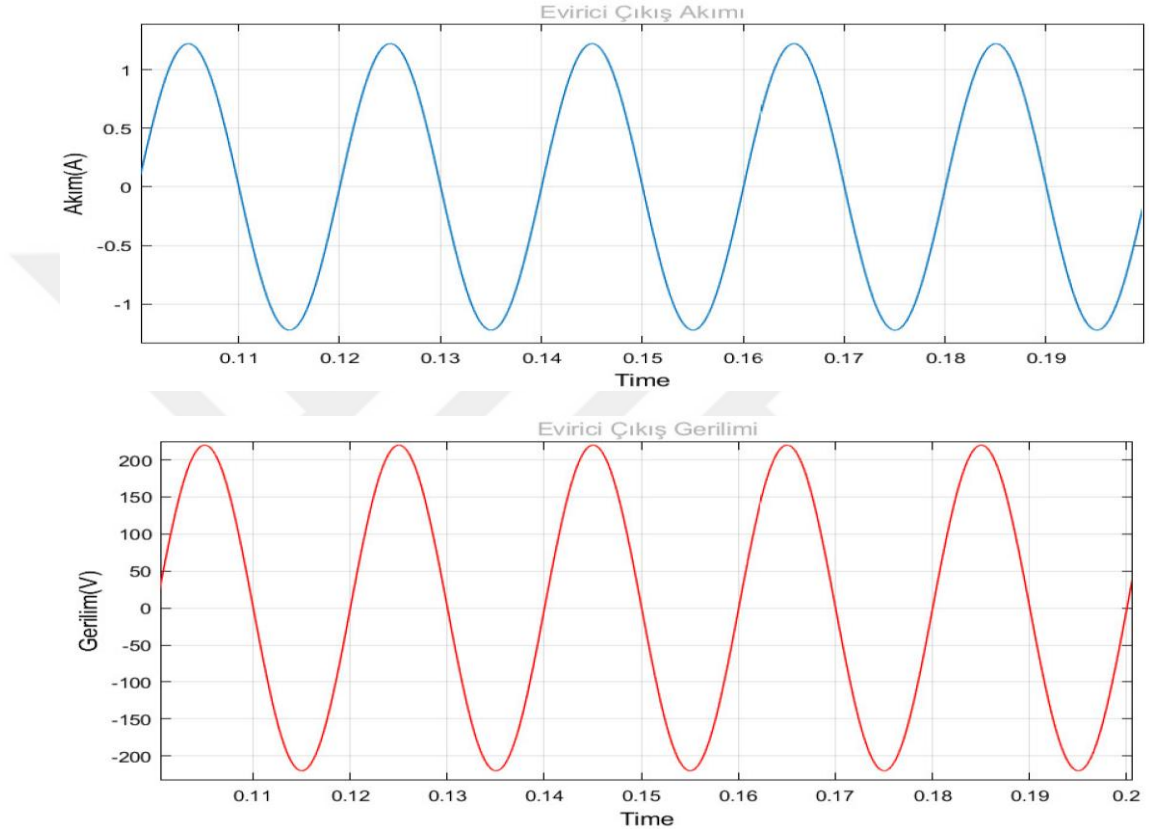
Şekil 5.3. Tasarlanan LCL filtresi düğüm grafiği

Tasarlanan eviricinin devre şeması Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Bu devre şeklinde sensörle ölçülerek çıkıştan elde edilen geri besleme gerilimiyle referans gerilimi V_{rms} karşılaştırılarak elde edilen hata işareti PI kontrolcüye uygulanarak PI kontrolcü hata oranının en az olması için gerekli olan modülasyon oranını üretir. Bu modülasyon oranı sinüzoidal işaretle çarpılarak referans işareti oluşturulur. Daha sonra PWM generatörüne uygulanarak evirici için gerekli olan anahtarlama işaretleri üretilir.



Şekil 5.4. Tasarlanan evirici devresi şeması

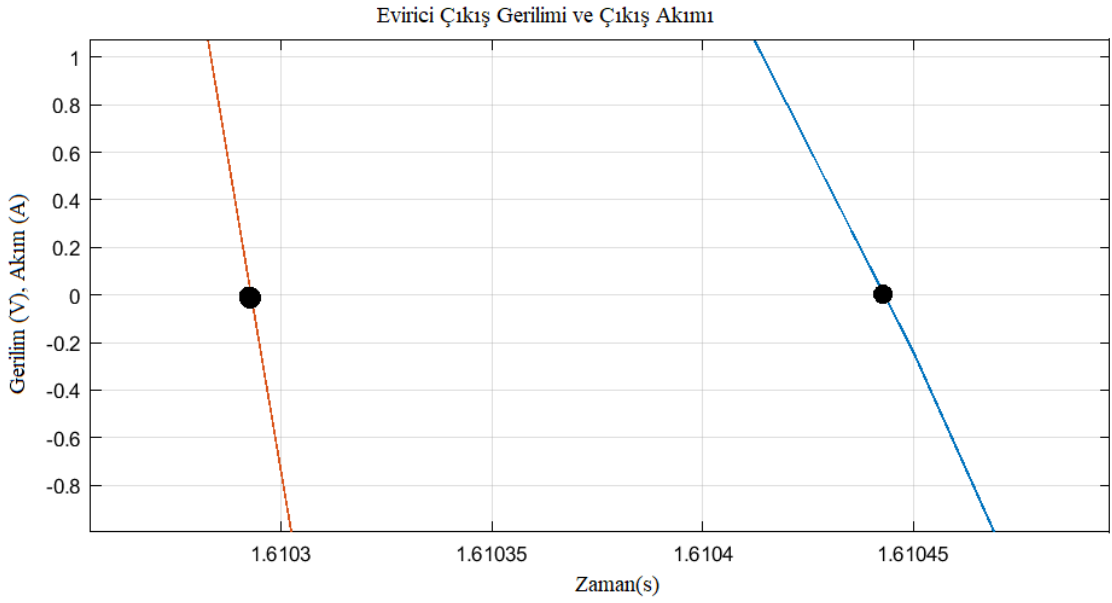
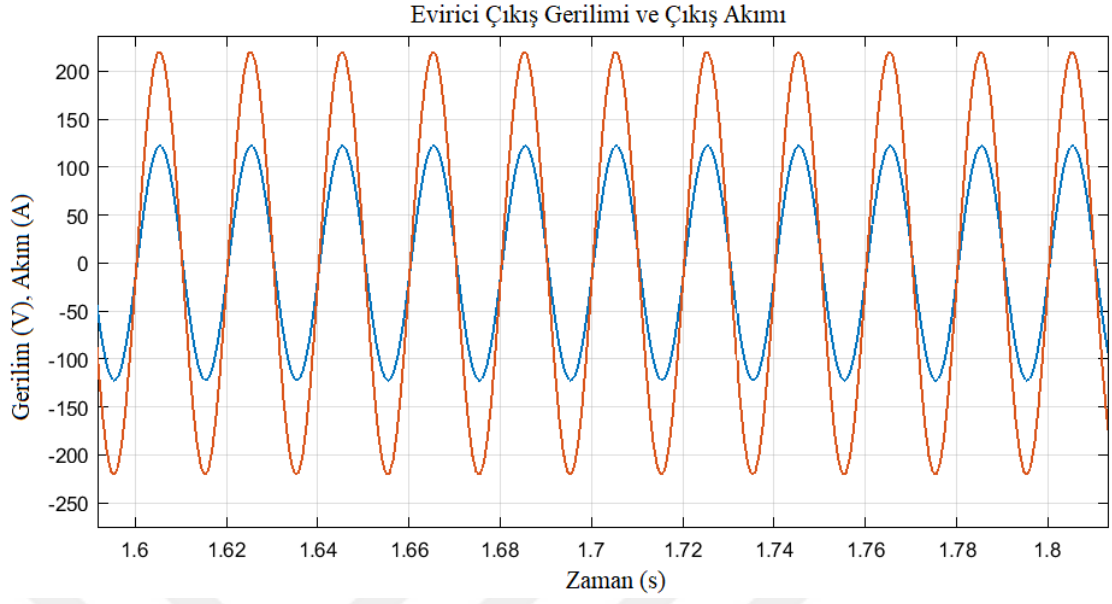
Şekil 5.4'te tasarlanan evirici devre şemasında çıkış geriliminin sabit 220 V_{rms} olması hedeflenmiştir. DA giriş gerilimi (V_{da}) 400 V olan, PI kontrolcüye ait K_p ve K_i değerleri deneme yoluyla çıkış gerilimin tepkisine göre 0,01 ve 0,2 olarak belirlenmiş olup Şekil 5.5'teki gibi sinüzoidal dalga şeklinde 220 V_{rms} AA gerilim elde edilmiştir.



Şekil 5.5. Evirici çıkışı yük uçlarındaki V_{rms} ve I_{rms} dalga şekilleri

Şekil 5.5'teki şekli akım değeri 100 kat artırılarak tek şekil üzerinde şekil 5.6'da gösterilmiştir. Şekil 5.6'da görüldüğü gibi $T=0.02$ saniye(s) ve gerilim akım arasındaki saniye farkı ise $t=0.00015$ s olduğundan gerilim ve akım arasındaki faz farkı Denklem 5.14'te gibi hesaplanmıştır.

$$\Phi = \frac{t \cdot 360}{T} = \frac{0.00015 \cdot 360}{0.02} \Rightarrow \Phi = 2,7^\circ \quad (5.14)$$



Şekil 5.6. Evirici çıkışı yük uçlarındaki V_{rms} ve I_{rms} dalga şekli detayları

BÖLÜM 6

KONVERTÖRÜN VE MİKRO EVİRİCİNİN BENZETİM ÇALIŞMASI

Bu bölümde kullanılan PSO tabanlı MGNT algoritmasının değişken sıcaklık ve ışımda koşulları altındaki tepkisi Şekil 6.1'deki model kullanılarak elde edilen sonuçlar incelenmiştir. Değişken sıcaklık ve ışımadaki yükselten konvertörün benzetim çalışmasında verimi ve katalog referans gücüyle karşılaştırılarak verimi değerlendirilmiştir. Son olarak mikro evirici analizi yapılmıştır.

Benzetim çalışmalarında kullanılan FV paneline ait parametreler Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1. Yükselten konvertörün tasarımında kullanılan MATLAB/Simulink programının bir SunPower SPR-300E-WHT-D FV panelin parametresi

Parametre	Değer
Güç	300,303W
Voc, açık devre gerilimi	64V
Vmp, maksimum güç noktası gerilimi	54,7V
Isc, kısa devre akımı	5,87A
Imp, maksimum güç noktası akımı	5,49A

Benzetim çalışmalarında kullanılan PSO tabanlı MGNT algoritmasında kullanılan parametreler Tablo 6.2'de verilmiştir.

Tablo 6.2. Simülasyon için kullanılan PSO parametreleri

Parametre	Değer
i	10
k	10
c1	2
c2	2
W _{max}	0.9
W _{min}	0.35
Δ_{max}	1
Δ_{min}	0.06

PSO algoritmasının akış diyagramı Şekil 6.1’de gösterilmiştir. PSO algoritmasının çalışma yöntemi aşağıda adımları detaylı olarak açıklanmıştır.

- **Adım 1:** PSO parametrelerinin belirlenmesi ($i, k, c_1, c_2, w_{max}, w_{min}, \Delta_{max}, \Delta_{min}$).
- **Adım 2:** Parçacığın başlangıç hızı (V_i) ve konumu (x_i) rastgele oluşturulur eğer oluşturulmaz ise sıfır değeriyle başlar.
- **Adım 3:** Parçacığın konumu DA-DA konvertörün görev periyodu (Δ) olarak Denklem 6.1’e göre belirlenir.

$$\Delta = x_i \quad (6.1)$$

- **Adım 4:** FV panelin çıkışından sensörlerle ölçülen V_{FV} ve I_{FV} değerleri çarpılarak her parçacığın uygunluk fonksiyonunun (P_{FV}) değeri Denklem 6.2’ye göre hesaplanır.

$$P_{FV}(i) = V_{FV}(i) \cdot I_{FV}(i) \quad (6.2)$$

- **Adım 5:** Bireysel en iyi uygunluk değerleri (P_{best}) bir önceki uygunluk değerleri ile karşılaştırılarak güncellenir ve bunlara karşılık gelen konumları da Denklem 6.3, Denklem 6.4 ve Denklem 6.5’e göre güncellenir.

$$\text{if } P_{best}(i) < P_{FV}(i) \quad (6.3)$$

$$P_{best}(i) = P_{FV}(i) \quad (6.4)$$

$$P_{best_{xi}}(i) = x_i(i) \quad (6.5)$$

end

- **Adım 6:** Küresel en iyi uygunluk değerleri (G_{best}) bir önceki uygunluk değerleri ile karşılaştırılarak güncellenir ve bunlara karşılık gelen konumları da Denklem 6.6, Denklem 6.7 ve Denklem 6.8’e göre güncellenir.

$$\text{if } P_{best}(i) > G_{best} \quad (6.6)$$

$$P_{best}(i) = G_{best} \quad (6.7)$$

$$G_{best_{xi}} = P_{best_{xi}}(i) \quad (6.8)$$

end

- **Adım 7:** Eylemsizlik ağırlığı her iterasyonda Denklem 3.9'a göre hesaplanır.

$$w = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{k_{\max}} \cdot k \quad (6.9)$$

- **Adım 8:** Sürüdeki her parçacığın hız (V_i) Denklem 6.10 ile güncellenir ve hız sınırları belirlenir.

$$V_i^{k+1} = w \cdot V_i^k + c_1 \cdot r_1 \cdot (Pbest_{xi,i}^k - x_i^k) + c_2 \cdot r_2 \cdot (Gbest_{xi}^k - x_i^k) \quad (6.10)$$

- **Adım 9:** Sürüdeki her parçacığın konumu (x_i) Denklem 6.11 ile güncellenir ve konum sınırları belirlenir.

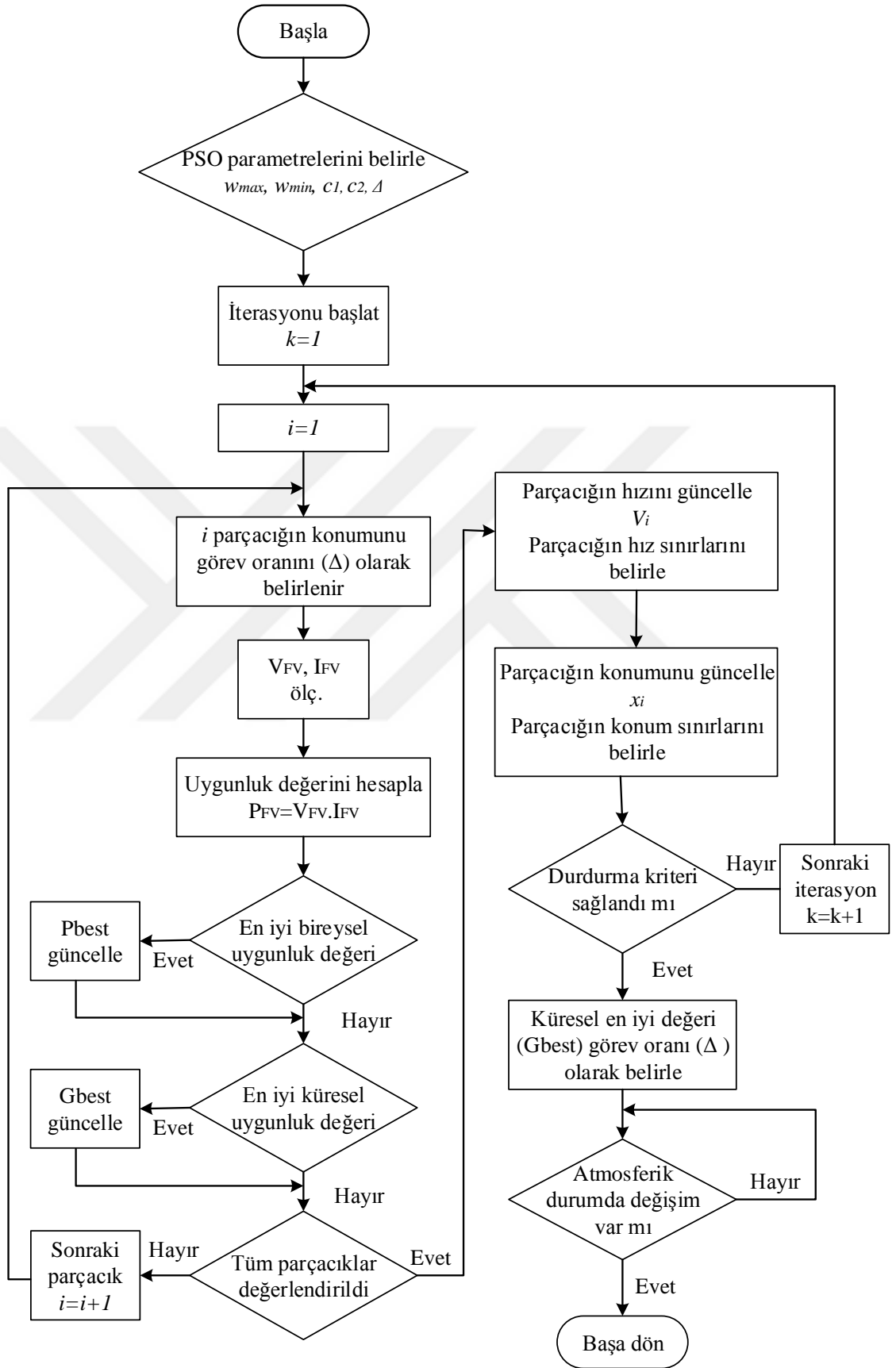
$$x_i^{k+1} = x_i^k + V_i^{k+1} \quad (6.11)$$

- **Adım 10:** Maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında parçacığın küresel en iyi değeri ($Gbest_{xi}$) görev periyodu (Δ) olarak Denklem 6.12'ye göre belirlenir.

$$\Delta = Gbest_{xi} \quad (6.12)$$

- **Adım 11:** FV panelden elde edilen çıkış gücü atmosferik koşullara göre değişmektedir. Değişen atmosferik koşullarda PSO tabanlı MGNT algoritması yeniden başlatılarak gerekli parametreler yeniden güncellenir ve Denklem 6.13'e göre yeniden başlatmak için yeterlidir [12].

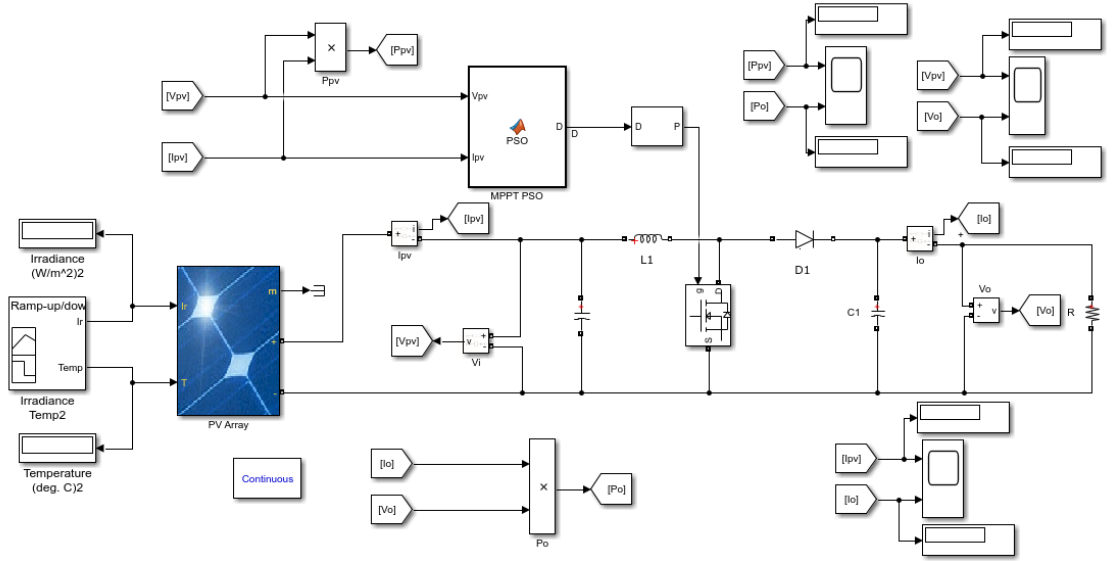
$$\frac{P_{FV(i+1)} - P_{FV(i)}}{P_{FV(i)}} \geq \Delta P \quad (6.13)$$



Şekil 6.1. PSO algoritmasının detaylı akış diyagramı

6.1. Yükselten Konvertörün Benzetim Çalışması

Önceki bölümlerde tasarımı ve benzetim çalışmaları gerçekleştirilerek elde edilen yükselten konvertör, MGNT algoritması ve FV panellerin katmanları birleştirilerek Şekil 6.2'deki model elde edilmiştir. Bu modele göre benzetim çalışması gerçekleştirilmiştir.



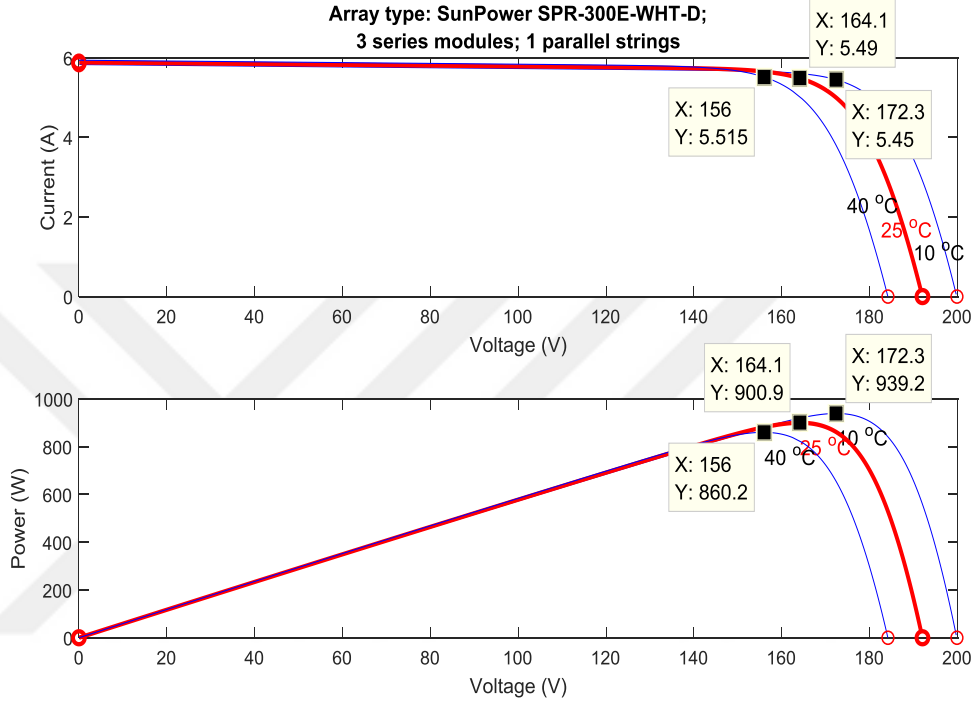
Şekil 6.2. Yükselten konvertörlü PSO MPPT kontrollü FV sistem modeli

6.1.1. Değişken sıcaklık durumlarında analizi

Şekil 6.2'deki modelde ışınma şiddeti sabit (1000 W/m^2) ve değişken sıcaklıkta (10°C , 25°C ve 40°C) olduğu durumda benzetim süresi 20s ye ayarlanmıştır. Modellenen FV panellere değişken sıcaklıklar ayrı ayrı uygulanarak konvertörün giriş, çıkış akımı, giriş, çıkış gerilimi ve giriş, çıkış güç dalga şekilleri Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te gösterilmiştir.

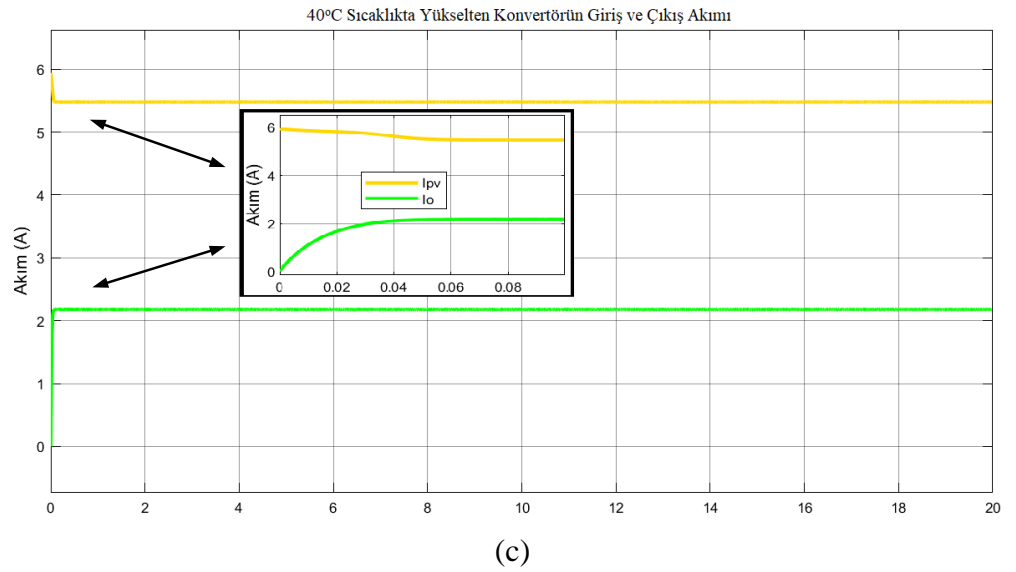
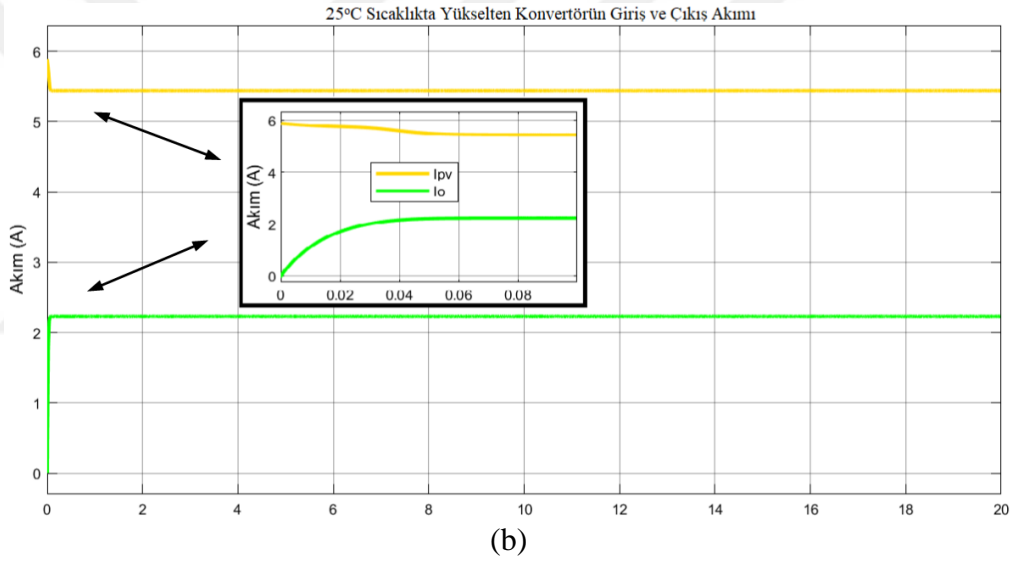
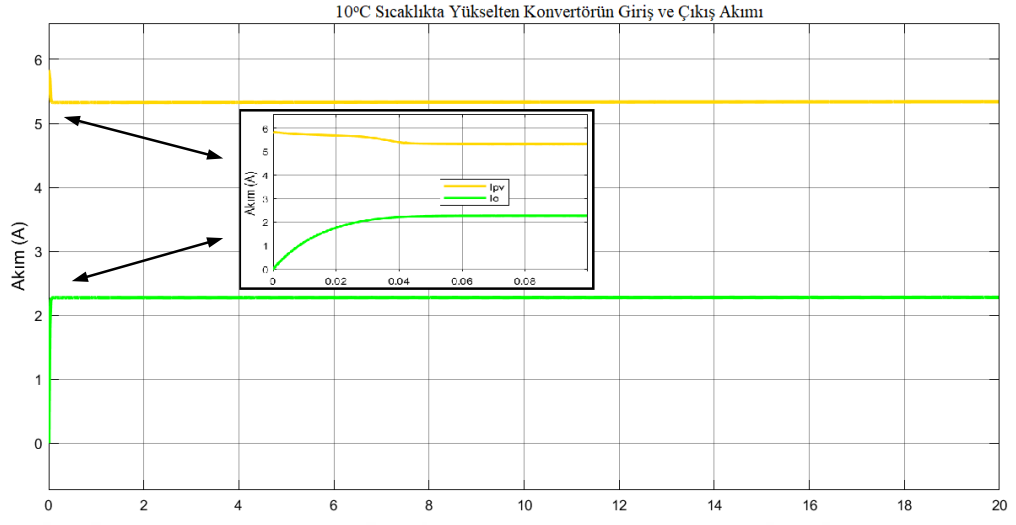
Yükselten konvertörlü FV sistem modelinde kullanılan MATLAB/Simulink programından alınan SunPower SPR-300E-WHT-D FV panelin akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri Şekil 6.3'te gösterilmiştir. Bu şekilde FV panelin maksimum güç elde edildiği noktaları belirtilmiş olup sabit ışınma şiddeti (1000 W/m^2) ve 10°C sıcaklıkta akımı 5,45A, gerilimi 172,3V, gücü 939,2W'tır. 25°C sıcaklıkta akımı 5,49A, gerilimi 164,1V, gücü 900,9W ve 40°C sıcaklıkta akımı 5,515A, gerilimi 156V ve gücü

860,2W'tır. Bu katalog değerlerine bakıldığında sıcaklık arttıkça akım değeri az bir miktar artmakta buna rağmen gerilim değeri akımın artış değerine göre daha fazla azaldığından FV panelin gücünde azalmaktadır. Bu katalog değerleri ile yükselten konvertörün çıkış güç değerleri karşılaştırılmıştır.



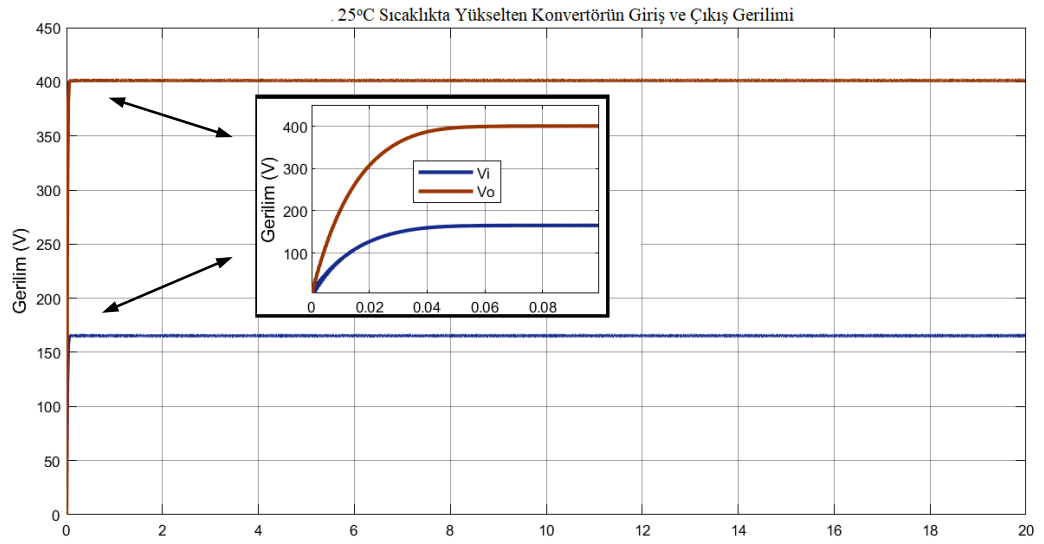
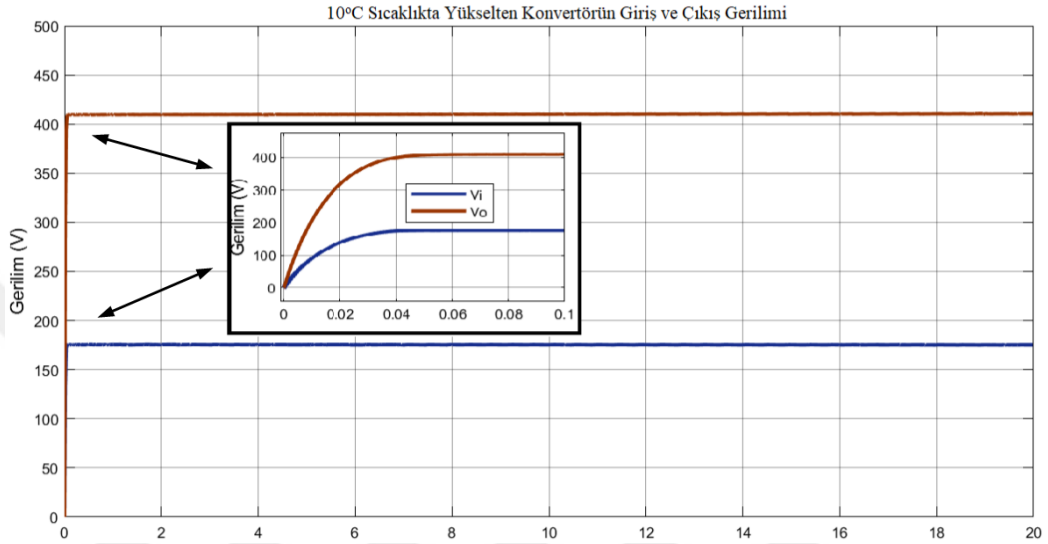
Şekil 6.3. Yükselten konvertörlü FV sistemin modelinde kullanılan SunPower SPR-300E-WHT-D FV panelin akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri

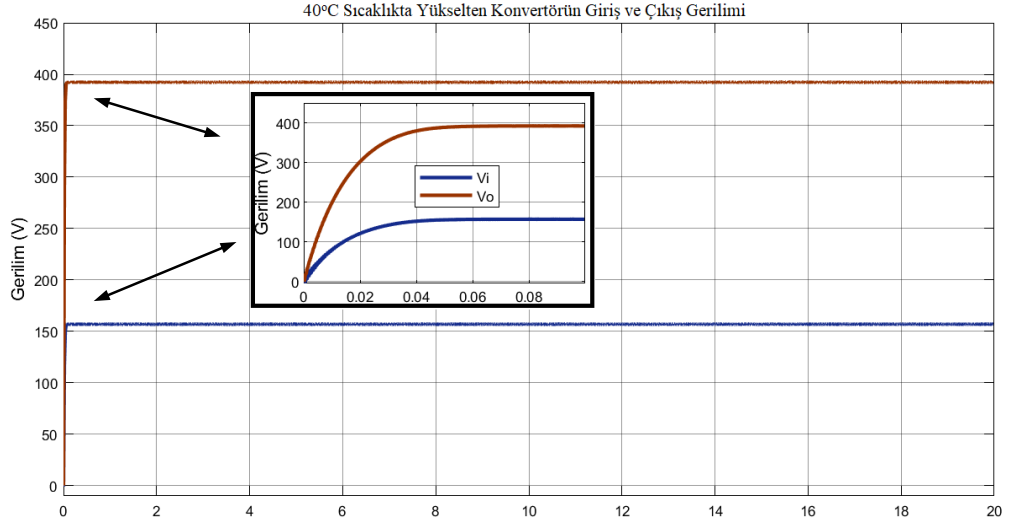
Şekil 6.4'teki akım değişim eğri şekline göre 10°C sıcaklıkta yükselten konvertörün giriş akımı 5,328A, 25°C sıcaklıkta yükselten konvertörün giriş akımı 5,44A ve 40°C sıcaklıkta yükselten konvertörün giriş akımı 5,479A olarak ölçülmüştür. Bu elde edilen sonuçlara göre sıcaklık arttıkça akımda belirli bir miktar artmaktadır.



Şekil 6.4. Yükselten konvertörün giriş ve çıkış akımının (a) 10°C sıcaklıkta, (b) 25°C sıcaklıkta ve (c) 40°C sıcaklıktaki eğrileri

Şekil 6.5'teki gerilim değişim eğri şekline göre yükselten konvertörün 10°C sıcaklıktaki giriş gerilimi 175,5V, çıkış gerilimi 409,5V'dir. 25°C sıcaklıktaki giriş gerilimi 165,3V, çıkış gerilimi 401,4V ve 40°C sıcaklıktaki giriş gerilimi 156,9V, çıkış gerilimi 392,4V olarak ölçülmüştür. Bu sonuçlara göre sıcaklık artıkça gerilim azalmaktadır.

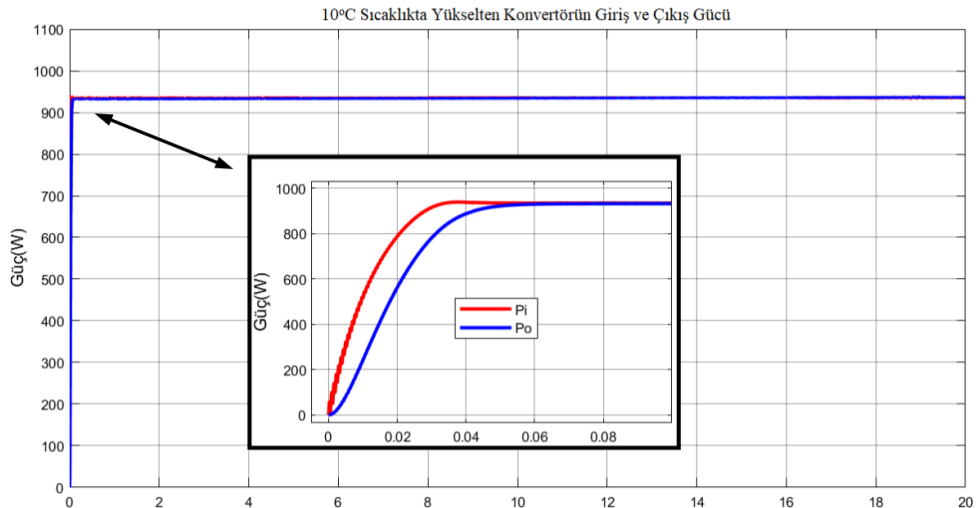




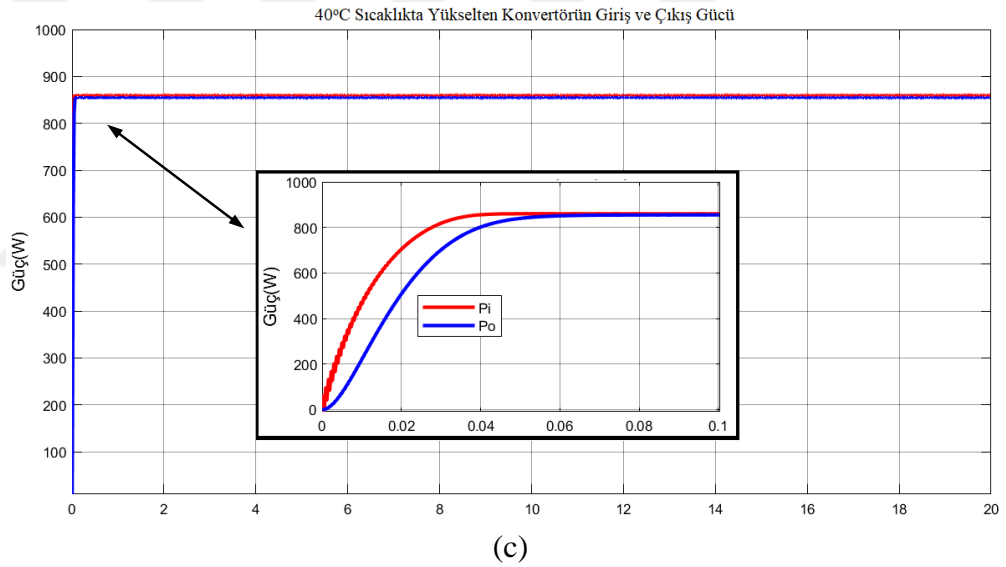
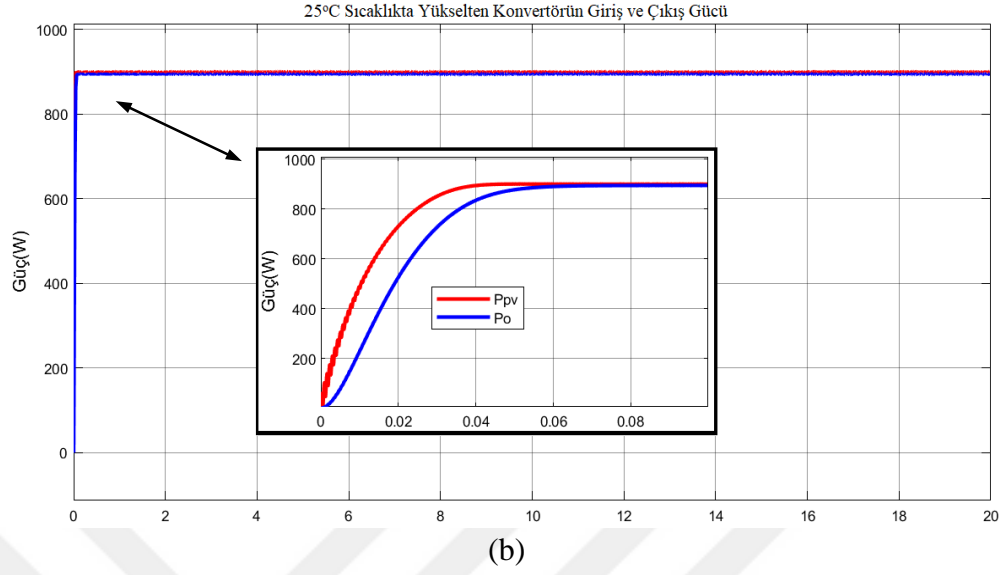
(c)

Şekil 6.5. Yükselten konvertörün giriş ve çıkış geriliminin (a) 10°C sıcaklıkta, (b) 25°C sıcaklıkta ve (c) 40°C sıcaklıktaki eğrileri

Şekil 6.6'daki güç değişim eğri şekillerine göre yükselten konvertörün, 10°C sıcaklıktaki giriş gücü 935W, çıkış gücü 933,3W, verimi %99,81 ve katalogdaki 10°C sıcaklıktaki referans gücü 939,2W olup buna göre verimi %99,37'dir. 25°C sıcaklıktaki giriş gücü 899,3W, çıkış gücü 895,3W, verimi %99,55 ve katalogdaki 25°C sıcaklıktaki referans gücü 900,9W olup buna göre verimi %99,37'dir. 40°C sıcaklıktaki giriş gücü 859.5W, çıkış gücü 855.5W, verimi %99,53 ve katalogdaki 40°C sıcaklıktaki referans gücü 860,2W olup buna göre verimi %99,45'tir. Bu elde edilen verimlere göre PSO tabanlı MGNT algoritması yüksek doğrulukta MGN' de çalışmaktadır. Sıcaklık arttıkça güç değeri de azalmaktadır.



(a)



Şekil 6.6. Yükselten konvertörün giriş ve çıkış gücünün (a) 10°C sıcaklıkta, (b) 25°C sıcaklıkta ve (c) 40°C sıcaklıktaki eğrileri

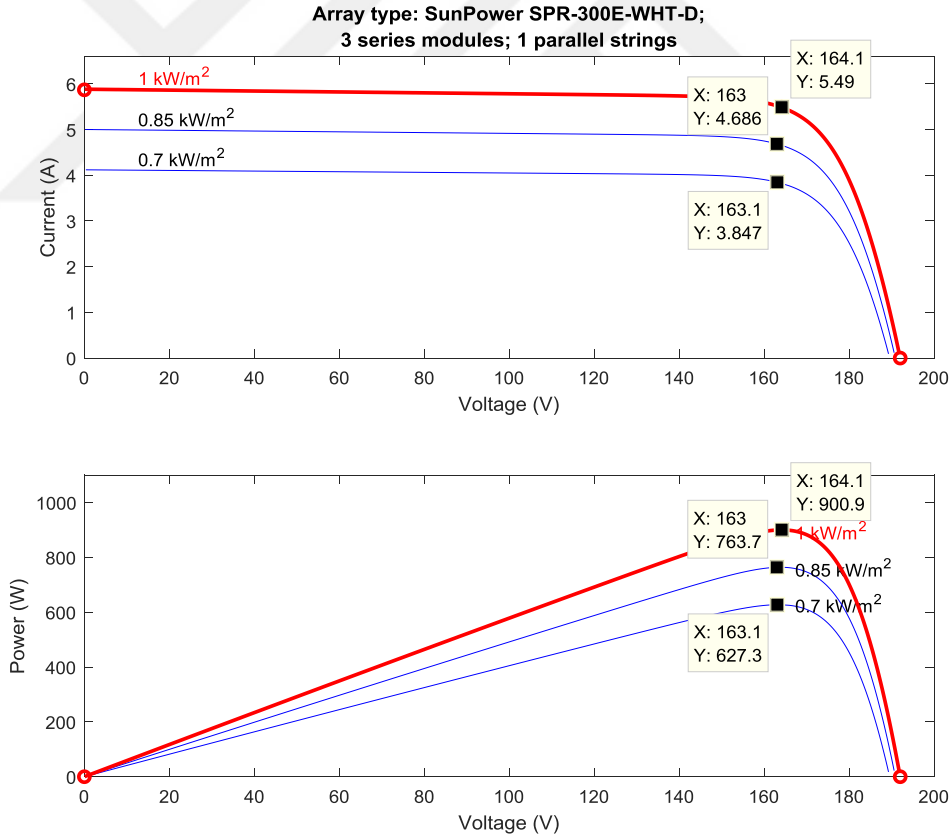
Yükselten konvertörün sabit ışıma ve değişken sıcaklıktaki şekilleri incelediğimizde sıcaklık artışıyla akım doğru orantılı, gerilim ve güç ters orantılı olarak değişmektedir. Detaylı şekilleri incelediğimizde yaklaşık 60 milisaniye(ms) de maksimum güç denge noktasına ulaşabilmektedir.

6.1.2. Değişken ışıma durumunda analizi

Şekil 6.2'deki modelde değişken ışıma ($700\text{W}/\text{m}^2$, $850\text{W}/\text{m}^2$ ve $1000\text{W}/\text{m}^2$) şiddeti ve sabit sıcaklıkta (25°C) olduğu durumda benzetim süresi 20s ayarlanmıştır. Değişen

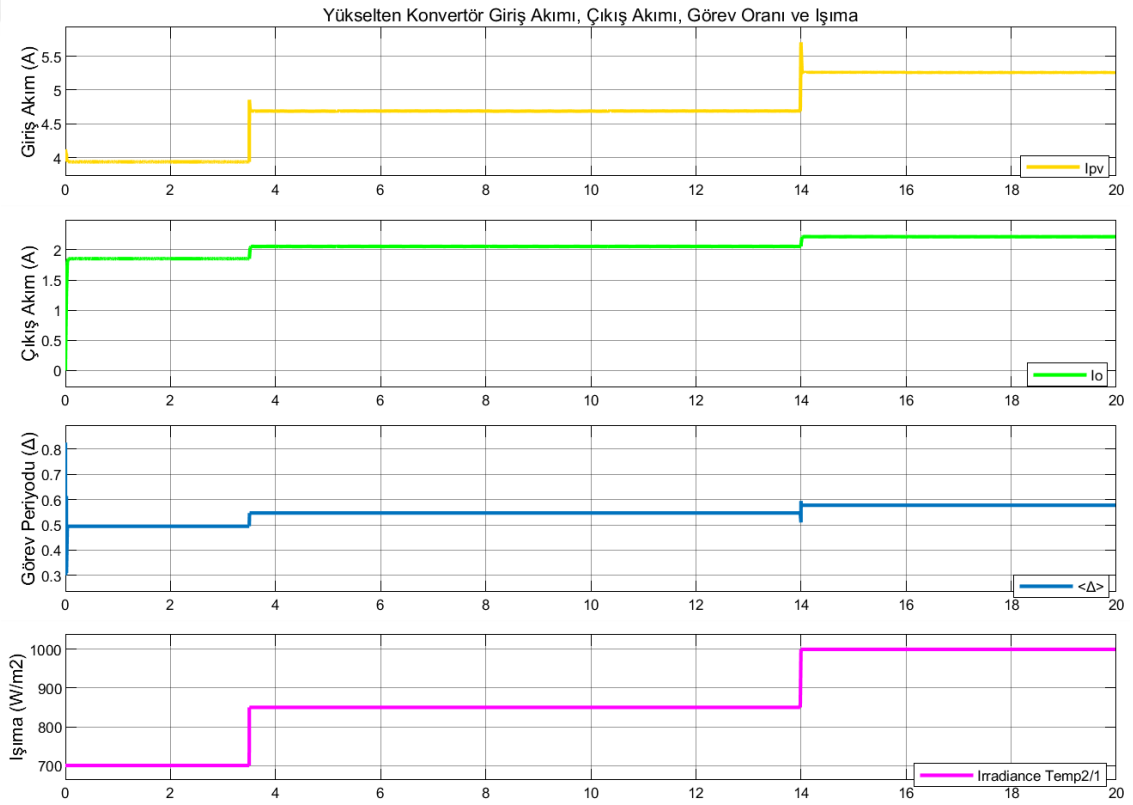
ışık şiddeti belli aralıklarla değiştirilerek yükselten konvertörün verimi, giriş gerilimi, çıkış gerilimi, giriş akımı, çıkış akımı ve giriş gücü, çıkış güç dalga şekilleri Şekil 6.8, Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da gösterilmiştir.

Yükselten konvertörlü FV sistem modelinde kullanılan MATLAB/Simulink programından alınan SunPower SPR-300E-WHT-D FV panelin akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri Şekil 6.7'de gösterilmiştir. Bu şekilde FV panelin maksimum güç elde edildiği noktaları belirtilmiştir. Sabit sıcaklıkta (25°C) ve 700W/m² ışık şiddetinde akımı 3,847A, gerilimi 163,1V, gücü 627,3W'tır. 850W/m² ışık şiddetinde akımı 4,686A, gerilimi 163V, gücü 763,7W ve 1000W/m² ışık şiddetinde akımı 5,49A, gerilimi 164,1V ve gücü 900,9W'tır. Bu katalog değerlerine bakıldığında ışık şiddeti azaldıkça gerilim ve akım değeri azalmaktadır buna bağlı olarak güç değeri de azalmaktadır. Akım değeri gerilim değerine göre ışımadan daha fazla etkilenmektedir.



Şekil 6.7. Yükselten konvertörlü FV sistemin modelinde kullanılan SunPower SPR-300E-WHT-D FV panelin akım-gerilim ve güç-gerilim eğrileri

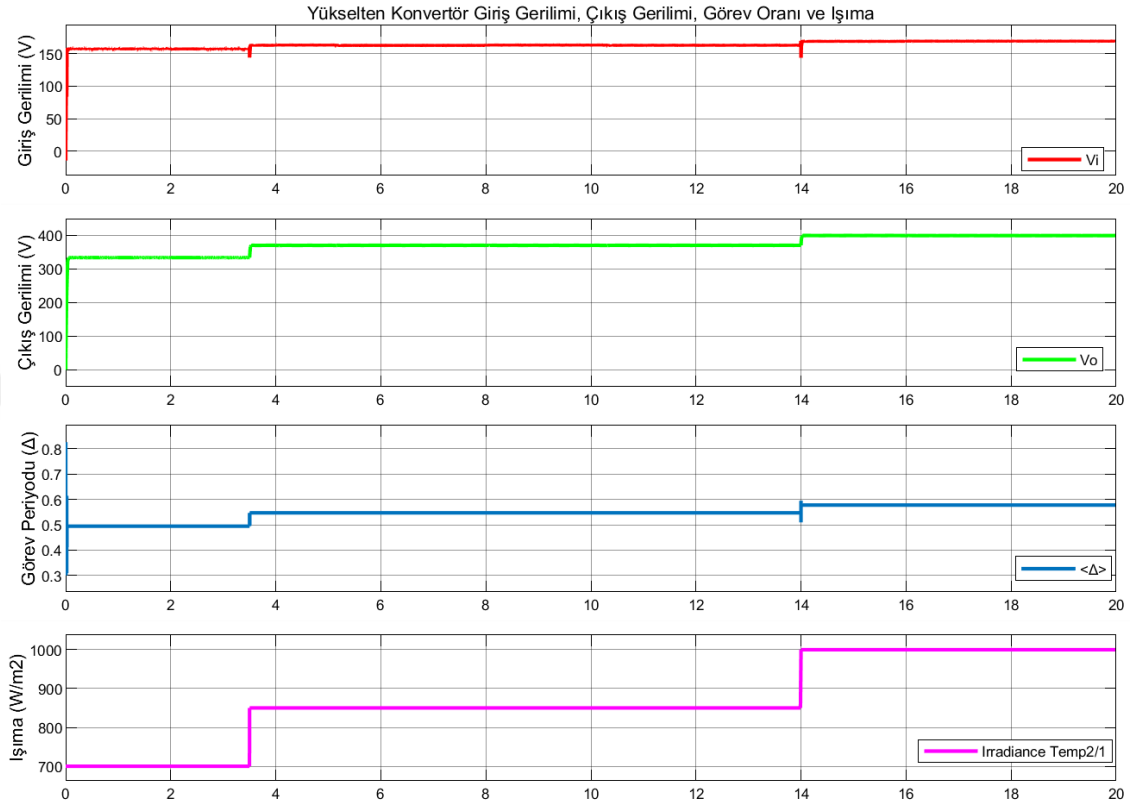
Şekil 6.2'deki modelden elde edilen yükselten konvertörün giriş akımı, çıkış akımı, görev oranı ve ışıma şiddeti Şekil 6.8'de gösterilmiştir. FV panel üzerine düşen değişken ışıma değerleri 20s süresince uygulanmış ve 3,5s ve 14s'de ışıma şiddeti değiştirilerek PSO tabanlı MGNT algoritması 0,1ms'de tepki vererek yeni ışımadaki MGN değerine ulaştırmaktadır. 0,0s ile 3,5s arasında giriş akımı 3,94A, çıkış akımı da 1,85A'dır. 3,5s ile 14s arasında elde edilen giriş akımı 4,688A, çıkış akımı da 2,06A'dır. 14s ile 20s arasında elde edilen giriş akımı 5,26A, çıkış akımı 2,216A olarak elde edilmiştir. Bu elde edilen değerler incelendiğinde ışıma arttıkça akımda doğru orantılı olarak artmaktadır.



Şekil 6.8. Yükselten konvertörün giriş akımı, çıkış akımı, görev oranı ve ışıma eğrileri

Şekil 6.9'da FV panele 20s süreyle değişken ışıma şiddeti uygulanmış olup, 3,5s ve 14s'de ışıma şiddetleri değiştirilmiştir. 0,0s ile 3,5s arasında giriş gerilimi 157V, çıkış gerilimi 334V'dir. 3,5s ile 14s arasında elde edilen giriş gerilimi 162,5V, çıkış gerilimi 370V'dir. 14s ile 20s arasında elde edilen giriş gerilimi 169V, çıkış gerilimi 399V

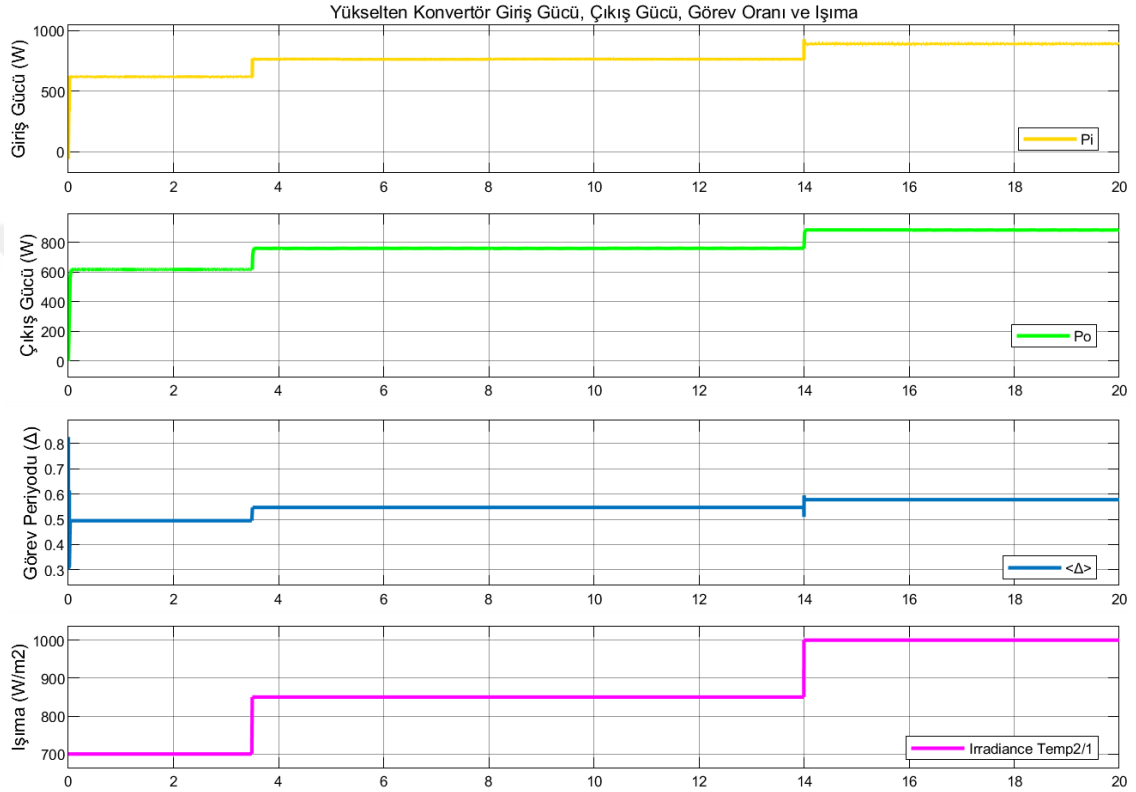
olarak elde edilmiştir. Işıma değeri arttıkça gerilim değeri akım değerine oranla daha az miktarda artmaktadır.



Şekil 6.9. Yükselten konvertörün giriş gerilimi, çıkış gerilimi, görev oranı ve ışıma eğrileri

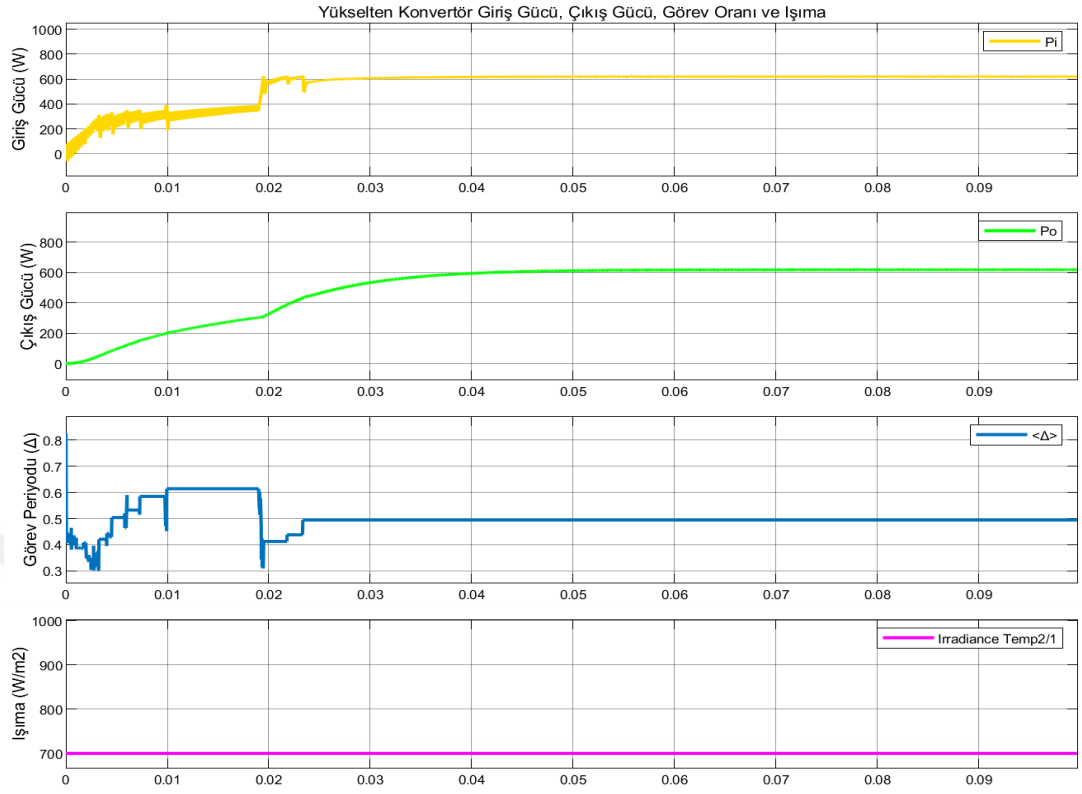
Şekil 6.10'da FV panelin değişken ışıma şiddeti altında PSO tabanlı MGNT algoritmasının tepkisine bağlı olarak elde edilen güçler gösterilmiştir. 0,0s ile 3,5s arasında 700W/m² ışıma şiddeti uygulanmış ve elde edilen giriş gücü 618,5W ve çıkış gücü ise 618W olarak elde edilmiştir. Güç kaybı 0,5W olup verimi %99,9'dur. 3,5s ile 14s arasında 850W/m² ışıma şiddeti uygulanmış ve elde edilen giriş gücü 762,9W ve çıkış gücü ise 761W olarak elde edilmiştir. Modellenen yükselten konvertörün güç kaybı 1,9W olup verimi %99,75'dir. 14s ile 20s arasında 1000W/m² ışıma şiddeti uygulanmış ve elde edilen giriş gücü 890W, çıkış gücü 885,9W olarak elde edilmiştir. Güç kaybı 4.1W olup verimi %99,53'tür. Bu elde edilen güçler Şekil 6.7'deki referans güçleri ile karşılaştırıldığında, 700W/m² ışıma şiddetinde elde edilen çıkış gücü 618W ve referans gücü 627,3W olduğundan buna göre değerlendirildiğinde güç kaybı 9,3W ve verimi %98,52'dir. 850W/m² ışıma şiddetinde elde edilen çıkış gücü 761W ve referans

gücü 763,7W olduğundan güç kaybı 2,7W ve verimi %99,65'dir. 1000W/m² ışıma şiddetinde çıkış gücü 885,9W ve referans gücü 900,9W olduğundan güç kaybı 15W ve verimi %98,33 olarak elde edilmiştir. Bu referans güçle karşılaştırılan elde edilen güç verim sonucuna göre PSO tabanlı MGNT algoritması yüksek doğruluk ve verimde MGN takip edebilmektedir.

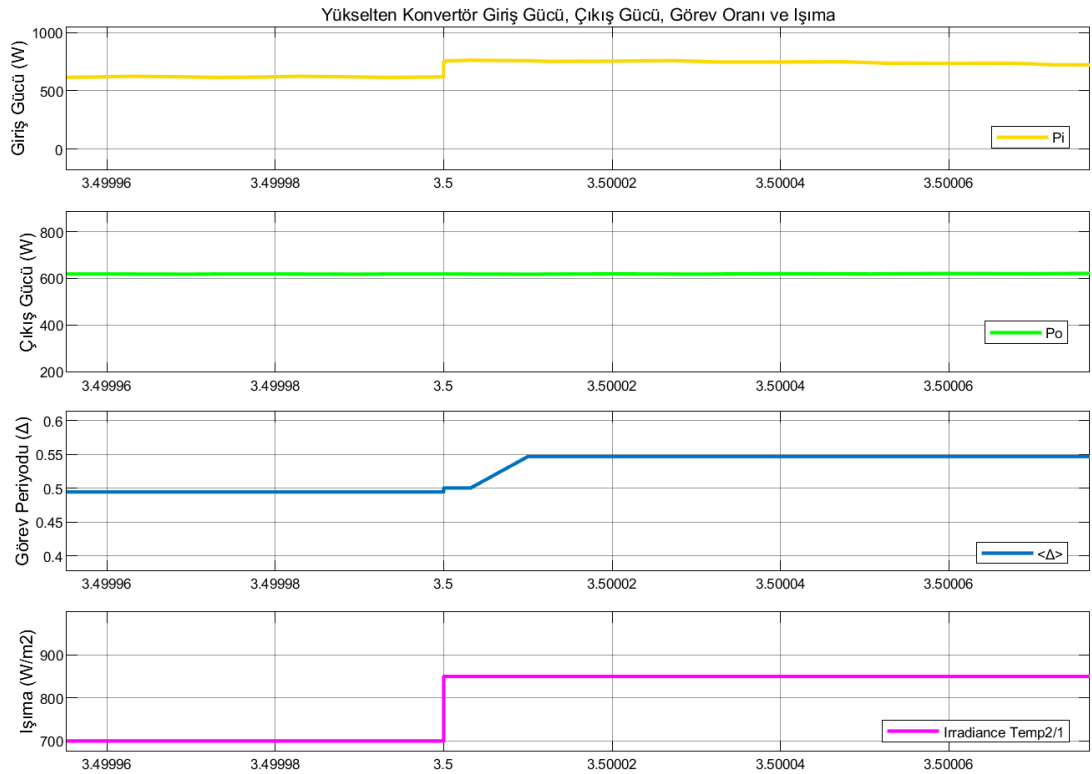


Şekil 6.10. Yükseltilen konvertörün giriş gücü, çıkış gücü, görev oranı ve ışıma eğrileri

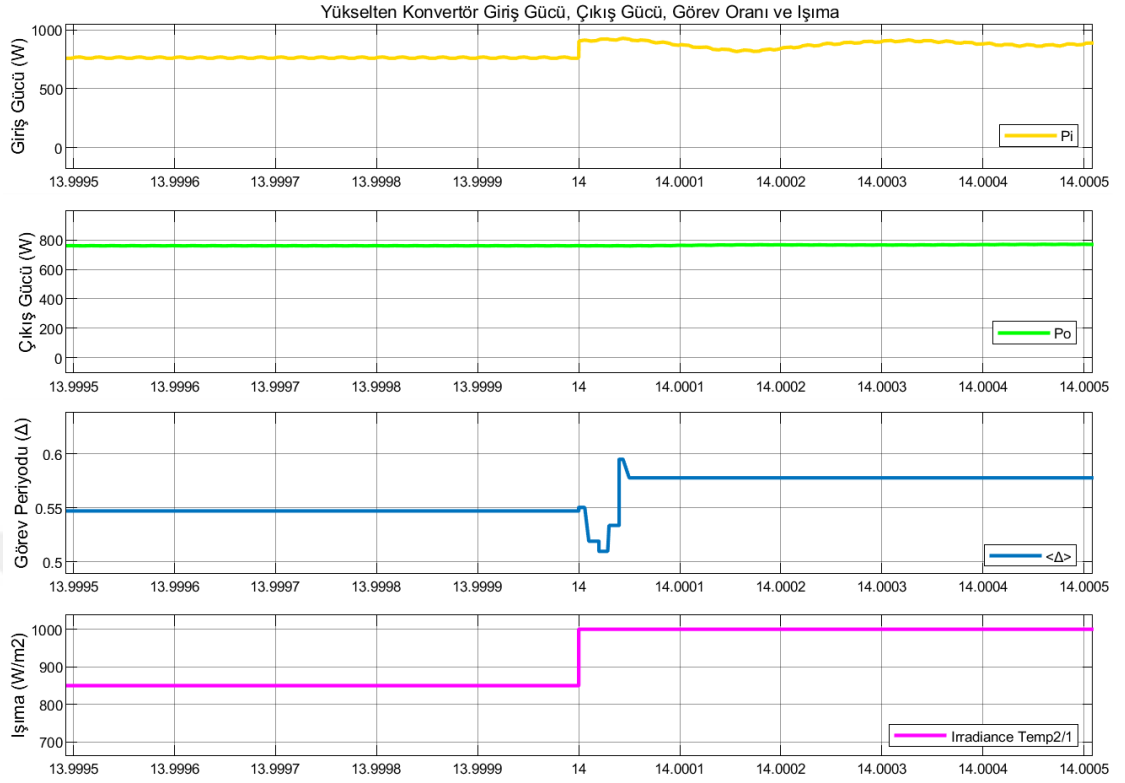
Yükseltilen konvertörün giriş gücü, çıkış gücü, görev periyodu ve ışıma değerlerinin detayı 0,1s'deki Şekil 6.11'de, 3,5s'deki Şekil 6.12'de ve 14s'deki Şekil 6.13'te gösterilmiştir.



Şekil 6.11. Yükselten konvertörün 0,1s' deki giriş gücü, çıkış gücü, görev oranı ve ışıma eğrilerinin detayı



Şekil 6.12. Şekil 6.12. Yükselten konvertörün 3,5s' deki giriş gücü, çıkış gücü, görev oranı ve ışıma eğrilerinin detayı



Şekil 6.13. Yükselten konvertörün 14s’ deki giriş gücü, çıkış gücü, görev oranı ve ışıma eğrilerinin detayı

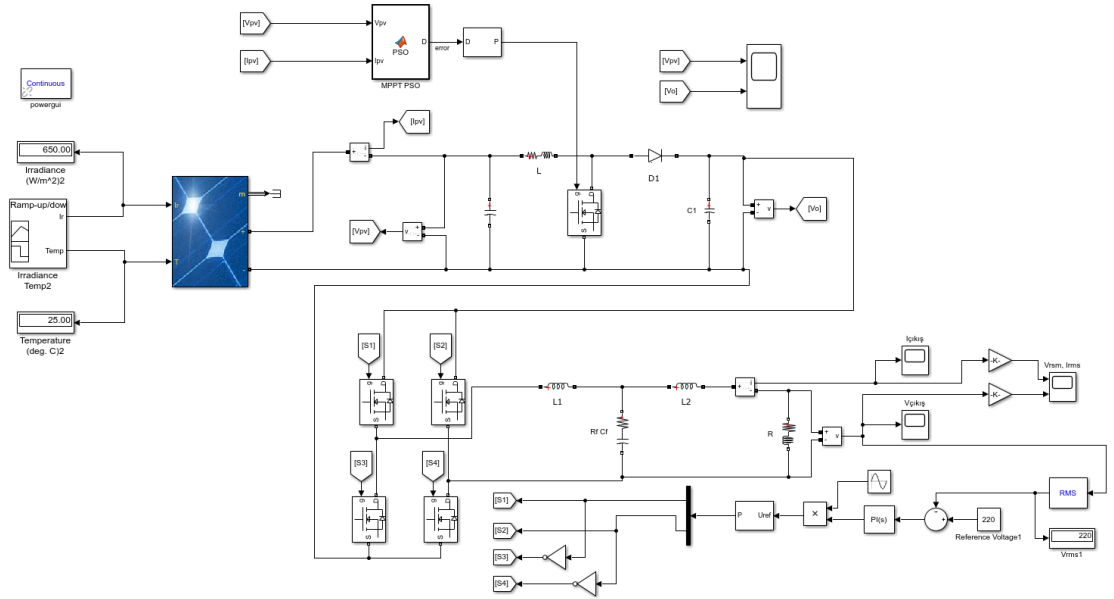
2012 yılında yapılan çalışmada kısmi gölgelenme durumu altında çalışan PV sistem için sistemden bağımsız bir MGNT algoritması önerilmiş ve dönüştürücü olarak yükselten konvertör kullanılmıştır. Önerilen sistemde farklı gölgelenme durumlarında benzetim sonuçlarına göre verimi %99,5’ten yüksek elde edilmiştir. Önerilen yöntem diğer global maksimum güç noktası arama yöntemleriyle karşılaştırıldığında, PSO tabanlı MGNT algoritmasının izleme verimliliği çok yüksek olduğu belirtilmiştir [8]. Yukarıda Şekil 6.2’deki model kullanılarak değişken ışıma şiddeti veya değişken sıcaklıkta yapılan benzetim çalışmasında PSO tabanlı MGNT algoritması kullanılarak elde edilen güçlerin verimleri %99,5’ten yüksek elde edilmiş olup yapılan bu çalışmalar karşılaştırıldığında bu tezde yapılan PSO tabanlı MGNT algoritmasının da verimli ve daha yüksek doğrulukta MGN takibi yapabildiği görülmektedir.

6.2. Mikro Evirici Benzetim Çalışması

FV paneller yükselten konvertör, MGNT ve evirici katmanları birleştirilerek, mikro evirici benzetimi gerçekleştirilmiştir. Modellenen FV panellerine değişken ışığa değerleri uygulanmış mikro eviricinin çıkış akım ve gerilim dalga şekilleri, akım ve gerilim toplam harmonik distorsiyon oranları (THD) gerçekleştirilmiştir.

6.2.1. Yükselten konvertörlü mikro evirici benzetim çalışması

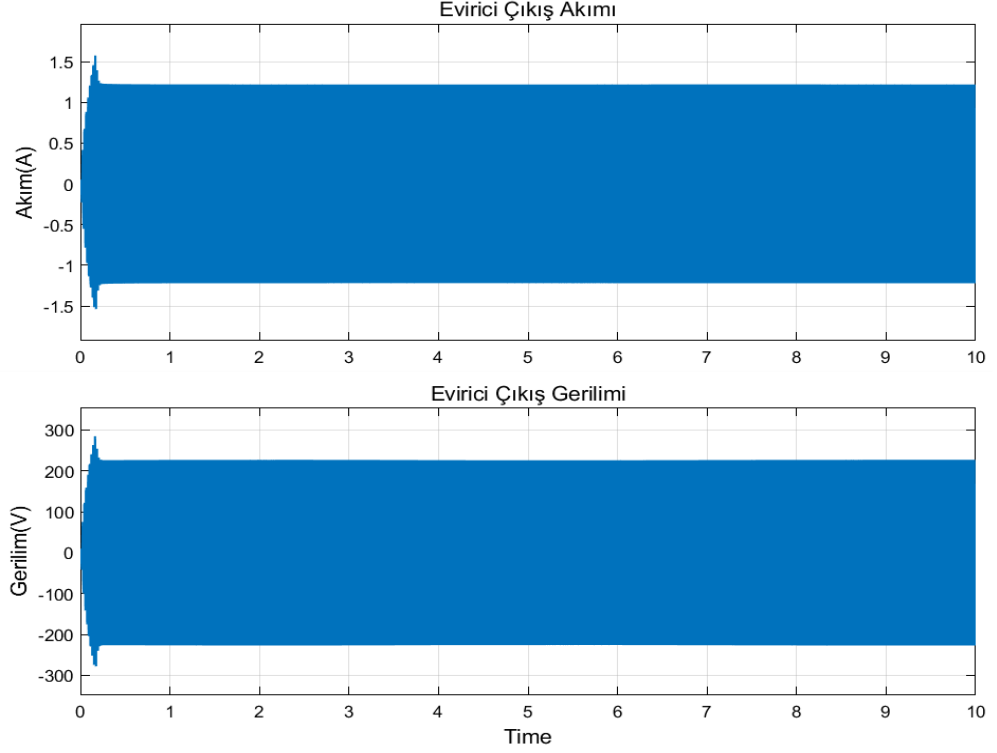
Gerçekleştirilen yükselten konvertörlü mikro evirici benzetim çalışması şekil 6.14'te gösterilmiştir. Tasarlanan mikro evirici yapısında yükselten konvertör ile FV panelinin gerilimi konvertör çıkışından elde edilen gerilim evirici girişine uygulanarak yük uçlarında sinüzoidal AA dalga şekli elde edilmiştir.



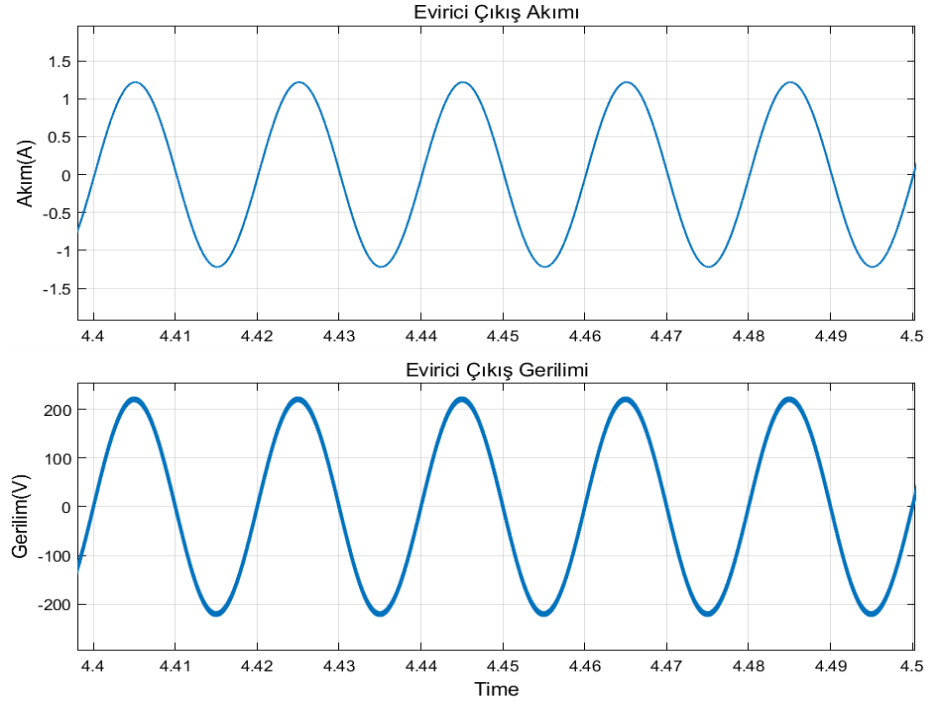
Şekil 6.14. Yükselten konvertörlü FV sistemli mikro evirici modeli

Yükselten konvertörün çıkışından elde edilen gerilim DA-AA dönüşümü için eviriciye uygulanmıştır. Evirici ile DA-AA dönüşümü gerçekleştirilmiş ve LCL filtre uygulanarak elde edilen sinüzoidal gerilim ve akım dalga şekilleri Şekil 6.15'te genel ve detaylı olarak gösterilmiştir. Şekil 6.15'te gözüktüğü gibi ışığa değiştiğinde çıkış geriliminde herhangi bir değişiklik olmamıştır. Sistemin çıkış gerilimi PI kontrolcü ile sabit 220 Vrms olarak elde edilmiştir. Yük olarak sisteme 180 Ω ve 25mH değerinde bir

yük bağlanmıştır. PI kontrolcünün K_p ve K_i değerleri sistemin gerilim çıkış tepkisi gözlemlenerek deneme yöntemi ile sırasıyla 0,01 ve 0,2 olarak belirlenmiştir.



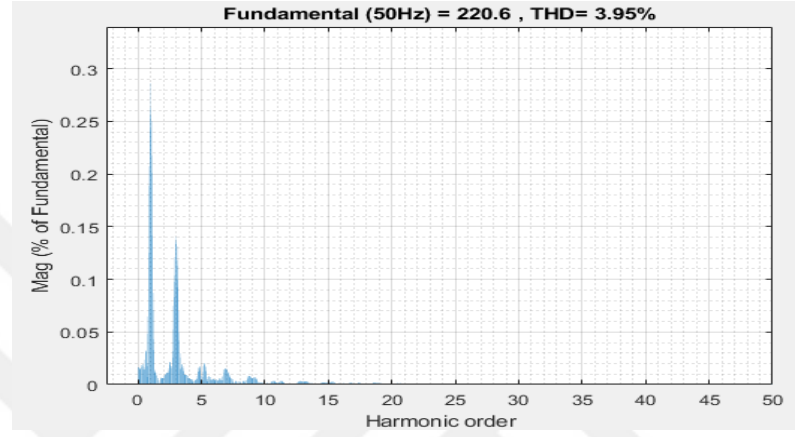
(a)



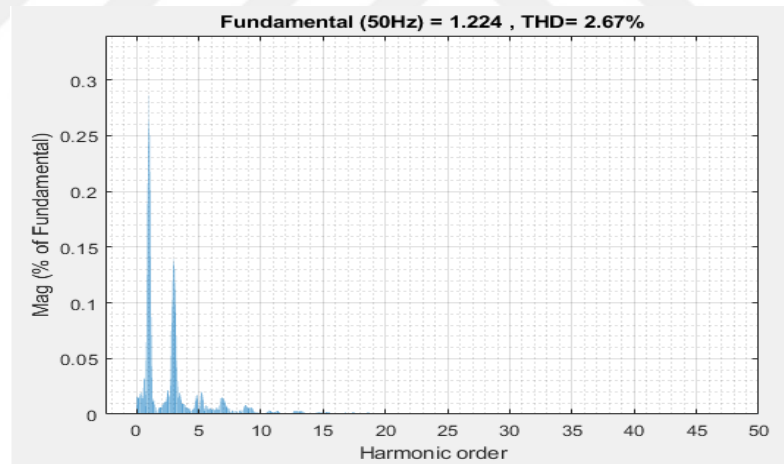
(b)

Şekil 6.15. Yükselten konvertörlü mikro eviricinin (a) çıkışı gerilimi ve çıkış akımı dalga şekilleri, (b) çıkışı gerilimi ve çıkış akımı detaylı dalga şekilleri

Yükseltilen konvertörlü mikro eviricinin çıkış geriliminin ve akımının harmonik bozulma sonuç değerleri Şekil 6.16’te verilmiştir. Harmonik bozulmaları çıkış geriliminin %3,95 ve çıkış ekımının %2,67 olarak belirlenmiştir. Bu oran, IEEE-519-2014 ve IEC 61000-3-2 gibi uluslararası standartlar tarafından tanımlanan %5 sınıırıyla uyumlu olması açısından önemli bir değerdir [3].



(a)



(b)

Şekil 6.16. Yükseltilen konvertörlü mikro evirici toplam harmonik bozulma oranları (a) gerilim, (b) akım

BÖLÜM 7

SONUÇ VE ÖNERİLER

Yapılan bu tez çalışmasında Tablo 7.1’de sabit ışımaya (1000 W/m^2) şiddetinde ve değişken sıcaklık (10°C , 25°C ve 40°C) değerleri ayrı ayrı FV panele uygulanmış olup, yükselten konvertörün giriş ve çıkış güçlerinin verimi, daha sonra FV panelin katalog referans gücüyle konvertörün çıkış gücünün verimi karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda verimin yüksek olduğu ve yaklaşık 60 ms’de maksimum güç denge noktasına ulaşabildiğinden PSO tabanlı MGNT algoritması hızlı ve yüksek bir doğrulukta MGN takibi yapabilmektedir.

Tablo 7.1. FV panele uygulanan değişken sıcaklıktaki benzetim sonuçları

Sıcaklık Durum	Konvertörün Giriş Gücü (P_{PV})	Konvertörün Çıkış Gücü (P_O)	Verim (P_O/P_{PV})	Panel Katalog Referans Gücü (P_{FV})	Verim (P_O/P_{FV})
10°C sıcaklık durumu	935W	933,3W	%99,81	939,2W	%99,37
25°C sıcaklık durumu	899,3W	895,3W	%99,55	900,9W	%99,37
40°C sıcaklık durumu	859,5W	855,5W	%99,53	860,2W	%99,45

Tablo 7.2’de sıcaklık değeri 25°C sabit tutularak ışımaya değeri 700 W/m^2 , 850 W/m^2 1000 W/m^2 belirli süreler boyunca FV panele uygulanmış olup, yükselten konvertörün giriş ve çıkış güçlerinin verimi, daha sonra FV panelin katalog referans gücüyle konvertörün çıkış gücünün verimi karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda verimin çok yüksek olduğu ve PSO tabanlı MGNT algoritması hızlı ve yüksek bir doğrulukta MGN takibi yapabilmektedir.

Tablo 7.2. FV panele uygulanan değişken ışımadaki benzetim sonuçları

İşima Durum	Fotovoltaik Çıkış Gücü (P_{PV})	Konvertör Çıkış Gücü (P_O)	Verim (P_O/P_{PV})	Panel Katalog Referans Gücü (P_{FV})	Verim (P_O/P_{FV})
700 W/m² ışima durumu	618,5W	618W	%99,9	627,3W	%98,52
850 W/m² ışima durumu	762,9W	761W	%99,75	763,7W	%99,65
1000 W/m² ışima durumu	890W	885,9W	%99,53	900,9W	%98,33

Tasarlanan bir fazlı mikro eviricinin benzetimi MATLAB Simulink programı ile gerçekleştirilmiştir. Mikro evirici benzetim çalışmasında her bir FV paneline ışima ve sıcaklık değeri uygulanmıştır. FV panelinden alınan DA gerilim AA gerilime dönüştürülerek mikro evirici çıkışından sabit şebeke gerilimi 220 V_{rms} elde edilmiştir.

Daha sonra yapılacak çalışmalarda tasarlanan yükselten konvertörün güç kayıpları minimuma indirgenerek verimin artırılması, PSO tabanlı MGNT algoritmasının geliştirilmesi, farklı ışınım ve sıcaklık değeri FV panele uygulanarak konvertörün farklı topolojilerinin verimi karşılaştırılmalıdır. Yapılacak farklı topolojilerinin çıkış değeri bir fazlı veya üç fazlı eviricilere uygulamalarının gerçekleştirilmesi ve uygulamalarının yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. İlam S.K., “Nükleer Enerji Dünyasında Çevre ve İnsan”, Abant İzzet Baysal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, s. 72-90, 2012
2. Kulaksız A.A., “Maksimum Güç Noktası İzleyicili ve UVM İnverterli Fotovoltaik Sistemin Yapay Sinir Ağları Tabanlı Kontrolü”, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Konya, 2007.
3. Boyar A., “Güneş Panelleri İçin Mikro Evirici Tasarımı ve Analizi”, Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Nevşehir, 2018.
4. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik>.
5. İnternet: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü “Güneş Enerji Potansiyeli Atlası” <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx>.
6. TMMOB Makina Mühendisleri Odası, “Türkiye’nin Enerji Görünümü,” Yayın No: MMO/691, Ankara, 2018.
7. İnternet: T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Gunes>.
8. Yi-Hwa Liu, Shyh-Ching Huang, Jia-Wei Huang, and Wen-Cheng Liang, “A Particle Swarm Optimization-Based Maximum Power Point Tracking Algorithm for PV Systems Operating Under Partially Shaded Conditions” IEEE Transactions On Energy Conversion, Vol. 27, no. 4, s.1027-1035, December 2012.
9. Chao H.K., Chang Y.L. ve Liu C.H., “Maximum Power Point Tracking Method Based on Modified Particle Swarm Optimization for Photovoltaic Systems”, International Journal of photoenergy Volume, s. 1-6, 2013.
10. İshaque K. ve Salam Z., “A Deterministic Particle Swarm Optimization Maximum Power Point Tracker for Photovoltaic System Under Partial Shading Condition”, IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol. 60, NO. 8, s. 3195-3206, 2013.
11. Abdulkadir M., “A Modified Particle Swarm Optimization Based Maximum Power Point Tracking For Photovoltaic Converter System” , Faculty of Electrical Engineering Universiti Teknologi, Doktora Tezi, Malaysia, 2015.

12. Khan Z.M., Qamar A., Bhatta S., Aziz S., Sultan K., “A Global Maximum Power Point Tracking Algorithm for Solar Photovoltaic Panels” (IJPEE), Vol. (7) – No. (3), s. 665-673, 2016.
13. Wei T.,Lui S., ve Zhang C., “An Improved Particle Swarm Optimization(PSO)-Based MPPT Strategy for PV System”, MATEC Web of Conferences, s.1-5, 2017.
14. İnternet: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/g_enj_tekno.aspx.
15. <https://www.enerjibes.com/gunes-panelleri-teknolojisi-ve-tarihcesi/>
16. Çalışkan E., “Fotovoltaik Sistemler İçin DSP Temelli Güneş Çevirici Tasarımı ve Uygulaması”, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2011.
17. Demirel H., Demirtaş M., Çetinbaş İ., “Akıllı Algoritmalar Kullanarak Güneş Enerji Dönüşüm Sistemleri Uygulamaları” YEKSEM Konferansı 2013 s. 1-13.
18. A. Boyar and E. Kabalci, “Design and Analysis of a Two-Phase Interleaved Boost Converter Based Microinverter,” in 2018 IEEE 18th International Power Electronics and Motion Control Conference (PEMC), 2018, pp. 1067–1072.
19. Sayın S., Koç İ., “Güneş Enerjisinden Aktif Olarak Yararlanmada Kullanılan Fotovoltaik (PV) Sistemler ve Yapılarda Kullanım Biçimleri”, S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Derg., c.26, s. 3, 2011.
20. İnternet: CompareMySolar “Comparison of solar efficiency” <http://blog.comparemysolar.co.uk/comparison-of-solar-efficiency-what-is-the-bestsolar-panel/>.
21. Başoğlu E.M., “Güneş Enerjisi Sistemlerinde Kullanılan Maksimum Güç Noktası İzleyicili Yükseltici DA-DA Dönüştürücü Analizi Ve Gerçekleştirilmesi”, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli, 2013.
22. Demirtaş M., Sefa İ., Irmak E., Çolak İ., Güneş Enerjili sistemler için mikrodenetleyici tabanlı DA/DA yükselten dönüştürücü, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der., s. 719-728, 2008.
23. Özdemir Ş., “Fotovoltaik Sistemler için Mikrodenetleyicili En Yüksek Güç Noktasını İzleyen Bir Konvertörün Gerçekleştirilmesi”,Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2007.

24. Das P., "Maximum Power Tracking Based Open Circuit Voltage Method for PV System", 5th International Conference on Advances in Energy Research (ICAER), s. 2-13, Mumbai, India, 15-17 December 2015.
25. Kabalci E., Boyar A., Kabalci Y. "Design and Analysis of a Micro Inverter for PV Plants", Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), s.1-6, Targoviste- ROMÂNIA,2017.
26. Demirel H., Demirtaş M., Çetinbaş İ., "Akıllı Algoritmalar Kullanarak Güneş Enerji Dönüşüm Sistemleri Uygulamaları" YEKSEM Konferansı 2013 s. 1-13.
27. Morales, D.S., "Maximum Power Point Tracking Algorithms for Photovoltaic Applications", Aalto University School of Science and Technology Faculty of Electronics, Communications and Automation, Master's thesis, 2010.
28. Salam, Z., Ahmed, J. and Merugu, B.S., "The application of soft computing methods for MPPT of PV system: A technological and status review", Applied Energy, Vol.107, s. 135-148, 2013.
29. ESRAM, T. and Chapman, P.L., "Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques", Energy Conversion, 22(2): 439 - 449, 2007.
30. Karthika S., Velayutham K., Rathika P., Devaraj D., "Fuzzy Logic Based Maximum Power Point Tracking Designed for 10kW Solar Photovoltaic System with Different Membership Functions", International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering Vol:8 No: 6, s. 1022-1027, 2014.
31. Sağlam, Ş., "Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Aydınlatma Sisteminin Bulanık Mantık İle Kontrolü", Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı, Doktora Tezi, 2006.
32. İshaque K. ve Salam Z., "A review of maximum power point tracking techniques of PV system for uniform insolation and partial shading condition" Renewable and Sustainable Energy Reviews 19 , s. 475–488, 2013.
33. Kamarzaman A.N., Tan W.C., "A comprehensive review of maximum power point tracking algorithms for photovoltaic systems", Renewable and Sustainable Energy Reviews 37 , s. 585-598, 2014.
34. Şevkli M., "Atölye Tipi Çizelgeleme Problemlerine Parçacık Sürü Optimizasyonu Yaklaşımı ve Genetik Algoritma Modeli ile Karşılaştırılması",

- İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 2005.
35. GHADERI D., “PI Kontrollü Kaskat DA/DA Boost Dönüştürücülerinin Yük Paylaşımı Metodu ile Verim Analizi”, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Erzurum, 2017.
 36. Çolak I., Kabalcı E., “Evirici Topolojileri ve Gelişimleri Üzerine Bir İnceleme”, EMO Elektrik- Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu (ELECO), s. 291-295, 26-30 Kasım 2008.
 37. Özdemir Ş., “Yenilenebilir enerji Kaynakları İçin Tek Aşamalı MPPT Denetimli Çok Seviyeli Eviricinin Gerçekleştirilmesi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 2013.
 38. E. Kabalci and A. Boyar, “Design and Analysis of a Single Phase Flyback Micro Inverter,” 6th International Conference on Control Engineering and Information Technologies (CEIT), Istanbul, Turkey, 2018, s. 595-600.
 39. E. Kabalci and A. Boyar, ‘Design and Analysis of Two-phase Interleaved Boost Converter and H5 Inverter Based Microinverter’, 1st Global Power, Energy and Communication Conference (IEEE GPECOM2019), Cappadocia, Turkey, 2019, s. 122-127.
 40. Kahlane A. E. W. H. , Hassaine L., Kherchi M., “LCL filter design for photovoltaic grid connected systems”, Revue des Energies Renouvelables SIENR, s. 227-232, 2014.
 41. Karafil A., Özbay H., “Bir Fazlı Şebeke Ekileşimli Evirici Tasarımı için LCL Filtre Analizi”, International Conference on Data Science and Applications (ICONDATA), At Yalova, s. 560-574, 2018.

ÖZGEÇMİŞ

Davut AYDOĞAN 1984 yılında Adana’ da doğdu. İlk ve ortaöğretimini Adana ili kozan ilçesinde tamamladı. 2007 yılında KPSS ile memur olarak Afyonkarahisar İl Milli Eğitim Müdürlüğüne atandı. 2009 yılında kazandığı Afyon Kocatepe Meslek Yüksek Okulu Elektrik bölümünden 2011 yılında mezun oldu. 2011 yılında kazandığı Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliğinden 2014 yılında mezun oldu. 2015 yılında kurum içi unvan değişikliği sınavı ile Nevşehir İl Milli Eğitim Müdürlüğüne Elektrik Elektronik Mühendisi olarak atandı. 2016 yılında Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı. Evli ve iki çocuk babası olup halen Nevşehir İl Milli Eğitim Müdürlüğünde Elektrik Elektronik Mühendisi olarak görevine devam etmektedir.