



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



BİR GÜNEŞ SANTRALİNİN ELEKTRİK
ŞEBEKESİNE ENTEGRASYONUNDA GÜÇ
KALİTESİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Nurcan YARAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Nisan-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Nurcan Yazar tarafından hazırlanan “BİR GÜNEŞ SANTRALİNİN ELEKTRİK ŞEBEKESİNE ENTEGRASYONUNDA GÜÇ KALİTESİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması 25/04/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy-çokluğu ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri**Başkan**

Doç.Dr. Nurettin ÇETİNKAYA

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAĞCI

Üye

Doç.Dr.Muciz ÖZCAN

İmza

.....
.....
.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof.Dr.Süleyman Savaş DURDURAN
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.



Nurcan YARAR

Tarih: 25/04/2019.

ÖZET**YÜKSEK LİSANSTEZİ****BİR GÜNEŞ SANTRALİNİN ELEKTRİK ŞEBEKESİNE
ENTEGRASYONUNDA GÜÇ KALİTESİNE ETKİLERİNİN İNCELENMESİ****Nurcan YARAR****Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik - Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı****Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAĞCI****Yıl 2019, Sayfa 95****Jüri****Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAĞCI****Doç. Dr. Muciz ÖZCAN****Doç. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA**

Dünyada sanayileşme ve teknolojik gelişmelerin de etkisiyle hemen her alanda elektrik enerjisine olan ihtiyaç artmaktadır. Artan elektrik ihtiyacını karşılayabilmek amacıyla, şebekeye entegre olan dağıtık üretim santrali sayısı günden güne artış göstermektedir. Dağıtık üretim tesislerinin şebekeye entegrasyonu şebekede güç kalitesi ve şebeke stabilizasyonu üzerinde birçok teknik soruna yol açmaktadır. Aynı zamanda düşük güç kalitesi, tüketicilere rahatsızlık ve mali kayıplar da verebilir. Şebekenin daha verimli çalışabilmesi için bu problemler tespit edilmeli ve çözüm önerileri getirilmelidir.

Bu tez çalışmasında Necmettin Erbakan Üniversitesi bünyesinde bulunan şebekeye bağlantılı 250 KW gücündeki FV sistem Matlab/Simulink ile modellenmiştir. Modellenen sistem üzerinde harmonik analiz ve kısa devre testi yapılmıştır. Aynı zamanda gerçek FV sistem üzerinde güç kalitesi analizleri yapılarak sistemin şebekeye etkileri gözlemlenmiştir. Yapılan analizlerle simülasyon çalışmalarının doğruluğu karşılaştırılmıştır. Simülasyon çalışmalarında harmonik bozulma ile güç arasında ki ilişki tespit edilmiş ve YSA ile bu harmonik bozulmalar tahmin edilmiştir. Elde edilen tahmin sonuçları kullanılarak yapılabilecek güç kalitesi iyileştirmelerinden anlatılmıştır. Simülasyon üzerinde kısa devre arızaları gerçekleştirilerek FV sistemin kısa devreye etkileri incelenmiştir ve FV sistemin şebekenin kısa devre arıza akımını artırdığı gözlemlenmiştir. Farklı ışınım değerlerinde yapılan kısa devre analizleri sonucunda güç ile kısa devre akımı katkısı arasında ki ilişki ortaya konulmuş ve koruma sistemi üzerinde ki etkileri ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fotovoltaik Sistemler, Güç Kalitesi, Matlab/Simulink, Şebeke Entegrasyonu,

ABSTRACT**MS THESIS****INVESTIGATION OF POWER QUALITY EFFECTS TO A SOLAR POWER
PLANT IN ELECTRICAL NETWORK INTEGRATION****Nurcan YARAR****THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING****Advisor: Asst.Prof.Dr. Mustafa YAĞCI****2019, 95 Pages****Jury****Asst. Prof. Dr. Mustafa YAĞCI****Assoc. Prof. Dr. Muciz ÖZCAN****Asst. Prof. Dr. Nurettin ÇETİNKAYA**

Due to industrialization and technological developments in the world, the need for electrical energy is increasing in almost all areas. In order to meet the growing demand for electricity, the number of distributed generation plants integrated into the network is increasing day by day. The integration of distributed generation facilities into the grid leads to many technical problems on power quality and network stability in the network. At the same time, low power quality may cause discomfort and financial losses to consumers. These problems should be identified and solutions should be introduced in order for the network to work more efficiently.

In this study, the 250 kW PV system connected to the grid within the body of Necmettin Erbakan University is modeled with Matlab / Simulink. Harmonic analysis and short circuit test were performed on the modeled system. At the same time, power quality analyzes were performed on the real PV system and the effects of the system on the grid were observed. The accuracy of the simulation studies was compared with the analysis. In the simulation studies, the relationship between harmonic distortion and power was determined and these harmonic distortions were estimated with ANN. Power quality improvements that can be made by using the estimation results are mentioned. Short circuit faults on the simulation were performed and the short-circuit effects of the PV system were examined and it was observed that the PV system increased the short-circuit fault current of the network. As a result of the short circuit analyzes performed at different radiation values, the relationship between power and short circuit current contribution has been revealed and the effects on the protection system have been mentioned.

Keywords: Grid Connected, Matlab/Simulink, Photovoltaic Systems, Power Quality

ÖNSÖZ

Konya Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan bu çalışmamda danışmanlığımı üstlenen, çalışmalarım süresince değerli yardımlarını esirgemeyen saygıdeğer hocam; Dr. Öğr. Üyesi Mustafa YAĞCI'ya teşekkürü bir borç bilirim.

Başta Dr. Öğr. Üyesi Mümtaz MUTLUER olmak üzere Necmettin Erbakan Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği tüm bölüm hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma desteklerinden dolayı çok teşekkür ederim.

Eğitim hayatım boyunca yanımda olan maddi manevi desteğini esirgemeyen, her zaman önce eğitim diyen canım babama, her zaman dualarıyla beni destekleyen canım anneme ve bu zorlu süreçte yanımda olduğu için sevgili eşim Veysel Gökhan YARAR'a ve değerli destekleri için Abdullah - Nurperi YARAR'a çok teşekkür ederim.

Son olarak bu tez çalışmasının ülkemize faydalı olması temennisi ile üzerimde yadsınamaz emeği olan babam Memduh ÇAĞMAN'a ithaf ediyorum.

Nurcan YARAR
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	4
ABSTRACT.....	5
ÖNSÖZ	6
İÇİNDEKİLER.....	7
ŞEKİLLER LİSTESİ	9
TABLolar LİSTESİ	10
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	12
1. GİRİŞ.....	14
1.1. Tezin Amacı.....	14
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	15
2.1. Dağıtık Üretim	19
2.2. Türkiye'nin Enerji Potansiyeli	20
2.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	23
2.3.1 Güneş Enerjisi.....	24
2.3.2. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi.....	24
2.4 Fotovoltaik Piller	26
2.4.1. Fotovoltaik Pillerin Fotovoltaik Panel ve Dizilerin Oluşturulması	28
2.4.2. Fotovoltaik Pilin Elektriksel Bağlılıkları	29
2.5. Fotovoltaik Sistemler	31
2.5.1. Şebekeden Bağımsız FV Sistemler.....	31
2.5.2. Şebekeye Bağlı FV Sistemler	32
2.5.3. Hibrit (Karma) FV Sistemler	32
2.6. DA/DA Dönüştürücüler.....	33
2.6.1. Yükseltici DA/DA Dönüştürücüler	33
2.6.2. Düşürücü DA/DA Dönüştürücüler	34
2.6.3. Yükseltici-Düşürücü DA/DA Dönüştürücüler.....	35
2.6.4. Yükseltici DA/DA Dönüştürücünün Elektriksel Analizi.....	36
2.7. Maksimum Güç Noktası Takibi(MPPT).....	37
2.7.1. Değişir ve Gözle (Perturb & Observe) Algoritması.....	38
2.8. Güç Kalitesi	41
2.8.1. Güç Kalitesi Nedir?	41
2.8.2. Güç Kalitesi Problemleri	41
2.8.3. Gerilim Çökmesi.....	41
2.8.4. Gerilim Yükselmesi	42
2.8.5. Kesinti Olayı	42
2.8.6. Harmonik	42

2.8.7. Güç Sistemlerinde Harmoniğin Etkisi	43
2.9. Kısa Devre	44
2.9.1. Kısa Devre Oluşma Nedenleri	44
2.9.2. Kısa Devre Akımı	44
2.9.3. Sürekli Kısa Devre Akımı.....	46
2.10. Yapay Sinir Ağları	47
2.10.1. Yapay Sinir Ağları Yapısı.....	47
2.10.2 YSA'nın Ana Yapıları.....	48
2.10.3 Çok Katmanlı Ağlar	50
2.10.4 Eğitim Fonksiyonları	51
2.10.5 Performans Fonksiyonları.....	51
2.11. Fluke 435 Ölçüm Cihazı	52
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	55
3.1.Şebeke Bağlantılı 250 kW Fotovoltaik Sistemin Santral Yapısı ve	55
Bileşenleri	55
3.2. Fotovoltaik Panelin Simülasyonu	58
3.2.1 Çevirici Tasarımı	58
3.2.1. Bobin- Kondansatör Değerinin Belirlenmesi	59
3.2.2. Tasarlanan Çeviricinin Simülasyonu	62
3.2.3 Şebeke bağlantılı FV Sistemin Simülasyonu.....	64
3.2.3.1 İnverter Kontrol Tasarımı	67
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	72
4.1. Simülasyon değerleri ve gerçek ölçümlerin karşılaştırılması	72
4.1.1. Gerilim ve Akım Analizi	72
4.1.1. Güç Analizi	74
4.1.2. Harmonik Analizi	75
4.1.3. Kısa Devre Analizi.....	85
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	95

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Enerji kaynaklarının sınıflandırılması	21
Şekil 2.2 2018 yılı sonu itibari ile Dünya genelinde birincil enerji tüketim oranları [25]	22
Şekil 2.3 2017 yılı sonu Türkiye’de üretilen birincil enerjinin yerli kaynaklara göre dağılımı [25]	22
Şekil 2.4 2017 yılı sonu Türkiye yenilenebilir enerji kapasitesi [25].....	24
Şekil 2.5 Türkiye güneş enerji potansiyeli haritası.....	26
Şekil 2.6 P-Tipi ve N-Tipi malzemenin birleşim bölgesi [30]	27
Şekil 2.7 Foton etkisi ile oluşan elektrik akımı [31].....	27
Şekil 2.8 Seri bağlı FV pilin akım-gerilim grafiği [30].....	28
Şekil 2.9 Paralel bağlı FV pilin akım-gerilim grafiği [30]	28
Şekil 2.10Seri-Paralel bağlı FV pilin akım-gerilim grafiği [30]	29
Şekil 2.11Standart koşullar altında FV pilin akım-gerilim grafiği [30]	29
Şekil 2.12 Farklı ışınım koşullarında FV pilin akım-gerilim(a) ve güç-gerilim grafikleri	30
Şekil 2.13 Farklı sıcaklık koşullarında pilin FV akım-gerilim(a) ve güç-gerilim grafikleri [2].....	30
Şekil 2.14 Şebekeden bağımsız FV sistemin şeması [30]	31
Şekil 2.15 Şebekeye bağlı FV sistemin şeması	32
Şekil 2.16 Hibrit FV sistemin bağlantı şeması	33
Şekil 2.17 Yükseltici DA/DA çeviricinin devresi	34
Şekil 2.18 Düşürücü DA/DA çeviricinin devresi	35
Şekil 2.19 Yükseltici-Düşürücü DA/DA çeviricinin devresi	35
Şekil 2.20 Yükseltici DA/DA çeviricinin (a) güç anahtarı iletimde (b) kesimde.....	36
Şekil 2.21Yükseltici DA/DA çeviricinin bobin ve kapasitör akım-gerilim değişim grafiği.....	37
Şekil 2.22 Yükseltici DA/DA çeviricinin bobin ve kapasitör akım-gerilim değişim grafiği.....	38
Şekil 2.23 Değiştir-Gözle algoritması	40
Şekil 2.24 (a) Sinüzoidal (b) Bozulmuş sinüzoidal	43
Şekil 2.25 Jeneratörden uzak meydana gelen kısa devre akımının grafiği.....	45
Şekil 2.26 Kısa devre akımının değişimi.....	46
Şekil 2.27 Nöronun matematiksel modeli [53].....	47
Şekil 2.28 İleri beslemeli YSA yapısı	49
Şekil 2.29 Geri beslemeli YSA yapısı [53]	49
Şekil 2.30 Hata-Düzeltilme öğrenmesi (Error-Correction Learning) [55]	50
Şekil 2.31 Fluke 435 cihazının görüntüsü	52
Şekil 2.32 Cihazın scope ekranı	53
Şekil 3.1 250kW FV santral sahası.....	55
Şekil 3.2. 250kW FV santralin tek hat şeması.....	56
Şekil 3.3. 250kW FV santralin yerleşim planı.....	57
Şekil 3.4 Bobin akımının zamana bağlı değişimi [2]	60
Şekil 3.5 Kondansatör akımının zamana bağlı değişimi [2].....	61
Şekil 3.6 a)Yarıiletken güç anahtarının akım-zaman değişimi, b) Diyot akım-zaman değişimi [2]	61
Şekil 3.7 MPPT kontrollü DA/DA çevirici devresi.....	63
Şekil3.8 MPPT Control bloğu parametreleri	63

Şekil 3.9 DA/DA çevirici devresinin DA çıkış gerilimi grafiği	64
Şekil 3. 11 Panelin standart test koşulları altındaki değerleri.....	66
Şekil 3. 12 Simülasyon ortamında ki FV panelin standart test koşullarında ki akım gerilim grafiği	66
Şekil3.13 Matlab/Simulink VSC kontrol bloğunun iç yapısı	67
Şekil 3.14 Matlab/Simulink endüktans bloğu.....	68
Şekil 3.15 Matlab/Simulink kondansatör bloğu	68
Şekil 3.16 250 kVA 31.5/0.4 kV trafo modeli.....	70
Şekil 3.17 Generatör modeli	71
Şekil 3.18 Yük modeli	71
Şekil 4.1 Matlab/Simulink A-fazı gerilim ölçümü	72
Şekil 4.2 Fluke ölçüm cihazı A-fazi efektif gerilim ölçümü	73
Şekil 4.3 Matlab/Simulink A-fazı akım ölçümü.....	74
Şekil 4.4 Fluke ölçüm cihazı A-fazi efektif akım ölçümü.....	74
Şekil 4.5 Matlab/ Simulink aktif güç ölçümü	75
Şekil 4.6 Fluke ölçüm cihazı aktif güç ölçümü	75
Şekil 4.7 Fluke ölçüm cihazı gerilim harmonik analizi.....	76
Şekil 4.8 Matlab/Simulink AG gerilim harmonik analizi.....	76
Şekil 4.9 Matlab/Simulink AG akım harmonik analizi	77
Şekil 4.10 Fluke ölçüm cihazı akım harmonik analizi	77
Şekil 4.11 Matlab/Simulink güç-ışınım grafiği	78
Şekil 4.12 Matlab/Simulink harmonik analizi	79
Şekil 4.13 Matlab/Simulink harmonik analizi (t=1.5 için, 5 periyot).....	80
Şekil 4.14 Matlab/Simulink harmonik analizi (t=2 için, 5 periyot).....	81
Şekil 4.15 Matlab/Simulink harmonik analizi (t=2.5 için, 5 periyot).....	82
Şekil 4.16 Matlab/Simulink harmonik analizi (t=3 için, 5 periyot).....	83
Şekil 4.17 YSA Input ve Output verileri	84
Şekil 4.18 YSA Input verilerinin tranzpozu	85
Şekil 4.19 YSA Training, Validation, Test grafiği.....	85
Şekil 4.20 Faz-Toprak arızası FV panel bağlı iken	86
Şekil 4.21 Faz-Toprak arızası FV panel bağlı değil iken	86
Şekil 4.22 3-Faz kısa devre analizi FV panel bağlı iken	87
Şekil 4.23 3-Faz kısa devre analizi FV panel bağlı değil iken	87

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2. 1 Ülkelerin 2017 yenilenebilir enerji üretimi (GW)	23
Tablo 2. 2 Dünya güneş enerji sistemleri üretim kapasiteleri [17]	25
Tablo 2. 3 Değiştir-Gözle algoritmasının adım algoritması.....	39
Tablo 3.1. AS-P60 250-275 W FV panel elektriksel değerleri	58
Tablo 3.2. İnvörtör özellikleri	58
Tablo 3.3. Yükseltici çeviricinin FV sistemden gelen parametreleri.....	59
Tablo 3.4 Hesaplanan parametre	62
Tablo 4.1 TSEN 50160 gerilim standartı	73
Tablo 4.2 IEEE 519 – 2014 gerilim harmoniği limit değerleri	76
Tablo 4.3 IEEE 519 – 2014 akım harmoniği limit değerleri.....	77
Tablo 4.4 FV çıkış gücü ve THD	83

Tablo 4.5 Faz – Toprak kısa devresi analiz sonuçları	86
Tablo 4.6 3-Faz kısa devresi analiz sonuçları	88



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

E_y : Şebeke gerilimi

I_k : Sürekli kısa devre akımı

I_p : Darbe kısa devre akımı

I''_k : Başlangıç kısa devre akımı

I_{yk} : Yük

X_d : Transformatör kısa devre kaçak reaktansı

Z_{seb} : Şebeke empedansı

Z_{yk} : Yük empedansı

I_n : Nominal akım

V_c : DA/DA çevirici kapasitör gerilimi

I_L : DA/DA çevirici bobin akımı

V_o : DA/DA çevirici çıkış gerilimi

I_o : DA/DA çevirici çıkış akımı

I_g : DA/DA çevirici giriş akımı

V_g : DA/DA çevirici giriş gerilimi

I_{Lmax} : DA/DA çevirici bobin maksimum akımı

I_{Lmin} : DA/DA çevirici bobin minimum akımı

V_{gmin} : DA/DA çevirici giriş minimum gerilimi

f_s : Anahtarlama frekansı

I_{omax} : DA/DA çevirici çıkış maksimum akımı

Kısaltmalar

FV: Fotovoltaik Panel

GES: Güneş Enerji Sistemi

DA: Doğru Akım

AA: Alternatif Akım

DÜ: Dağıtık Üretim

MPPT: Maksimum Güç Noktası Takibi

YSA: Yapay Sinir Ağları

THD: Toplam Harmonik Bozulma

PCC: Ortak Bağlantı Noktası



1. GİRİŞ

1.1. Tezin Amacı

Geçmişten günümüze enerji bütün ülkeleri yakından ilgilendiren, ülkelerin gelişmişlik düzeyini gösteren önemli bir konu olmuştur. Ülkeler için enerji kaynakları yenilemeyen ve yenilebilir enerji kaynakları olarak ikiye ayrılır. Yenilenmeyen enerji kaynakları fosil kaynaklı enerjiler olan kömür, petrol, doğal gaz ve nükleer enerjidir. Günümüzde ülkeler enerji kaynakları içerisinde yoğunlukla fosil yakıtlar kullanmaktadır. Ancak, gelecekte fosil yakıtların rezervlerinin tükenmesi ve çevreye bıraktıkları sera gazı salınımları ciddi problemler oluşturmaktadır. Bu nedenlere bağlı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi tüm dünyada artmıştır.

Ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar gün geçtikçe artmaktadır. Konya ili günlük/yıllık güneşlenme süresi yüksek olan illerimizden biridir. Bu sebeple güneş enerjisinden elektrik elde etmede verimli bir bölgedir. Enerji Bakanlığı tarafından da Karapınar ilçesi enerji teşvik üssü olarak ilan edilmiş ve özel sektör tarafından yatırımlara başlanmıştır. Necmettin Erbakan Üniversitesi Köyceğiz Kampüsüne de 250 kW inverter çıkışlı şebeke bağlantılı güneş enerji santrali aktif şekilde çalışmaktadır.

Bu şekilde kurulan şebeke bağlantılı GES (Güneş Enerji Sistemi) ve benzeri sistemler dağıtık üretim sistemi olarak adlandırılmaktadır. Dağıtık üretim sistemlerinin şebekeye entegrasyonunda güç kalitesi kavramı öne çıkmaktadır ve belirleyici rol oynamaktadır. Dağıtık üretim santralleri entegrasyonlarında gerilim dalgalanması, gerilim kırışması, harmonik bozulma, kısa devre akımı seviyesinin artması, arıza esnasındaki/sonrasındaki davranışları, şebeke gerilim/frekans değişimleri gibi problemlerle karşılaşmaktadır.

Yapılacak olan tez çalışmasında bu entegrasyon problemleri analiz edilecektir ve çözüm önerileri getirilmeye çalışılacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Ali Koç, Hüseyin Yağlı ve arkadaşları enerji kaynaklarının Dünya ve Türkiye için değerlendirilmesini yapmışlardır. Bu enerji kaynaklarının küresel rezerv miktarları ve buna bağlı olarak kalan ömürleri, üretim ve tüketim değerlerini belirtip, bu kaynaklardan elde edilen enerjinin üretim oranları ile tüketim oranları hakkında karşılaştırmalar yaparak, kurulu güç miktarları hakkında bilgi vermişlerdir. Dünya geneli ve ülkeler arasında, yenilenemez (kömür, doğalgaz, uranyum toryum, petrol) ve yenilenebilir enerji kaynakları (biyokütle enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrolik enerji, güneş enerjisi, jeotermal enerji) bakımından karşılaştırmalar yapmışlardır [1].

Metin Tüysüz, fotovoltaik (FV) panel ile sabit mıknatıslı senkron generatör temelli rüzgar türbini kaynaklarından oluşan şebeke bağlantılı hibrit güç sistemini modellemiştir. Hibrit enerji sisteminde, güneş ve rüzgâr enerjisinin ortak bağlı olduğu doğru akım (DA) bara gerilimini sabit tutmak için arttıran çeviricinin tasarımını yapmış ve şebeke bağlantılı olarak sistemi Matlab/Simulink ortamında modellemiştir [2].

Aleksander Reznik, Ahmed Al-Durrave arkadaşları güç dönüştürücülerinin kullanılması, rüzgâr, güneş enerjisi veya hatta hidrojen bazlı bir yakıt hücresi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik şebekesine elektrik aktarımını en üst düzeye çıkarmak için çok önemli olduğuna değinmişlerdir. Bir LCL filtresi genellikle, inverter tarafından üretilen harmonikleri filtre etmek için inverteri şebekeye bağlamak için kullanıldığından bahsetmişlerdir. Çalışmalarında, şebekeye bağlı inverterler için bir LCL filtresinin tasarım metodolojisi ve harmoniklerin nasıl azaltılacağına dair kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Ortaya koymuş oldukları teknikler, küçük ölçekli yenilenebilir enerji dönüşüm sistemlerinde kullanılabilir ve hatta orta ve büyük ölçekli ızgara bağlantılı sistemler için de kullanılabilir [3].

Alparslan TÜFEKÇİ; Yenilenebilir enerji kaynaklarının düzensiz üretim rejiminden dolayı yaşanan sıkıntıları incelemiştir. (Güneş enerji sistemlerinde güneş ışınlarının sürekli olmayışı ve ısı... gibi). Yenilenebilir enerji sistemlerinde bozuk ve harmonikli enerji üretimi sorununa yol açmaktadır. Güneş enerji sistemi Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Elde edilen güneş enerjisi LC filtrelerle harmonik etkisi azaltılmıştır ve kabul edilebilir seviyelere düşürülmüştür [4].

Kow Ken Weng, Wong Yee Wan ve arkadaşları, FV şebekeye bağlı bir güç sisteminde potansiyel güç kalitesi sorunlarını incelemiştir. Gerçek hayatta ki bir güç dağıtım sistemi ilk önce PSCAD'de modellemiştir ve daha sonra şebeke bağlantılı güç sistemi oluşturmak için FV bir sistemle birleştirmiştir. Şebeke bağlantılı güç sistemiyle olası güç kalitesi sorunlarını belirlemek için farklı ışınlım ve sıcaklık senaryoları üreterek analizler yapmışlardır. Simülasyon sonuçları, şebeke bağlantılı güç sisteminin ani akım, güç dalgalanması, frekans dalgalanması, harmonik bozulma ve düşük güç faktörü gibi çeşitli güç kalitesi sorunları yaşadığını göstermiştir [5].

Ioannis D. Bouloumpasis, Panagis N. Vovos ve arkadaşları fotovoltaik diziler tarafından sağlanan bir güç dönüştürücünün harmonik bozulma etkisini incelemiştir. Buck-boost çeviriciden oluşan ve tam köprülü inverterden oluşan bir güç dönüştürücü ile çalışmışlardır. FV dizilerin çıkışında ki dalgalanmalar harmonik bozulma etki etmektedir ve doğrusal olmayan yükler de harmonik bozulma şiddetini artırmaktadır. Çeviricinin DA girişinde ki ve dönüştürücünün alternatif akım (AA) çıkışındaki kapasitörün kullanılması önlenerek harmonik kompanzasyon sağlamışlardır [6].

Yang Du, Dylan Dah-Chuan Lu ve arkadaşları FV inverterlerden kaynaklanan harmonik bozulma hakkında çalışmalar yapmışlardır. FV inverterler düşük ışınlım koşullarında çalıştırıldığında yüksek toplam harmonik bozulmalar (THD) meydana geldiğini söylemişlerdir. Harmonik oluşum sürecini analiz etmek için geleneksel kontrol yapısında bir modelden bahsetmişlerdir. Akım harmoniklerinin nedenleri özetlemiş ve akım harmoniği ile üretilen güç değerini analiz etmişlerdir. Gerçek FV sistemde ölçüm sonuçlarını elde etmişlerdir. Özellikle iki aşamalı invertörler için, DC-link voltaj dalgalanmasını geleneksel akım kontrol döngüsü modeline dahil edilmesiyle periyodik olarak değişen yeni bir model önermişlerdir [7].

Bong Yau, Tao Yu ve arkadaşları, şebeke bağlantılı FV sistemin farklı ışınlım koşulları altında incremental conductance algortiması ile çalışmalarını incelemiştir. FV inverterlerin doğrusal olmayışı ve atmosferik koşulların belirsizliğinin sisteme güç kalitesi etkilerini incelemiştir. FV inverterler ve maksimum güç noktası takip sistemleri için güç kalitesini artırmak farklı kontrol algoritmaları geliştirmişlerdir [8].

Jürgen Schlabbach, Lutz Kammer çalışmalarında farklı ışınlım koşulları altında FV sistemi harmonik akımını analiz etmişlerdir. Yapılan analizde küresel ışınlım verisi ve sıcaklık verileri kullanılarak, aynı koşullarda ki FV sisteme uygulamışlardır. Harmonik akım farklı üretim koşullarında farklı değerler aldığını gözlemlemişlerdir. En büyük harmonik akım değerini ise düşük üretimin olduğu kış aylarında gözlemlemişlerdir. Bu sonucunda FV dönüştürücülerin tasarımında tam yükte çalışmaları göze alınarak yapılmasından kaynaklandığını belirtmişlerdir [9].

Jingkai Wu, Bin Cao, Wei Lin çalışmalarında fotovoltaik enerjinin temiz bir enerji kaynağı olduğundan ancak güneş enerjisinin kararsızlığından ve dalgalılığından dolayı güç kalitesi bozulmalarına yol açtığından bahsetmişlerdir. FV güç kaynağı ile iletim dağıtım sisteminin empedans dönüşümünü yaparak sistem üzerinde ki harmonik akımı etkisini analiz etmişlerdir. FV sistemin kapasitesinin harmonik etkiyi de değiştirdiğini gözlemlemişlerdir [10].

Atallah Ouiaia, Lakhdar Mokrania ve arkadaşları güç kalitesinin modern güç sistemlerinde önemli bir parametre olduğunu vurgulamışlardır. Güç sistemlerinde FV sistem tam kapasitede çalışırken aktif güç üretimini, reaktif güç kompanzasyonu ve güç kalitesini yönetmeyi hedefleyen bir yeni bir strateji sunmuşlardır. Önerilen kontrol algoritması, bir DA dönüştürücünün ve invertörün katmanlarından şebekeye bağlı büyük güçte bir FV'ye uygulamışlardır. Enerji kalitesinin iyileştirilmesinde aktif enerji üretimine öncelik vermişlerdir. Ortak bağlantı noktasına (PCC) bağlanan lineer olmayan yük tarafından emilen akım harmoniklerinin azaltılması üzerinde çalışmalar yapmışlardır [11].

Sebastijan Seme, Niko Lukac ve arkadaşları dağıtık kaynak üretiminin elektrik dağıtım ağı üzerindeki etkisini analiz etmişlerdir. FV sistemler EN 50160 standardı tarafından belirlenen dağıtım şebekelerinde voltaj kalitesini etkileyebilmektedir. Uygun voltaj profilinin sağlanmasının, özellikle büyük voltaj düşüşleri nedeniyle önemli olduğunu vurgulamışlardır. Yüksek kısa devre empedanslı ve düşük kısa devre gücüne sahip bir ağdaki harmonik bozulma seviyesinin özellikle düşük güçlerde sorun olabileceğini tespit etmişlerdir. Güç kalitesinin analizi, var olan dört FV sistem ve dağıtım şebekesi üzerindeki iki trafo istasyonunda gerçek ölçümler yapılar THD sonuçları elde edilmiştir [12].

T.S. Sidhu ve D. Bejmert çalışmalarında büyük ölçekli FV enerji santralinden gelen akım katkısı ve bu tür dağıtık üretimlerle ilgili koruma konularını ele almışlardır. Söz konusu problemler, şebekenin çeşitli çalışma koşullarının ve FV ışınım seviyelerinin dikkate alındığı 50 MW şebekeye bağlı FV enerji santralini PSCAD modelinde incelenmişlerdir. Şebekeye bağlı FV enerji santralinin kısa devre arıza katkısı tartışılmıştır ve dağıtım şebekesine bağlı FV santralinin modelini sunmuşlardır. Bu modeli kullanarak, şebekenin arıza katkısını incelemişlerdir. Birden fazla senaryo üreterek, büyük ölçekli FV santralleri için bile arıza katkılarını incelemişlerdir. Kısa devre akım seviyelerinin arttığını gözlemlemişlerdir. FV sistemlerin kısa devre katkısı ve koruma koordinasyonları arasında ki ilişkiyi incelemişlerdir [13].

Ahmet Kaysal, çalışmasında 36 MVA'lık yenilenebilir enerji santrali modellemiş ve bu çalışmaları Matlab /Simulink ortamında gerçekleştirmiştir. Modellemenin ardından model üzerinde faz-faz, faz- toprak, iki faz-toprak ve 3 faz kısa devre arızaları gerçekleştirmiştir. Simülasyon sonuçları ve gerçek sonuçlar kıyaslamıştır [14].

A.Bracale, P. Caramia, G. Carpenilli ve arkadaşları, bir voltaj dönüştürücüsü içeren üç fazlı bir FV sisteminin arıza katkısına yeni bir analitik modeli önermişlerdir. Önerilen bu yeni model ile, FV sistem içeren dengeli aktif güç şebekelerinde ki klasik sabit durumlu kısa devre hatalarını analiz ederek böylelikle koruma cihazlarının kesme kapasitelerine etkilerini incelemişlerdir. Model tasarlanırken, çevresel koşulları ve inverter akım limitlerini ve farklı tipteki inverter kontrol sistemlerinin ayrıntılı bir temsili ile reaktif güç enjeksiyonlarının etkilerini dikkate almışlardır [15].

Oktay YILMAZ, çalışmasında kısa devre hesaplamalarında geçen büyüklükler ile şebeke elemanlarının empedans değerlerinin hesaplama yöntemleri gösterilmiştir. Kısa devre hesaplamaları için; Monte Carlo, Analitik, Simetrik Bileşenler, Kısa Devre Gücü yöntemlerini incelemiştir. Tunceli ili Organize Sanayii Bölgesi iletim hattı için; gerçek hat parametreleri kullanılmak sureti ile kısa devre gücü yöntemi ile yapılan hesaplamalar sonucunda kısa devre koruma elemanlarının seçimini yapmıştır [16].

2.1. Dağıtık Üretim

Geleneksel olarak elektrik nükleer, hidroelektrik, kömür yakıtlı termik santral tarafından üretilir ve iletim hatları üzerinden iletilir. 1990'lardan sonra elektrik üretim sisteminde yeni nesil denilene bilecek küçük güçte kaynaklar doğrudan dağıtım hatlarına bağlanır. Bu yeni nesil elektrik üretimine dağıtık üretim (DÜ) denilmektedir [17]. Pistonlu motorlar, yanma türbinleri, mikro türbinler, yakıt hücreleri, FV 3 sistemler, dalgakıranlar ve jeotermal kaynaklar DÜ kaynaklarına örnek gösterilebilir.

DÜ, tüketiciler, tedarikçiler ve toplum için birçok faydaya sahiptir. DÜ'nin birincil faydası, enerjinin üretildiği yerde tüketilmesidir ve bu hat kayıplarının azalmasına yol açar. 50 MW altındaki kapasiteye sahip küçük üretici kaynaklar, dağıtım seviyesinde birbirine bağlanır. Mevcut literatürde DÜ tanımlaması için kabul edilecek tek bir tutarlı tanım yoktur. Uluslararası Büyük Elektrik Sistemleri Konseyi (CIGRE) Çalışma Grubu 37-23 DG üretiminin özelliklerini şu şekilde tanımlar; [18]

- Merkezi Olarak Planlanmamış
- Genellikle Dağıtım Şebekesine Bağlı
- 50 - 100 MW 'tan küçük

DÜ enerji kaynaklarına yapılan yatırımlar santral santrallerine göre daha küçüktür. DÜ, müşterilerin kendi küçük ölçekli tesislerini kurmalarını sağlar, kendi ihtiyaçlarını karşılamak hatta elektrik şebekesine elektrik satar. DÜ'nin cazip faydaları birçok tüketicinin dikkatini çekmekte olup daha kapsamlı ve popüler olması beklenilmektedir. Büyük önem kazanan ve güç kalitesiyle yakından ilgili böyle bir konu ayrıntılı bir şekilde incelenmelidir [19].

DÜ'de hat kayıplarının azalmasına ek olarak birçok faydası vardır. Merkezi bir elektrik santralının geleneksel sistemlerde yıkılması durumunda, birçok müşteri elektrik yetersizliği ile karşı karşıya kalmaktadır. Daha önce de belirtildiği gibi, DÜ tüketicilerin kendi elektriğini üretmelerine ve hatta şebekeye satmalarına olanak sağlar, tüketicilerin elektrik faturalarını azaltır. Kaynakların tüketiciye yakın konumlandırılması, iletim sistemlerine yapılacak yatırımları azaltır. DÜ çevre dostu olarak kabul edilebilir. Kaynakların çoğunluğu yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. DÜ kaynaklarının enerji üretimi üzerindeki payları arttıkça, fosil yakıt bazlı sistemlerin payları azalmaktadır.

DÜ kaynaklarının kullanılması, kesin olarak sistemde güç kalitesine etkileri olacaktır. DÜ kaynaklarının güç kalitesine etkileri hakkında analizler ve araştırmalar yürütülmektedir. Güç kalitesine etki eden durumlardan biri de bu kaynakların dağıtım

sistemlerinde istenmeyen voltaj değişimlerine neden olduğudur. IEEE 1547 Dağıtılmış kaynakların elektrik güç sistemine bağlanması için standart, bir dağıtım sistemindeki izin verilen maksimum varyasyon ± 10 , düşük voltajlı kısımda ± 5 ve dağıtım sisteminin orta gerilim kısmı için ± 5 olacağını belirtir [19].

Elektrik tesisatında enerji kesildiğinde adalaşma meydana gelir ancak DÜ jeneratörü şebekeye yakın olan tüketiciye güç vermeye devam eder [20]. DÜ kaynakları şebekenin sağladığı düzeyde voltaj, frekans ve harmonik sağlayamadığı için güç kalitesi üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir [21][22]. Çalışmalar az sayıda DÜ kaynağının harmonik bozulma sınırlarının aşılmasına neden olabileceğini göstermiştir [23].

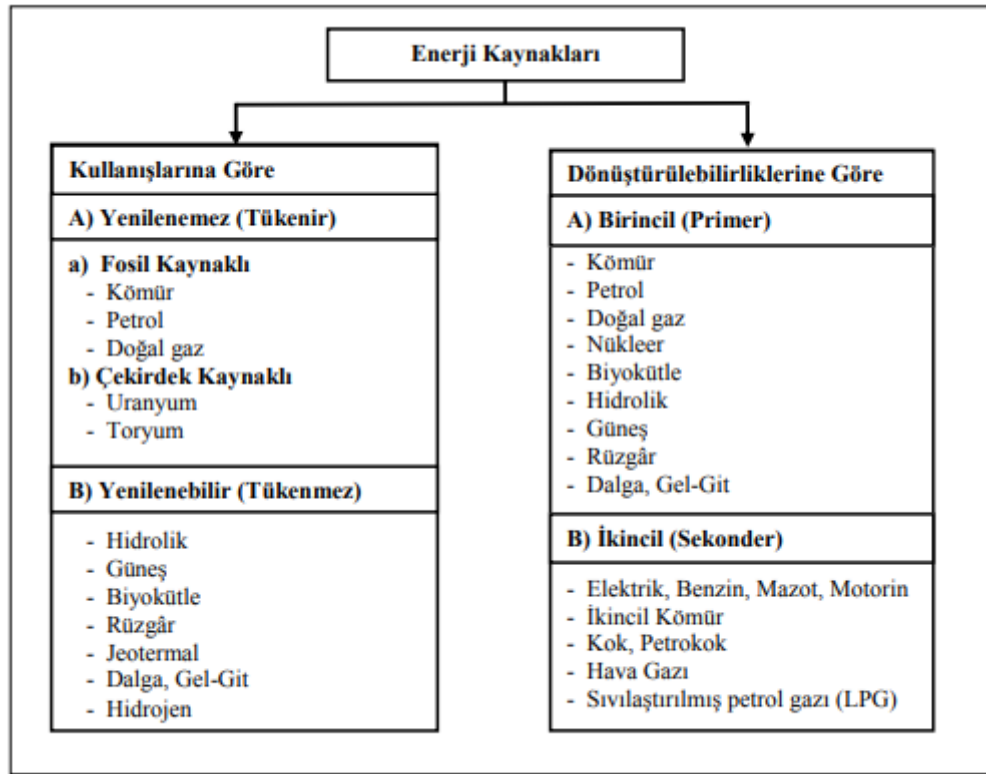
DÜ kaynaklarının dağıtım şebekesindeki etkileri, kaynak türü, sistemdeki DÜ kaynaklarının sayısı, kaynakların birbirleriyle ve son kullanıcı ile olan uzaklıkları, çevresel (özellikle rüzgâr santralleri, güneş santralleri için) bazı koşullara göre farklılık göstermektedir. DÜ kaynaklarının dağıtım ağları üzerindeki etkilerinin önemli bir sonucu, izleme sistemlerinin DÜ'nin popülerliği arttıkça önem kazanmasıdır. Bir enerji sistemindeki güç kalitesi olaylarını, üretim kaynaklarının sayısı ile gözlemlemek için, mühendislerin her zamankinden daha fazla sayıda güç kalitesi izleme cihazlarına ve sistemlerine ihtiyacı vardır.

2.2. Türkiye'nin Enerji Potansiyeli

Enerji ülkelerin gelişmişlik düzeyini gösteren en önemli faktörlerdendir. Artan dünya nüfusuyla beraber günümüz dünyasında ki teknolojik alanlarda ki gelişmeler ve değişimlerle enerjiye olan talep artmaktadır. Hayatımızın her alanında olan enerji üretimde geleneksel yöntemlerle fosil yakıtlar (kömür, petrol vb.) kullanırken, yeni dönemde daha çok yenilenebilir (rüzgâr, güneş, hidrolik vb.) enerji kaynakları kullanılmaya başlanmıştır.

Enerji kaynakları kullanım biçimlerine göre ve dönüştürülebildiğine göre iki ana başlık altında toplanabilmektedir. Yenilenebilir ve yenilenemez olmak üzere kullanım biçimleri ikiye ayrılırken, birincil enerji kaynakları ve ikincil enerji kaynakları olarak dönüştürülebilirliklerine göre de ikiye ayrılmaktadır. Değişime uğramayan dışarıdan müdahale edilemeyen enerji kaynaklarına birincil enerji kaynakları denilmektedir. Birincil enerji kaynaklarına müdahale ile farklı bir enerji türüne dönüştürülmesiyle oluşan enerjiye ikincil enerji kaynakları denilmektedir. Yenilenemez enerji kaynakları sınırlı rezervi olan ve ilerleyen dönemlerde tükeneceği tahmin edilen enerji kaynağını

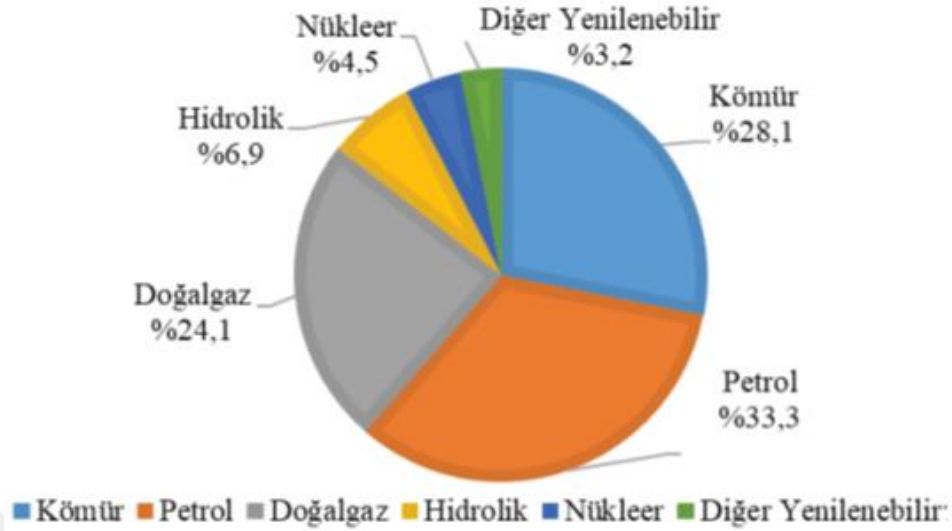
temsil etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları dışa bağımlılığı azaltmaktadır ve küresel ısınmanın baş etmenlerinden biri olan karbon salınımını azaltmaktadır [24].



Şekil 2.1 Enerji kaynaklarının sınıflandırılması

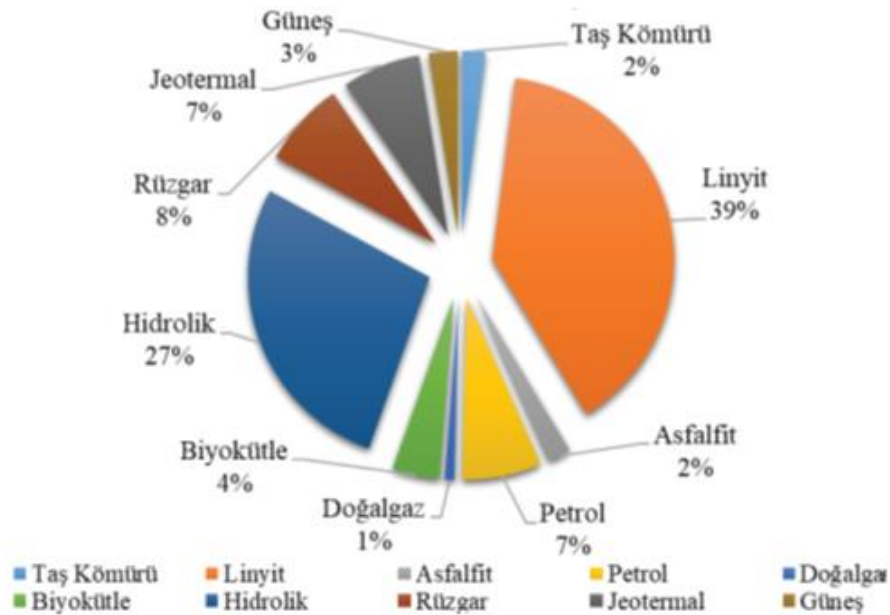
2018 yılı sonu küresel enerji üretiminin büyük kısmı fosil kaynaklı yakıtlardan elde edilmektedir ve yenilenebilir enerji kaynaklardan enerji üretimi yıllara göre artmaktadır. Küresel olarak enerji tüketimi incelendiğinde 2018 yılsonu enerji tüketiminde Türkiye %1'lik orana sahiptir. 2018 yılı dünya enerji kaynakları kullanım oranları Şekil2,2' de gösterildiği gibi 33,3'lük oranla petrol , %24,1'lik oranla doğal gaz,%28,1'lik oranla kömür olarak toplamda %85,5'lik oranla fosil yakıtlardan oluşmaktadır. Geri kalan payın %6,9'lık kısmı hidrolik, %4,5'lik kısmı nükleer ve %3,2'lik kısmı diğer yenilenebilir enerji kaynakları oluşturmaktadır.

Küresel Kaynaklar Bazında Birincil Enerji Tüketim Oranları



Şekil 2.2 2018 yılı sonu itibari ile Dünya genelinde birincil enerji tüketim oranları [25]

2017 yılı Türkiye enerji kaynakları kullanım oranları Şekil 2.3’de gösterildiği gibi %39’luk oranla linyit, %27’lik oranla hidrolik, %8’lik oranla rüzgar takip etmektedir. 2011 yılı Türkiye birincil enerji kaynakları %14 hidrolik, %1 rüzgâr, %50 linyit iken 2016 yılı %27 hidrolik ve %8 rüzgar oranları ile büyük bir artışın olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 2.3 2017 yılı sonu Türkiye’de üretilen birincil enerjinin yerli kaynaklara göre dağılımı [25]

2.3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

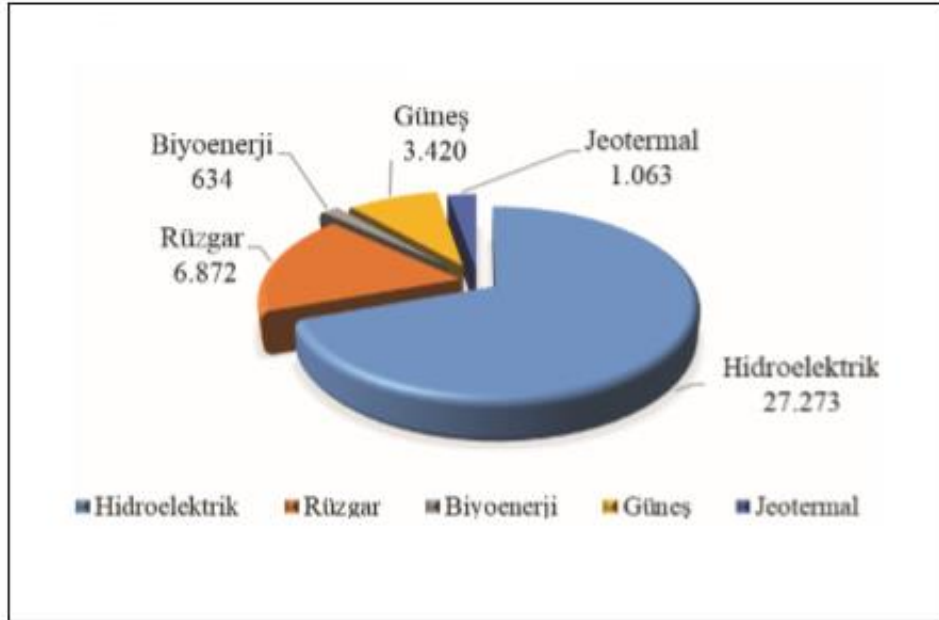
IEA(2013) yenilenebilir enerjiyi, tüketildiğinden daha hızlı bir şekilde yenilenen doğal süreçlerden (Örneğin: güneş ışığı ve rüzgâr)türetilen enerji olarak tanımlar. Yenilebilir enerji kaynakları sürdürülebilir, çevreyi dostu olan kaynaklardır. Yenilenebilir enerji kaynakları güneş enerjisi, hidrolik enerji, rüzgâr enerjisi, dalga enerjisi, biokütle enerjisi olarak örneklendirilebilir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisinin 2017 yılı sonu değerleri, tablo 'da gösterilmektedir. Tablo2.1 incelendiğinde 647 GW enerji miktarı ile yenilenebilir kaynaklardan en çok fayda sağlayan ülke Çin'dir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından en fazla faydalanan Çin, 313 GW'lık oranla hidrolik enerji, 188 GW 'lık oranda rüzgâr enerjisi ve 131 GW 'lık oranla güneş enerjisi ile de en başta gelen ülkedir.16.7 GW'lık oranla biyoyakıttan elde edilen enerji miktarında da ABD başta gelmektedir [1]. Dünyanın 2011 ve 2017 yılı yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik kapasiteleri karşılaştırıldığında; 2011 yılında 1360 GW enerji üretilirken Dünya'da 2017 yılında 2235 GW'a yükselmiştir. Benzer şekilde 294 GW enerji üreten Avrupa 2017 yılında 447.2 GW'a ve 19 GW enerji üreten Türkiye 2017 yılında 39.11 GW 'a yükseltmiştir. Son yıllarda oluşan artış net bir şekilde gözlemlenmektedir [26].

Tablo 2. 1 Ülkelerin 2017 yenilenebilir enerji üretimi (GW)

	Hidrolik	Rüzgâr	Biyoenerji	Güneş	Güneş Termal	Jeotermal	Toplam
Çin	313	188	15	131	0	0	647
ABD	80	89	16.7	51	1.7	3.6	242
Hindistan	47	33	9.5	18.3	0.2	0	108
Almanya	5.6	56	8	42	0	0	111.6
Türkiye	27.2	6.8	0.63	3.42	0	1.06	39.11
Avrupa	127	169	40	108	2.3	0.9	447.2
Dünya	1114	539	122	442	4.9	13.5	2235.4

2017 yılı Türkiye toplam elektrik enerjisinin %32'si yenilebilir enerji kaynaklarından elde edilip, bu değer 39.11 GW'dır. Şekil 2.4'de gösterildiği gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin büyük çoğunluğu hidroelektrik enerjiden elde edilmektedir. Türkiye son 15 yıl içerisinde yenilebilir enerji üretiminde

ciddi büyümeler gerçekleştirmiştir.2002 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisi 34 milyar kWh iken 2017 yılında bu miktar neredeyse iki katı bir yükselişle 69.4 milyar kWh'e yükselmiştir.



Şekil 2.4 2017 yılı sonu Türkiye yenilenebilir enerji kapasitesi [25]

2.3.1 Güneş Enerjisi

Birçok fosil enerji kaynaklarının temelini oluşturan güneş; dünya yüzeyine çok büyük miktarla da enerjiyi güneş ışınımı olarak gönderir. Güneşten Dünya yüzeyine gelen enerji hava kirliliği oksijen ve karbondioksit tarafından emilme gibi birçok nedenden dolayı yeryüzüne ulaşan ışınım miktarı toplam güneş ışınımının yarısı kadardır [27]. Güneş enerjisinin atmosfer dışında ki ortalama 1370W/m² değerinde olmasına rağmen yeryüzüne erişen miktar 0-1000W/m²'dir. Güneş enerjisinin dünyaya ulaşan kısmının çok az bir miktarı bile dünya üzerinde ki bütün enerji ihtiyacından daha fazladır. Güneş, bütün enerjilerin üretimine (nükleer enerji üretimleri hariç) doğrudan veya dolaylı olarak etki etmektedir.

2.3.2. Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi

Güneş enerjisinden elde edilen enerji temelde üç bölüme ayrılmaktadır. Güneş enerjisiyle düşük sıcaklıkların elde edilmesi, dolaylı olarak elektrik elde edilmesi ve

doğrudan elektrik elde edilmesidir. Düşük sıcaklıklarda enerji elde edilmesi tamamen güneşin ısıtıcı etkisinden faydalanmaktır. Dolaylı olarak elektrik elde edilmesi en bilinen örneği yoğunlaştırıcı sistemler kullanılarak güneş ışınlarının odaklanması ile buhar oluşturmaktır. Elektrik enerjisinin güneş enerjisinden doğrudan üretilmesi FV paneller aracılığıyla yapılmaktadır. FV paneller iç yapısındaki yarı iletken malzemeden kaynaklı; güneş ışınımı ile elektron hareketinin sağlanmasıyla elektriksel akım ve gerilim elde edilir.

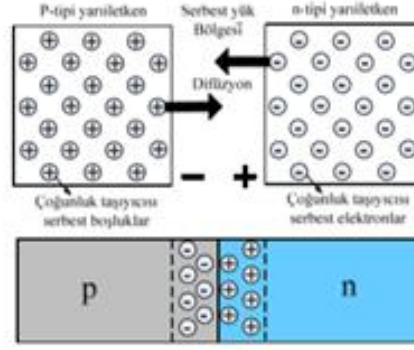
Dünya üzerinde güneş enerjisi uygulamalarından enerji üretimine yoğun bir ilgi bulunmaktadır ve Çin ve Amerika Dünya genelinde ilk sıralarda yer almaktadır. Yenilebilir enerji kaynaklarından güneş enerjisine Türkiye de yoğun ilgi göstermiştir. Tablo 88'de de görüldüğü gibi 131.000 MW enerji üretimi ile Çin ilk sırada yer almaktadır ve Çin'i takiben Amerika ve Japonya gelmektedir.

Tablo 2. 2 Dünya güneş enerji sistemleri üretim kapasiteleri [17]

	Fotovoltaik Kurulu Güç (2015) MW	Fotovoltaik Kurulu Güç (2017) MW	Toplam Elektrik Üretimi
Çin	43.050	131.000	25.007
ABD	25.540	51.000	24.603
Almanya	39.634	42.394	36.056
Japonya	33.300	49.000	26.534
İtalya	18.910	18.910	22.319
Fransa	6.549	6.549	5.909
Türkiye	246	3.400	17

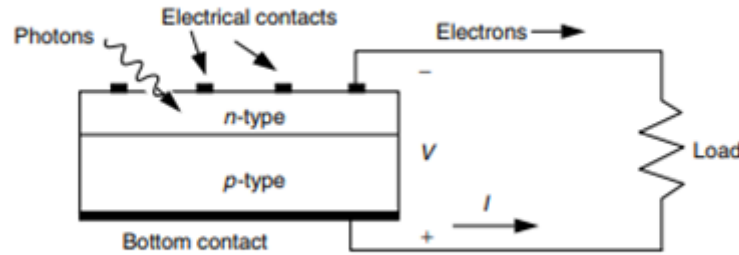
Türkiye'nin coğrafi konumu gereği güneş enerjisi potansiyeli oldukça fazladır. Türkiye yıl boyunca farklı güneşlenme sürelerine sahip olsa bir yılda ki toplam güneşleme süresi 2738 saattir. Ülkemizde ki lisanlı ve lisansız güneş enerjisi santral sayısı 3616 olup bu santrallerin toplam kurulu gücü 3421 MW' tır. 2015 yılı Türkiye Kurulu gücü 249 MW iken 2017 yılında 3421 MW'a yükselerek ciddi bir ilerleme sağlamıştır. Şekil2.5'de Türkiye güneş haritası görülmektedir. Ülkede yıllık ortalama güneşlenme süresi 2640 saat, (günlük 7,2 saat) yıllık ortalama güneş radyasyon değeri 1311 kWh/m² (günlük 3,6 kWh/m²) dir. Aylık ortalama güneşlenme süreleri bakımından temmuz (365 saat), ağustos (343 saat) ve haziran ayları (325 saat) potansiyellerinin yüksek olduğu görülür. Aylık ortalama radyasyon değerleri açısından da benzer durum söz konusudur.

sayıda karasal alanda uygulama bulmaya başladılar. FV pillerin iç malzemesi olarak genellikle silisyum yarıiletkeni kullanılırken; galyum arsenide, kadmiyum tellür, bakır indiyum gibi yarıiletkenler de kullanılır [28][29]. Geleneksel diyotların fiziksel yapısında var olan p-tipi ve n-tipi iki yarıiletkenin birleşiminden oluşan yapı FV pillerde de karşımıza çıkmaktadır. Şekil 2.6'da gösterildiği gibi p -tipi ve n-tipi malzeme bir araya getirilerek p-n birleşimi elde edilir.



Şekil 2.6 P-Tipi ve N-Tipi malzemenin birleşim bölgesi [30]

Güneş ışığının fotonları p-n birleşim bölgesine düştüğünde fotonun enerjisi fazla ise, elektronları harekete geçirir ve elektronlar p-n bölgesinden harekete geçer ve elektriksel akım oluşur. Bir FV hücre için basit bir eşdeğer devre modeli, Şekil2.7'de gösterildiği gibi ideal bir akım kaynağına paralel olarak gerçek bir diyottan oluşur. İdeal akım kaynağı, maruz kaldığı solar akı ile orantılı olarak akım sağlar.

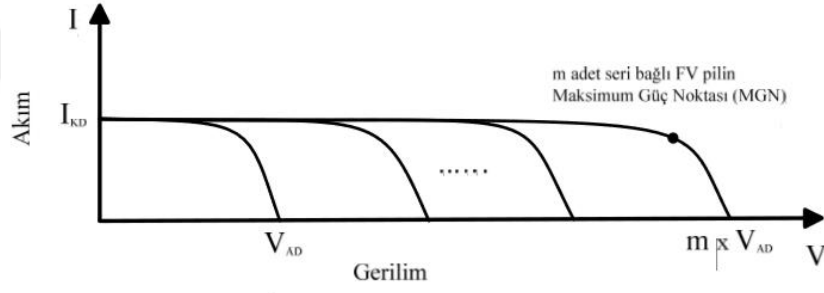


Şekil 2.7 Foton etkisi ile oluşan elektrik akımı [31]

2.4.1. Fotovoltaik Pillerin Fotovoltaik Panel ve Dizilerin Oluşturulması

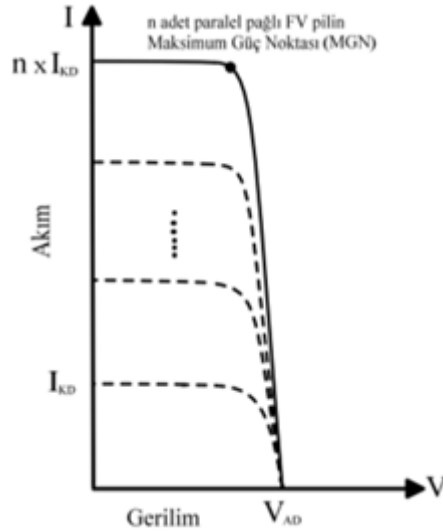
Bir FV panelin ürettiği akım ve gerilim oldukça düşük seviye de olduğu için üretilen güç de küçüktür. Gücün daha fazla elde edilebilmesi için FV piller seri ve paralel bağlayarak FV paneller elde edilmekte panellerin seri ve paralel bağlanması ile de FV diziler elde edilmektedir [31].

FV pillerin ürettiği gerilim değerinin artması amacıyla FV piller seri bağlanmaktadır. Seri bağlı FV pilden elde edilen gerilimin artışı, buna bağlı olarak elde edilen gücün artışı ve akımın sabit kaldığı Şekil 2.8’de FV panelin akım-gerilim grafiğinde gösterilmektedir.



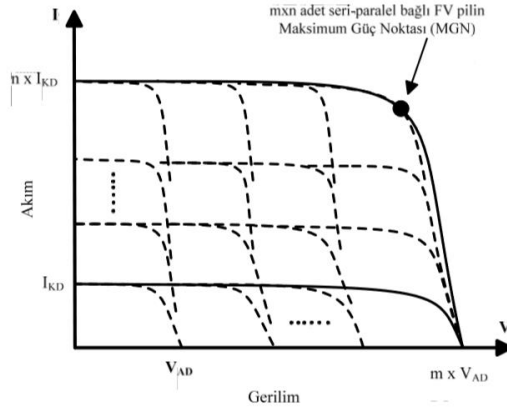
Şekil 2.8 Seri bağlı FV pilin akım-gerilim grafiği [30]

Bir FV panelin akım değerini artırmak için ise paralel bağlanmaktadır. Şekil 2.9’te paralel bağlı bir FV panelin üretebileceği akım değerinin arttığı ve gerilim değerinin değişmediği görülmektedir.



Şekil 2.9 Paralel bağlı FV pilin akım-gerilim grafiği [30]

Şekil2.10’da m tane seri bağlı ve n tane paralel bağlı FV pilden meydana gelen bir FV panelin akım ve gerilim değerinde ki değişim görülmektedir.

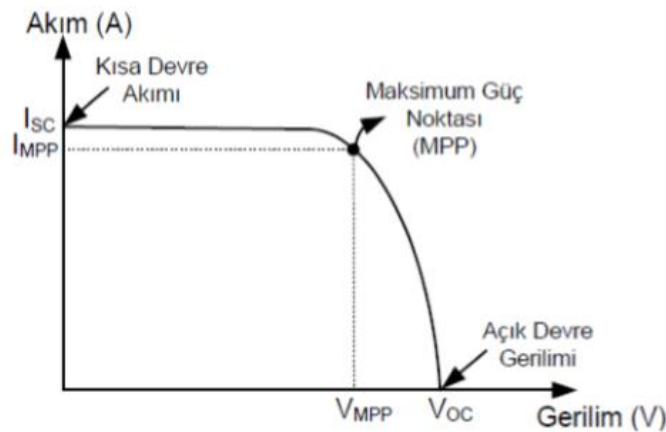


Şekil 2.10Seri-Paralel bağlı FV pilin akım-gerilim grafiği [30]

2.4.2. Fotovoltaik Pilin Elektriksel Bağıntıları

FV pillerin elektriksel karakteristikleri standart ışınım ve sıcaklık koşulları altında elde edilmektedir. FV piller doğrusal olmayan akım ve gerilim karakteristiklerine sahiptirler.

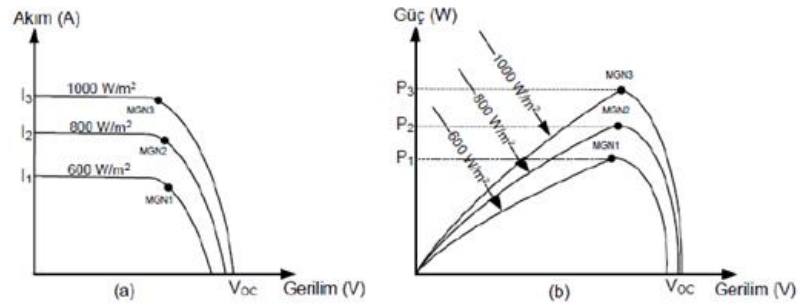
FV pilin akım-gerilim eğrisi Şekil2.11’te gösterildiği gibidir.



Şekil 2.11Standart koşullar altında FV pilin akım-gerilim grafiği [30]

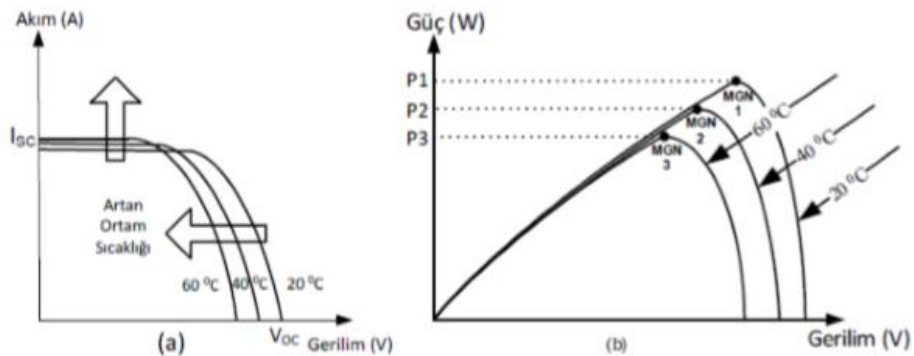
Panelden elde edilebilecek maksimum güç, FV pile ait eğrinin pozitif eksenleri arasında çizilebilecek en büyük dikdörtgenin kesişimidir. Bu kesişim noktasında ise şekilde de gösterildiği gibi maksimum güç noktası denilmektedir. FV pilden elde

edilecek güç miktarını; birim alana düşen güneş ışınımı miktarı, panelin sıcaklığı güneş ışınlarının geliş açısı güneş pilinin verimliliğini etkilemektedir. FV pilin elektriksel karakteristiğini etkileyen en önemli iki faktör güneş ışınımı ve sıcaklıktır. FV pil yüzeyine gelen ışınım miktarı akım değerlerini değiştirmektedir. Şekil 2.12’de ışımaya bağlı akım gerilim ve güç-gerilim karakteristik eğrilerinin değişimi gösterilmektedir. Karakteristikler incelendiğinde farklı ışınım değerlerinde maksimum güç noktasının değiştiği görülmektedir.



Şekil 2.12 Farklı ışınım koşullarında FV pilin akım-gerilim(a) ve güç-gerilim grafikleri

FV panelin karakteristiğini etkileyen diğer önemli faktör olan sıcaklığın etkisi Şekil 2.13 ’de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde sıcaklıkta oluşan farklılık panelin elektriksel karakterinde değişikliğe neden olduğu ve maksimum güç noktasını değiştirdiği gözlemlenmektedir. Panelin sıcaklığında ki artış, akım miktarında bir miktar artışa neden olsa da gerilim miktarında ki azalma çok daha fazladır. Bundan dolayı panel sıcaklığında ki artış, maksimum güç noktasında olumsuz bir etkiye sahiptir.



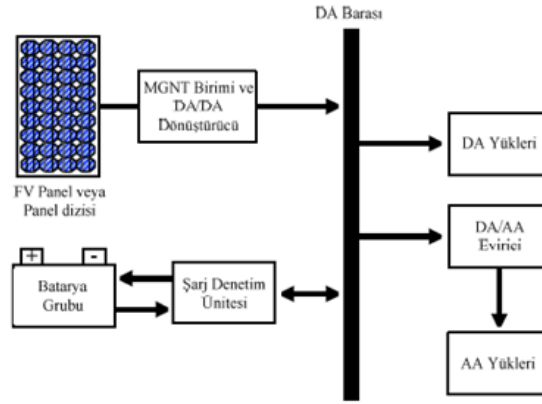
Şekil 2.13 Farklı sıcaklık koşullarında pilin FV akım-gerilim(a) ve güç-gerilim grafikleri [2]

2.5. Fotovoltaik Sistemler

FV sistemler güneş paneli ve DC/AC çevirici olmak üzere iki ana bileşenden oluşur. Bunlara şebeke bağlantısız sistemlerde genellikle batarya, şebeke bağlantılı sistemler de ise maksimum güç noktası eklenir. FV sistemler şebekeden bağımsız, şebekeye bağımlı ve hibrit sistemler olmak üzere üç sınıfa ayrılabilir.

2.5.1. Şebekeden Bağımsız FV Sistemler

Şebekeden bağımsız sistemler şebeken uzak konumlarda, elektrikli araçlarda, kırsalda ki küçük uygulamalarda kullanılmaktadır. Şebekeden bağımsız sistemler, yükü tek başına besleyebileceği gibi ihtiyaç fazlası enerjiyi güneş ışınlarının olmadığı zamanda kullanabilmek için batarya ile kullanılabilir. Batarya elemanının kullanılmasının bir diğer sebebi de güneş ışınımının düzensizliğinden dolayı yüke sürekli enerji verebilmek için de kullanılabilir [32].

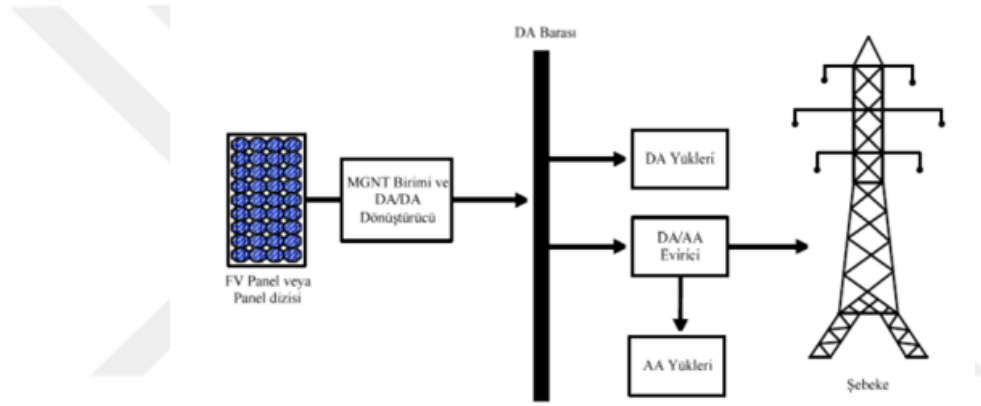


Şekil 2.14 Şebekeden bağımsız FV sistemin şeması [30]

Şekil 2.14'de batarya elemanına sahip şebekeden bağımsız sistemlerin genel yapısı gösterilmektedir. FV panellerden üretilen güç doğru akım biçiminde olduğu için, FV panel çıkışına DA/AA çevirici ile AA çevrilerek yüklerin ihtiyacı karşılanmaktadır. Güneş ışınımının süreksizliği ve düzensizliği nedeniyle yüklere gerekli gücü verememesi durumunda batarya elemanı gerekli ihtiyacı karşılamaktadır. DA yüklerinde gerilim sabitlenmesi önemli bir durumdur ve bunu sağlamak için DA/DA çeviricilerden yararlanılmaktadır.

2.5.2. Şebekeye Bağlı FV Sistemler

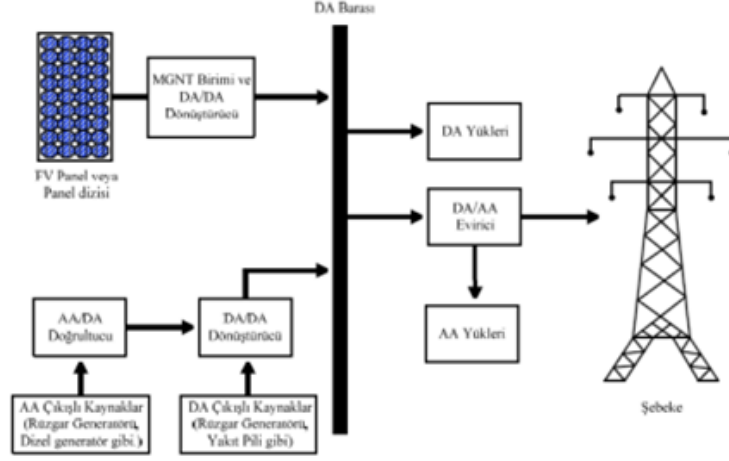
Şebekeye bağlı sistemler, günümüzde en yaygın kullanılan FV sistemlerdir. Bu sistemler; direkt dağıtım trafosuna bağlanabileceği gibi, evlerden de şebekeye bağlantı yapılarak da kullanılabilir [33]. Şebekeye bağlı sistemlerin genel yapısı Şekil2.15’de gösterilmektedir. FV panel çıkışında ki gücü maksimum seviyede elde edebilmek için maksimum güç noktasını takip edebilen DA/DA çeviriciler kullanılmaktadır. FV panelden elde edilen DA gücün sabit tutulması için de DA/DA çeviricilerden yararlanılır. Elde edilen DA biçiminde ki gücü AA çevirebilmek için AA/AA çeviriciler kullanılarak yüke AA güç iletilir.



Şekil 2.15 Şebekeye bağlı FV sistemin şeması

2.5.3. Hibrit (Karma) FV Sistemler

FV panellerle birlikte rüzgâr jeneratörü, yakıt pili, dizel jeneratörler gibi diğer güç kaynakları ile oluşturulan karma sistemlerdir. Bu sistemlerde gerekli dönüştürücüler kullanılarak ortak bir barada toplanarak DA/AA çevirici yardımı ile şebekeye aktarılmaktadır. Şekil2.16’da hibrit (karma) sistemlerin genel yapısı gösterilmektedir.



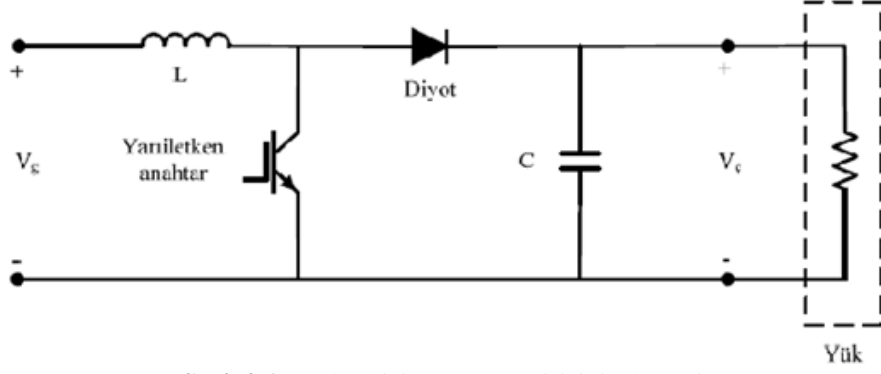
Şekil 2.16 Hibrit FV sistemin bağlantı şeması

2.6. DA/DA Dönüştürücüler

DA/DA dönüştürücülerin hem giriş gerilimleri hem de çıkış gerilimleri doğru akımdan oluşmaktadır. DA/DA dönüştürücüler sabit veya değişken bir DA gerilimli kaynaktan, bir DA çıkış gerilimi üretmektedir [34]. DA/DA dönüştürücüler yarı iletkenli bir güç diyotu, yarı iletken güç elemanı, bir bobin ve bir kapasitörden oluşan devrelerdir. Bu temel elemanların, çeşitli kombinasyonları ile farklı ihtiyaçlara cevap verilmektedir. Girişine uygulanan DA gerilimini çıkışına kontrollü bir DA gerilimi olarak iletir [35].

2.6.1. Yükseltici DA/DA Dönüştürücüler

Yükseltici DA/DA çeviriciler uygulanan V_g giriş gerilimini artırarak sistemi V_o çıkış gerilimi ile besleyen devrelerdir. Temel DA/DA yükseltici devresi Şekil2.17 'de gösterilmektedir. Yarıiletken devre elemanı iletimdeyken V_g giriş gerilimi endüktans üzerinden devresini tamamlar ve endüktans enerji depolanır. Yarı iletken eleman kesimde iken çıkış devresini endüktans üzerinde depolanan enerji ve V_g giriş gerilimi aynı anda gerilim uygular. Yarıiletken elemanın iletim ve kesimde olma süreleri ayarlanarak çıkışa verilen gerilim değeri her zaman artırılarak iletilmiş olmaktadır [19].



Şekil 2.17 Yükseltici DA/DA çeviricinin devresi

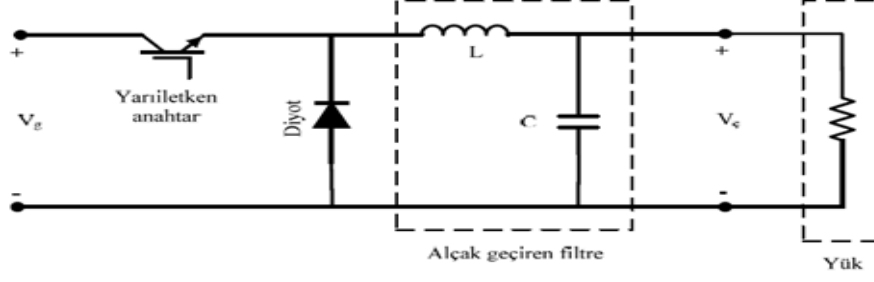
Yükselten DA/DA çevirici de \$V_g\$ giriş gerilimi ile \$V_o\$ çıkış gerilimi arasında ki bağıntı Denklem2.1'de gösterildiği gibidir. Aynı şekilde giriş ve çıkış akımları arasındaki bağıntı ise Denklem2.2 'de gösterildiği gibidir.

$$\frac{V_g}{V_o} = \frac{1-D}{D} \quad (2.1)$$

$$\frac{I_o}{I_g} = \frac{1-D}{D} \quad (2.2)$$

2.6.2. Düşürücü DA/DA Dönüştürücüler

Düşürücü DA/DA çeviriciler uygulanan \$V_g\$ giriş gerilimini azaltarak sistemi \$V_o\$ çıkış gerilimi ile besleyen devrelerdir. Temel DA/DA düşürücü devresi Şekil2.18'degösterilmektedir. Şekil incelendiğinde eğer yarı iletken anahtar kesimde olursa çıkışa gerilim iletilememektedir ve yarıiletken anahtar iletimde olursa çıkışa giriş gerilimi aynı şekilde aktarılır. Böylece çevirici çıkışında ki gerilim sıfır ve \$V_g\$ değeri arasında anahtarlama periyoduna göre kesikli formda bir gerilim iletilmiş olur. Bu durumu engellemek için yarıiletken anahtarlama elemanının ardından bir alçak geçiren filtre bağlanmaktadır. Böylece gerilim değeri giriş gerilimden düşük ve sürekli bir gerilim elde edilmektedir.



Şekil 2.18 Düşürücü DA/DA çeviricinin devresi

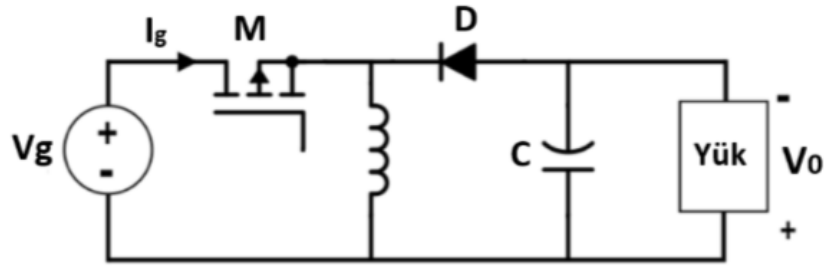
Düşürücü DA/DA çevirici de V_g giriş gerilimi ile V_o çıkış gerilimi arasında ki bağıntı Denklem 2.3'te gösterildiği gibidir. Aynı şekilde giriş ve çıkış akımları arasındaki bağıntı ise Denklem 2.4'te gösterildiği gibidir.

$$V_o = V_g D \quad (2.3)$$

$$I_g = I_o D \quad (2.4)$$

2.6.3. Yükseltici-Düşürücü DA/DA Dönüştürücüler

Değişken giriş gerilimini çıkışa hem azaltıp hem yükseltip çıkışa gönderen DA/DA çevirici yapılarıdır. Yükseltici-Düşürücü DA/DA çeviriciler, giriş gerilimini tersleyip negatif gerilime de dönüştürebilir. Şekil 2.19'da bu çeviricilerin devresi gösterilmektedir.



Şekil 2.19 Yükseltici-Düşürücü DA/DA çeviricinin devresi

Anahtar kapalı (on) durumda olduğunda diyot ters yönde beslendiğinden açık devre gibi davranmaktadır, dolayısıyla giriş gerilimi bobinde depolanmaktadır. Anahtar açık (off) durumda olduğunda ise diyot doğru yönde beslendiği için bobin üzerinde depolanan gücü diyot üzerinden çıkışa yönlendirmektedir. Bu devre anahtarlama süresinin 0,5'ten büyük olup olmamasına göre yükseltici ve düşürücü olarak

çalışmaktadır. Anahtarlama süresi 0,5'ten büyük olduğunda yükseltici, 0,5'ten küçük olduğu durumlarda ise düşürücü devre olarak çalışmaktadır.

Yükseltici-düşürücü devreye giriş gerilimi ve çıkış gerilimi arasında ki bağıntı Denklem 2.5'te aşağıda verilmiştir.

$$V_g = \frac{1-D}{D} V_o \quad (2.5)$$

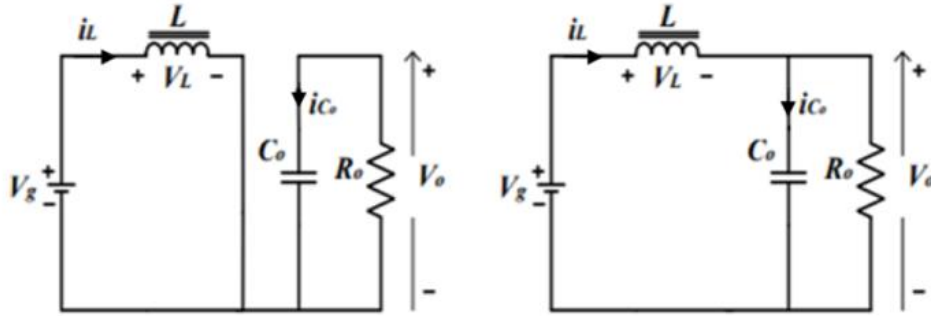
Yükseltici-düşürücü devreye ait giriş akımı ve çıkış akımı arasında ki bağıntı ise Denklem 2.6' da aşağıda verilmiştir.

$$I_o = \frac{1-D}{D} I_g \quad (2.6)$$

2.6.4. Yükseltici DA/DA Dönüştürücünün Elektriksel Analizi

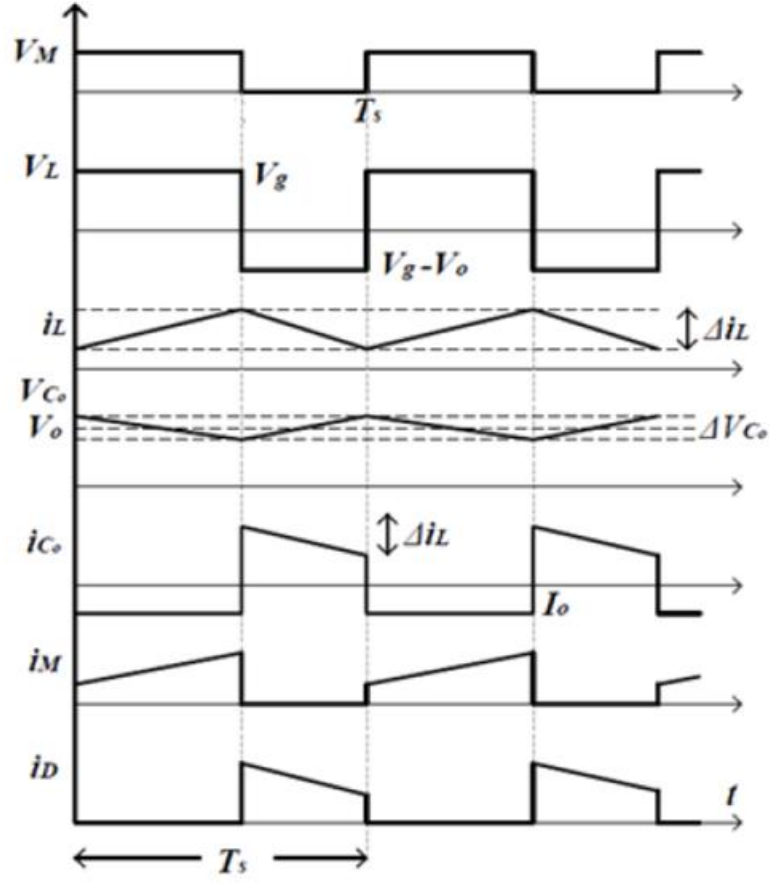
DA/DA çeviricinin analizinde anahtarın iletimde ve kesimde olduğu iki ana devre vardır. Güç anahtarı iletimde iken giriş gerilimi yalnızca bobine enerji depolamaktadır ve çıkış geriliminin sürekliliğini sağlamak için çıkışa enerjiyi kapasitör sağlamaktadır. Güç anahtarı kesimdeyken çıkışa hem bobinde depolanan enerji hem de girişteki kaynak ortak bir şekilde enerji yönlendirmektedir [37].

Yükseltici DA/DA devresini anahtar iletimde ve kesimde iken oluşan iki ana eşdeğer devre Şekil 2.20'de gösterilmektedir.



Şekil 2.20 Yükseltici DA/DA çeviricinin (a) güç anahtarı iletimde (b) kesimde

Yükseltici DA/DA devresinin iletimde ve kesimde iken oluşan gerilim-akım değerlerine ait dalga biçimleri Şekil 2.21' de gösterilmektedir.



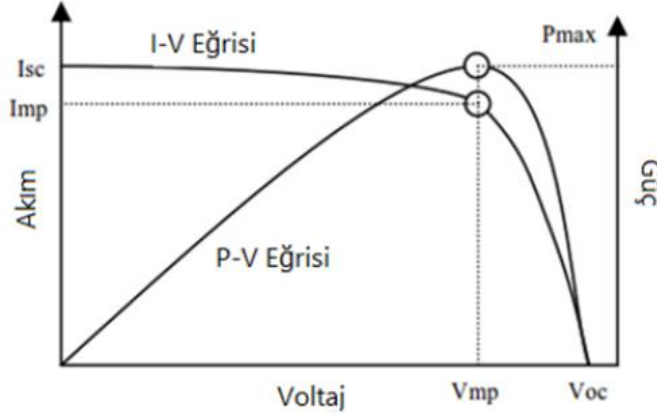
Şekil 2.21 Yükseltici DA/DA çeviricinin bobin ve kapasitör akım-gerilim değişim grafiği

2.7. Maksimum Güç Noktası Takibi(MPPT)

FV panelin üretebileceği maksimum güç sıcaklık ve ışınlımla birlikte değişmektedir. FV panelin ürettiği gerilim ve akımın sıcaklık ve ışınlımla verdiği tepkiler Şekil 2.13 ve Şekil 2.14'de gösterilmiştir. FV paneller çok yüksek verimde çalışabilen sistemler olmadığından ve yüksek sistem maliyeti, bu yenilenebilir enerji yönteminin büyük çapta uygulanmasının önündeki en büyük engellerden biridir. FV panellerin fiyatı son 20 yıl boyunca önemli bir düşüş yaşamış olsa da, çoğu ülkede FV gücü şebekede yaygın halde kullanılamamaktadır [38]. Bu yüzden FV paneli daha yüksek verimde çalıştırabilmek ve verimini artırmak amacıyla farklı sıcaklık ve ışınlım değerlerinde de maksimum gücü tespit etmek ve bu maksimum güç noktasını takip etmek hedeflenmektedir.

FV panelin çalışma karakteristiği incelendiğinde doğrusal olmadığı ve FV panelin üretebileceği maksimum güç ve bu gücü sağlayan akım-gerilim değerleri

sıcaklık ve ışınlımla beraber değiştiği gözlemlenmektedir. Şekil 2.22’değösterildiği gibi FV panelin gücünün maksimumuna ulaştığı sabit ışınlım ve sıcaklıkta tek bir nokta vardır ve bu noktaya maksimum güç noktası denilmektedir. Verimliliği artırabilmek için bu noktayı takip eden sistemler geliştirilmiş ve maksimum güç noktası takip sistemleri olarak adlandırılmıştır. Maksimum güç noktası takip sistemi içeren FV sistemlerin içermeyen sistemlere göre %45 daha fazla enerji iletebildiği tespit edilmiştir [36] .



Şekil 2.22 Yükseltici DA/DA eviricinin bobin ve kapasitör akım-gerilim değişim grafiği

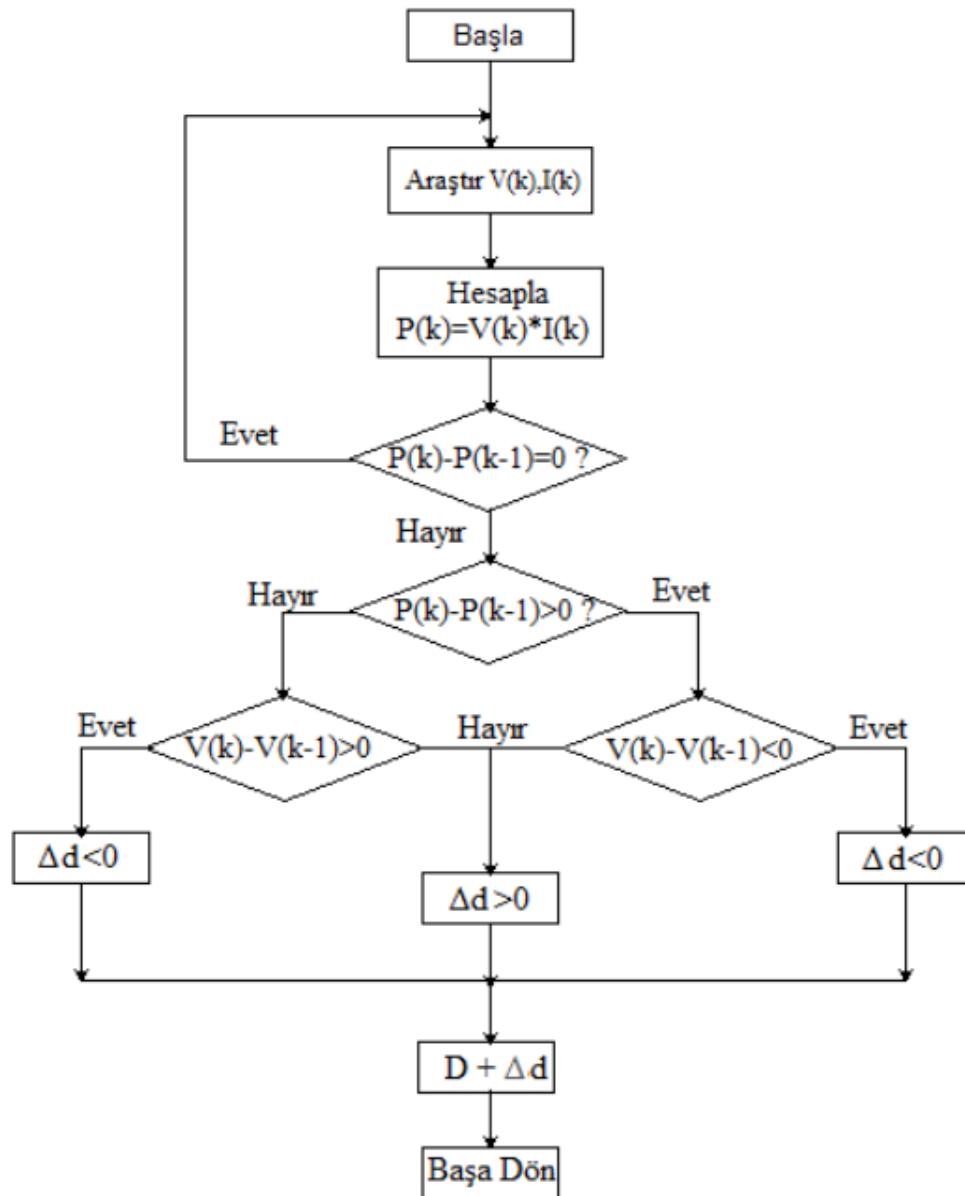
2.7.1. Değiştir ve Gözle (Pertub & Observe) Algoritması

Değiştir ve gözle algoritması etkinliği ve basitliği sayesinde pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem sağladığı doğruluk ve uygulamada ki pratikliği açısından da tercih edilmiştir [39]. Değiştir ve gözle yöntemi ve tepe tırmanma yöntemi aynı temel algoritmanın farklı yollardan uygulanmasıdır [40]. Değiştir ve gözle yönteminde FV panelin üreteceği maksimum güç üreteceği gerilim değerini tespit edilerek, bu gerilim değerini elde edecek olan görev çevrim süresi, DA/DA eviricisine bir denetleyici aracılığıyla uygulanır [41]. Bu yöntemde maksimum gücün elde edildiği noktayı bulmak için FV panel gerilimini değiştirip, gerçekleşen değişiklik gözlemlenerek bir sonraki adıma karar verilir [40]. Eğer değiştirilen gerilim sonucunda üretilen güçte bir artma meydana gelmişse yapılan değişiklikle aynı yönde değişime devam edilir. Eğer güçte bir azalma meydana gelmişse; bu sefer yapılan değişikliğin tam tersi yönünde bir değişim gerçekleştirilir [42]. Tablo 2.3’te gösterilen işlem adımları maksimum güç elde edilinceye kadar devam etmektedir.

Tablo 2. 3 Değiştir-Gözle algoritmasının adım algoritması

Değişim	Güçteki Değişim	Sonraki Değişim
Pozitif	Pozitif	Pozitif
Pozitif	Negatif	Negatif
Negatif	Pozitif	Negatif
Negatif	Negatif	Pozitif

Şekil 2.23'te akış diyagramı verilen değiştir-gözle algoritmasında, algoritmanın her adımında sabit bir değişken ile gerilim değiştirilir. Gerilim değiştirildiğinde elde edilen güçte artma söz konusu ise değişim yönü sabit kalarak değişime devam edilir, fakat elde edilen güçte azalma var ise değişim ters yönde devam ettirilir. Ancak bu algoritmanın bir dezavantajı ise maksimum güç noktası etrafında bir salınımına sebebiyet vermesidir. Bu salınımın azaltılması kararlılığa daha çok yaklaşılabilmesi amacıyla, sabit değişkenin değeri küçültülmektedir.



Şekil 2.23 Değiştir-Gözle algoritması

Değişkenin değerinin küçültülmesi maksimum güç noktasında ki salınımı azaltırken bu noktaya ulaşma süresini artırmaktadır. Maksimum güç noktasına ulaşmada ki bahsedilen osilosyon ve kalite problemlerine çözüm oluşturan bir yöntem ise gerilimdeki değişimlerin değişken olmasıdır. Böylece sistem maksimum güç noktasından çok uzakta iken büyük değerli değişkenlerle, maksimum güç noktasına yakın olduğu yerlerde ise küçük değerli değişkenlerle çalışacaktır [43].

2.8. Güç Kalitesi

2.8.1. Güç Kalitesi Nedir?

Güç kalitesi tanımı için çeşitli kişi ve kurumlar tarafından farklı yorumlar getirilmiştir. Güç kalitesi için kullanılan farklı terimlere örnek vermek gerekirse; servis kalitesi, gerilim kalitesi, akım kalitesi terimleri bunlardandır [44]. IEEE 1159 standardının güç kalitesi tanımı ; “hassas elektronik cihazlara güç verme ve topraklama işlemlerinin bu cihazlara uygun bir biçimde gerçekleştirilmesidir”. IEEE 100 Standart Terimleri Sözlüğüne göre güç kalitesi tanımı “Elektronik cihazlara güç verme ve topraklama işlemlerinin, bu cihazların işleyişine ve kablolama sistemi ile sisteme bağlı diğer ekipmanlara uygun olması” ifadeleriyle yer almaktadır. Kullandığımız enerji sinusoidal yapıda, belirli bir frekans ve genlikte çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Dalga şekli, frekans ve genlik güç kalitesinde etki eden önemli parametrelerdir. Bu yüzden bu parametrelerde yaşanacak dengesizlikler güç kalitesi problemine yol açmaktadır. Üretilen enerji sinusoidal yakın şekilde üretilmesine rağmen; enerjinin iletilmesinde daha sonra kullanılan cihazlarda ki bozucu etkiler yüzünden dalga şekillerinde bozulmalar olmaktadır [45].

Örneğin; harmonik üreten cihazlardan dolayı bozulan akım ve gerilim, tüketiciye bozuk bir sinyal göndermemize sebebiyet verir. Sistemde meydana gelen kısa devre arızaları, gerilim ve akımlar da ani dengesizliklere yol açabilmektedir.

2.8.2. Güç Kalitesi Problemleri

Güç kalitesi problemlerini sürekli durum ve kalıcı durum şeklinde iki ana başlık altında toplayabiliriz. Güç kalitesi problemlerine uluslararası yönetmeliklerin farklı yaklaşımları olmuştur. Örneğin IEEE 519 güç kalitesini sınıflandırmada süre ve genliği baz almaktadır. IEC güç kalitesi problemlerini sınıflandırırken sinyalin frekans aralığını baz almaktadır.

2.8.3. Gerilim Çökmesi

Gerilim çökmesi, iletim hattı boyunca verilen elektrik enerjisinin kısa bir zaman dilimi için nominal değerinin altındaki değerlere düşmesidir. Bu yaşanan gerilim

düşüşünün gerçekleşme süresine göre, anlık, kısa süreli ve geçici olarak tanımlanmaktadır [46]. Gerilim çökmesi gerilim hassasiyeti yüksek cihazlarda olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. PLC, bilgisayar gibi oldukça sıklıkla kullanılan cihazların gerilim hassasiyetleri yüksektir ve bu cihazlar bir-iki periyottan uzun süren gerilim çökmelerinde ciddi zararlar görebilmektedir [47].

2.8.4. Gerilim Yükselmesi

Gerilim yükselmesi, iletim hattı boyunca iletilen elektrik enerjisinin kısa bir zaman dilimi için nominal değerinin üzerinde ki değerlere yükselmesidir. Gerilim yükselmesi çok sık karşılaşılan bir güç kalitesi problemi değildir. Gerilim yükselmeleri genellikle yüksek güçteki bir yükün devreden çıkarılması, hata oluşması durumunda sistem enerjisinin bir bölümünün kesilmesi gibi sistemin beslediği yükün büyük bir bölümünün birden azalmasından kaynaklıdır. Gerilim yükselmesi daha çok düşük gerilimde çalışan elektronik cihazları olumsuz etkilemektedir.

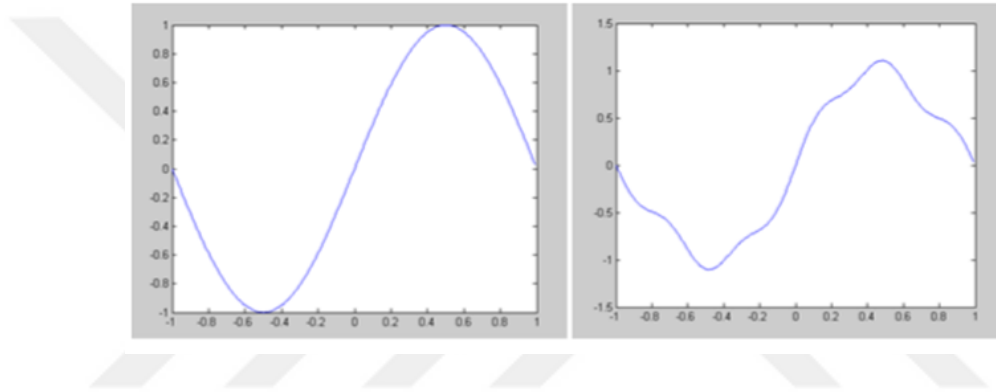
2.8.5. Kesinti Olayı

Kesinti olayı, iletim hattı boyunca iletilen elektrik enerjisinin sıfır veya sıfıra yakın değere bir değerde kalması olarak nitelendirilmektedir. Kesinti olayının gerçekleşmesi güç sisteminde birçok tüketiciye enerji verilememesine neden olmaktadır. Kesintiler genellikle güç sisteminde ki cihazların arızalanmasından kaynaklanmaktadır. Kısa devre veya topraklama arızalarının gerçekleşmesi durumunda sigortaların açılması, güç sisteminin bakım onarımı sırasında kesintiler gerçekleşebilmektedir. Bakım onarım sırasında meydana gelen kesintiler planlı kesintiler olarak tanımlanmaktadır [47].

2.8.6. Harmonik

Harmonikler; elektrik güç sistemlerinin güç kalitesi parametrelerinde, gücün düzenlenmesinde ve tüketiminde etken bir rol oynamaktadır. Ana sinyalin dalga biçiminde var olan istenmeyen dalga formlarının oranıdır. Bu istenmeyen dalga biçimlerine harmonik denir. Harmonikler, ana dalga formlarının temel frekansının tam katlarıdır. Şekil 2.24(a)'da tamamen sinüzoidal bir dalga şekli gösterilmektedir. Ana

sinyalin harmonikleri sisteme etki etmeye başladığında, akım ve gerilim dalga formları sinüzoidal şekilden sapar. Şekil 2.24(b)'de bozulmuş bir sinüzoidal dalga şekli gösterilmektedir. Lineer yükler ve lineer olmayan yükler olmak üzere iki yük vardır. Lineer yüklerin harmonik bozulma üzerinde olumsuz etkileri yoktur. Lineer yükler sinüzoidal akım çekerler, akım ve voltajın dalga formlarını bozmazlar. Diğer taraftan, anahtarlamalı güç kaynakları, kesintisiz güç kaynakları, AA-DA sürücüler, transformatörler ve motorlar gibi lineer olmayan yükler, sistemdeki sinüzoidal olmayan akımı çekerken akım dalga biçimini bozar ve bu da voltaj bozulmalarına neden olur. Ayrıca, dağıtık üretim kaynakları da toplam harmonik bozulmada artışa neden olmaktadır [48].



Şekil 2.24 (a) Sinüzoidal (b) Bozulmuş sinüzoidal

2.8.7. Güç Sistemlerinde Harmoniğin Etkisi

Güç elektroniğinin teknolojimizde oldukça geniş bir yer bulması ile elektrik şebekelerinde sinüzoidal olmayan bozunmuş gerilim ve akımların artmasına sebebiyet vermektedir. Harmonik bozulmanın güç sisteminde oluşturduğu olumsuz etkiler şunlardır;

- Transformatörün aşırı ısınması
- Gerilim düşümünün artması
- Enerji tüketiminin artırılması
- Jeneratör ve şebeke geriliminin dalga biçiminin bozulması
- Kompanzasyon sistemlerinde aşırı reaktif yüklenme
- Cihazlarda ısınma problemi
- Dielektrik malzemenin delinmesi
- Güç faktöründe değişim

2.9. Kısa Devre

Kısa devre; elektrik güç sistemlerinde, faz iletkenleri arasında veya yıldız noktası topraklanmış şebekelerde faz iletkenleri ile toprak arasında yıldırım düşmesi veya anahtarlamalar sonucu ya da yanlış operasyonlar neticesinde oluşan akımın çok büyük değerlere ulaştığı bir arıza halidir. Kısa devre durumunda, direnç değeri çok küçük olduğundan dolayı kaynakta ki akım direncin düşük olduğu noktayı seçeceğinden, bu geçen yüksek akım sistemi etkiler. Bu kısa devre durumunda elektrik sistemin de ki koruma malzemeleri (röleler) kısa sürede sistemden enerjiyi çekebilecek özellikle seçilmiş olmalıdır. Fakat bu koruma malzemeleri yeterli özellikte seçilmemişse sistemde ciddi hasarlara neden olabilir.

2.9.1. Kısa Devre Oluşma Nedenleri

Kısa devrenin kaynağı iç veya dış etkiler olabilir. Kısa devreye neden olabilecek başlıca iç etkiler; aşırı yüklenme sonucu izolasyonun aşırı derecede ısınması ve bozulması, aşırı gerilimler sonucu meydana gelen delinmeler ve atlamalar ile izolasyondaki yapım hataları ve yaşlanmalardır. Dış etkiler ve nedenleri ise kablo izolasyonlarının yıpranması, iletim hatlarına yıldırım düşmesi, izolatörlerin kırılması, kirlenme rutubet gibi hava koşullarından dolayı oluşabilecek atlamalardır. Bakım e onarım sırasında güvenlik tedbirlerinin tam alınamaması ve ya yapılan değişikliğe doğru bir şekilde eski haline getirilmemesi de etkenlerdendir.

2.9.2. Kısa Devre Akımı

Kısa devre akımları genelde nominal akımın katları şeklinde meydana gelen bazı durumlarda tehlike oluşturabilecek ölçüde büyük değerlikle gerilimleri de beraberinde getirir. Bu yüksek güçteki tehlikeli akımın gerek güç sisteminde ki malzemelerin tahribatını önlemek, gerekse de güç sisteminde çalışan insanların hayati tehlikesini ortadan kaldırmak için güvenlik önlemleri alınmak zorundadır [49].

Arıza durumunda oluşan kısa devre akımının alternatif akım bileşen değeri;

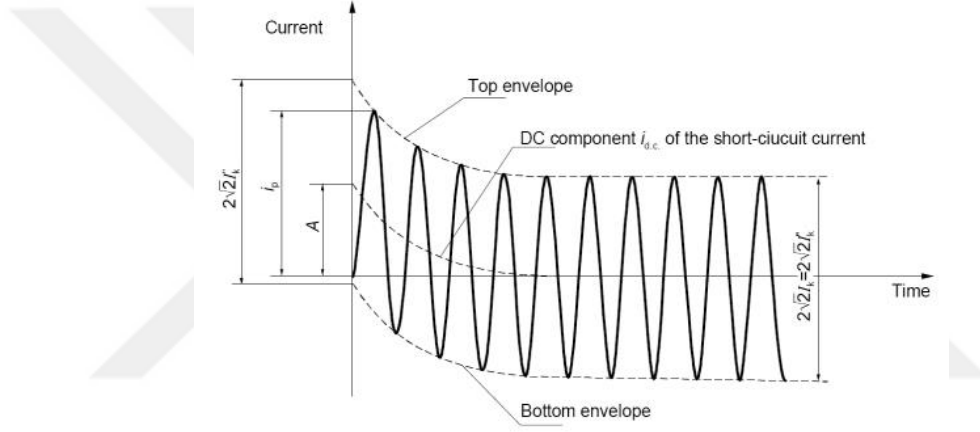
$$E_y = \frac{E}{\sqrt{3}} \quad (2.7)$$

İse;

$$I_k = \frac{E_y}{\sum Z_{(1,2,0)}} \quad (2.8)$$

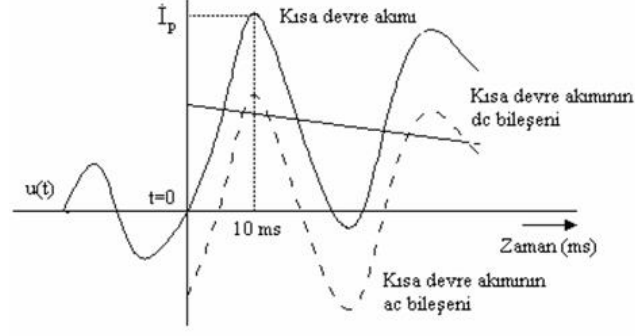
Olarak formüle edilmektedir.

Şekil 2.25'te jeneratöre yakın üç fazlı bir kısa devre arızasında, herhangi bir faza ait arıza akımının değişimi gösterilmektedir. Şekil incelendiğinde kısa devre akımının önce hızla yükseldiği daha sonra da sürekli kısa devre akımına yavaş yavaş azaldığı görülmektedir. Kısa devre akımının hızla yükseldiği tepe değerine darbe kısa devre akımı I_p , kararlı bir şekilde devam eden sürekli kısa devre akımı ise I_k olarak bilinmektedir.



Şekil 2.25 Jeneratörden uzak meydana gelen kısa devre akımının grafiği

Kısa devre akımı herhangi bir manda ki değeri alternatif ve doğru akım bileşenlerinin toplamından oluşmaktadır. Şekil 2.21'den de görüleceği gibi $t = 0$ anında kısa devre akımı sıfırdan başlar ve yarım periyot sonra I_p değeri olan tepe değerine ulaşır ve alternatif ve doğru akım bileşenlerinin etkisiyle sürekli kısa devre akımı olan I_k değerinde sabit kalır [50].



Şekil 2.26 Kısa devre akımının değişimi

Kısa devre arızasının gerçekleştiği fazın haricinde ki diğer fazlar da gerilim sıfırlanması gerçekleşmez fakat nominal gerilim değerlerinin %86.6 değerine düşmektedir [51].

Kısa devre akımının ilk periyottaki en büyük alternatif bileşenine subtransiyent kısa devre akımı denir. I''_k olarak sembolize edilen subtransiyent akımı Şekil 2.26'da maksimum değer olarak işaretlenmiştir ve değeri $\sqrt{2}I''_k$, pozitif ve negatif alternansların toplamıyla beraber $2\sqrt{2}I''_k$ şeklinde hesaplanmaktadır.

Transiyent kısa devre akımı kavramı ise subtransiyent kısa devre akımının sürekli kısa devre akımına geçişteki sürede geçen akım olarak bilinmektedir.

2.9.3. Sürekli Kısa Devre Akımı

Geçici olaylardan sonra sabit kısa devre akımının efektif değerine sürekli kısa devre akımı denir. Kısa devre arızası sırasında şebekede var olan yükler de, sürekli kısa devre akımının değeri üzerinde bir etki yaratır. Kısa devre olayı jeneratörden uzak bir yerde ise tüketicilere daha yakın olacağından arıza noktasından tüketiciler de akım çekebileceğinden, bu noktada ki kısa devre akımı küçülür.

$$I_{yk} + I_{k3} = \frac{E_y}{X_d + \frac{Z_{seb}Z_{yk}}{Z_{seb} + Z_{yk}}} \quad (2.9)$$

Sürekli kısa devre akımı başlangıç kısa devre akımının başlangıç kısa devre akımına bağlı olarak hesaplanmaktadır.

$$k = \frac{I_k}{I_n} \quad (2.10)$$

olmak üzere üç fazlı kısa devre arızasında sürekli kısa devre akımı

$$I_{k3} = kI_n \quad (2.11)$$

iki fazlı kısa devre arızasında sürekli kısa devre akımı

$$I_{k2} = \sqrt{3}I_n \quad (2.12)$$

faz toprak kısa devre arızasında sürekli kısa devre akımı ise

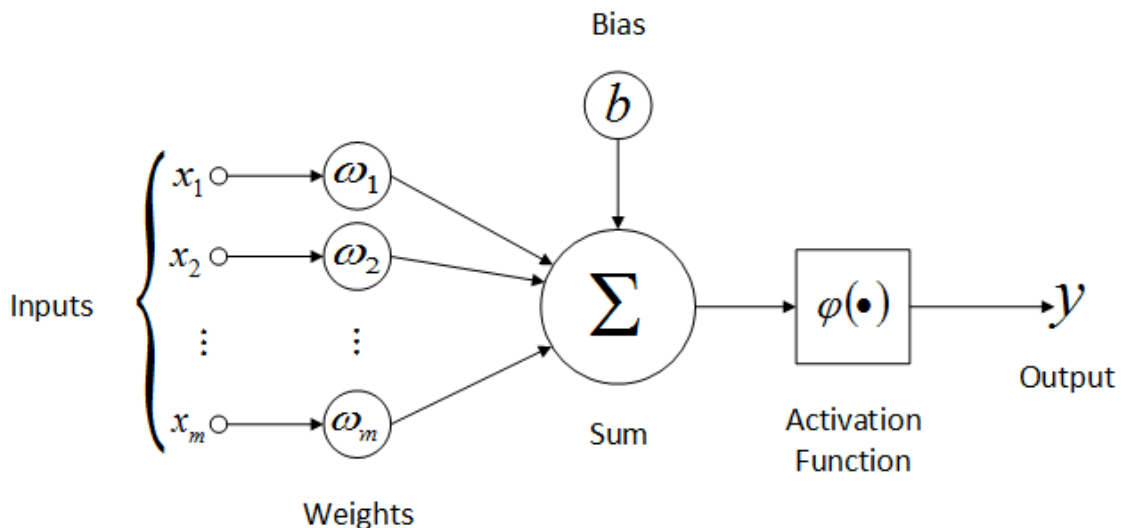
$$I_k = 3kI_n \quad (2.13)$$

Olarak formüle edilmektedir.

2.10. Yapay Sinir Ağları

2.10.1. Yapay Sinir Ağları Yapısı

Yapay Sinir Ağları (YSA), insan beyninin özelliklerinden herhangi bir yardım almadan öğrenme yoluyla yeni bilgiler edinme, yeni bilgiler öğrenme ve keşfetme yeteneğini otomatik olarak oluşturma niyetiyle geliştirilen bilgisayar sistemleridir. YSA'lar [52]; İnsan beyninden esinlenerek, öğrenme sürecinin matematiksel modellenmesi ile ortaya çıkmıştır. Bu yüzden, bu konudaki çalışmalar nöronların modellenmesi, beyni oluşturan biyolojik birimler ve bunların bilgisayar sistemlerinde uygulanması ile başlamış ve daha sonra bilgisayar sistemlerinin gelişmesine paralel olarak pek çok alan mevcut hale gelmiştir.



Şekil 2.27 Nöronun matematiksel modeli [53]

Şekil 2.27 bir nöronun matematiksel modelini göstermektedir. Nöron, sinaptik bağlantıları aracılığıyla n sayıdaki giriş ile uyarılır. Her bir sinaptik bağlantı, o

bağlantının gücünü gösteren pozitif veya negatif bir sayı olan bir ağırlığa sahiptir. Her girdi, sinaptik bağlantının ağırlığı ile çarpılır ve ağırlıklı girdiler toplanır ve yapay sinir hücresine gelen girdi fonksiyon (ϕ_k) yardımıyla hesaplanır. Yapay sinir ağında gerçekleşen kavramlar matematiksel olarak şu şekilde ifade edilir: [54]

Giriş vektörü x_i olarak tanımlanır;

$$X_i = [x_1, x_2, \dots, x_n] \quad (2.14)$$

ağırlık vektörü wk_i olarak tanımlanır;

$$W_{ki} = [wk_1, wk_2, \dots, wk_n] \quad (2.15)$$

yapay sinir hücresinin net girdisi v_k olarak tanımlanır;

$$v_k = \sum_{i=0}^m W_{ki} X_i \quad (2.16)$$

yapay sinir hücresinin çıktısı Y_k olarak tanımlanır;

$$Y_k = \phi_k(\cdot) * V_k \quad (2.17)$$

2.10.2 YSA'nın Ana Yapıları

Genel olarak YSA katmanlar olarak bilinen 3 bölümden oluşur.

1. Giriş Katmanı: Bu katman, dış ortamdan veri, sinyal, özellik veya ölçüm almaktan sorumludur. Bu örnekler genellikle aktivasyon fonksiyonları tarafından üretilen limit değerlere normalize edilir. Bu normalizasyon, ağ tarafından gerçekleştirilen matematiksel işlemler için daha iyi sayısal hassasiyet sağlar.

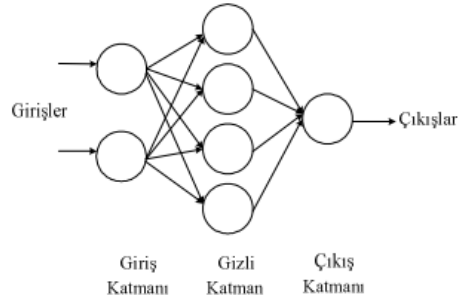
2. Gizli Katmanlar: Bu katmanlar analiz edilen süreç veya sistemle ilgili kalıpların çıkartılmasından sorumlu nöronlardan oluşur. Bu katmanlar, iç işleminin çoğunu bir ağdan gerçekleştirir.

3. Çıktı Katmanı: Bu katman ayrıca nöronlardan oluşur ve bu nedenle önceki katlardaki nöronlar tarafından gerçekleştirilen işlemlerden kaynaklanan nihai ağ çıktısının oluşturulmasından ve görüntülenmesinden sorumludur.

2.10.2.1 İleri Beslemeli (Feedforward) YSA

Tek yönlü iletim yapan, giriş katmanından çıkış katmanına doğru bilgiyi ileten ağlardır. LVQ (Learning Vector Quantization) ve MLP (Multi Layer Persepton) ağları ileri yönlü beslemeye örnek olarak verilebilir. Şekil 4.2'de ileri beslemeli ağ yapısı

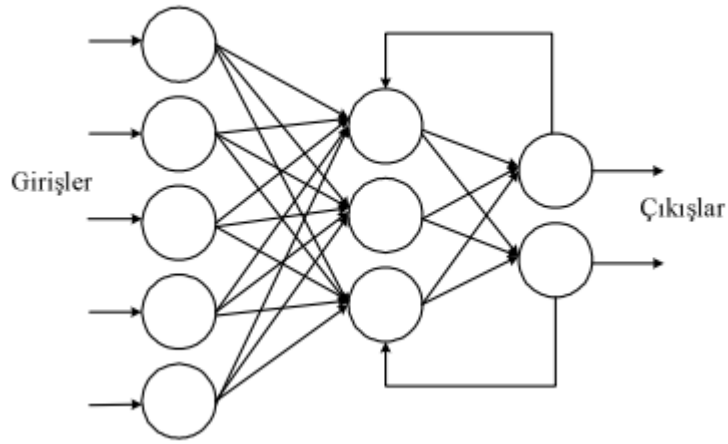
gösterilmektedir ve şekilden görüldüğü gibi giriş katmanı elde ettiği veriyi bir sonraki katman olan orta katmana aktarır. Orta katmanda işlenen veri yapay sinir ağının çıktısı olarak çıkış katmanına aktarılır.



Şekil 2.28 İleri beslemeli YSA yapısı

2.10.2.2 Geri Beslemeli (Recurrent) YSA

Çıkış veya ara katman çıktı verilerinin, daha önceki katmanlara geri beslendiği ağ yapısıdır.



Şekil 2.29 Geri beslemeli YSA yapısı [53]

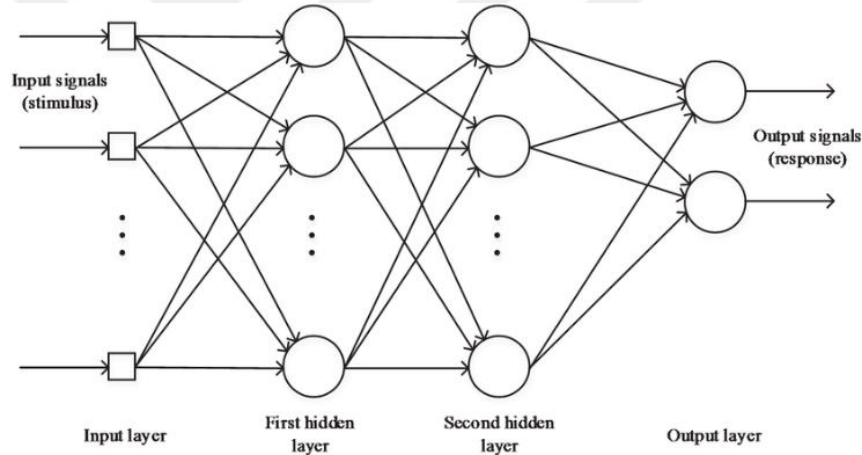
Şekil 2.29'da geri beslemeli ağ yapısı gösterilmektedir. Bu ağ yapısında ileri ve geri yönlü veri aktarımları gerçekleştirilmektedir. SOM (Self Organizing Map), Elman ve Jordan, Hopfield ağları örnek olarak verilebilir.

2.10.3 Çok Katmanlı Ağlar

2.10.3.1 Çok Katmanlı Ağın Yapısı

Çok katmanlı bir ileri besleme ağı veya literatürde genel olarak belirtildiği gibi çok katmanlı bir algılayıcı (MLP), bir giriş katmanından, bir veya daha fazla gizli katmandan ve bir çıkış katmanından oluşur.

Şekil 2.30'da giriş katmanındaki düğümleri, ilk gizli katmandaki nöronları, ikinci gizli katmandaki nöronları ve çıkış katmanındaki nöronları içeren çok katmanlı bir algılayıcı gösterilmektedir. Burada gösterilen ağın tamamen bağlı olduğu dikkate alınmalıdır; bu, ağdaki her bir nöronun eski katmandaki bir düğüme / nörona bağlı olduğu anlamına gelir. Buna ek olarak, ağın aynı katmanındaki düğümler / nöronlar arasında bağlantı yoktur.



Şekil 2.30 Hata-Düzeltilme öğrenmesi (Error-Correction Learning) [55]

Eğitim işleminin başlangıcında, ağın sinaptik ağırlıkları rastgele değerlerdir. Daha sonra ağ her tekrarda bir eğitim örneği ile sunar. Bir eğitim örneği bir girdi ve buna karşılık gelen bir hedef içerir. Eğitim örnekleri deneysel veya simülasyon verilerinden alınır. Ağ, girişi işleyerek bir çıktı oluşturur ve çıktıyı hedefle karşılaştırır. Hedef ile çıktı arasındaki fark hatayı belirler. Ardından ağın sinaptik ağırlıkları, hataya orantılı eğitim algoritması tarafından değiştirilir. Eğitim sürecinin amacı, hatayı önceden belirlenmiş bir değerin altına düşürmektir. Bu yönetilen öğrenmenin formuna hata düzeltme öğrenme denir.

2.10.4 Eğitim Fonksiyonları

Matlab kütüphanesinde çeşitli eğitim fonksiyonları vardır. Levenberg-Marquardt (trainlm) algoritması birkaç yüz ağırlık için en hızlı yakınsamayı sağlar. Bu avantaj, çok doğru bir eğitim gerektiğinde özellikle belirgindir. Birçok durumda, trainlm test edilen diğer algoritmaların herhangi birinden daha düşük ortalama kare hataları (MSE) elde edebilir. Ancak, ağıdaki ağırlıkların sayısı arttığında, trainlm avantajı azalır. Ayrıca, trainlm performansı örüntü tanıma problemlerinde göreceli olarak düşüktür.

Esnek Geri Yayılma (trainrp) algoritması, örüntü tanıma problemlerinde en hızlı algoritmadır. Bununla birlikte, fonksiyon yaklaşımı problemlerinde iyi performans göstermez. Hata hedefi azaldıkça performansı da düşer.

BFGS Quasi-Newton (trainbfg) algoritması trainlm algoritmasına benzer. Bu, trainlm kadar depolama gerektirmez, ancak gerekli hesaplama artışları ağı boyutuyla birlikte geometrik olarak artar, çünkü her bir yinelemede bir matrisin tersinin hesaplanması gerekir.

Scaled Conjugate Gradient (trainscg), özellikle çok sayıda ağırlığa sahip ağlar için çok çeşitli problemlerde iyi performans gösteriyor gibi görünmektedir. SCG algoritması, fonksiyon yaklaşımı problemlerinde (büyük ağlar için daha hızlı) LM algoritması kadar hızlıdır ve neredeyse örüntü tanıma problemlerinde trainrp kadar hızlıdır. Performansı, hata azaltıldığında trainrp performansı kadar hızlı düşmez.

2.10.5 Performans Fonksiyonları

Ortalama kare hata (MSE), muhtemelen en sık kullanılan hata ölçüsü olan bir ağı performansı işlevidir. Daha büyük sayıların karelenmesinin, küçük sayıların karelenmesinden daha büyük bir etkiye sahip olması nedeniyle daha büyük hataları cezalandırır. MSE, gözlemlenen sayıların bölü karesel hataların toplamıdır. At asıl değer (hedef), Ft öngörülen değerdir (çıktı) ve n test verisi sayısıdır. MSE denklemi aşağıdaki gibidir;

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n} \quad (2.18)$$

Kök ortalama kare hatası (RMSE), MSE'nin kareköküdür. RMSE denklemi aşağıdaki gibidir;

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (2.19)$$

Ortalama Mutlak Yüzde Hatası (MAPE), gerçek gözlem değerlerine bölünen mutlak hataların ortalamasıdır. MAPE denklemi aşağıdaki gibidir;

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|}{n} * 100 \quad (2.20)$$

Belirleme katsayısı (R2), bir modelin verileri ne kadar iyi tahmin edebileceğinin ve 0 ile 1 arasında kalmasının bir ölçüsüdür. R2 değeri ne kadar yüksek olursa, model verileri o kadar iyi tahmin eder. R2 denklemi aşağıdaki gibidir;

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{\sum_{t=1}^n (A_t - \text{mean}(A_t))^2} \quad (2.21)$$

2.11. Fluke 435 Ölçüm Cihazı

Enerji santrallerinde, üretilen enerjinin ölçülmesinde ölçüm cihazları kullanılmaktadır. Fluke 435 ölçüm cihazı üretilen enerjinin akım, gerilim, frekans, güç faktörü, aktif güç, reaktif güç, toplam güç gibi enerji sinyalinin değerlerini verirken; kırpışma, harmonik, gerilim dalgalanması bilgilerini de saptama ve kaydetme özelliği vardır. Güç kalite analizörüne kaydedilen değerleri, cihaza ait, Power Log analiz programında grafiksel olarak analiz etme ve raporlama şansı sunmaktadır.



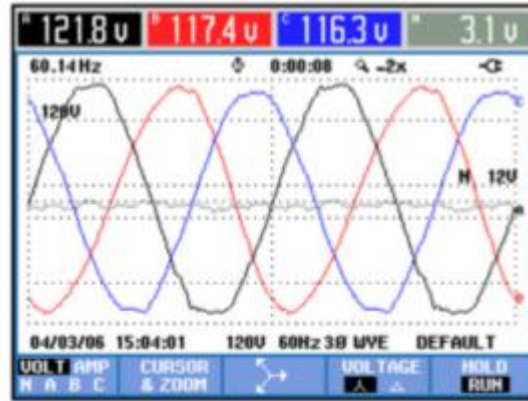
Şekil 2.31 Fluke 435 cihazının görüntüsü

Fluke 435 analizör cihazının ölçülecek sisteme bağlantısı yapmak için; 4 adet akım penci (BNC girişi) ve 5 adet muz tipi fiş giriş kullanılmaktadır. Bağlantıyı yapana kadar cihazı korumak amacıyla cihazı kapalı durumda bulundurmalıyız. Bağlantıyı

yaptıktan sonra cihazımızın "Setup" tuşuna basılarak cihaza ölçüm yapılacak şebekenin değerleri yüklenir.

Açılan cihazımızda ayar ekranı karşımıza çıkmaktadır. Bu ekranda ölçüm yapılacak güç sistemine ait nominal voltaj, frekans gibi parametreler ve ölçüm yapılacak zamana ait tarih, saat bilgileri girilmektedir. Ölçüm yapılacak olan güç sisteminin bağlantı şekillerinden uygun olanı seçilerek cihaz ölçüm yapmaya hazır hale getirilmektedir.

Bağlantılar ve konfigürasyon ayarlamaları yapıldıktan sonra, cihazın bağlantısının doğru olup olmadığını anlayabilmek için cihazın üzerinde yer alan scope tuşuna basılarak güç sistemi Şekil 2.32'de gösterildiği gibi osiloskop ekranında görüntülenmektedir ve güç sisteminden çekilen enerjinin grafiksel gösterimi bulunmaktadır ayrıca cihazımızda bulunan fazör işaretine basılarak aynı verilerin fazör diyagramına da ulaşılabilir. Fazör diyagramı yardımıyla bağlantı yapılan fazlar ise vektörlerin aynı yönde olup olmadığı kontrol edilerek bağlantının doğruluğu test edilir.



Şekil 2.32 Cihazın scope ekranı

Ölçüm yapmaya başladıktan sonra, cihazda alınan değerleri anlık görebilmek ve alınan değerleri kayıt edebilmek için cihazımız da ki menü tuşuna basılıp istenilen ölçüm seçilerek değerlerin gözlemlenmesi mümkündür. Analizörün bizlere sunduğu ölçüm seçenekleri arasında,

- Voltaj/Akım/Frekans
- Harmonikler
- Güç/Enerji
- Fliker

- Dengesizlikler
- Geçici Durum(Transient)
- Gerilim Düşümü/ Gerilim Yükselmesi
- Ani akım (inrush)

sunulmaktadır.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1.Şebeke Bağlantılı 250 kW Fotovoltaik Sistemin Santral Yapısı ve Bileşenleri

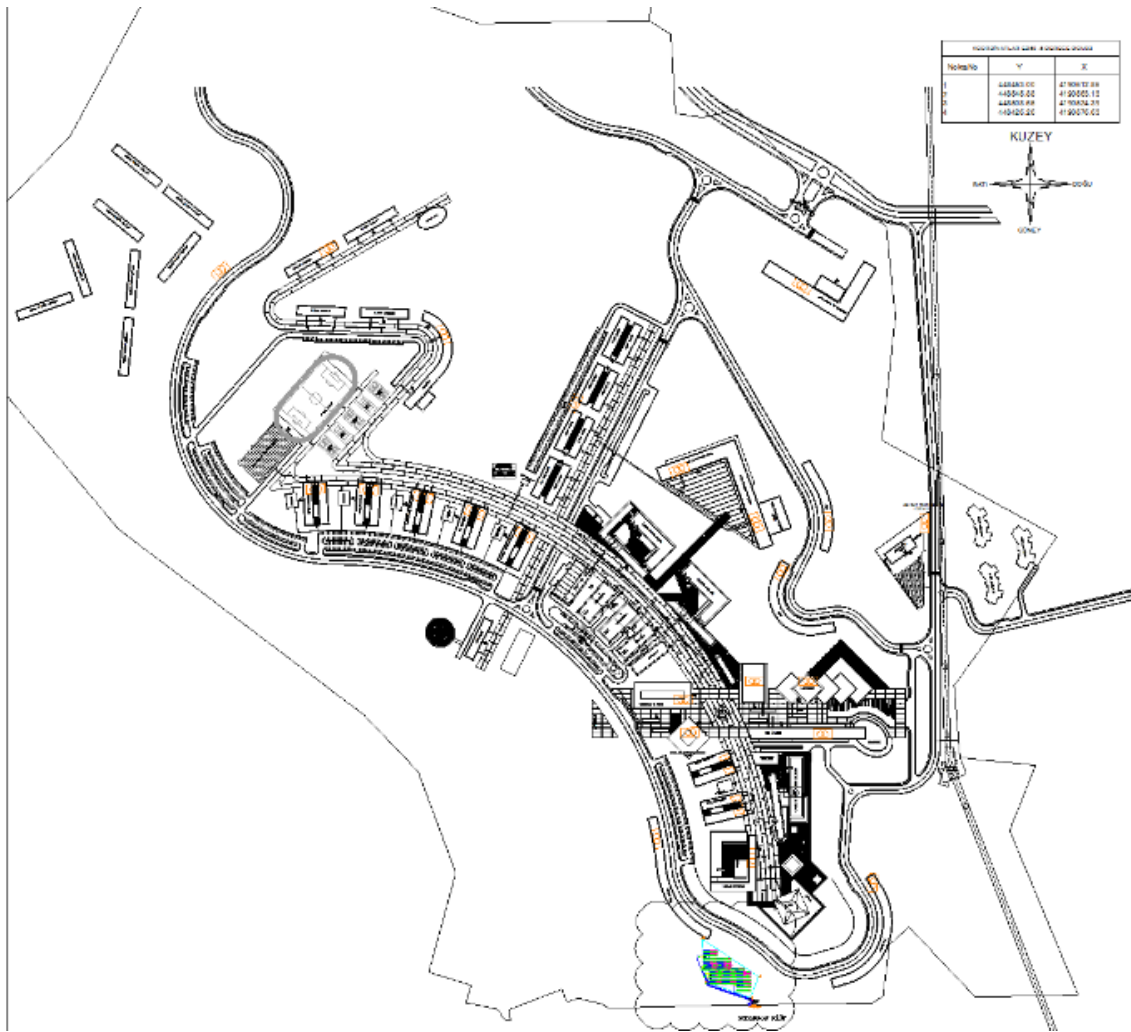
Bu çalışmada; Konya ili içerisinde bulunan 250 kW kurulu güce sahip, FV Santralin, AG tarafında şebekeye verdiği elektrik enerjisinin güç kalitesi parametlerine etkisini incelemek için; sistem Matlab/Simulink ortamında modellenmiştir. Ayrıca FV santralin güç kalite parametrelerini ölçmek için AG tarafında Fluke 435 ile ölçümler yapılmıştır. Elde edilen simülasyon sonuçları ve ölçüm sonuçları ülkemizin güç kalite standardı olan TS EN 50160 Enerji Kalite standardına göre sonuçlar analiz edilmiştir.



Şekil 3.1 250kW FV santral sahası

Konya ili Necmettin Erbakan Üniversitesi Köyceğiz Yerleşkesinde 250 kW kurulu gücündeki FV santral şebekeye OG enerji nakil hattından bağlanmaktadır. Şekil 3.1’de kurulu sistemin sahası gösterilmekte olup Şekil 3.2’ de ise tek hat şeması gösterilmektedir.

Toplam da 1150 adet FV panel kullanılarak üretilen FV santral de AS-P60 250-275W Poly solar marka panel kullanılmıştır. Kurulan FV santral de poli kristal malzemeli FV panel seçilmesinin sebebi; yüksek sıcaklıkta FV panellerde meydana gelen verim düşümünün poli kristal malzeme de daha az yaşanmasıdır [56].



Şekil 3.3. 250kW FV santralin yerleşim planı

1150 adet panel kullanılarak üretilen FV elektrik enerjisi, Köyceğiz yerleşkesi trafo binasına şebeke bağlantılı evirici üzerinden bağlanmıştır ve Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Havacılık ve Uzay Fakültesi, Sosyal Ve Beşeri Bilimler Fakültesi beslenmiştir. Sistem akımının şebekeyle uyumlu olması açısından AA gerilime çevirebilmek için MPPT algoritması içeren evirici kullanılmıştır. Sistemde toplamda 5 adet evirici kullanılmıştır ve her bir eviriciye 23 seri 10 paralel olmak üzere toplam 230 adet panel bağlanmıştır. Tablo 3.1'de kullanılan panelin elektriksel değerleri verilmiştir.

Tablo 3.1. AS-P60 250-275 W FV panel elektriksel değerleri

Panel Özellikleri	AS-P60 250-275W
Panel Max. Gücü	250W
Max. Çıkış Akımı	8.39A
Açık Devre Gerilimi	37.6V
Kısa Devre Akımı	8.92A

FV panel tarafından üretilen doğru akım, DA kablo yardımıyla invertere gönderilerek AC akıma çevrildikten sonra inverter çıkışlarında besleme panolarına gönderilmektedir. Bu FV santral de toplamda 5 adet inverter besleme panosu bulunmakta ve bu besleme panolarının içerisinde kaçak akım rölesi ve otomat bulunmaktadır. Tablo 3.2' de ise kullanılan invertörün elektriksel değerleri verilmiştir.

Tablo 3.2. İnvörtör özellikleri

Giriş Tarafı	
Max. Dc Giriş Gerilimi	1000V
Başlangıç DC Gerilimi	250V
Çalışma DC Giriş Gerilim Aralığı	200...850V
Her MPTT için Max DC Giriş Gücü	20kW
Max DC Giriş Akımı	3A
Çıkış Tarafı	
AA Anma Gücü	49900 VA

3.2. Fotovoltaik Panelin Simülasyonu

3.2.1 Çevirici Tasarımı

FV sistem tasarımında DA/DA güç çevirici devrenin tasarımı gerçekleştirilmiştir. FV sistemde tasarımında kullanılan DA/DA çeviricinin denetimi MPPT ile sağlanmıştır.

FV enerji sistemi için tasarımı yapılacak olan yükseltici DA/DA çeviricinin parametreleri Tablo 3.3'de gösterilmiştir.

Tablo 3.3. Yükseltici çeviricinin FV sistemden gelen parametreleri

Verilen Parametre	Değeri
Giriş Gerilimi V_g	596
Çıkış Gerilimi V_o	800
Çıkış Yüğü (R)	12.8
Anahtarlama Frekansı (fs)	5 kHz
Çıkış Gücü P_o	50 kW
Endüktans akımının tepeden tepeye dalgalılığı ΔI_L	%20
Kondansatör geriliminin tepeden tepeye dalgalılığı ΔV_c	%1

3.2.1. Bobin- Kondansatör Değeri Belirlenmesi

Tasarımı yapılacak olan çeviricide öncelikli olarak bobin değeri hesaplanmaktadır. Yükseltici çeviricide bobin akımı ve giriş akımının ortalama değerleri birbirine eşittir.

$$I_g = I_L \quad (3.1)$$

$$V_o I_o = V_g I_g \quad (3.1)$$

Formülünden yararlanarak hesaplandığında;

$$I_o = \frac{V_o}{R} = 62.5 \text{ A}$$

$$I_g = \frac{800 \cdot 62.5}{596} = 83.89 \text{ A}$$

I_g akımı aynı zamanda bobin akımının ortalama değeridir ve bobin akımı sıfıra hiç düşmez güç anahtarı iletimde olduğunda artarak kesimde olduğunda ise azalarak devam eder ama sıfıra asla inmez. Bobin akımının dalgalılık oranını %20 olarak belirlediğimizden yukarıda hesapladığımız ortalama gerilimin maksimum ve minimum değerleri hesaplanmaktadır. Şekil 3.4'te güç anahtarı iletim ve kesimde iken bobin akımının zamana bağlı değişimi gösterilmektedir.

$$I_g = I_L = 83.89 \text{ A}$$

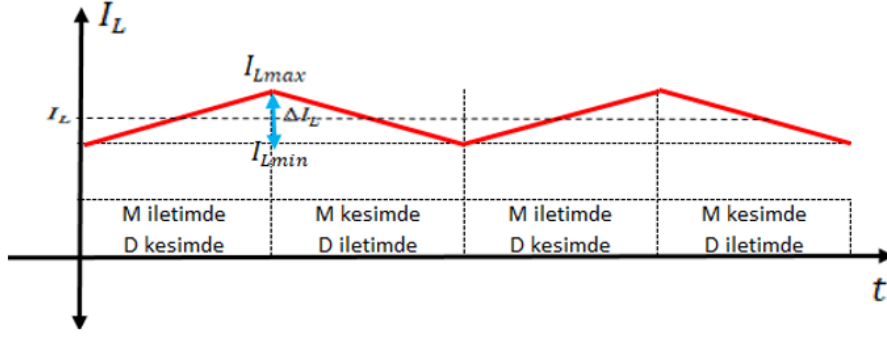
$$\Delta I_L = \%20 \text{ ise;}$$

$$\Delta I_L = I_L * \%20$$

$$\Delta I_L = \frac{83.89 * 20}{100} = 16.77 \text{ A}$$

$$I_{Lmax} = 83.89 + 8.38 = 92.275 \text{ A}$$

$$I_{Lmin} = 83.89 - 8.38 = 75.51 \text{ A}$$



Şekil 3.4 Bobin akımının zamana bağlı değişimi [2]

$$\Delta I_L = \frac{V_{gmin}}{L * f_s} \quad (3.2)$$

formülü kullanılarak tasarımda ki bobin değeri hesaplanmaktadır. L değerini bulabilmemiz için öncelikle D doluluk oranını hesaplanmalıdır.

$$D = 1 - \frac{V_g}{V_o} \quad (3.3)$$

Denklem 3.3'ten $D = 0.255$ olarak hesaplanır.

$$L = \frac{V_{gmin} * D}{\Delta I_L * f_s} \quad (3.4)$$

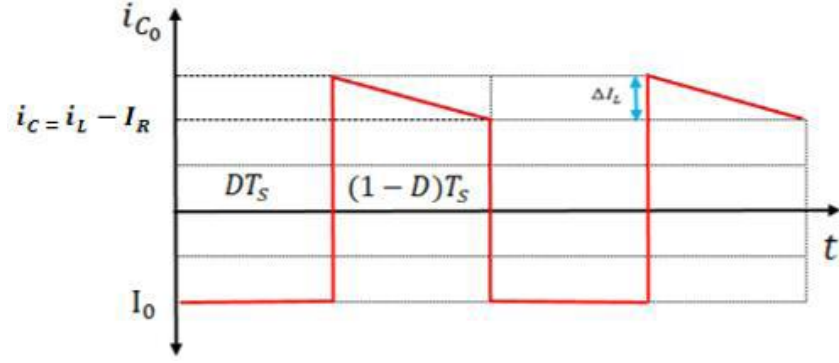
formülünden;

$$L = \frac{596 * 0.225}{16.77 * 5000} = 1.81110^{-3} \text{ H}$$

olarak hesaplanır.

L değerini hesapladıktan sonra bir diğer parametre olan kondansatör değerini hesaplanmalıdır ve kondansatör değeri hesaplanırken ΔV_c çıkış geriliminin dalgalılık oranı hesaba katılmalıdır. Şekil 3.5'te güç anahtarı iletimde ve kesimde iken kondansatör akımının değişimi gösterilmektedir. dT_s süresince güç anahtarı iletimdeyken yükü sadece kondansatör beslemektedir. Bu yüzden kondansatör akımı çıkış akımına eşit olacağından dT_s süresince ($I_o = V_o / R$ formülünden $I_o = 62.5$ hesaplanmaktadır.)-62.5 A olacaktır.

$(1 - d)T_s$ süresince güç anahtarı kesimde olup diyot iletime geçtiğinden dolayı kondansatör akımı $I_C = I_L - I_R$ formülünden yararlanılarak bulunur. I_L akımı dalgalılığı 92.275A ile 75.51A arasında olacağından I_C akımı 29.775 A ve 13.01 A arasında dalgalanma yapacaktır.



Şekil 3.5 Kondansatör akımının zamana bağlı değişimi [2]

C değerinin formülü Denklem 3.6' da verilmiştir.

$$C = \frac{I_{omax} * D}{\Delta V_C * f_s} \quad (3.6)$$

Denklem 3.6 yararlanılarak

$$C = \frac{62.5 * 0.255}{0.01 * 800 * 5000} = 3.98410^{-4} \text{F}$$

olarak hesaplanmaktadır.

$$I_{C1rms} = I_o * \sqrt{D} \quad (3.7)$$

$$I_{C2rms} = I_L - I_o * \sqrt{1 - D} \quad (3.8)$$

Denklem 3.7 ve 3.8 den yararlanarak

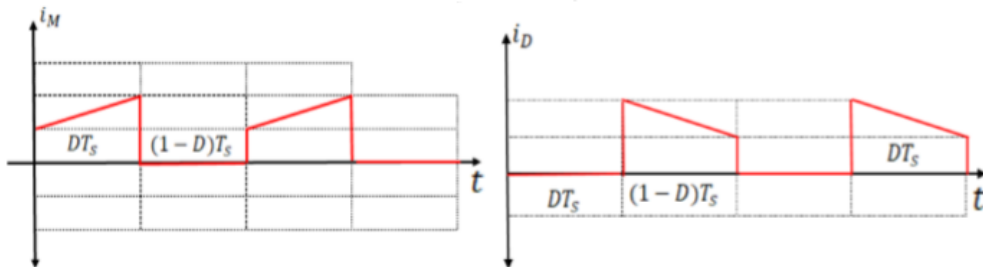
$$I_{C1rms} = 62.5 * \sqrt{0.255} = 31.5 \text{ A}$$

$$I_{C2rms} = 83.89 - 62.5 * \sqrt{1 - 0.255} = 18.46 \text{ A}$$

Kondansatör akımının toplam dalgalılık değeri

$$I_{C1rms} = \sqrt{(I_{C1rms}^2 + I_{C2rms}^2)} = 36.5 \text{ A} \text{ olarak hesaplanır.}$$

Şekil 3.6'da yarıiletken güç anahtarının ve diyot akımlarının zamana bağlı değişimlerinin grafiği verilmiştir. Grafikten yararlanarak yarı iletken güç anahtarının ve diyotun ortalama akımı hesaplanabilir.



Şekil 3.6 a) Yarıiletken güç anahtarının akım-zaman değişimi, b) Diyot akım-zaman değişimi [2]

$$I_Y = I_L * D \quad (3.9)$$

Denklem 3.9'dan yararlanarak yarıiletken güç anahtarının akım ortalaması

$I_Y = 62.5 * 0.255 = 15.93A$ olarak hesaplanır.

$$I_D = I_L * D (1-D) \quad (3.10)$$

Denklem 3.10'dan yararlanarak diyot akımının ortalama değeri

$I_D = 62.5 * 0.745 = 46.5625A$

$I_L = I_Y + I_D = 15.93 + 46.56 = 62.5A$ olarak hesaplanır.

$$I_{Yrms} = I_L * \sqrt{D} \quad (3.11)$$

$$I_{Drms} = I_L * \sqrt{1 - D} \quad (3.12)$$

Denklem 3.11 ve 3.12'den yararlanarak yarıiletken güç anahtarı ve diyodun rms değerleri

$$I_{Yrms} = 62.5 * \sqrt{0.255} = 31.5 A$$

$$I_{Drms} = 62.5 * \sqrt{0.745} = 53.9 A$$

olarak hesaplanır.

D çalışma oranının değişimi yarı iletken güç anahtarı ve diyot akımları üzerindeki etkisi açıkça görülmektedir ve D çalışma oranı arttıkça yarı iletken güç anahtarı akımı doğrusal diyot akımı ters oranda azalmaktadır.

Hesaplanan değerler tabloda gösterilmektedir.

Tablo 3.4 Hesaplanan parametre

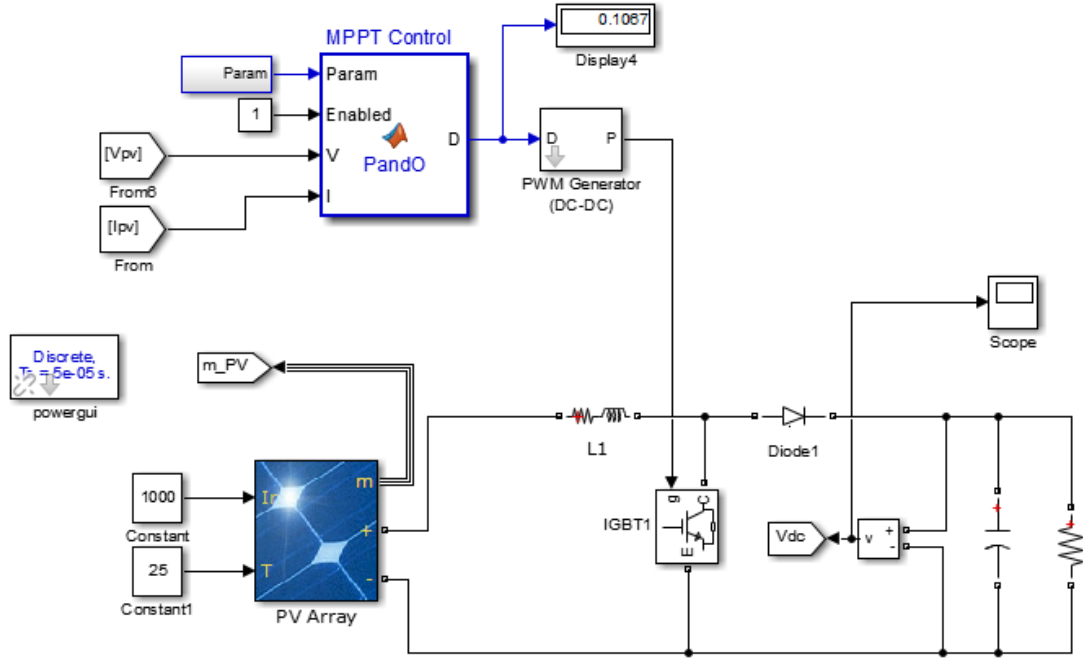
Hesaplanan Parametre	Değeri
Bobin	$1.81110^{-3}H$
Kondansatör	3.98410^{-4}
Kondansatör akımının etkin değeri	36.5 A
Yarı iletken güç anahtarının ortalama değeri	15.93 A
Yarı iletken güç anahtarının etkin değeri	31.5 A
Diyot akımının etkin değeri	53.9 A

3.2.2. Tasarlanan Çeviricinin Simülasyonu

Güneş enerji sistemi için tasarlanan yükseltici DA/DA çeviricinin hesaplanan parametrelerle gerçekleştirilen simülasyonu Şekil3.7'de gösterilmiştir.

Yapılan simülasyon çalışmasında DA/DA çeviricinin güç anahtarının kontrol kısmında MPPT algoritması olarak değiştir ve gözle algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmanın seçilmesi günümüzde en yaygın kullanılan algoritma olması ve aktif kurulu sistemimizde de

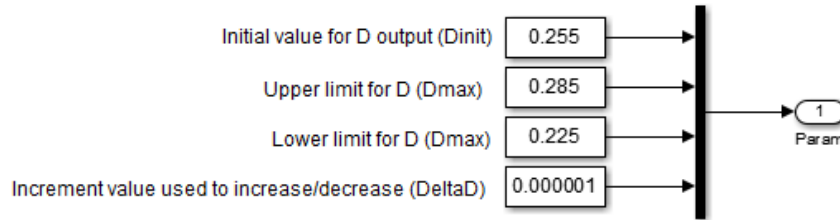
uygulanmış olmasından kaynaklıdır. Değişir ve gözle algoritması Matlab ortamından alınmış olup parametre değerleri hesaplanmıştır. Şekil 3.8’de MPPT algoritmasının Matlab fonksiyon bloğu gösterilmektedir. Değişir ve gözle algoritması m.file kısmında yazılarak fonksiyon bloğu ile simülink ortamına aktarılmıştır. MPPT Control bloğunda gerilim tabanlı bir algoritma olup D doluluk oranı verisini çıktı olarak vermektedir. MPPT Control bloğundan alınan doluluk bilgisi PWM generatör bloğuna aktarılarak DA/DA çeviricide ki güç anahtarına anahtarlama sinyali gönderilmektedir.



Şekil 3.7 MPPT kontrollü DA/DA çevirici devresi

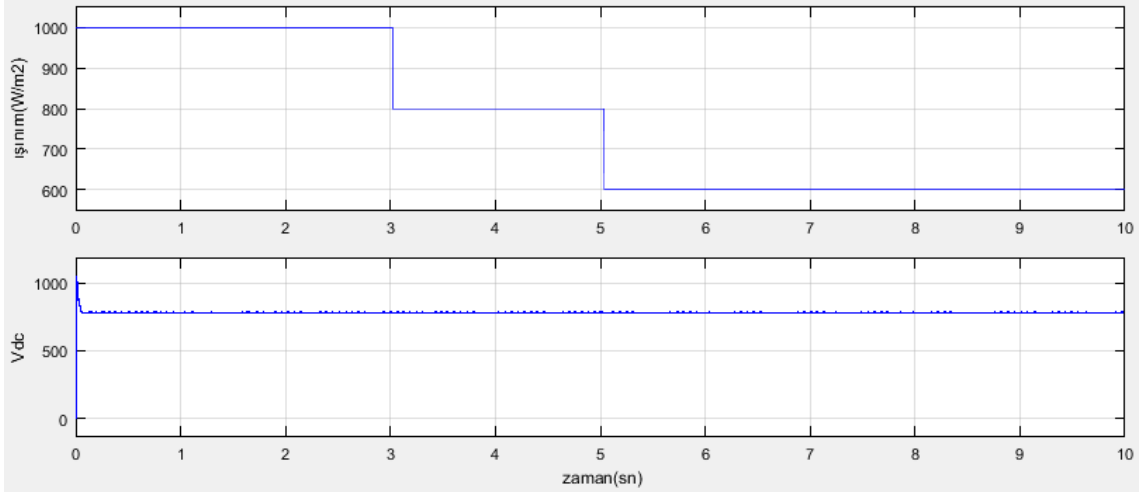
Parameters for Perturb and Observe Algorithm:

(D = Boost converter duty cycle)



Şekil 3.8 MPPT Control bloğu parametreleri

MPPT Control bloğu parametrelerinden başlangıç D değeri Denklem 3.3'den yararlanarak $D_{init} = 0.255$ olarak hesaplanır. Giriş gerilimimiz olan 596 V'a ± 24 volt ekleyerek $D_{max} = 0.285$ ve $D_{min} = 0.225$ olarak hesaplanır.

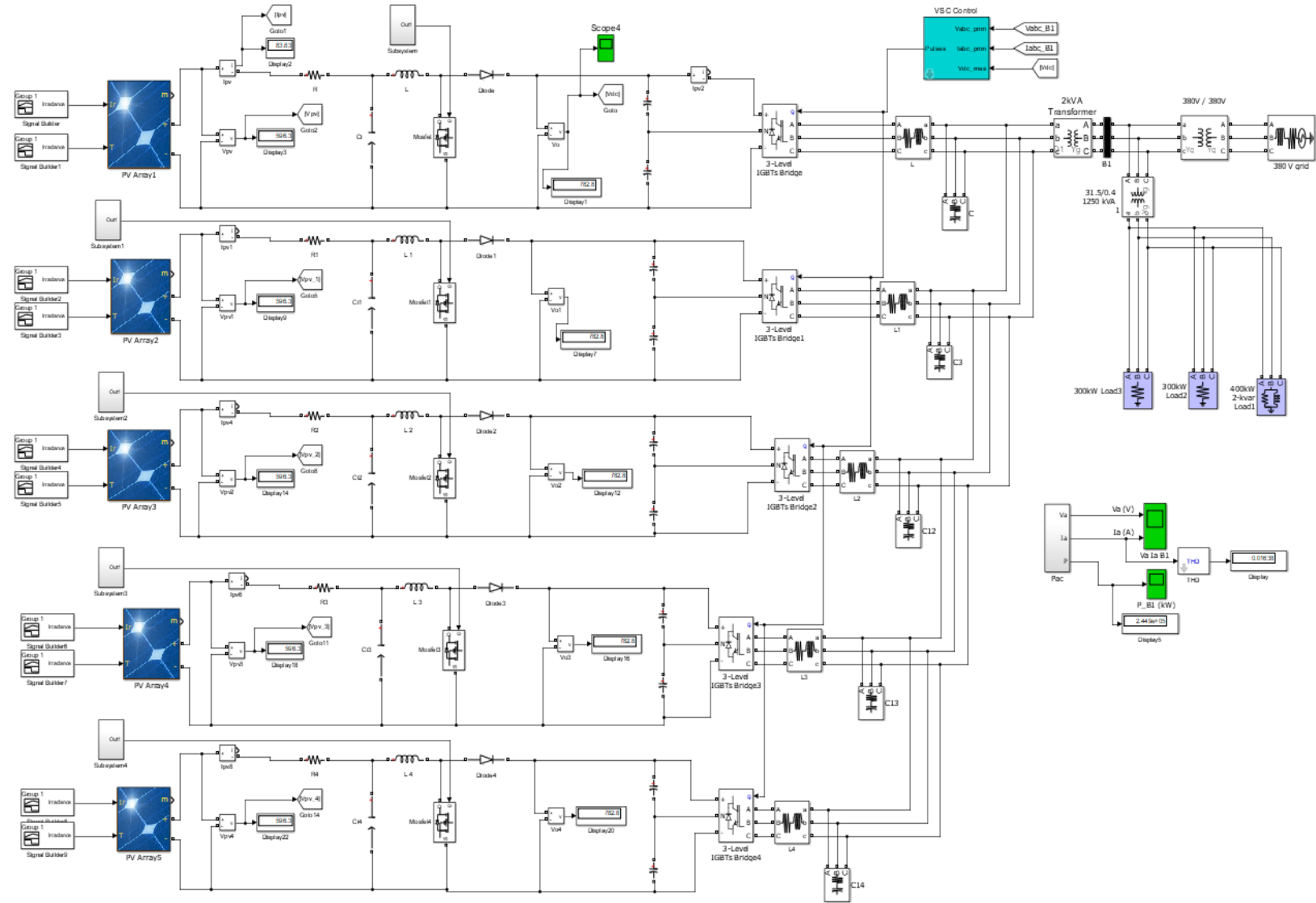


Şekil 3.9 DA/DA çevirici devresinin DA çıkış gerilimi grafiği

Güneş paneli ışınımı 1000 W/m² ile 600 W/m² arasında değişmektedir. FV panelin çıkış gerilimi değişken olduğu halde yükseltici DA/DA çıkışı sabit 800 V gerilim vermektedir.Şekil 3.9’da farklı ışınım değerlerine karşılık sabit dc çıkış gerilimi grafiği verilmiştir.

3.2.3 Şebeke bağlantılı FV Sistemin Simülasyonu

Bu simülasyonda Konya ili Necmettin Erbakan Üniversitesi Köyceğiz Kampüsü’nde Kurulu olan 250 kW ’lık sistem modellenmiştir. Şekil 3.10’da şebeke bağlantılı FV sistemin simülasyonu gösterilmektedir.



Şekil 3.10 Şebeke bağlantılı 250 kW'lık sistem simülasyonu

Simülasyonda kullanılan FV panel Matlab/Simulink ortamından alınmış olup panelin elektriksel değeri Tablo 3.1'de verilen panel değerleri girilmiştir. Şekil 3.11'de simülasyonda kullanılan panelin girilen değerleri ve Şekil 3.12'de FV panelin standart test koşulları altında ki akım-gerilim grafiği gösterilmiştir.

PV array (mask) (link)
Implements a PV array built of strings of PV modules connected in parallel. Each string consists of modules connected in series. Allows modeling of a variety of preset PV modules available from NREL System Advisor Model (Jan. 2014) as well as user-defined PV module.
Input 1 = Sun irradiance, in W/m2, and input 2 = Cell temperature, in deg.C.

Parameters **Advanced**

Array data

Parallel strings: 10

Series-connected modules per string: 20

Module data

Module: User-defined

Maximum Power (W): 250.022

Cells per module (Ncell): 60

Open circuit voltage Voc (V): 37.6

Short-circuit current Isc (A): 8.92

Voltage at maximum power point Vmp (V): 29.8

Current at maximum power point Imp (A): 8.39

Temperature coefficient of Voc (%/deg.C): -0.33

Temperature coefficient of Isc (%/deg.C): 0.055

Display I-V and P-V characteristics of ...
array @ 1000 W/m2 & specified temperatures

T_cell (deg. C) [0 25 50]

Plot

Model parameters

Light-generated current IL (A): 8.9649

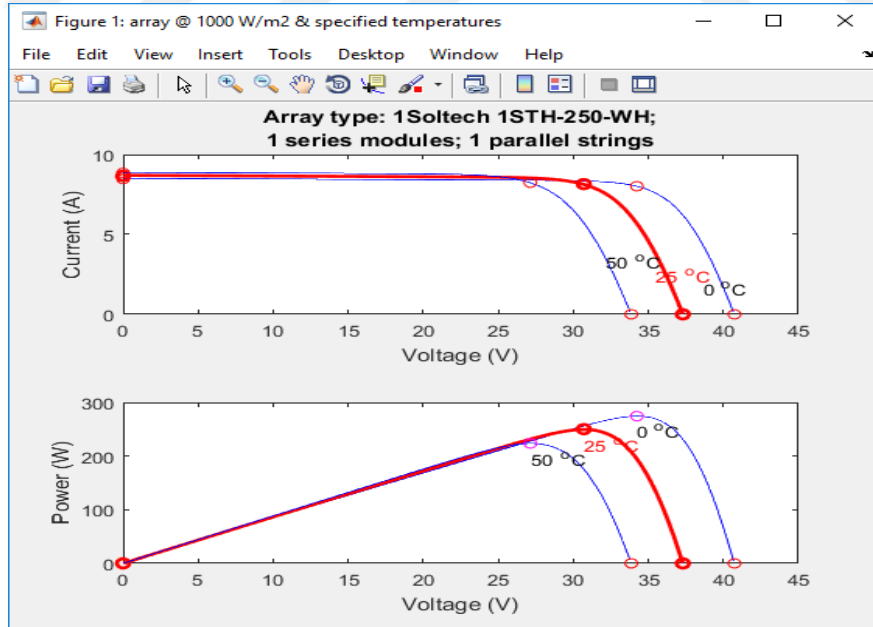
Diode saturation current I0 (A): 1.0126e-10

Diode ideality factor: 0.96822

Shunt resistance Rsh (ohms): 284.8838

Series resistance Rs (ohms): 0.40761

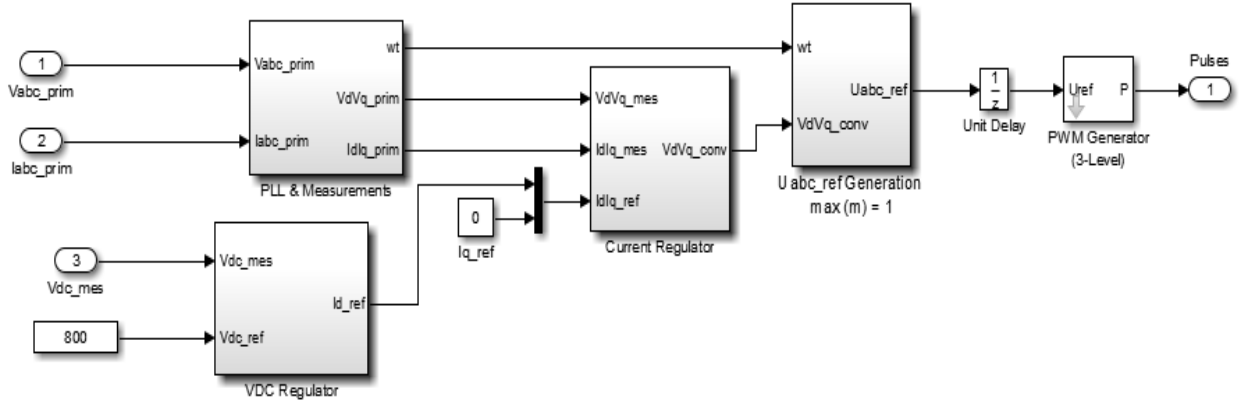
Şekil 3. 11 Panelin standart test koşulları altındaki değerleri



Şekil 3. 12 Simülasyon ortamında ki FV panelin standart test koşullarında ki akım gerilim grafiği

3.2.3.1 İnverter Kontrol Tasarımı

DA/DA çeviriciden aldığımız DA enerjii AA çevirebilmek için inverter bağlantısı yapılmaktadır. Simülasyon da 3 köprülü voltaj kontrollü inverter kullanılmıştır. Sabitletiğimiz DA gerilimi inverter girişlerine bağladık. İnverter anahtarlamasını Şekil3.13'de gösterilen VSC kontrol bloğu ile yapılmış olup PLL bloğu ile şebeke entegrasyonu sağlamıştır. DA/DA çeviriciden ölçülen gerilim VDC Regulator bloğu ile ölçülen akım ise Current Regulator bloğu ile kontrol edilmiştir.



Şekil3.13 Matlab/Simulink VSC kontrol bloğunun iç yapısı

3.2.3.2 İnverter Çıkışı Filtre Tasarımı

DA/DA çevirici ile sabitletiğimiz DC gerilimi DA/AA çevirici inverter ile alternatif gerilime dönüştürdükten sonra elde gerilimi LCL filtre yardımı ile düzenledik.

LCL filtre tasarımı yapılırken;

- $P_{nom} = 50000 \text{ W}$;
- $F_{nom} = 50 \text{ Hz}$;
- $V_{dc} = 800 \text{ V}$;
- $V_{nom} = 400 \text{ V}$

$$R_x = 0.0015 * V_{nom}^2 / P_{nom} \quad (3.14)$$

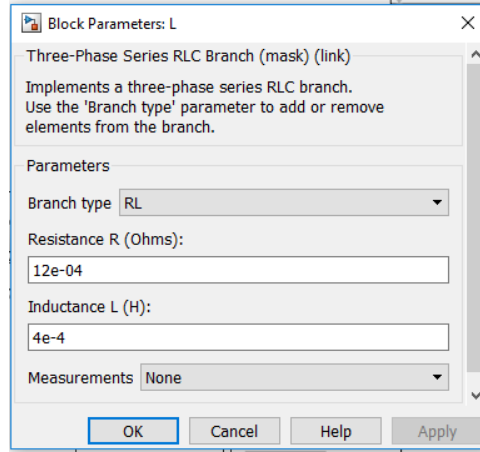
$$L_x = 0.15 * V_{nom}^2 / P_{nom} / (2 * \pi * F_{nom}) \quad (3.15)$$

Denklem 3.14 ve 3.15 kullanılarak inverter çıkışı R_x ve L_x değerleri;

$$R_x = 0.0015 * 0.6936 = 4.8 \text{ m}\Omega \text{ olarak,}$$

$$L_x = 0.15 * 0.4579 / 2 * 3.14 * 50 = 1.52 \text{ mH olarak hesaplanmıştır ve Şekil3.14}$$

gösterildiği gibi endüktans bloğuna girilmiştir.



Şekil 3.14 Matlab/Simulink endüktans bloğu

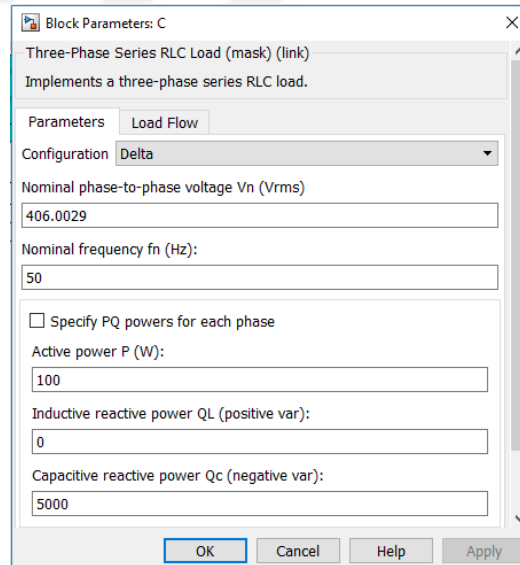
$$Q_c = 0.1 * P_{nom}; \quad (3.17)$$

$$P_c = Q_c/50; \quad (3.18)$$

Denklem 3.17 ve 3.18'den ise LCL filtrenin kapasitör değerleri;

$$Q_c = 0.1 * 50000 = 5000$$

$P_c = 5000/50 = 100$ olarak hesaplanmıştır ve Şekil 3.15'de gösterildiği gibi kondansatör bloğuna girilmiştir.



Şekil 3.15 Matlab/Simulink kondansatör bloğu

3.2.3.2 Trafo Tasarımı

250 kW kurulu güçteki FV sistemin simülasyonu yapılırken güç transformatörleri de modellenmiştir. Kurulu sistemimizde 400 kVA ve 1250 kVA gücünde iki adet transformatör

bulunmaktadır. Transformatörler Dyn11 bağlantı grubuna sahip olduğu için Matlab/Simulink programında bağlantı grubunu simgeleyen Şekil 3.18'de görülen blok kullanılmıştır.

Transformatörün sargılarına ait sargı direnci, endüktansı, manyetik direnci ve manyetik endüktansı boşa çalışma ve kısa devre çalışmasından elde edilen verilerle hesaplanmaktadır.

400 kVA 31.5/0.4 kV'luk transformatörün fabrika kısa devre test değerlerinden elde edilen bilgiler;

- $P_k = 2552 W$
- $U_k = 1448V$
- $I_n = 4.4 A$
- $a^2 = (31500/230)^2 = 18757$

$$P_k = U_k I_k \cos(\varphi_k) \quad (3.19)$$

Transformatör Dyn11 bağlantılı olduğu için I_n akımı $\sqrt{3}$ 'e bölünerek

$$I_{nf} = 2.54 A \text{ olarak hesaplanır.}$$

Denklem 3.19'dan yararlanılarak $\cos(\varphi_k) = 0.23$ olarak hesaplanır.

$$Z_k = \frac{U_k}{I_n} \angle \varphi_k \quad (3.20)$$

Denklem 3.20'den yararlanılarak $Z_k = 570 \Omega$ olarak hesaplanır.

$$R_k = Z_k \cos(\varphi_k) \quad (3.21)$$

$$X_k = Z_k \sin(\varphi_k) \quad (3.22)$$

Denklem 3.21 ve 3.22'den faydalanılarak kısa devre sargı direnci $R_k = 131 \Omega$ ve $X_k = 554.7 \Omega$ olarak hesaplanır.

$$R_k = R_1 + R_2 a^2 \quad (3.23)$$

$$X_k = X_1 + X_2 a^2 \quad (3.24)$$

Primer ve primere indirgenen sekonder sargı direncinin değerleri birbirlerine çok yakın olduğundan eşit kabul edilir ve $R_1 = 65.5 \Omega$ olarak hesaplanır. Sekonder sargı direnci dönüştürme oranı kullanılarak $R_2 = 3.50 m\Omega$ olarak hesaplanır.

Aynı şekilde primer ve primere indirgenen sekonder sargı reaktansı değerleri birbirlerine çok yakın olduğundan eşit kabul edilir ve $X_1 = 277.35 \Omega$ olarak hesaplanır. Sekonder sargı reaktansı dönüştürme oranı kullanılarak $X_2 = 0.0148 \Omega$ olarak hesaplanır.

$$X = 2\pi fL \quad (3.25)$$

Denklem 3.25 kullanılarak;

$$\begin{aligned} 277.35 &= 2\pi 50 L_1, & L_1 &= 0.883 H, \\ 0.0148 &= 2\pi 50 L_2, & L_2 &= 47.14 \mu H \end{aligned} \text{ olarak hesaplanır.}$$

400 kVA 31.5/0.4 kV'luk transformatörün fabrika boşa çalışma test değerlerinden elde edilen bilgiler;

- $P_o = 329 W$
- $U_n = 400 V$
- $I_o = 1.76 A$

$$P_o = U_n I_o \cos(\varphi_k) \quad (3.26)$$

Transformatör Dyn11 bağlantılı olduğu için U_n akımı $\sqrt{3}$ ' e bölünerek

$$U_{nf} = 230 A \text{ olarak hesaplanır.}$$

Denklem 3.26'dan yararlanarak $\cos(\varphi_k) = 0.26$ olarak hesaplanır.

$$Y_E = \frac{I_o}{U_n} \angle -\varphi_k \quad (3.27)$$

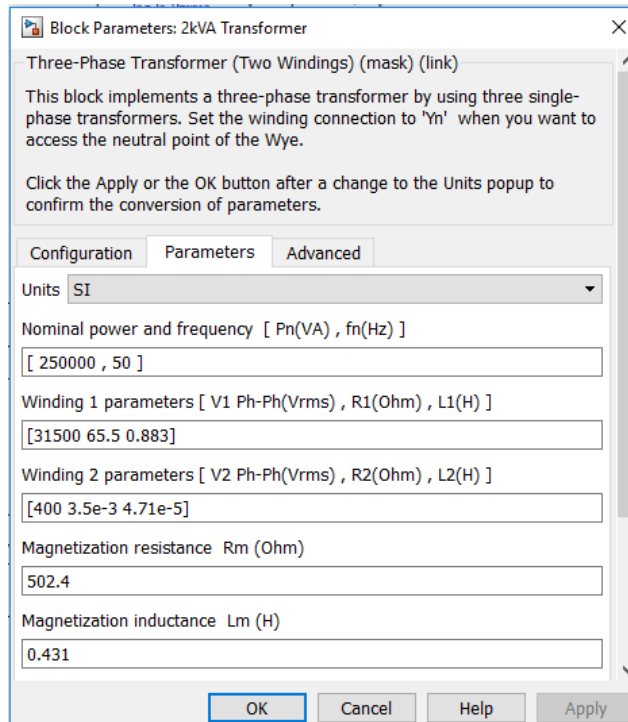
Denklem 3.27'den $Y_E = 7.652 mS$ olarak hesaplanır.

$$\frac{1}{R_c} = Y_E \cos(-\varphi_k) \quad (3.28)$$

$$\frac{1}{X_m} = Y_E \sin(-\varphi_k) \quad (3.29)$$

Denklem 3.28 ve 3.29'dan yararlanarak $R_c = 502.4 \Omega$, $X_m = 135.34\Omega$ olarak hesaplanır. Denklem 3.25'ten yararlanarak da $L_m = 0.431H$ olarak hesaplanır.

Hesaplanan bu değerler Matlab/Simulink ortamında ki transformatör bloğuna girilmiştir ve Şekil 3.16' da gösterilmiştir.

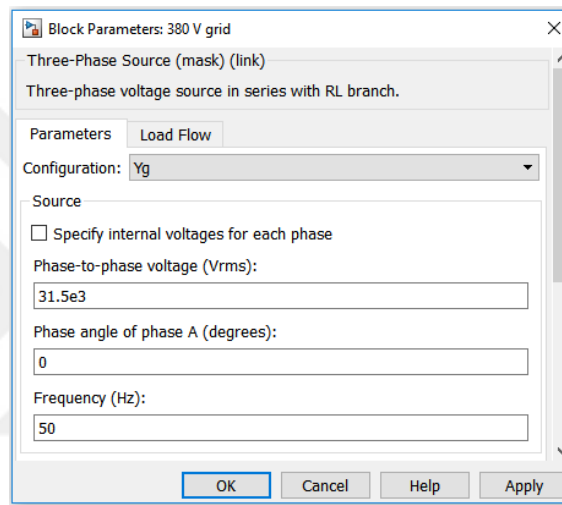


Şekil 3.16 250 kVA 31.5/0.4 kV trafo modeli

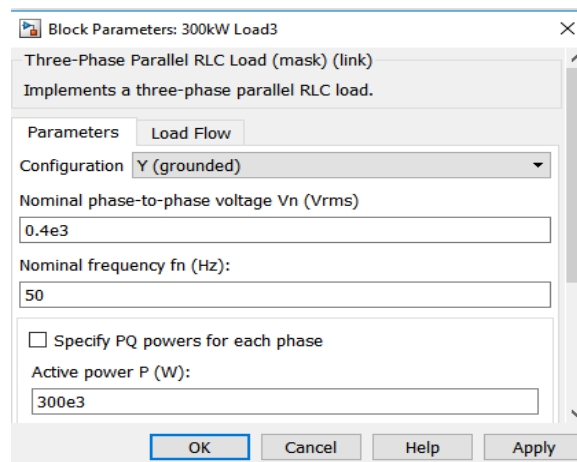
3.2.3.3 Generatör ve Yük Tasarımı

Modellenen sistemde üretilen 250 kW FV enerji yukarıda tasarımı gösterilen 250kVA 31.5/0.4 kV' luk trafo ile şebeke gerilimi olan 31.5 kV 'a yükseltilmektedir. Şebeke hattını modellemek Matlab/Simulink ortamında bulunan Şekil 3.17'de gösterilen three-phase source bloğu kullanılmıştır. Kaynak faz-faz gerilimi 31.5 kV , frekansı ise 50 Hz girilmiştir.

FV şebekenin beslediği Mühendislik-Mimarlık fakültesi, Havacılık ve Uzay fakültesi ve Sosyal ve Beşeri Bilimler fakültesinin yükleri sırasıyla 400kW, 300 kW ve 300 kW'tır. Matlab/Simulink ortamında Load bloğu ile modellenmiştir ve Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



Şekil 3.17 Generatör modeli



Şekil 3.18 Yük modeli

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

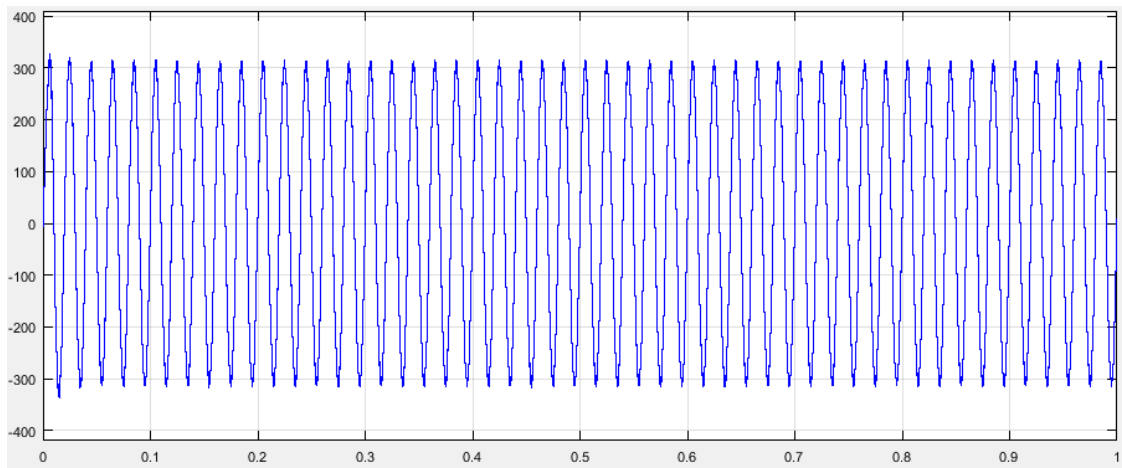
4.1. Simülasyon değerleri ve gerçek ölçümlerin karşılaştırılması

Bu çalışmada 250kW kurulu güçte ki Necmettin Erbakan Üniversitesi kampüsünde aktif faaliyet gösteren FV sistem modellenmiştir. Ayrıca 05.09.2017 tarihinde FV sisteme ait güç kalite ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümler 7 gün boyunca devam etmiştir. Yapılan bu ölçümler kaydedilmiş ve Power Log yazılmış programına yüklenmiştir. Power Log programı yüklenen verileri grafiksel olarak görme şansı sunmaktadır.

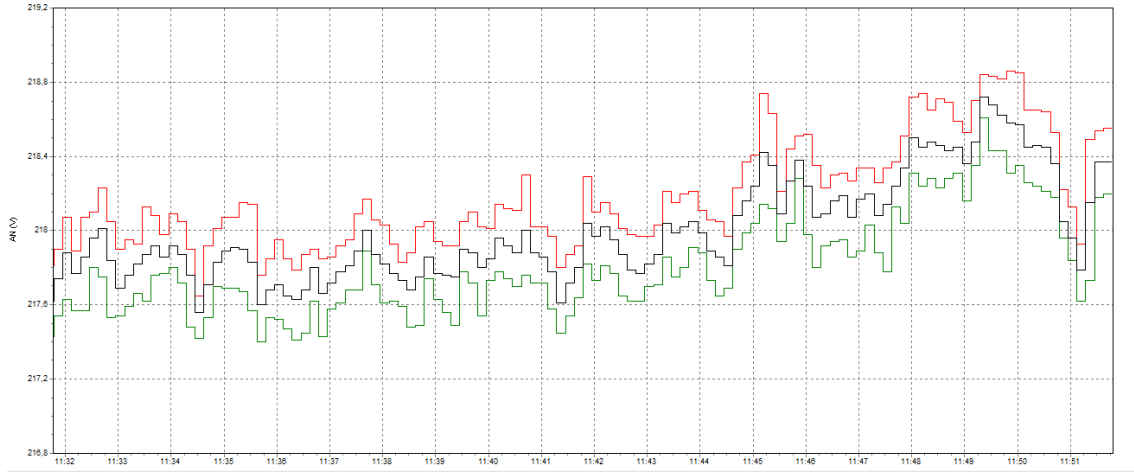
4.1.1. Gerilim ve Akım Analizi

Yapılan gerçek ölçümler trafonun alçak gerilim tarafında gerçekleştirilmiş olup Şekil 4.1'de gösterilmektedir. Aynı şekilde simülasyondan elde edilen sonuçlar da trafonun alçak gerilim tarafından elde edilmiş olup Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Fluke ölçüm cihazı sonuçları sistemin rms değeri olup 220V'tur ancak Matlab/Simulink sonuçları tepe değerini vermekte olup 311V'tur.

Yapılan ölçüm sonucu elde edilen gerilim değerinin rms ortalaması 217 V olarak görülmektedir. 217 V rms değeri Tablo 4.1' de gösterilen TS EN 50160 gerilim sınır değeri olan $\pm\%10$ 'a uygundur.



Şekil 4.1 Matlab/Simulink A-fazı gerilim ölçümü

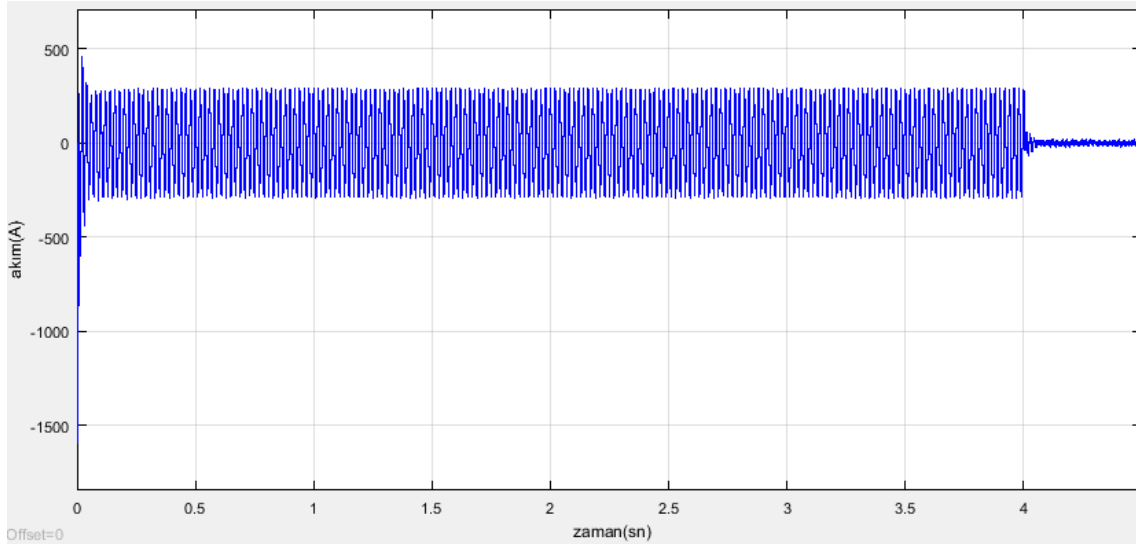


Şekil 4.2 Fluke ölçüm cihazı A-fazi efektif gerilim ölçümü

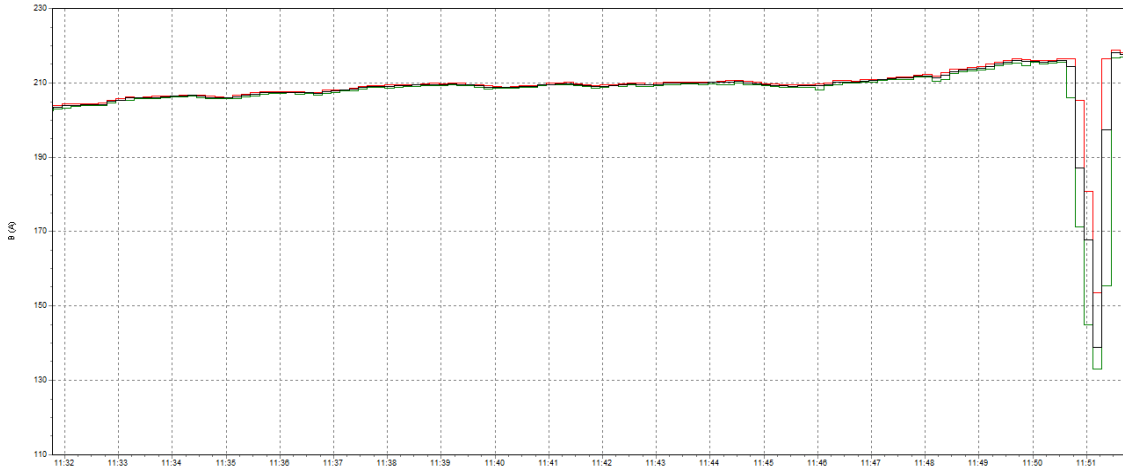
Tablo 4.1 TSEN 50160 gerilim standartı

Ölçülen Parametre	A.G. Sınır Değer	O.G Sınır Değer	Ölçüm Tekniği	Açıklama
Gerilim Genliği	< ± % 10	< ± % 10	Ölçüm periyodu boyunca ölçülen gerilim etkin değerlerinin 10'ar dakikalık ortalamalarının en az %95'i	Yönetmeliğe göre kararlı durum ve geçici rejim şartlarında istenilmiştir. Ancak bu konuda çelişki mevcut olup sınır değerler kararlı sadece durumlar için istenilmelidir.
	+% 10-% 15	< ± % 15	Tamamı	

Şekil 4.3' te Matlab/Simulink ortamında ki simülasyonun akım sonuçları gösterilmiştir ve Şekil 4.4'te Fluke cihazı ile yapılan gerçek ölçüm akım sonuçları gösterilmektedir. Fluke cihazı ile ölçüm yapılan 05.09.2018 tarihinin ışınım verileri SoDa Mera veri ağından elde edilmiş olup simülasyon da kullanılmıştır.



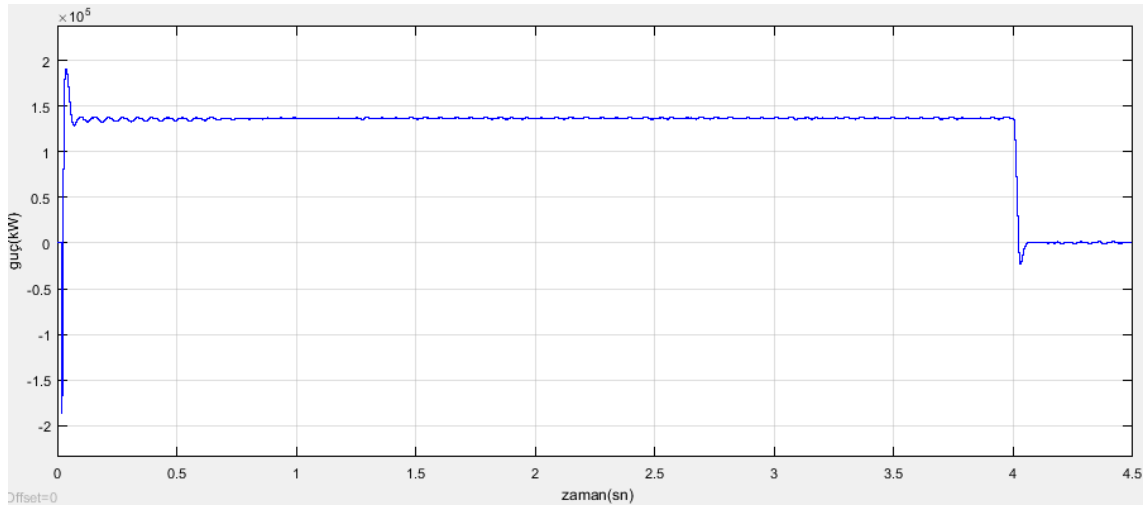
Şekil 4.3 Matlab/Simulink A-fazı akım ölçümü



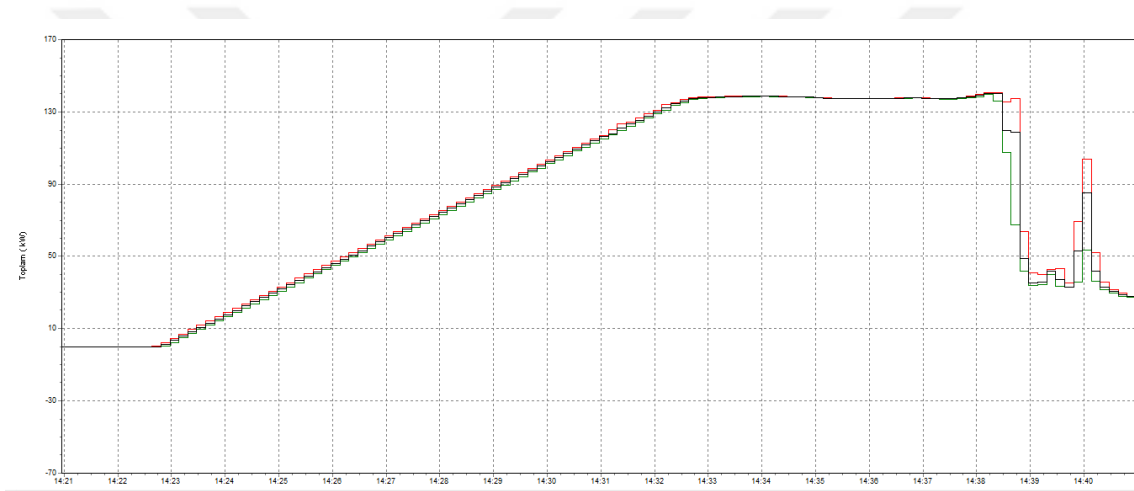
Şekil 4.4 Fluke ölçüm cihazı A-fazı efektif akım ölçümü

4.1.1. Güç Analizi

FV sistemde üretilen güç ışıınım ve sıcaklıkla bağıntılıdır. Bu yüzden gerçek ışıınım verileri simülasyon ortamına girilerek üretilen güç grafiğı Şekil 4.8'de gözlemlenmiştir. Aynı şekilde Şekil 4.9'da Fluke cihazı ile yapılan ölçüm sonuçları verilmiştir.



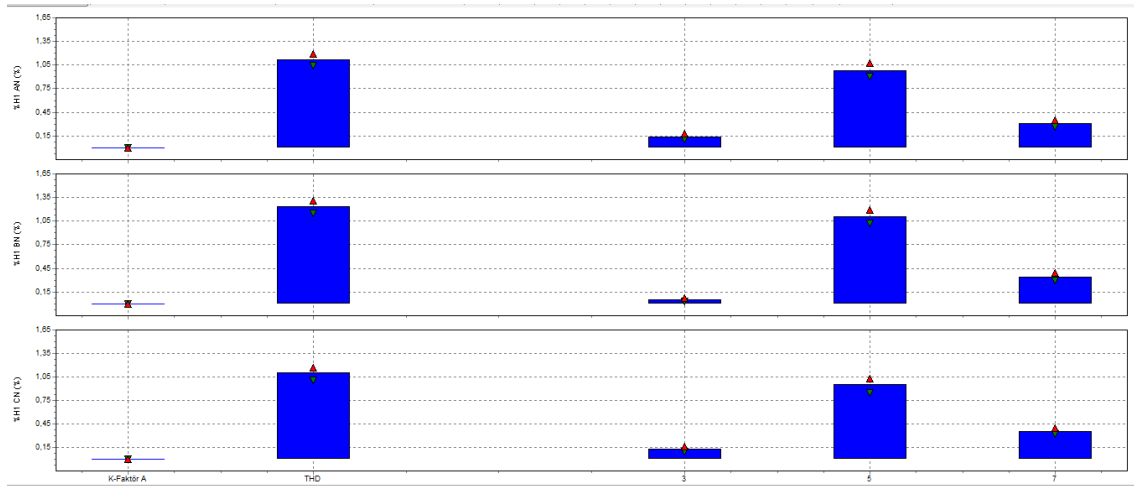
Şekil 4.5 Matlab/ Simulink aktif güç ölçümü



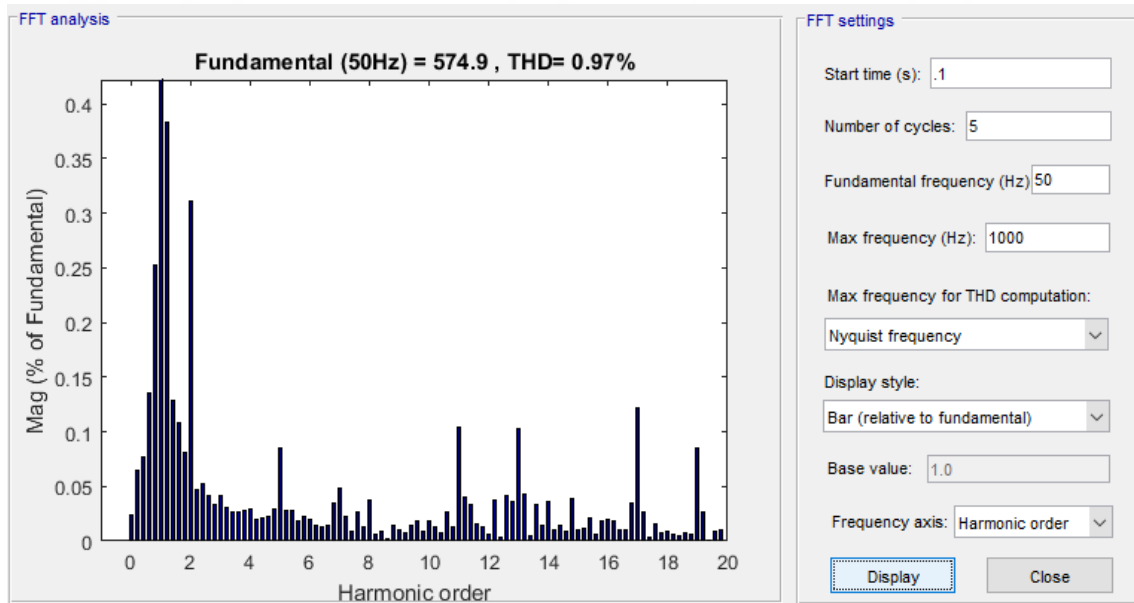
Şekil 4.6 Fluke ölçüm cihazı aktif güç ölçümü

4.1.2. Harmonik Analizi

Bu çalışma da dağıtık üretim tesislerinin güç kalitesine etkisini incelemek üzere saha da trafonun AG tarafında harmonik ölçümler yapılmıştır ve Şekil 4.7' de gösterilmektedir. Aynı şekilde Matlab/Simulink ortamında yapılan simülasyonda da trafonun AG tarafında harmonik analiz yapılmış ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir.



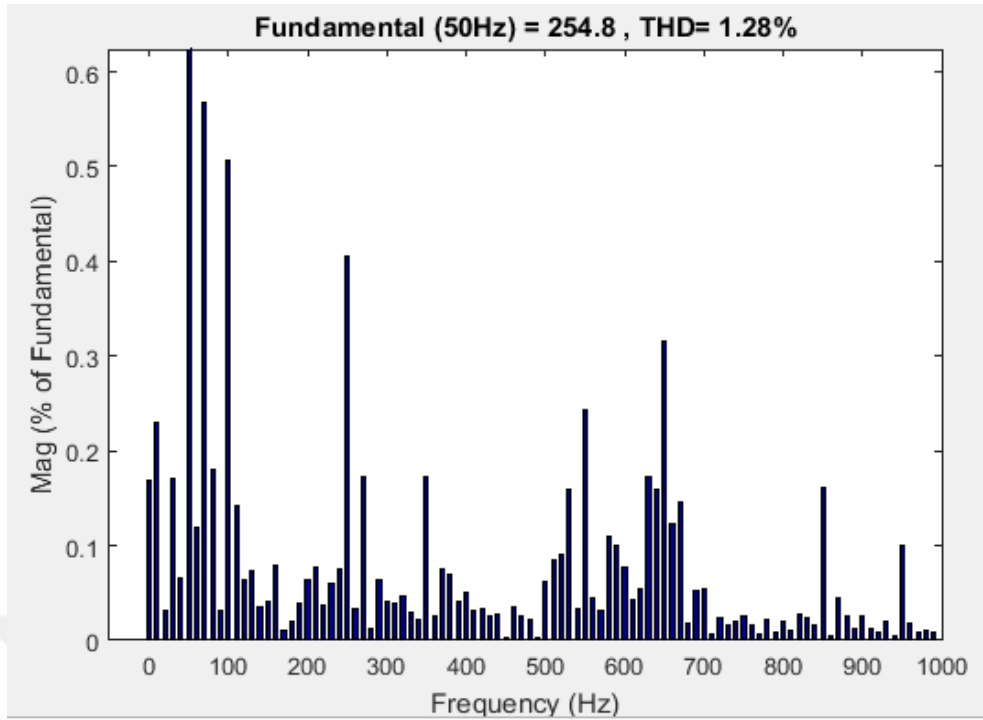
Şekil 4.7 Fluke ölçüm cihazı gerilim harmonik analizi



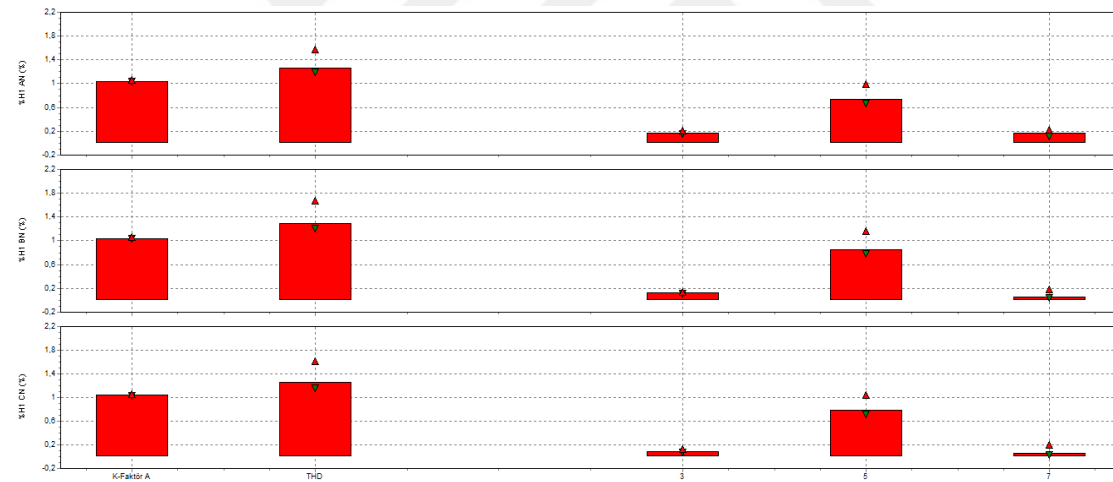
Şekil 4.8 Matlab/Simulink AG gerilim harmonik analizi

Tablo 4.2 IEEE 519 – 2014 gerilim harmoniği limit değerleri

Maksimum Voltaj Harmonik Değerleri		
Gerilim	Bireysel Harmonik	%THD
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5



Şekil 4.9 Matlab/Simulink AG akım harmonik analizi



Şekil 4.10 Fluke ölçüm cihazı akım harmonik analizi

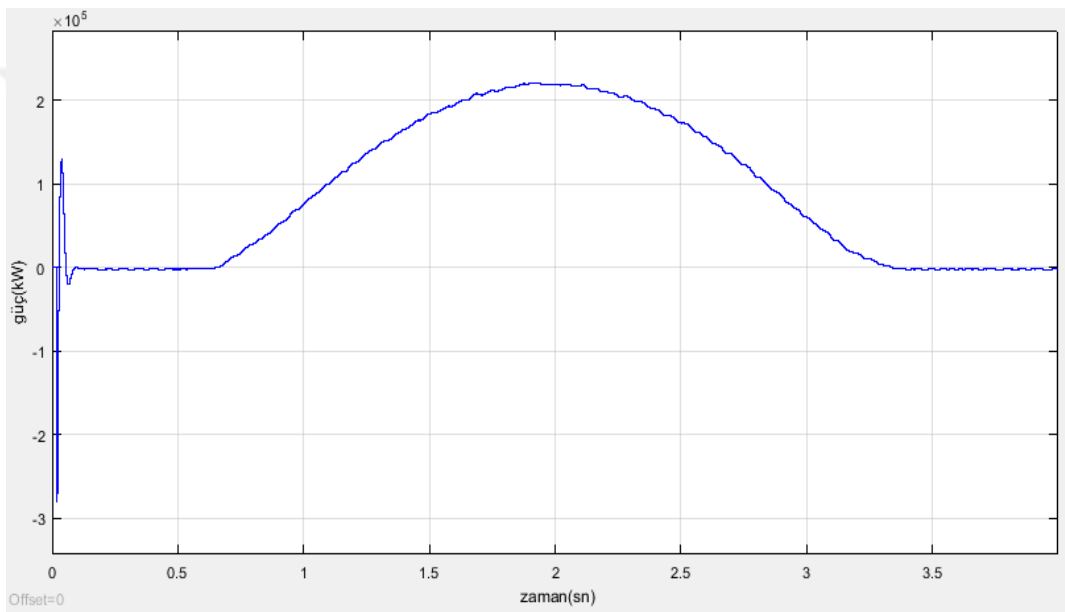
Tablo 4.3 IEEE 519 – 2014 akım harmoniği limit değerleri

I_{sc}/I_L	$3 \leq 11$	$11 \leq 17$	$17 \leq 23$	$23 \leq 35$	$35 \leq 50$	%TDD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	4	4	4	2	10.1	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

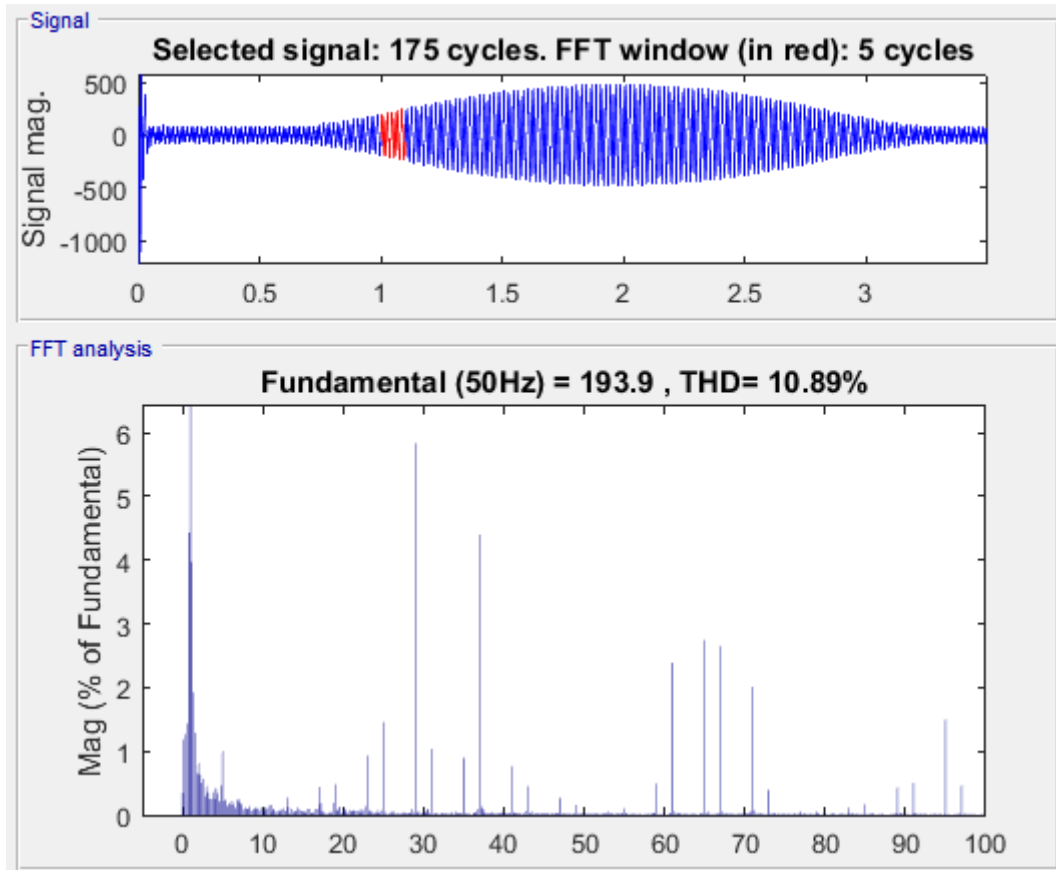
Güç kalitesi parametrelerinden biri olan harmonik analiz, dağıtık üretim tesislerinin önemli bir konusudur. Artan FV invertörlerinden kaynaklanan harmonik bozulma konusunda endişeler artmaktadır.

Yapılan literatür çalışmaları sonucunda, FV invertörlerin düşük güneş ışığından dolayı hafif yük koşullarında çalışırken toplam harmonik bozulma arttığı gözlemlenmiştir.

FV panelin üretimle ilişkisini gözlemleyebilmek için, 05.09.2018 tarihinin bir günlük ışınım verisi alınarak Matlab/simulink ortamında ki simin bloğu ile FV panelimize ışınım verisi olarak girilmiştir. Şekil 4.11'de ışınım ile paralel olarak üretilen güç verilmiştir. Daha sonra üretilen gücün anlık değerlerinde harmonik analiz yapılmıştır.

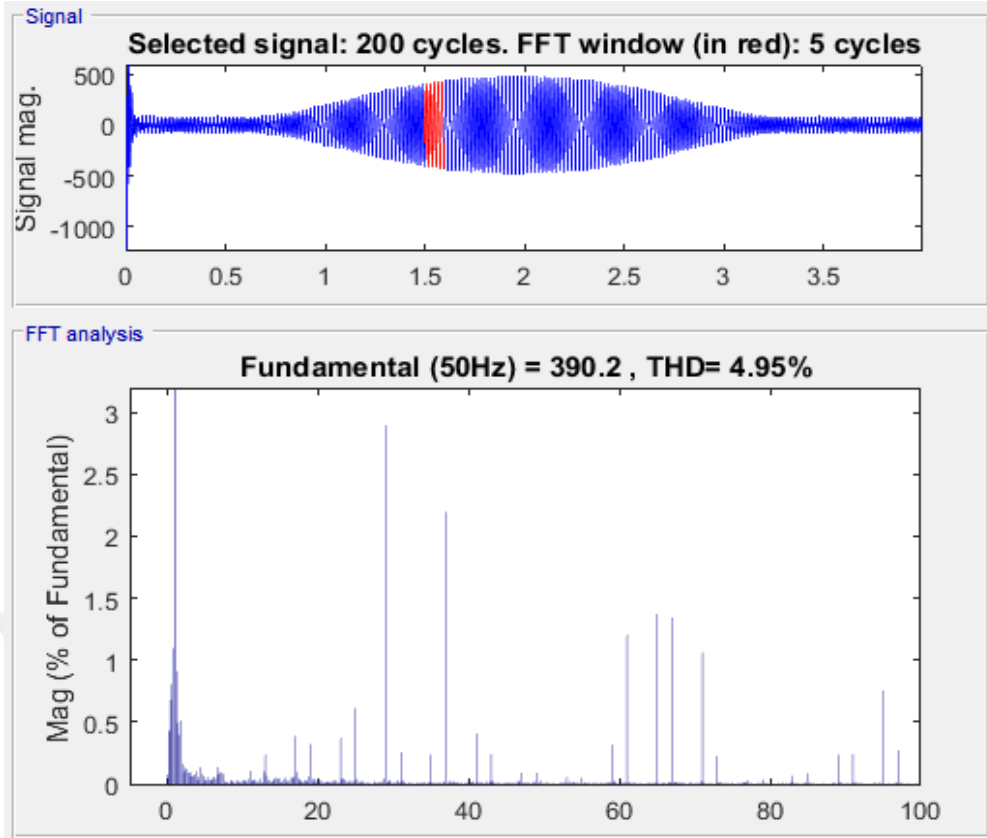


Şekil 4.11 Matlab/Simulink güç-ışınım grafiği



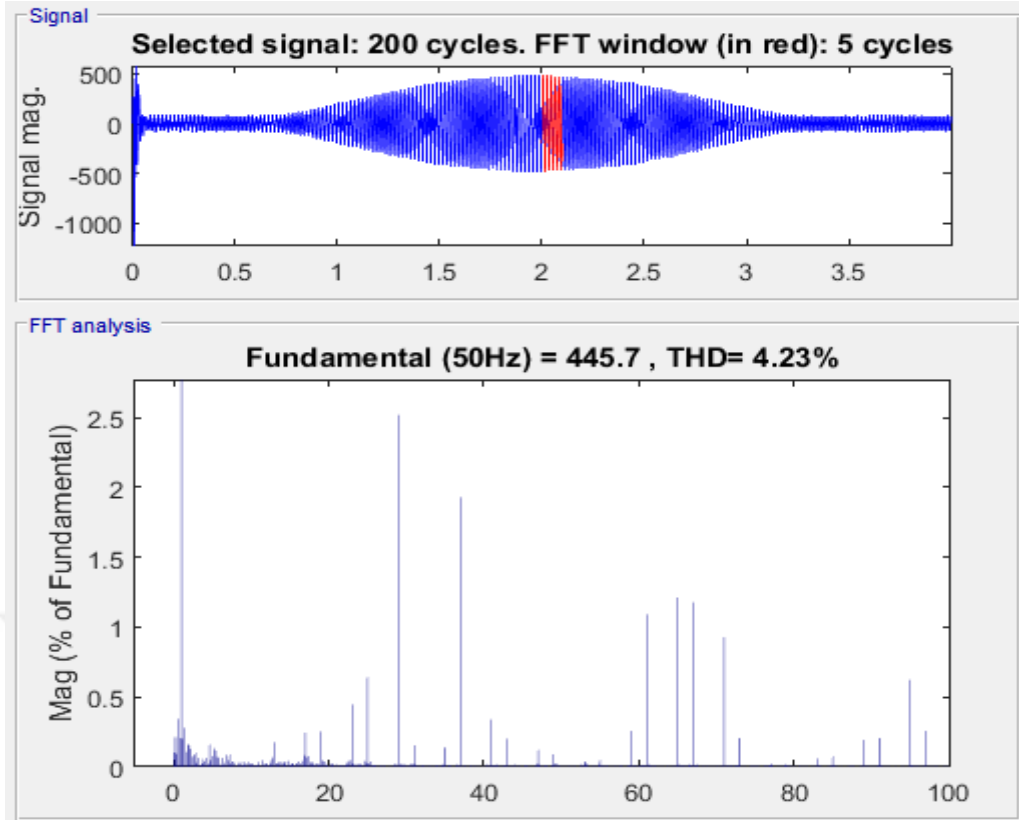
Şekil 4.12 Matlab/Simulink harmonik analizi

Şekil 4.12’de ki ilk grafik, bir günlük ışınım verisi, FV panele ışınım verisi olarak girildiğinde elde edilen FV inverter çıkış akımını ; ikinci grafik ise $t=1$ anı için 5 periyotluk sinyalin harmonik analizini vermektedir. Şekil 4.11’de $t=1$ anı için elde edilen güç değeri 76.23 kW’tır.



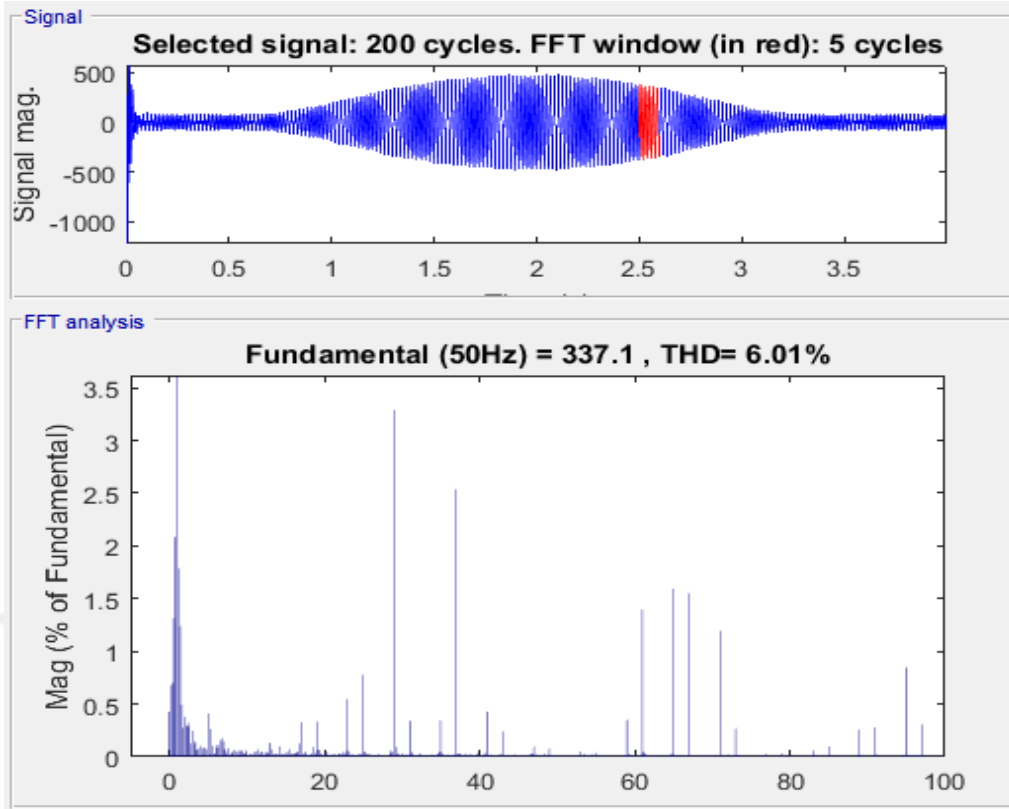
Şekil 4.13 Matlab/Simulink harmonik analizi (t=1.5 için, 5 periyot)

Şekil 4.13'de FV inverter çıkış akımının t=1.5 için yapılan analizde THD %4.95 olarak ölçülmüştür. Şekil 4.11 güç grafiğinden t=1.5 için 184 kW güç ürettiği görülmüştür.



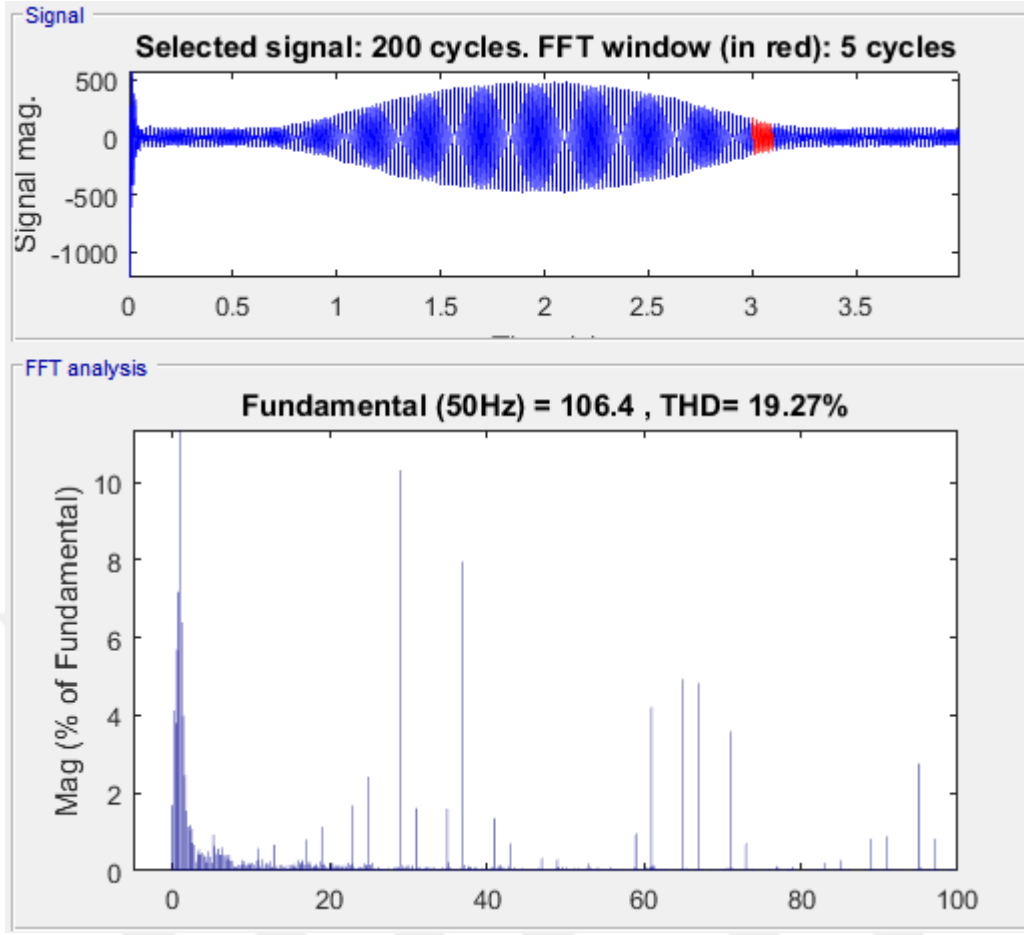
Şekil 4.14 Matlab/Simulink harmonik analizi (t=2 için, 5 periyot)

Şekil 4.14'de FV inverter çıkış akımının t=2 için yapılan analizde THD %4.23 olarak ölçülmüştür. Şekil 4.11 güç grafiğinden t=2 için 219.38 kW güç ürettiği görülmüştür.



Şekil 4.15 Matlab/Simulink harmonik analizi ($t=2.5$ için, 5 periyot)

Şekil 4.15'de FV inverter çıkış akımının $t=2.5$ için yapılan analizde THD %6.01 olarak ölçülmüştür. Şekil 4.11 güç grafiğinden $t=2.5$ için 172.97 kW güç ürettiği görülmüştür.



Şekil 4.16 Matlab/Simulink harmonik analizi (t=3 için, 5 periyot)

Şekil 4.16'da FV inverter çıkış akımının t=3 için yapılan analizde THD %19.27 olarak ölçülmüştür. Şekil 4.11 güç grafiğinden t=3 için 60.912 kW güç ürettiği görülmüştür.

Tablo 4.3 FV sistemin çıkış gücünü, gerçek güç çıkışı ve nominal güç oranı (P/P_n) ve %THD bozulma ölçüm sonuçları listelenmektedir.

Tablo 4.4 FV çıkış gücü ve THD

FV Çıkış Gücü(kW)	76.23	184	219.38	172.97	60.912
Nominal Güç(kW)	250	250	250	250	250
P/P_n (%)	30.49	73.6	87.7	69.18	24.36
Işınım (W/m^2)	311	730	889	694	247
%THD	10.89	4.95	4.23	6.01	19.27

4.1.2.1. Harmonik Tahmini

Dağıtık üretimin en önemli konusu güç kalitesine etkileridir. Bu bölümde FV sistemin harmonik etkisi incelemiştir ve bu etkinin tahmini YSA algoritması ile yapılacaktır. Tahmin yapılmadan önce input ve output verileri elde edilmiştir. 05.09.2018-08.09.2018 tarihleri ışınım ve sıcaklık verileri SoDa Mera ağından elde edilerek input verileri elde edilmiştir ve daha sonra her bir ışınım ve sıcaklık için trafonun AG tarafında harmonik analiz yapılarak output verileri elde edilmiştir. Şekil 4.17’de elde edilen input ve output verileri gösterilmiştir.

1	Tarih	Işınım	Sıcaklık	Harmonik
2	5.09.2018	0	18,26	0,7695
3	5.09.2018	0	17,89	0,7695
4	5.09.2018	0	17,63	0,7695
5	5.09.2018	14,3699	17,7	0,8955
6	5.09.2018	160,5379	20,11	0,0336
7	5.09.2018	367,3672	23,76	0,01618
8	5.09.2018	564,683	27,28	0,01344
9	5.09.2018	727,181	29,46	0,01357
10	5.09.2018	839,6252	31,07	0,01334
11	5.09.2018	899,9937	32,26	0,01487
12	5.09.2018	885,2718	33,03	0,01289
13	5.09.2018	814,9963	33,39	0,01301
14	5.09.2018	685,6801	33,19	0,01086
15	5.09.2018	508,0365	32,29	0,01236
16	5.09.2018	294,2854	30,53	0,0204
17	5.09.2018	100,2277	27,79	0,05674
18	5.09.2018	1,4771	24,47	1,3891
19	5.09.2018	0	22,68	0,7695
20	5.09.2018	0	21,25	0,7695
21	5.09.2018	0	20,08	0,7695
22	5.09.2018	0	18,96	0,7695
23	5.09.2018	0	17,9	0,7695
24	5.09.2018	0	16,93	0,7695

Şekil 4.17 YSA Input ve Output verileri

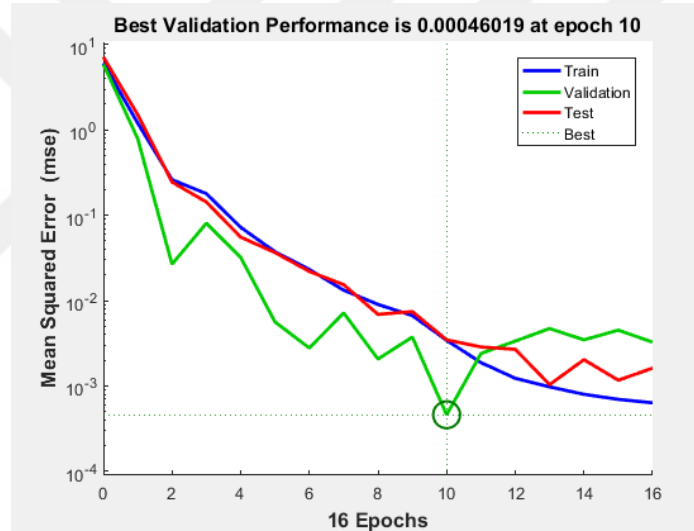
Şekil 4.17’deki verilere ‘training_rate’ oranı girilerek bu verilerin ne kadarının eğitime ne kadarının teste ayrılacağı belirlenir. Eğitim ve test verisi olarak ayrılan verilerin, öncelikle tranzpozu alınmıştır. Her bir veri sütün şekline dönüştürülmüştür. Şekil 4.18’de input verilerinin tranzpozu alınmış hali gösterilmiştir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0	0	14.3699	160.5379	367.3672	564.6830	727.1810	839.6252	899.9937
2	18.2600	17.8900	17.6300	17.7000	20.1100	23.7600	27.2800	29.4600	31.0700	32.2600
3										
4										
5										
6										
7										

Şekil 4.18 YSA Input verilerinin tranzpozu

Ardından input ve output verileri 0-1 aralığında normalize edilmiştir. Normalizasyon işlemi yapılmasının amacı nöronun daha etkin çalışabilmesini sağlamaktır. Daha sonra oluşturulan yapay sinir ağına dönüştürülen veriler girildi ve tahmin sonuçları elde edildi.

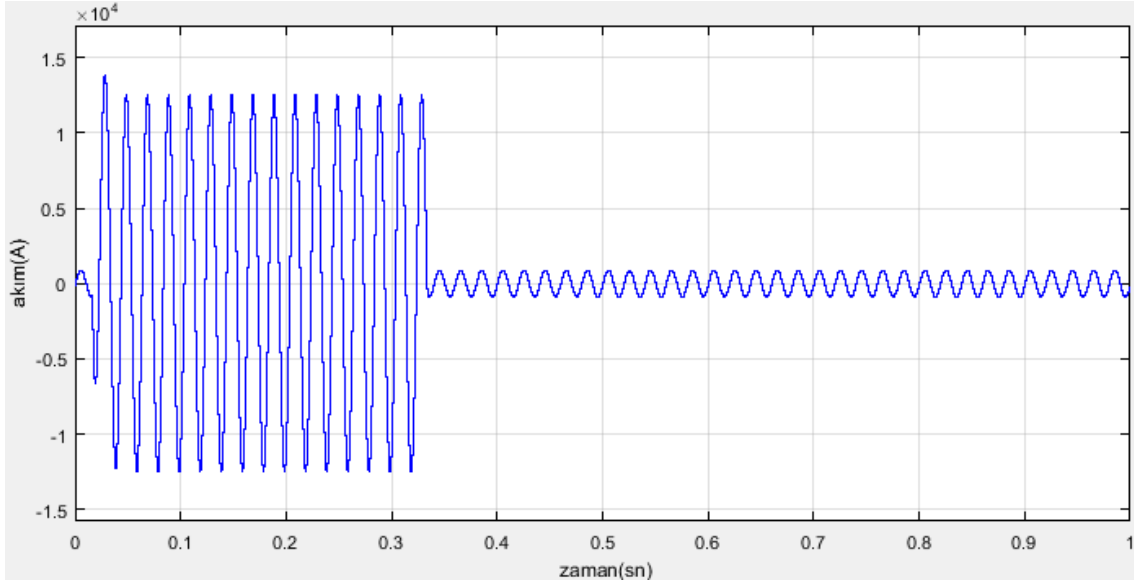
Elde edilen sonuçlar ve gerçek verilen karşılaştırıldığı veriler grafiksel olarak Şekil 4.19'da gösterilmiştir.



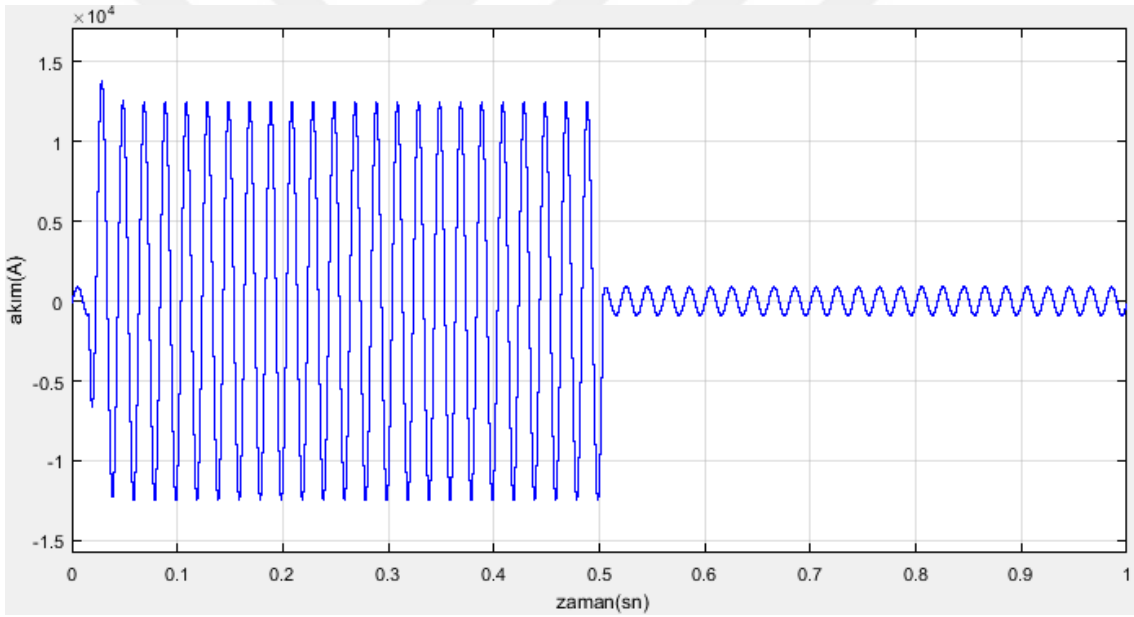
Şekil 4.19 YSA Training, Validation, Test grafiği

4.1.3. Kısa Devre Analizi

Dağıtık üretim güç kalitesi analizlerinden biri kısa devre anın da kısa devre akımına yaptığı katkıdır. Bu çalışmada FV sistemde kısa devre arızaları verilerek FV Panel bağlı iken ve değilken ki kısa devre akımı incelemeleri yapılmıştır. Şekil 4.20' de yükte meydana gelen faz-toprak kısa devre arızasının grafiği verilmiştir. Şekil 4.21'de ise FV panel bağlı değilken ki faz-toprak kısa devre arızasının grafiğidir.



Şekil 4.20 Faz-Toprak arızası FV panel bağlı iken



Şekil 4.21 Faz-Toprak arızası FV panel bağlı değil iken

Oluşturulan faz-toprak arızası grafiği incelenip sonuçlar Tablo 4.4' de gösterilmiştir.

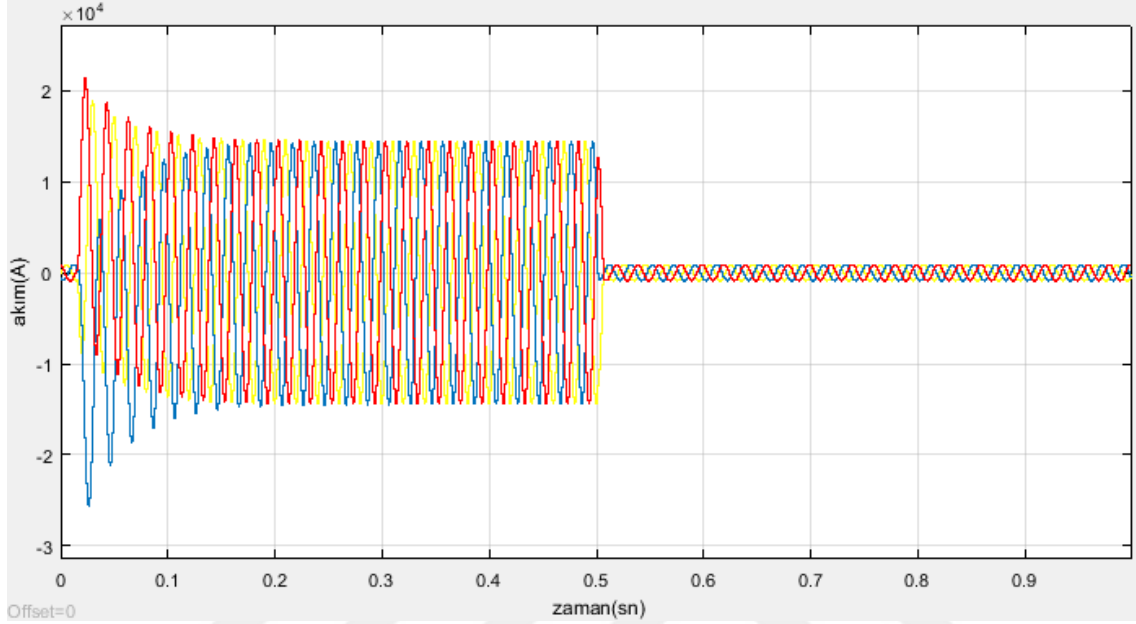
Tablo 4.5 Faz – Toprak kısa devresi analiz sonuçları

Faz-Toprak Kısa Devre	FV Panel Bağlı İken (1000 W/m ²)	FV Panel Bağlı İken (200 W/m ²)	FV Panel Bağlı Değilken
i_p	13875.7	13874.5	13841
i_k	12507.2	12502.6	12489.9

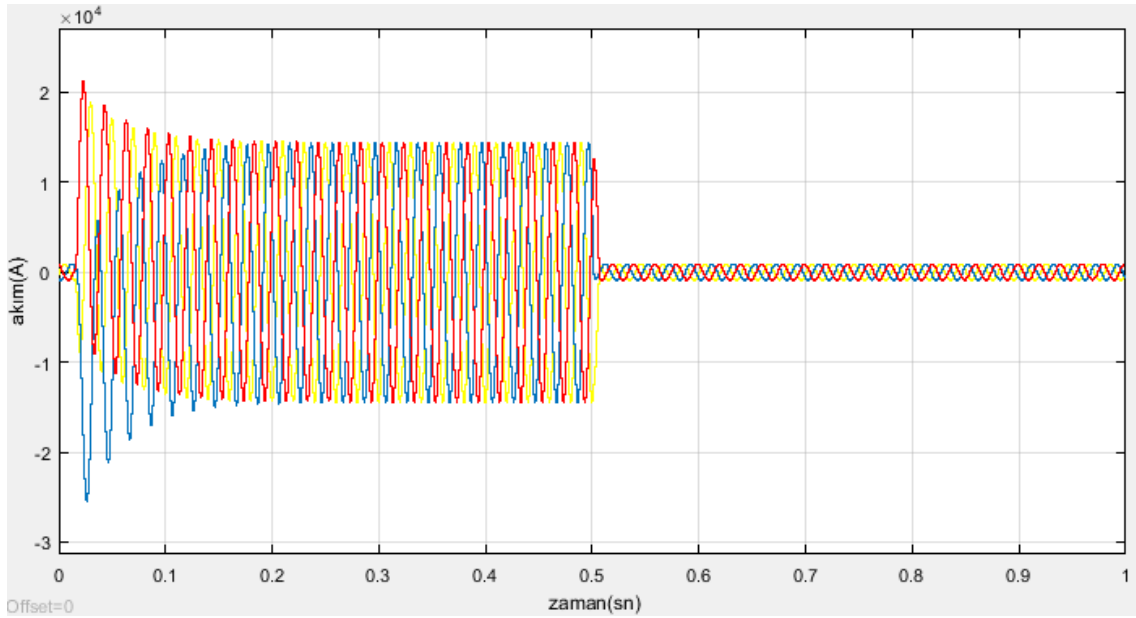
Tablo incelendiğinde FV panelin sistemin faz-toprak kısa devre akımına katkısı 1000 W/m^2 ışınmında 17.3A , 200 W/m^2 ışınmında 12.7A 'dir.

Şekil 4.22' de yükte meydana gelen 3 faz kısa devre arızasının grafiği verilmiştir.

Şekil 4.23'de ise FV panel bağlı değilken ki 3 faz kısa devre arızasının grafiğidir.



Şekil 4.22 3-Faz kısa devre analizi FV panel bağlı iken



Şekil 4.23 3-Faz kısa devre analizi FV panel bağlı değil iken

Tablo 4.6 3-Faz kısa devresi analiz sonuçları

3-Faz Kısa Devre	FV Panel Bağlı İken (1000 W/m ²)	FV Panel Bağlı İken (200 W/m ²)	FV Panel Bağlı Değilken
i_p	21296.068 A	21315.906 A	21271.719 A
i_k	14448.688 A	14443.952 A	14443.314 A

Tablo incelendiğinde FV panelin sistemin faz-toprak kısa devre akımına katkısı 1000 W/m² ışınımında 24.34A, 200 W/m² ışınımında 44.18A'dir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada şebeke bağlantılı 250 kW'lık güneş enerji sistemi modellenmiştir. Güneş enerji sistemi için DA/DA çeviriciler çok önem arz etmektedir ve bu DA/DA çeviricilerin parametreleri tasarlanmıştır. Bu parametreler hesaplanırken giriş gerilim değerleri güneş panelinin çıkış değeri olarak girilmiştir. Değişken giriş gerilimine karşılık sabit 800V DA'a sabitlerken değiştir ve gözle algoritması kullanılarak yapılmıştır. Daha sonra elde edilen DA enerjisi AA çevirmek için inverter kullanılmıştır. İnverterin şebekeye uyumlu çalışabilmesi için faz kilitleme devresi kullanılmıştır.

Daha sonra FV sistemin bağlanacağı orta gerilim şebekesi simüle edilmiş ve trafonun gerçek test değerleri ile trafo modellenmiştir. Elde edilen AA gerilim OG şebekesine verilmiştir ve bu enerji ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Köyceğiz Kampüs yerleşkesinde bulunan 3 fakülte beslenmiştir.

Daha sonra Necmettin Erbakan Üniversitesi Köyceğiz Kampüs yerleşkesinde bulunan FV santral üzerinde Fluke 435 analiz cihazı ile analizler yapılmıştır. FV sistemin çektiği anlık voltaj, akım, güç değerleri saptanmış, harmonik analizleri yapılmıştır.

Harmonik analiz ile güç-harmonik ilişkisi incelenmiştir. Yapılan inceleme sonucunda FV santral yüksek üretimdeyken harmoniğin azaldığı, üretimin azaldığı zamanlarda ise arttığı gözlemlenmiştir.

Ölçüm sonucu trafonun AG tarafında elde edilen toplam harmonik bozulma (THD) %1.05 olarak ölçülmüştür ve Matlab/simulink ile trafonun AG tarafında yapılan analiz sonucunda THD değeri %0.97 elde edilmiştir. Simülasyon ve gerçek ölçüm sonuçları karşılaştırıldığında aralarında oluşan küçük bir farkı olduğu gözlemlenmektedir ve bunun sebebi simülasyon ortamının daha ideal olmasıdır.

Ardından kısa devre analizleri simülasyon ortamında gerçekleştirilmiştir. Kısa devre analizleri FV panel maksimum ve minimum çalışma koşulları için faz-toprak ve 3-faz kısa devre analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki; FV sistem kısa devre akımında artışa neden olmaktadır ve maksimum üretimdeyken daha fazla artışa neden olmaktadır. FV sistemin kısa devre akımına sağladığı katkı maksimum ve minimum çalışma koşulları altında sırasıyla 17A ve 24A'dir. FV sistemin 3-faz kısa devre de daha fazla artışa neden olduğu da gözlemlenmiştir.

Yapılan tüm çalışmalar sonucunda FV sistemin güç kalitesinde bazı bozucu etkilere neden olduğu gözlemlenmiştir fakat bu katkı kısa devre akımı için göz ardı edilebilecek

düzydedir. Ve yapılan maksimum ve minimum çalışma sonuçları dağıtık üretiminin gücünün arttıkça kısa devreye katkısının artacağı sonucuna ulaştırmıştır.

Harmonik bozulma için yapılan analizler ve yapılan literatür çalışması, FV sistemin maksimum üretimde harmonik bozulmanın azaldığı, minimum üretimde harmonik bozulmanın arttığı sonucunu göstermektedir. Maksimum üretimde harmonik bozulmanın azalması ise V_{dc} geriliminin dalgalılığı ile doğru orantılıdır ve bu durum kullanılan inverterin çalışma koşullarının maksimum çalışma koşulları için tasarlanmış olmasından kaynaklıdır.



KAYNAKLAR

- [1] Ali Koç, Hüseyin Yağlı, Yıldız Koç, and İrem Uğurlu. Dünyada ve Türkiye’de enerji görünümünün genel değerlendirmesi. *Engineer & the Machinery Magazine*, 59(692), 2018.
- [2] Metin Tüysüz, *Hibrit güç sistemlerinde maksimum güç noktası takibi için bulanık denetleyicinin optimizasyonu*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2018.
- [3] Aleksandr Reznik, Marcelo Godoy Simoes, Ahmed Al-Durra, and SM Muyeen. LCL filter design and performance analysis for grid-interconnected systems. *IEEE transactions on industry applications*, 50(2):1232,2013.
- [4] Alparslan Tüfekçi, *Yenilenebilir enerji sistemlerinde harmonik analizi*, Master Thesis, Giresun Üniversitesi, 2018.
- [5] Ken Weng Kow, Yee Wan Wong, Rajparthiban Kumar Rajkumar, and Rajprasad Kumar Rajkumar. Power quality analysis for pv grid connected system using pscad/emtdc. *International Journal of Renewable energy research (IJRER)*, 5(1):121-132,2015.
- [6] Ioannis D Bouloumpasis, Panagis N Vovos, Konstantinos G Georgakas, and Nicholas A Vovos. Harmonic cancellation of pv-supplied dc/ac converter without stabilizing input capacitors. *IFAC-PapersOnLine*, 49(27):35-40,2016
- [7] Yang Du, Dylan Dah-Chuan Lu, Geoffrey James, and David J Conforth. Modeling and analysis of current harmonic distortion from grid connected pv inverters under different operating conditions. *Solar Energy*, 94:182-194,2013.
- [8] Bo Yang, Tao Yu, Hongchun Shu, Dena Zhu, Na An, Yiyang Sang, and Lin Jiang. Perturbation observer based fractional-order sliding-mode controller for mppt of grid-connected pv inverters: design and real-time implementation. *Control Engineering Practice*, 79:105-125,2018.
- [9] Jürgen Schlabach and Lutz Kammer. Prediction of harmonic currents of pv-inverters using measured solar radiation data. In *MELECON 2006-2006 IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference*, pages 857-860. IEEE,2006.
- [10] Jingkai Wu, bin Cao, and Wei Lin. Simulation analysis of harmonic characteristics of photovoltaic power generation system based on matlab. *Energy Procedia*, 158:412-417,2019.
- [11] Atallah ouai, Lakhdar Mokrani, Mohamed Machmoum, and Azeddine Houari. Control and energy management of a large scale grid-connected pv system for power quality improvement. *Solar Energy*, 171:893-906,2018.
- [12] Sebatijan Seme, Niko Lukac, Bojan Stumberger, and Miralem Hadziselimovic. Power quality experimental analysis of grid-connected photovoltaic systems in urban distribution networks. *Energy*, 139:1261-1266,2017.

- [13] Daniel Bejmert and Tarlochan S Sidhu. Short-circuit current contribution from large scale pv power plant in the context of distribution power system protection. *Present Problems of Power System Control*, pages 85-96,2012.
- [14] Ahmet Kaysal, *Adıgüzel hidroelektrik santrali'nin modellenmesi, kısa devre analizi ve bulanık mantık kontrolör ile yük-frekans kontrolü*, Master Thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü,2013.
- [15] A Bracale, P Caramia, G Carpinelli, and AR Di Fazio. Modeling the three-phase short-circuit contribution of photovoltaic systems in balanced power systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*,93:204-215, 2017.
- [16] Oktay Yılmaz, *Elektrik dağıtım sistemlerinde kısa devre analizi ve uygulaması*, Master Thesis, Tunceli Üniversitesi, 2014.
- [17] D gezer. A proposed rule for the interconnection of distributed generation and its economic justification. *Master of Science Thesis*, METU,2009.
- [18] Thomas Ackermann, Göran Andersson, and Lennart Söder. Distributed generation: a definition 1. *Electric power systems research*, 57(3):195-204, 2001.
- [19] Nazmiye Kopacak, *Karaman ayranıcı dağıtım şebekesinde 1MW güneş enerji santrallerinin etkilerinin incelenmesi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2016.
- [20] IEEE Standards Association et al. Ieee 1547 standard for interconnecting distributed resources with electric power systems. *IEEE Standards Association, Piscataway*,2003.
- [21] RA Walling and NW Miller. Distributed generation islanding-implications on power system dynamic performance. In *power engineering society summer meeting, 2002* IEEE, volume 1, pages 92-96. IEEE, 2002.
- [22] Gurkiran Kaur and MY Vaziri. Effects of distributed generation (dg) interconnections on protection of distribution feeders. In *Power Engineering Society General Meeting, 2006*. IEEE, pages 8-pp. IEEE,2006.
- [23] Charles J Mozina. A tutorial on the impact of distributed generation (dg) on distribution systems. In *Protective Relay Engineers, 2008 61 st Annual Conference for*, pages 591-609. IEEE, 2008.
- [24] Morten Lindholm and Tony W Rasmussen. Harmonic analysis of doubly fed induction generators. In *Power Electronics and Drive Systems, 2003. PEDS 2003. The Fifth International Conference on*, volume 2, pages 837-841. IEEE, 2003.
- [25] Erdem Koç and Mahmut Can Şenel. Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme. *Mühendis ve Makine*, 54(639):32-44. 2013.
- [26] Ehsanul Kabir, Pawan Kumar, Sandeep kumar, Adedeji A Adelodun, and Ki-Hyun Kim. Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82:894-900,2018.

- [27] Phuong Anh Nguyen, Malcolm Abbott, and Thanh Loan T Nguyen. The development and cost of renewable energy resources in Vietnam. *Utilities Policy*,57:59-66,2019.
- [28] Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS). *Planning and installing photovoltaic systems: a guide for installers, architects and engineers*. Routledge, 2013.
- [29] Zekai Sen. *Solar energy Fundamentals and modeling techniques: atmosphere, environment, climate change and renewable energy*. Springer Science & Business Media, 2008.
- [30] Recep Çakmak, *Fotovoltaik güç üretim sistemleri için bulanık mantık tabanlı maksimum güç noktası takip sistemi*, Master Thesis, Karadeniz Teknik Üniversitesi,2012.
- [31] Volker Quaschnig. *Understanding renewable energy systems*. Routledge, 2016.
- [32] Gilbert M Masters. *Renewable and efficient electric power systems*. John Wiley & Sons, 2013.
- [33] Paul A Lynn. *Electricity from sunlight: an introduction to photovoltaics*. John Wiley & Sons, 2011.
- [34] Furkan Başkurt. *Şebeke Bağlantılı Bir Rüzgar Enerji Sisteminin İncelenmesi*. Master Thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2012.
- [35] Muhammad H Rashid. *Power electronics handbook*. Butterworth-Heinemann, 2017.
- [36] MA Özçelik. Fotovoltaik sistemlerde verim ve performansın artırılmasına yönelik maksimum güç noktası izleyicisi tasarımı. Doktor Tezi, *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi*, 2015.
- [37] Ned Mohan, Tore M Undeland, William P Robbins, Nejat Tuncay, Metin Göktaşan, and Seta Boğosyan. *Güç elektroniği: çeviriciler, uygulamalar ve tasarım*. Literatür Yayıncılık, 2007.
- [38] Sezen Uygur. *Fotovoltaik sistemler için geliştirilmiş bir yumuşak anahtarlamalı DA-DA yükseltici dönüştürücününün simülasyonu ve uygulama devresinin gerçekleştirilmesi*, PhD thesis, Yıldız Teknik Üniversitesi,2011.
- [39] Xingshuo Li, Huiqing Wen, Yihua Hu, and Lin Jiang. Drift-free current sensorless mppt algorithm in photovoltaic systems. *Solar Energy*, 177:118-126, 2019.
- [40] Abbas Kihal, Fateh Krim, Abdelbaset Laib, Billel Talbi, and Hamza Afghoul. An improved mppt scheme employing adaptive integral derivative sliding mode control for photovoltaic systems under fast irradiation changes. *ISA transactions*, 2018.
- [41] Trishan ESRAM and Patrick L Chapman. Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques. *IEEE Transactions on energy conversion*, 22(2):439-449, 2007.
- [42] Fangrui Liu, Yong Kang, Yu Zhang, and Shanxu Duan. Comparison of p&o and hill climbing mppt methods for grid-connected pv converter. In *Industrial Electronics and Applications*, 2008. ICIEA 2008. 3rd IEEE Conference on, pages 804-807. IEEE, 2008.

- [43] Jacob James Nedumgatt, KB Jayakrishnan, S Umashankar, D Vijayakumar, and DP Kothari. Perturb and observe mppt algorithm for solar pv systems-modeling and simulation. In *India Conference (INDICON), 2011 Annual IEEE*, pages 1-6. IEEE, 2011.
- [44] Weidong Xiao and William G Dunford. A modified adaptive hill climbing mppt method for photovoltaic power systems. In *Power Electronics Specialists Conference, 2004. PESC 04. 2004 IEEE 35th Annual*, volume 3, pages 1957-1963. Ieee, 2004.
- [45] F Fuchs Ewald and AS Masoum Mohammad. Power quality in power systems and electrical machines, 2008.
- [46] Ghanim Putrus, Janak Wijayakulasooriya, and Peter Minns. Power quality: Overview and monitoring. In *Industrial and Information Systems, 2007. ICIIS 2007. International Conference on*, pages 551-558. IEEE, 2007.
- [47] Christopher K Duffey and ;Ray P Stratford. Update of harmonic standart ieee-519: Ieee recommended practices and requirements for harmonic control inelectric power systems. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 25(6):1025-1034, 1989.
- [48] Jos Arrillaga and Neville R Watson. *Power systems harmonics*. John Wiley & Sons, 2004.
- [49] Alper Özdemir. *EMTP yardımıyla kısa devre akımının dinamik simülasyonu*. PhD thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi, 1997.
- [50] Selahattin Küçük. *Elektrik tesislerinde arızaları*, TÜPRAŞ Türkiye Petrol Rafinerileri AŞ, 2005.
- [51] Veysi Doğruer, *Elektrik güç sistemlerinde matlab simulink ile kısa devre arıza analizi*, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [52] Jacek M. Zurada, Introduction to artificial neural systems, Poland, 1992.
- [53] McCulloch, W.S., Pitts, W., 1943. A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bull. Math. Biophys*, Chicago, 5, 115–133
- [54] Francisco, M.A., Alicia, T., Gualberto, A.C. and Jose, C.R., 2015. A Survey on Data Mining Techniques Applied to Electricity-Related Time Series Forecasting. *Researchgate*, Seville, Spain, 10, 3390.
- [55] Lau, C., 1992. *Neural Networks, Theoretical Foundations and Analysis*. IEEE Press, New York, pg:327
- [56] Mark Hankins. Stand-alone solar electric systems: the earthscan expert handbook for planning, design and installation. Routledge, 2010

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Nurcan YARAR
Uyruğu : Türk
Doğum Yeri ve Tarihi : Kocasinan-KAYSERİ,1990
Telefon :
Faks :
e-mail : nyarar@konya.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: İstikbal Lisesi	2008
Üniversite	: Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi	2014
Yüksek Lisans	:	
Doktora	:	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2016-2017	Ondokuz Mayıs Üniversitesi	Araştırma Görevlisi
2017-	Necmettin Erbakan Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

YABANCI DİLLER İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR Yarar N., Yağcı M., Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Sistemin Kısa Devre Analizi 2rd International Scientific and Vocational Studies Congress,2018