

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMLERİNİN ELEKTRİK DAĞITIM
ŞEBEKESİNE ENTEGRASYONUNUN ANALİZ EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf Ali YÜCEL
Danışman: Doç. Dr. Doğan ÇELİK

VAN – 2024

T.C.
VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMLERİNİN ELEKTRİK DAĞITIM
ŞEBEKESİNE ENTEGRASYONUNUN ANALİZ EDİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yusuf Ali YÜCEL

Tez Savunma Sınavı Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mehmet Emin MERAL (Başkan)

Doç. Dr. Doğan ÇELİK (Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Tahsin KÖROĞLU (Üye)

VAN – 2024

KABUL VE ONAY SAYFASI

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doç. Dr. Doğan ÇELİK danışmanlığında, Yusuf Ali YÜCEL tarafından sunulan “Fotovoltaik Enerji Sistemlerinin Elektrik Dağıtım Şebekesine Entegrasyonun Analiz Edilmesi” başlıklı bu çalışma Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri gereğince 04/06 /2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile başarılı bulunmuş ve Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Mehmet Emin MERAL

İmza:

Üye: Doç. Dr. Doğan ÇELİK

İmza:

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Tahsin KÖROĞLU

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun /.... /..... tarih ve Sayılı kararı ile onaylanmıştır.

İmza

.....

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Yusuf Ali YÜCEL



ÖZET

FOTOVOLTAİK ENERJİ SİSTEMLERİNİN ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKESİNE ENTEGRASYONUNUN ANALİZ EDİLMESİ

YÜCEL, Yusuf Ali

Yüksek Lisans Tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Doğan ÇELİK

Mayıs 2024, 83 sayfa

Elektrik dağıtım sistemlerinin tasarım süreci sırasında fotovoltaik (FV) sistemlerin dağıtım şebekesine entegre edilmesinden kaynaklanabilecek potansiyel sorunları ve operasyonel zorlukları dikkatle değerlendirmek önemlidir. Elektrik dağıtım şebekesinin güvenilir şekilde çalışmasını sağlamak için zorunlu düzenlemelerin oluşturulması ve kapsamlı planların geliştirilmesi gerekmektedir. FV enerji sistemlerin dağıtım şebekesine entegre edilmesiyle gerilim regülasyonu, harmonik sorunlar, bakım ve işletme topraklama yapısındaki değişiklikler, anlık kısa devre akım değerlerindeki artış, arıza sırasında veya arıza sonrasındaki davranışlar ve dağıtım şebekesinin gerilim ve frekans dalgalanmalarına verdiği tepkiler yer almaktadır. Bunun yanında jeneratörlerin karakteristiği, statik yükler ve tüketicilerin gereksinimleri dağıtım şebekesinin karakteristiğini etkilemektedir. Bu kapsamda, bu tez çalışmasında bir FV enerji santralinin dağıtım şebekesine entegrasyonu ile yük akış analizi, kısa devre akımı, röle koordinasyon kontrolü ve FV tabanlı dönüştürücü ve/veya statik yük harmoniklerinin etkileri araştırılmış ve incelenmiştir. Röle koordinasyon kontrolü ile arıza akımına en yakın yerden elektrik kesilerek elektrik kesintisi birçok noktada hissedilmeden arıza bölgesi koruma altına alınmaktadır. Kısa devre arıza akımına karşı röle koordinasyon kontrolü ile aşırı akım önlenerek ve arıza akımının devam etmesi durumunda ise kesici ile şebekenin enerjisi kesilmektedir. Ayrıca enerji depolama ünitelerinin sisteme entegre edilmesi ile FV enerji sisteminin ürettiği fazla gücü bataryalara aktararak yük akış dengesi sağlanmış, güneş enerjisinin sınırlamaları aşılmış, şebeke istikrarı artırılmış ve enerji kullanımı optimize edilerek sürdürülebilir bir enerji sağlanmıştır. Bunun yanında, statik yüklerinin ve FV enerji sistemlerinin neden olduğu harmonikler analiz edilerek IEEE-519 standartlarına göre azaltılmıştır. FV santralinin elektrik dağıtım şebekesine entegrasyonu ETAP yazılım programı ortamında incelenmiş ve analiz edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Elektrik Dağıtım Sistemleri, ETAP, Fotovoltaik Enerji, Harmonik Analiz, Kısa Devre Analizi, Yük Akış Analizi



ABSTRACT

ANALYZING THE INTEGRATION OF PHOTOVOLTAIC ENERGY SYSTEMS INTO THE ELECTRICITY DISTRIBUTION NETWORK

YÜCEL, Yusuf Ali

M.Sc. Thesis, Department of Electrical electronics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Doğan ÇELİK

May 2024, 83 pages

During the design process of electrical distribution systems, it is important to carefully consider the potential problems and operational challenges that may arise from integrating photovoltaic (PV) systems into the distribution grid. It is necessary to establish mandatory regulations and develop comprehensive plans to ensure the reliable operation of the electricity distribution network. By integrating PV energy systems into the distribution network, voltage regulation, harmonic problems, changes in the maintenance and operation grounding structure, increase in instantaneous short circuit current values, behavior during or after the fault, and the reactions of the distribution network to voltage and frequency fluctuations are included. In addition, the characteristics of the generators, static loads and the requirements of the consumers affect the characteristics of the distribution network. In this context, in this thesis study, the integration of a PV power plant into the distribution network and the effects of load flow analysis, short circuit current, relay coordination control and PV-based converter and/or static load harmonics were investigated and examined. With relay coordination control, the power is cut off from the place closest to the fault current, and the fault area is protected without the power outage being felt at many points. Overcurrent is prevented by relay coordination control against short circuit fault current, and in case the fault current continues, the power of the network is cut off with a breaker. In addition, by integrating energy storage units into the system, the excess power produced by the PV energy system is transferred to the batteries, thus ensuring load flow balance, overcoming the limitations of solar energy, increasing grid stability and optimizing energy use, providing sustainable energy. In addition, harmonics caused by static loads and PV energy systems were analyzed and reduced according to IEEE-519 standards. The integration of the PV power plant into the electricity distribution network was examined and analyzed in the ETAP software program environment.

Keywords: Electrical Distribution Systems, ETAP, Harmonic Analysis, Load Flow Analysis, Photovoltaic Energy, Short Circuit Analysis



TEŞEKKÜR

Tez yazım sürecinde ilgi ve yardımlarını benden esirmeyen değerli danışmanım Doç. Dr. Doğan ÇELİK' e Tezimin jürisinde bulunarak görüş ve önerileri ile katkılar sunan değerli hocalarım Prof. Dr. Mehmet Emin MERAL' e ve Dr. Öğr. Üyesi Tahsin KÖROĞLU' na teşekkürlerimi sunarım.

Süreç içerisinde desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli annem ve babam Semiye YÜCEL ve Abdulkerim YÜCEL' e her zaman yanımda olan kardeşlerime bilgi ve birikiminden destek aldığım ablam Şeyma YÜCEL' e ve abim Abdullah YÜCEL' e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışması sürecinde olabildiğince kolaylıklar sağlayan VEDAŞ' ta bulunan iş arkadaşlarıma özellikle müdürüm Akın ÇAKAN' a teşekkürlerimi sunarım.

2024

Yusuf Ali YÜCEL



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
EKLER DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Tezin Amacı	5
1.2 Tezin Katkıları.....	6
1.3 Tezin Kapsamı.....	8
2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	15
3.1 Fotovoltaik Enerji Sistemleri.....	17
3.2 Yük Akış Analizi.....	22
3.3 Elektrik Dağıtım Şebekesinde Harmonik Analizi	24
3.4 Harmonik Filtre Tasarımı.....	29
3.5 Empedans ve Kısa Devre Hesabı	33
4. BULGULAR.....	35
4.1 ETAP YAZILIM PROGRAMI.....	36
4.2 Durum I: Yük Akış Analizi	42
4.3 Durum II: Kısa Devre Analizi	44
4.4 Durum III: Harmonik Analiz.....	47
4.4.1 FV enerji sisteminin olmadığı durum	49
4.4.2 FV enerji sistemin olduğu durum.....	50
4.4.3 Statik Yük Durumunun Analizi	52
4.5 Durum IV: Enerji Depolamanın Dağıtım Sistemine Entegre Edilmesi	54
4.6 Durum V: Röle Koordinasyon Durumu	57

5. TARTIŞMA VE SONUÇ	63
KAYNAKLAR.....	67
EKLER	71
ÖZ GEÇMİŞ.....	83



ÇİZELGELER LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Gerilim katsayı değerleri	34
Çizelge 4.1 Transformatör parametreleri.....	38
Çizelge 4.2 FV parametreleri	38
Çizelge 4.3 Dağıtım şebekesinde kullanılan evirici parametreleri	39
Çizelge 4.4 Dağıtım şebekesine entegre edilen FV sistemi ile yük akışı analizi	44
Çizelge 4.5 FV sistemi olmadığı durumda dağıtım şebekesinde yük akışı analizi	44
Çizelge 4.6 FV enerji sisteminin olmadığı durumda kısa devre analizi	46
Çizelge 4.7 FV enerji sisteminin olmadığı durumda kesme ve DC arıza akımı	46
Çizelge 4.8 FV enerji sisteminin olduğu durumda kısa devre analizi	46
Çizelge 4.9 FV enerji sisteminin olduğu durumda kesme ve DC arıza akımı	47
Çizelge 4.10 Filtre olmadığı durumda harmonik analizi	48
Çizelge 4.11 Filtre olduğu durumda harmonik analizi	48
Çizelge 4.12 Harmonik filtre bilgileri	49
Çizelge 4.13 Batarya güç değişim analizi	57

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Türkiye’ de GES santralleri kurulu güç bilgileri.....	4
Şekil 1.2 Önerilen tezin kapsamı.....	8
Şekil 3.1 Önerilen güç sisteminin topolojisi.....	16
Şekil 3.2 Önerilen tez çalışmasının benzetim algoritması.....	17
Şekil 3.3 FV panellerin akım-gerilim karakteristiği.....	19
Şekil 3.4 FV panellerin güç- gerilim karakteristiği	19
Şekil 3.5 FV panelinin eş değer devresi	19
Şekil 3.6 Harmonik sinyallerin kavramsal diyagramı	25
Şekil 3.7 Harmonik elimine edilmesi için önerilen çözüm algoritması	28
Şekil 3.8 Harmonik filtre eş değer devresi ve empedans karakteristiği	31
Şekil 3.9 Harmonik filtre tasarım akış şeması.....	32
Şekil 4.1 Önerilen dağıtım şebekesinin modeli.....	35
Şekil 4.2 T2 transformatörün ETAP üzerindeki gerilim ve empedans parametreleri	37
Şekil 4.3 T2 Transformatörün kısa devre akım katkı bilgileri	38
Şekil 4.4 ETAP yazılımında kablo seçimi.....	39
Şekil 4.5 ETAP yüksek voltaj kesici seçimi.....	40
Şekil 4.6 ETAP yazılım programında batarya seçimi	40
Şekil 4.7 ETAP yazılımında harmonik filtre seçimi	41
Şekil 4.8 ETAP yazılım programında panel seçimi	41
Şekil 4.9 ETAP yazılım programında röle seçimi.....	42
Şekil 4.10 ETAP yazılım programında şarj ünitesinin seçimi	42
Şekil 4.11 Dağıtım şebekesinde yük akış analizi	43
Şekil 4.12 FV enerji sisteminin olduğu durumda kısa devre analizi.....	45
Şekil 4.13 FV enerji sisteminin olmadığı durumda kısa devre analizi.....	45
Şekil 4.14 FV enerji sisteminin olmadığı durum Transformatörde (T6) akım harmonik spektrumu ve akım harmoniği	49
Şekil 4.15 FV enerji sisteminin olmadığı durumda Bara 10 gerilim harmoniği	50
Şekil 4.16 FV enerji sisteminin olduğu durumda Transformatör ve Barada akım- gerilim harmoniklerinin incelenmesi	51

Şekil 4.17 Harmonik filtrenin sisteme entegre edilmesi ile FV enerji sisteminin olduğu durumda Transformatör ve Barada akım-gerilim harmoniklerinin incelenmesi	51
Şekil 4.18 FV enerji sisteminin ve statik yükün olduğu ve olmadığı durumlarda gerilim harmonikleri analizi.....	53
Şekil 4.19 FV enerji sisteminin ve statik yükün olduğu ve olmadığı durumlarda akım harmonikleri analizi	54
Şekil 4.20 Durum I: Enerji depolama ünitesinin entegre edilmesi.....	56
Şekil 4.21 Durum II: Enerji depolama ünitesinin entegre edilmesi	56
Şekil 4.22 Rölelerin akım- zaman eğrisi	59
Şekil 4.23 Röle koordinasyon durumu	60
Şekil 4.24 Röle parametre bilgisi	61
Şekil 4.25 Röle koordinasyonu bozulması	62
Şekil 4.26 Röle koordinasyonun sağlanması.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamalarıyla aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

A	Amper
I₀	Diyotun ters doyma akımı
I_{ph}	FV panelin ürettiği akım
k	Bozalttman sabiti
R_s	FV panelin seri direnci
R_{sh}	FV panelin paralel direnci
n	İdeallik faktörü
V	Volt
W	Güç
q	Elektron yükü

Kısaltmalar

Açıklama

DÜ	Dağıtık Üretim
ETAP	Elektrik Güç Sistemi Analizi ve İşletim Yazılımı
EPDK	Enerji Piyasası Denetleme Kurumu
FV	Fotovoltaik Sistem
GaAs	Galyum Arsenit
GES	Güneş Enerji Santralleri
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineer
THB	Toplam Harmonik Bozunum
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
KGK	Kesintisiz Güç Kaynağı
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynağı
T2	2 nolu Transformatör



EKLER DİZİNİ

	Sayfa
Ek 1. Yük akış analizi.....	71
Ek 2. Kısa devre analizi.....	72





1. GİRİŞ

Elektrik, insan hayatının kaliteli-nitelikli gelişimi açısından vazgeçilmez bir gereksinimdir. İnsan hayatının elektrik enerjisi talebi ve ihtiyacı incelendiğinde sürekli bir artış eğilimi görülmektedir. Yaşadığımız bu çağda elektrik enerjisine duyulan isteğin ve ihtiyacın sürekli artış göstermesi nedeniyle de yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) arayışına başvurulmaktadır. Finansal unsurlar ve sanayinin gelişimine doğru orantılı olarak YEK'lerin önemi gün geçtikçe daha çok ön plana çıkmakta ve fotovoltaik (FV) enerji santrallerinin dağıtım şebekesindeki sayıları artmaktadır. Mevcut zamanda elektriğe olan bağlı olma durumu dikkate alındığında söz konusu dağıtım şebeke sisteminde sağlanan güvenilirlik ve devamlılık için gelecekte bu gelişim sürecinde de ihtiyaçlar karşılanmalı ve entegrasyon problemleri giderilmelidir. Özellikle dağıtım şebeke sisteminde gerçekleşecek olan üretim entegrasyonları dikkat edilmesi gereken çok önemli bir kavramdır. İki güç kaynağı arasındaki bağlantıda iki kaynağın aynı değişkenlere sahip olmasına dikkat etmek gerekmektedir. Eşit olması gereken değişkenler ise gerilim, faz ve frekanstır. Kaynaklar arasındaki bağlantı, bu üç değişkenin her iki kaynakta da eşit olması durumunda gerçekleşmektedir (Al-Refai, 2016). Bu entegrasyon sürecinde oluşabilecek problemlerin dizayn aşamasında belirlenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda YEK'lerin, standart yenilenebilir enerji sistemleri ile depolama gereksinimi azaltılacak ve uyum neticesinde de meydana gelebilecek kompleks sistem çözüm yolu elde edilecektir. Ele aldığımız dağıtık üretim (DÜ) sistemleri için IEEE' nin (Institute of Electrical and Electronics Engineer) kullandığı tanım ise “Büyük ve merkezi üretimlere kıyasla, dağıtım ağının her bir noktasına bağlanabilecek kadar düşük güçlü üretimler” şeklindedir (Esmailzadeh vd., 2015). Bu tanımın yanı sıra Uluslararası Enerji Ajansı, DÜ' yü “Müşteriye yerinde hizmet sunmak ve dağıtım ağına katkı sağlamak amacıyla dağıtım gerilim seviyelerinde şebekeye entegre edilen bir tür enerji üretim tesisi” olarak tanımlamaktadır (Adefarati, 2016). DÜ kaynakları arasında rüzgâr türbinleri, FV sistemleri, yakıt hücreleri, küçük hidroelektrik üretim tesisleri ve pistonlu motorlar gibi üretim kaynakları örnek verilebilmektedir. DÜ kapasitesi birkaç kilovattan onlarca MW' a kadar değişmektedir. Geleneksel merkezi üretimlerin aksine DÜ, elektrik enerjisinin son kullanıcıların yakınında küçük ölçeklerde üretilmesini ifade etmektedir (Pesaran, 2017).

DÜ, günümüz yenilenebilir enerji oluşumunda bir değişim olarak görülmektedir (Quirogax vd., 2018). Dağıtım sistemine dahil edilecek üretim birimleri hem dağıtım şebekesi hem de tüketici açısından yük ve gerilim profillerini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu faktörler, dağıtım şebeke sistemi ve DÜ' nün işletme özelliklerine bağlı olarak olumlu ya da olumsuz olabilmektedir. Olumlu etkileri arasında dağıtım şebekesini destekleme olup; gerilim denge desteği ve güç kalite verimliliğinde iyileşme, enerji kayıp-kaçığında azalma, iletim şebekesi ve dağıtım şebeke kapasitesinin bağımlılığının kalkması gibi etkileri sıralanabilmektedir (Barker, 2000). Dağıtım sistemine eklenecek olan üretim birimleri gerilim dengesi, harmonik bozunum, topraklama uygunluğu, aşırı akım röle koruma koordinasyonu, kapasite sınırları ve şebeke güvenilirliğini çok iyi değerlendirmek gerekmektedir (Barker, 2000). DÜ ile minimum güçlerde, genel üretim geleneksel sistemlerin merkezi üretimine göre daha güvenilir bir enerji tedariki vaat etmektedir (Adak, 2021). Dağıtılmış üretim, dağıtılmış üretim geliştiricileri ve sahipleri için önemli bir ekonomik faktör olmasının yanı sıra enerji kayıpları, artan enerji arzı sürekliliği ve diğer belirtilen teknik faydaları da bulunmaktadır (Anaya ve Pollitt, 2017). Ancak tüm bu teknik/ekonomik avantajların yanı sıra DÜ santralleri bağlı oldukları bağlantı noktalarında kısa devre akımına da katkıda bulunabilmektedirler. Bu durum mevcut koruma sistemlerinin düzgün çalışmasını engelleyebilmektedir (Çetinkaya ve Dumlu, 2013). Bununla birlikte FV sistemlerde kullanılan ekipmanlar ve güç elektroniği ekipmanları şebekeye harmonik bir bozunum getirebilmektedir. Belirtilen harmonik bozunum ve kısa devre akım katkıları şebekenin kararlılık analizini ve yük akışını da etkileyebilmektedir. Kısa devre arıza akımı değerinin dağıtım şebekesine eklenecek olan DÜ sisteminin uyumunun sonucu sistemin tasarım değerini geçecek olması mevcut olan tüm enerji ekipmanını tehlikeye atabileceği gibi personel ile ilgili de hayati tehlike söz konusu olabilmektedir. Bütün işletme devre elemanlarının bir sonraki kısa devre seviyesine uygun şekilde yeniden düzenlenmesi ise DÜ entegrasyonu için yüksek miktarlarda maliyete neden olabilmektedir. Arıza akımlarının artması sadece ekipman konumlandırılması ilgilendirmez aynı zamanda koruma uyumunu da ilgilendirmektedir (Crabtree, 2003). Dağıtım şebeke sistemine eklenen DÜ kaynakları olan YEK' lerin koruma koordinasyon çalışma sisteminde değişimlerin yapılması ve bazı önemli kısımların yeniden değerlendirilmesi gerektirmektedir (Arıcı ve İskender, 2020).

Dağıtım sistemine başka kaynakların eklenmesi, dağıtım sistemi üzerinde bazı etkilere neden olabilmektedir. Üretilen enerjinin kalitesinin yanı sıra güç akışını değiştirebilmekte ve ayrıca gerilim değerleri ile kısa devre akımlarını da değiştirebilmektedir (Vargas, 2018). Bu tür enerji üretimini entegre etmek için koruma planlarındaki teknik zorlukların üstesinden gelmek gerekmektedir (Çetinkaya, 2013). DÜ, değişen kısa devre seviyeleri nedeniyle aşırı akım rölelerinin koruma koordinasyonu üzerinde zararlı etkilere sahip olabilmektedir. Aşırı akım röleleri, sistemin sağlıklı kısmının arızalanmamasını sağlayarak ve gereksiz kesintiyi önleyerek güç sisteminin güvenilirliğini sağlamak için gerekli hale gelmektedir (Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği, 2015). DÜ tesisleri arasında Türkiye'nin elektrik üretiminde önde gelen enerji kaynağı olan güneş enerjisi santrallerinin henüz toplam üretimin %8.35'ine tekabül etmesinden dolayı bu çalışmanın ortaya koyduğu öngörüler önemli görülmektedir (Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği, 2015). Güneş enerjisi, güneş çekirdeği içerisinde yer alan hidrojen gazının helyuma dönüşmesi ile açığa çıkan bir enerjidir. Güneş yaklaşık olarak 3.9×10^{26} W temiz ve yenilenebilir bir enerji tedarikçisidir. Atmosfer yüzeyine oranla bu enerji metrekaşe başına 1367W enerji düşmektedir. Atmosferin doğası gereği gelen bu ışınların bir kısmını emerken bir kısmını yansıtmaktadır. Bu derece önemli ve yüksek güçteki bir enerjiden yararlanmak adına güneş enerjisinden elektrik enerjisi kazanmak için birden fazla yöntem olmasına rağmen bu çalışmada genel olarak kullanılan doğrudan elektrik enerjisine çevirmeye yarayan FV sistemlerin kullanımını arttırmayı sağlamaktadır. EPDK resmî sitesinden alınan bilgilere göre Şekil 1.1' de, görüldüğü gibi ülkemizde yıllara göre FV sistemlerin kurulu gücü ve bu kurulun gücün tüm Türkiye' deki oranları yer almaktadır.



Şekil 1.1 Türkiye’ de GES santralleri kurulu güç bilgileri

Dağıtım şebeke sisteme yenilenebilir enerji santralinin eklenmesi, ana besleme fider korumalarının selektifi olarak çalışmasını bozmaması gerekmekte ve engel durumlar teşkil etmemesi gerekmektedir. Şebeke sisteminde fider üzerinden enerji verilmediğinde güç sisteminde çalışacak bir yenilenebilir enerji santrali tüm yükler ve tüketim noktaları için enerji kaynak olacaktır. Ancak ilgili frekans ve gerilimin sınırları içerisinde kalınabilmesi yüksek ihtimalle sağlanamayacaktır (Fotovoltaik ve Depolama, 2009). Mevcut sistem işletme şartlarında FV sistem santrallerinin orta gerilim entegre olduğu kısımlarda meydana geleceği en yüksek gerilim yükselmesi, devreye etki etmediği zamanlarda elektrik dağıtım şebekesinin yapısına göre %2’ den fazla olmamalı ve bir temas kısmında ilgili dağıtım bölgesindeki tüm generatörlerin devre dışı kalması sonucu oluşan gerilim değişimi %5’ den büyük olmamalıdır (Vieira vd., 2018). Geleneksel şebeke ile ilişkilendirilen önemli bir faktör, DÜ sistemlerinin koruma ve kontrol gereksinimlerinin yüksek gerilim iletim şebekesinden farklı olmasıdır. Bu doğrultuda ele aldığımız FV sistemin dahil olduğu bir dağıtım şebekesinde, koruma ve revizasyon ayar şemasının yetersizliği söz konusu olabilmektedir. Bu sebeple, birbirine bağlı bu sistem sürekli olarak güç sistemi kararlılığı açısından yeni zorluklarla

doğurabilmektedir. Bu zorlukları ele alabilmek veya en azından azaltmak için DÜ sistemlerinin şebekeye olan etkileri ve boyutları uygun olmalıdır.

1.1 Tezin Amacı

Elektrik enerjisi, insan yaşamı boyunca ve insan yaşamının gelişimi için vazgeçilmez bir gereksinim haline gelmiştir. Belirtilen bu durum üzerine, insanlığın elektrik enerjisi talebi incelendiğinde sürekli artış gösteren bir eğilim üzerinedir. Ülkemizde ve dünyanın genelinde, ihtiyaç duyulan elektrik enerjisi büyük ve merkezi tesislerden karşılanmaktadır. Yaşadığımız bu çağda elektrik enerjisine duyulan isteğin ve ihtiyacın sürekli artış göstermesi nedeniyle yeni YEK arayışına başvurulmaktadır. Finansal unsurlar ve sanayinin gelişimiyle doğru orantılı olarak YEK'lerin önemi gün geçtikçe daha çok ön plana çıkmakta ve FV enerji santrallerinin dağıtım şebekesindeki sayıları daha çok artmaktadır. Şu anda elektrik enerjisine olan ihtiyaç göz önünde bulundurulduğunda mevcut elektrik dağıtım şebeke sisteminde sağlanan güvenilirlik ve sürdürülebilirliğin gelecekte bu yeni oluşumda da ihtiyacı karşılanması ve entegrasyon problemlerini gidermesi gerekmektedir. Özellikle dağıtım şebeke sisteminde gerçekleşecek olan üretim entegrasyonları, elektrik şebeke yapısında çok önemli değişimler oluşturacaktır. Bu önemli değişimlerde ve entegrasyon sürecinde oluşabilecek problemlerin dizayn aşamasında belirlenebilmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda YEK'lerin, standart üretim sistemleri ile depolama ihtiyacı azalacak ve uyum sonucu oluşabilecek kompleks yapının üstesinden gelinmiş olunacaktır. Bu sorunların üstesinden gelmenin en pratik yolu ise mevcut dağıtım şebekelerini DÜ kaynaklarına ve depolama ünitelerine uygun hale getirmektir. Burada karşılaşılan en büyük zorluk, çok sayıda DÜ teknolojisinin kontrol ve düzenlemelerinin geleneksel şebekeye entegrasyonundaki karmaşıklığıdır. Ayrıca güvenlik ve güç kalitesi gibi farklı problemler de bulunmaktadır. Bu problemler enerji sektörünün verimliliğini doğrudan etkilemekte beraberinde güvenilirlik ile sürdürülebilirliği de etkileyen faktörlerdir. Geleneksel şebeke ile ilgili önemli faktörlerden biri, DÜ sistemlerinin koruma ve kontrol gereksinimlerinin iletim şebekesinden farklı olması nedeniyle DÜ sistemleri şebekeye bağlandığında mevcut koruma ve ayar düzenlemeleri yetersiz kalabilmektedir. Bu durum birbirine bağlı sistemde sürekli olarak güç sistemi kararlılığına yeni zorluklar meydana getirmektedir.

Bu zorlukları azaltmak veya ortadan kaldırmak için DÜ sistemlerinin şebekeye olan etkilerinin ve boyutlarının uygun şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında, dağıtım şebekesine entegre edilen FV sistemlerin etkileri incelenerek dağıtım baralarında ve transformatörlerde meydana gelen akım ve gerilim harmoniklerinin incelenmesi ve azaltılması, kısa devre akımının incelenmesi, oluşabilecek arıza koşullarında röle koordinasyonun sağlanması, statik yüklerin (doğrusal olmayan yük) meydana getirdiği harmoniklerin incelenmesi ve enerji depolama ünitelerinin sisteme entegre edilerek yük akış dengesinin belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.2 Tezin Katkıları

Son yıllarda elektrik enerjisine olan ihtiyacın artması ile birlikte insan yaşamının idame etmesi ve gelişmesi için elektrik enerjisi vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. Bunun akabinde elektrik enerjisine olan ihtiyaç ve talep sürekli artış göstermektedir. Bu talebin karşılanması için YEK' lere yönelimi ortaya çıkarmaktadır. Bu şekilde mevcut elektrik enerji talebinin karşılanmasının yanı sıra ekonomik anlamda ve endüstriyel anlamda pozitif yönde gelişim sağlanmaktadır.

Daha güvenli, şeffaf ve verimli elektrik enerjisini sağlamak, gelecekte daha akıllı ve otomatik sistemlere yönelmek için bu YEK' lerin mevcut dağıtım şebekesine entegrasyonu büyük önem taşımak ile birlikte çok önemli etkiler de meydana getirmektedir. Ulaşılan bu noktada ihtiyacın ve talebin yoğun olduğu YEK' lerin kurulum öncesinde entegrasyon problemlerinin incelenmesi, analizlerin yazılım programları üzerinden yapılarak mevcut dağıtım şebekesindeki kurulumunda oluşabilecek hatalara ve sorunlara çözüm üretilmesi gerekmektedir.

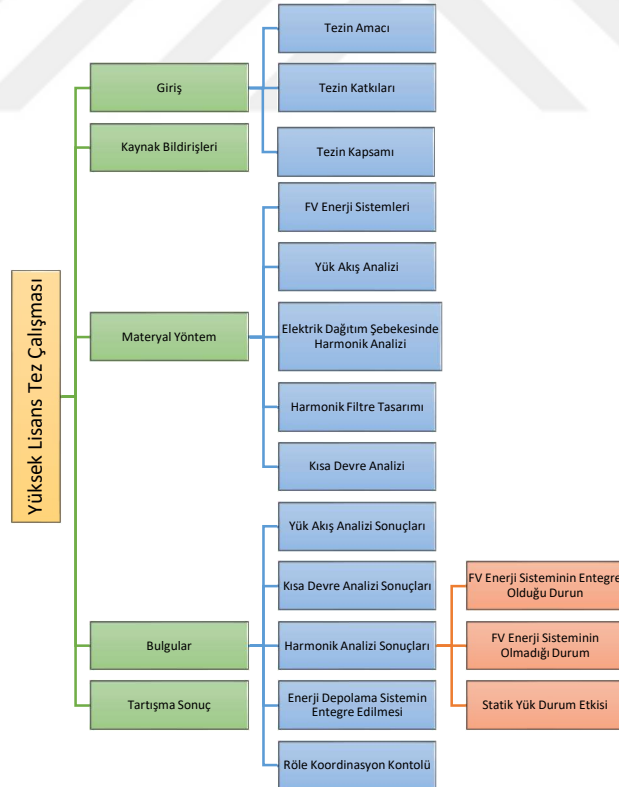
Bu tez çalışmasında, FV enerji sistemlerinin elektrik dağıtım şebekesine entegrasyonun sağlanarak; i) FV enerji sisteminin olduğu- olmadığı durumlar yük akış analizi, röle koordinasyonu kontrolü ve harmonik etkilerin dağıtım baralarında ve transformatörlerde akım ve gerilim harmoniklerinin incelenmesi, ii) dağıtım şebekesinde arıza durumlarında kısa devre akımının incelenmesi ve oluşabilecek arıza koşullarında röle koordinasyon kontrolü sağlanması, iii) statik yüklerin (doğrusal olmayan yük) olduğu durumlarda harmoniklerin incelenmesi, iv) FV enerji sisteminin ve statik yüklerin sebep olduğu harmoniklerin azaltılması için baralara tek ayarlı (single-tuned)

filtrenin entegre edilmesi, ve v) enerji depolama üniteleri sisteme entegre edilerek FV enerji sisteminin ürettiği fazla gücü bataryalara aktararak yük akış dengesinin sağlanması gibi katkılar yapılmıştır.



1.3 Tezin Kapsamı

Bu tez çalışmasında Şekil 1.2’ de, görüldüğü üzere 5 ana bölümden oluşmaktadır. Bölüm 1’ de, tezin FV sistemlerin ülkemizdeki durumu hakkında bilgi veren verileri yer almakta ve FV sistemlerin dağıtım şebekesine olan etkileri araştırılıp incelendiğinden bu tez çalışması kapsamında literatür üzerinden yapılan çalışmalara yer verilmektedir. Bölüm 2’ de, olan FV’ nin ve statik yükün dağıtım şebekesi üzerindeki akım gerilim harmonik etkileri, arıza durumunda kısa devre akımlarının şebekeye olan etkileri ve enerji depolama ünitelerinin dağıtım şebekesine olan katkıları hakkında detaylı bir literatür araştırmasına ve incelenmesine yer verilmektedir. Bölüm 3’ de, önerilen güç topolojisinde bulunan şebeke elemanları detaylandırılarak tez çalışmasının algoritması oluşturulmakta ve analiz edilmektedir. Bölüm 4’ de, önerilen güç topolojisinin sonuçları ETAP yazılım programı kullanılarak sonuçlar ele alınarak değerlendirilip tartışılmaktadır. Bölüm 5’ de, tezin katkıları, özgünlüğü ve sonuçlar değerlendirilip özetlenerek aktarılmaktadır.



Şekil 1.2 Önerilen tezin kapsamı

2. KAYNAK BİLDİRİŞLERİ

Dağıtım sistemine eklenecek olan YEK'lerin gerek dağıtım şebeke sisteminde gerekse kullanıcı açısından yük profillerini ve gerilim profilini oldukça etkilemektedir. Bu etkiler dağıtım sistemi ve DÜ'nin işletme benliğine göre olumlu veya olumsuz anlamda tesir edebilecek durumda olabilmektedir. Olumlu tesirleri sistemi destekleyecek olup gerilim desteği ve güç kalitesinde iyileşme, enerji kayıp azalması, iletim ve dağıtım kapasitesinin bağımlılığının kalkması gibi sıralanabilmektedir (Barker, 2000). Dağıtım sistemine eklenecek olan üretim birimleri gerilim düzeni, gerilim dalgalanması, harmonik bozunum, topraklama eşik değeri, aşırı akım koruma röle uyumu, kapasite sınırları ve güvenilirlik stabilitesini çok iyi değerlendirmek gerekmektedir (Barker, 2000). DÜ ile küçük güçlerde yaygın üretim, geleneksel sistemlerin merkezi üretimine göre daha güvenilir bir enerji tedariki vaat etmektedir (Turan, 2014). Dağıtılmış üretim, dağıtılmış üretim geliştiricileri ve sahipleri için önemli bir ekonomik faktör olmasının yanı sıra enerji kayıpları, artan enerji arzı sürekliliği ve belirtilen diğer teknik faydaları da bulunmaktadır (Anaya ve Pollitt, 2017). Ancak tüm bu teknik ve ekonomik avantajların yanı sıra DÜ santralleri bağlı oldukları bağlantı noktasında etki ettiği unsurlardan biri olan kısa devre akımına da katkıda bulunabilmektedir. Bu durum mevcut koruma sistemlerinin düzgün çalışmasını engelleyebilmektedir (Çetinkaya ve Dumlu, 2013). Kısa devre arıza akımı değerinin dağıtım şebekesine eklenecek olan DÜ sisteminin uyumunun sonucu sistemin tasarım değerini geçecek olması mevcut olan tüm enerji ekipmanının tehlikeye atabileceği gibi personel ile ilgili de ciddi şekilde hayati tehlike söz konusu olabilmektedir. Tüm sistem ekipmanının bir üst kısa devre seviyesine uygun şekilde yeniden revize edilmesi ise DÜ entegrasyonu için yüksek miktarlarda maliyete söz konusu olabilmektedir. Arıza akımlarının artması sadece ekipman konumlandırılmasını değil koruma uyumunu da ilgilendirmektedir (Collinson, 2003). Şebeke sistemine eklenen DÜ kaynakları koruma uyumu sisteminde değişiklik yapılmasını ve bazı unsurların yeniden değerlendirilmesini gerektirmektedir (IEEE Application Guide for IEEE Std, 1547). Dağıtım sistemine başka kaynakların eklenmesi dağıtım sistemi üzerinde etkilere neden olabilir. Üretilen enerjinin kalitesinin yanı sıra güç akışını değiştirebilmekte gerilim değerlerini ve kısa devre akımlarını da değiştirebilmektedir (Mendes ve Vargas, 2018). Bu tür enerji üretimini entegre etmek

için koruma planlarındaki teknik zorlukların üstesinden gelmek gerekmektedir (Santos vd., 2018). DÜ, değişen kısa devre seviyeleri nedeniyle aşırı akım rölelerinin koruma koordinasyonu üzerinde zararlı etkilere sahip olabilmektedir. Aşırı akım röleleri, sistemin sağlıklı kısmının arızalanmamasını sağlayarak ve gereksiz kesintiyi önleyerek güç sisteminin güvenilirliğini sağlamak için gerekli hale gelmektedir (Sookrod ve Wirasanti, 2018). Korumayla ilgili potansiyel sorunlar esas olarak korumanın yetersiz erişimi ve yanlış hat açmalarıdır. Orta gerilim şebekesine büyük bir üretim ünitesi veya birkaç küçük üretim ünitesi bağlandığında fider koruma rölesinin gördüğü arıza akımı azaltılabilmek ve bu da aşırı akım rölelerinin çalışmasının engellenmesine yol açılabilmektedir. Buna erişim altında koruma veya korumanın körlenmesi denir. Ayrıca fider koruma rölesinin gördüğü sağlıklı durum akımı topolojinin bazı noktalarında artabilmekte ve bu da aşırı akım rölelerinin yanlış açma yapmasına neden olabilmektedir (Kauhaniemi, 2004). Röle koordinasyonunun arızalanma olasılığının yazılım programlarıyla test edilmesi dağıtılmış üretimin geleceği hakkında iyi bir öngörü oluşturacaktır; dağıtılmış üretim henüz yaygınlaşmadığından. DÜ tesisleri arasında Türkiye'nin elektrik üretiminde önde gelen enerji kaynağı olan güneş enerjisi santrallerinin henüz toplam üretimin %5,1' ine tekabül etmesi nedeniyle bu çalışmanın ortaya koyduğu öngörüler önemlidir (EPDK, 2022). Dağıtım şebeke sistemine DÜ santralının eklenmesi, ana kaynak fider korumalarının hususi olarak çalışmasını bozmamalı, engel durumlar teşkil etmemelidir. Bir diğer önemli husus ise FV sistem santrali, enerjisi kesilmiş bir şebekeyi asla enerjilendirmemelidir. Bir DÜ santrali ana kaynaktan ayrılmış bir şebekeye bağlı kalır veya enerjisi kesilmiş bir şebekeyi beslerse ada sistemi oluşumuna neden olmaktadır. Bunun akabinde daha öncesinde de değinildiği üzere saha çalışanına ve ekipmana zarar verebilecek ciddi anlamda tehlike ve sorunların meydana gelmesine neden olabilmektedir. Şebekeyi besleyen tüm ana kaynak kesicileri açık olduğunda şebeke içinde çalışacak herhangi bir DÜ santrali tüm yükler için kaynak olacaktır. Ancak ilgili frekans ve gerilimin sınırları içerisinde kalınabilmesi yüksek ihtimalle sağlanamayacaktır (IEEE Application Guide for IEEE Std, 2009).

Standart işletme şartlarında FV sistem santrallerinin orta gerilim bağlantı noktasında oluşturacağı en yüksek gerilim artması, devrede olmadıkları şebeke yapısına göre %2'den fazla olmaması ve bir bağlantı noktasında ilgili dağıtım bölgesindeki tüm generatörlerin devre dışı kalması sonucu oluşan gerilim değişimi %5' ten büyük

olmaması gerekmektedir (Bdew, 2008). Türkiye'nin ilgili mevzuat yönetmeliği ve istatistikleri incelendiğinde dağıtılmış üretimin ne ölçüde uygulanabileceği dağıtım sistemi hem şebekenin teknik kapasitesine hem de mevcut mevzuata göre belirlenmektedir. Örneğin Türkiye' deki mevcut düzenlemeler santral başına dağıtılmış üretim bağlantı gücünü 1 MW ile sınırlandırmaktadır (EPDK, 2013). Ancak üzerinde bağımsız birçok enerji santrali bulunabileceği için aynı fiderde, şebeke dağıtılan üretim gücünün sınırını belirlemektedir. Şebekenin gerilim ve akım anlamında üst sınırı tetikleme olmaması durumu söz konusu olsa bile DÜ, röle koordinasyonunu bozabilmektedir. Başka bir deyişle dağıtım şebeke kapasitesi ile sınırlı olan DÜ, güvenli bir koruma sistemi için yeterli olamayabilmekte ve röle koordinasyonunun bozulmasına neden olabilmektedir. Dağıtılmış nesillerin yaygınlaşmasıyla birlikte elektrik şebekelerinin koruma sistemleri yeni sorunlarla karşı karşıya kalabilmektedir. Bunun nedeni ise dağıtılmış jeneratörler tarafından ağ arızalarına enjekte edilen ek arıza akımıdır (Mohammad, 2018). Röle koordinasyonunun arızalanma olasılığının benzetim çalışmalarıyla test edilmesi, dağıtılmış üretimin geleceği hakkında iyi bir fikir vermektedir. Dağıtılmış üretimin gelecekte güvenli ve sürekli olarak büyüyebilmesi için artan arıza akımı seviyeleri ve çift yönlü güç akışı gibi zorluklar önceden değerlendirilmelidir (Walt, 2018). Türkiye'de dağıtım fiderlerinin tek fazlı kısa devre akımı 1 kA ile üç fazlı dağıtım fiderlerinin kısa devre akımı ise 16 kA ile sınırlıdır. (EPDK, 2014). Dolayısıyla tek fazlı kısa devre akımına ilişkin röle koordinasyonu, DÜ tesislerinin kısa devre katkısından daha erken ve olumsuz etkilenecektir. Türkiye'deki DÜ mevzuatı (lisanssız elektrik üretimi), alçak gerilim (AG) düzeyinde elektrik üretimi yerine orta gerilim (OG) düzeyinde elektrik üretimini teşvik etmektedir (EPDK, 2013). Literatürde yapılan çalışmalar ve Türkiye ile ilgili istatistikler, piyasa koşulları, mevzuat ve teknolojik ilerleme düzeyleri nedeniyle DÜ' de şebekede FV santrallerinin hâkim olduğunu göstermektedir (IEEE, 2012). Bu nedenle en yaygın DÜ' nün FV gücünden sağlanması öngörülmektedir.

FV enerji santrallerinin OG düzeyindeki tek fazlı kısa devre katkısı, DÜ için en önemli ve spesifik konulardan biri olmaktadır. Bu konun yanı sıra FV sistemlerin dağıtım şebekesine entegrasi sonucu oluşan harmonik bozulumlarından incelenmesi ve dağıtım şebekesine olan etkilerinin incelenmesi gerekmektedir. Değişken hızlı motor sürücüler, kesintisiz güç kaynakları (UPS-Uninterruptible Power Supply) sistemleri, güç

dönüştürücüleri, redresörler ve farklı güç elektroniği cihazları gibi güç elektroniği ekipmanlarının sürekli artan kullanımı sonucunda sistemin gerilim ve akımının güç kalitesi farklı alanlarda sıkı bir şekilde etkilenmektedir. Yüksek frekanslı bileşenler güç sistemlerinde dolaşmaya başlamakta ve bu da gerilim ve akımın dalga biçimlerinin bozulmasına neden olmaktadır (Al-Refai, 2016). Bu tür yüksek frekans bileşenleri, harmonik terimiyle bilinen temel frekansın tamsayı katlarıdır. Harmonik yayan cihazlara doğrusal olmayan yükler denir ve güç elektroniği anahtarlama cihazları, transformatörler, motorlar, floresan lambalar, ark ocakları ve diğer birçok farklı cihazı içermektedir. Bu tür cihazlar güç sistemlerinin güç kalitesini etkileyen çok ciddi sorunlara neden olmaktadır. Herhangi bir güç sisteminde harmoniklerin varlığı, ekipmanların aşırı ısınması, cihazların güç faktörünün düşük olması, elektrikli bileşenlerin düşük performansı, bunlarla sınırlı olmamak üzere farklı sorunlara ve etkilere neden olmaktadır. Üstelik harmonik akımlar kaynaklarına yakın durmamaktadırlar ve aksine elektrik dağıtım ağlarına nüfuz etmektedirler ve elektrik sistemleri boyunca dolaşmaya başlamaktadırlar. Elektrik sistemlerinde harmonik akımların sirkülasyonu, diğer kullanıcılara beslenen elektrik gerilimlerini bozmakta ve harmonik sorununun birikmesine neden olmaktadır. Güç sistemlerindeki elektronik cihaz ve ekipmanların giderek yaygınlaşması sonucunda bu olgu, güç kalitesi açısından önemli bir konu haline gelmiştir. Bilgisayar yazılımı kullanılarak, güç sistemi harmonikleri problemi modellenenilmekte ve analiz edilmektedir. ETAP yazılım programı harmonik analiz modülü, farklı güç sistemi elemanlarını ve ekipmanlarını frekans bağımlılıklarını, doğrusal olmayan davranışlarını ve harmonik akım ve gerilimlerin varlığının diğer etkilerini incelemek üzere doğru bir şekilde modellemek için bir araç sunmaktadır.

Belirtilen DÜ sistemlerinin bünyesinde bulunan FV sistemlerin dağıtım şebekesine olan entegrasyon sürecinde yaşanan durumlar ile beraber sağlamış olduğu yararlar da aşikardır. YEK olan FV sistemlerin dağıtım sisteminin güvenilirliği üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi yük ve besleyici bileşenlerinin arıza ve onarım oranlarına göre analiz edilmektedir. Bu amaca, FV bir güç sistemine entegrasyonu ile ilgili tüm teknik sorunların üstesinden gelinirse ulaşılmaktadır (Bhadoria vd., 2013). Güvenilirlik, enerji şirketlerinin güç sistemi yeterliliğini ve güvenliğini analiz etmek için kullandıkları temel performans göstergelerinden biridir. FV ünitelerinin elektrik dağıtım sistemine dahil edilmesi güç sistemi kullanılabilirliği ve güvenliği üzerinde birçok olumlu

etkiye sahip olabilmektedir (IEEE, 2009). Bu etkiler FV ünitelerinin, şebekeden kaynaklanan bir elektrik kesintisi durumunda yük noktalarında sürekli bir güç kaynağı sağlama kapasitesine bağlı olmaktadır. Bu, yenilenebilir DG ünitelerinin yüklere ve gerekli tüm dağıtılmış sistem kontrol yeteneklerine hizmet etmesini gerektirmektedir (Lasseter ve IEEE, 2011).

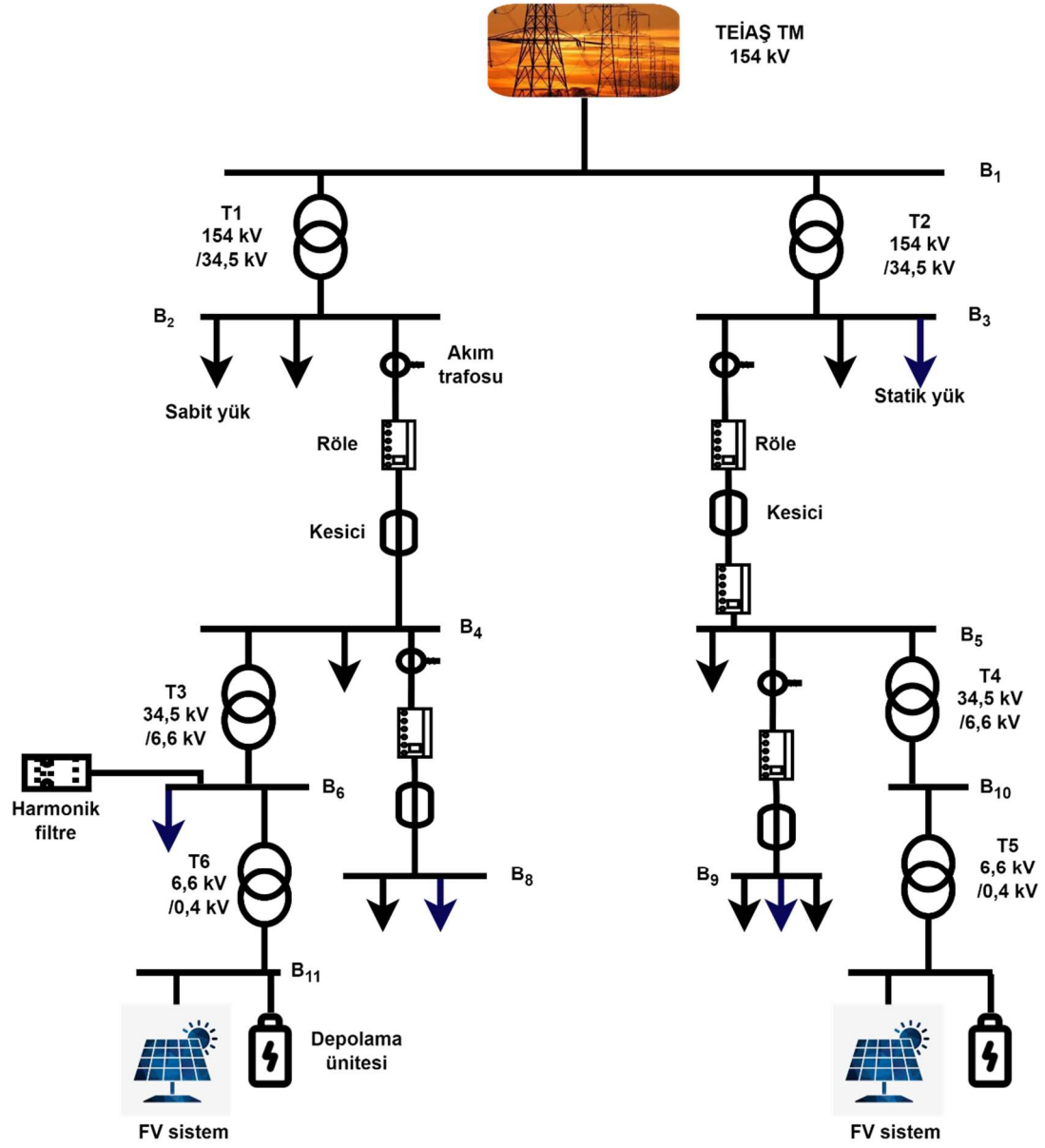




3. MATERYAL VE YÖNTEM

Yapılan çalışmada bir FV enerji santrali üzerinden ve bu FV sistemin bağlı olduğu dağıtım şebekesini ETAP (Elektrik Güç Sistemi Analizi ve İşletim Yazılımı) yazılım programı kullanılarak FV sistemin entegrasyonuna etki eden durumların analizi ve çözüm yöntemleri yapılarak verimlilik analizi yapılmaktadır. Şekil 3.1’ de mevcut bir dağıtım şebekesinin TEİAŞ 154 kV trafo merkezinden çıkan enerjinin farklı güçteki FV enerji santraline bağlantısı görülmektedir. ETAP yazılım ve tasarım programı kullanılarak FV sistemin entegrasyonuna etki eden unsurların analizi ve çözüm yöntemleri yapılarak yük akışı analizi, harmonik analiz, kısa devre analizi, dağıtım şebekesinden yer alan dağıtım merkezlerinin sayısı ve konumun verimliliğe etkisi bu unsurların yanı sıra dağıtım şebekesinde yer alan statik yüklerin (doğrusal olmayan yük) harmonik bozunum üzerinde etkileri aynı şekilde oluşabilecek bir kısa devre arıza akımında oluşacak unsurlar ile çözüm yöntemleri geliştirilmektedir. Şekil 3.2’ de belirtilen güç sisteminin algoritması, izlenecek adımlar ve başlıklar belirtilmektedir.

Algoritmadan da anlaşılabacağı üzere dağıtım sisteminde bulunan FV sistemlerde karşılaşılması muhtemel entegrasyon problemlerinin bazıları belirtilmektedir. Bunlar FV sistemin dizaynı ve şebekeye işlenmesi, harmonik etkileri, yük akış analizi, adalaşma riski, işletme topraklama yapısının değişimi, kısa devre akımının artması ve aşırı akım koruma rölesinin koordinasyonun bozulması gibi durumlar söz konusu olmaktadır. Bu çalışmada, ETAP yazılım programı kullanılarak mevcut şebekenin veya FV sistemin topoloji dizaynında yukarıda belirtilen entegrasyon problemlerine karşın önerilen topoloji üzerinden yapılan benzetim çalışmasından alınan sonuçlar değerlendirilerek dağıtım şebekelerinde artan FV sistemlere yön verilmesi öngörülmektedir.



Şekil 3.1 Önerilen güç sisteminin topolojisi



Şekil 3.2 Önerilen tez çalışmasının benzetim algoritması

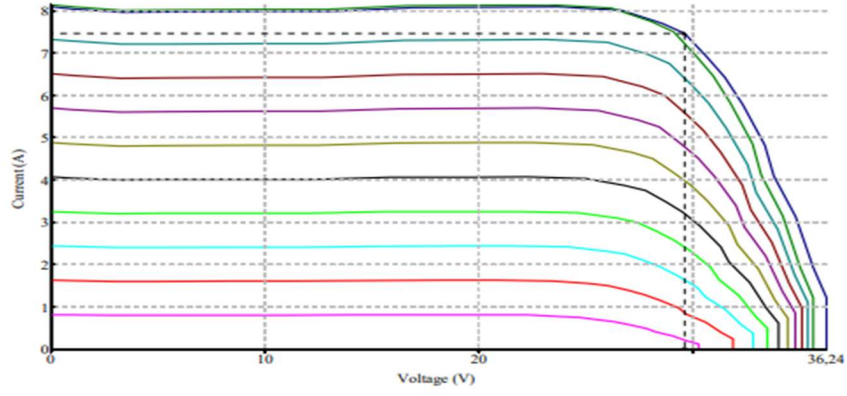
3.1 Fotovoltaik Enerji Sistemleri

FV enerji sistemleri tüketim noktalarına veya tüketici abonelere anında aynı konumdan enerji desteği vermesi ve aynı zamanda dağıtım şebekesine katkı sağlaması için dağıtım şebekesinde bir YEK olarak tanımlanmaktadır (Adefarati, 2016). FV sistemler hali hazırda bir YEK olmasından dolayı dağıtım şebekesinde DÜ noktası oluşturabilmektedir. DÜ kaynakları gibi FV sistemlerde dağıtım şebekesine senkron bir şekilde çalışabildiğinden bu doğrultuda elektrik dağıtım şebekesinde gerilim durumunun iyileşmesinde enerji sürekliliğinin sağlanmasına temiz enerji kaynağı oluşmasını

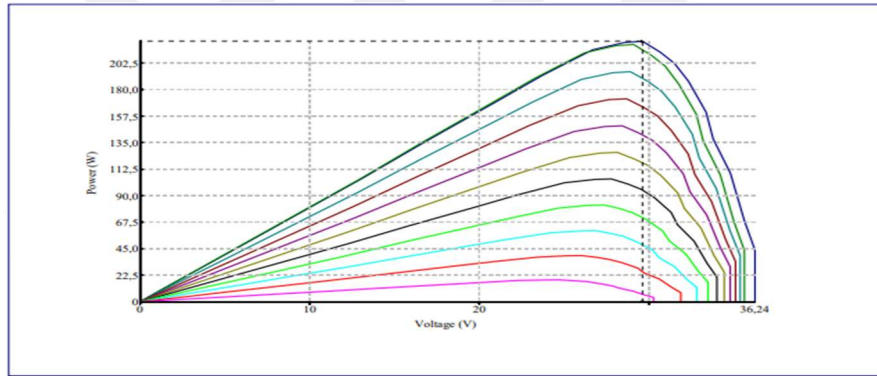
sağlamaktadır. Ancak YEK üretilen enerji kaynakları iklim ve çevresel faktörlere dayalı bir üretim kaynakları olduğundan stabilitesi açısından sorun teşkil edebilmekte bu durumda şebekede kısa devre akımlarının artış göstermesine sebebiyet verebilmektedir (Ngo vd., 2017). FV sistemlerde güneş ışınlarının etkisi sıcaklık ile doğru orantılı olarak arttığından bu hususa binaen kısa devre akımının artmasına olanak sağlamaktadır (Kim vd., 2013). FV etki, FV hücresinin ışığı enerjiye dönüştürdüğü fiziksel bir süreçtir. Bu sistemler yenilenebilir enerji sınıfında yer almakta ve çevre dostu bir enerji kaynağı sunmaktadır. Sistemin en temel elemanlarından olan FV paneller, üzerine gelen güneş ışınlarını elektrik enerjisine çevirebilen ana elemanlardır. Genellikle silikon temelli hücrelerden oluşmaktadır. Elektrik FV hücresi, güneş tarafından yayılan fotonları emen yarı iletken malzemelerden yapılmakta ve bu enerjiyi güneş pilindeki elektronlara aktarmaktadır. Elektrik akımı daha büyük olduğunda güneş pili tarafından daha fazla güneş ışığı fotonu emilmektedir. PV hücreleri çoğunlukla yarı iletken malzeme, düşük sıcaklıklarda yalıtkan, yüksek sıcaklıklarda iletken gibi davranabilmektedir (NREL, 2022). Bu hücreler, güneş ışığını emerek elektron hareketi oluşturmakta ve oluşan bu hareket ışığında elektrik enerjisi elde edilmektedir (Duffie ve Beckman, 2013). Galyum arsenit (GaAs) hücreler silikondan daha verimli olmakta ancak bu malzemenin tedariki ve ekonomik maliyeti daha yüksektir. Bu nedenle onun kullanımı genellikle uzay programı çalışmalarında kullanılması ile sınırlı kalabilmektedir. Güneş pilini daha verimli hale getirmek için üreticiler firmaların yöneldiği kısım ise güneş kaynağından gelen ışınların yansıyan ışığı azaltma yönündedir. Bu kapsamda panel üzerindeki metal iletkenlerin alanı azaltarak hücre gölgelenmesi ve yansıması en aza indirilmektedir.

Enerji aynı zamanda fotonun enerjisi panel kapasitesinin kabul edebileceğinden daha yüksekse kaybolmaktadır. FV panellerin verimliliği açısından Silikon güneş panellerinin sayısı yıllar geçtikçe artmaktadır. Kristalin silikon hücrelerin %27.6 verimlilik elde edilebilmekte (NREL, 2022); ve bunun önümüzdeki yıllarda daha da artması beklenmektedir. Bir güneş pilinin akım-gerilim (I-V) karakteristiği, onun elektriksel çıkış profilini göstermektedir. Şekil 3.3' de belirtilmiştir. Şekil 3.4' de gerilim-akım karakteristiği verilmektedir. Bu karakteristiklere göre seçilen güneş enerji santrallerinde seçilen panel hücrelerinin ürettiği gerilime göre akım değerleri bilenebilmektedir. Bu değerlere göre panel hücrenin yapmış olduğu davranış üretimin

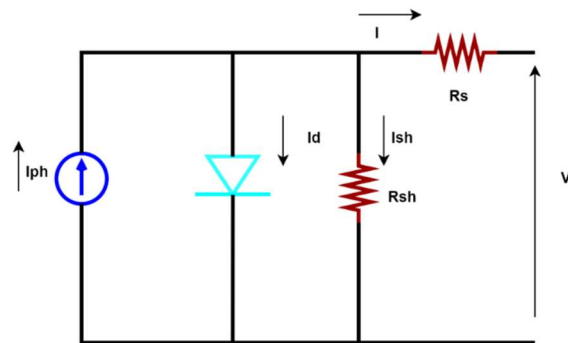
noktasını belirlemektedir. Aynı şekilde gerilim değerlerine göre elde edilen güç değerleri üzerinden panelin sergileyebileceği üretim bilenebilmektedir.



Şekil 3.3 FV panellerin akım-gerilim karakteristiği



Şekil 3.4 FV panellerin güç- gerilim karakteristiği



Şekil 3.5 FV panelinin eş değer devresi

FV sistemlerde enerji üretimi atmosferik koşullara bağlı değişmektedir. Panellerde verimlilik güneşli ve gölgelenmenin olmadığı durumlarda en fazladır. Tam tersi durum söz konusu olduğunda verimlilik doğru orantı şeklinde azalmaktadır. Bu da FV sistemlerin şebekeye olan etkilerini de dolaylı olarak göstermektedir. FV hücrenin çıkış akımı Eşitlik 3.1 ile verilmiştir.

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT_c}} - 1 \right) - \left(\frac{V+IR_s}{R_{sh}} \right) \quad (3.1)$$

I_{ph} FV panellerin ürettiği akımı, R_s seri direnci, R_{sh} paralel direnci, n ideallik faktörü, I FV panelin çıkış akımını ve V FV panelin çıkış gerilimini ifade etmektedir.

k Boltzmann sabitini ($1.380622 \times 10^{-23} \text{ J.K}^{-1}$), q , elektron yükünü ($1.6021917 \times 10^{-19} \text{ C}$) ve I_0 diyotun ters doyma akımını ifade etmektedir. R_{sh} direnci FV panellerdeki kaçak akımlarını R_s direnci ise çıkıştaki gerilim düşümünü ifade etmek için kullanılmıştır. R_{sh} , R_s direncinden oldukça büyüktür. Panelde sıcaklığı sadece bulunduğu yerin ısıasına bağlı olmamakla beraber güneşten gelen ışımaya bağlı olarak değişir. FV hücreye ulaşan ışığın enerjiye dönüşmeyen bölümü ısı şeklinde hücre dışına aktarılır. T_c hücre sıcaklığını, Eşitlik 3.2 ile bulunabilmektedir.

$$T_c = T_{ortam} + \frac{T_{nom}-20}{0.8} G \quad (3.2)$$

Burada T_c FV panel sıcaklığını, T_{ortam} ortam sıcaklığını, T_{nom} nominal sıcaklığı, G güneşten gelen ışımayı (W/m^2) ifade etmektedir. FV panellerin yüksek sıcaklıklarda daha verimli çalıştığı düşüncesi yanlıştır. FV hücrelerin verimi, düşük sıcaklıklarda ve yüksek ışıyım seviyelerinde artar. FV hücre akımı Eşitlik 3.3 ile bulunur.

$$I = (I_{ph} - I_0) * \left(e^{\frac{q(V+IR_s)}{nkT_c}} - 1 \right) \quad (3.3)$$

FV sistemde elektrik akımı yükseltmek için FV paneller paralel bir şekilde bağlanır FV paneller belirli prensiplere göre çalışırlar. Işıyla karşılaştıklarında uç terminallerinde gerilim oluşur ve bu gerilim değeri yaklaşık 0.5 V civarındadır. FV panelinin gerilimi aşağıdaki eşitlik ile bulunmaktadır.

$$V = \frac{nkT_C}{q} \ln \left(\frac{I_{ph} + I_0^{-1}}{I_0} - IR_s \right) \quad (3.4)$$

FV hücrede oluşan gerilim, panel yüzeyine düşen ışık yoğunluğu ile orantılıdır. FV hücre çıkış terminallerine bir yük bağlandığında, yük üzerinden bir akım geçer. Seri hücre sayısı ile gerilimi değeri arttırırken paralel hücre sayısı ile panel çıkış akımı değeri arttırır. FV panel akım değeri, Eşitlik 3.5 verilen denklem üzerinden bulunur.

$$I = (N_p I_{ph} - N_p I_0) \left(e^{-\frac{q \frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_p}}{nkT_C}} - 1 \right) - \frac{1}{N_p} \left(\frac{V + R_s}{R_{sh}} \right) \quad (3.5)$$

Seri hücre sayısı N_s ve paralel hücre sayısı N_p ile ifade edilmektedir. Şekil 3.5’deki, R_{sh} direncinin değeri, R_s direnci değerinden oldukça büyüktür. Bundan dolayı $R_{sh} = \infty$ olarak alındığında, FV panel akımı, Eşitlik 3.6 denklemi üzerinden bulunur.

$$I = (N_p I_{ph} - N_p I_0) \left(e^{-\frac{q \frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_p}}{nkT_C}} - 1 \right) \quad (3.6)$$

FV panelin çıkış geriliminin değeri, Eşitlik 3.7 üzerinden bulunur.

$$V = \frac{nkT_C}{q} \ln \left(\frac{I_{ph} + I_0^{-1} + N_p}{I_0} - R_s + I \right) \quad (3.7)$$

FV panel üzerindeki etiket standartları stabil şartlarda elde edilen sonuçların değerleridir. FV panelin test sonuçları, standart test koşullarından sapma gösterdiğinde, panelin çıkış gücü de bu doğrultuda azalabilir veya artabilir. FV panelin çıkış gücünün değeri Eşitlik 3.8 ile bulunmaktadır.

$$P = V \times I \quad (3.8)$$

Eşitlik 3.6 ve Eşitlik 3.7 kullanılarak FV panelinin çıkış gücü Eşitlik 3.9 ile hesaplanmaktadır.

$$P = \left\{ \frac{nkT_C}{q} \ln \left(\frac{I_{ph} + I_0 - 1 + N_p}{I_0} - R_S + I \right) (N_p I_{ph} - N_p I_0) \left(e^{-\frac{q \left(\frac{V}{N_S} + \frac{I R_S}{N_P} \right)}{nkT_C}} - 1 \right) \right\} \quad (3.9)$$

Eşitlik 3.9’da doğrusal olmayan karakteristiğe sahip parametre değerleri Newton-Raphson veya benzeri doğrusal olmayan çözüm metotları ile bulunur. Güneş panellerinin meydana getirdiği enerji miktarı, güneş ışınlarının panel yüzeyine dik veya eğimli gelmesine, panellerin temizliğine ve hava durumunun açık veya bulutlu olmasına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Panellerin kirlenmesi verimliliklerini önemli ölçüde düşürür. Ayrıca, güneş enerjisi sistemleri yıldırımın zarar verici etkilerinden korunmalıdır

3.2 Yük Akış Analizi

Son yıllarda artan elektrik enerjisine olan talepler sonucunda dağıtım şebekesinde elektrik üretim kaynakları artışı gözlemlenmektedir. Tabi yaygınlaşan bu YEK sonucunda dağıtım şebekesinin işletme ve topraklama noktalarında işleri karmaşık bir hal almasına sebebiyet vermektedir. Bu kapsamda sorunların giderilmesi ve şebeke büyümesinin kontrolü sağlamak adına kapsamlı analizler yapılması gerektiğini doğurmuştur. Bu nokta elektrik şebekesinde yük akış analizi (YAA) kavramını meydana getirmiştir. Elektrik iletim ve dağıtım şebekelerinde sürekli hal durumuna ait karakteristik özelliklerinin belirlenmesi için yapılan çalışma ve analizlere YAA denir. Bir şebekede YAA, belirli kısımlardaki bara koşulları için güç hesabı ve gerilimlerin hesabını içermektedir. Bu tip hesaplamalar, güç sistemlerinin dinamik davranışı kadar sürekli hal davranışının analizi için de gereklidir.

Dağıtım şebekesi topolojisinde ETAP yazılım programı üzerinde yapılan yük akış analizi Newton-Raphson yöntemine dayanan AC yük akış analizi kullanılmış olup bu yöntem AC yük akış analizini daha kısa iterasyonla ve sürede çözmesidir (Tinney, 1967). YAA, şebeke sistemindeki bir baranın dışındaki tüm baraların net aktif ve reaktif güçleri belirlenmelidir. Net güç (aktif ve reaktif), sisteme giren (pozitif enjekte edilen) güç ile sistemden çıkan (negatif enjekte edilen) güç arasındaki farkı temsil eder. Yani baraya bağlı üretim kaynağının verdiği güç ile yükün çektiği sabit veya statik güç arasındaki farktır. Sistemde gerilim kontrollü bir bara bulunuyorsa, bu baradaki sabit tutulacak gerilim genliği belirlenir ve çözüm sonucunda, baraya bağlı reaktif güç

üreticisinin üretimi ile bara geriliminin açısı hesaplanır (Glover, 1994). YAA için giriş verileri; baralar, iletim hatları ve transformatör bilgilerini içerir. Her baranın gerilim genliği, faz açısı, net aktif güç ve reaktif güç değerleri bilinmelidir. Baralar, salınım barası, yük barası ve gerilim kontrollü barası olmak üzere üç tipten birine sınıflandırılır. Salınım barası, her sistemde yalnızca bir tane bulunur ve genellikle bu bara bir numaralı baradır. i. barada geriliminin genliği ve açısı ($V \angle \delta_i$) verilmekte ve net aktif ve reaktif güç değerleri (P_k , Q_k) yük akışından hesaplanmaktadır. Yük barası giriş bilgileri P_k ve Q_k şeklinde olup V_k ve δ_k değerleri analiz yoluyla hesaplanır. P_k ve Q_k değerleri Eşitlik 3.10' da verilen denklem üzerinden hesaplanabilmektedir (Tinney vd., 1997).

$$\begin{aligned} P_k &= P_{Gk} - P_{yk} \\ Q_k &= Q_{Gk} - Q_{yk} \end{aligned} \quad (3.10)$$

Eşitlikte P_{Gk} ve Q_{Gk} k. baraya bağlı jeneratörün verdiği aktif ve reaktif gücü, P_{yk} ve Q_{yk} ise k. baraya bağlı yükün çektiği aktif ve reaktif gücü ifade etmektedir. Sistemdeki baraların çoğunluğu yük barasıdır. Gerilim kontrollü baranın giriş bilgileri P_k ve V_k olarak verilirken, Q_k ve gerilim açısı değerleri analiz sonucunda hesaplanır. Yük akış analizi için Newton-Raphson hesaplama yöntemine dayanarak Eşitlik 3.11 verilen değerler ile tanımlanır (Tinney vd., 1997).

$$X = \begin{pmatrix} \delta \\ V \end{pmatrix}, Y = \begin{pmatrix} P \\ Q \end{pmatrix}, f(x) = \begin{pmatrix} P_x \\ Q_x \end{pmatrix} \quad (3.11)$$

Newton-Rapson yöntemi kullanılarak yük akışı Eşitlik 3.12 ve Eşitlik 3.13 ile verilmiştir.

$$\Delta X(i) = \begin{pmatrix} \Delta \delta(i) \\ \Delta V(i) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \delta(i+1) - \delta_i \\ V(i+1) - V_i \end{pmatrix} \quad (3.12)$$

$$\Delta y(i) = \begin{pmatrix} \Delta P(i) \\ \Delta Q(i) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} P - P_{x(i)} \\ Q - Q_{x(i)} \end{pmatrix} \quad (3.13)$$

Eşitlik 3.13'deki P ve Q vektörleri baralara enjekte edilen net aktif ve reaktif güç değerlerini içermektedir. Verilen eşitlikler üzerinde yapılan iterasyonlar sonucu dağıtım

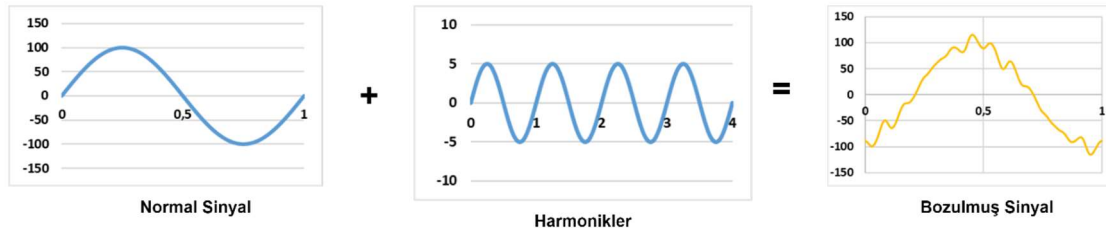
baraları üzerindeki yük akış hesabı yapılabilmektedir (Glover, 1994). Bu tez çalışmasında, ETAP yazılım programı ortamında modellenen dağıtım şebekesinde yapılan yük akış analizinde FV enerji santralinin entegre olduğu dağıtım Bara 10' da aktif ve reaktif güç akış analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre 1912 kW aktif güç ve 8. 2 kVar reaktif güç dağıtım şebekesinden ve 1518 kW aktif güç ve 17 kVar reaktif güç ise FV enerji santralinden gelmektedir.

3.3 Elektrik Dağıtım Şebekesinde Harmonik Analizi

Teknolojik ilerlemeler ve kullanılan elektronik cihazlar artışı nedeniyle güç kalitesi problemleri gün geçtikçe artmaktadır. Bilhassa doğrusal olmayan yükler, güç şebekesini etkileyen sinüzoidal olmayan akımlara neden olur. Akım ve gerilim dalga şekilleri bozulduğunda ve her iki dalga şeklinin kalitesi de etkilendiğinde, bir sistemdeki gerilim ve akımlardaki tüm harmoniklerin toplamı toplam harmonik bozulma (THB) olarak adlandırılır (Shmilovitz, 2005). Doğrusal olmayan yükler şebeke harmonik kaynakları içerisinde ilk sırada yer almaktadır. Bu kapsamda değerlendirilen gerilimler, frekanslar, genlik değerleri değişebilmektedir. Sanayi ve endüstriyel ortamda hem de mesken ortamında şebeke sisteminde harmonik etken oluşturabilecek kaynaklar arasında solar İnvertörlerin kullanıldığı sistemde yer alan değişken frekanslı sürücüler, doğrultucuların kullanıldığı yüksek deşarjlı lambalar, enerji tasarruflu ampuller, floresanlar gibi, güç doğrultucusu, AC/DC dönüştürücüler, Sanayide ark kaynağı, Şebeke ve endüstrinin UPS sistemleri, şebekedeki güç kaynakları vb. örnekler şebeke sisteminde doğrusal olmayan yükler grubuna girmektedir.

Harmonik indekslere bakıldığında iki kısım kullanılır. Bunlar THB ve Toplam Talep Bozulması (TTB) THB şebeke sisteminin harmonik anlamda tam bozunum göstermesi anlamındadır. TTB ise talep akımının yüzdesi olarak ifade edilerek şebekenin 50. Sıraya kadar olan harmoniklerin RMS ortalamasıdır. Harmonikler konusu literatür araştırması yapıldığında sinüzoidal gerilimler veya akımların şebeke frekansının katları şeklinde daha büyük frekansta bileşenler içermesidir (Dugan vd., 2004). Bu tanım ile birlikte belirtildiği üzere dağıtım şebekelerinde artan YEK sonucu ve bu tez çalışmasında incelemeye alınan FV sistemlerin şebeke harmoniğe etkisi oldukça önemli bir faktördür. Bu kapsamda literatürde FV sistemleri akım harmoniklerinin gün içerisinde güneş

ışığın gelme durumuna bağlı olarak etkilemesi önemli bir unsurdur (Chidurala, 2016). Literatür incelemesi yapıldığın FV sistemlerde harmonik etkileri önemli ve güncel bir konudur. FV sistemlerde yer alan devre elemanları üzerine güç çeviricisi olan invertörler de meydana gelene harmonik etkenler ışığında dağıtım şebekesi için ciddi bir problem haline gelmektedir (Farhoodnea vd., 2013). Bunun yanı sıra dağıtım şebekesinde olması muhtemel olan statik yükler (doğrusal olmayan yük) ile değişken hızlı motor sürücüler, UPS sistemleri, redresörler ve farklı güç elektroniği cihazları gibi güç elektroniği ekipmanlarının sürekli artan kullanımı sonucunda, sistemin gerilim ve akımının güç kalitesi farklı alanlarda sıkı bir şekilde etkilenmektedir (Farhoodnea vd., 2013). Yüksek frekanslı bileşenler güç sistemlerinde dolaşmaya başlar ve bu da gerilim ve akımın dalga biçimlerinin bozulmasına neden olur (Al-Refai, 2016). Harmonik etkilerin kavramsal diyagramı Şekil 3.6’ de, verilmiştir.



Şekil 3.6 Harmonik sinyallerin kavramsal diyagramı

Bu kapsam üzerine belirtilmesi gereken bir konuda FV sistemlerin gün içerisinde güneş ışığına buna bağlı sıcaklık etkisine göre bağlı olduğu şebeke üzerine harmonik etkileri değişebilmektedir. Bu kısım olarak Yüksek güneş ışıınımı koşulları FV sisteminin akımındaki THB değerinin azaltırken, düşük güneş ışıınımı koşulları bu değeri yükseltmektedir (Sidrach Cardona ve Carretero, 2005). Bunu ile birlikte ikinci olarak evirici üzerinden dağıtım şebekesine olan harmonik etkileri söz konusudur. Bu tez çalışmasında yapılan analizler ve benzetimler ETAP yazılım programı üzerinden yapıldığından harmonik etken için eviricilerin şebekeye olan etkisi olacaktır. Tabi etkenler üzerine güç elektroniği elemanlarının etkisi ile yüksek frekans bileşenleri, harmonik terimiyle bilinen temel frekansın tamsayı çarpanlarıdır. Harmonik yayan cihazlara doğrusal olmayan yükler denir. Belirtildiği üzere harmonik etken oluşturan devre elemanlarının güç sistemlerinin güç kalitesini etkileyen çok ciddi sorunlara neden

olur. Herhangi bir güç sisteminde harmoniklerin varlığı, ekipmanların aşırı ısınması, cihazların güç faktörünün düşük olması, elektrikli bileşenlerin düşük performansı, bunlarla sınırlı olmamak üzere farklı sorun ve etkilere neden olur. Koruyucu cihazların beklenmedik davranışları, iletişim sistemlerine müdahaleler, bu ekipmanların arızalanmasına neden olan diğer ekipmanlarla rezonans, gürültü, elektrik motorlarının titreşimi ve diğer etkiler. Üstelik harmonik akımlar kaynaklarına yakın durmazlar; bunun yerine elektrik dağıtım ağlarına nüfuz ederler ve elektrik sistemleri boyunca dolaşmaya başlarlar. Elektrik sistemlerinde harmonik akımların sirkülasyonu, diğer kullanıcılara beslenen elektrik gerilimlerini bozar ve harmonik sorununun birikmesine neden olur. Güç sistemlerindeki elektronik cihaz ve ekipmanların giderek yaygınlaşması sonucunda bu olgu, güç kalitesi açısından önemli bir konu haline gelmiştir. Bu kapsamda şebeke sisteminden harmonik unsurlar incelendiğin sistematik bir yaklaşım ve algoritma üzerinden yaklaşmak fayda sağlayacaktır. Şekil 3.7' de, harmonik kontrol etme yaklaşım algoritması oluşturuldu.

Bir diğer yandan Bilgisayar yazılımı kullanılarak, güç sistemi harmonikleri problemi modellenilebilir ve analiz edilebilir. ETAP yazılımı harmonik analiz modülü, farklı güç sistemi elemanlarını ve ekipmanlarını frekans bağımlılıklarını, doğrusal olmayan davranışlarını ve harmonik akım ve gerilimlerin varlığının diğer etkilerini incelemek üzere doğru bir şekilde modellemek için harika bir araç sunar. Güç sistemlerinde oluşan harmonik bileşenleri bulabilmek için güç sinyalinin Fourier serilerine açarak akım ve gerilime ait, Eşitlik (3.14) ve (3.15)'de ki gibi denklemler yardımıyla harmonikler elde edilir.

$$V_{(t)} = \sum_{n=1}^{\infty} V_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} V_n \sin(n\omega_1 t + \theta_n) \quad (3.14)$$

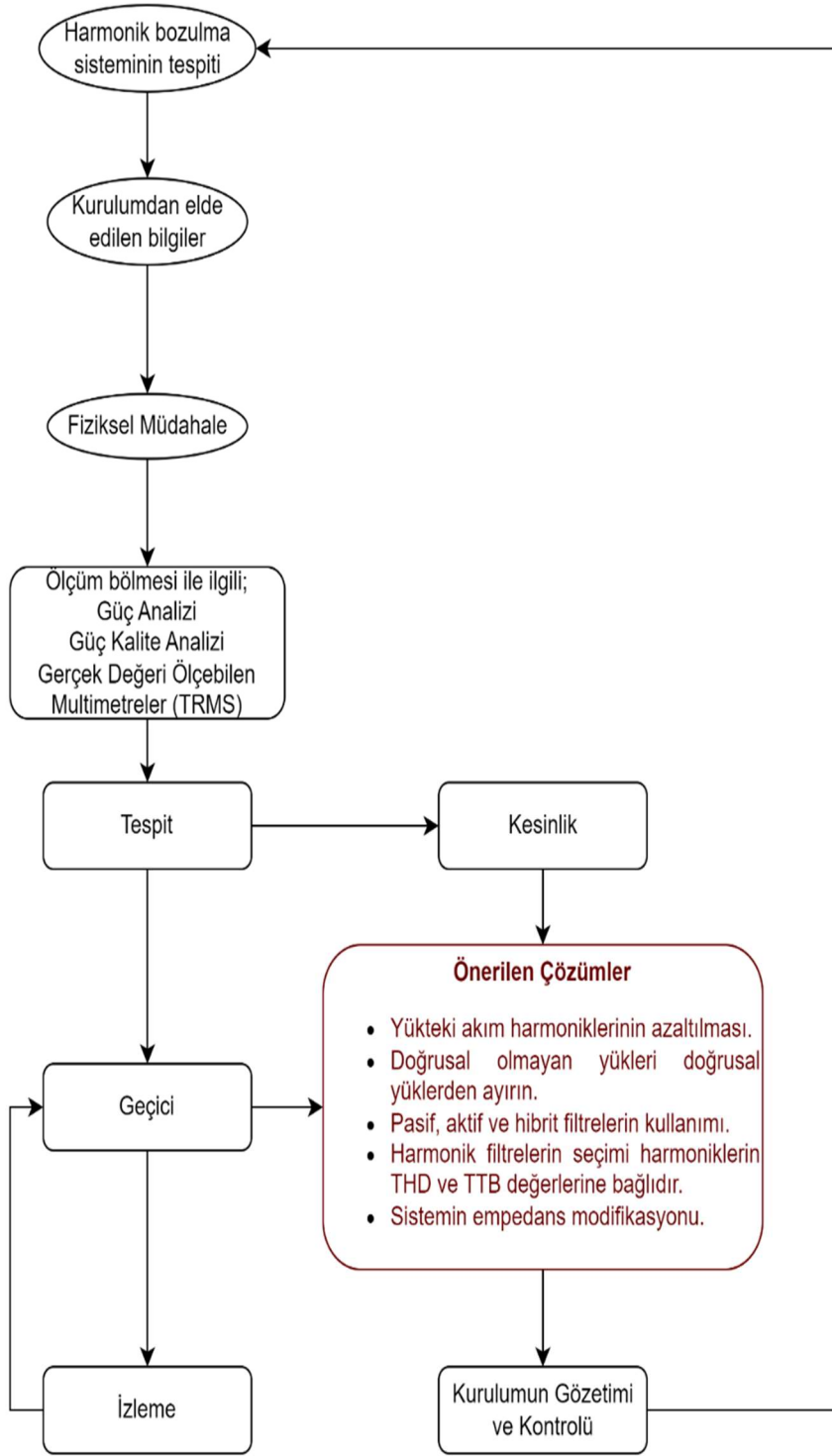
$$I_{(t)} = \sum_{n=1}^{\infty} I_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega_1 t + \delta_n) \quad (3.15)$$

Eşitliklerdeki I_n , n. akım harmoniğinin genliğini; V_n , n. gerilim harmoniğinin genliğini ifade etmektedir (Şenyurt, 2005). THB değerini hesaplamak için, Eşitlik 3.14 ve Eşitlik 3.15 denklemleri kullanılır (Golovanov vd., 2013)

$$[THD]_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (3.16)$$

$$[THD]_i = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (3.17)$$

Eşitlik 3.16’da gerilim için THB, Eşitlik 3.17’de akım için THB fonksiyonları verilmiştir. Eşitlik 3.16’de V_1 , temel gerilimin genliğini; Eşitlik 3.17’de I_1 , temel akımın genliğini ifade eder.



Şekil 3.7 Harmonik elimine edilmesi için önerilen çözüm algoritması

3.4 Harmonik Filtre Tasarımı

Güç kalitesi, sinüzoidal dalga şekli ve özelliklerini ifade eder. Gerilim, akım veya frekanstaki değişikliklerden kaynaklanarak endüstrideki koruma sistemleri ve süreçlerinin yanlış çalışmasına neden olan güç sorunları, kullanıcı odaklı bir problem olarak tanımlanır. Bu tür güç kalitesi problemleri, bir tüketici veya çeşitli kaynaklar tarafından başlatılabilir (Kwan vd., 2012).

Harmonik filtreler, güç sistemindeki harmoniklerin kontrolünü sağlar ve güç faktörünü iyileştirmek amacıyla da kullanılabilir. Harmonik ölçüm cihazları ve filtrelerinin yerleştirilmesi dikkatli bir değerlendirme gerektirir, ayrıca sistemdeki harmonikleri azaltmak için IEEE 519 2014 standartlarına uyulması gerekmektedir (Marrero, 2021). Bu nedenle harmonikleri azaltım yöntemleri üzerine araştırma yapmak günümüz elektrik dağıtım şebekesinin bir gereğidir. Harmonikleri temel dalga ile birleşimi sonucu bozulmuş dalga yol açmaktadır. Elektrik dağıtım şebekesi harmonikleri, 50 Hz sinüs dalgası gerilimin üretilmesini, iletilmesini ve dağıtılmasını gerektirir (Singh vd., 2013). Fakat, akım ve gerilim gibi temel elektriksel sebeplerin sinüzoidal dalga formları, 50 Hz'nin tam sayı katları olan harmonikler tarafından etkilenerek bozulması, istenmeyen dalga şekillerine dönüşebilir.

Akım ve gerilim dalga şekillerindeki harmonikler ekstra güç kaybına yol açar, sistemin bazı bölümlerinin ısınmasına ve ekipman izolasyonunun zarar görmesine neden olur. Bu nedenle, elektrik sistemlerindeki harmoniklerin giderilmesi her zamankinden daha önemli durum olmaktadır. Harmoniklerin azaltılmasında en yaygın yöntem pasif harmonik filtrelemedir. Pasif filtre yöntemleri, ayarlanmış bir filtre gibi düşük empedanslı bir yol oluşturarak, sistemdeki belirli harmonik akımların geçişini engelleyebilir (Das, 2004). Geleneksel olarak kullanılan 3 harmonik filtre bulunmaktadır: pasif filtre, aktif filtre, hibrit filtre bu tez çalışmasında benzetim çalışmasında kullanmış olduğumuz harmonik filtre üzerinde durulacaktır.

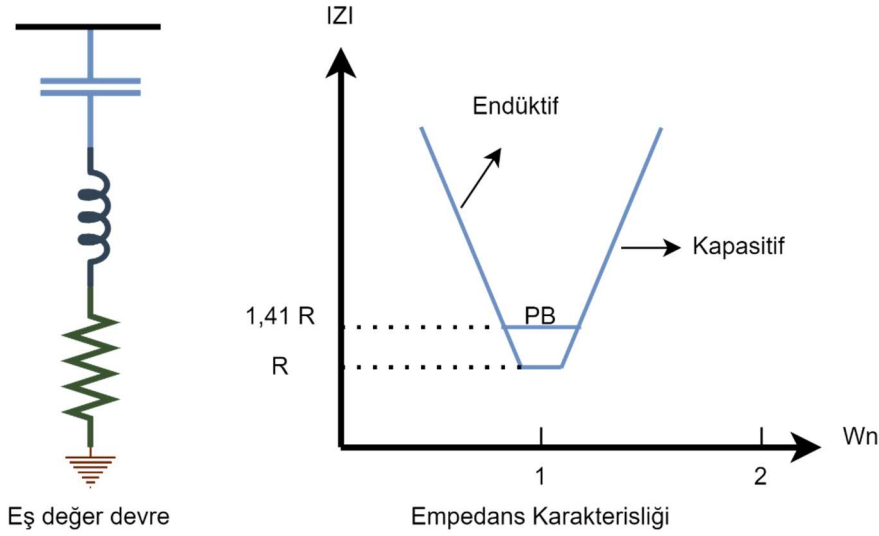
Pasif harmonik filtreler dirençler, reaktörler, kapasitörler ve anahtarlama sistemi röleleri içerir ve ikincil bir kontrole ihtiyaç duymaz. Düşük maliyetleri, harmonik akımlarının elektrik güç sistemine girmesini azaltmak ve endüstrilerdeki doğrusal olmayan mekanik yüklerden kaynaklanan harmoniklerin etkisini azaltmak için kullanılır (Kritsanasuwan vd., 2022). Paralel tipte pasif harmonik filtre ve seri tipte pasif harmonik

filtre olmak üzere iki tip pasif filtre bulunmaktadır. Her iki filtre de indüktör ve kapasitör içerir ve sisteme bağlanabilir. Her iki filtrenin de amacı harmoniklerin azaltılmasını sağlamaktır. Paralel pasif harmonik filtreler ile seri pasif harmonik filtreler arasındaki temel farklardan bazıları seri pasif filtreler AC motor sürücü ve yüksek güçlü AC/DC invertörler önlerinden kullanılır. Paralel pasif filtreler harmonik ile şebeke arasında Kondansatör (C), endüktans (L) ve bazı durumlarda direnç (R) elemanlarının paralel olarak bağlanmasından oluşan devrelerdir. Harmonik frekansına ayarlanmış seri RLC devresi olan tek ayarlı filtre, genel olarak düşük harmonik empedans karakteristiği sağlar. Toplam empedansı Eşitlik 3.18 deki gibi verilir. Eşitlik 3.18 de ω ayarlanmış açısal frekansı, Z empedansı L indüktör değerini, C kapasitans değerini ifade etmektedir.

$$Z_n = R_n + j(\omega L_n - 1/\omega C_n) \quad (3.18)$$

Filtrenin kalite faktörü (Q), ayarın keskinliğini belirler ve bu bakımdan filtreler yüksek veya düşük Q tipi olabilir. Düşük Q' lu filtre, Yüksek dereceli harmonikleri ortadan kaldırmak için Q kalite faktörünün yüksek seçilmesi önemli olmakla beraber bu filtrelere yüksek geçiş filtresi de denir. Ayarlanmış bir filtre durumunda Q, endüktansın (veya kapasitansın) rezonans frekansındaki dirence oranı olarak tanımlanır. Şekil 3.8' de, gösterildiği gibi filtre geçiş bandı filtre reaktansının direncine eşit olduğu frekanslarla sınırlanmış olarak tanımlanır; yani empedans açısı 45° ve büyüklüğü $\sqrt{2R}$ dir. Kalite faktörü ile geçiş bandı arasındaki ilişki Eşitlik 3.19' daki gibi ifade edilebilir:

$$Q = \omega_n / PB \quad (3.19)$$



Şekil 3.8 Harmonik filtre eş değer devresi ve empedans karakteristiği

Harmonik filtre belirlenmesinde öncelikler iki temel kısmın belirlenmesi gerekmektedir. Bunlar ayar ve kalite faktörlerinin belirlenmesidir. Bu faktörler devre ileri düzeyde parametre değerlerindeki değişikliklerden kaynaklanabilecek direnç olgusunun ortaya çıktığı gerçeği göz önünde bulundurmaktadır (Hsiao vd., 2024)

Filtre empedansını δ ve Q cinsinden ifadesi Eşitlik 3.20 de görüldüğü gibidir.

$$\omega = \omega_n(1 + \delta)$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad (3.20)$$

Ayarlanan frekansta indüktör ve kapasitörün ohm cinsinden reaktansı Eşitlik 3.21' de verilmiştir.

$$Z_f = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) = R + j[RQ\left\{\frac{\delta(2+\delta)}{1+\delta}\right\}] \quad (3.21)$$

Harmonik filtre tasarlamının kısımlarına bakıldığında ayar ve kalite faktörünün belirlenmesi ile filtrede kullanılacak olan indüktör ve kapasitör hesabının yapılması adına aşağıda adımlar halinde detaylar belirlenmiştir. Kapasitör boyutunu belirlemek Q_c kVAr cinsinden maksimum reaktif güç gereksinimi Eşitlik 3.22 verilmiştir. Eşitlik 3.22 reaktif

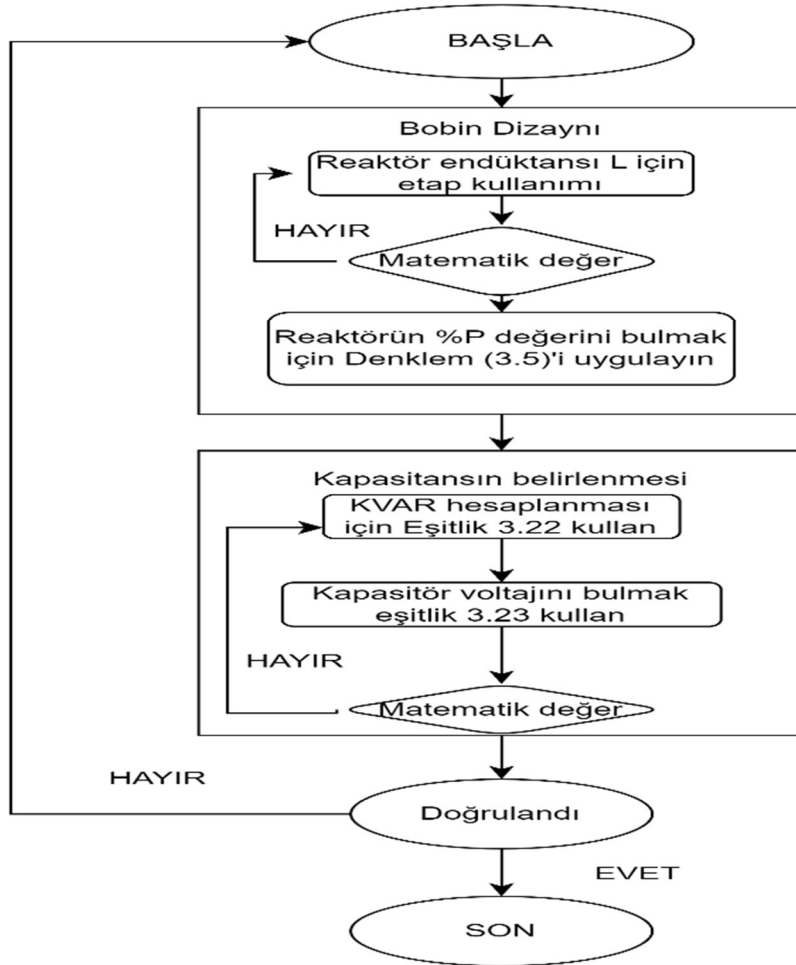
gücü (kVar) aktif güçle (kW) bir devredeki gerilim ile akım arasındaki farkı ilişkilendirir (Pardeshi, 2023).

$$kVar = kW(\tan \phi_1 - \tan \phi_2) = 950 \text{ kVar} \quad (3.22)$$

kVar' dan gelen kapasitansı μ_F Eşitlik 3.23 kullanılarak hesaplanabilir.

$$\mu_F = \frac{kVar}{2\pi fV^2} = 3024\mu_F \quad (3.23)$$

Harmonik filtrelerden istenilen verimin alınabilmesi için tasarım aşaması son derece önemlidir. Şekil 3.9' da, harmonik filtrelerin tasarım algoritması verilmiştir.



Şekil 3.9 Harmonik filtre tasarım akış şeması

3.5 Empedans ve Kısa Devre Hesabı

Entegrasyon problemleri incelenirken sistemin empedans değerleri ve kısa devre akım hesaplamaları büyük önem arz etmektedir. Bu sebepten empedans ve kısa devre akım formüllerine ve hesaplamaları Eşitlik 3.24, Eşitlik 3.25 ve Eşitlik 3.26 ile verilmiştir. Alternatif akım bir empedans üzerinden geçtiğinde, geçen akım ile gerilim düşümü arasında 0° ile 90° arasında bir faz farkı gözlemlenebilir. Faz farkı sıfır olduğunda, empedans tamamen rezistif yani sadece direnç içerir. Faz farkı 90° (pozitif veya negatif) olduğunda ise empedans, indüktif ($+90^\circ$) veya kapasitif (-90°) yani sadece reaktans içerir. Empedans sembolü “Z” ile gösterilir ve ohm (Ω) birimi ile ifade edilir. İdeal bir direnç sadece rezistansı içerirken, ideal bir bobin ve ideal bir kapasitör sadece reaktansı içerir. Ancak bütün devre elemanları empedans içerir ve bu empedans, rezistans (direnç) ve reaktansı birlikte içerebilir. Direnç temel olarak elektron hareketini engellemeye çalışan devre elamanıdır. Süper iletken hariç bütün iletkenler bir direnç içerir. Direnç, sembolü “R” olan ve ohm (Ω) birimi ile ölçülen elektriksel bir özelliktir. Alternatif akım durumunda, dirençten geçen akım ile uygulanan gerilim aynı fazdadır. Reaktans ise elektron hareketine karşı gösterilen bir tür atalettir. Kapasitörler için elektrik alanının oluştuğu veya bobinler için manyetik alanın oluştuğu her yerde reaktans mevcuttur. Alternatif akım saf bir reaktansa (dirençin olmadığı devreye) uygulandığında, gerilim ile akım arasında 90° ’lik bir faz farkı bulunur. Reaktans sembolü “X” ile gösterilir ve ohm (Ω) birimi ile ifade edilir.

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} , \quad e = L \frac{d_i}{d_t} , \quad x_L = 2\pi f L \quad (3.24)$$

$$x_c = \frac{1}{2\pi f c} , \quad phase = \varphi = 0, phase = \varphi = \tan^{-1} \left(\frac{x_L - x_c}{R} \right) \quad (3.25)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (x_L - x_c)^2} \quad (3.26)$$

Eşitlik 3.27’de verilen kısa devre akımına göre sistemdeki düşük empedanslı noktaların birbirine temas etmesi sonucunda yeni bir devre oluşur. Bu durumda, besleme noktalarından kısa devre noktasına büyük akımlar akar. Bu yüksek akımlar, tesisat

öğelerini termik ve dinamik açıdan zorlar. Termik ve dinamik zorlamaları önlemek için, kısa devre olan kısım (arıza yeri), sağlam kısımlardan mümkün olduğunca hızlı bir şekilde ayrılmalıdır. Çizelge 3.1’de, üç fazlı kısa devre akımının hesaplanmasında kullanılan c gerilim katsayısının, şebekede veya enerji sistemlerinde anma geriliminin seviyesine göre alınması gereken katsayının aralıkları verilmiştir.

$$I_k = c \frac{U_n}{\sqrt{3}Z} \quad (3.27)$$

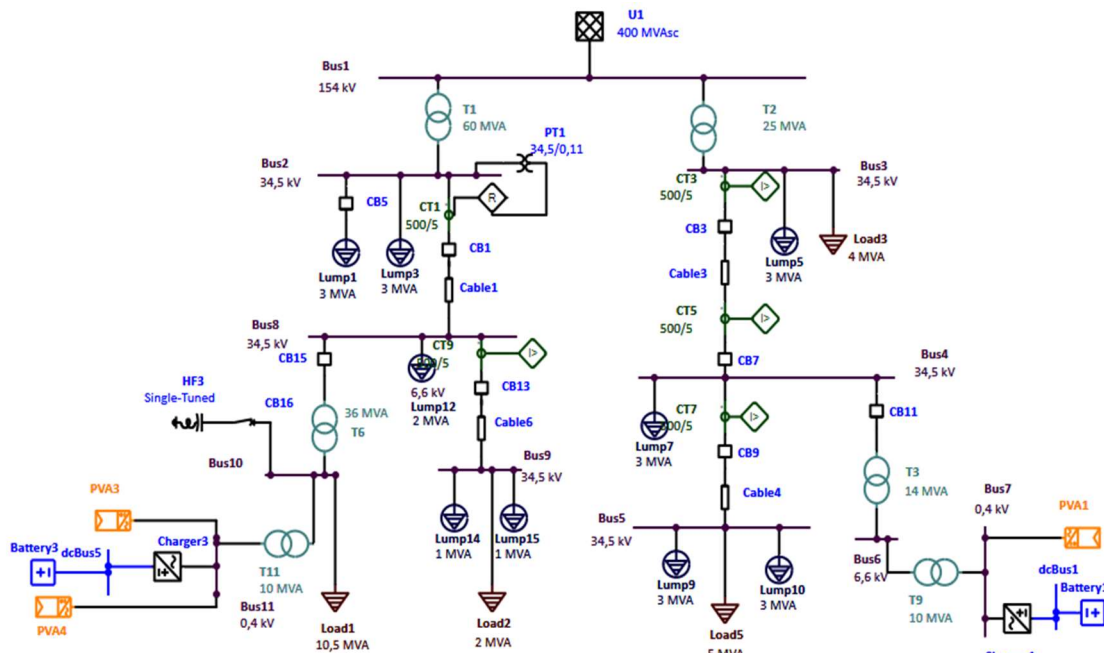
Burada I_k kısa devre akımını, U_n anma gerilimini ve c gerilim katsayısını ifade etmektedir.

Çizelge 3.1 Gerilim katsayı değerleri

Anma gerilimi (U_n)	En büyük kısa devre akımının hesaplanması için c_{max}	En küçük kısa devre akımının hesaplanması için c_{min}
AG	1.05	0.95
1kV < U_n < 35kV	1.1	1
35kV < U_n < 230kV	1.1	1

4. BULGULAR

Bu bölümde ETAP benzetim programı kullanılarak FV sistemin elektrik dağıtım şebekesine entegrasyonun etkileri ve analizleri incelenmiştir. Şekil 4.1’ de verilen güç sistemi topolojisi üzerinde yük akış analizi, kısa devre analizi ve harmonik analizi gibi çeşitli durum çalışmaları yapılmıştır. Durum analizleri için mevcut şebekeye FV sisteminin entegre edildiği ve edilmediği durumlar için analizler yapılmıştır. Bu topoloji üzerinde 11 dağıtım barası, 6 indirici transformatör, 2 ayrı noktada farklı güçlerde 2MW ve 4 MW üretim kapasitesin de FV sistem, 9 sabit tüketim noktası, 4 statik tüketim (doğrusal olmayan yük) noktası, 1 basit harmonik filtre elemanı, FV sistemlere bağlı 2 batarya ünitesi ve kesicilere bağlı aşırı akım koruma röle konumlandırılması yapılmıştır. ETAP yazılım programının sisteminde dizayn aşamasında Çizelge 4.1’ de Transformatör parametrelerinin değerleri verilmiştir. Şebekede kullanılan 6 transformatörün şebekeye uygun olarak belirlenen giriş ve çıkış gerilimleri belirlendikten sonra ETAP yazılım programı üzerinden transformatörlerin empedans ve direnç yüzdeliklerinin hesapları alınabilmektedir.



Şekil 4.1 Önerilen dağıtım şebekesinin modeli

4.1 ETAP Yazılım Programı

Yapılan bu tez çalışmasında incelenen örnek dağıtım şebekesi modeli için ETAP benzetim programı kullanılarak modellenmiştir. Bu noktada ETAP benzetim programı hakkında bilgi verilmesi gerekmektedir. ETAP benzetim programı geniş bir yelpazede elektrik dağıtım şebeke çözümlerinde teknoloji lideri durumundadır. Elektrik dağıtım şebeke sistemlerinin modellenmesi, analizi, optimizasyonu, izlenmesi, işletimi ve otomasyonu için kapsamlı çözümler ve imkanlar sumaktadır. Yapılan benzetim çalışmasında analiz edilen yöntemlerden biri olan yük akış analizinde ETAP yazılım programı sunmuş olduğu etkili grafik ekranları ve akıllı sonuç analizörleri ile hızlı ve doğru yük akış analizine imkan sağlamaktadır. Yük akış analizinde ETAP yazılım programı Newton-Raphson yöntemi kullanmaktadır.

Kısa devre analizinde yapılan işlemlerde ETAP yazılım programında UEK (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) standartları kabul görerek analiz işlemleri yapılabilmektedir. Harmonik analizde yapılan işlemlerde ETAP yazılım programında Thevenin / Norton yöntemi ile analiz işlemleri yapılabilmektedir.

Şebeke modellemesine eklenen elektrik dağıtım şebeke elemanlarının ETAP yazılım programında kullanılma yöntemlerine yer verilmiştir. Örnek olarak transformatör 2 (T2) ETAP üzerinde bilgilerin girildiği ve otomatik hesapların yapıldığı kısımlar Şekil 4.2' de ve Şekil 4.3' de verilmiştir. Bu kısımdan da anlaşılacağı üzere ETAP yazılım programı transformatör bilgileri olarak belirlenen gerilim değerleri eklendikten sonra empedans kısa devre akımına katkı bilgileri otomatik olarak hesaplanabilmektedir. Çizelge 4.2' de FV sistemin parametre bilgileri ETAP yazılım programında yer alan kütüphaneden seçilen paneller sayesinde parametre bilgileri alınabilmektedir. Çizelge 4.3' de invertör bilgileri bu bilgiler ışığında FV sistemin güçleri yer almıştır.

2-Winding Transformer Editor - T2

Reliability		Remarks			Comment		
Info	Rating	Impedance	Tap	Grounding	Sizing	Protection	Harmonic
25 MVA IEC Liquid-Fill Other 65 C						154 34,5 kV	
Voltage Rating kV FLA Nominal Bus kV Prim. 154 93,73 154 Sec. 34,5 418,4 34,5 Other 65 Z Base MVA 25							

2-Winding Transformer Editor - T2

Reliability		Remarks			Comment		
Info	Rating	Impedance	Tap	Grounding	Sizing	Protection	Harmonic
25 MVA IEC Liquid-Fill Other 65 C						154 34,5 kV	
Impedance %Z X/R R/X %X %R Positive 10 20 0,05 9,988 0,499 Zero 10 20 0,05 9,988 0,499 Typical Z & X/R Typical X/R Z Base MVA 25 Other 65							

Şekil 4.2 T2 transformatörün ETAP üzerindeki gerilim ve empedans parametreleri

2-Winding Transformer Editor - T2

Reliability			Remarks			Comment	
Info	Rating	Impedance	Tap	Grounding	Sizing	Protection	Harmonic
25 MVA IEC Liquid-Fill Other 65 C						154	34,5 kV
Short-Circuit Contribution (1 / Zs + Zt)							
☒ Calculated		Fault on Prim.	0,175	43,731	6,28	53,684	7,209
☐ User-Defined		Fault on Sec.	2,63	5,933	8,038	15,923	12,887
Location				FLA Display			
☒ Unsupervised				☒ FLA - Other 65			
☐ Supervised							
Short-Circuit Update				Damage/Inrush Curve			
☐ Pin (Disable Short-Circuit Update)				☒ Display on TCC Plot			
Curve Shift							
Magnetizing Inrush							
Point				Prim. Amps 749,8			
Multiplier 8				Duration 6 Cycles			

Şekil 4.3 T2 Transformatörün kısa devre akım katkı bilgileri

Çizelge 4.1 Transformatör parametreleri

Transformatör değerleri								
TR adı	X/R	%Z	R/X	%R	Primer gerilim	Sekonder gerilim	Kısa devre katkısı primer (kA)	Kısa devre katkısı sekonder (kV)
T1	45	12.5	0.022	0.278	154	34.5	0.176	3.73
T2	20	10	0.050	0.499	154	34.5	0.175	2.63
T3	20	10	0.050	0.499	34.5	6.6	0.048	7.01
T6	20	10	0.050	0.499	34.5	6.6	0.096	11.48
T9	13	8.35	0.077	0.640	6.6	0.4	0.255	70.69
T11	13	8.35	0.077	0.640	6.6	0.4	0.506	93.08

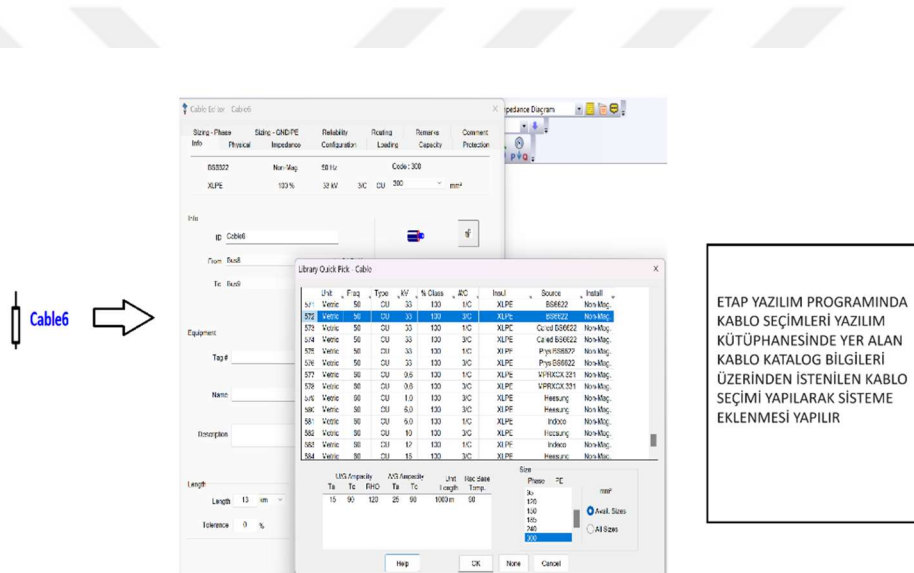
Çizelge 4.2 FV parametreleri

FV Bilgileri				
İsim	Model	Max Vdc	Panel Sayısı	kW (DC)
PV1	MoserBaersolar	1000	10000	2208.9
PV2	MoserBaersolar	1000	10000	2208.9
PV3	MoserBaersolar	1000	10000	2208.9

Çizelge 4.3 Dağıtım şebekesinde kullanılan evirici parametreleri

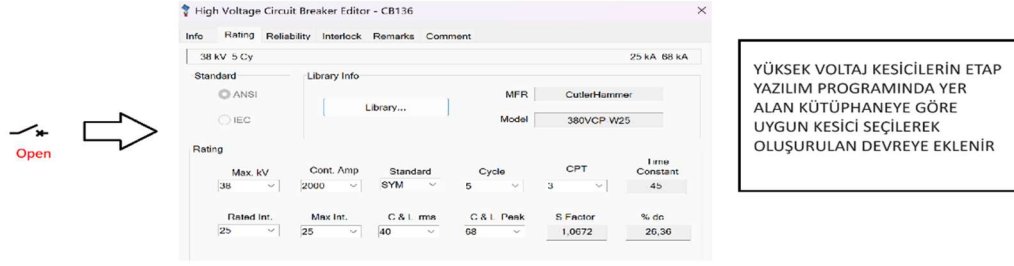
Eviriciler	Parametreler				
	kW	V	kVA AC	kV AC	%PF
İnv1	2400	1000	2160	0.4	100
İnv2	2400	1000	2160	0.4	100
İnv3	2400	1000	2160	0.4	100

ETAP yazılım programında kablo seçimleri yazılım programında yer alan kablo katalog bilgileri üzerinden istenilen kablo seçimleri yapılarak şebeke modeline eklenebilmektedir. Şekil 4.4’ de, şebeke modelinde oluşturulan bir yer altı kablosunun seçimi gösterilmektedir.



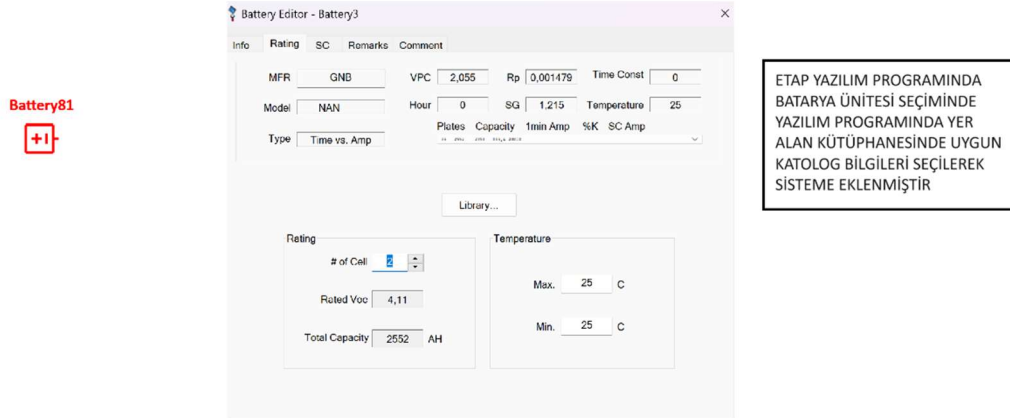
Şekil 4.4 ETAP yazılımında kablo seçimi

ETAP yazılım programında kesicilerin seçimi yazılım programında yer alan kütüphaneye göre uygun kesici seçilerek şebeke modeline eklenebilmektedir. Şekil 4.5’de şebeke modeline eklenen kesici hücresinin modeli ve bilgileri yer almaktadır.



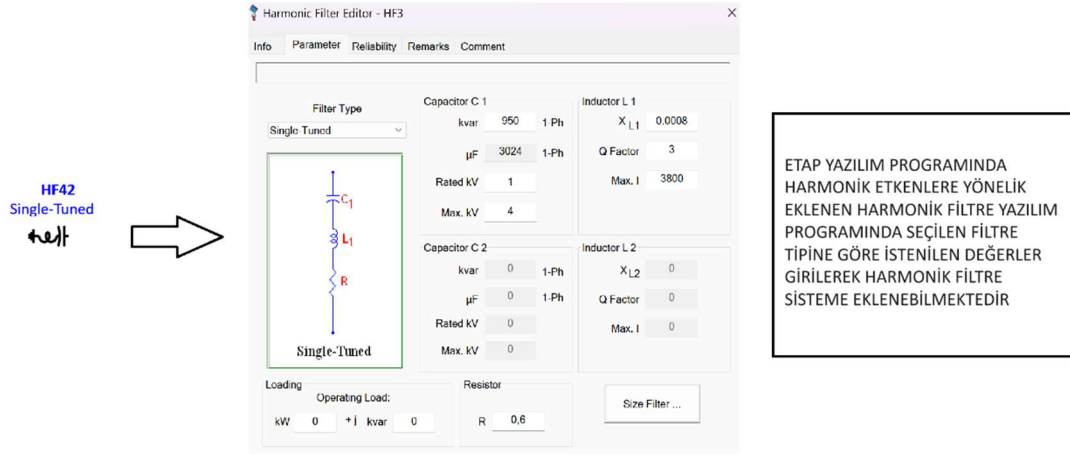
Şekil 4.5 ETAP yüksek voltaj kesici seçimi

ETAP yazılım programında batarya batarya ünitesi seçimin de yazılım programında yer alan kütüphanede uygun katalog bilgileri seçilerek sisteme eklenmiştir.



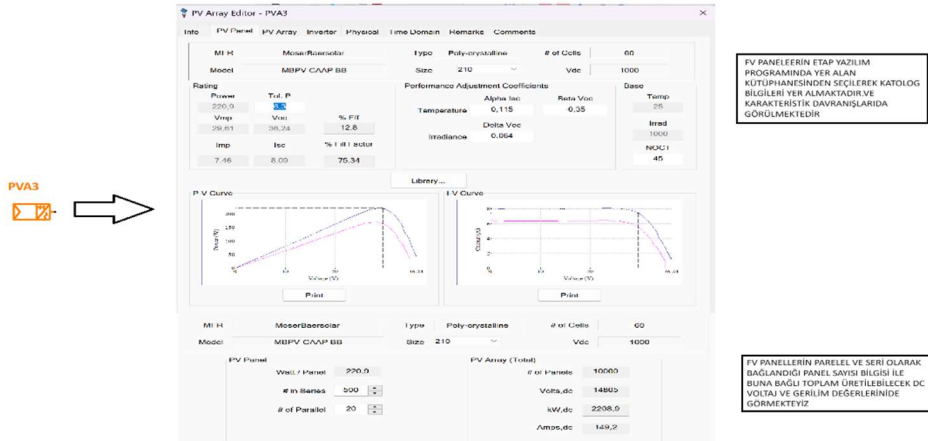
Şekil 4.6 ETAP yazılım programında batarya seçimi

ETAP yazılım programında harmonik etkenlere yönelik eklenen harmonik filtre yazılım programında seçilen filtre tipine göre istenilen değerler girilerek harmonik filtre şebeke modellemesine eklenebilmektedir. Şekil 4.7'de şebeke modellemesine eklenen harmonik filtre bilgileri yer almaktadır.



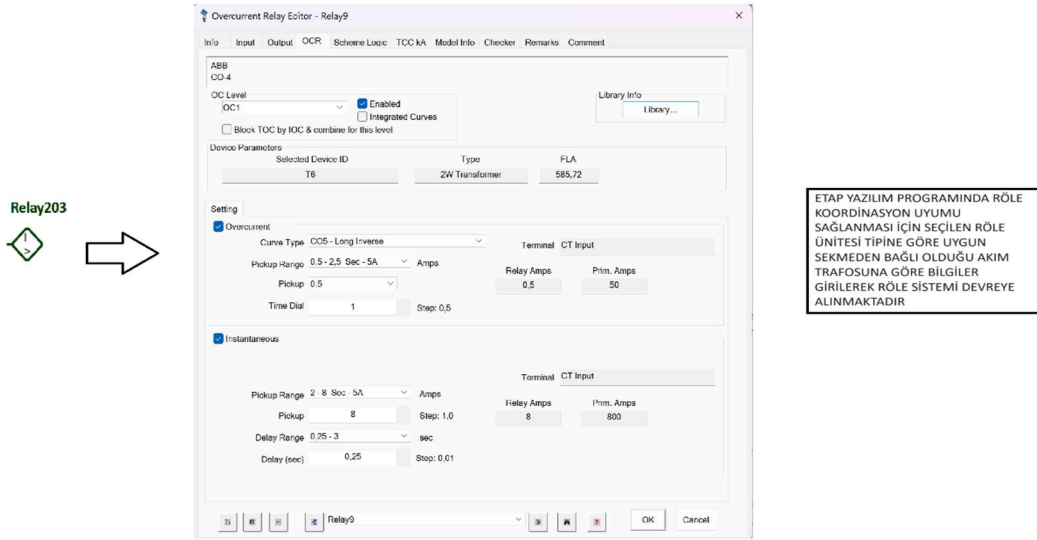
Şekil 4.7 ETAP yazılımında harmonik filtre seçimi

ETAP yazılım programında FV sistemlerin yazılım programında yer alan kütüphanede seçilen katalog değerlerine göre modellemeye veya istenilen üretim güçlere uygun şekilde şebeke modellemesine eklenebilmektedir. Şekil 4.8’de şebeke modellemesine eklenebilmektedir.



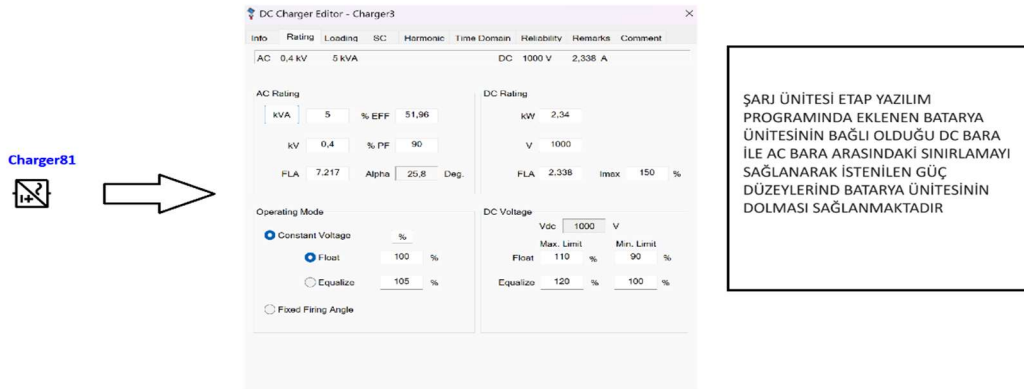
Şekil 4.8 ETAP yazılım programında panel seçimi

ETAP yazılım programında aşırı akım koruma rölesinin seçimi bağlı olduğu akım transformatörlerin değerlerine göre bilgiler girilerek uygun röle koordinasyon ayarı sağlanabilmektedir. Şekil 4.9’da şebeke modellemesine eklenen aşırı akım koruma rölesinin bilgileri yer almaktadır.



Şekil 4.9 ETAP yazılım programında röle seçimi

ETAP yazılım programında eklenen batarya ünitesine bağlı olarak çalışan şarj ünitesinin seçimi batarya ünitesinin kapasitesine göre şarj ünitesinin seçimi yapılarak uygun değerler girilmektedir. Şekil 4.10'da şebeke modellemesine eklenen şarj ünitesinin değerleri yer almaktadır.

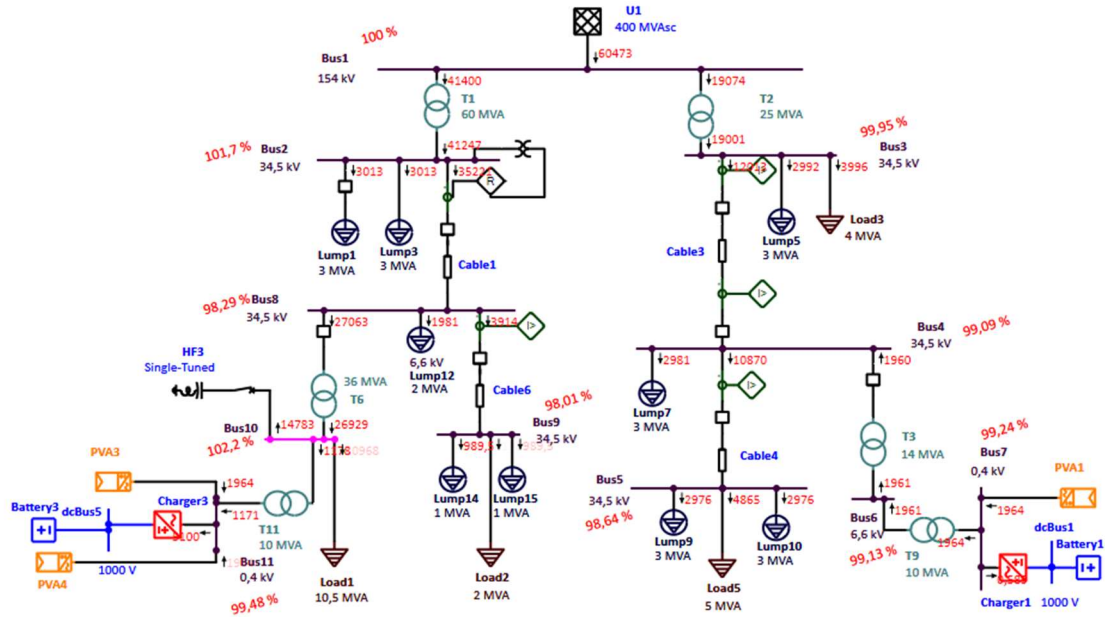


Şekil 4.10 ETAP yazılım programında şarj ünitesinin seçimi

4.2 Durum I: Yük Akış Analizi

Yük akış analizi, kararlı durum koşulları altında güç sisteminin özelliklerini belirlemek için gerekli hesaplama uygulamalarını sağlayan önemli bir analiz yöntemidir. Yapılan bu analizlerin hesaplanması ve metodolojisi başlık 3.2 altında verilmiştir. Bu tez

çalışmasında, Şekil 4.11’ de verilen tek hat şeması ile 11 dağıtım barası, 6 transformatörden oluşan dağıtım trafo merkezi için yük akış analizi yapılmıştır. ETAP benzetim programı kullanılarak FV sisteminin elektrik dağıtım şebekesine entegre edildiği ve edilmediği durumlar incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.4’de ve Çizelge 4.5’ de verilmiştir. Bir FV sisteminin dağıtım şebeke ağına entegre edilmesi ile birlikte bara gerilim profilini etkilediği noktaların gözlemlenebilmiştir. FV sisteminin dağıtım şebekesine entegre edilmesi yük akış analizinin önemini, dağıtım ağının FV sistemlerin entegre olması yönünden ne kadar güvenli olduğu yönünde kanaat getirmiştir. Elde edilen sonuçlar dağıtım şebekesinin yük akışı çalışması, dağıtım şebekesinde FV sistemlerin kullanımının güvenli, uygulanabilir ve avantajlı olduğunu göstermiştir. FV sistemlerin kurulumu yapılmadan önce bu analizlerin yapılması şebeke güvenilirliğini, stabilitesi açısından verimliliğini ve FV sistemlerin üretimini olumlu yönde artıracaktır. Benzetim çalışmasında elde edilen sonuçların tüm detayları EK-1 kısmında yük akış analiz sonuçlarına eklenmiştir.



Şekil 4.11 Dağıtım şebekesinde yük akış analizi

Çizelge 4.4 Dağıtım şebekesine entegre edilen FV sistemi ile yük akışı analizi

Bara	Gerilim Değeri (kV)	Gerilim Değer Analizi %	Güç Durumu MW
Bus1	154.000	100	15.585
Bus2	34.5	100	6.044
Bus3	34.5	99.95	6.998
Bus4	34.5	99.09	2.981
Bus5	34.5	98.64	10.818
Bus6	6.6	99.12	1.961
Bus7	0.4	99.24	1.964
Bus8	34.5	100	2.004
Bus9	34.5	100	4.038
Bus10	6.6	100	15.788
Bus11	0.4	100	5.1

Çizelge 4.5 FV sistemi olmadığı durumda dağıtım şebekesinde yük akışı analizi

Bara	Gerilim Değeri (kV)	Gerilim Değer Analizi (%)	Güç Durumu (Mw)
Bus1	154.000	100.000	33.700
Bus2	34.500	100.000	12.02
Bus3	34.500	99.845	21.046
Bus4	34.500	98.823	20.950
Bus5	34.500	98.375	10.830
Bus8	34.500	99.446	12.010
Bus9	34.500	99.167	3.960
Bus10	6.600	99.446	2.120

4.3 Durum II: Kısa Devre Analizi

Kısa devre analizi temel olarak incelenen güç sisteminin kararlı durum çözümünün bulunmasına dayanmaktadır. Bu bilgi, devre kesicilerin gerekli kesme kapasitesinin belirlenmesi ve uygun röle sisteminin tasarlanması için gereklidir (Al-Refai, 2016). Benzetim çalışmasında elde edilen FV sistemlerin kısa devre akımı üzerindeki etkileri incelenmiş ve bu veriler aracılığıyla yola çıkılarak şebeke bağlantı noktalarında yapılabilecek olan düzenlemeler ve iyileştirmeler yapılabilmektedir. Elde edilen kısa devre sonuçları Çizelge 4.6’da ve Çizelge 4.8’ de özetlenmiştir. Ayrıca kısa devre akım değerleri Şekil 4.12’ de ve Şekil 4.13’ de belirtilmiştir. FV sisteminde entegre olduğu durumlarda dağıtım şebekesinde kısa devre akımlarının artış göstermesine neden olmuştur. Bu durum on bir (11) adet dağıtım barası üzerinde görülmüştür. FV sistemlerin bağlı olduğu baralarda meydana gelen kısa devre akımları, tüm şebekede etkileri incelenebilmiştir. Çizelge 4.7’de ve Çizelge 4.9’da kısa devre akım bilgileri aktarılmış olup durumun önüne geçilmesi adına şebekede kullanılan iletim hatları üzerinde inceleme

Çizelge 4.6 FV enerji sisteminin olmadığı durumda kısa devre analizi

Kaynak barası	Gittiği bara	Bara gerilimi (%)	Reel (kA)	Hayali (kA)	Reaktans / Direnç	Büyüklik (kA)
Bus1	Tüm Baralar	0,000	0,208	-1,877	9,000	1,888
Bus2	Bus1	8,640	0,035	-0,194	5,500	0,197
Bus3	Bus1	20,200	0,026	-0,190	7,200	0,192
U1	Bus1	110,000	0,147	-1,492	10,200	1,500
Bus8	Bus2	13,100	0,115	-0,379	3,300	0,396
Lump1	Bus2	110,000	0,022	-0,243	11,300	0,244
Lump3	Bus2	110,000	0,022	-0,243	11,300	0,244
Bus4	Bus3	24,970	0,100	-0,633	6,300	0,641
Lump5	Bus3	110,000	0,017	-0,216	12,500	0,217

Çizelge 4.7 FV enerji sisteminin olmadığı durumda kesme ve DC arıza akımı

Toplam Bara Arıza Akımına Göre			
TD (S)	Ib sym	Ib asym	Idc
0,01	1,866	2,677	1,919
0,02	1,858	2,327	1,401
0,03	1,847	2,111	1,021
0,04	1,829	1,975	0,745
0,05	1,8	1,881	0,546
0,06	1,786	1,83	0,399
0,07	1,772	1,796	0,291
0,08	1,759	1,772	0,212
0,09	1,746	1,753	0,155
0,1	1,733	1,737	0,114
0,15	1,705	1,705	0,024
0,2	1,678	1,678	0,005
0,25	1,653	1,653	0,001
0,3	1,653	1,653	0

Çizelge 4.8 FV enerji sisteminin olduğu durumda kısa devre analizi

Kaynak barası	Gittiği bara	Bara gerilimi (%)	Reel (kA)	Hayali (kA)	Reaktans / Direnç	Büyüklik (kA)
Bus1	Total	0	0.188	-1.856	9.9	1.866
Bus2	Bus1	7.93	0.021	-0.18	8.6	0.181
Bus3	Bus1	19.47	0.021	-0.184	8.9	0.185
U1	Bus1	110	0.147	-1.492	10.2	1.5
Bus8	Bus2	11.3	0.047	-0.312	6.7	0.316
Lump1	Bus2	110	0.023	-0.245	10.5	0.246
Lump3	Bus2	110	0.023	-0.245	10.5	0.246
Bus4	Bus3	23.97	0.073	-0.604	8.2	0.608
Lump5	Bus3	110	0.019	-0.217	11.5	0.218

Çizelge 4.9 FV enerji sisteminin olduğu durumda kesme ve DC arıza akımı

Toplam Bara Arıza Akımına Göre			
TD (S)	Ib sym	Ib asym	Idc
0.01	1.843	2.662	1.921
0.02	1.835	2.31	1.403
0.03	1.824	2.091	1.023
0.04	1.805	1.952	0.746
0.05	1.775	1.857	0.547
0.06	1.76	1.805	0.399
0.07	1.746	1.771	0.291
0.08	1.733	1.746	0.213
0.09	1.719	1.726	0.155
0.1	1.706	1.71	0.114
0.15	1.678	1.678	0.024
0.2	1.651	1.651	0.005
0.25	1.625	1.625	0.001
0.3	1.625	1.625	0

4.4 Durum III: Harmonik Analiz

FV sistemleri bazı koşullar altında şebekeye yönelik bir harmonik kaynağı teşkil edebilmekte ya da üretilen harmonikler güneş panellerinin kararsızlığının etkisi olabilmektedir. Bu konu kapsamında Bölüm 3.3’ de detaylı olarak literatür örnekleri ile aktarılmıştır. Ancak burada modern güç çeviricilerin yüksek güç kalitesi faktörlerini sağladığına dikkat etmek önemlidir. Bu tür invertörler tarafından enjekte edilen harmonikler çoğunlukla filtrelenebilen yüksek dereceli harmoniklerdir. Şekil 4.1’ de verilen elektrik dağıtım şebeke sisteminde FV sisteminin entegre olduğu ve olmadığı durumlarda dağıtım barası 10 üzerinde gözlemlenmiştir. Yapılan analizlerde görüldüğü gibi FV sistemin entegre olduğu durumlarda harmonik etkisi görülmüştür. Bu kapsamda özellikle transformatörler üzerinde FV sistemin entegre olduğu durumlarda harmonik bozunumların belirlenmesi, şebeke stabilitesini ve güvenirliliği artıracaktır. Harmonik analiz literatür de olduğu gibi analiz edildiğinde etki edebilecek kaynak noktaları çeşitlilik gösterebileceğinden yapılan analizler ayrı başlıklar altında incelenmiş ve sonuçlar ilgili başlık altında verilmiştir Harmonik analizde yapılan çalışmalarda elektrik şebekesinde istenmeyen bu durum şebekede yaşanan bozunumlara ve kullanılan ekipmanların aşırı ısınmasına, stabil çalışmasına engel durumlara neden olabilmektedir. Bu kapsam da IEEE 519 standartları genel olarak kabul görülerek 69 kV altı elektrik

şebekesinde harmonik bozunumlarda THB oranının %5 veya altında olması gerekmektedir (Blooming vd., 2006). Yapılan benzetim çalışmasında harmonik filtre devre dışı olduğu durumda; FV sistemin dağıtım şebekesinde etkisi harmonik sonucu dağıtım baralarında oluşan THB oranları Çizelge 4.10’da verilmiştir.

Çizelge 4.10 Filtre olmadığı durumda harmonik analizi

Harmonik analizi incelemesi			
İsim	Gerilim (kV)	RMS %	THB %
Bus1	154.000	100.09	4.94
Bus2	34.500	99.18	12.65
Bus3	34.500	100.03	4.38
Bus4	34.500	99.21	5.53
Bus5	34.500	98.79	6.07
Bus6	6.600	99.31	6.46
Bus7	0.400	99.47	6.76
Bus8	34.500	100.43	16.43
Bus9	34.500	100.40	17.87
Bus10	6.600	100.20	14.97
Bus11	0.400	100.20	13.94

Aynı şekilde harmonik filtre eklenmesi sonucunda sağlanamayan IEEE-519 standartları sağlanmış olup alınan analiz sonuçları Çizelge 4.11’ de verilmiştir. Kullanılan Harmonik filtre parametreleri Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.11 Filtre olduğu durumda harmonik analizi

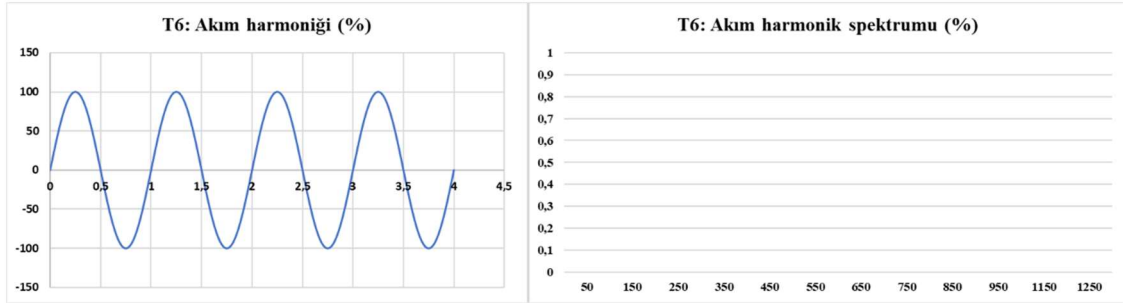
Harmonik analizi incelemesi			
İsim	Gerilim (kV)	RMS %	THB %
Bus1	154.000	100.04	2.46
Bus2	34.500	102.12	4.12
Bus3	34.500	100.01	3.43
Bus4	34.500	99.19	4.44
Bus5	34.500	98.76	4.86
Bus6	6.600	99.32	6.21
Bus7	0.400	99.46	6.71
Bus8	34.500	99.19	5.17
Bus9	34.500	98.97	5.74
Bus10	6.600	100.24	2.78
Bus11	0.400	98.03	3.00

Çizelge 4.12 Harmonik filtre bilgileri

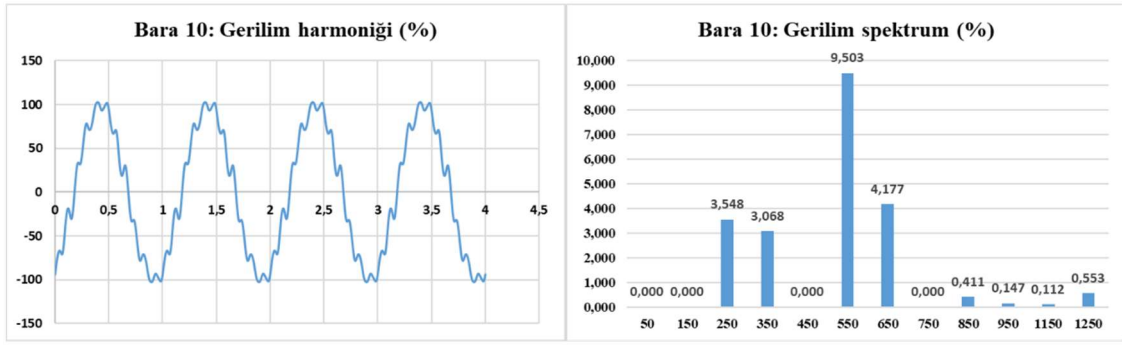
Harmonik filtre bilgileri					
İsim	kVAr	Uf	Xl1	Q Factor	kV
HF3	950	3024	0.0008	3	1

4.4.1 FV Enerji Sisteminin Olmadığı Durum

Sistem topoloji Şekil 4.1’de anlaşılabacağı üzere FV sistemin entegre olduğu ve olmadığı durumların analizi ortak nokta olarak ele alınarak dağıtım barası 10 (bara 10) ve Transformatör 6 (T6) üzerinden incelemeler yapılmıştır. Yapılan bu incelemelerde FV sistemin olmadığı durumlarda Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’ de görüldüğü gibi T6 ve bara 10 üzerindeki harmonik etkenlerin olmadığı dağıtım şebekesine AC dalga üzerinde bir etken oluşturmadığı görülmüştür. Bu kısımda statik yük (doğrusal olmayan yük) etkisi devre dışı bırakılmıştır. Şekil 4.14’ de FV enerji sisteminin entegre olmadığı durumda belirtildiği üzere benzetim çalışması analizler aracılığıyla ile bara10 ve T6 üzerinde gerilim ve akım spektrumları verilmiştir. Bu kısımda harmonik sırasıyla 3., 5., 7., 11., ve 13. Harmonikler için yüzdelik olarak sırasıyla %0.00, %3.54 %3.068, %9.503 ve %4.177 olarak elde edilmiştir. 11. harmoniği en yüksek harmonik olarak bulunmuştur.



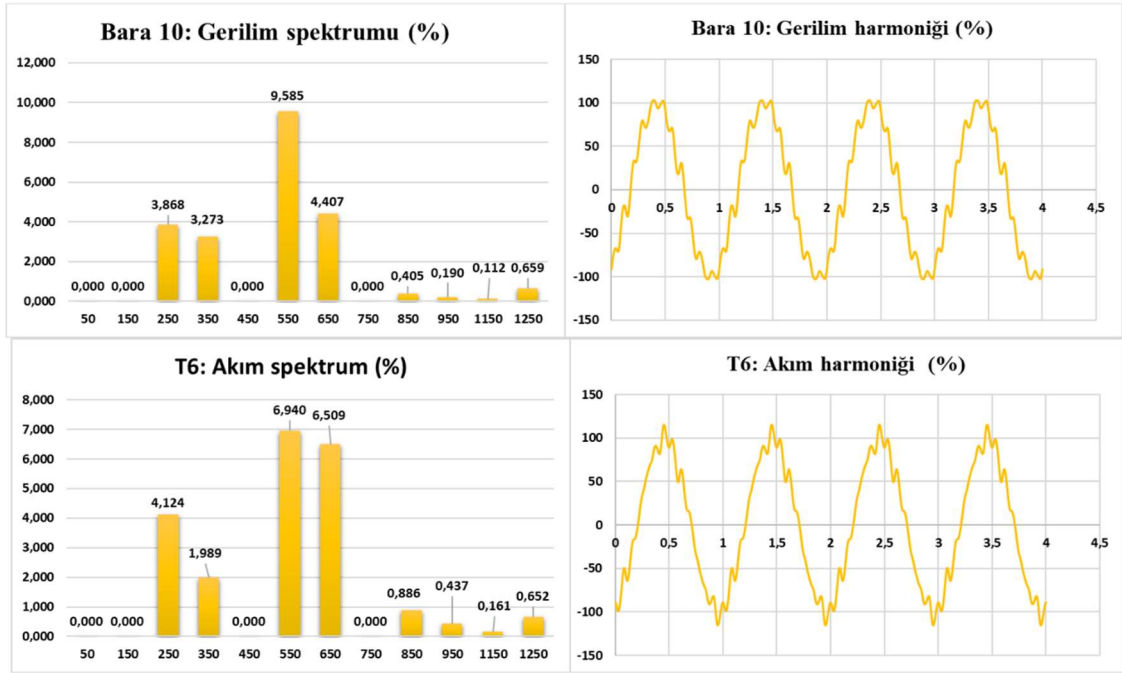
Şekil 4.14 FV enerji sisteminin olmadığı durum Transformatörde (T6) akım harmonik spektrumu ve akım harmoniği



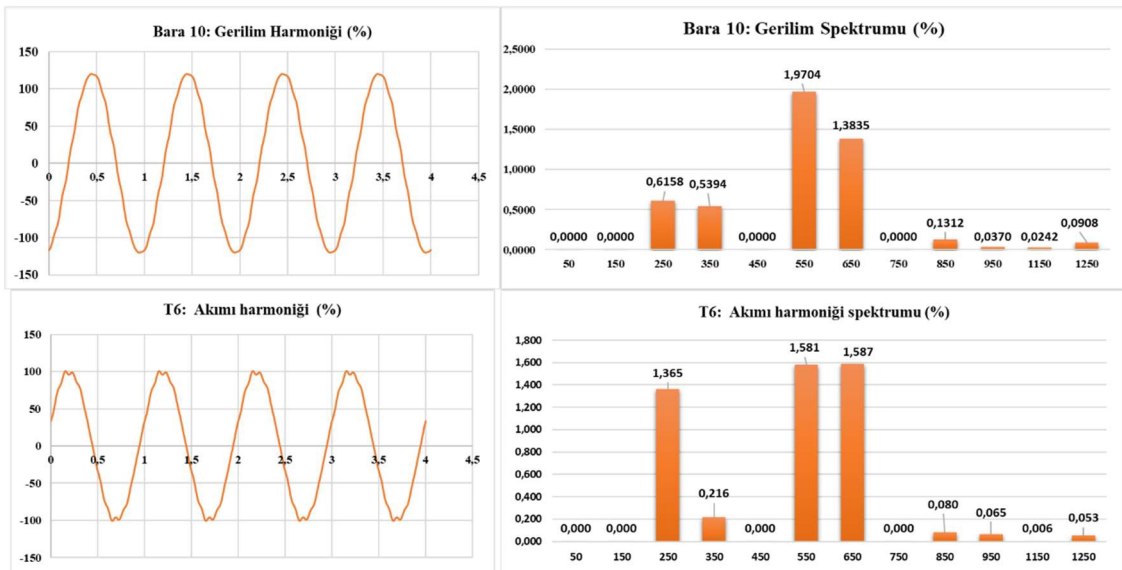
Şekil 4.15 FV enerji sisteminin olmadığı durumda Bara 10 gerilim harmoniği

4.4.2 FV Enerji Sistemin Olduğu Durum

Bölüm 4.3.1’ de şebeke sistemin entegre olmadığı FV sistemin entegre olduktan sonra yanı şebeke noktalarındaki etkileri T6 ve Bara 10 için ayrı bir şekilde Şekil 4.9’ de belirtilmiştir. Bu kısımlara ek olarak harmonik bozunumun artışı gözlemlendiğinden harmonik filtre çözümü ile şebekede T6 noktasına basit harmonik filtre eklemesi yapılmıştır. Bu etken sonucunda harmonik filtre etkisi olarak harmonik bozunumda iyileşme sağlandığı ve Şekil 4.16’ da ele alınan grafikler ile belirtilmiştir. Şekil 4.15’ da FV enerji sisteminin entegre olduğu durumda belirtildiği üzere benzetim çalışması yapılan analizler aracılığıyla Bara10 ve T6 üzerinde gerilim ve akım spektrumları verilmiştir. Bu kısımda harmonikler sırasıyla 3., 5., 7., 11., ve 13. harmonikler için yüzdelik olarak sırasıyla özellikle de akım üzerindeki %0.00, %4.124, %1.989, %6.940 ve %6.509 olarak elde edilmiştir. 11. Harmoniği en yüksek harmonik olarak bulunmuş %6.940’ tür. Bu harmonikler tamamen FV sisteminin etkisi ile meydana gelmiştir. Şekil 4.16’da verilen akım harmonikleri ile belirtilen durum arasındaki değişim oldukça aşıkardır.



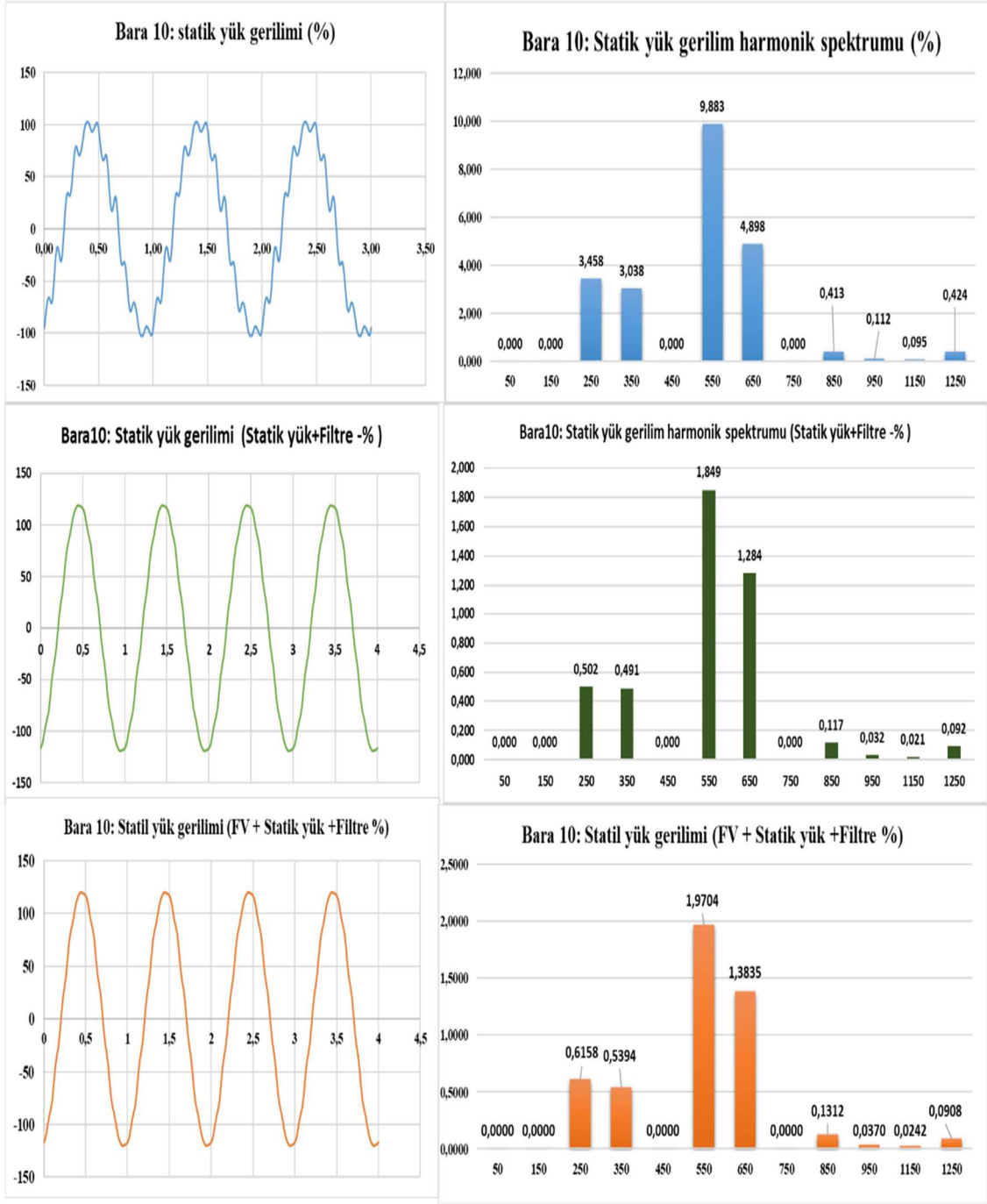
Şekil 4.16 FV enerji sisteminin olduğu durumda Transformatör ve Barada akım-gerilim harmoniklerinin incelenmesi



Şekil 4.17 Harmonik filtrenin sisteme entegre edilmesi ile FV enerji sisteminin olduğu durumda Transformatör ve Barada akım-gerilim harmoniklerinin incelenmesi

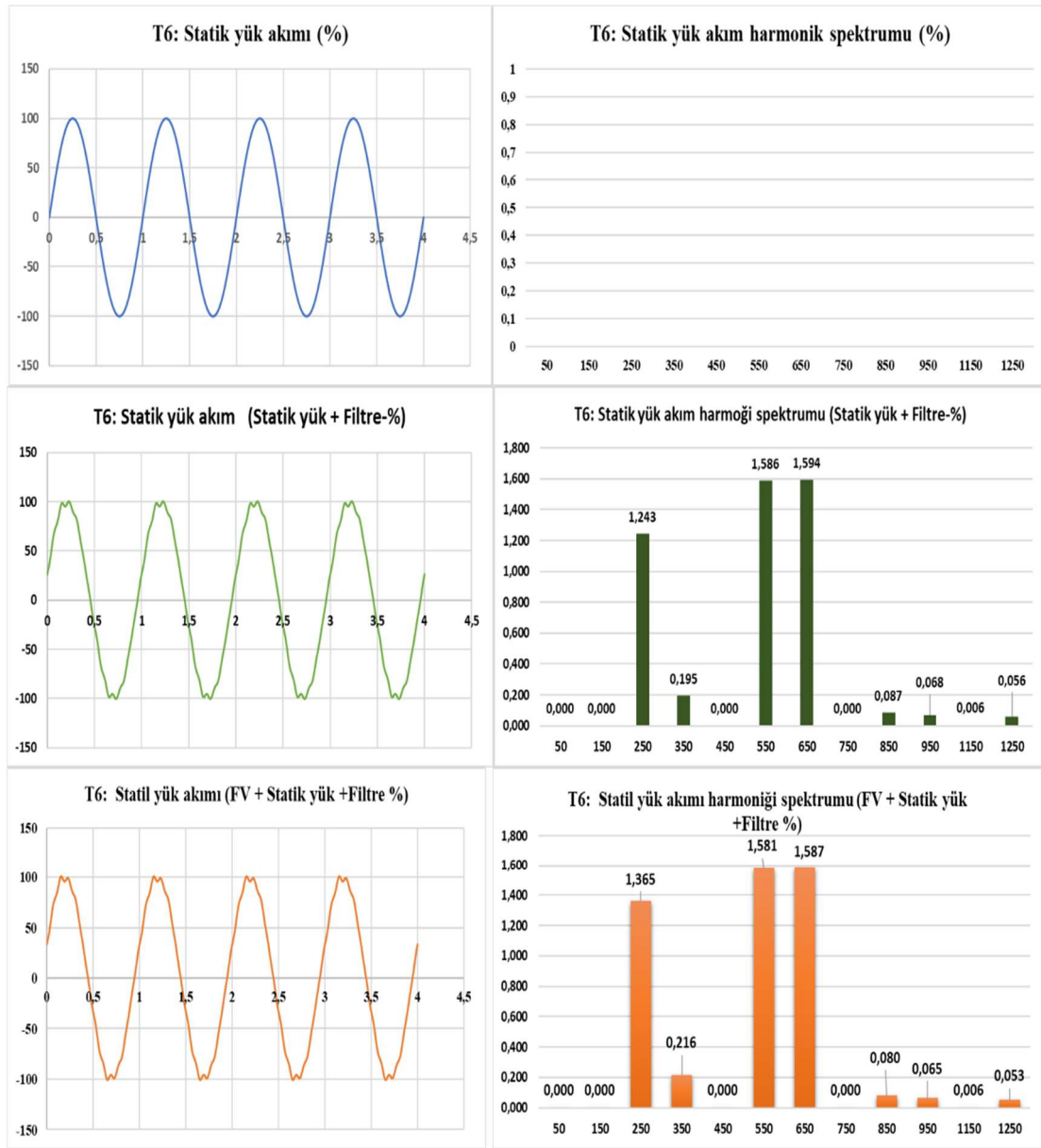
4.4.3 Statik Yük (Doğrusal Olmayan Yük) Durumunun Analizi

Statik yükler (doğrusal olmayan yük) olarak belirtilen durumlar tüketim noktasın harmonik etken oluşturabilecek olan UPS cihazlarının kullanımı ve motorların kullanımı yani çektiği yük statik olarak değişebilen yükler olduğundan dağıtım şebekesine etkenleri söz konusu olabilmektedir. Etkileri de kapasitelerine göre değişim gösterebilmektedir. Yapılan çalışmada da bu noktalar analiz edilmiştir. Literatür araştırmalarında olduğu gibi etken noktası gözlemlenmiş olup harmonik analizlerde AC dalga üzerinden etkileri incelenmiştir. Şekil 4.18' de FV enerji sisteminin ve statik yükün olduğu ve olmadığı durumlarda gerilim harmonikleri analizi FV sistem dahil olmadan ve dahil olduğunda harmonik analiz sonucu elde edilen gerilim sonuçları yer almıştır. Bu analizler sonucu statik yükün şebeke olan harmonik etkisi görülebilmekte ve bu harmonik bozunum için harmonik filtre uygulaması sonucu gerilim değerleri üzerinden Bara10' daki sonuçlarını da içermektedir. Şekil 4.19' de ise aynı metot ile akım değerleri üzerindeki harmonik etkilerine yer verilmiştir. Bu sonuçlara göre filtre eklenmesi sonucu gözle görülür bir şekilde harmonik bozunumlara etki ettiğini göstermiştir. FV enerji sistemlerinin de incelenen şebeke sisteminde ele aldığımız doğrusal olmayan yükler olan statik yüklerin Şekil 4.17'de gerilim üzerindeki harmonikler değişimler olarak görülebilmektedir. Örneğin 3., 5., 7., 11. ve 13. harmonikler sırasıyla verilmekte olup statik yükün %9.883 olan gerilim harmonik etkisi filtre ile %1.849 oranına düşürebilmektedir. Filtre ile birlikte FV sistemin eklenmesi sonucu %1.970 oranına azaltılmıştır.



Şekil 4.18 FV enerji sisteminin ve statik yükün olduğu ve olmadığı durumlarda gerilim harmonikleri analizi

FV enerji sistemlerinde dağıtım şebekesinde ele aldığımız doğrusal olmayan yük olan statik yüklerin harmonik etkileri Şekil 4.19’ de akım üzerindeki harmoniklerdeki değişimler görülebilmektedir.



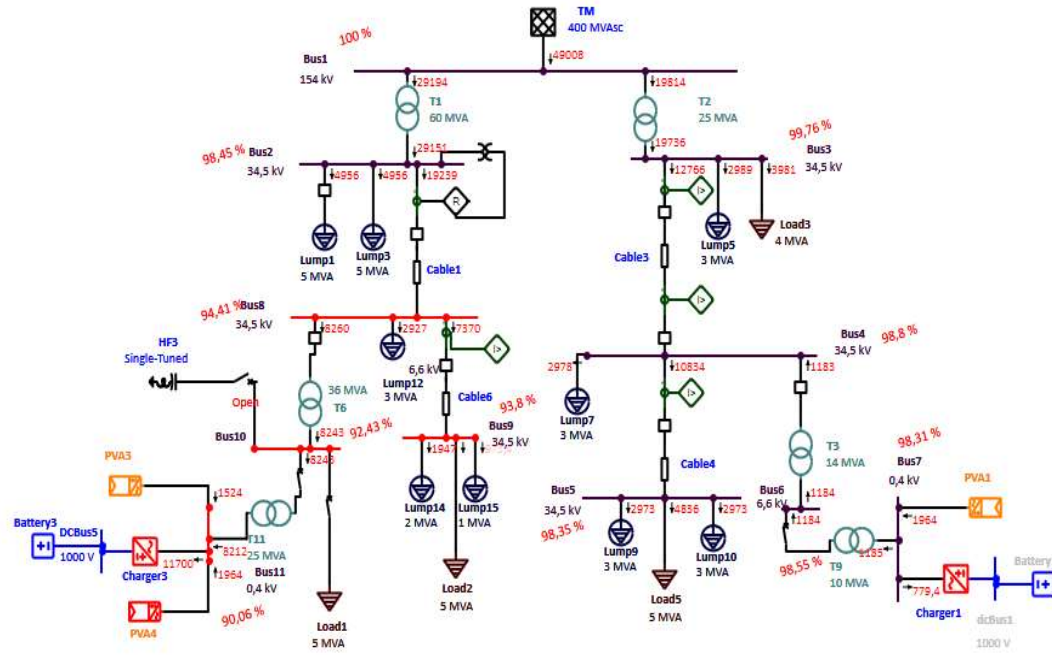
Şekil 4.19 FV enerji sisteminin ve statik yükün olduğu ve olmadığı durumlarda akım harmonikleri analizi

4.5 Durum IV: Enerji Depolamanın Dağıtım Sistemine Entegre Edilmesi

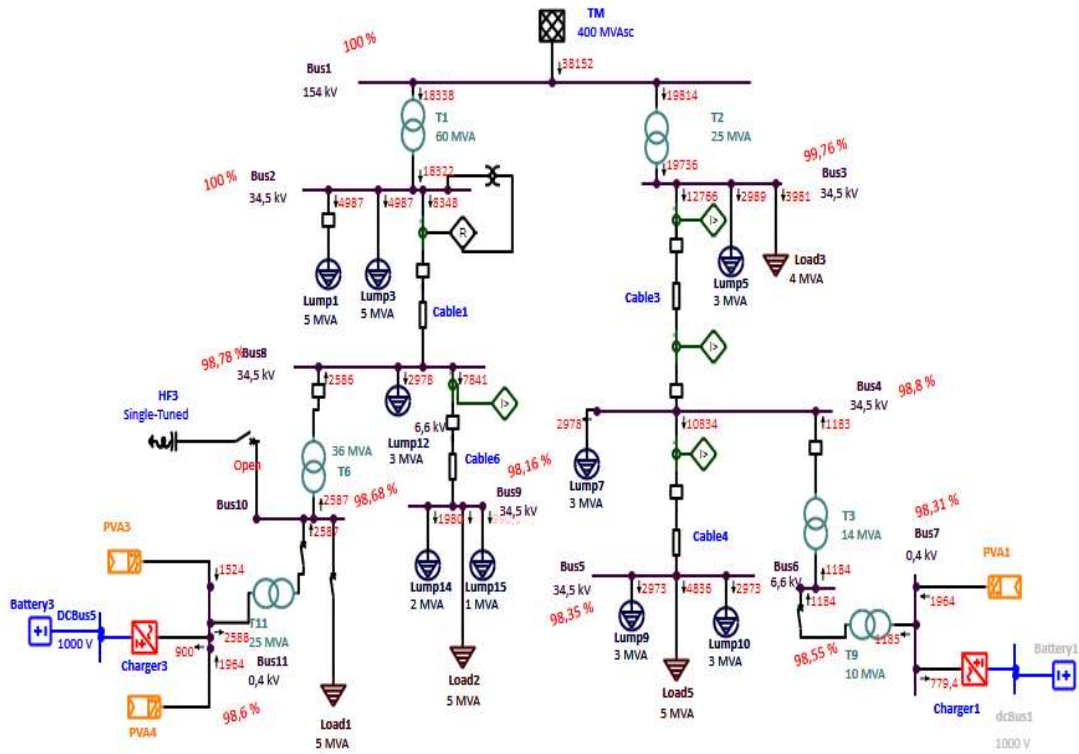
Günümüzde çok sık olarak konuşulan ve hayati bir öneme sahip olan enerji depolama ünitelerine yapmış olduğum tez çalışmasının sürdürülebilirliği ve kapsam alanın genişletilmesi sağlayacağından bu noktada YEK bağlı olduğu dağıtım baralara 2 ayrı nokta batarya üniteleri eklenmiştir. Sistem analizlerinden anlaşılabacağı üzere batarya üniteleri eklenmesi ile dağıtım baraların kapasite üzerinde yüklemelerin önüne geçilmesi

sağlanmış olup şebeke stabilitesi korunması sağlanabilmektedir. Bu analiz için batarya ünitesinin bağlı olduğu aynı şekilde FV sistemin bağlı olduğu bara 11 de bu durumun analizi yapılabilmektedir.

Mevcut FV sistemin entegre olduğu şebeke sisteminde ETAP yazılım programının konum ve saat bilgisi üzerinden FV sistemin mevcut kapasitesinin Güneş ışığının etkinliği hesaplanarak saatlik bazda FV sistemin üretim durumu değişkenlik gösterebilmektedir. Bu da şebekeye olan etkinin sürekli olarak değişebileceğinden batarya ünitesinin de şarj olma durumu değişebilmektedir. Şekil 4.20’ de analiz sonuçları belirtilmiştir. Şekil 4.20’ de batarya durum FV sistemin üretimin üzerinde seçildiğinden yani herhangi bir kısıtlama yapılmadığı durumda FV sistemde üretilen enerji şebeke sisteminin yanı sıra batarya ünitesine doğru bir akış olduğundan dağıtım baraların güç düşümü oluşmuştur. Şekil 4.21 de bu sorun giderilerek durum kontrol seviyesinde tutulduğunda ilk analizde alınan güç yetersizliği de giderildiği için şebekedeki dağıtım baralarının güç kalitesinde iyileşme görülmüştür. Bu iki analiz de baralar üzerinden alınan sonuçlar Çizelge 4.13’de belirtilmiştir. Batarya ünitelerinin şebekeye eklenmesi içerisinde bulunan dönüştürücü ve güç elektroniği elemanlarının oluşturacağı harmonik etkenlerden dolayı şebekede bulunan harmonik filtreler sayesinde harmonik bozunumların önüne geçilmiştir.



Şekil 4.20 Durum I: Enerji depolama ünitesinin entegre edilmesi



Şekil 4.21 Durum II: Enerji depolama ünitesinin entegre edilmesi

Çizelge 4.13 Batarya güç değişim analizi

Durum I		
İsim	Gerilim değeri (kV)	Güç Yüzdeliği (%) kW
Bus2	34.500	98.451
Bus3	34.500	99.763
Bus4	34.500	98.797
Bus5	34.500	98.349
Bus6	6.600	98.553
Bus7	0.400	98.306
Bus8	34.500	94.411
Bus9	34.500	93.798
Bus10	6.600	92.434
Bus11	0.400	90.060
Durum II		
İsim	Gerilim değeri (kV)	Güç Yüzdeliği (%) kW
Bus2	34.5	100.016
Bus3	34.5	99.763
Bus4	34.5	98.797
Bus5	34.5	98.349
Bus6	6.6	98.553
Bus7	0.4	98.306
Bus8	34.5	98.780
Bus9	34.5	98.160
Bus10	6.6	98.685
Bus11	0.4	98.601

4.6 Durum V: Röle Koordinasyon Durumu

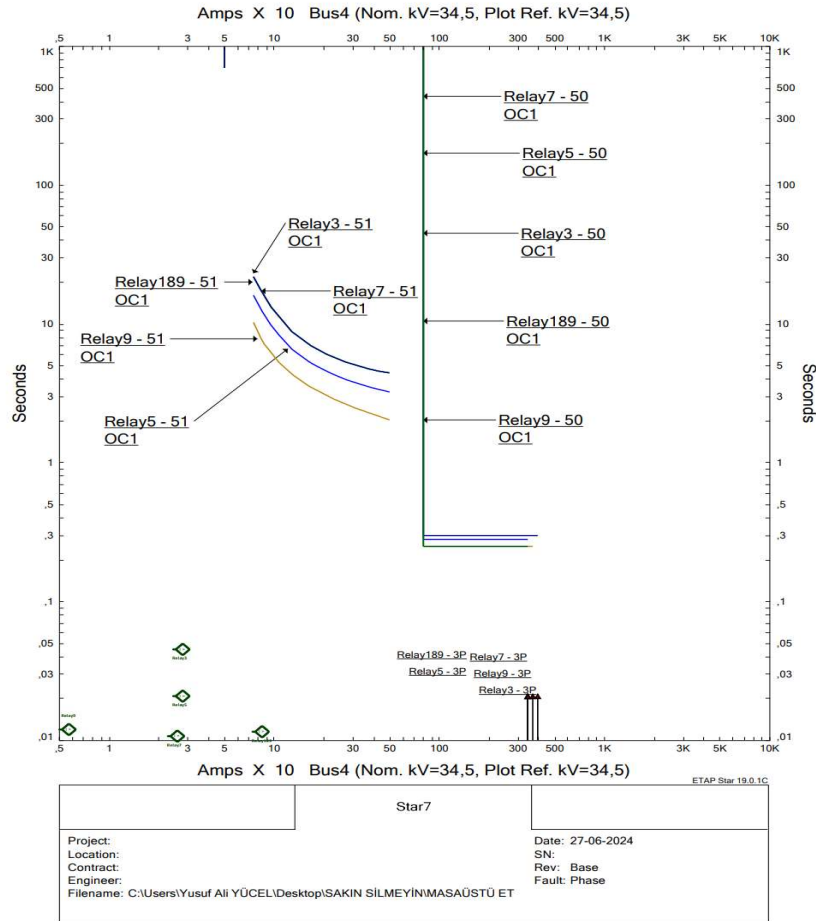
Elektriğin vazgeçilmez bir gereksinim haline geldiği bu zaman diliminde elektrik tedariki noktasında bağımlılığı artıran fosil yakıtlardan dolayı tüketicilerin ve sektörün YEK yönelimi ile mevcut şebekede YEK artışı son derece hızlıdır. Mevcut şebekemizin kırsal bölgeler için Radyal bir şebeke ağına sahip olması ile birlikte enerji iletimi için uzun mesafelere iletim ve dağım ağına sebebiyet oluşturmakta ve bu kısımda YEK kurulması ve bu YEK için de bölgesel olarak şebeke entegrasi edilmesi yapılmıştır. YEK çalışma sisteminde var olan çevresel ve iklim şartlarından etkilenebildiğinden şebekedeki yük akış dengesini çok hızlı etkilemektedir. Süreç içerisindeki bu etkiyi kontrol altına alabilmek ve şebeke korumasını sağlamak gerekmektedir. Elektrik güç sistemi elemanlarının (transformatör, jeneratör ve enerji nakil hattı gibi) korunması

amacıyla belirlenen sınır değerlerinin dışına çıkıldığında kontak durumunu değiştiren (açık kontağı kapatan, kapalı kontağı açan) rölelere koruma röleleri denir (Turan, 2014). Röleler elektrik şebekesinde bağlı oldukları akım trafoları ve kesiciler gibi devre elemanları ile koordineli bir şekilde çalışarak şebekede ikincil bir koruma sağlamaktadırlar. Koruma röleleri, güç sistemlerinde kritik bir öneme sahiptir. Bu rölelerin koordinasyonu, güç sistemlerinde hızlı, seçici ve güvenilir bir şekilde arızalı bölgelerin izole edilmesini sağlamaktadırlar. Koruma rölesi, akım trafoları, kesiciler ve diğer elemanlarla birlikte çalışarak sistemde meydana gelen anormal durumları tespit eder ve hatalı kısımlar sistemden ayırmaktadır. Böylelikle sistemin düzgün ve güvenilir bir şekilde çalışması sağlamaktadır. (Farkhani vd., 2019).

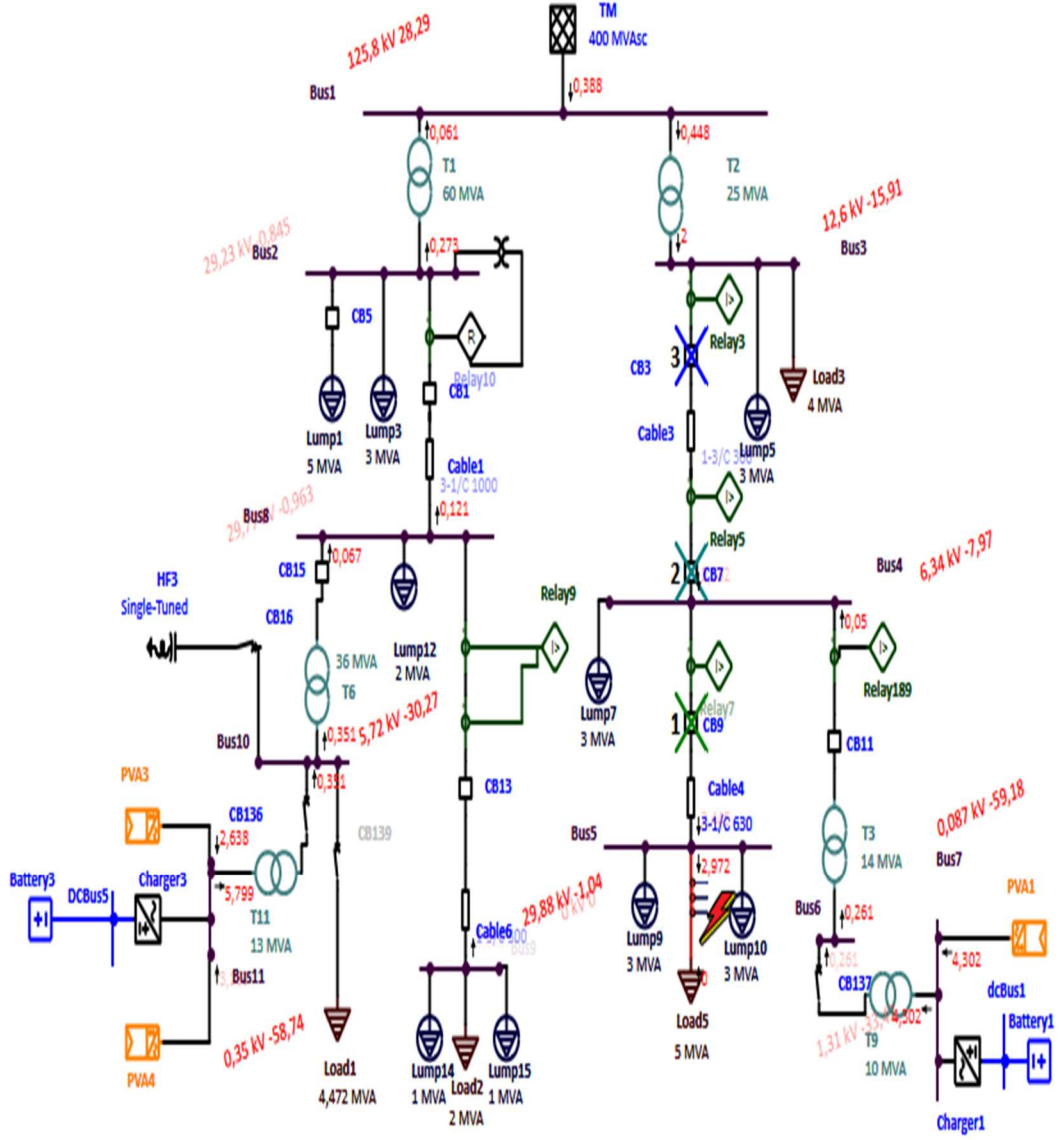
Doğru röle uyumunu yerine getirmek amacıyla en sık tercih edilen parametreler zaman ve akımdır. Elektrik şebekesinde sadece arızalı kısmı devre dışı bırakmak için aşırı akım röleleri kullanılmaktadır (Bamber vd., 2011). Aşırı akım koruma rölesinin amacı oluşan aşırı akım şebekedeki devrelere zarar vermeden ve oluşabilecek insan hayatı riskinin ortadan kaldırmak amacıyla kısa devreden kaynaklanan bir arıza akımı gibi istenmeyen durumlarda şebekede ki arızanın olduğu enerji noktasına en yakın yerde bulunan aşırı akım koruma rölesine bağlı kesici üzerinden şebekedeki enerjinin kesilmesi sağlamaktır (Kezunovic, 2016). Tez çalışmasında yapılan sistem benzetim örneğinde dağıtım barası Bus9 üzerine verilen arıza akımı sonucunda arıza akımı öncesinde bulunan yüksek gerilim kesicilerin CB13 ve CB1 kesicilerin şebeke enerji kesilme işlemini yapması arıza noktasının güvenilirliğini sağlamasına ve oluşabilecek daha büyük kayıpların önüne geçilmesine olanak sağladığı görülmektedir. Bu kısımda şebekede röle konumlandırılmasının önemi bir kez daha ön plana çıkmaktadır. YEK kaynaklarının şebekedeki konumu bu tür arızalara sebep olabileceğinden elektrik şebekesinde bu ve buna benzer analizler büyük önem taşımaktadır.

Şebeke analizinde kullanmış olduğumuz tüm aşırı akım koruma rölelerinin zaman çarpan ayarına göre akım zaman eğrisi Şekil 4.22' de verilmiştir. Bu kısımda dikkat edilmesi gereken kısım şebeke sisteminde rölelerin birbirlerine göre konumlarına göre akım zaman eğrişinde ki değerleri o sıralama da olmasıdır. Şekil 4.22' de aşırı akım koruma röle seçiminde önemli olan anlık akım bilgileri ve gecikme sürelerinin doğru belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu sayede arıza akımının olduğu konuma göre şebeke sisteminde bulunan tüm rölelerin birlerine göre uyumluluğu görülebilmektedir.

Bu hususta önemli olan unsur arıza noktasının en kısa sürede şebekeden ayırmak ve olabildiğince enerji kesintisinin en az sayıdaki noktada etkisini hissettirmektir. Şekil 4.23’ de, görülebileceği üzere benzetim çalışmasında şebekenin son nokta kısmında oluşan arıza akımının neticesinde yüksek gerilim kesicilerinin sırasıyla şebeke kesme durumları görülebilmektedir. Bu sayede arıza noktasına en yakın noktadan enerji kesilmesi sağlanarak enerji sürekliliği ve güvenirliliği sağlanabilmektedir. Şekil 4.24’ de örnek şebeke dizaynında kullanılan aşırı akım koruma rölesi Relay7’ nin yazılım programında girilen bilgileri de gösterilmektedir. Şebeke de yapılan birçok entegre kısımların artması ve ani dalgalanmaların şebeke sistemlerin muhtemelen bir sorun haline gelmesinden dolayı FV sistem gibi veya herhangi bir DÜ sisteminde bu şekilde analizler yapılarak röle seçimi ve konumlandırması yapılabilmektedir.



Şekil 4.22 Rölelerin akım- zaman eğrisi



Şekil 4.23 Röle koordinasyon durumu

Overcurrent Relay Editor - Relay7

Info Input Output OCR Scheme Logic TCC kA Model Info Checker Remarks Comment

ABB
CO-4

OC Level
OC1 ☒ Enabled ☐ Integrated Curves
☐ Block TOC by IOC & combine for this level

Library Info
Library...

Device Parameters

Selected Device ID	Type	FLA	% LRC	SF
	Induction Motor	0,00	0	0

Setting

☒ Overcurrent

Curve Type: CO5 - Long Inverse Terminal: CT Input

Pickup Range: 0,5 - 2,5 Sec - 5A Amps Relay Amps: 0,5 Prim. Amps: 50

Pickup: 0,5

Time Dial: 2 Step: 0,5

☒ Instantaneous

Terminal: CT Input

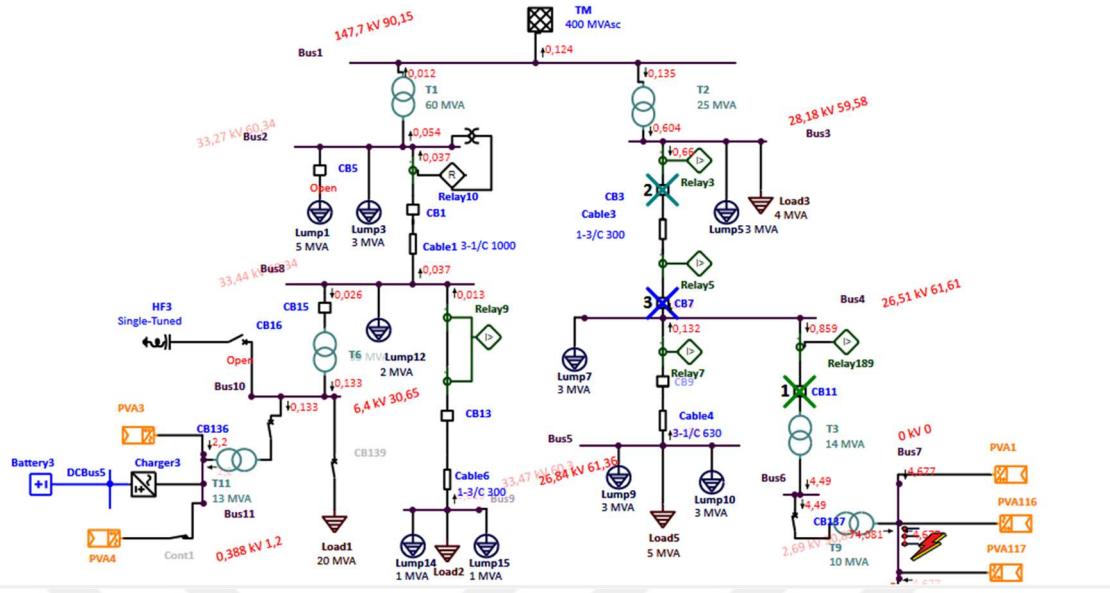
Pickup Range: 2 - 8 Sec - 5A Amps Relay Amps: 8 Prim. Amps: 800

Pickup: 8 Step: 1,0

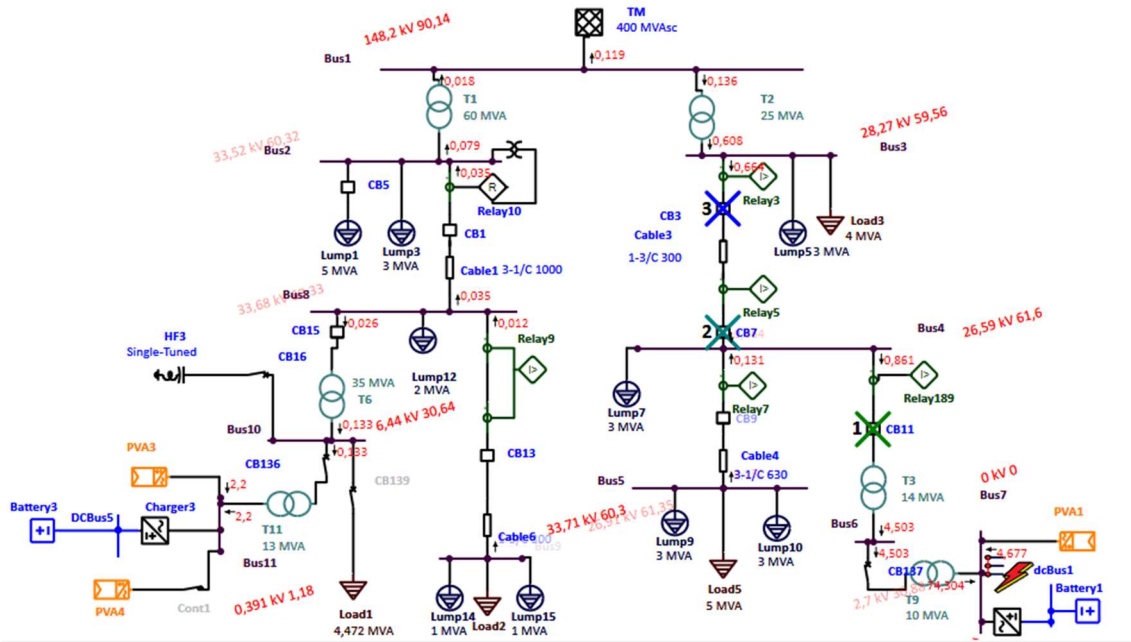
Delay Range: 0,25 - 3 sec Delay (sec): 0,25 Step: 0,01

Şekil 4.24 Röle parametre bilgisi

Röle koordinasyon analizde yapılan işlemler FV sistemlerden bağımsız baralar üzerinden yapılmıştır. Bilindiği üzere FV sistemler hava çevresel etkenlere bağlı olarak güç üretimleri değişebildiğinden bu nedenle şebeke sistemine hem harmonik etken hem de kısa devre akım olarak katkı sunarak dağıtım şebekesinin de istenmeyen durumlara sebebiyet verebilmektedir. Bu kapsamda röle koordinasyon analizde FV sistem yapacağı etkiler göz önünde bulundurmadan yapılan analizde röle koordinasyonun bozulduğu ve şebeke sisteminde büyük kesintilere sebebiyet verebilmekte oldu görülmektedir. Şekil 4.25 bu durum gösterilmektedir. Arızanın olduğu kaynak FV sistemin olduğu bara baz alındığında röle koordinasyonu bozulduğu ve 2. olarak çalışması gereken kesici devreye girmeden bir üst ana unsurdan şebeke kesilmiştir. Bu durum göz önüne alındığında röle koordinasyon ayarı yapılarak sorun giderilerek Şekil 4.26'da belirtilmektedir.



Şekil 4.25 Röle koordinasyonu bozulması



Şekil 4.26 Röle koordinasyonun sağlanması

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Son yıllarda elektrik enerjisine olan ihtiyacın artması ile birlikte insan yaşamının devam etmesi ve gelişmesi elektrik enerjisi için vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. Bununla birlikte elektrik enerjisine olan talep-istek giderek artış göstermiştir. Artan taleplerin ve ihtiyaçların karşılanması amacı da YEK'lere yönelimi sağlamıştır. Böylelikle mevcut elektrik enerji talebinin karşılanmasının yanı sıra ekonomik ve endüstriyel anlamda pozitif yönde gelişim sağlanmıştır. Daha güvenli, şeffaf ve verimli elektrik enerjisini sağlamak, gelecekte daha akıllı ve otomatik sistemlere yönelmek için YEK'lerin mevcut dağıtım şebekesine entegrasyonu büyük önem taşımakta ve çok önemli etkiler meydana getirmektedir. Geline bu noktada ihtiyacın ve talebin yoğun olduğu YEK'lerin kurulum öncesinde entegrasyon problemlerinin incelenmesi analizlerin benzetim programları üzerinden yapılarak mevcut dağıtım şebekesindeki kurulumunda oluşabilecek hatalar ve sorunlara çözüm getirilmesi son derece önem arz etmektedir. Bu kapsamda FV enerji sisteminin elektrik dağıtım şebekesine kısa devre ve harmonik etkileri, şebekedeki güç akış durumu ETAP yazılım programı kullanılarak çeşitli durumların analizi yapılmıştır. Bu çalışma ile birlikte FV sistemlerin kurulumu yapılmadan dağıtım şebekesine olan etkilerinin incelenerek kullanılması gereken devre elemanlarının belirlenmesi yönünde bir öngörü oluşturulmuştur. Yapılan analizlere değinecek olursak yapılan çalışma sistemin yük akış analizi, kısa devre analizi ve harmonik analiz olmak üzere ana başlıklar altında FV sistemin entegre olduğu ve olmadığı durumlarda şebekenin bu durumlara olan tepkisi görülmüştür. Harmonik etkilerde belirtildiği üzere şebeke sistemine FV sistemin entegre olması ile beraber şebekedeki güç elektroniği elemanları ve harmonik etken üreten devre elemanları sisteme dahil olmakta yapılan analizlerde bu durum açıkça gözlemlenebilmiştir. Benzetim çalışmasında elde edilen sonuçlar ilgili başlıklar altında verilmiş olup FV sistemlerin normal şebekeye entegre öncesi akım harmoniği %0 iken entegresi sonucu bu değerin % 6,940 değerlerine çıktığı görülmüştür. Oluşan bu bozunumu emile etmek adına eklenen filtre sonucu %1,581 bantlarına kadar indirgenmiştir. Bu kısımda yapılan statik yük çalışmasında ise statik yükün gerilim harmoniği üzerindeki etkisi %9,883 iken filtre eklenmesi sonucu % 1,849 bantlarına indirgendiği gözlemlenmiştir. Bu kapsam ışıığında

FV enerji sistemlerinin dağıtım şebekesine entegrasyonu sonucunda oluşabilecek sorunlar belirtilmiştir. Şebeke için tehlike unsuru olarak görülen harmonik bozunumlar, benzetim sonuçları olarak gözlemlendiğinden bu etkenleri önüne geçilebilmesi adına alternatifler üretilmiştir. Bu kısımda şebekeye eklenen harmonik filtreleme ile şebekede bulunan harmonik bozunumların kontrol altına alınabileceği gözlemlenmiştir. Şebekede FV sistemle beraber gerçek bir topoloji elde etmek ve ileriye dönük bir literatür kazandırmak adına aynı şebeke üzerine statik yüklerinde eklemesi yapılmış ve bu kısımda şebekeye olan etkenleri incelenmiştir.

Yapılan bu analizler ve şebeke topolojisi üzerindeki diğer etkenler aynı zamanda şebekenin yük akış analizini de etkilemektedir. Bu kısımda yük akış analizinin sonuçları değerlendirilerek şebekenin verimliliği de görülmüştür. Enerji tedarikinin sürekliliği büyük bir önem arz ettiğinden elde edilen bu sonuçlar son derece önemli bir öngörü oluşturmıştır. Ayrıca şebekenin koruması da bu kapsamda düşünülmektedir. Bu noktada sistemin kısa devre analizleri de yapıldığından elde edilen sonuçların doğrultusunda şebeke sisteminde mutlaka olması gereken koruma sistemlerinden aşırı akım koruma rölelerinin konumlandırılması yapılması gerekmektedir. Bu kısımda röle özelinden yapabilecek testler üzerinden arıza durum koşullarında şebekenin tepkisi, koruma rölelerinin tepkileri görülebilecektir. Bu çalışma ile bir dağıtım şebekesine eklenecek olan bir FV sistem ya da YEK gibi üretim santralleri eklemesi yapılmadan önce bu tez çalışmasında yapılan kapsamlı analizlerin yapılması elektrik enerjisinin sürekliliği, şebeke koruması, devre elemanlarının koruması ve tüketici mağduriyeti yaşanmamasına adına son derece önemli ve verimli bir katkıları sunmaktadır. Bunun dışında yapılan bu tez çalışmasının kapsam alanının artırılması ve farklı noktalarda literatüre katkı sağlaması adına enerji depolama ünitelerinin eklemesi de yapılmıştır. Bu sayede şebekenin yük akış dengesi korunmak ile birlikte ülke ekonomisi için de önem arz eden enerji depolamasının analizleri ve etkenleri incelenmiştir. Bu tez kapsamında yapılan depolama üniteleri üzerindeki analizlerde FV sistemlerinin çevresel şartlara bağlı olarak üretilen enerji değiştirebildiğinden dağıtım şebekesine olabilecek fazla yüklenmelerin önüne geçilmiştir. Elde edilen veriler üzerinde %1 ile %2 bantların da bir denge ile bunu sağlayabilmektedir. Bu tez çalışması ile FV enerji sistemlerinin elektrik dağıtım şebekesine entegre edilmesi sonucunda kısa devre akımının koruması, harmonik bozulmalar ve enerji tedarikinden kararlılık gibi durumların elektrik şebekesi için son derece önemli başlıklar olduğundan güç şebekesinin

kararlılığı, güvenirliği ve sürekliliği açısından yapılan bu tez çalışması dağıtım şebeke sistemine eklenecek YEK entegrasyon problemlerini değerlendirmek açısında önemli bir kaynak görevi görecektir.





KAYNAKLAR

- Adefarati. (2016). T.; Bansal, R.C. Integration of Renewable Distributed Generators into the Distribution System: A Review. *IET Renew. Power Gener.* 2016, 10, 873–884
- Adak. (2021). Güç Sistem Harmonikleri. Mühendislik Alanında Araştırma ve Değerlendirmeler
- Al-Refai. (2016). Design of a Large Scale Solar PV System and Impact Analysis of Its Integration into Libyan Power Grid. Nicosia: near east university
- Anaya ve Pollitt. (2014). Integrating Distributed Generation: Regulation and Trends in Three Leading Countries. University of Cambridge, Energy Policy Research Group.
- Anaya ve Pollitt. (2017). Dağıtılmış üretim bağlantısında daha akıllı hale geliyor. *Enerji Politikası*, 105, 608-617
- Arıcı ve İskender. (2020). Fotovoltaik güneş santrallerinde şebeke bağlantı sorunları ve çözümleri. *Politeknik Dergisi*, 23(1), 215-222
- Barker. (2000). Determining the Impact of Distributed Generation on Power Systems: Part 1 – Radial Distribution Systems. (Power Technologies, Inc., IEEE)
- Bamber, M., Bergstrom, M., Darby, A., Darby, S., Elliott, G., Harding, P., ... & Wright, J. (2011). Overcurrent protection for phase and earth fault. *Network protection and automation guide: protective relays, measurement and control*, 1-31
- BDEW. (2008). Technical Guideline Generating Plants Connected To The Medium Voltage Network – Guideline For Generating Plants' Connection To And Parallel Operation With The Medium-Voltage Network, June 2008, Berlin
- Bhadoria vd. (2013). V.S., Pal, N.S., Shrivastava, V.: 'Dağıtılmış üretim tanımları ve DG'nin dağıtım sistemi üzerindeki etkileri üzerine bir inceleme'. *Proc. Int. Conf. Advanced Computing and Communication Technologies (ICACCT-2013™)*, 2013, vol. 7, pp. 1–5
- Blooming , T. M., & Carnovale, D. J. (2006). Application of IEEE Std 519-1992 harmonic limits. In *Conference Record of 2006 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference* (pp. 1-9). IEEE.
- Çetinkaya, ve Dumlu. (2013). DÜ tesislerinin şebeke entegrasyonunda yaşanabilecek olası problemler ve entegrasyon analizleri Akıllı Şebekeler Ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu, 26-27
- Crabtree, J., Collinson, A., Dai, F., Beddoes, A., & Crabtree, J. (2003). Solutions for the connection and operation of distributed generation
- Das. (2004). J. C. Das, "Passive filters - potentialities and limitations," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 40, no. 1, pp. 232-241, Jan.-Feb. 2004, doi: 10.1109/TIA.2003.821666. keywords: {Passive filters;Band pass filters;Active filters;Power harmonic filters;Low pass filters;Reactive power;Frequency;Harmonic analysis;Power generation economics;Voltage},
- DUGAN, R. C., MCGRANAGHAN, M. F., SANTOSO, S., and BEATY, H. W., (2004). *Electrical Power Systems Quality*, Second Edition, McGraw-Hill Companies
- EPDK. (2017). Yılı Piyasa Gelişim Raporu
- Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği. (2015). 2 Ocak 2014 Tarihli ve 28870 Sayılı Resmi Gazetede Yayımlanmıştır, alındığı tarih: 03.03.2015
- Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği. (2015). Elektrik Piyasası Lisans Yönetmeliği, 2 Kasım 2014 Tarihli ve 28809 Sayılı Resmi Gazetede Yayımlanmıştır. , alındığı tarih: 04.03.2015

- Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği. (2015). Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmeliğin Uygulanmasına Dair Tebliğ, 2 Ekim 2013 Tarihli ve 28783 Sayılı Resmi Gazetede Yayımlanmıştır., alındığı tarih: 03.03.2015
- Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği. (2015). Elektrik Şebeke Yönetmeliği, 28 Mayıs 2014 Tarihli ve 29013 Sayılı Mükerrer Resmi Gazetede Yayımlanmıştır. , alındığı tarih: 03.03.2015
- EMRA. (2013). Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik, 28783 § (2013)
- EMRA. (2014). Elektrik Şebeke Yönetmeliği, 29013 (2014)
- Esmailzadeh, M., Alizadeh-Sherayeh, H., Tohidifar, E., Mazaheri-kalahrodi, A., & others. (2015). Distributed Generation: Protection Problems, Optimal Placement. *Majlesi Journal of Energy Management*, 4(2). Retrieved from <http://journals.iaumajlesi.ac.ir/em/index/index.php/em/article/view/159>
- Farkhani , JS, Zareein, M., Soroushmehr, H. ve SIEEE, HM. (2019). Dağıtım ağı için yönlü aşırı akım koruma rölesinin gömülü DG ile koordinasyonu. 2019 5. Bilgiye Dayalı Mühendislik ve Yenilik Konferansı (KBEI) (s. 281-286). IEEE
- Farhoodnea, M., MOHAMED, A., SHAREEF, H., and ZAYANDEHROODI, H. (2013). Power Quality Analysis of Grid-Connected Photovoltaic Systems in Distribution Networks, University Kebangsaan Malaysia, Przegląd Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 89 NR 2a/2013
- Fotovoltaik ve Depolama.(2000). DG ve Depolama, E. 2009. IEEE Std 1547™ için IEEE Uygulama Kılavuzu, Dağıtılmış Kaynakları Elektrik Güç Sistemleriyle Birbirine Bağlamak için IEEE Standardı
- Glover. (1994). J.D., Sarma M., "Power System Analysis and Design", 2nd ed., PWS Publishing Company, Boston, 1994.
- Golovanov, N., LAZAROIU, G. C., ROSCIA, M., and ZANINELLI, D. (2013). Power Quality analysis in Renewable Energy Systems Supplying Distribution Grids, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'13), ISSN 2172-038 X, No.11, Bilbao, İspanya
- Hsiao, Lin, S. M., Chen, S. M., & Chou, C. J. (2024). Multi-objective optimization of planning single-tuned harmonic filter utilizing interactive forest algorithm. *Information Sciences*, 661, 120141.
- Karataş, Alptekin, Yakar. (2022). Mardin historical Kuyumcular (Jewelers) Bazaar restoration evaluation. *Advanced Engineering Days (AED)*, 5, 15-17
- Kezunovic, Ren, J. ve Lotfifard, S. (2016). Güç sistemleri için koruyucu rölelerin tasarımı, modellenmesi ve değerlendirilmesi. Cham, İsviçre: Springer Uluslararası Yayıncılık.
- Kim, Park, S., Kang, B., Kim, S., Tark, SJ, Kim, D. ve Dahiwal. (2013). Testere hasarı aşındırmasını içeren tekstüre işleminin kristalin silikon güneş pilleri üzerindeki etkisi. *Uygulamalı yüzey bilimi* , 284 , 133-137.
- Kritsanasuwan, Leeton, Kulworawanichpong. (2022). Tek ayarlı pasif filtreler kullanılarak AC elektrikli demiryolu güç besleme sisteminin harmonik azaltımı. *Enerji Raporları* , 8 , 1116-1124.
- Kwan, So, P. L., & Chu. (2012). An output regulation-based unified power quality conditioner with Kalman filters. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 59(11), 4248-4262

- IEEE. (2009). Fotovoltaik, DG ve Depolama, E. (2009). IEEE Std 1547™ için IEEE Uygulama Kılavuzu, Dağıtılmış Kaynakları Elektrik Güç Sistemleriyle Birbirine Bağlamak için IEEE Standardı.
- Mendes ve Vargas. (2018). M. A., Vargas, M. C., Batista, O. E., & Simonetti, D. S. L. (2018, May). A review on the methods for mitigate the impacts of photovoltaic distributed generation in power systems protection. In 2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE) (pp. 1-6).
- Marrero. (2021). L. Marrero, L. García-Santander, L. Hernandez-Callejo, P. Bañuelos-Sánchez ve V. Jara González, IEEE Latin Amerika İşlemlerinde "IEEE Standardı 519-2014'ü uygulayan dağıtım ağları gruplarında harmonik distorsiyon karakterizasyonu", cilt. 19, hayır. 4, s. 526-533, Nisan 2021, doi: 10.1109/TLA.2021.9448534. anahtar kelimeler: {Dağıtım ağları; Kaba kümeler; Aletler; Matematiksel model; Hesaplamalı modelleme; Toplam harmonik bozulma; Silikon bileşikler; Kümeleme yöntemleri; Veri Kümeleme; Dağıtım Ağları; harmonik bozulma;IEEE 519-2014;kaba kümeler teorisi},
- Ngo, HQ, Tran, LN, Duong, TQ, Matthaïou, M. ve Larsson. (2017). Hüresiz masif MIMO'nun toplam enerji verimliliği üzerine. Yeşil İletişim ve Ağ Oluşturma Konusunda IEEE İşlemleri , 2 (1), 25-39.
- NREL. (2022). NREL -En İyi Araştırma – Hücre Verimliliği Tablosu,” Nrel.gov. [Çevrimiçi]. Mevcut: <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html/>. [Erişim tarihi: 01-Ekim-2022]
- Pardeshi. (2023). AUTOMATIC POWER FACTOR COMPENSATION FOR INDUSTRIAL USE TO MINIMIZE PENALTY. http://www.journal-iiie-india.com/1_mar_23/12.2.pdf adresinden alındı
- Pesaran. (2017). A review of the optimal allocation of distributed generation: Objectives, constraints, methods, and algorithms, Renew. Sustain. Energy Rev., 75, 293–312, Aug.
- Quirogax, G. A., Almeida, C. F. M., Kagan, H., & Kagan. (2018). Protection System Considerations in Networks with Distributed Generation. Springer, Singapore
- Sidrach-de-Cardona ve Carretero. (2005). Analysis of the current total harmonic distortion for different single-phase inverters for grid-connected pv-systems, Solar Energy Materials and Solar Cells, 87(1-4): 529-540 pp
- Singh, B. N. Singh, A. Chandra, K. Al-Haddad, A. Pandey and D. P. Kothari. (2003). "A review of single-phase improved power quality AC-DC converters," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 50, no. 5, pp. 962-981, Oct. 2003, doi: 10.1109/TIE.2003.817609. keywords: {Power quality;AC-DC power converters;Solid state circuits;Analog-digital conversion;Switching converters;Total harmonic distortion;Bidirectional power flow;Design engineering;Power engineering and energy;Art},
- Shmilovitz. (2005). On the control of photovoltaic maximum power point tracker via output parameters. IEE Proceedings-Electric Power Applications, 152(2), 239-248
- Sookrod ve Wirasanti. (2018). Overcurrent relay coordination tool for radial distribution systems with distributed generation. In 2018 5th International Conference on Electrical and Electronic Engineering (ICEEE) (pp. 13-17)
- ŞENYURT. (2005). Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Semineri, Ankara
- TEDAŞ. (2017). TEDAS Faaliyet Raporu. TEDAŞ. Retrieved from www.tedas.gov.tr
- TEİAŞ. (2018). TEİAŞ İstatistik. TEİAŞ. Retrieved from www.teias.gov.tr

- TEİAŞ. (2017). Türkiye Elektrik Dağıtım Ve Tüketim İstatistikleri. Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. Genel Müdürlüğü, Strateji Geliştirme Daire Başkanlığı TEİAŞ. (2017b, April 30). Yük Tevzi Raporları. Retrieved from https://www.teias.gov.tr/tr/yuk-tevzi_raporlari.
- TEDAŞ. (2017). TEDAŞ Faaliyet Raporu. TEDAŞ. Retrieved from www.tedas.gov.tr
- Tinney vd. (1997). W.F., Hart C.E., "Power Flow Solution by Newton's Methods", IEEE Transaction On Power Apparatus and Systems, Vol.PAS-86, pp. 1449-1460, November 1967
- Turan. (2014). Akıllı Şebekelerde Arıza Analizi ve Koruma. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Vieira, C. R., e Silva, K. D. M., Garcia, F. R. P., Sampaio, R. F., Leao, R. P. S., Ribeiro, S. D. C., & de Medeiros, E. B. (2018). Analysis of the impacts of the photovoltaic solar generation in the electrical system of distribution. In 2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE) (pp. 1-6)



EKLER

EK 1. Yük akış analizi

LOAD FLOW REPORT

Bus		Voltage		Generation		Load		Load Flow					XFMR	
ID	kV	% Mag.	Ang.	MW	Mvar	MW	Mvar	ID	MW	Mvar	Amp	%PF	%Tap	
* Bus1	154.000	100.000	0.0	31.565	-1.523	0.000	0.000	Bus2	12.491	-1.419	47.1	-99.4		
								Bus3	19.074	-0.104	71.5	100.0		
Bus2	34.500	100.272	-1.5	0.000	0.000	7.988	0.582	Bus8	4.496	-2.330	84.5	-88.8		
								Bus1	-12.484	1.748	210.4	-99.0		
Bus3	34.500	99.952	-4.4	0.000	0.000	6.988	0.218	Bus4	12.013	-1.775	203.3	-98.9		
								Bus1	-19.001	1.557	319.2	-99.7		
Bus4	34.500	99.093	-5.2	0.000	0.000	2.981	0.217	Bus3	-11.892	0.700	201.2	-99.8		
								Bus5	10.870	-0.978	184.3	-99.6		
								Bus6	-1.960	0.061	33.1	-100.0		
Bus5	34.500	98.645	-6.0	0.000	0.000	10.818	0.434	Bus4	-10.818	-0.434	183.7	99.9		
Bus6	6.600	99.129	-4.4	0.000	0.000	0.000	0.000	Bus4	1.961	-0.033	173.1	-100.0		
								Bus7	-1.961	0.033	173.1	-100.0		
Bus7	0.400	99.242	-3.5	1.964	0.000	0.001	0.000	Bus6	1.964	0.000	2856.2	100.0		
Bus8	34.500	99.775	-2.0	0.000	0.000	1.993	0.145	Bus2	-4.459	0.912	76.3	-98.0		
								Bus9	3.984	-1.082	69.2	-96.5		
								Bus10	-1.518	0.025	25.5	-100.0		
Bus9	34.500	99.496	-2.3	0.000	0.000	3.971	0.145	Bus8	-3.971	-0.145	66.8	99.9		
Bus10	6.600	99.779	-1.7	0.000	0.000	0.000	0.000	Bus8	1.518	-0.017	133.1	100.0		
								Bus11	-1.518	0.017	133.1	100.0		
Bus11	0.400	99.848	-1.1	1.524	0.000	0.005	0.002	Bus10	1.519	-0.002	2196.5	100.0		

EK 2. Kİsa devre analizi

SHORT-CIRCUIT REPORT

3-Phase fault at bus: **Bus1**

Nominal kV = 154.000
 Voltage c Factor = 1.10 (User-Defined)
 Peak Value = 4.695 kA Method C
 Steady State = 1.517 kA rms

Contribution		Voltage & Initial Symmetrical Current (rms)				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Real	kA Imaginary	X/R Ratio	kA Magnitude
Bus1	Total	0.00	0.203	-1.899	9.4	1.910
Bus2	Bus1	11.78	0.030	-0.216	7.3	0.218
Bus3	Bus1	20.20	0.026	-0.190	7.2	0.192
TM	Bus1	110.00	0.147	-1.492	10.2	1.500
Bus8	Bus2	15.45	0.078	-0.335	4.3	0.344
Lamp1	Bus2	110.00	0.034	-0.393	11.6	0.395
Lamp3	Bus2	110.00	0.020	-0.236	11.6	0.237
Bus4	Bus3	24.97	0.100	-0.633	6.3	0.641
Lamp5	Bus3	110.00	0.017	-0.216	12.5	0.217

Breaking and DC Fault Current (kA)

Based on Total Bus Fault Current

TD (S)	Ib sym	Ib asym	I _{dc}
0.01	1.886	2.716	1.954
0.02	1.878	2.360	1.429
0.03	1.866	2.138	1.044
0.04	1.848	2.000	0.763
0.05	1.819	1.903	0.560
0.06	1.804	1.850	0.410
0.07	1.790	1.814	0.299
0.08	1.775	1.789	0.219
0.09	1.761	1.768	0.160
0.10	1.747	1.751	0.118
0.15	1.717	1.717	0.025
0.20	1.688	1.688	0.005
0.25	1.660	1.660	0.001
0.30	1.660	1.660	0.000

3-Phase fault at bus: **Bus2**

Nominal KV = 34.500
 Voltage c Factor = 1.10 (User-Defined)
 Peak Value = 13.232 kA Method C
 Steady State = 3.916 kA rms

Contribution		Voltage & Initial Symmetrical Current (rms)				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Real	kA Imaginary	X/R Ratio	kA Magnitude
Bus2	Total	0.00	0.441	-5.193	11.8	5.212
Bus8	Bus2	5.00	0.091	-0.370	4.1	0.381
Bus1	Bus2	49.97	0.280	-4.120	14.7	4.129
Lamp1	Bus2	110.00	0.044	-0.440	10.0	0.442
Lamp3	Bus2	110.00	0.026	-0.264	10.0	0.265
Bus9	Bus8	6.42	0.030	-0.165	5.4	0.168
Bus10	Bus8	5.30	0.039	-0.036	0.9	0.053
Lamp12	Bus8	110.00	0.021	-0.169	7.9	0.170
Bus3	Bus1	61.07	0.014	-0.105	7.7	0.106
TM	Bus1	110.00	0.049	-0.818	16.6	0.820

Breaking and DC Fault Current (kA)

Based on Total Bus Fault Current

TD (S)	Ib sym	Ib asym	I _{dc}
0.01	5.123	7.727	5.784
0.02	5.090	6.885	4.636
0.03	5.044	6.253	3.696
0.04	4.976	5.782	2.946
0.05	4.871	5.435	2.412
0.06	4.815	5.188	1.933
0.07	4.760	5.006	1.549
0.08	4.706	4.867	1.241
0.09	4.654	4.759	0.995
0.10	4.603	4.677	0.833
0.15	4.490	4.499	0.281
0.20	4.383	4.384	0.095
0.25	4.281	4.281	0.032

3-Phase fault at bus: **Bus3**

Nominal kV = 34.500
Voltage c Factor = 1.10 (User-Defined)
Peak Value = 9.900 kA Method C
Steady State = 2.799 kA rms

Contribution		Voltage & Initial Symmetrical Current (rms)				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Real	kA Imaginary	X/R Ratio	kA Magnitude
Bus3	Total	0.00	0.372	-3.925	10.6	3.943
Bus4	Bus3	6.58	0.136	-0.765	5.6	0.777
Bus1	Bus3	68.43	0.210	-2.896	13.8	2.904
Lump5	Bus3	110.00	0.026	-0.264	10.0	0.265
Bus5	Bus4	10.17	0.066	-0.480	7.3	0.485
Bus6	Bus4	7.64	0.038	-0.036	1.0	0.052
Lump7	Bus4	110.00	0.032	-0.249	7.8	0.251
Bus2	Bus1	72.91	0.012	-0.082	6.7	0.083
TM	Bus1	110.00	0.035	-0.566	16.3	0.567

Breaking and DC Fault Current (kA)

Based on Total Bus Fault Current

TD (S)	Ib asym	Ib asym	Idc
0.01	3.867	5.754	4.261
0.02	3.839	5.089	3.342
0.03	3.807	4.611	2.603
0.04	3.750	4.263	2.027
0.05	3.649	4.000	1.638
0.06	3.601	3.823	1.285
0.07	3.553	3.693	1.008
0.08	3.506	3.595	0.791
0.09	3.461	3.516	0.621
0.10	3.416	3.455	0.518
0.15	3.317	3.321	0.159
0.20	3.223	3.223	0.049
0.25	3.133	3.134	0.015
0.30	3.133	3.133	0.005

3-Phase fault at bus: **Bus4**

Nominal kV = 34.500
 Voltage c Factor = 1.10 (User-Defined)
 Peak Value = 7.830 kA Method C
 Steady State = 2.369 kA rms

Contribution		Voltage & Initial Symmetrical Current (rms)				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Real	kA Imaginary	X/R Ratio	kA Magnitude
Bus4	Total	0.00	0.590	-3.377	5.7	3.428
Bus3	Bus4	22.11	0.469	-2.568	5.5	2.610
Bus5	Bus4	3.85	0.055	-0.509	9.2	0.512
Bus6	Bus4	2.24	0.039	-0.036	0.9	0.053
Lump7	Bus4	110.00	0.026	-0.264	10.0	0.265
Bus1	Bus3	75.87	0.424	-2.354	5.5	2.392
Lump5	Bus3	110.00	0.045	-0.214	4.8	0.218
Lump9	Bus5	110.00	0.028	-0.255	9.2	0.256
Lump10	Bus5	110.00	0.028	-0.255	9.2	0.256
Bus7	Bus6	4.77	0.204	-0.189	0.9	0.278
PVA1	Bus7	4.77	3.374	-3.118	0.9	4.594

Breaking and DC Fault Current (kA)

Based on Total Bus Fault Current

TD (S)	Ib sym	Ib asym	Idc
0.01	3.354	4.430	2.895
0.02	3.326	3.783	1.802
0.03	3.296	3.477	1.107
0.04	3.244	3.315	0.680
0.05	3.152	3.184	0.447
0.06	3.109	3.121	0.278
0.07	3.067	3.071	0.173
0.08	3.025	3.027	0.108
0.09	2.985	2.985	0.067
0.10	2.945	2.946	0.047
0.15	2.860	2.860	0.005
0.20	2.779	2.779	0.000

3-Phase fault at bus: **Bus5**

Nominal kV = 34.500
 Voltage c Factor = 1.10 (User-Defined)
 Peak Value = 6.638 kA Method C
 Steady State = 2.047 kA rms

Contribution		Voltage & Initial Symmetrical Current (rms)				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Real	kA Imaginary	X/R Ratio	kA Magnitude
Bus5	Total	0.00	0.569	-2.915	5.1	2.970
Bus4	Bus5	18.37	0.516	-2.388	4.6	2.443
Lump9	Bus5	110.00	0.026	-0.264	10.0	0.265
Lump10	Bus5	110.00	0.026	-0.264	10.0	0.265
Bus3	Bus4	36.48	0.453	-2.132	4.7	2.180
Bus6	Bus4	19.81	0.034	-0.036	1.1	0.050
Lump7	Bus4	110.00	0.028	-0.220	7.8	0.221

Breaking and DC Fault Current (kA)

Based on Total Bus Fault Current

TD (S)	Ib sym	Ib asym	I _{dc}
0.01	2.907	3.748	2.367
0.02	2.882	3.216	1.427
0.03	2.856	2.977	0.838
0.04	2.811	2.854	0.492
0.05	2.729	2.749	0.329
0.06	2.691	2.698	0.198
0.07	2.653	2.655	0.119
0.08	2.616	2.617	0.072
0.09	2.580	2.580	0.043
0.10	2.544	2.545	0.032
0.15	2.468	2.468	0.003
0.20	2.395	2.395	0.000
0.25	2.326	2.326	0.000
0.30	2.326	2.326	0.000

3-Phase fault at bus: **Bus6**

Nominal kV = 6.600
 Voltage c Factor = 1.10 (User-Defined)
 Peak Value = 19.376 kA Method C
 Steady State = 6.644 kA rms

Contribution		Voltage & Initial Symmetrical Current (rms)				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Real	kA Imaginary	X/R Ratio	kA Magnitude
Bus6	Total	0.00	0.981	-7.869	8.0	7.930
Bus4	Bus6	62.14	0.774	-7.680	9.9	7.719
Bus7	Bus6	2.55	0.208	-0.189	0.9	0.281
Bus3	Bus4	70.49	0.134	-1.130	8.4	1.138
Bus5	Bus4	63.72	0.010	-0.223	23.1	0.224
Lamp7	Bus4	110.00	0.004	-0.116	29.1	0.116
PVA1	Bus7	2.55	3.426	-3.118	0.9	4.632

Breaking and DC Fault Current (kA)

Based on Total Bus Fault Current

TD (S)	Ib sym	Ib asym	Ide
0.01	7.906	11.254	8.010
0.02	7.900	9.889	5.948
0.03	7.893	9.035	4.397
0.04	7.860	8.506	3.250
0.05	7.778	8.158	2.460
0.06	7.739	7.951	1.827
0.07	7.699	7.817	1.357
0.08	7.659	7.725	1.008
0.09	7.619	7.655	0.749
0.10	7.579	7.601	0.577
0.15	7.482	7.483	0.133
0.20	7.385	7.385	0.031
0.25	7.290	7.290	0.007
0.30	7.290	7.290	0.002

3-Phase fault at bus: **Bus7**

Nominal kV = 0.400
Voltage c Factor = 1.05 (User-Defined)
Peak Value = 190.695 kA Method C
Steady State = 69.637 kA rms

Contribution		Voltage & Initial Symmetrical Current (rms)				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Real	kA Imaginary	X/R Ratio	kA Magnitude
Bus7	Total	0.00	10.320	-77.106	7.5	77.794
Bus6	Bus7	40.84	6.834	-73.989	10.8	74.304
PVA1	Bus7	0.00	3.486	-3.118	0.9	4.677
Bus4	Bus6	77.08	0.414	-4.484	10.8	4.503

Breaking and DC Fault Current (kA)

Based on Total Bus Fault Current

TD (S)	Ib sym	Ib asym	Idc
0.01	77.794	111.080	79.290
0.02	77.794	98.343	60.163
0.03	77.794	90.136	45.525
0.04	77.794	85.080	34.449
0.05	77.794	82.163	26.436
0.06	77.794	80.339	20.061
0.07	77.794	79.269	15.223
0.08	77.794	78.647	11.551
0.09	77.794	78.286	8.766
0.10	77.794	78.091	6.803
0.15	77.794	77.813	1.731

3-Phase fault at bus: **Bus8**

Nominal kV = 34.500
 Voltage c Factor = 1.10 (User-Defined)
 Peak Value = 7.188 kA Method C
 Steady State = 2.876 kA rms

Contribution		Voltage & Initial Symmetrical Current (rms)				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Real	kA Imaginary	X/R Ratio	kA Magnitude
Bus8	Total	0.00	1.212	-3.476	2.9	3.681
Bus2	Bus8	43.21	1.128	-3.092	2.7	3.291
Bus9	Bus8	1.48	0.027	-0.173	6.4	0.175
Bus10	Bus8	1.11	0.040	-0.036	0.9	0.054
Lump12	Bus8	110.00	0.018	-0.176	10.0	0.177
Bus1	Bus2	70.99	0.951	-2.645	2.8	2.811
Lump1	Bus2	110.00	0.110	-0.279	2.5	0.300
Lump3	Bus2	110.00	0.066	-0.168	2.5	0.180
Lump14	Bus9	110.00	0.013	-0.086	6.4	0.087
Lump15	Bus9	110.00	0.013	-0.086	6.4	0.087
Bus11	Bus10	3.07	0.207	-0.189	0.9	0.280
PVA3	Bus11	3.07	3.414	-3.118	0.9	4.623

Breaking and DC Fault Current (kA)

Based on Total Bus Fault Current

TD (S)	Ib sym	Ib asym	I _{dc}
0.01	3.635	4.099	1.895
0.02	3.618	3.710	0.820
0.03	3.588	3.603	0.328
0.04	3.545	3.547	0.131
0.05	3.488	3.489	0.074
0.06	3.459	3.459	0.032
0.07	3.430	3.430	0.014
0.08	3.401	3.401	0.006
0.09	3.373	3.373	0.002
0.10	3.346	3.346	0.002
0.15	3.286	3.286	0.000
0.20	3.229	3.229	0.000
0.25	3.175	3.175	0.000
0.30	3.175	3.175	0.000

3-Phase fault at bus: **Bus9**

Nominal kV = 34.500
 Voltage c Factor = 1.10 (User-Defined)
 Peak Value = 5.542 kA Method C
 Steady State = 2.377 kA rms

Contribution		Voltage & Initial Symmetrical Current (rms)				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Real	kA Imaginary	X/R Ratio	kA Magnitude
Bus9	Total	0.00	1.123	-2.739	2.4	2.960
Bus8	Bus9	23.63	1.097	-2.564	2.3	2.789
Lump14	Bus9	110.00	0.013	-0.087	6.7	0.088
Lump15	Bus9	110.00	0.013	-0.087	6.7	0.088
Bus2	Bus8	57.55	1.041	-2.390	2.3	2.607
Bus10	Bus8	24.24	0.033	-0.036	1.1	0.049
Lump12	Bus8	110.00	0.022	-0.138	6.2	0.140

Breaking and DC Fault Current (kA)

Based on Total Bus Fault Current

TD (S)	Ib sym	Ib asym	Idc
0.01	2.931	3.203	1.292
0.02	2.920	2.962	0.497
0.03	2.897	2.902	0.172
0.04	2.864	2.865	0.060
0.05	2.824	2.824	0.031
0.06	2.803	2.803	0.012
0.07	2.782	2.782	0.004
0.08	2.762	2.762	0.002

3-Phase fault at bus: **Bus10**

Nominal kV = 6.600
 Voltage c Factor = 1.10 (User-Defined)
 Peak Value = 25.366 kA Method C
 Steady State = 9.951 kA rms

Contribution		Voltage & Initial Symmetrical Current (rms)				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Real	kA Imaginary	X/R Ratio	kA Magnitude
Bus10	Total	0.00	2.550	-11.340	4.5	11.619
Bus8	Bus10	45.20	2.321	-11.151	4.8	11.390
Bus11	Bus10	1.96	0.208	-0.189	0.9	0.281
Bus2	Bus8	65.94	0.444	-1.922	4.3	1.973
Bus9	Bus8	45.84	0.003	-0.105	33.1	0.105
Lamp12	Bus8	110.00	-0.003	-0.106	39.7	0.106
PVA3	Bus11	1.96	3.440	-3.118	0.9	4.642

Breaking and DC Fault Current (kA)

Based on Total Bus Fault Current

TD (S)	Ib sym	Ib asym	I _{dc}
0.01	11.572	14.460	8.671
0.02	11.558	12.600	5.017
0.03	11.520	11.856	2.803
0.04	11.452	11.558	1.566
0.05	11.355	11.401	1.025
0.06	11.301	11.317	0.591
0.07	11.248	11.253	0.341
0.08	11.195	11.197	0.197
0.09	11.143	11.143	0.113
0.10	11.090	11.091	0.083
0.15	10.968	10.968	0.006
0.20	10.847	10.847	0.000
0.25	10.729	10.729	0.000
0.30	10.729	10.729	0.000

3-Phase fault at bus: **Bus11**

Nominal kV = 0.400
 Voltage c Factor = 1.05 (User-Defined)
 Peak Value = 248.198 kA Method C
 Steady State = 98.485 kA rms

Contribution		Voltage & Initial Symmetrical Current (rms)				
From Bus ID	To Bus ID	% V From Bus	kA Real	kA Imaginary	X/R Ratio	kA Magnitude
Bus11	Total	0.00	19.351	-106.266	5.5	108.013
Bus10	Bus11	44.12	15.866	-103.148	6.5	104.361
PVA3	Bus11	0.00	3.486	-3.118	0.9	4.677
Bus8	Bus10	69.20	0.962	-6.251	6.5	6.325

Breaking and DC Fault Current (kA)

Based on Total Bus Fault Current

TD (S)	Ib sym	Ib asym	I _{dc}
0.01	107.969	142.574	93.114
0.02	107.972	123.939	60.852
0.03	107.844	114.705	39.076
0.04	107.587	110.475	25.092
0.05	107.317	108.733	17.486
0.06	107.183	107.789	11.414
0.07	107.047	107.306	7.450
0.08	106.910	107.020	4.863
0.09	106.772	106.819	3.174
0.10	106.634	106.660	2.347
0.15	106.306	106.307	0.296
0.20	105.976	105.976	0.037
0.25	105.647	105.647	0.005
0.30	105.647	105.647	0.001

ÖZ GEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Yusuf Ali YÜCEL

Eğitim Bilgileri

Lisans

Üniversite : Kocaeli Üniversitesi

Fakülte : Mühendislik Fakültesi

Bölüm : Elektrik Mühendisliği

Mezuniyet Yılı : 2021





VAN YÜZÜNCÜ YIL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
LİSANSÜSTÜ TEZ ORJİNALLİK RAPORU

Tarih/...../.....

Tez Başlığı: Fotovoltaik Enerji Sistemlerinin Elektrik Dağıtım Şebekesine Entegrasyonunun Analiz Edilmesi

Yukarıda başlığı belirtilen tez çalışmamın, kapak sayfası, giriş, ana bölümler ve sonuç bölümlerinden oluşan toplam 50 (e l l i) sayfalık kısmına ilişkin, 04/06/2024 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre tezimin benzerlik oranı %5 (Beş) dir.

Uygulanan filtreler aşağıda verilmiştir:

- Kabul ve onay sayfası hariç,
- Teşekkür hariç,
- İçindekiler hariç,
- Simge ve kısaltmalar hariç,
- Gereç ve yöntemler hariç,
- Kaynakça hariç,
- Alıntılar hariç,
- Tezden çıkan yayınlar hariç,
- 7 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç (Limit match size to 7 words)

Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Lisansüstü Tez Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılmasına İlişkin Yönergeyi inceledim ve bu yönergede belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Tarih ve İmza

Adı Soyadı: Yusuf Ali YÜCEL

Öğrenci No: 21910001187

Anabilim Dalı: Elektrik – Elektronik Ana Bilim Dalı

Programı: Yüksek Lisans

Statüsü: (x)Yüksek lisans () Doktora

DANIŞMAN
UYGUNDUR

ENSTİTÜ ONAYI
UYGUNDUR