T.C.
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK ENERJİ SANTRALLERİNİN ELEKTRİK GÜÇ KALİTE PARAMETRELERİNİN İZLENMESİ VE ANALİZİ

Sami ABAMOR

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ŞANLIURFA

2016

Yrd. Doç. Dr. Nurettin BEŞLİ danışmanlığında Sami ABAMOR' un hazırladığı **'Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik Enerji Santrallerinin Elektrik Güç Kalite Parametrelerinin İzlenmesi ve Analizi'** konulu bu çalışma 12/01/2016 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Nurettin BEŞLİ .....

Üye : Doç. Dr. Mehmet Tahir GÜLLÜOĞLU.....

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet KAYA .....

Bu Tezin Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Prof. Dr. Sinan UYANIK
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
ŞEKİLLER DİZİNİ iv
ÇİZELGELER DİZİNİ vi
SİMGELER DİZİNİ vii
1.GİRİŞ 1
1.1. FV Santral Sistemleri 3
1.2. FV Panel Yapısı ve Çeşitleri 4
1.2.1. Tek kristalli FV panel 6
1.2.2. Çok kristalli FV panel 6
1.2.3. İnce film FV panel 7
1.3. Bağlantı Şekillerine Göre FV Santraller 7
1.3.1. Şebeke bağlantısız FV santraller 7
1.3.2. Şebeke bağlantılı FV santraller 9
1.3.3. Hibrit FV santraller 10
1.4. Şebeke Bağlantılı FV Santrallerin Güç Kalite Parametreleri ve Olası Etkileri 11
1.4.1. Yavaş gerilim değişimleri 11
1.4.2. Hızlı gerilim değişimleri 12
1.4.3. Gerilim dengesizlikleri 14
1.4.4. Aktif güç, reaktif güç ve görünür güç değişimleri 14
1.4.5. Harmonik değişimleri 16
1.4.6. Ara harmonikler 17
1.4.7. Gerilim kırpışması (fliker) 17
1.4.8. Gerilim frekans değişimleri 19
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 19
2.1. FV Santrallerin Güç Kalite Analizi ile ilgili Genel Çalışmalar 19
2.2. DIgSILENT PowerFactory Simülasyon Programıyla FV Santrallerde Güç Kalite Analizi ile İlgili Yapılan Genel Çalışmalar 21
3. MATERYAL ve YÖNTEM 23
3.1. Materyal 23
3.1.1. Şebeke bağlantılı 240 kWp fotovoltaik santral yapısı ve bileşenleri 23
3.1.2. Fluke 435 güç kalite analizörü 34
3.1.2.1. Fluke 435 güç kalite analizörü ölçüm fonksiyonları 35
3.1.2.2. Fluke 435 güç kalite analizörü Power Log yazılımı 45
3.2. Yöntem 47
3.2.1. TS IEC 61000-4-30 deneyler ve ölçme teknikleri - güç kalitesini ölçme metotları 47
3.2.2. TS EN 50160 enerji kalite standardı 49
3.2.2.1. Gerilim etkin değer değişimi 50
3.2.2.2. Gerilim dengesizlikleri 50
3.2.2.3. Gerilimde ve akımda meydana gelen olaylar 51
3.2.2.4. Aktif, reaktif ve görünür güçler 51
3.2.2.5. Akım harmonik değişimleri 51
3.2.2.6. Gerilim harmonik değişimleri 52
3.2.2.7. Ara harmoniklerin ölçülmesi 53
3.2.2.8. Gerilim kırpışması (fliker) değişimi 53
3.2.2.9. Gerilimdeki frekans değişimleri 53
3.2.3. Digsilent Powerfactory simülasyon programı ile enerji nakil hattı benzetim yöntemleri 53
3.2.3.1. DIgSILENT PowerFactory programı yük akış modellemesi 55
3.2.3.2. DIgSILENT PowerFactory programı yarı-dinamik simülasyon yöntemi 56
3.2.4. 240 kWp-FV santralin DIgSILENT PowerFactory programı ile modellenmesi 57
3.2.4.1. DIgSILENT PowerFactory programı ile terminallerin modellenmesi 59

3.2.4.2. DIgSILENT PowerFactory programı ile kablo modellemesi 60
3.2.4.3. DIgSILENT PowerFactory programı ile transformatör modellemesi 62
3.2.4.4. DIgSILENT PowerFactory programı ile yük modellemesi 63
3.2.4.5. DIgSILENT PowerFactory programı ile FV santral modellemesi 65
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA 67
4.1. Fluke 435 cihazı FV santral güç kalite ölçüm sonuçları analizi 67
4.1.1. FV santralde üretilen gerilim ve akım efektif değeri ölçüm analizi 68
4.1.2. FV santrale ait gerilim dengesizliği ölçüm analizi 70
4.1.3. FV santrale ait gerilimde meydana gelen olayların analizi 73
4.1.4. FV Santrale Ait Gerilim Harmonik Analizi 74
4.1.4. FV santrale ait akım harmonik analizi 78
4.1.5. FV santrale ait gerilimdeki frekans değişim analizi 81
4.1.6. FV santrale ait aktif güç değişim analizi 81
4.1.7. FV santrale ait gerilim kırpışması (fliker) analizi 83
4.2. DIgSILENT PowerFactory programı ile 240 kWp-FV santralin enerji nakil hattı simülasyon sonuçları 87
4.2.1. Yük akış yöntemi ile enerji nakil hattının simülasyonu 87
4.2.2. Yarı-dinamik güç benzetim yöntemi ile enerji nakil hattının simülasyonu 88
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 91
5.1. Sonuçlar 91
5.2. Öneriler 92
KAYNAKLAR 94
ÖZGEÇMİŞ 98
EKLER 99
EK 1: FV Santral tek hat şebeke bağlantı şeması 99

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ŞEBEKE BAĞLANTILI FOTOVOLTAİK ENERJİ SANTRALLERİNİN ELEKTRİK GÜÇ KALİTE PARAMETRELERİNİN İZLENMESİ VE ANALİZİ

Sami ABAMOR

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Nurettin BEŞLİ
Yıl: 2016, Sayfa: 99

Son zamanlarda, fotovoltaik panel ve güneş enerji santral sistem bileşenlerinde meydana gelen teknolojik gelişmeler, verimlerin artması, maliyetlerin düşmesi ve teşvik programlarıyla üreticinin desteklenmesi fotovoltaik santralleri daha fazla ilgi odağı haline getirmiştir. Şebeke bağlantılı FV santral kurulumlarının artmasıyla beraber enerji nakil hatlarının alışılmış tek yönlü yük akışı, otomatik olarak çift yönlü olarak değişmiştir. Şebeke bağlantılı fotovoltaik santrallerde üretilen enerjinin güç kalite parametreleri TS EN 50160 güç kalite standardında belirtilen sınır değerleri içerisinde olmalıdır. Böylece, tüketicilere kaliteli elektrik enerjisinin iletilmesi ve arz-talep güvenliğinin korunması sağlanabilecektir. Yapılan bu tez çalışmasında, Şanlıurfa ili içerisinde bulunan 240 kWp kurulu güce sahip Fotovoltaik Santralin, AG tarafında şebekeye verdiği elektrik enerjisinin güç kalite parametreleri ve etkileri incelenmiştir. IEC 61000-4-30 ölçüm metodolojisine uygun şekilde Fluke 435 güç kalite analizörü cihazı kullanılarak ölçümler yapılmış ve bu sonuçlar TS EN 50160 güç kalite standardına göre analiz edilmiştir. Fotovoltaik santrale ait güç kalite parametrelerinin OG hattına etkisini incelemek için, DIgSILENT PowerFactory simülasyon programı kullanılmıştır. Yük akış analizi ve dinamik simülasyon yöntemleriyle enerji nakil hattının simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, güç kalite sorunları ortaya konulmuş ve alınabilecek önlemler belirtilmiştir. Ayrıca, fotovoltaik santrallerin kurulması öncesinde de dikkat edilmesi gereken hususlar açıklanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Fotovoltaikler, fotovoltaik santraller, güç kalite analizi, TS EN 50160, IEC 61000-4-30, DIgSILENT PowerFactory

ABSTRACT

MSc Thesis

MONITORING AND ANALYSIS OF ELECTRICAL POWER QUALITY PARAMETERS OF ON-GRID PHOTOVOLTAIC POWER PLANTS

Sami ABAMOR

Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronic Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Nurettin BEŞLİ
Year: 2016, Page: 99

Lately, photovoltaic power plants have become the center of attraction due to the technological developments in photovoltaic panels and power plant system components, cost reduction and incentive programs for investors. Together with the increase of on-grid photovoltaic power plant installations, the usual one way flow of energy transport lines are automatically replaced with two-way flow systems. It is very important that power quality parameters of energy generated at on-grid power plants complies with TS EN 50160 power quality standard. Therefore, it will be possible to transfer quality electric energy to customers and to preserve supply-demand safety. In this study, the power quality parameters of energy transferred to Low Voltage (LV) side of the grid by 240 kWp photovoltaic power plant located in Şanlıurfa, and their effects are analyzed. Measurements are done according to IEC 61000-4-30 measurement methodology by using Fluke 435 power quality analyzer. And results are examined in line with TS EN 50160 power quality standard. In order to observe the effects of power quality parameters of photovoltaic power plant to High Voltage (HV) side, DIgSILENT PowerFactory simulation program is used. Simulation of energy transfer line is carried out through Load flow and dynamic simulation methods. According to the results acquired, power quality problems are explained and precautions to be taken are described. Moreover, important required steps are pointed out before the installation of photovoltaic power plant.

KEY WORDS: Photovoltaics, photovoltaic power plant, power quality analysis, TS EN 50160, IEC 61000-4-30, DIgSILENT PowerFactory

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının başından sonuna kadar her aşamasında bana yardımcı olan, bilgi ve deneyimlerini titizlikle aktaran danışmanım, Yrd. Doç. Dr. Nurettin BEŞLİ'ye, değerli GAP YENEV Merkezinde ki çalışma arkadaşlarıma, Elektrik-Elektronik Mühendisi Ali ZONTURLU'ya, Elektrik-Elektronik Mühendisi Oğuz Boztaş'a ve maddi manevi destekleri ile her zaman yanımda olan aileme ve tüm dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Türkiye' deki lisanssız enerji üretim santralleri proje başvuru sayısı dağılım grafiği.....2
Şekil 1.2. Türkiye' deki lisanssız ges proje başvuru sayısı dağılım grafiği.....2
Şekil 1.3. FV hücre elektrik akımı üretim şekli.....5
Şekil 1.4. FV hücre, modül, panel, dizi ve FV santral oluşum döngüsü 5
Şekil 1.5. Şebeke bağlantısız FV santral bileşenleri genel yapısı.....8
Şekil 1.6. Şebeke bağlantılı FV santrale ait bileşenlerin genel yapısı 9
Şekil 1.7. Hibrit FV santrale ait bileşenlerin genel yapısı 10
Şekil 1.8. 3-fazlı bir sistemin anlık kesinti grafiği 13
Şekil 1.9. Bir güç sistemi gerilim çökmesi dalga formu 13
Şekil 1.10. Bir güç sistemi gerilim yükselmesi dalga formu 14
Şekil 1.11. Şebeke bağlantılı FV santral eşdeğer devresi.....15
Şekil 1.12. Harmonik sinyalinin kavramsal diyagramı 16
Şekil 3.1. 240 kWp FV santral görüntüsü 23
Şekil 3.2. FV Santral blok bağlantı şeması 24
Şekil 3.3. FV Santral tek hat şebeke bağlantı şeması 25
Şekil 3.4. CSUN 250 Wp FV panel şekli 26
Şekil 3.5. a) Sunny Tripower 17000TL inverter şekli b)İnverter bağlantı bilgileri.....27
Şekil 3.6. a) FV santral besleme panosu iç görüntüsü b)Besleme panosu elektriksel sembolü.....28
Şekil 3.7. FV santral kablo tavası görüntüsü.....28
Şekil 3.8. FV santral AG dağıtım panosu görüntüsü.....29
Şekil 3.9. FV santral AG dağıtım panosu elektrik sembolleri.....30
Şekil 3.10. a) FV santral, trafo odası ve bağlantıları b) Trafo elektrik sembolü 30
Şekil 3.11. FV santral, OG çıkış pano hücre görüntüleri 31
Şekil 3.12. FV santral, OG çıkış pano hücre elektrik sembolleri 31
Şekil 3.13. a) FV Santral nihayet direği bağlantısı b) Nihayet direği bağlantısı elektrik sembolü.....33
Şekil 3.14. Fluke 435 güç kalite analizörünün görüntüsü 34
Şekil 3.15. Analizörün 3-fazlı dağıtım sistemine bağlantısı.....35
Şekil 3.16. Analizör setup ekran görüntüsü.....36
Şekil 3.17. Analizör konfigürasyon ayar ekran görüntüsü 36
Şekil 3.18. Analizör scope ekran görüntüsü.....36
Şekil 3.19. Analizör scope fazör ekran görüntüsü.....37
Şekil 3.20. Analizör menü ekran görüntüsü 37
Şekil 3.21. Analizör Volt/Amper/Hertz ekran görüntüsü.....38
Şekil 3.22. Analizör Volt, Amper ve Hertz Trend Ekranı 38
Şekil 3.23. Analizör olay tabloları ekranı.....39
Şekil 3.24. Harmonik çubuk grafik ekranı 39
Şekil 3.25. Analizör güç ve enerji ölçüm ekranı 40
Şekil 3.26. Analizör fliker ekranı 41
Şekil 3.27. Analizör dengesizlik ölçüm ekranı.....41
Şekil 3.28. Analizör geçici akım ayar ekranı 42
Şekil 3.29. Analizör geçici akım ölçüm ekranı 42
Şekil 3.30. Analizör kalkış ölçüm ekranı 43
Şekil 3.31. Analizör ana şebeke sinyali trend ölçüm ekranı.....43
Şekil 3.32. Analizör ana şebeke sinyali olay ölçüm ekranı 44
Şekil 3.33. Analizör kayıt cihazı ayarlama ekranı.....44
Şekil 3.34. Analizör kayıt cihazı parametre seçim ekranı 45
Şekil 3.35. Power Log yazılımı ana ekran görüntüsü.....46
Şekil 3.36. Fluke 435 güç kalite analizörünün FV santrale bağlantı tek hat şeması.....48
Şekil 3.37. Güç kalite analizörü trafo bağlantı görüntüleri 49
Şekil 3.38. Güç kalite analizörü cihazının probların bağlantı görüntüsü.....49

Şekil 3.39. DIgSILENT PowerFactory yük akış simülasyon ekranı 55
Şekil 3.40. DIgSILENT PowerFactory yarı dinamik seçim simülasyon ekranı 56
Şekil 3.41. Şanlıurfa TM2 Fider5 Çamlıdere enerji nakil hattı tek hat şeması.....58
Şekil 3.42. DIgSILENT PowerFactory programı terminal seçim ekranı 59
Şekil 3.43. DIgSILENT PowerFactory programı terminal değer seçim ekranı.....60
Şekil 3.44. DIgSILENT PowerFactory programı kablo modelleme ekranı 60
Şekil 3.45. DIgSILENT PowerFactory programı kablo değer seçim ekranı 61
Şekil 3.46. DIgSILENT PowerFactory programı transformatör modelleme ekranı.....62
Şekil 3.47. DIgSILENT PowerFactory programı transformatör modelleme ekranı.....63
Şekil 3.48. DIgSILENT PowerFactory programı yük modelleme ekranı 64
Şekil 3.49. DIgSILENT PowerFactory programı yük seçim ekranı.....65
Şekil 3.50. DIgSILENT PowerFactory programı FV Santral modelleme ekranı 65
Şekil 3.51. DIgSILENT PowerFactory programı FV Santral seçim ekranı 66
Şekil 4.1. Power Log yazılımı özet ekran görüntüsü.....67
Şekil 4.2. Power Log yazılımı L1-fazı gerilim efektif değeri değişim grafiği 68
Şekil 4.3. Power Log yazılımı L2-fazı gerilim efektif değeri değişim grafiği 68
Şekil 4.4. Power Log yazılımı L3-fazı gerilim efektif değeri değişim grafiği 69
Şekil 4.5. Power Log yazılımı L1-fazı akım değişim grafiği 69
Şekil 4.6. Power Log yazılımı L2-fazı akım değişim grafiği 70
Şekil 4.7. Power Log yazılımı L3-fazı akım değişim grafiği 70
Şekil 4.8. Power Log yazılımı L1-fazı gerilim efektif değeri değişim istatistiği grafiği.....71
Şekil 4.9. Power Log yazılımı L2-fazı gerilim efektif değeri değişim istatistiği grafiği.....71
Şekil 4.10. Power Log yazılımı L3-fazı gerilim efektif değeri değişim istatistiği grafiği.....72
Şekil 4.11. Power Log yazılımı FV santralde voltajda meydana gelen durum grafiği 74
Şekil 4.12. Power Log yazılımı FV santralde tek sayılı voltaj harmoniği ve THD değişimi grafiği.....75
Şekil 4.13. Power Log yazılımı FV santralde çift sayılı voltaj harmoniği değişimi grafiği 75
Şekil 4.14. Power Log yazılımı FV santral 3-faz gerilim THD değişim grafiği 78
Şekil 4.15. Power Log yazılımı FV santralde tek sayılı akım harmoniği ve THD değişimi grafiği.....79
Şekil 4.16. Power Log yazılımı FV santralde çift sayılı akım harmoniği ve THD değişimi grafiği 80
Şekil 4.17. Power Log yazılımı FV santralde gerilim frekans değişimi grafiği 81
Şekil 4.18. Power Log yazılımı ile FV santralde L1 fazı aktif güç değişimi grafiği 82
Şekil 4.19. Power Log yazılımı ile FV santralde L2 fazı aktif güç değişimi grafiği 82
Şekil 4.20. Power Log yazılımı ile FV santralde L3 fazı aktif güç değişimi grafiği 82
Şekil 4.21. Power Log yazılımı ile FV santralde üretilen toplam aktif güç değişimi grafiği 83
Şekil 4.22. Power Log yazılımı ile FV santralde L1 fazına ait fliker değişimi grafiği.....84
Şekil 4.23. Power Log yazılımı ile FV santralde L2 fazına ait fliker değişimi grafiği.....84
Şekil 4.24. Power Log yazılımı ile FV santralde L3 fazına ait fliker değişimi grafiği.....85
Şekil 4.25. 240 kWp FV Santral DIgSILENT PowerFactory tek hat şeması.....86
Şekil 4.26. 240 kWp FV Santral DIgSILENT PowerFactory tek hat şeması yük akış simülasyonu.....87
Şekil 4.27. 240 kWp FV Santral DIgSILENT PowerFactory Terminal 6-7 yük akışı simülasyonu 88
Şekil 4.28. 240-kWp FV Santral DIgSILENT PowerFactory Terminal 7 dinamik güç grafiği 89
Şekil 4.29. 240-kWp FV Santral DIgSILENT PowerFactory Terminal 7 bir günlük dinamik güç grafiği 90

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1. CSUN 250 Wp FV panel modül elektriksel değerleri 26
Çizelge 3.2. Sunny Tripower 17000TL inverter elektriksel değerleri 27
Çizelge 3.3. Akım harmonikleri sınır değerleri 51
Çizelge 3.4. Gerilim harmonikleri sınır değerleri 52
Çizelge 3.5. Gerilim kırpışması sınır değerleri 53
Çizelge 3.6. Havai hat elektriksel değerler tablosu 62
Çizelge 4.1. FV Santral L1 fazı-gerilim harmonikleri ölçüm ve sınır değerleri 76
Çizelge 4.2. FV Santral L2 fazı-gerilim harmonikleri ölçüm ve sınır değerleri 76
Çizelge 4.3. FV Santral L3 fazı-gerilim harmonikleri ölçüm ve sınır değerleri 77
Çizelge 4.4. FV Santral L1, L2 ve L3 fazı tek sayılı akım harmonikleri ve TTB ölçüm sınır değerleri 79
Çizelge 4.5. FV Santral L1, L2 ve L3 fazı çift sayılı akım harmonikleri ve TTB ölçüm sınır değerleri 80
Çizelge 5.1. FV Santrallerde oluşan güç kalite olaylarına karşı alınacak önlemler 92

SİMGELER DİZİNİ

FV	Fotovoltaik
kWp	Kilowatt peak
MWp	Megawatt peak
DC	Doğru Akım
AC	Alternatif Akım
AG	Alçak Gerilim
OG	Orta Gerilim
TRI	Trijenerasyon
GES	Güneş Enerjisi Santrali
HES	Hidroelektrik Santrali
RES	Rüzgar Enerji Santrali
DES	Dağıtık Enerji Santralleri
MPPT	En Büyük Güç Noktası İzleyici
RMS	Etkin Değer
pu	Normalize Edilmiş Değer
R_U	Tüketilen İşletme Direnci
Ig	Fotovoltaik Santral Tarafından Üretilen AC Akımı
Ir	Şebekeden Gelen AC Akımı
Iu	Tüketici Tarafından Çekilen Akım
U	AC Şebeke Gerilimi
THD	Toplam Harmonik Bozulma
TTB	Toplam Talep Bozumu
In	n. Akım Harmoniği
Vn	n. Gerilim Harmoniği
V_1	Temel Gerilim Genliği
I_1	Temel Akım Genliği
f	Frekans
Pst	Kısa Süreli Fliker İndeksi
Plt	Uzun Süreli Fliker İndeksi
A_0	Ana Sinyal Gerilim Genliği
Isc	Kısa Devre Akımı
I_L	Talep Akımı Gerilimi
V_{OC}	Fotovoltaik Dizinin Açık Devre Gerilimi
A_k	Frekanstaki Gerilim Kırpışma Genliği
φ_0	Ana Sinyal Gerilim Faz Açısı
φ_k	k. Frekanstaki Gerilim Kırpışma Faz Açısı
m	Ana Sinyale Eklenecek Olan Gerilim Kırpışma Sayısı
w_{fk}	k. Frekanstaki Gerilim Kırpışma Frekansı
w_0	Ana Sinyal Frekansı
F	Form Faktörü
r	Tekrarlama Oranı
PF	Güç Faktörü
LVRT	Arıza Anında Devrede Kalabilme
PCC	Reaktif Güç Desteği Ortak Bağlantı Noktası

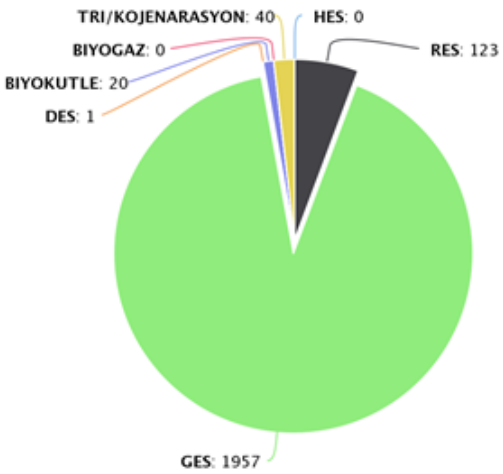
1. GİRİŞ

Dünyada ve özelikle ülkemizde fosil yakıtların tükenme riski ve çevreye vermiş oldukları zararlar göz önünde bulundurulduğunda, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasına olan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları (rüzgâr, güneş, biyogaz, biyokütle, su vb.) içerisinde, Fotovoltaik (FV) kaynaklı güneş enerjisi santrallerinin yeri de yadsınamayacak kadar önemlidir. Son zamanlarda, FV panel ve santral sistem bileşenlerinde meydana gelen teknolojik gelişmelerle birlikte verimlerin artması, maliyetlerin düşmesine neden olmuştur. Teşvik programlarıyla üreticinin desteklenmesi ve mevzuatta meydana gelen değişikliklerle bu sistemler daha fazla tercih edilir olmuştur.

FV santraller, kişisel tüketimi karşılayacak birkaç kWp'tan MWp boyutlarına kadar büyüklükte uygulamaları bulunmaktadır. Temelde şebeke bağlantılı, şebekeden bağımsız ve karma bağlantılı olarak kurulmaktadır. Türkiye'de, 2011 yılında ''Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik''in yayınlanmasıyla birlikte önce 500 kWp kurulu güçte FV santrallerin kurulumuna izin verilmiştir. 2013 yılında bu yönetmelikte meydana gelen değişiklikle beraber, 1 MWp'a kadar kurulu güce sahip şebeke bağlantılı FV santrallerin, yerel aboneler tarafından kurulmasına izin verilmiştir (EPDK, 2013).

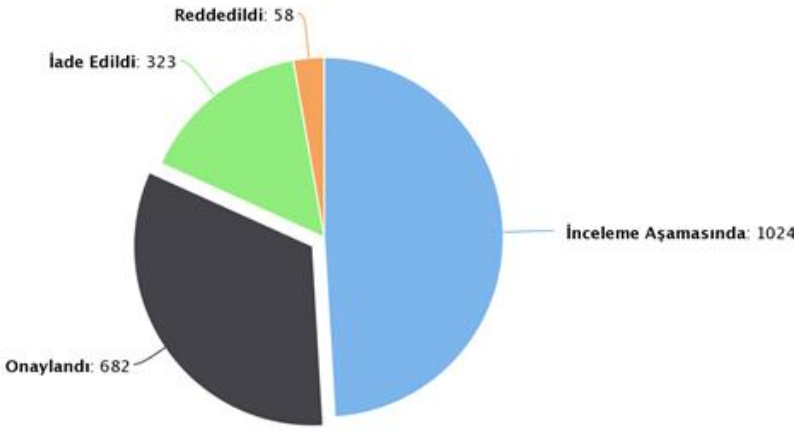
FV santrallerin ülkemizde ilk kurulum izinlerinin temellerinin oluşturulması Lisanslı FV santral çalışmalarıyla başlamıştır. Türkiye'deki 38 şehir içinde farklı kurulu güç kapasitelerine sahip olacak, 600 MWp Lisanslı Güneş Enerjisi Santral (GES) başvuruları, 10-14 Haziran 2013 tarihleri arasında alınmıştır. Türkiye Elektrik İletim A.Ş. tarafından 05.05.2015 tarihinde yayınlanan ön lisans başvuruların değerlendirilmesi ve yapılan ön lisans başvuru yarışması sonucuna göre; 6 bölgede toplam 585,9 MWp kurulu güce sahip Lisanslı GES kurulumuna izin verilmiştir.

Ülkemizdeki, FV santral projeleri ve kurulumu gerçekleştirilen tüm şebeke bağlantılı lisanssız enerji üretim tesislerine ait başvuruların dağılımı Şekil 1.1.'deki gibidir (Şimşek, 2015). Toplamda Lisanssız olarak, 1957 adet GES proje başvurusu gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1.1. Türkiye' deki lisanssız enerji üretim santralleri proje başvuru sayısı dağılım grafiği

Şekil 1.2.'de görüldüğü gibi yapılan bu 1957 GES proje başvurularından, 682 tanesi onaylanmış, 323 tanesi iade edilmiş, 58 tanesi reddedilmiş ve 1024 tanesi de inceleme aşamasındadır. Onay işlemi yapılan 682 GES proje başvurusundan, 150 tanesi santral kurulumlarını tamamlayarak, tesis onay işlemlerini TEDAŞ' tan gerçekleştirmiştir (Şimşek, 2015).



Şekil 1.2. Türkiye'deki lisanssız GES proje başvuru sayısı dağılım grafiği

Bu tarz yenilenebilir enerji sistemlerin kullanılmaya başlamasıyla beraber, alışılmış enerji nakil hatlarının tek yönlü yük akışı, otomatik olarak çift yönlü olarak değişmiştir. Bu sistemlerin enerji iletim hattına dâhil olmasıyla beraber, hatta meydana

gelebilecek etkilerin neler olduğu konusu merak konusu olmaya başlamıştır. FV santrallerin elektrik iletim hatlarına entegrasyonuyla beraber iki konu öncelikli olarak ortaya çıkmıştır. Bunlardan biri FV santrallerin güç kalitesine etkileri, diğeri ise oluşacak istenmeyen durumlar için hattın korunması konusu olmuştur.

Şebeke bağlantılı FV santrallerde üretilen enerjinin, güç kalite parametrelerinin, güç kalite standardında (TS EN 50160) belirtilen sınır değerleri içerisinde olması, tüketicilere kaliteli elektrik enerjisinin iletilmesi ve arz-talep güvenliğinin korunması açısından oldukça önem arz etmektedir.

Yapılan çalışmanın bu kısmında; FV santral sistemlerine ait temel bileşenlerinin yapısı ve çeşitleri, FV santral bağlantı şekilleri ve şebeke bağlantılı FV santrallerin güç kalite parametreleri ve bu parametrelerin neden olabileceği olası etkiler anlatılmıştır.

1.1. FV Santral Sistemleri

FV santraller herhangi bir yakıt kullanmadan, güneş enerjisini direk ve anlık olarak elektrik enerjisine çevirebilen sistemlerdir. FV Santraller kullanım yerleri ve ihtiyaca göre farklı farklı bileşenler ve bağlantı çeşitlerine sahip olmaktadırlar.

FV santrallere ait önemli avantajlar aşağıda ki gibi özetlene bilinir (ABB, 2014):

- Yerinde enerji üretimi yapılıp dağıtım yapılabilmesi
- Çevreye duyarlı olması
- Fosil yakıtlara ihtiyaç duymaması
- Hareketli parçaları olmadığından çok fazla bakım gerektirmemeleri
- Yaklaşık olarak, 20 yıl yüksek verimde çalışabilmeleri
- Düşük işletme ve bakım giderlerine sahip olmaları
- FV sistemler modüler olduğundan, ihtiyaca göre kolay bir şekilde kapasite ölçeklendirme yapılabilmesidir.

FV santrallerin bu avantajları yanında, ilk kurulum maliyetlerinin yüksek olması ve santral bileşenlerinde ki teknolojik çalışmaların hala geliştiriliyor olması ekonomik anlamda bu sistemlerin tam olgunlaştırılamamasına neden olmuştur. Bununla beraber,

FV santrallerin üretim kaynağı olan güneş enerjisinin, sürekli olarak aynı seviyede olmaması diğer bir dezavantajlı durumudur (ABB, 2014).

Bir FV santralin yıllık enerji üretimi şu parametrelere bağlıdır:

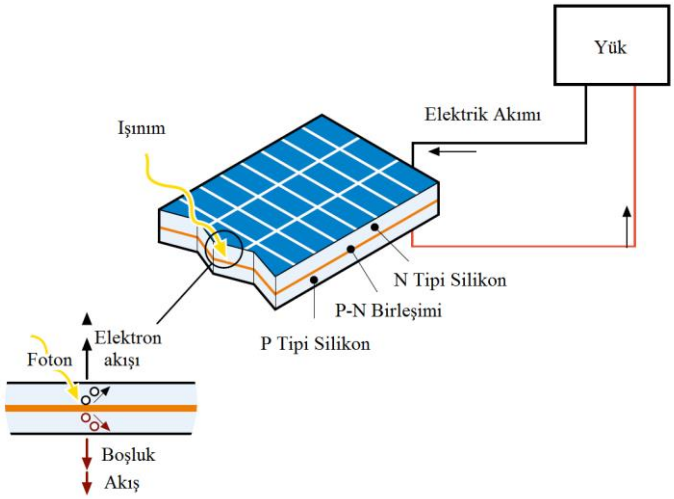
- FV panellere gelen güneş ışınım miktarı
- FV panellerin yönelimi ve eğimi
- FV panellerin gölgelenme miktarı
- FV santralde kullanılan bileşenlerin teknik özellikleri (FV panel, inverter ve diğer bileşenlerinin verim ve kayıpları)

FV santral temel üretim bileşeni olan FV paneller, güneş ışınımından DC elektrik üretmektedir. FV paneller, çatı üstüne veya düz zemine yerleştirmek için, en optimum şekilde yararlanmak üzere tasarlanan metal taşıyıcılar üstüne montajı yapılmaktadır. FV panellerde üretilen DC enerjiyi AC enerjiye çeviren inverterlerdir. FV santrallerde diğer bileşenler olarak; koruma elemanları, DC ve AC kablolar, şalt malzemeleri ve ihtiyaca göre üretilen enerjinin depolanması için şarj cihazları ve aküler kullanılmaktadır (Inverter and PV System Technology Industry Guide, 2012).

1.2. FV Panel Yapısı ve Çeşitleri

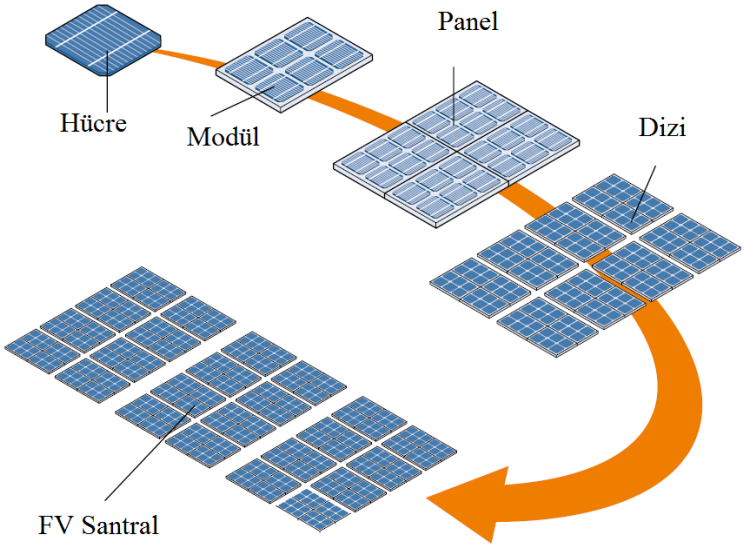
FV panel, FV hücrelerden oluşan ve bu sayede güneş ışınımını elektrik akımına çeviren temel bileşendir. FV hücreler, ince yarı iletken malzemeden oluşan, genellikle yaklaşık 0,3 mm kalınlığında, 100-225 cm^2 yüzey alanına sahip işlenmiş silikon alaşımlı malzemeden yapılır (ABB, 2014).

FV hücre üzerinde bulunan silikon malzemenin katkılanması ile P ve N tipi madde oluşturulur. P ve N tipi maddenin birleşme yüzeyi civarında oluşan taşıyıcıların bulunmadığı etkin bölgede katkı atomlarından elektron alanlar ‘‘-’’ ve elektron verenler ‘‘+’’ yüklü olarak elektrik yükü oluşturur. Elektrik yükü oluşan FV hücrenin ucuna bir yük bağlanması durumunda elektron akışı gerçekleşerek elektrik akımı sağlanmış olunur. Elektrik akımı üretimi Şekil 1.3.’de verilmiştir.



Şekil 1.3. FV hücre elektrik akımı üretim şekli

FV hücrelerin birleşimiyle modüller, modüllerin birleşimiyle FV paneller, FV panellerin birleşimiyle diziler ve dizilerin birleşimiyle de FV santraller oluşturulur (Şekil 1.4.). FV santral için sıklıkla tercih edilen, 250 Wp'lık FV paneller genelde 60 hücre, 6 modülden oluşmaktadır. Yani her modülde 10 hücre bulunmaktadır.



Şekil 1.4. FV hücre, modül, panel, dizi ve FV santral oluşum döngüsü

FV paneller hücre yapısına göre, tek kristalli FV panel, çok kristalli FV panel ve ince film olmak üzere üç kategoriye ayrılır.

1.2.1. Tek kristalli FV panel

Tek kristalli FV panellerde hücreler, yüksek saflıkta tek tipte homojen silikon kristallerinden yapılmıştır. Şu ana kadar yapılan laboratuvar şartlarında ki en yüksek verimde ki tek kristalli FV panel verimliliği, %25,6 (256 W/m^2) olarak üretilmiştir (Fraunhofer ISE, 2015). Piyasada satılan tek kristalli FV paneller genellikle %16-%16,5 (160-165 W/m^2) verimliliğe sahiptirler (ABB, 2014).

Tek kristalli hücrelerin fiziksel yapısı kararlı olduğu için, uygun bir şekilde korunduğu takdirde uzun süre yüksek verimde çalışma imkânına sahiptirler. Ayrıca piyasada bulunan diğer panellere göre daha yüksek verime sahiptirler.

Fakat tek kristalli FV paneller, çok kristalli FV panellerle karşılaştığında, ilk yatırım maliyeti daha yüksek olmasından dolayı piyasada daha az tercih edilmektedir. Diğer bir dezavantajları ise, yüksek sıcaklıklarda (25℃'den büyük sıcaklıklarda) verimleri diğer FV panel çeşitlerine göre daha fazla düşmektedir (Hankins, 2010).

1.2.2. Çok kristalli FV panel

Çok kristalli FV panellerde hücreler, farklı form ve oranda silikon kristallerinden yapılmıştır. Şu ana kadar yapılan laboratuvar şartlarında ki en yüksek verimde ki çok kristalli FV panel verimliliği, %20,8 (208 W/m^2) olarak üretilmiştir (Fraunhofer ISE, 2015). Piyasada satılan çok kristalli FV paneller genellikle %15-%16 (150-160 W/m^2) verimliliğe sahiptirler (ABB, 2014).

Çok kristalli FV paneller, Watt başına maliyetleri daha uygun olduğu için piyasada daha fazla tercih edilmektedir. Diğer bir avantajı, sıcaklık artışlarında verimlilik düşüşlerinin, tek kristalli hücrelere göre daha az olmasıdır. Dezavantajı ise verimliliği tek kristalli FV panellere göre az olduğundan dolayı aynı güce sahip bir FV santral yapılırken daha fazla alana ihtiyaç duymasıdır (Hankins, 2010).

1.2.3. İnce film FV panel

İnce film FV paneller, ince tabakalar halinde kristal olmayan esnek yapıda çeşitli yüzeylerden oluşmuştur (Hankins, 2010).

İnce film panellerin verimleri, diğer FV panel tiplerine göre daha düşüktür. Laboratuvar ortamında en yüksek yaklaşık olarak, %21 verimde ince film hücre üretimi gerçekleşmiştir. Son 10 yıl içerisinde piyasa da bulunan ince film panellerin verimleri %9' dan %13' e yükselmiştir (Fraunhofer ISE, 2015). Buda gösteriyor ki ilerleyen süreçlerde, verimleri diğer panel tiplerine yakın olan ince film panellerin kullanımı oldukça artacaktır. Ayrıca kullanımda ki esnekliği sayesinde, farklı zeminlerde kullanılmaya imkân sağlaması da önemli bir avantajı olarak ortaya çıkmaktadır.

İnce film FV paneller, diğer FV panel türlerine göre daha düşük sıcaklıklarda daha yüksek performans göstermektedir. Ayrıca ince film FV panellerin güç üretebildiği ışınım spektrumu, diğer FV panellere göre daha geniştir (Başoğlu ve ark., 2014).

1.3. Bağlantı Şekillerine Göre FV Santraller

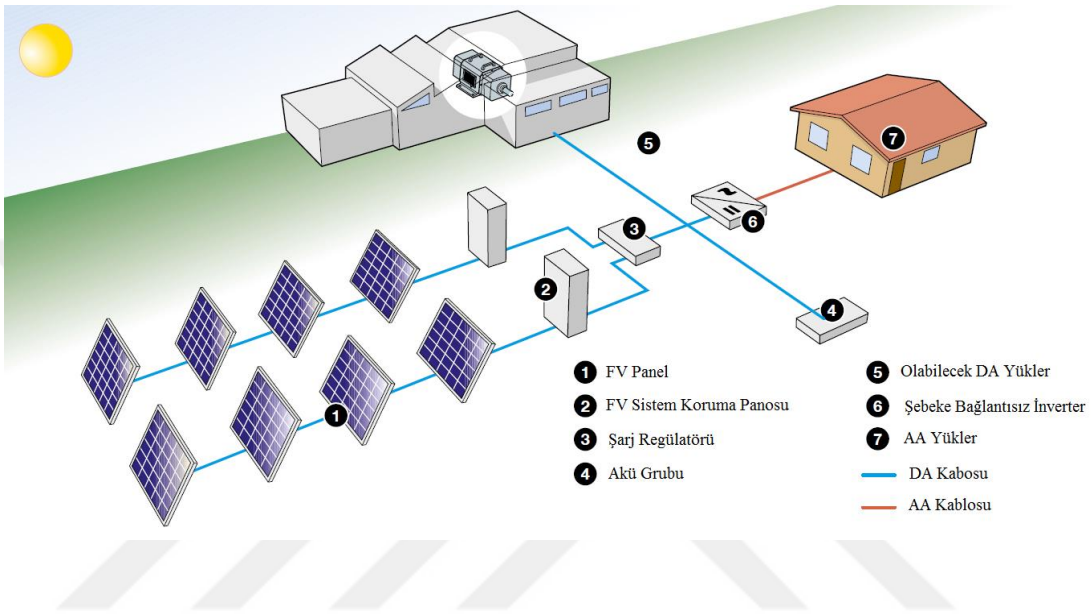
FV enerji üretim sistemleri kapasitesine, kullanım yerlerine ve amaçlarına göre farklılık göstermektedir. FV santraller bağlantı şekillerine göre de şebeke bağlantılı, şebeke bağlantısız ve hibrit olmak üzere üçe ayrılır.

1.3.1. Şebeke bağlantısız FV santraller

Şebeke bağlantısız FV sistemler, şebekenin ulaşmadığı yerlerde ve kırsal alanlarda tercih edilmektedir. Şebeke bağlantısız FV sistemler, bataryalı veya bataryasız olarak kullanılmaktadır. Bu tür sistemler, enerjiyi bir depolama ünitesinde biriktirerek, gece ve gündüz istenilen yükleri besleyebilecek şekilde tasarlanmaktadır. Bu tip santrallerde genellikle depolama birimi olarak aküler kullanılmaktadır. Şebeke bağlantısız FV sistemler tarafından, DC yükler(DC elektrik motorları, led aydınlatmalar, haberleşme cihazları vb.) ve AC yükler(motorlar, pompalar, aydınlatmalar, vb.) beslenebilmektedir. Sistem bağlantıları gerçekleştirilirken, DC yükler doğrudan sisteme bağlantı yapılırken; üretilen AC yüklerin beslenmesi

durumunda, yükün önüne bir inverter eklenerek alternatif akıma çevrilir (Industry Guide, 2014).

Şebeke bağlantısız FV santrallerin kullanıldığı sulama pompaları gibi bazı sistemlerde, anlık üretilen DC enerjinin kullanılması durumunda akü grubuna ihtiyaç duyulmaya bilinir (Şekil 1.5.).



Şekil 1.5. Şebeke bağlantısız FV santral bileşenleri genel yapısı (ABB, 2014)

Şebeke bağlantısız FV santrallerde, şarj regülatörü sayesinde akü gruplarının şarj durumlarının kontrolü yükün ihtiyaç duyduğu kadar enerjinin aktarılmasını sağlamaktadır.

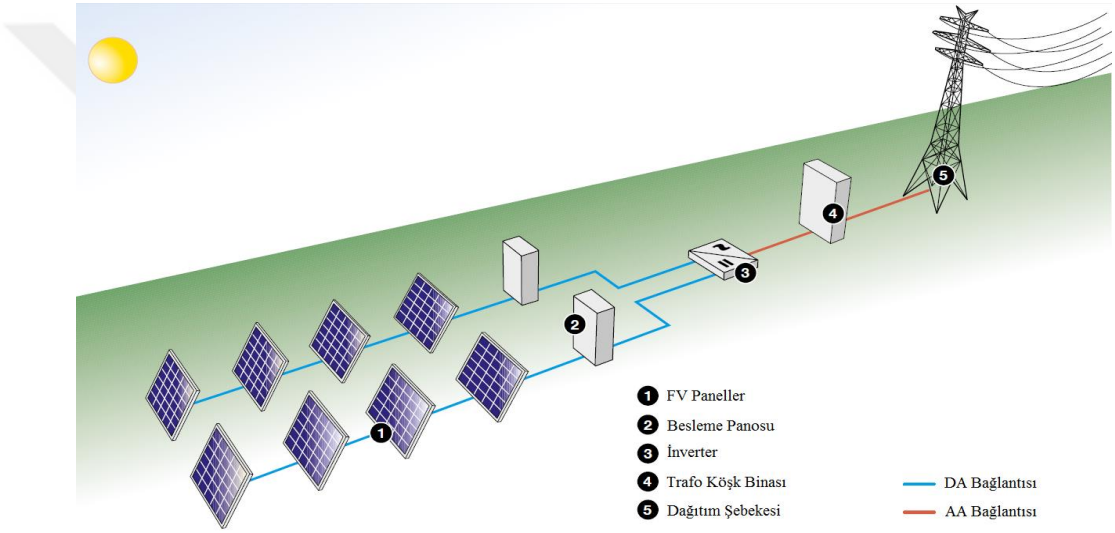
Şebeke bağlantısız sistemlerde enerjinin depolanmasında kullanılan akü grupları; kuru tip akü, asitli akü, jel akü veya lityum iyon aküler olabilmektedir (IRENA, 2015).

Şebeke bağlantısız inverterler, girişinde şebeke bağlantısında ihtiyaç duymadan DC akımı, AC akıma çeviren, yarı iletken anahtarlama elemanlarından oluşan sistemlerdir (ABB, 2014). Günümüzde kullanılan bazı şebeke bağlantısız inverterler de, şarj regülatörü özellikleri de mevcuttur.

1.3.2. Şebeke bağlantılı FV santraller

Şebeke bağlantılı FV Santraller, şebekenin bulunduğu yerlerde direkt olarak şebekeye bağlantı yapılarak ürettiği enerjiyi dağıtım hattına aktaran santrallerdir. Bu tarzda üretim yapan FV santraller, depolama birimine ihtiyaç duymazlar.

Şekil 1.6.'da görüldüğü gibi şebeke bağlantılı FV santraller, iki şekilde tasarlanabilmektedirler. Birincisi; DC akımı, AC akıma çevrilerek doğrudan tek yönlü sayaç üzerinden şebekeye aktarılır. İkincisi ise; konut, mesken ve sanayi vb. elektrik tüketiminin olduğu yerlerde, inverterden sonra, çift yönlü sayaç kullanılarak aynı zamanda farklı yüklerde beslenilir (Çalıkoğlu ve ark., 2010).



Şekil 1.6. Şebeke bağlantılı FV santrale ait bileşenlerin genel yapısı (ABB, 2014)

FV santralde bulunan besleme panoları, FV panellerin çıkışlarının bağlanıldığı ve koruma elemanlarının bulunduğu kısımlardır. Burada, şalter ve manyetik kaçak akım röleleri gibi anahtarlama ve koruma elemanları bulunmaktadır.

Şebeke bağlantılı inverterler, FV paneller tarafından üretilen doğru akımı, alternatif akıma çeviren yarı iletken anahtarlama elemanlarından oluşan cihazlardır. Piyasada bulunan inverter' lerin verimleri yaklaşık %98 civarındadır (Fraunhofer, 2015). Son zamanlarda, FV santrallerde inverter olarak, yüksek verimliliklerinden dolayı trafosuz tam sinüs inverterler tercih edilmektedir.

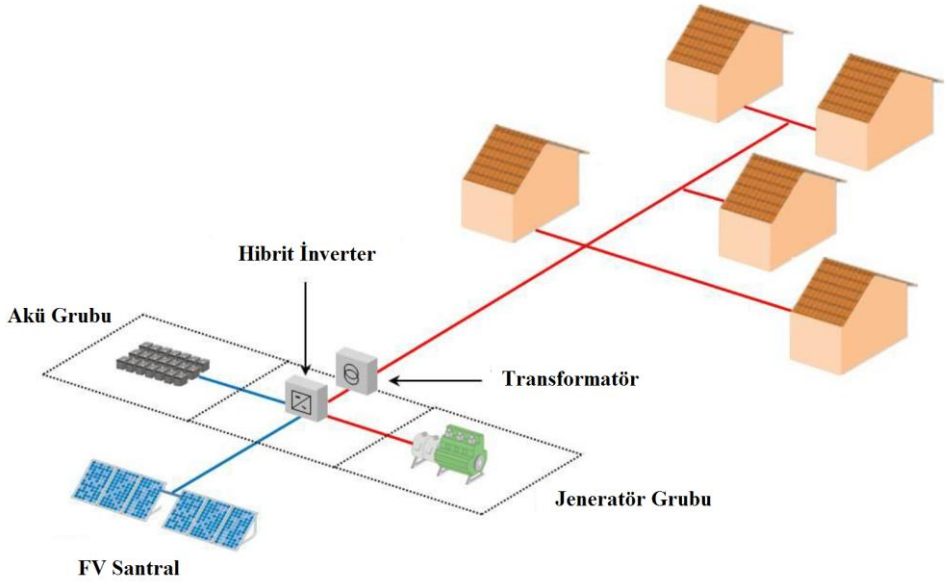
Şebeke bağlantılı inverterler güç büyüklüklerine göre, merkezi inverter ve dizi inverter olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Merkezi inverterlerde, tüm FV panel dizileri toplanıp, tek bir invertere girişi yapılan genelde yüksek güçlü sistemlerdir. Dizi inverter de ise, her bir FV panel dizisi çıkışı bir inverter'e giriş yapılarak çıkışları toplanıp, dağıtımı yapılır. Dizi inverterler'de, tek fazlı ve üç fazlı olmak üzere iki çeşitleri bulunmaktadır (Industry Guide, 2012).

FV santrallerde bulunan trafo köşk binası içerisinde; trafo, AG dağıtım panosu ve OG panosu (trafo koruma hücresi, ölçü hücresi ve kesicili çıkış hücresi) bulunmaktadır.

1.3.3. Hibrit FV santraller

FV sistemler, meteorolojik şartlara bağlı olması nedeniyle, süreksiz ve kesintili enerji üretimi sağlamaktadır. FV santralin kesildiği veya yetersiz olduğu durumlarda, diğer güç üretim sistemlerinin devreye girerek kesintisiz güç sağlayacak şekilde tasarlanmış santrallere hibrit FV santraller denilmektedir (Şekil 1.7.). Hibrit FV santrallerde ikincil güç üreteci olarak, genellikle rüzgâr türbinleri veya dizel jeneratörler tercih edilmektedir (Lena, 2013).

Hibrit FV santraller, şebeke bağlantılı veya şebeke bağlantısız olarak tasarlana bilinir (Arezki ve ark., 2014).



Şekil 1.7. Hibrit FV santrale ait bileşenlerin genel yapısı (Lena, 2013)

1.4. Şebeke Bağlantılı FV Santrallerin Güç Kalite Parametreleri ve Olası Etkileri

Şebeke bağlantılı FV santrallerde, üretilen gücün maksimum olarak sağlanması için inverterler de maksimum güç noktası izleyici (MPPT) modu bulunmaktadır. Bu mod sayesinde; invertere bağlı olan FV panel dizilerinde, dış ortamda oluşan ışınım ve sıcaklıkta meydana gelen değişim koşullarında, maksimum gücü ayarlayabilmek için gerekli olan akım ve gerilim değeri ayarlanır (Çalıkoğlu ve ark., 2010).

FV santrallerden güç kalitesi konusunda beklenen; inverterler tarafından FV panellerden alınan maksimum gücün, AC akıma çevrildikten sonra şebekeye aktarılması için tam sinüs dalga şeklinde, gerekli güç kalite standardına (TS EN 50160) uygun olması ve güç kalite parametreleri gereksinimlerini sağlayarak, şebekeye senkron olabilecek şekilde üretilen gücü aktarmasıdır (Ehara ve ark., 2009). Bu yüzden, FV santrallerde güç kalite konusu çok önem arz etmektedir.

FV santrallerde güç kalite konusunun ilk kontrol edileceği ve olumsuz durumların çıkabileceği ilk kısım inverterlerdir. Bunun nedeni; inverterler, yarı iletken anahtarlama elemanlarından meydana gelmiş, güç elektroniği devrelerinden oluşan cihazlar olduklarından çıkışında lineer olamayan sonuçlar elde edilir.

FV santrallerde meydana gelen güç kalite parametrelerinde ki bozulmaların en büyük nedeni; çıkış güçlerinde meydana gelen değişikliklerdir (Ortega ve ark., 2012). FV santrallerin güç kalitesinde meydana gelen olası değişimler; yavaş gerilim değişimleri, hızlı gerilim değişimleri, gerilim dengesizlikleri, güç değişimleri (aktif güç, reaktif güç ve görünür güç), gerilim frekans değişimleri, harmonik değişimleri, ara harmonik ve gerilim kırpışması (fliker) gibi parametrelerde meydana gelen değişimlerden kaynaklanmaktadır (TS EN 50160, 2011), (Ortega ve ark., 2012). Sonraki bölümlerde bu parametreler detaylı olarak incelenecektir.

1.4.1. Yavaş gerilim değişimleri

Yavaş gerilim değişimleri, 1 dakikadan uzun süreyle güç frekansında meydana gelen sapmaları kapsamaktadır. Yavaş gerilim değişimlerini, aşırı gerilim değişimleri ve düşük gerilim değişimleri oluşturmaktadır (Dugan ve ark., 2004). Aşırı ve düşük

gerilimler genellikle sistem arızaları sonucu değil, yük değişimleri ve anahtarlama operasyonları nedeniyle oluşur (Dugan ve ark., 2004).

Aşırı gerilim; güç frekansında, 1 dakikadan uzun süreyle rms geriliminin, % 110 veya üstü olması durumuna denilmektedir (Dugan ve ark., 2004). FV santrallerde oluşan aşırı gerilimler, enerji nakil hattına bağlanan, yerel düşük empedanslı FV santrallerin artmasıyla oluşabilmektedir (Ehara ve ark., 2009). Bunun yanı sıra, transformatörde yanlış kademe ayarı da aşırı gerilime neden olabilir (Dugan ve ark., 2004). FV santrallerde üretilen aşırı gerilim, üretici ve tüketici tarafında olumsuz sonuçlar ortaya çıkmasına neden olur.

Üretici tarafında oluşan aşırı gerilim nedeniyle oluşan gerilim yükselmesi, yakında bulunan baralar da reaktif güç eksikliklerine neden olur (Farhoodnea ve ark., 2013). Bununla beraber, oluşan aşırı gerilimler bara üstünde beslenen yüklerin zarar görmesine ve FV santralin korunması için şebekeden ayrılarak inverterlerin bağlantılarının şebekeden kopmasına neden olabilir (Gonzales ve ark., 2014).

Düşük gerilim; güç frekansında, 1 dakikadan uzun süreyle rms geriliminin %90 veya altı olması durumuna denilmektedir (Dugan ve ark., 2004). Aşırı gerilime neden olan durumların tersi durumlarda, anahtarlama elemanları düşük gerilime neden olur (Dugan ve ark., 2004). FV santrallerde oluşan düşük gerilim, elektriksel elemanların normal çalışma performanslarını kısıtlayabilir (Ehara ve ark., 2009).

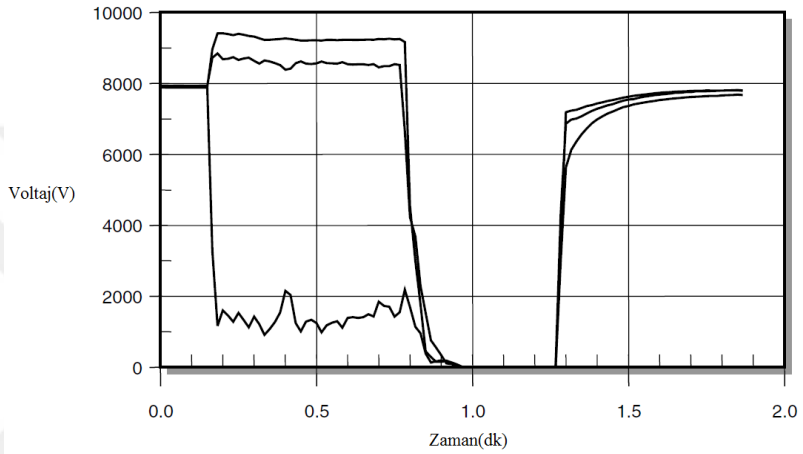
Sürekli kesintiler; besleme voltajının, bir periyot boyunca, 1 dakikadan uzun süreyle sıfır volt olduğu durumlardır (Dugan ve ark., 2004).

1.4.2. Hızlı gerilim değişimleri

FV santralin bulunduğu şebeke üzerinde yıldırım gibi arıza yaratacak olaylar oluştuğunda, röleler bu hatayı tespit edinceye kadar ve kesiciler hatanın bulunduğu kısımlara şebekeden izole edinceye kadar, arıza noktasının etrafında bir gerilim düşüşü yaşanır. Bu hızlı gerilim değişikliği oluşabilecek tipik durumlardan biridir. Ayrıca santral şebekeye ilk bağlantı sırasında da hızlı gerilim değişiklikleri yaşanabilmektedir (Ehara ve ark., 2009).

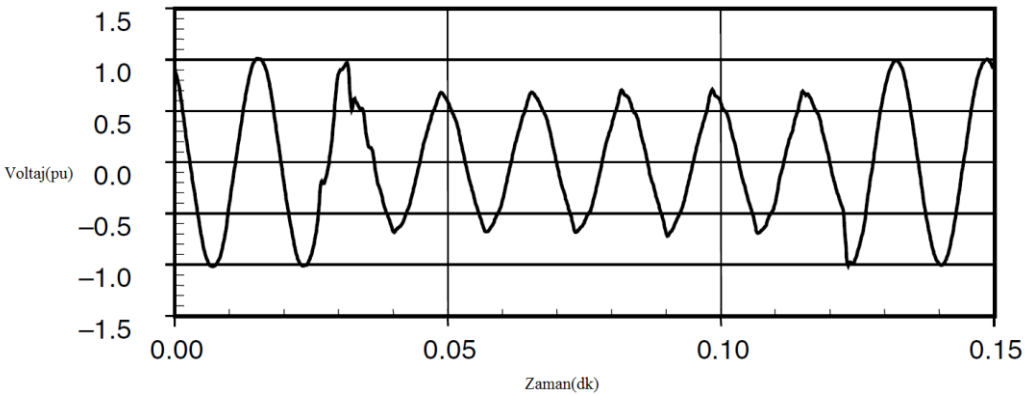
Güç sistemlerinde meydana gelen, hızlı gerilim değişimleri sonucunda oluşan hata durumlarında; kesinti, gerilim çökmesi ve gerilim yükselmesi gibi durumlar ortaya çıkabilmektedir (Dugan ve ark., 2004).

Besleme gerilimi veya yük akımının, bir dakikadan az süreyle, bir periyot boyunca, 0,1 pu gerilim değerinin altına kadar düşmesine kesinti denilmektedir (Şekil 1.8.). Kesintiler, güç sistemi arızaları, donanım arızaları ve kontrol arızaları sonucu oluşabilir (Dugan ve ark., 2004).



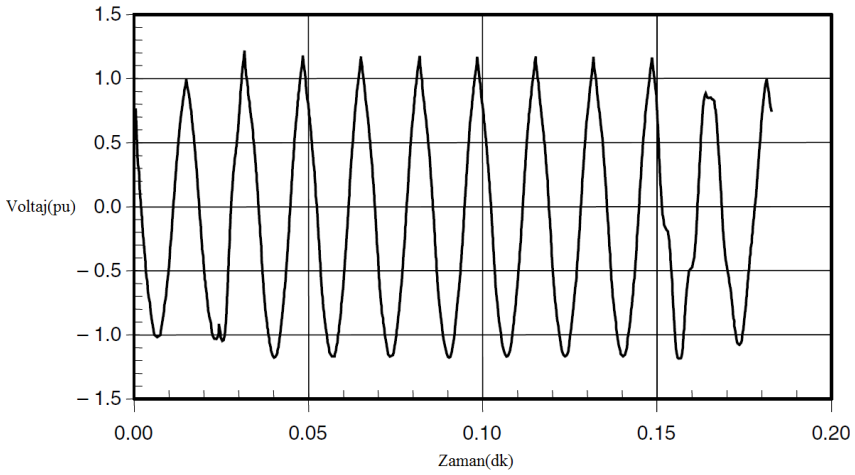
Şekil 1.8. 3-fazlı bir sistemin anlık kesinti grafiği

Şekil 1.9.'da görüldüğü gibi bir güç frekansının, yarım çevrimden 1 dakikaya kadar geçen sürede, rms gerilim veya akım değerinin, 0,1-0,9 pu değerleri arasında seyretmesi durumuna gerilim çökmesi denilmektedir (Dugan ve ark., 2004).



Şekil 1.9. Bir güç sistemi gerilim çökmesi dalga formu

Gerilim yükselmesi ise bir güç frekansının, yarım çevrimden 1 dakikaya kadar geçen sürede, rms gerilim veya akım değerinin 1,1-1,8 pu arasında değerlere ulaşmasına denilmektedir (Dugan ve ark., 2004). Şekil 1.10.'da bir güç sistemi gerilim yükselmesi dalga formu verilmiştir.



Şekil 1.10. Bir güç sistemi gerilim yükselmesi dalga formu

1.4.3. Gerilim dengesizlikleri

FV santrallerde gerilim dengesizliği, fazlar arası gerilim farklılığının oluşması veya fazlar arasında ki faz farkının 120 dereceden farklı olduğu durumları ifade eder (Ehara ve ark., 2009).

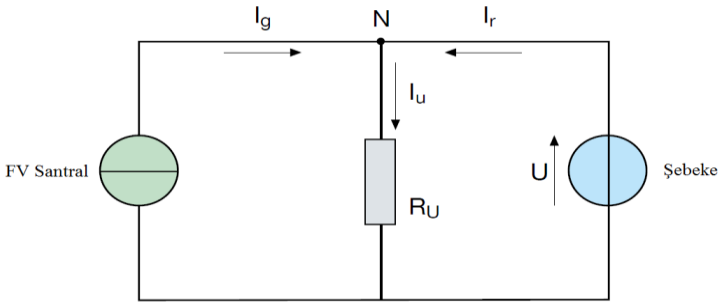
FV santralin bağlı olduğu şebeke üzerinde ki üç fazın her birinde bulunan farklı yükler veya güç kaynakları fazlar arasında gerilim dengesizliklerine neden olabilirler (Ehara ve ark., 2009). Oluşan bu gerilim dengesizlikleri, senkron makinalarda frekans ve manyetik alan değişikliklerine; güç üreteçlerinde ise sıcaklık yükselmesi, titreşim ve ses gibi negatif etkilere neden olurlar (Kusko ve ark., 2007). Aynı zamanda oluşan bu gerilim dengesizlikleri, güç elektroniği cihazlarına da olumsuz etkileri görülmektedir.

1.4.4. Aktif güç, reaktif güç ve görünür güç değişimleri

Bir güç sisteminin, elektrik şebekesinin gerilim seviyesi üzerinde yapacağı etkileri incelemek için, aktif güç, reaktif güç ve görünür güç değerlerini bilmek gerekmektedir. FV santrallerde üretilen gücün ana bileşenini aktif güç

oluşturmaktadır. Bu nedenle, FV santrallerin ürettiği enerjinin, üretim tarafında güç kalitesi etkisini incelerken aktif gücün değişimi incelenmelidir (Gonzales, 2014).

Şebeke bağlantılı bir FV santrale ait yükten bağımsız, temsili eşdeğer devresi Şekil 1.11.' deki gibi ifade edilir (ABB, 2014). Şekil 1.11.' de, Ru, tüketilen işletme direncini; Ig, FV santral tarafından üretilen AC akımı; Ir, şebekeden gelen AC akımı; Iu, tüketici tarafından çekilen akımı; Ru, yük direncini; U, AC şebeke gerilimini ifade etmektedir.



Şekil 1.11. Şebeke bağlantılı FV santral eşdeğer devresi

Şekil 1.11' deki eşdeğer devreden yararlanılarak, FV santral tarafından üretilen AC güç, Denklem (1.1); yük tarafından tüketilen AC güç, Denklem (1.2) ve şebeke tarafından iletilen AC güç, denklem (1.3)' deki matematiksel formüllerden elde edilir (ABB, 2014).

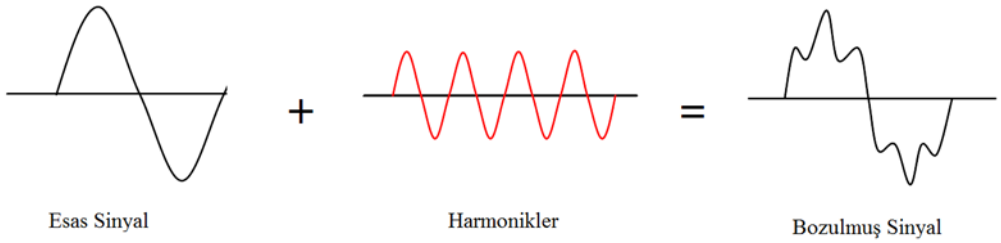
$$P_u = U.I_u = \frac{U^2}{R_u} \tag{1.1}$$

$$P_g = U.I_g \tag{1.2}$$

$$P_r = U.I_r \tag{1.3}$$

1.4.5. Harmonik değişimleri

Harmonikler, sinüsoydal voltajlar veya akımların şebeke frekansının katları şeklinde daha büyük frekansta bileşenler içermesidir (Dugan ve ark., 2004). Şekil 1.12.'de harmonik sinyalin kavramsal diyagramı verilmiştir.



Şekil 1.12. Harmonik sinyalinin kavramsal diyagramı

FV santrallerde bulunan güç çeviricileri olan inverterlerde meydana gelen harmonik distorsiyonları, ciddi güç kalitesi sorunlarıdır (Farhoodnea ve ark., 2013). Oluşan harmonikler, kondansatörler ve transformatörlerde, aşırı ısınma, paralel ve seri rezonansa; güç sistemlerinde, koruma cihazlarının hata algılama dayanıklılığını azaltır (Farhoodnea ve ark., 2012).

Güç sistemlerinde oluşan harmonik bozulma değerinin miktarını, tek bir miktar olarak ifade etmek üzere, Toplam Harmonik Bozulma (THD) adı altında bir efektif değer, sıklıkla kullanılır (Dugan ve ark., 2004).

Güç sistemlerinde oluşan harmonik bileşenleri bulabilmek için güç sinyalini Fourier serilerine açarak akım ve gerilime ait, Denklem (1.4) ve (1.5)'de ki gibi fonksiyonlar yardımıyla harmonikler elde edilir. Denklemlerdeki I_n, n. akım harmoniğinin genliğini; V_n, n. gerilim harmoniğinin genliğini ifade etmektedir (Şenyurt, 2005).

$$v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} V_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2}.V_n.\sin(n\,w_1 t + \theta_n) \tag{1.4}$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} I_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2}.I_n.\sin(n\,w_1 t + \delta_n) \tag{1.5}$$

THD değerini hesaplamak için, (1.6) ve (1.7) denklemleri kullanılır (Golovanov ve ark., 2013).

$$[THD]_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} {V_n}^2}}{V_1} \tag{1.6}$$

$$[THD]_I = \text{TTB} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} {I_n}^2}}{I_1} \tag{1.7}$$

Denklem (1.6)'de gerilim için THD, Denklem (1.7)'de akım için THD fonksiyonları verilmiştir. Denklem (1.6)'de V_1, temel gerilimin genliğini; denklem (1.7)'de I_1, temel akımın genliğini ifade eder (Kamenka, 2014).

1.4.6. Ara harmonikler

Ara harmonikler, bir güç sisteminin temel frekansının tam katı olmayan veya diğer bir deyişle harmonik olmayan kararlı durumdaki akım ve gerilimleridir (Dugan ve ark., 2004).

Güç sistemlerinde oluşan kararlı durumda ki tek bileşenli ara harmoniklerin gerilim modülasyonu, Denklem (1.8)'deki fonksiyon yardımıyla elde edilir. Denklem (1.8)'de, A ana sinyalin genliğini, B ve C ara harmoniklerin gerilim genliklerini, f_1 ana sinyalin frekansını, f_2 ve f_3 ara harmoniklerin frekanslarını ifade eder (İnan ve ark., 2003).

$$v_3(t) = A.sin(2\pi f_1) + B.sin(2\pi f_2 t) + C.sin(2\pi f_3) \tag{1.8}$$

Güç sisteminde meydana gelen, ana sinyal frekansından daha büyük ara harmonikler, sistemde ısınma gibi problemlere neden olurlar. Oluşan bu ısınma problemleri etkisiyle, ışık kırpışması, seri ayarlı filtre devrelerinde aşırı yüklenme ve transformatörlerde doyma gibi etkilere neden olmaktadır (İnan ve ark., 2003).

1.4.7. Gerilim kırpışması (fliker)

Gerilim dalgalanması, bir güç sisteminde normal olarak 0,9-1,1 pu aralığını geçmeyen gerilim salınımlarının, rastgele veya bir dizi olarak sistematik olarak

oluşturduğu çeşitlemelerdir. Oluşan gerilim çeşitlemeleri, aydınlatma sistemi üzerinde gözle görülebilir seviyede fark edilebilen kırpışmaya (flikere) neden olur (Dugan ve ark., 2004). Oluşan gerilim kırpışması şiddeti, belli sınırın üstüne çıktığında insan gözünü rahatsız edici etkisi artar(Akdeniz, 2006).

Gerilim kırpışması değerlendirilmesi, kısa süreli gerilim kırpışması indeksi Pst (10 dakikalık ölçüm değeri) ve uzun süreli gerilim kırpışması indeksi Plt (2 saatlik ölçüm değeri) olmak üzere iki indeks vasıtasıyla karakterize edilir.

Gerilim kırpışmasının kısa zaman içerisindeki frekans ve geriliminde ki değişimi, genlik modülasyonlu dalga olarak Denklem (1.9) yardımıyla hesaplana bilinir. Denklem (1.9)'da, A_0, ana sinyal gerilim genliğini; A_k, k. frekanstaki gerilim kırpışma genliğini; w_0, ana sinyal frekansını; w_{fk}, k. frekanstaki gerilim kırpışma frekansını; φ_0, ana sinyal gerilim faz açısını; φ_k, k. frekanstaki gerilim kırpışma faz açısını ve m ise ana sinyale eklenecek olan gerilim kırpışma sayısını ifade etmektedir (İnan ve ark., 2003).

$$v(t) = \left\{A_0 + \sum_{k=1}^{m} A_k \cos(w_{fk}t + \varphi_k)\right\}\cos(w_0 t + \varphi_0) \tag{1.9}$$

Kısa süreli gerilim kırpışması indeksi Pst değerini, Denklem (1.10)'deki matematiksel fonksiyon yardımıyla elde edilir. Denklem (1.10)'de bulunan kat sayılardan, ''R'' frekansı , ''F'' form faktörü ve ''r'' tekrarlama oranını ifade etmektedir (Spring ve ark., 2014).

$$P_{st} = 0{,}36.R.F.(\frac{r}{min^{-1}})^{0{,}31}.[(\frac{\Delta U_{max}}{U})/\%] \tag{1.10}$$

Uzun süreli gerilim kırpışması indeksi Plt, kısa süreli gerilim kırpışması indeksi Pst kullanılarak Denklem (1.11)'den elde edilir (Ortega ve ark., 2012).

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12}\sum_{j=1}^{12} {P_{st_j}}^3} \tag{1.11}$$

FV santrallerde oluşabilecek gerilim kırpışması olaylarına genellikle kısa devre oranı küçük bağlantı noktalarında ve enerji nakil hattında yük salınımlarının çok olduğu kısımlarda rastlanmaktadır. Gerilim kırpışması etkisinin azaltılması için güç kaynağının gerilim salınımları ve şebeke üzerindeki salınımların azaltılması gerekmektedir (Akdeniz, 2006).

1.4.8. Gerilim frekans değişimleri

Frekans, güç kalitesi için en önemli faktörlerdendir ve elektrik şebekesi boyunca eşit değerde tutulmalıdır (Dugan ve ark., 2004). Türkiye deki güç sistemleri için nominal frekans 50 Hz olmalıdır (TS EN 50160, 2011).

FV santraller gibi kesikli ve değişken güç üreten birimlerin şebekede artmasıyla beraber, frekans dalgalanması artmakta ve frekans kontrolü de zorlaşmaktadır. Fakat FV santraller diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında, şebekede daha az frekans dalgalanmasına neden olurlar (Farhoodnea, 2013).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Şebeke bağlantılı FV santrallerin sayılarının artmasıyla beraber, bu tarzda üretim yapan FV santrallerin şebekeye yapacağı etkilerini incelemek üzere, farklı çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda, FV santrallerin güç kalitesinde ki değişiklikler sonucunda oluşan istenmeyen durumların analizi ve önlenmesi için gerekli yöntemleri hakkında çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Yapılan analiz çalışmalarında, enerji nakil hattının simülasyonu için genelde DIgSILENT PowerFactory programı kullanılmıştır. Bu sayede oluşabilecek durumların önceden analiz edilerek gerekli önlem ve tasarım yapılmasına imkan sağlanmıştır.

2.1. FV Santrallerin Güç Kalite Analizi ile ilgili Genel Çalışmalar

Ehara ve ark. (2009) çalışmalarında Japonya'da bulunan, 553 FV sistemin kurulu olduğu bir demonstrasyon alanında, elektrik güç kalite parametreleri, IEC 61000-4-30 Avrupa güç kalite parametreleri ölçüm metodolojisine göre ölçülmüş. Ölçüm sonucunda alınan değerler, EN 50160 standardına göre yorumlanarak oluşan olası durumların, şebeke, FV santral ve tüketim tarafında alınabilecek mevcut önlemleri ve olumlu etkileri sıralanmıştır.

Eltawil ve ark. (2009) araştırmalarında, yenilenebilir enerji kaynaklarıyla beslenen FV santrallerin karakterizasyonu açısından elektrik şebekesi uygunluğu ve önemini vurgulamak amaçlanmıştır. Yapılan çalışma sonucunda, kullanılan FV inverterler değişen güç faktörü ile beraber şebekede yüksek oranda dengeli durumlar ortaya çıkacak ve daha sonrasında şebekede adalanma durumunun artmasına neden olacağı belirtilmiştir.

Gonzales ve ark. (2011) çalışmalarında, bir FV santralin radyal dağıtım şebekeye bağlanmadan önce ve sonra olmak üzere iki zaman aralığı için güç kalite ölçümlerinin sonuçlarını özetlemektedir. Bu ölçümler sırasında aynı zamanda FV santralin şebeke ortak bağlantı noktasında ki şebeke empedansı ile şebekeye enjekte edilen güç oranı ve yük tarafından talep edilen gücün, güç kalitesine etkileri araştırılmıştır. Analiz

edilen sonuçlara göre ters güç akışı ve harmonik distorsiyon etkisini azaltmak için depolama elemanları ve iç kontrolleri gelişmiş inverterlerin kullanılması gerekliliği belirtilmiştir.

Ulianov ve Orozco (2012) çalışmalarında, şebeke bağlantılı FV santral üzerinde, güneş radyasyonu ve sıcaklık gibi meteorolojik etmenlerin etkilerinin incelemeyi amaçlamıştır. Bir şebeke bağlantılı FV santral üzerinde güç kalitesi ölçümleri yapılarak teorik ve deneysel veriler, IEEE 929-2000 standardı altında analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, işletme gerilimi sadece şebeke etkilerinden değil aynı zamanda yük seviyesine göre etkilenmektedir.

Ortega, Hernandez ve Garcia (2012) çalışmalarında FV santraller için güç kalite parametrelerinden; harmonik, titreme, dengesizlik ve yavaş gerilim varyasyonları ölçüm ve değerlendirme kurallarını anlatmıştır. OG şebekesine bağlı bir FV santrale ait güç kalite parametreleri karakterize edilerek, gerekli güç kalite hedefleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak izlenen FV santral için akım değeri istenilen şebeke güç kalite hedefini her zaman sağlamadığı görülmüştür.

Farhoodnea ve ark. (2013) çalışmalarında, farklı hava koşullarında şebeke bağlantılı bir FV santralin, elektrik şebekesi üzerinde ki etkileri üzerine dinamik güç kalite analizi yapılmıştır. 1,8 MWp kurulu güce sahip FV santralin modellemesi, farklı seviyelerde güneş ışınımı altında, Matlab/Simulink yazılımı kullanılarak simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, şebekeye bağlı FV santrallerin gerilim yükselmesi, gerilim kırpışması ve güç faktörü gibi güç kalite sorunlarına neden olabileceği ispatlanmıştır.

Gonzales ve ark. (2014) çalışmalarında, İspanya'da bulunan farklı tipte enerji dağıtım şebekelerine bağlı FV santrallerin inverterlerinin AC taraflarının ve şebekeye ortak bağlantı noktasına ait güç kalite parametrelerinden, gerilim seviyesi, frekans, güç faktörü (PF), harmonik bozulma, fliker ve gerilim dengesizliğinin değişimini gözlemlemek amaçlanmıştır. Sonuç olarak enerji dağıtım şebekesinde artan FV santrallerin şebekenin düzgün işleyişini olumsuz etkileyeceğini ve oluşabilecek temel sorunlar açıklanmıştır. Bu sorunların önlenmesi için akıllı şebeke senaryolarıyla, dağıtım şebekesi ve FV santral arasında daha iyi entegrasyon sağlanması için kontrol

ve haberleşme kavramları üzerine daha fazla araştırma yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

2.2. DIgSILENT PowerFactory Simülasyon Programıyla FV Santrallerde Güç Kalite Analizi ile ilgili Yapılan Genel Çalışmalar

Xiaoyan ark. (2009) çalışmalarında, şebeke bağlantılı FV sistemin simülasyon modellemesini, DIgSILENT PowerFactory yazılımı ile geçici durum analizi gerçekleştirerek, reaktif güç ve şebeke geriliminin değişiminin etkisi incelenmiştir. Simülasyon sonucunda, FV sistemin bulunduğu şebekede reaktif güç ihtiyacının olduğu ve voltaj değişkenliğinin sorun oluşturabileceği anlaşılmıştır. Bu sorunu gidermek için pratik uygulamalarda; hatta gerilim kaynağı entegrasyonu ve FV sistemin bulunduğu trafonun AG tarafına, reaktif güç kompanzasyonu ilavesi çözümü önerilmiştir.

Theologitis ve ark. (2011) tez çalışmasında, 0,5 MWp gücünde FV santralin kapsamlı modellemesi, DIgSILENT PowerFactory programıyla farklı meteorolojik ve çevresel etmenlerle simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Yapılan model etkin aktif güç azaltma ve LVRT davranışına sahip olduğu görülmüştür.

Marinopoulos ve ark. (2011) çalışmalarında, şebeke bağlantılı FV santrallere ait, şebeke arızalarından sonra sistemin kararlı kalarak arızayı sonlandırıp şebekeyi tekrar destekleme özelliği olan ‘‘Arıza Anında Devrede Kalabilme Yeteneği (LVRT)’’ ve reaktif güç arızası sırasında gerilim destekleme özelliği olmak üzere iki özel konuya değinilmiştir. Bu arıza etkilerini modellemek üzere DIgSILENT PowerFactory programı kullanılmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre, Reaktif güç desteği ortak bağlantı noktası (PCC) voltaj değerleri açısından olumlu sonuçlar doğururken, LVRT gerekliliği de güç miktar kaybına engel olmuştur.

Chang ve Tao (2012) çalışmalarında, DIgSILENT PowerFactory simülasyon yazılımıyla, ilk olarak şebeke bağlantılı FV santralin şebekeye aktardığı harmonik akımın simülasyonu gerçekleştirilmiş ve daha sonra fotovoltaik santral modellemesi ve tüketim tarafındaki elektrik şebekesi modellemesi gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak şebekeye aktarılan harmonik akımının neden olduğu etkiler şebeke bağlantılı FV

santralin standarda göre şebekeye aktarması gereken değerleri sağlamıştır. Ayrıca FV santral 400 kVAR reaktif güç regülasyon özelliğine sahip olmalıdır.

Arıyo ve Omoigui (2013) çalışmalarının ilk bölümünde, Nijeryanın 330 kV'luk elektrik şebekesi ile dağıtım şebekesine etkisinin temel analizlerini gerçekleştirmiştir. Analizler, yük akışı, kısa devre, geçici durum, tipik/özdeğer hesaplama ve harmonik hesaplamaları içerir. Konsvensiyonel kaynaklar ve dağıtım şebekesi DIgSILENT PowerFactory programıyla modellenmiştir. Genel bir harmonik analizi yöntemiyle seri rezonans problemlerine çözüm sağlanmıştır.

Zhao ve ark. (2013) çalışmalarında, FV santral için elektromekanik geçici zaman güç sistem kararlılık analizi için, Arıza Anında Devrede Kalabilme Yeteneği LVRT ve çıkış gerilim sınırlama yöntemiyle, 3 generatörlü, 9 baralı sistem modellenerek, karşılaştırma ve doğrulama işlemi çevresel koşullara göre DIgSILENT PowerFactory ve PSASP simülasyon programıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak iki program arasında, aktif güç, reaktif güç, çıkış akımı, FV DC gerilimi, FV şebeke bağlantı noktası gerilimi karşılaştırıldı ve benzer sonuçlar elde edilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

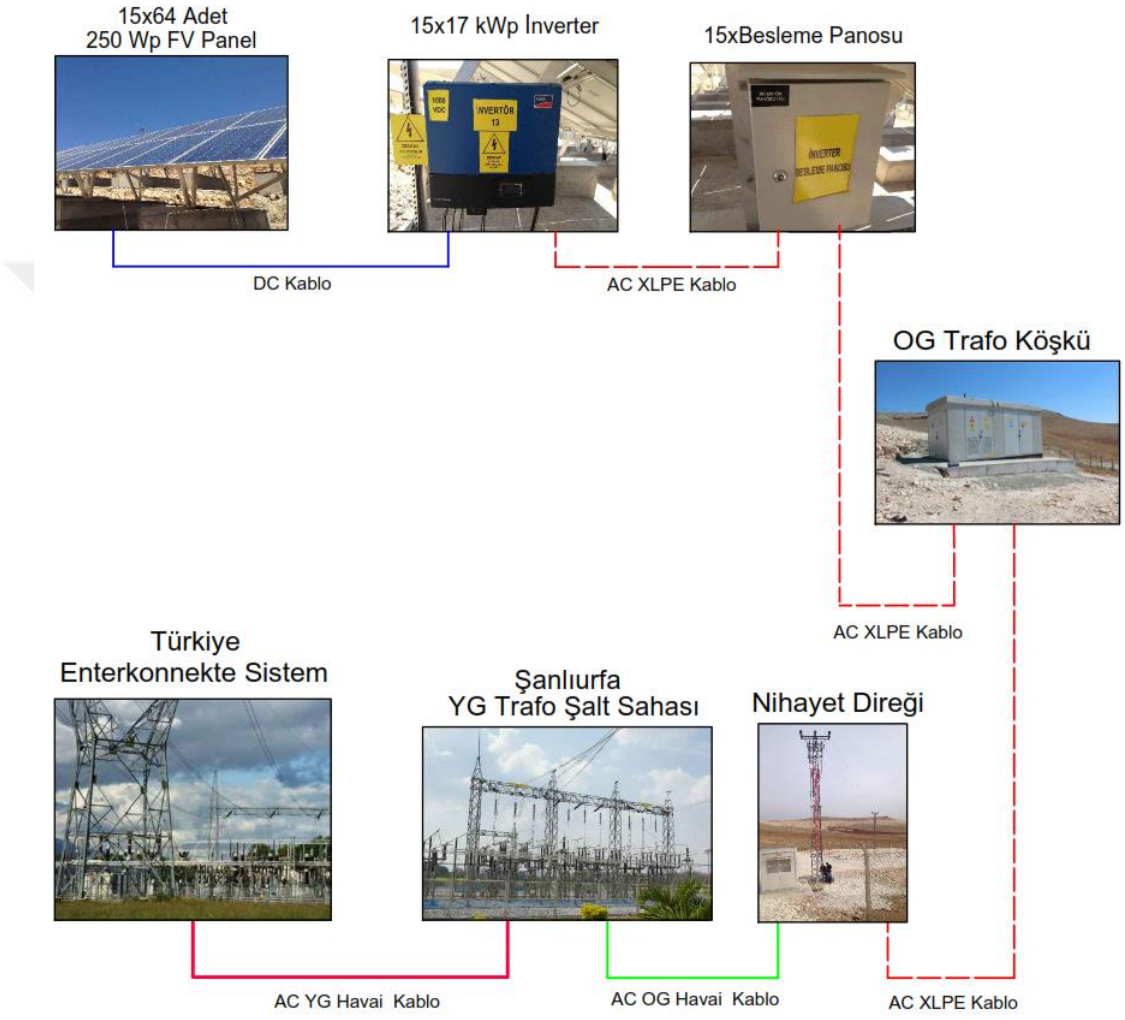
Bu çalışmada; Şanlıurfa ili içerisinde bulunan 240 kWp kurulu güce sahip, FV Santralin, AG tarafında şebekeye verdiği elektrik enerjisinin güç kalite parametrelerini incelemek üzere, IEC 61000-4-30 ölçüm standardı kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Alınan bu ölçümler; ülkemizde güç kalite parametreleri için gerekli şartların sağlanmasına dair referans standart olan, TS EN 50160 Enerji Kalite standardına göre incelenerek, gerekli güç kalite parametreleri sonuçları analiz edilmiştir. FV santrale ait güç kalite parametrelerinin OG hattına etkisini, simülasyon ortamında gözlemleyebilmek için de, DIgSILENT PowerFactory programında yük akışı analizi ve dinamik simülasyon yöntemleriyle enerji nakil hattının simülasyonu gerçekleştirilmiş. Elde edilen simülasyon verileri ve ölçüm değerleri arasında oluşan farklılıklar ve farklılıklara neden olabilecek etkenler analiz edilmiştir.

3.1.1. Şebeke bağlantılı 240 kWp fotovoltaik santral yapısı ve bileşenleri

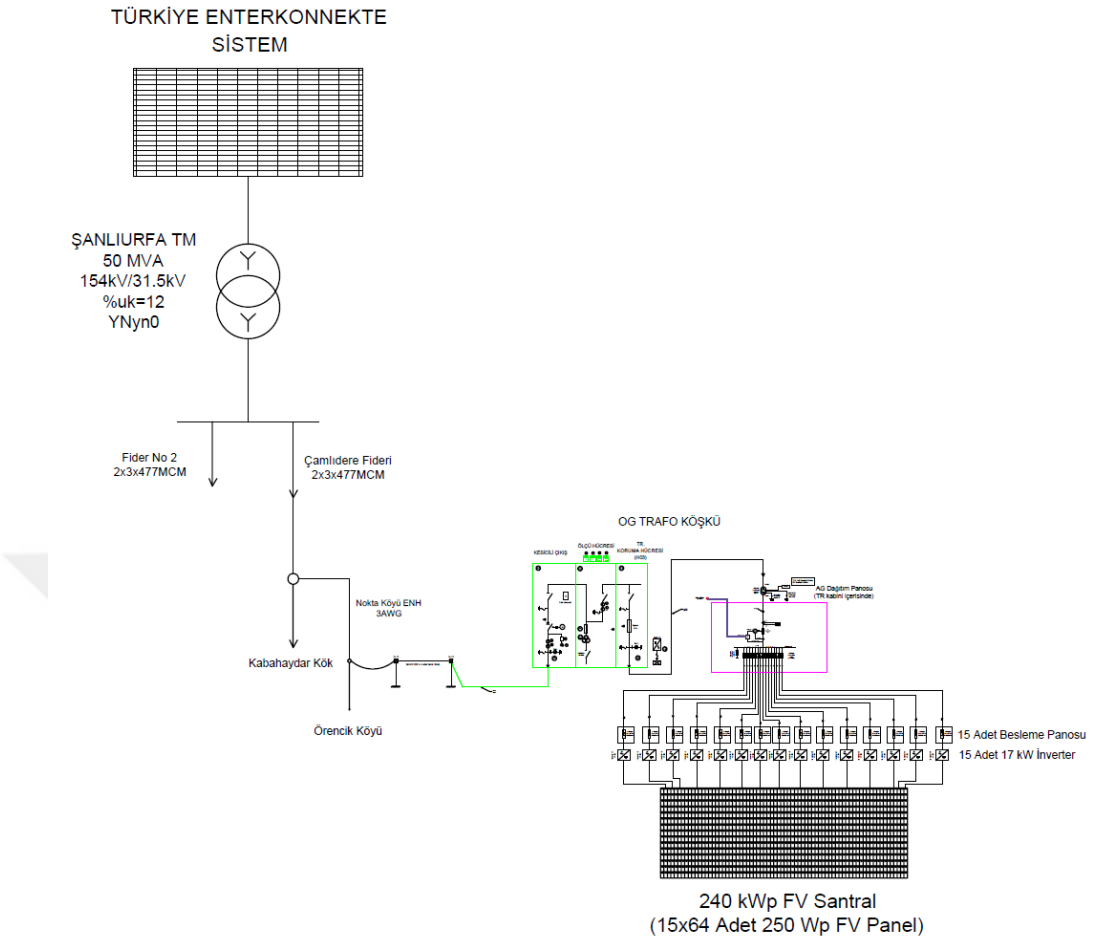


Şekil 3.1. 240 kWp FV santral görüntüsü

Şanlıurfa Merkezinde bulunan 240 kWp kurulu gücündeki, FV santral şebekeye OG enerji nakil hattından bağlanmaktadır (Şekil 3.1.). Bağlantı noktasına kadar sistem üzerinden herhangi bir yük gereksinimi bulunmamaktadır. Sisteme ait elemanların bulunduğu Şekil 3.2.'de blok bağlantı şeması ve Şekil 3.3.' de tek hat şebeke bağlantı şeması gösterilmektedir.

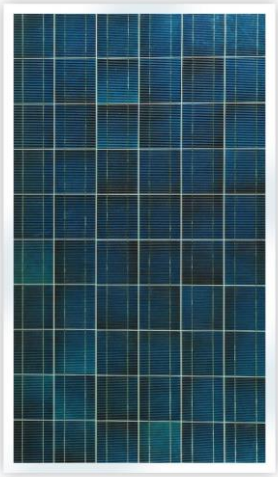


Şekil 3.2. FV Santral blok bağlantı şeması



Şekil 3.3. FV Santral tek hat şebeke bağlantı şeması

FV santralde panel olarak; 960 adet 250 Wp gücünde, CSUN firmasına ait, CSUN-250P serili çok kristalli FV panel kullanılmıştır (Şekil 3.4.). Burada çok kristalli FV panellerin seçilmesinin nedeni; yüksek sıcaklıklarda çok kristalli paneller diğer tipteki FV panellere göre daha az verim düşüşleri yaşamalarından dolayıdır (Hankins, 2010). Çizelge 3.1.'de CSUN 250 Wp FV panel modül elektriksel değerleri verilmiştir.



Şekil 3.4. CSUN 250 Wp FV panel şekli

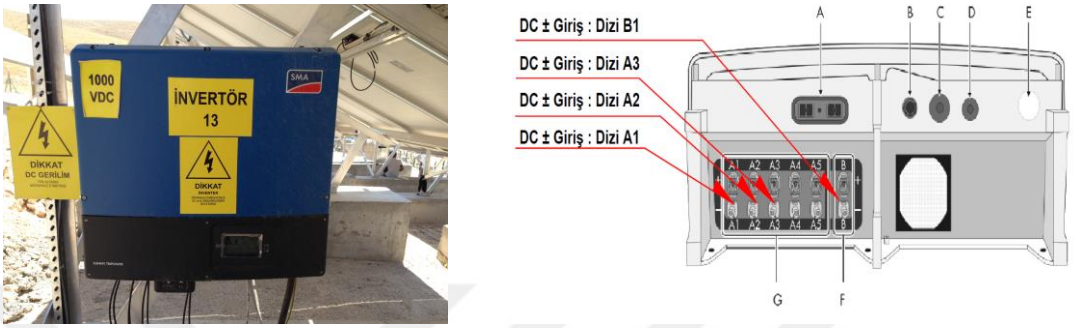
Çizelge 3.1. CSUN 250 Wp FV panel modül elektriksel değerleri

CSUN 250Wp FV Panel **Modül Elektriksel Değerleri**	
Panel Maks. Gücü-Pmax	250 Wp
Güç Toleransı	0/+7,5 Wp
Maks. Güç Gerilimi-Umpp	29,9 V
Maks. Güç Akımı-Impp	8,36 A
Açık Devre Gerilimi-Voc	37,3 V
Açık Devre Akımı-Isc	8,83 A
NOCT(℃)	47 ± 2℃
Maks. Sistem Gerilimi	1000 V
Sıcaklık Katsayısı[V] [I]	-0,292%/K ׀ 0,045%/℃ ׀ -0,408%/K
Maks. Ters Akım	15 A

İnverter olarak; 15 adet 17000 kW gücünde, SMA firmasının, Sunny Tripower 17000TL serili inverter'i kullanılmıştır. Bu inverterler, tam sinüs çıkış üretebilen ve aynı zamanda şebekedeki adalanmadan koruma özelliğine sahiptir. Bu inverterler sahip olduğu dâhili soğutma üniteleri ile yüksek sıcaklıklarda verim düşüşlerini en aza indirebilecek şekilde tasarlanmıştır.

FV santralde kullanılan inverter'in, toplamda 4 mpp girişi bulunmaktadır (Şekil 3.5.). Her bir mpp girişi, 400-800 V aralığında çalışabildiği için her bir inverter mpp girişine, 16 adet fotovoltaik panel seri olarak girilerek çalışma gerilimi toplam olarak,

478,4 V (16 x 29,9 V) olarak ayarlanmıştır. Bu bilgi ışığında her bir mpp girişi güç değeri, 478,4 V x 8,36 A (Umpp x Impp) = 4 kW olarak elde edilir. Bu sayede, her bir inverter' e ait, 4 adet mpp girişinin toplam güç değeri, 16 kW (4 x 4 kW) olarak ayarlanmıştır (Çizelge 3.2.).



(a) (b)

Şekil 3.5. a) Sunny Tripower 17000TL inverter şekli b)İnverter bağlantı bilgileri

Çizelge 3.2. Sunny Tripower 17000TL inverter elektriksel değerleri

Sunny Tripower 17000TL İnverter Elektriksel Değerleri	
Giriş (DC)	
Maks. DC Güç	17410 Wp
Maks. Sistem Gerilimi	1000 V
MPPT Gerilim Aralığı	400 V ~800 V
Maks. Giriş Akımı [Inp.A/ Inp.B]	33 A / 11 A
Maks. Giriş Akımı/Dizi [Inp.A/ Inp.B]	40 A / 12,5 A
Çıkış (AC)	
Maks. AC Güç	1700 W
Nominal AC Gerilimi	3/ N / PE;230 / 400 V
Maks. Çıkış Akımı	24,6 A
Anma Şebeke Frekansı	50 Hz / 230 V

FV panel tarafından üretilen DC akım, inverter tarafından AC akıma çevrildikten sonra inverter çıkışlarında konuşlandırılmış besleme panolarına girmektedir.

Bu santralde toplamda 15 adet besleme panosu bulunmaktadır. Bu besleme panoları içerisinde; 4 kutuplu kaçak akım koruma rölesi ve otomat bulunmaktadır (Şekil 3.6.).

Tüm bu panolar, FV santralde önceden yapılmış topraklama hattından alınan topraklama kablosu ile korunmaktadır. Besleme panosu sayesinde; hatta oluşacak kaçak akım veya yüksek akımlarda devreyi açarak sistemin zarar görmesi engellenecek. Aynı zamanda, inverterler'de yapılacak bakım ve arıza durumlarında hat besleme panosundan açılarak çalışmalar rahatça tamamlanabilecektir.



(a) (b)

Şekil 3.6. a) FV santral besleme panosu iç görüntüsü b)Besleme panosu elektriksel sembolü

Besleme panosundan çıkan 5 damarlı XLPE kablolar, FV santralde kablo tavaları tarafından korunaklı bir şekilde taşınmıştır. Bu kablolar, trafo köşküne yakın bir yerde yer altına taşınarak trafo köşkünün içinde bulunan, AG Dağıtım Panosuna bağlanmıştır (Şekil 3.7.).



Şekil 3.7. FV santral kablo tavası görüntüsü

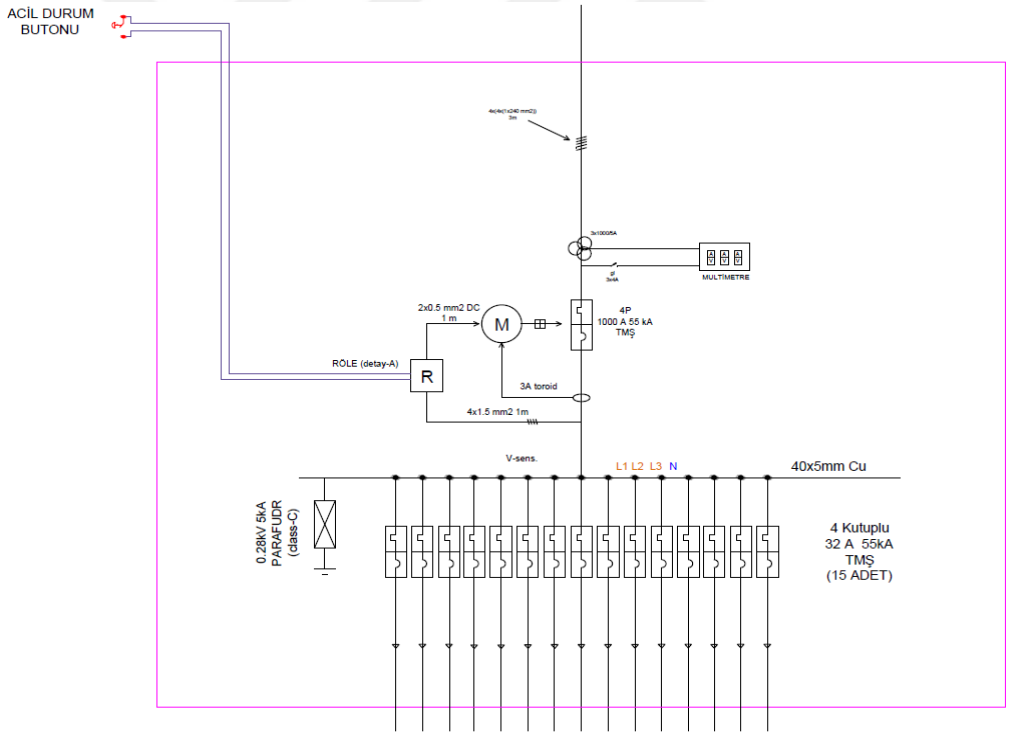
AG dağıtım panosunun girişine kablo tavalarıyla gelen, 5-damarlı XLPE kabloların besleme girişleri, termik manyetik şalterlere girildikten sonra, AG dağıtım panosu içinde ki, 40x5 mm kalınlığındaki bakır baraya bağlanmıştır. Aynı zamanda bu bakır bara üzerinde bağlanan, C-sınıfı bir parafudr sayesinde, güç sistemini yıldırım deşarjlarını karşı korunması sağlanmıştır. Şekil 3.8.'de FV santral AG dağıtım panosu görüntüsü verilmiştir.

AG dağıtım panosunda bara çıkışında sabit bulunan akım toroidi ve gerilim trafosu sayesinde, üretilen 3-faz enerji ile ilgili; akım, gerilim ölçülerek, AG dağıtım panosu üzerinde bulunan enerji analizörüne aktarılır. Bu sayede güç sistemine ait akım, gerilim, güç değerleri ve $\cos^{\varphi}$ değerleri pano üzerinden okunabilmektedir. Ayrıca acil durum butonu ile istenilmeyen durumda sistem hızlı bir şekilde kapatıla bilinir.

AG dağıtım panosunda ki bakır bara girişine giren tüm 3-faz beslemeler, bakır bara çıkışında besleme gerilimi, 400 Volt olacak şekilde 3-faz olarak çıkartılarak termik manyetik şaltere girilmiştir. Termik manyetik şalter çıkışı da, trafo köşkünde bulunan, trafomuzun AG sargılarının bulunduğu uçlarına bağlantısı yapılmıştır (Şekil 3.9.).



Şekil 3.8. FV santral AG dağıtım panosu görüntüsü

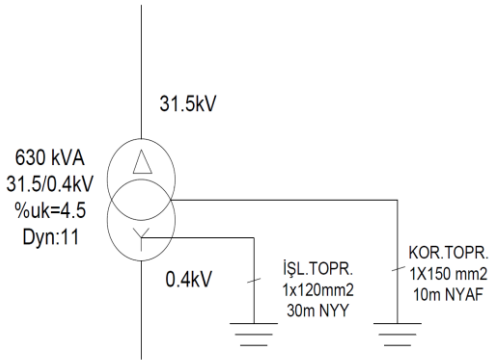


Şekil 3.9. FV santral AG dağıtım panosu elektrik sembolleri

AG dağıtım panosundan çıkan 400 V besleme gerilimi, Trafo Köşkünün diğer bir bölmesinde bulunan trafonun 400 V-yıldız kısmına, L1, L2, L3 fazı ve nötr kablosuyla bağlantı yapılır. Burada bulunan trafo; 630 kVA büyüklüğünde, yıldız-üçgen sargılı, yağlı ve 31,5/0,4 kV gerilim seviyesi çevirme oranına sahiptir. Trafonun AG tarafı, işletme topraklamasına ve trafonun dış kısımlarında da koruma topraklamasına sahiptir (Şekil 3.10.).



(a)



(b)

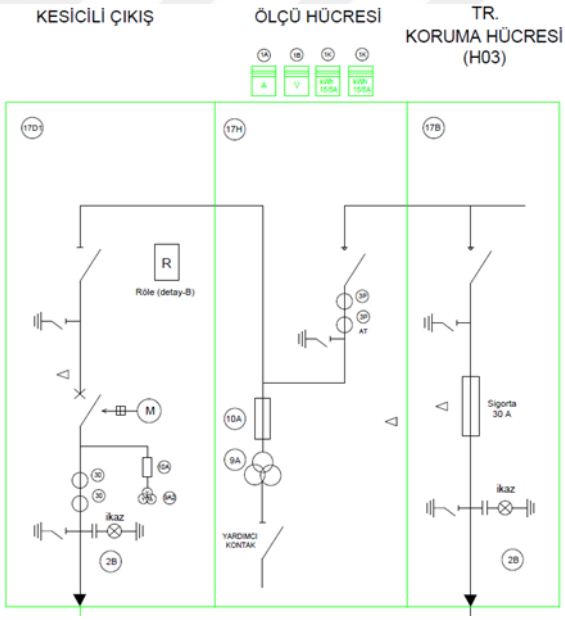
Şekil 3.10. a) FV santral, trafo odası ve bağlantıları b) Trafo elektrik sembolü

Trafoda 0,4 kV, 31,5 kV seviyesine çevrildikten sonra; L1, L2, L3 fazı olarak trafodan çıkarak, trafo köşkünün diğer bir kısmı olan koruma hücresine girilmiştir (Şekil 3.11.).

Trafo koruma hücresinde bulunan, röle ve kesici sayesinde koruma yapılır. Trafo koruma hücresinde ki elemanlar için seçilen güvenlik tolerans değerlerinin üstüne çıkılınca, röle tarafından kesiciye açma komutu gönderilir. Ayrıca ikaz lambası sayesinde, hat açma yaptığı zaman uyarı sinyali verilmektedir (Şekil 3.12.).



Şekil 3.11. FV santral, OG çıkış pano hücre görüntüleri



Şekil 3.12. FV santral, OG çıkış pano hücre elektrik sembolleri

Trafo koruma hücresine gelen enerji, bara üstünden geçerek aynı zamanda ölçü hücresine de iletilir. Ölçü hücresi üzerinde bulunan, akım trafosu ve gerilim trafosu sayesinde trafodan enerji nakil hattına iletilen akım ve gerilim değerleri elektronik sayaç sayesinde okunabilmektedir.

FV santrallerde zorunlu olarak bulunması gereken çift yönlü sayaç ölçü hücresinde yer almaktadır. Burada üretilen ve tüketilen enerjiyi çift yönlü sayaç

üstünde okuma imkânı bulunmaktadır. Santralin ay sonunda elektrik üretim ve tüketim miktarı farkı, bölgede ki enerji dağıtım firması tarafından okunarak mahsuplaşma yöntemiyle hesaplanarak, fazla enerjinin gerekli ücreti üreticiye ödenir. Üretilen bu enerjinin fazla olması durumunda her 1 kWh başına üreticiye 13,3 Dolar Cent, elektrik dağıtım firması tarafından ödenmektedir (EPDK, 2013). Tam tersi durumda, dağıtım firmasının belirlemiş olduğu puant saat uygulaması miktarı tüketici tarafından dağıtım firmasına ödenir.

Ölçü hücresinden geçen enerji, enerji nakil hattına iletilmeden önce en son olarak kesicili çıkış hücresinden geçmektedir. Kesicili çıkış hücresi, ayırıcı, kesici ve koruma sistemlerinden oluşan bir yapıdır. Ayrıca bu hücredeki röle sayesinde; enerji nakil hattında, enerji bulunmadığı durumlarda röle devreyi açmaktadır. Kendi elektrik enerjisini üreten, şebeke arz ve güvenliğini sağlamaya çalışan fider yapısına otoprodüktör fideri denilmektedir. Elektrik dağıtım firmaları genellikle, Lisanssız FV santral kurulumlarında şebekeye bağlantı sisteminin otoprodüktör fider yapısına sahip olarak tasarlanmasını istemektedir.

Kesicili çıkış hücresinin çıkışında ki enerji, enerji nakil hattına XLPE kablo ile yeraltından taşınarak, demir nihayet direğine, saplama bağlama yöntemiyle direk üstünde ki traverse bağlanmıştır. Bu sayede, FV santralin enerji nakil hattına bağlantısı yapılmıştır (Şekil 3.13.).



(a) (b)

Şekil 3.13. a) FV Santral nihayet direği bağlantısı b) Nihayet direği bağlantısı elektrik sembolü

3.1.2. Fluke 435 güç kalite analizörü

Enerji üretim santrallerinde, üretilen enerjinin ölçülmesinde sıklıkla güç kalite analizörleri kullanılmaktadır. Çalışma yapılan FV santralde, kullanılan Fluke 435 güç kalite analizörü ile enerji üretim santraline ait; akım, gerilim, frekans, güç katsayısı, aktif güç, reaktif güç, görünür güç, kırpışma, anlık akım ve gerilim değişimleri, harmonik distorsiyon, ara harmonik değerlerini, anlık istenilen zaman periyodunda ölçüp kaydetme özelliğine sahiptir.

Şekil 3.14.'de gösterilen Fluke 435 Güç Kalite Analizörü Cihazı, 3-faza kadar ana şebeke sinyalinin ölçülmesi, veri saklama, IEC61000-4-30 2003 Sınıf A'ya göre %0,1 gerilim giriş hassasiyeti, veri saklamak için ekstra belleğe, güç veri kaydı yazılımına, esnek akım pensleri ve ağır iş troley tarzı kutu gibi çeşitli ek özelliklere de sahip bir cihazdır (Fluke, 2008).



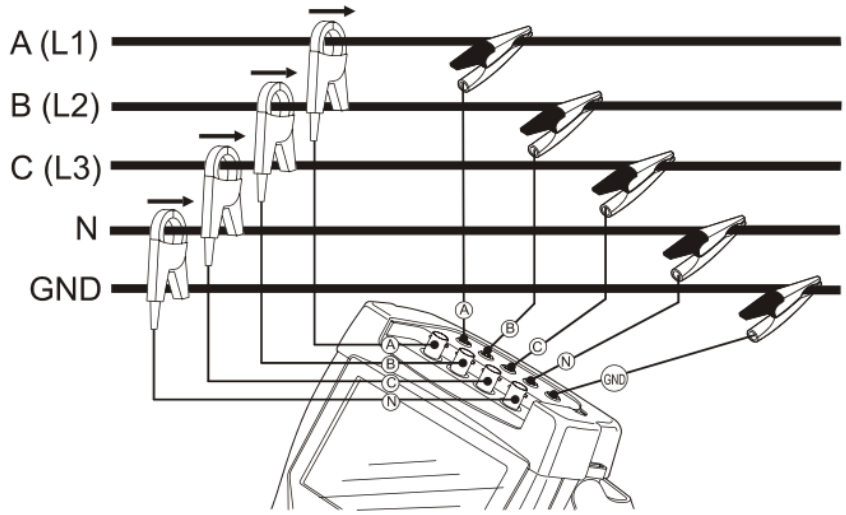
Şekil 3.14. Fluke 435 güç kalite analizörünün görüntüsü

Güç kalite analizörüne kaydedilen ölçüm değerleri ve karakteristiklerini, güç kalite analizörü cihazına ait, Power Log analiz programına aktarılarak ölçüm sonuçlarını analiz etme imkanı sağlamaktadır. Bu yazılım sayesinde, enerji üretim sistemlerinin çalışma performansını, geniş bir şekilde analiz etme şansına sahip olunmaktadır.

3.1.2.1. Fluke 435 güç kalite analizörü ölçüm fonksiyonları

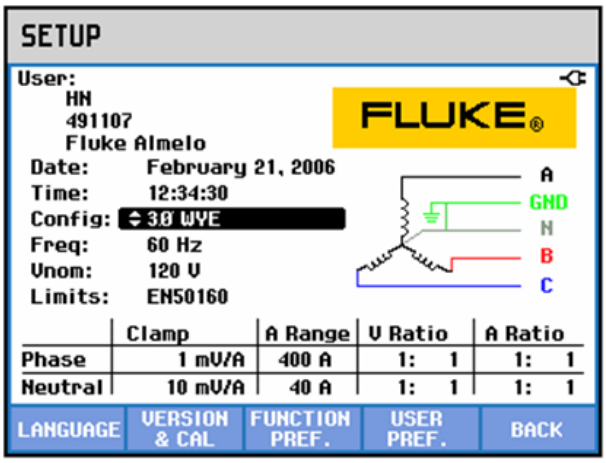
Fluke 435 cihazı Analizör, akım pensleri için 4 adet BNC girişine ve gerilim için 5 adet muz tipi fiş girişine sahiptir. Servise kabul sırasında gereken ölçümler için, 600 V CAT IV, 1000 V CAT III güvenlik standardına uygundur (Fluke, 2008).

Şekil 3.15.'de görüldüğü gibi bağlantılar yapılarak ölçüm yapılır. Ölçüm yapılmadan önce güç sistemlerinin kapalı olduğundan emin olmak gerekir. Cihaz kullanım sırasında kişisel korunma için uygun ekipmanları kullanmak gerekmektedir.



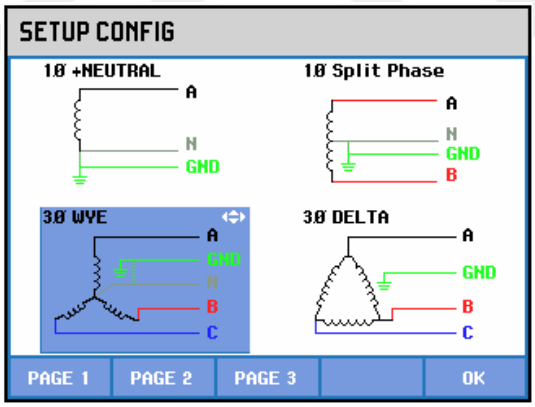
Şekil 3.15. Analizörün 3-fazlı dağıtım sistemine bağlantısı

Bağlantıları yaptıktan sonra ölçüme başlamadan önce ölçüm bağlantısı yapılacak güç sisteminin özelliklerini girmek için, analizörün ‘‘Setup’’ tuşuna basılarak yapılandırma ayarlarının yapılacağı, Şekil 3.16.'da görülen analizör ekranı kısmına girilir.



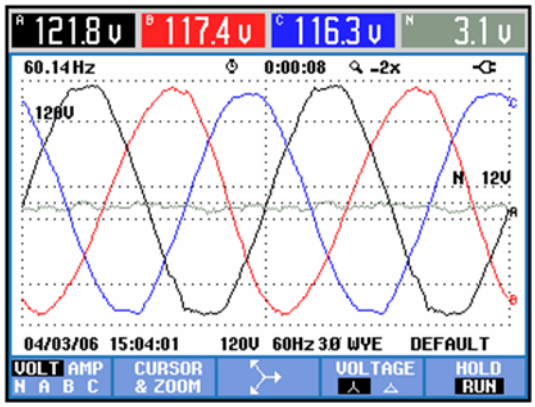
Şekil 3.16. Analizör setup ekran görüntüsü

Açılan Şekil 3.16.'daki ekranda; tarih, zaman, yapılandırma, frekans, nominal voltaj ve limitlerin belirleneceği standartların seçileceği kısımlar bulunur. Buradan güç sistemine ait parametreler girilip ve yapılandırma kısmında Şekil 3.17.'de görülen bağlantı şekillerinden, doğru olan bağlantı şekli seçilerek ölçümlere başlana bilinir.



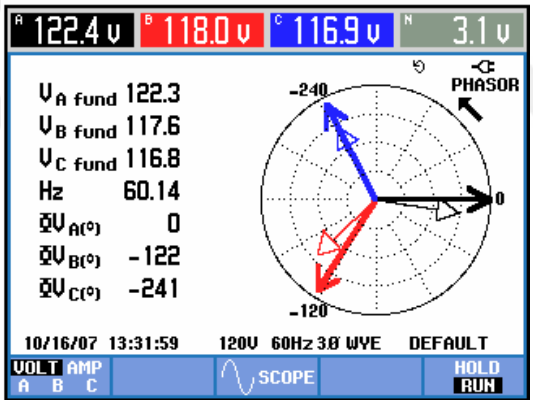
Şekil 3.17. Analizör konfigürasyon ayar ekran görüntüsü

Bağlantıları ve güç sistemine ait bağlantı ayarlarını yaptıktan sonra bağlantıların doğruluğundan emin olabilmek için analizörün üstündeki scope tuşuna basılarak fazların doğru bağlandığına emin olunur. Şekil 3.18.'de görülen scope ekranı yüksek güncelleme hızıyla osiloskop tarzı görüntüleme imkânı sunar.



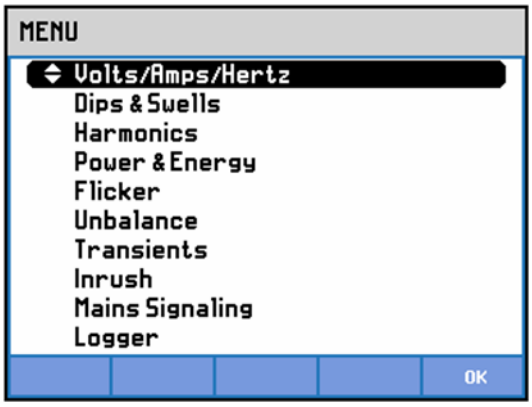
Şekil 3.18. Analizör scope ekran görüntüsü

Şekil 3.18.'deki scope ekranında bulunan fazör işareti seçilerek, Şekil 3.19.'daki görünen scope fazör ekranı çıkar. Buradan bağlantı yapılan fazlar istenilen vektörlerin üstüne denk geliyor mu diye kontrol edilerek, bağlantıların doğruluğu karşılaştırılmış olunur.



Şekil 3.19. Analizör scope fazör ekran görüntüsü

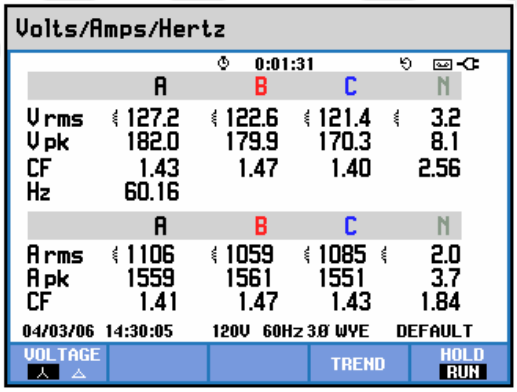
Ölçümler başlatıldıktan sonra, anlık olarak ölçülen değerleri görebilmek ve kayıt işlemleri gerçekleştirmek için analizörün üstündeki menü tuşuna basılarak cihaz fonksiyonlarının okunula bilindiği, Şekil 3.20.'de görülen ekran açılır.



Şekil 3.20. Analizör Menü ekran görüntüsü

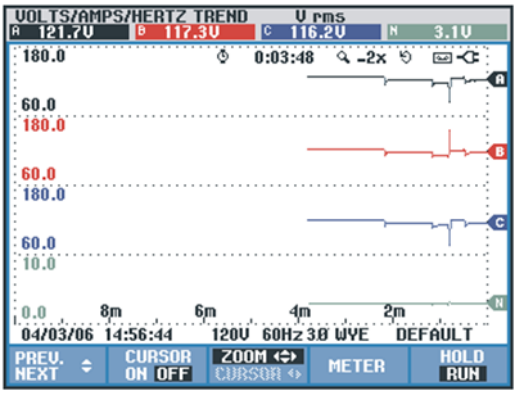
Menüdeki ölçüm fonksiyonlarından ve özelliklerinden bahsedilirse:

Menüdeki ‘‘Volt/Amper/Hertz’’ kısmında, anlık olarak güç sistemine ait zamana göre gerilim, akım ve frekans değerlerinin izlenilmesi mümkündür. Ayrıca bu ölçülen verilerle ilgili zirve faktörleri de görüntülenir. Bu sayede ölçüm yapılan güç sisteminde, istenmeyen yükseliş ve düşüşleri inceleme şansı elde edilir.



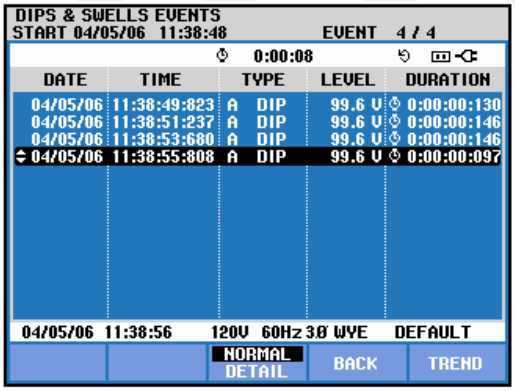
Şekil 3.21. Analizör Volt/Amper/Hertz ekran görüntüsü

Şekil 3.21.’deki ekranda ölçülen gerilim, akım ve frekans değerlerinin anlık değişimlerini, grafiksel olarak kaydedildiği trend kısmına girilerek de izlemek mümkündür.



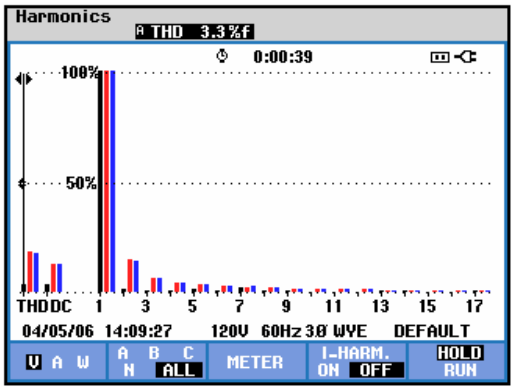
Şekil 3.22. Analizör Volt, Amper ve Hertz Trend Ekranı

Menüdeki ‘‘Düşüşler ve Yükselmeler’’ kısmında, normal gerilim sinyalinde meydana gelen hızlı düşüşleri, yükselmeleri, kesintileri ve hızlı gerilim değişimlerini görmek için kullanılır (Şekil 3.22.). Şebekede oluşan, düşüşleri, yükselmeleri, kesintileri ve hızlı gerilim değişimlerinin kayıt sonrasında hangi zamanlarda gerçekleştiğinin kayıtlarını Şekil 3.23.’de görülen olay tablosu kısmında bulmak mümkündür.



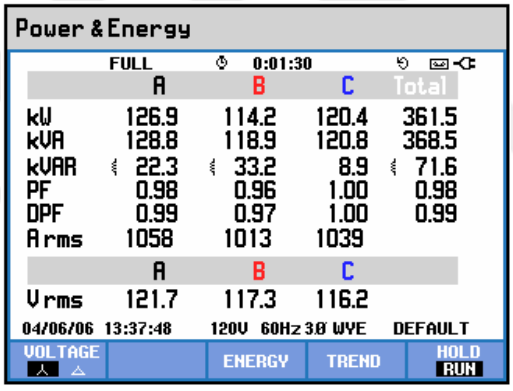
Şekil 3.23. Analizör olay tabloları ekranı

Menüdeki ‘‘Harmonikler’’ kısmında, güç sisteminin ürettiği enerjinin, 50. harmoniğine kadar ölçme ve kaydetme özelliğine sahiptir (Fluke, 2008). Ölçülen verilerde, THD ve K faktörü vb. harmonik bileşenler ölçülüp kaydedilir. Bu kısımda alınan ölçüm sonuçları, çubuk grafik ekranında, trend ekranında veya ölçüm ekranında görüntülene bilinir (Şekil 3.24.). K faktörü, transformatörlerde oluşan harmonik akımları nedeniyle gerçekleşen potansiyel kayıpları belirten bir sayıdır. Yüksek sıralı harmonikler, K faktörünü düşük sıralı harmoniklere göre daha fazla etkilemektedir (Fluke, 2008).



Şekil 3.24. Harmonik çubuk grafik ekranı

Menüdeki ‘‘Güç ve Enerji’’ kısmında, ölçülen güç sisteminin fazlarına ait güç ve enerji bilgilerinin zamana göre değişimi izlenilmektedir.

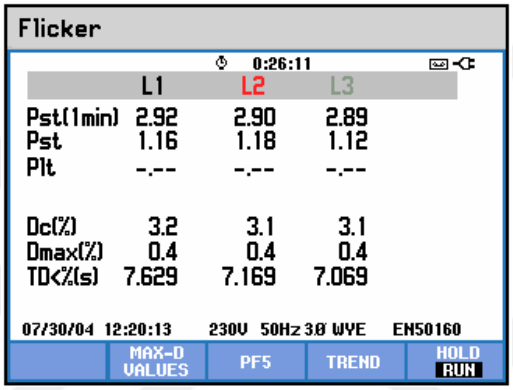


Şekil 3.25. Analizör güç ve enerji ölçüm ekranı

Şekil 3.25.’deki ölçüm ekranı, her faz ve fazlara ait toplam olarak güç verilerine ait: aktif güç (kW), reaktif güç (kVAR), görünür güç (kVA), güç faktörü (PF), değiştirme güç faktörü (DPF veya cos ϕ), akım ve gerilimin 12/10 veya 180/150 döngü rms değerlerini izleme imkânı verir (Fluke, 2008).

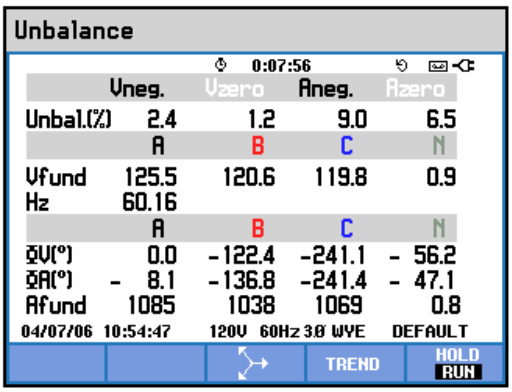
Ölçüm ekranında güçleri ait, kapasitans ve indüktans yük simgeleri bulunmaktadır. Bu simgeler yükün kapasitif veya indüktif yük olduğunu göstermektedir.

Menüdeki ‘‘Gerilim Kırpışması’’ kısmında, lambalarda oluşan besleme geriliminden kaynaklı meydana gelen gerilim kırpışması durumunu ölçmeye yarayan bir kısımdır. Analizör oluşan gerilim değişikliğinin zamana göre değişimini, 60 Watt bir lambanın titremesinden kaynaklanan bir ‘‘rahatsızlık faktörüne’’ dönüştürür (Fluke, 2008). Gerilim kırpışması şiddeti katsayılarına ait, kısa vadeli şiddet Pst (1 dak. üzerinden ölçülür), kısa vadeli şiddet Pst (10 dak. üzerinden ölçülür) ve uzun vadeli şiddet Plt (2 saat üzerinden ölçülür). Bu veriler ve ilgili D parametreleri Dc, Dmax ve TD (EN61000-3-3'e göre) ölçüm ekranında görüntülenir (Şekil 3.26.).



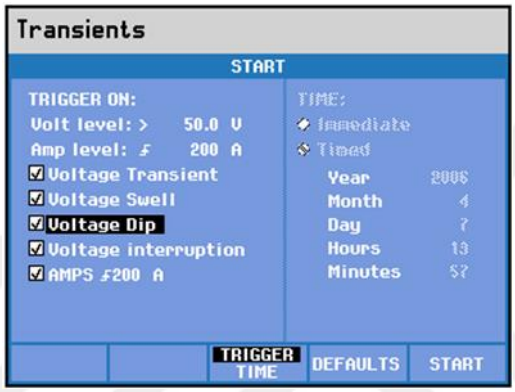
Şekil 3.26. Analizör fliker ekranı

Menüdeki ‘‘Dengesizlik’’ kısmı, gerilim ve akım arasındaki faz ilişkisini görmemize yarar. Üç fazlı sistemlerde faz geçişleri arasındaki açı 120 derece olmalıdır (Fluke, 2008). Burada faz açıları arasında ki açılar fazör diyagramına göre anlaşılacak şekilde ‘‘-’’ veya ‘‘+’’ olarak gösterilmiştir (Şekil 3.27.).

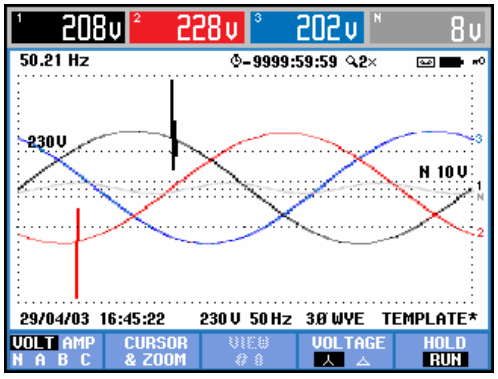


Şekil 3.27. Analizör dengesizlik ölçüm ekranı

Menüdeki ‘‘Geçici Rejimler (Transients)’’ kısmında, güç sistemlerinde kesinti olduğu esnada yüksek çözünürlüklü dalga biçimlerini ölçme ve kaydetme işlemi gerçekleştirilir. Bu değişiklikler; dalga biçiminde meydana gelen yükselmeler, kesintiler, akım yükselmeleri ve geçici akımlar sırasında meydan gelen farklılıklardır (Şekil 3.28.). Burada oluşan değişiklikleri, ölçüm öncesinde belirlenecek sınır değerlerin altına inmesi veya çıkması durumuna göre de analizör olay tablosu yaparak kaydetme özelliğine sahiptir (Şekil 3.29.). Analizör, toplamda en fazla 40 adet olay kaydetme kapasitesine sahiptir (Fluke, 2008).



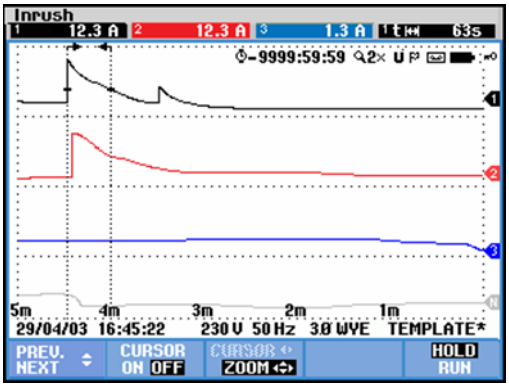
Şekil 3.28. Analizör geçici akım ayar ekranı



Şekil 3.29. Analizör geçici akım ölçüm ekranı

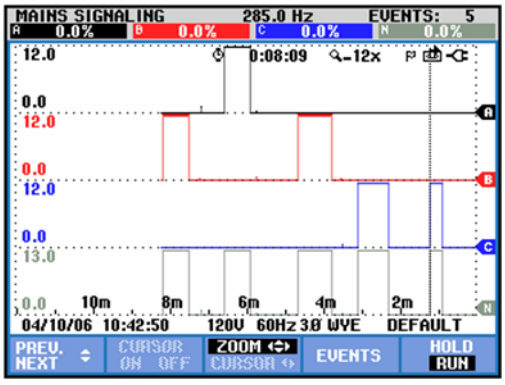
Menüdeki ‘‘Kalkış’’ kısmında, kalkış akımları ile ilgili güç sisteminde oluşan hatalar ve yük tarafından çekilen akım nedeniyle oluşan dalgalanmalardır. Dalga şeklindeki bu değişiklikler, limit değerinin aşılması durumunda ortaya çıkar. Burada yükün akım çektiği anda hatta oluşan dalgalanma bir süre sonra dengelenecektir. Bu

süre zarfında akım ve gerilim şeklinde oluşan dalga şeklini ölçme ve kaydetme şansı bulunmaktadır (Şekil 3.30.).

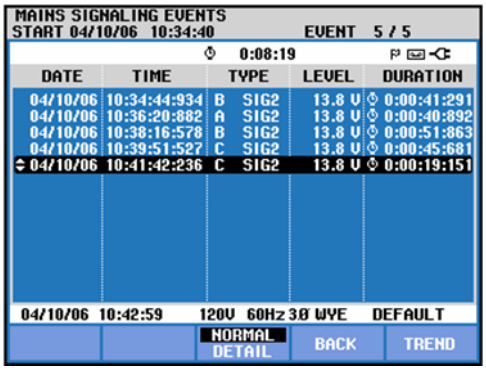


Şekil 3.30. Analizör kalkış ölçüm ekranı

Menüdeki ‘‘Ana Şebeke Sinyali’’ kısmında, güç dağıtım sistemlerinde uzaktan kontrol etmek için kullanılan, 50 Hz normal hat frekansından yüksek frekansa sahip olan sinyalleri yakalamak için kullanılır (Şekil 3.31.). Bu sinyaller yaklaşık olarak 3 kHz’e kadar yükselebilir. Ana şebeke sinyali, analizör tarafından, frekans aralığı 50 Hz sistemler için; 60-2500 Hz olarak sinyalleri yakalayabilir (Fluke, 2008). Ana şebeke sinyalini yakalamak için başlat menüsünden her frekans için tetikleme gerilimi ve eşiği nominal hat gerilimi yüzdesi olarak ayarlanır. Bu kısımda, aynı zamanda sinyalin zamanı da ayarlanabilir. Bu sayede ölçüm ekranında, gözle kontrol daha kolay olur. Ölçüm sonuçları olay ve trend ekranında gözlemlenebilir (Şekil 3.32.).

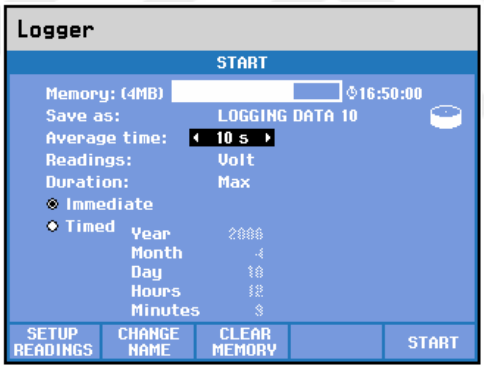


Şekil 3.31. Analizör ana şebeke sinyali trend ölçüm ekranı



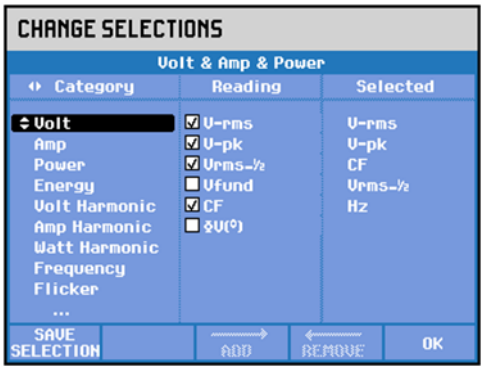
Şekil 3.32. Analizör ana şebeke sinyali olay ölçüm ekranı

Menüdeki ‘‘Kayıt Cihazı’’ kısmında, cihazda yapılan ölçümleri, yüksek çözünürlüklü olarak kaydetme şansı bulunmaktadır. Bu ölçümleri, kayıt ekranında ki zaman aralığını önceden belirleyerek ölçümler başlatılır. Analizörde kayıt öncesinde ayarlanması gereken bazı parametreleri girmek için, Şekil 3.33.’deki kayıt cihazı ekranı kullanılmaktadır.



Şekil 3.33. Analizör kayıt cihazı ayarlama ekranı

Kayıt cihazı ekranın da bulunan, ayar değerleri (setup readings) kısmına girilerek, ölçümü yapılacak parametrelerin kategori ve bu kategori içinden özelde hangi değerlerin ölçüleceğine dair seçimler yapılır. Ayar değerleri kısmında istenilen değerler işaretlendikten sonra ölçüm başlatılır (Şekil 3.34.). Yapılan bu çalışmada, EN 50160 standartlarında gerekli olan tüm ölçülmesi gereken parametreler seçilmiştir.



Şekil 3.34. Analizör kayıt cihazı parametre seçim ekranı

Tüm bu parametreler ayarladıktan sonra, kayıt cihazı ayarlama ekranına dönülerek kayıt başlatılır. Kayıt işlemi sonlandırıldıktan sonra ölçülen bu verilerin okunması için analizöre ait, Power Log adlı yazılım programına aktarılarak ölçüm verileri ve bu ölçüm verilerine ait grafik ve olay tablolarına ulaşılır**.**

3.1.2.2. Fluke 435 güç kalite analizörü Power Log yazılımı

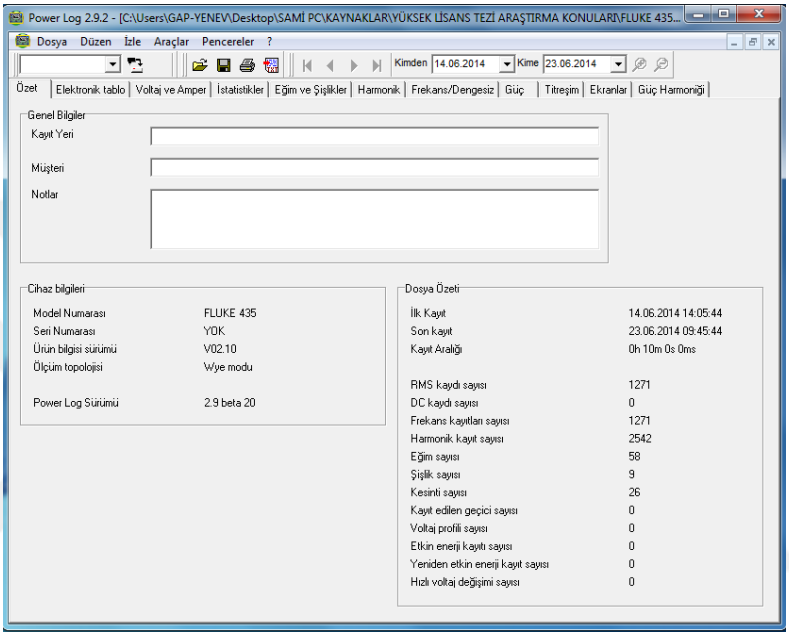
Analizörün kayıt cihazı yardımıyla kaydedilen veriler; analizöre ait, Power Log yazılımının 2.9.2 versiyonuna aktarılarak analiz edildi. Bilgisayara kurulan, Power Log yazılımına, analizör üstündeki optik bağlantı kablosu yardımıyla bilgisayara bağlantı yapılarak veriler aktarıldı.

Analizörden veriler aktarıldıktan sonra, Şekil 3.35.'deki ekran çıkmaktadır. Ölçümleri analiz etme imkânı olan bu ekranda, aşağıdaki sekmeler bulunmaktadır:

- Özet
- Elektronik Tablo
- Voltaj ve Amper
- İstatistikler
- Eğim ve Şişlikler
- Harmonik
- Frekans/Dengesizlik
- Güç
- Titreşim (Fliker)
- Ekranlar

- Güç Harmoniği

Şekil 3.35.'deki ekranda, aynı zamanda kayıt sırasında karşılaşılan olayların özeti niteliğinde bilgilendirme kısmı da bulunmaktadır. Bu kısımda görülen tüm sekmelerde kayıt sırasında zamana göre değişimler ve grafiksel olarak sonuçlarla karşılaşılmaktadır.



Şekil 3.35. Power Log yazılımı ana ekran görüntüsü

3.2. Yöntem

3.2.1. TS IEC 61000-4-30 deneyler ve ölçme teknikleri - güç kalitesini ölçme metotları

Yapılan çalışmada, ölçümler sırasında kullanılan Fluke 435 güç kalite analizörü cihazı, IEC 6100-4-30 sınıf-A standardına göre ölçüm yapabilme yeterliliğine sahiptir.

TS IEC61000-4-30-Güç Kalitesi Ölçme Metodu, güç kalitesi ölçüm cihazları ile doğru ölçüm algoritmaları tanımlayan bir ölçüm standardıdır. Bu ölçme metodu ışığında, bir güç sisteminin güç kalite parametreleri ölçümü sırasında tanımlanan değerlerin geçerli bir yöntemle ölçümler yapılması sağlanmaktadır. Bu sayede, FV santral gibi enerji üreten santrallerin, ürettiği enerjinin kalite standartlarına uygunluğunu sorgulanması mümkün olabilmektedir.

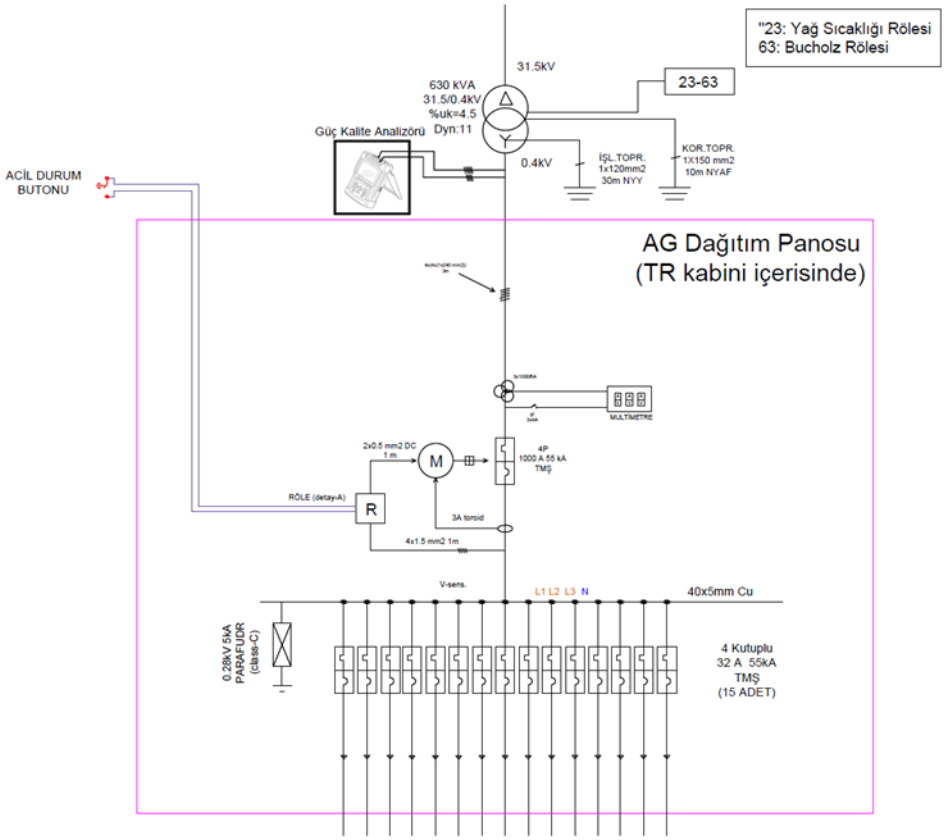
Bu ölçme metoduyla ölçülecek güç kalite parametreleri şunlardır:

- Güç frekansı
- Besleme gerilim dengesizliği
- Besleme gerilimi büyüklüğü
- Gerilim ve akım harmonikleri
- İnterharmonikler
- Fliker
- Besleme gerilim düşüşleri ve şişmeleri
- Hızlı gerilim değişimleri
- Ana şebeke sinyali
- Geçici rejimler (Transient)

Bu ölçme metodolojisine göre, ölçülecek tüm güç kalite parametrelerinin en az 1 hafta boyunca günlük değerlerinin, 10 dakikalık ortalama değerleri ölçülerek kayıt altına alınması gerekmektedir.

Bu gereksinimlere göre ölçümler yapabilmek için ilk olarak santral kapalı duruma getirilerek güvenli ve kontrollü bir şekilde bağlantı yapılması için gerekli

şartlar sağlanmıştır. Daha sonra, çalışma yapılan FV santralde, Şekil 3.36.'daki elektrik tek hat şemasına göre, Fluke 435 güç kalite analizörü bağlantısı yapılmıştır.



Şekil 3.36. Fluke 435 güç kalite analizörünün FV santrale bağlantı tek hat şeması

Bağlantı yapılırken öncelikle akım pensleri Şekil 3.37.'de görüldüğü gibi trafonun AG tarafında sırasıyla, L1, L2, L3 fazları ve Nötr iletkenlerine yerleştirildi. Daha sonra gerilim probları; trafonun AG tarafına sırasıyla, Toprak, L1, L2, L3 ve Nötr kısımlarına bağlantı yapılmıştır.



Şekil 3.37. Güç kalite analizörü trafo bağlantı görüntüleri

Ölçümlere başlanılmadan önce data kaydı için gerekli 10 dakika ortalama olarak ölçümler alınacak şekilde kayıt kısmından analizör ayarlanmıştır. Şekil 3.38.'de güç kalite analizörü cihazının probların bağlantı görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.38. Güç kalite analizörü cihazının probların bağlantı görüntüsü

Kayıt kısmından cihaz ayarlandıktan sonra kayıt başlatıldı ve daha sonra santral açılarak ölçümler başlatıldı. 15.06.2014 tarihinden itibaren santralde, toplamda 7 tam gün boyunca ölçümler alınarak kaydedildi.

3.2.2. TS EN 50160 enerji kalite standardı

TS EN 50160 Enerji Kalite Standardı; Avrupa'da benzer içeriğe sahip olan, şebeke güç kalite gereksinimlerinin belirlendiği ilgili standarttır. Standartta uyumun değerlendirilmesi için gerekli yan gereksinimler ve yöntemler yardımıyla karşılanması

gereken voltaj karakteristiği seviyeleri tanımlanmaktadır. Aynı zamanda bu standartta, kullanıcı kaynak terminallerinde veya AG ve OG elektrik dağıtım sistemlerinde normal çalışma koşullarında gerilim karakteristikleri özelliklerini de belirtir.

Burada ölçülen gerilim karakteristikleri ile beraber diğer güç kalite parametreleri ile ilgili olarak, akım, güç, frekans, güç faktörü, güç katsayısı, gerilim dengesizlikleri, harmonikler, ara harmonikler, gerilim kırpışmaları (fliker), geçici rejimler (transient) ölçüm parametrelerinin tespiti de önem arz etmektedir.

Ölçüm yaptığımız FV santralde bu standardın uygulanmasında, AG kısmı için gerekli gereksinimler göz önünde bulundurularak çalışma şartları için incelemeler yapılmıştır.

3.2.2.1. Gerilim etkin değer değişimi

TS EN 50160 Kalite Standardına göre; Gerilim etkin değeri değişimi incelenmek üzere, IEC 61000-4-30'da tanımlanan ölçüm şekliyle, tüm faz-faz ve faz-nötr uçlarının en az 1 hafta boyunca onar dakikalık süre zarfında ölçümler yapılmalıdır. Bu ölçümler sonucunda elde edilen gerilim etkin değerlerinin değişimlerinin onar dakikalarının ortalamalarının, en az %95'i nominal etkin değerinin en fazla ± %10'u kadar, tamamının ise nominal etkin değerinin en fazla ± %10-%15 aralığında olduğuna bakılmalıdır.

3.2.2.2. Gerilim dengesizlikleri

IEC 61000-4-30 standardın da tanımlanan ölçüm şekliyle alınan bir haftalık ölçüm periyotları boyunca, kararlı durumlarda gerilim dengesizliklerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri alınır. AG seviyesinin kararlı durumlarda gerilim dengesizlikleri ölçüm periyodu boyunca ölçülen gerilim negatif bileşeni etkin değerlerinin onar dakikalık ortalamalarının en az %95'inin pozitif bileşenlerine oranının %2'yi geçmemesi standartta belirtilir. Tek fazlı veya iki fazlı yüklerin beslendiği yerlerde bu oran %3'e kadar kabul edile bilinir.

3.2.2.3. Gerilimde ve akımda meydana gelen olaylar

Ölçüm sonuçlarında ortaya çıkan olay tablolarında, olayın oluştuğu andan 1 saniye öncesi ve 1 saniye sonrası dikkate alınarak grafikler çizilmelidir. Grafikler saniyede en az 6400 örnekleme hızında çizilmelidir. AG tarafında meydana gelen olaylar, standartta şu şekilde sıralanmaktadır:

- Gerilim çökmeleri
- Gerilim yükselmeleri
- Anlık gerilim dengesizlikleri
- Kesintiler, kısa kesintiler ve geçici kesintiler
- Darbeli geçici olaylar
- Salınımlı geçici olaylar

3.2.2.4. Aktif, reaktif ve görünür güçler

Ölçüm sonuçları, 1 haftalık kesintisiz ölçüm periyodu boyunca aktif (kW), endüktif reaktif ve kapasitif reaktif güçler (kVAR) ve görünür güç (kVA) değerleri asgari 10 dakikalık minimum, maksimum ve ortalama değerleri kaydedilmelidir.

3.2.2.5. Akım harmonik değişimleri

Standarda göre yapılan ölçümlerde en az 3'er saniyelik periyodlarda yapılacak, ölçümler, 15 dakikalık ortalamaları 1 hafta boyunca alınarak kaydedilmesi gerekmektedir. Kaydedilen verilerin grafiklerini oluşturulması gerekmekte ve bu oluşturulan grafiklerde harmonik bileşenlerin yanı sıra, standart limit değerleri çizgisi bulunmalıdır. Burada akım harmonikleri sınır değerleri Çizelge 3.3.'e göre değerlendirilmelidir.

Çizelge 3.3. Akım harmonikleri sınır değerleri

Tek Harmonikler						
ISC/IL	<11	11≤h<17	17≤h<23	23≤h<35	35≤h	TTB
<20 20<50 50<100 100<1000 >1000	4	2	1,5	0,6	0,3	5
	7	3,5	2,5	1	0,5	8
	10	4,5	4	1,5	0,7	12
	12	5,5	5	2	1	15
	15	7	6	2,5	1,4	20
Çift Harmonikler, kendinden sonraki tek harmonik için tanımlanan değerin %25'i kadar olmalıdır.						

Çizelge 3.3.'de belirtilen Isc, ölçüm yapılan kısımda hesaplanan en büyük kısa devre akımını; IL ise, ölçüm yapılan kısımdaki en büyük yük talep akımını ifade etmektedir.

3.2.2.6. Gerilim harmonik değişimleri

Standarda göre yapılan ölçümlerde en az 3'er saniyelik periyodlarda yapılacak ölçümlerde gerilim harmoniklerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri; onar dakikalık ortalamaları, 1 hafta boyunca alınarak kaydedilmesi gerekmektedir. Burada alınan değerlerin, %95'inin TS EN 50160 standardında belirtilmiş olan Çizelge 3.4.'de sınır değerleri verilen eşik değerleri geçmediği kontrol edilmelidir. Ayrıca toplam harmonik bozulma (THD) yüzdesel olarak %8'den az olması beklenmektedir.

Çizelge 3.4. Gerilim harmonikleri sınır değerleri

Tek Harmonikler				Çift Harmonikler	
3'ün Katları olmayanlar		3'ün Katları Olanlar			
Harmonik Sırası h	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası h	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası h	Sınır Değer (%)
5	% 6	3	% 5	2	% 2
7	% 5	9	% 1,5	4	% 1
11	% 3,5	15	% 0,5	6-24	% 0,5
13	% 3	21	% 0,5		
17	% 2				
19	% 1,5				
23	% 1,5				
25	% 1,5				

3.2.2.7. Ara harmoniklerin ölçülmesi

Standarda uygun yöntemle alınan, en az 3'er saniyelik periyotlarda, 15 dakikalık ortalama değerleri 1 hafta boyunca günlük kesintisiz ölçümler kaydedilecektir. Kaydedilen bileşenlerin harmonik değerleri grafik ekranında limit değerleriyle oluşturulacaktır. Oluşturulan bu ara harmonik değerleri her seviyesi için ayrı ayrı kontrol edilecektir.

3.2.2.8. Gerilim kırpışması (fliker) değişimi

Bir hafta boyunca onar dakikalık ortalama değerleriyle gerilim kırpışması şiddeti (Pst) ölçülecektir. Elde edilen bu değerlerden yararlanılarak, uzun dönem gerilim kırpışması şiddeti (Plt) hesaplanacaktır. Uzun dönem gerilim kırpışması değişimi, 2 saat ortalamalar şeklinde hesaplanmalıdır. Hesaplanan bu değerlerin sınır değerleri için Çizelge 3.5.'de verilen sınır değerleri göz önünde bulundurularak ölçüm sonuçları yorumlanacaktır.

Çizelge 3.5. Gerilim kırpışması sınır değerleri

Fliker Şiddeti Endeksi	Sınır Değerler
Pst	≤ 1
Plt	$\leq 0,8$

3.2.2.9. Gerilimdeki frekans değişimleri

Trafo AG tarafı için yapılacak bir haftalık her gerilim seviyesine ait değerleri, 10 saniye aralıklarla hesaplanmalıdır. Burada frekans değer aralığı, 49,5-50,5 Hz arasında olması gerekmektedir.

3.2.3. Digsilent Powerfactory simülasyon programı ile enerji nakil hattı benzetim yöntemleri

Yapılan çalışmada, FV Santralin enerji nakil hattına bağlantısını, bağlantı sonrası hatta yük akışı ve güç kalite parametrelerinin simülasyonu için, DIgSILENT PowerFactory simülasyon programı kullanılmıştır. Bu program yardımıyla, FV santralin çalışma koşullarında analizör yardımıyla ölçülen güç kalite parametrelerinin doğruluğunun karşılaştırılması ve analizör yardımıyla ölçülemeyen enerji nakil

hattının, OG tarafında ki güç kalite parametrelerine etkilerinin incelenmesi için enerji nakil hattı simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

DIgSILENT PowerFactory yazılımı, elektrik üretim birimleri, enerji nakil hattı iletimi, dağıtımı ve endüstriyel sistemlerin simülasyonu için kullanılan bir programdır. Bu yazılım sayesinde enerji üretim, iletim ve dağıtım hattına ait:

- Tek faz veya üç faz, DC ve AC yük akış ve hata modellemesi,
- Arıza analizi,
- Koruma analizi,
- Dinamik ve yarı-dinamik simülasyon,
- Harmonik simülasyonu,
- EMT simülasyonu,
- Gerilim kararlılık analizi,
- Özdeğer analizi,
- Durum tahmini,
- Gerilim kararlılık analizi,
- Özdeğer analizi,
- Durum tahmini,
- Güvenilirlik analizi,
- Güç elektronik cihaz modelleme,
- Topraklama analizi,
- Optimal güç akışı ve üretim planlaması,
- Düşük voltaj ağ analizi,
- Dağıtım ağ optimizasyonu,
- ICE kablo boyutlandırması yapılmaktadır.

Yapılan çalışmada, FV santralin bağlantı yapıldığı enerji nakil hattına ait güç kalite parametrelerinin ideal şartlarda değişimini incelemek üzere, DIgSILENT PowerFactory programına ait, 3 faz yük akış modelleme yöntemi ve yarı-dinamik simülasyon yöntemi kullanılarak yapılmıştır.

3.2.3.1. DIgSILENT PowerFactory programı yük akış modellemesi

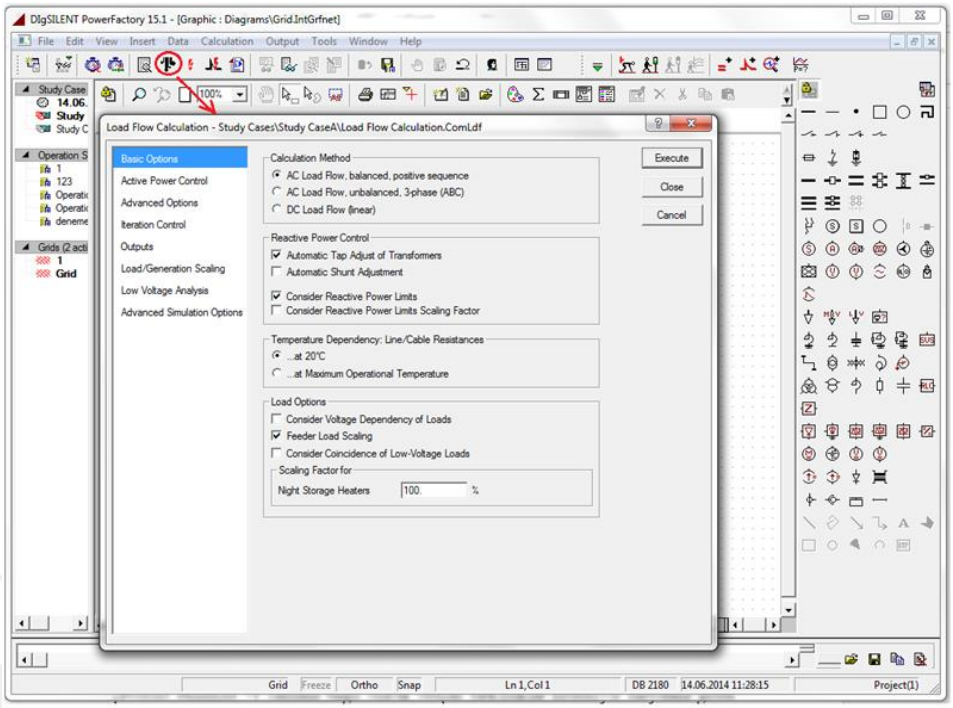
Yük akış analizi ortamında, enerji nakil hattı konfigürasyonu ve güç sistemi bileşenlerinin çeşitli modellemeleri mümkündür. 1-2 ve 3 fazlı dc ve ac şebekelerin modellemesi yapılarak, eş zamanlı olarak hattın yük akışı durumu incelenir. Şebeke modellemesi yapılırken, yüksek gerilimden alçak gerilime kadar tüm enerji nakil hattının meskenleri ve yükleri modelleme yapıla bilinir.

Modellemede oluşacak akım ve güç uyumsuzluğu durumlarını, gelişmiş olmayan Newton-Raphson çözüm teknikleri yöntemiyle tekrarlama yapılarak çözüm bulunur. Enerji nakil hattında ki farklı yükler nedeniyle, geçici durum ve sürekli durumlarda ki güç kaynaklarına ait değişim karakteristiklerini inceleme imkânını sağlamaktadır.

Gerilim regülasyonu ve reaktif enerji üretimi için çeşitli yerel ve uzaktan kontrol modları ile pratik istasyon kontrol özellikleri bulunur (Şekil 3.39.). Bu sayede, reaktif güç otomatik olarak generatör çıkışında ayarlanılarak istenilen grafik sınırları içinde kalması sağlanabilinir.

Devreler, çifte beslemeli asenkron makineler, PWM dönüştürücüler, invertörler, redresörler cihazları gibi diğer güç elektroniği elemanları yük akış modellemesinde kullanıla bilinmektedir. Ayrıca statik var dengeleyici sistemleri için yerel ve uzaktan kumanda mekanizması da bulunmaktadır.

Seri ve/veya paralel bağlanmış kapasitörler, reaktör ve dirençler bir kombinasyonundan oluşan devreler modellene bilinir. Bu paralel devreler, baralar ve besleyicilere veya kablo ve hatlara uzaktan bağlanabilir.

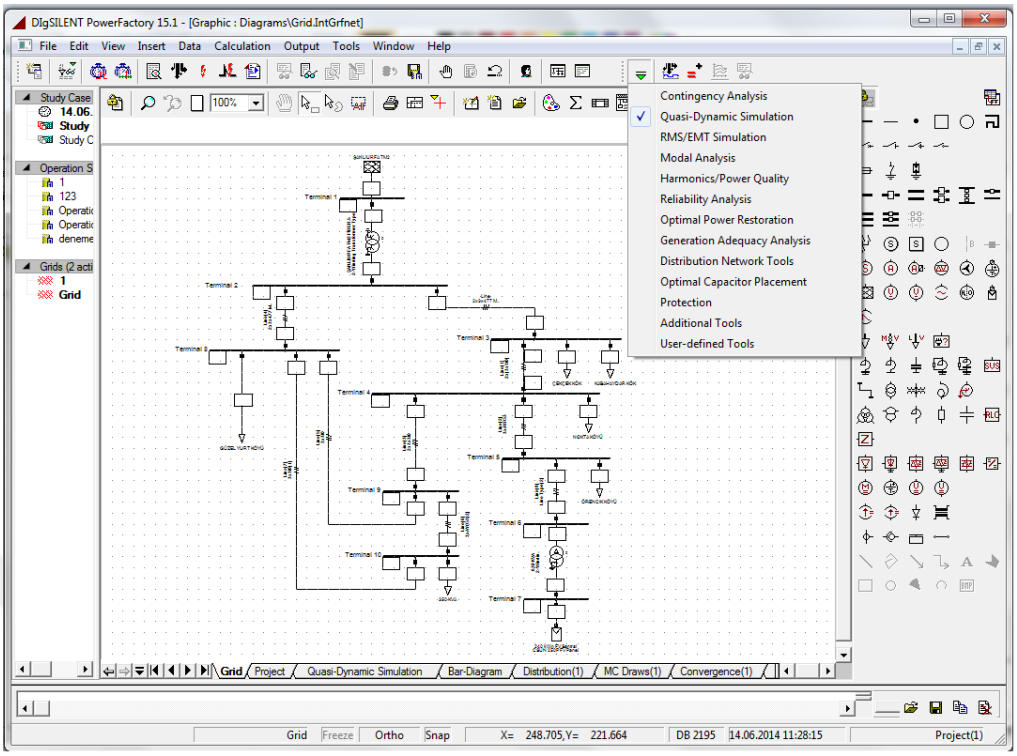


Şekil 3.39. DIgSILENT PowerFactory yük akış simülasyon ekranı

3.2.3.2. DIgSILENT PowerFactory programı yarı-dinamik simülasyon yöntemi

Yarı-dinamik simülasyon yöntemi, enerji nakil hattına ait çalışma koşullarının, çevresel etmenler ve zamana bağlı olarak oluşan farklılıklar nedeniyle meydana gelen yük akış farklılıklarını gözlemlemek için kullanılmaktadır (Şekil 3.40.). Bu simülasyon yönteminde, modelleme sırasında meydana gelebilecek parametrelerde ki değişiklikler şu şekilde sıralanır:

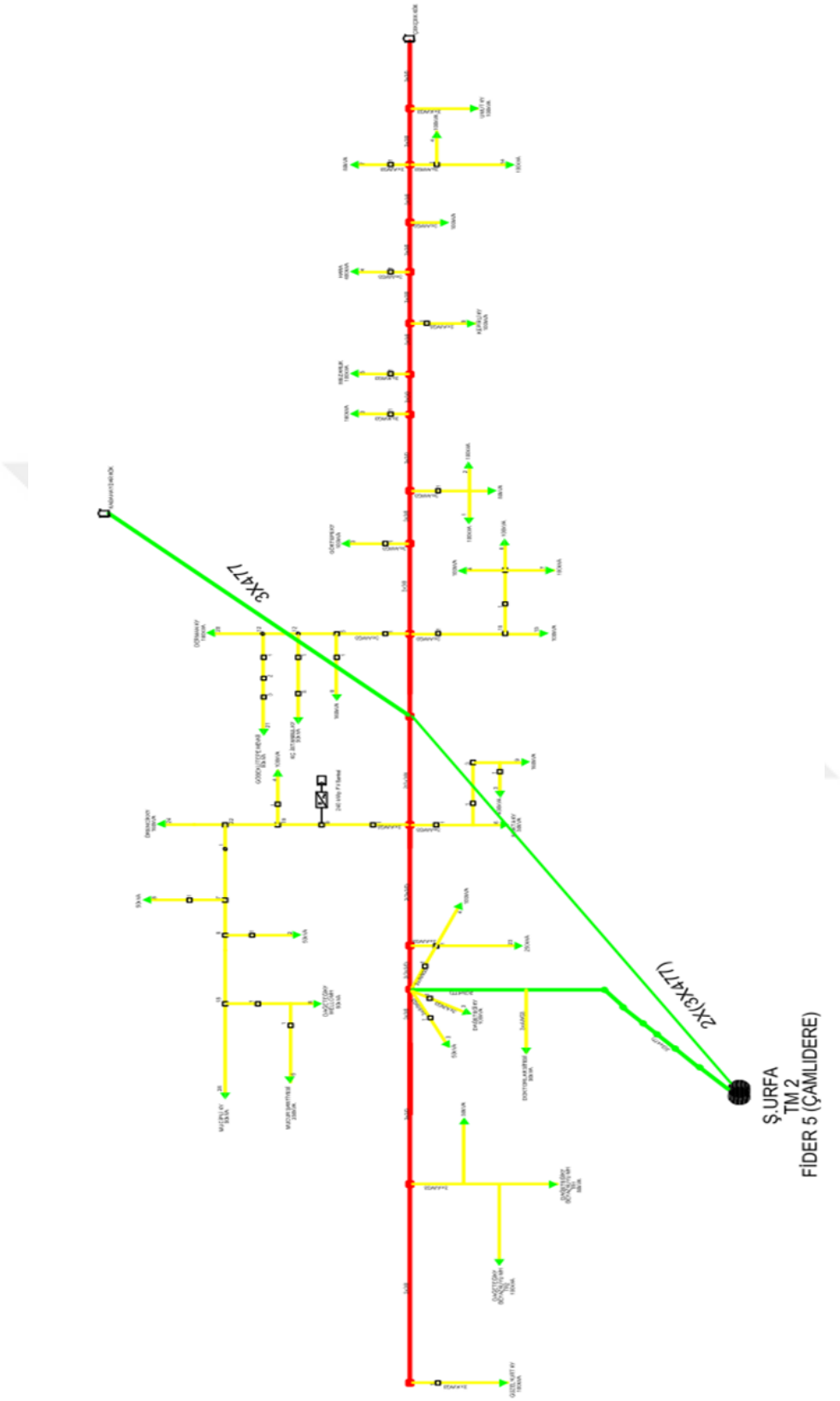
- Yüke ait, döngüsel yük değişiminin zamana bağlı günlük ve dönemsel farklılıkları.
- Güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının zamana göre değişim fonksiyonlarının güneşe ışınımı ve rüzgar hızı ile değişimi.
- Enerji nakil hattı varyasyonları, bakım kesintileri, arızalar ve programsız kesintilerinin zamana bağlı değişimi.
- Ekipmanlara ait koşulların, rüzgar ve sıcaklık etkileri nedeniyle değişimi.



Şekil 3.40. DIgSILENT PowerFactory yarı dinamik seçim simülasyon ekranı

3.2.4. 240 kWp-FV santralin DIgSILENT PowerFactory programı ile modellenmesi

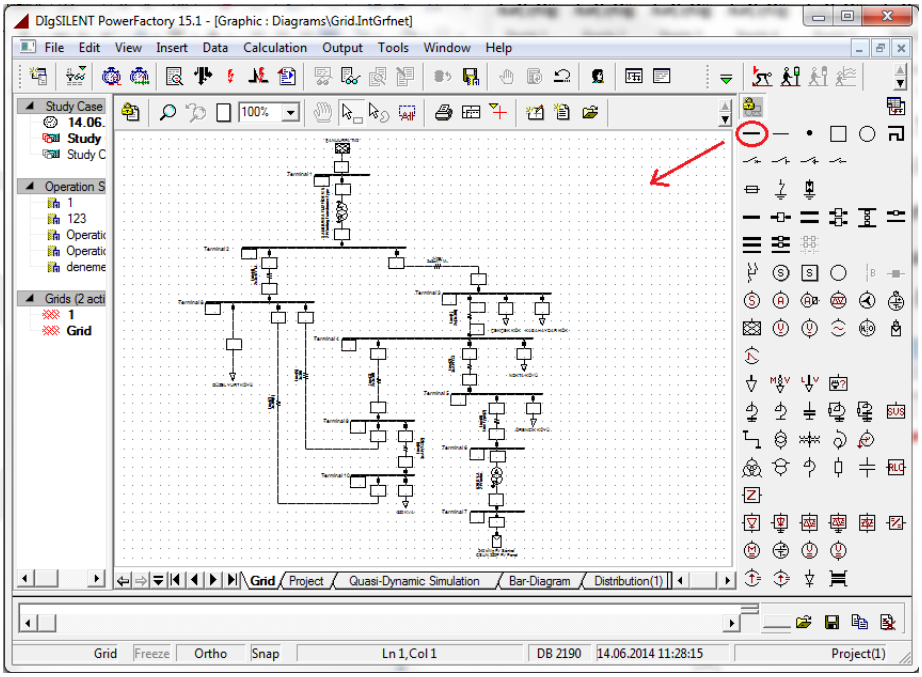
FV santralin simülasyonunu gerçekleştirebilmek için, Şekil 3.41.'deki Şanlıurfa TM2-Fider 5 Çamlıdere hattına ait tek hat şemasından yararlanılarak hat bağlantısının yapıldığı, 9 numaralı direğe kadar olan kısım örneklenerek hat simülasyon benzetimi gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.41.'deki enerji nakil hattına ait tüm bileşenler, gerçekte olduğu değerlere göre seçilmiştir.



Şekil 3.41. Şanlıurfa TM2 Fider5 Çamlıdere enerji nakil hattı tek hat şeması

3.2.4.1. DIgSILENT PowerFactory programı ile terminallerin modellenmesi

Enerji simülasyonunu yapılan enerji nakil hattının modellemesine başlarken, ilk olarak terminal seçimi yapılmıştır. Modelleme sırasında toplamda 10 adet terminal kullanılmıştır. Bu terminal, tasarımın yapılacağı alanın yan tarafında bulunan elektrik sembolleri kısımdan seçilerek boş alana taşıyarak modelleme başlatılmıştır (Şekil 3.42.).

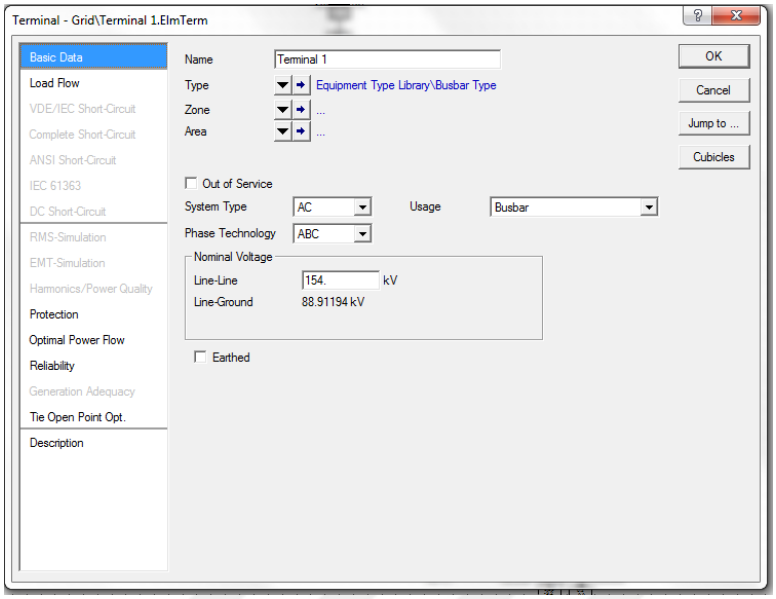


Şekil 3.42. DIgSILENT PowerFactory programı terminal seçim ekranı

Buraya taşınan terminal tipi ve parametrelerini ayarlamak üzere baraların üstüne bilgisayarın faresi yardımıyla iki kere sol tıklanarak Şekil 3.43.'deki seçim ekranı vasıtasıyla seçim yapılmıştır. Burada terminallerin tipi olarak bara seçilerek gerilim seviyesine göre parametre değerleri girilmiş ve kullanılan baralar için gerilim seviyeleri; 154 kV, 31,5kV ve 0,4 kV olarak seçilmiştir.

YG ve OG barası için, faz teknolojisine göre, ABC (L1, L2 ve L3 fazı) kısmı ve AG barası içinde ABC-N kısmı seçilmiştir.

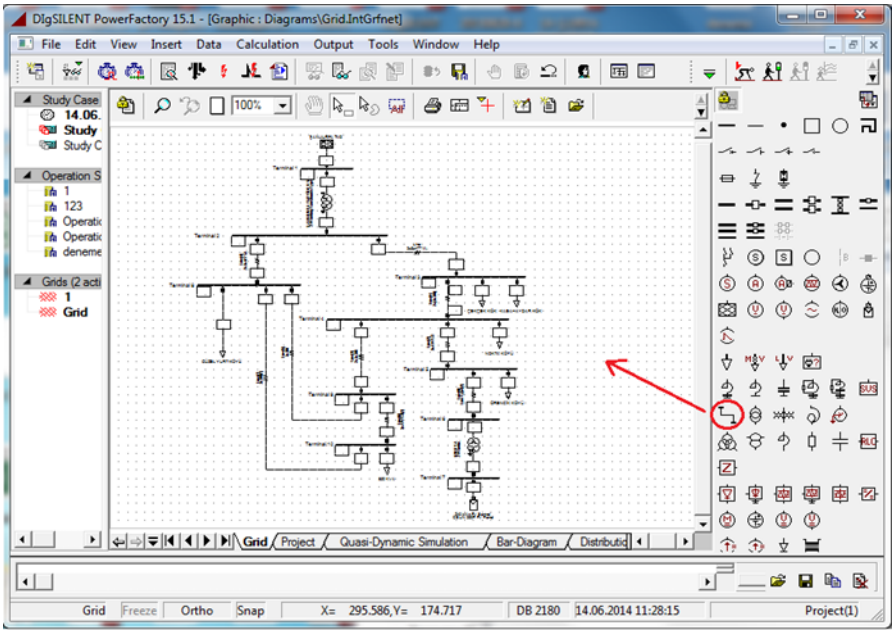
Ayrıca bu kısımda yük akış için, voltaj kontrolü ile ilgili kısma sınırlayıcı değerler de girilmiştir.



Şekil 3.43. DIgSILENT PowerFactory programı terminal değer seçim ekranı

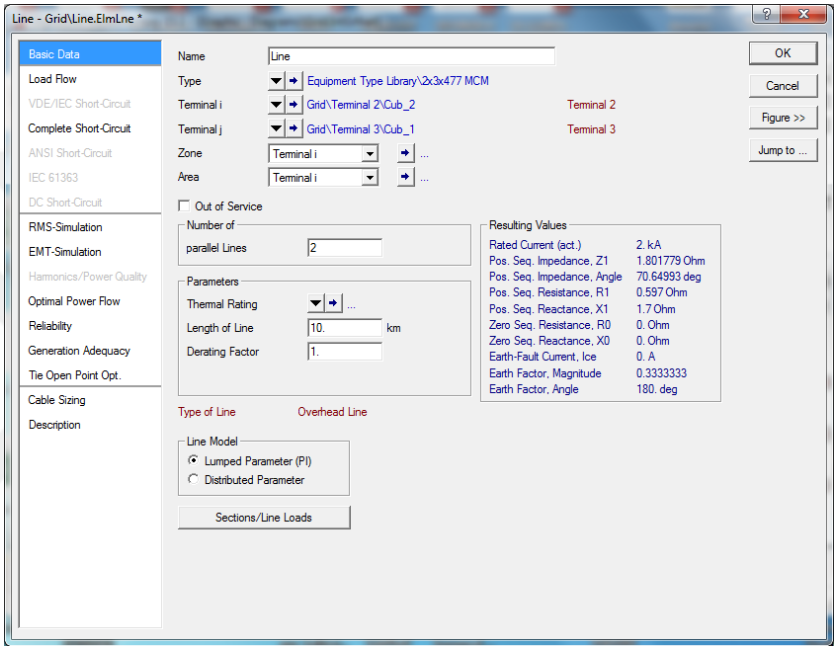
3.2.4.2. DIgSILENT PowerFactory programı ile kablo modellemesi

Modelleme sırasında kablo seçimi yapılırken Şekil 3.44.'deki ekranda, sağ tarafta bulunan kablo elemanı seçilerek baralar birbirine bağlantısı yapılmıştır. Seçilen kablolar üzerindeki kutucuklar sayesinde, enerji nakil hattı simülasyonu yapılırken analiz sonucuyla ilgili ölçülen verileri görme imkânı bulunmaktadır.



Şekil 3.44. DIgSILENT PowerFactory programı kablo modelleme ekranı

Kablo bağlantıları yapıldıktan sonra parametre ayarı yapabilmek üzere, kablo üstüne tıklatılarak Şekil 3.45.'de açılan ekranda kabloya ait bilgiler girilmiştir. Bu kısımda kullanılan kablonun havai veya yeraltı olma durumuna göre seçimler yapılmıştır. Ayrıca kablonun uzunluğu, tip kısmında ise kablonun maksimum kullanılacak gerilim, akım, frekans değerleri ve AC direnç (R), reaktans (X) değerleri seçilerek parametre ataması tamamlanmıştır.



Şekil 3.45. DIgSILENT PowerFactory programı kablo değer seçim ekranı

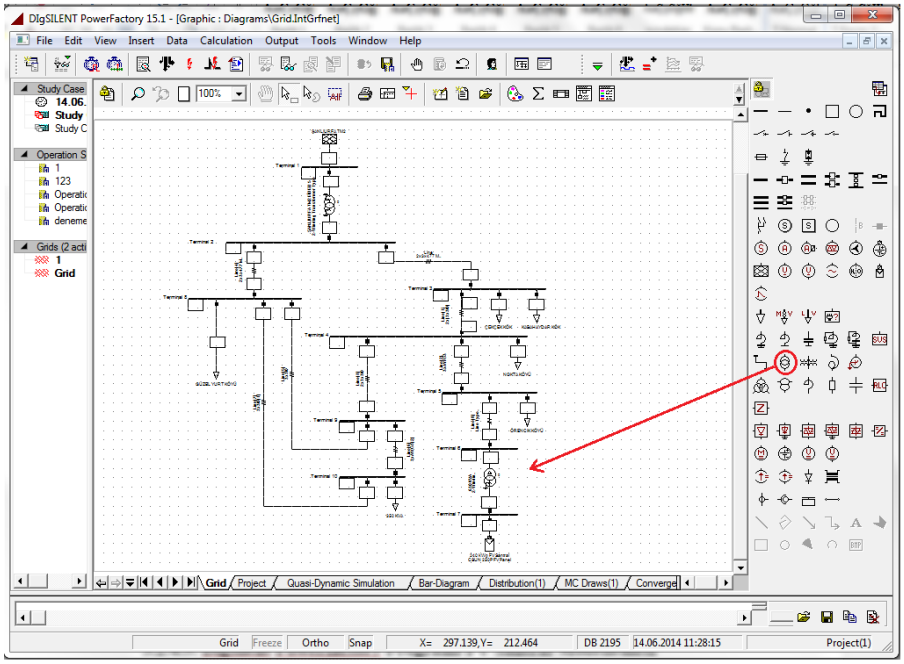
Kablolara ait R ve X değerleri belirlemek üzere kablo üretim standartlarında Çizelge 3.6.'da bulunan değerler seçim ekranına girilmiştir. Enerji nakil hattında bulunan ve simülasyon sırasında kullanılan kablo çeşitleri; 3 AWG (Swallow), 3/0 AWG (Pigeon) ve 477 MCM kablolarıdır.

Çizelge 3.6. Havai hat elektriksel değerler tablosu

Havai Hat Elektriksel Özellikler									
TSE Standardındaki		Akım Taşıma Kapasitesi			R	X			Eşdeğer Cu mm^2
İşareti	Adı	- 1 - (A)	- 2 - (A)	- 3 - (A)	(20 ^{o}C) Ohm/m	10 kV Ohm/m	15 kV Ohm/m	35 kV Ohm/m	
3 AWG	Swallow	120	160	180	1.0742	0.371		0.420	13.31
1/0 AWG	Raven	195	230	280	0.5362	0.347		0.387	33.73
3/0 AWG	Pigeon	275	300	360	0.3366	0.335		0.373	53.52
266.8 MCM	Patridge	345	460	510	0.214	0.318		0.335	85.17
477 MCM	Hawk	540	670	740	0.1194	0.300		0.337	152

3.2.4.3. DIgSILENT PowerFactory programı ile transformatör modellemesi

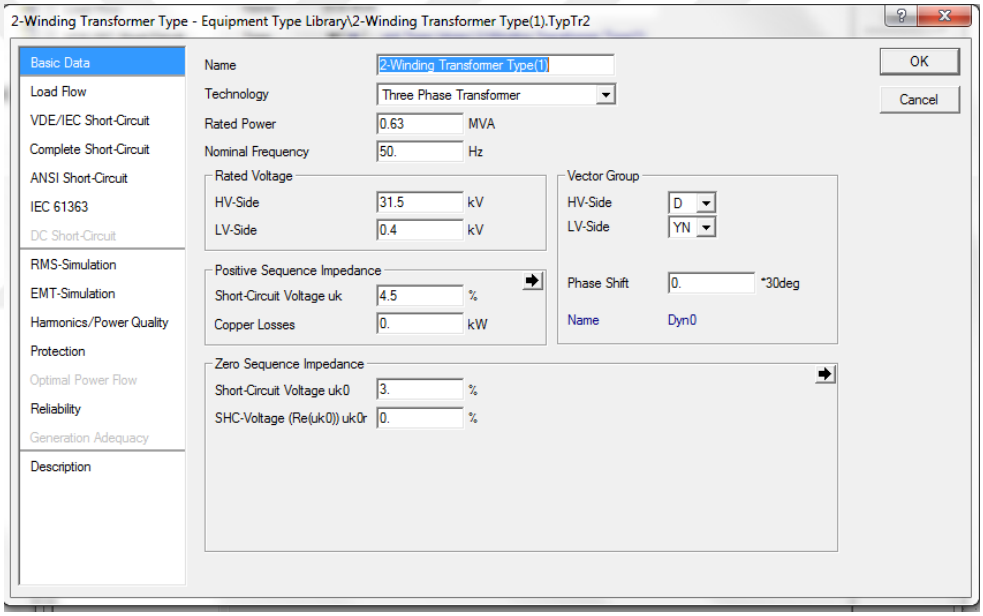
Modelleme sırasında, trafo seçimi yapılırken Şekil 3.46.'daki ekranda sağ tarafta bulunan transformatör elemanı seçilerek baralar birbirine bağlantı yapılarak iletim sağlandı. Modellememizde 2 adet transformatör bulunmaktadır. Bunlardan birisi YG/OG transformatörü diğeri de OG/AG transformatörüdür.



Şekil 3.46. DIgSILENT PowerFactory programı transformatör modelleme ekranı

Modelleme tamamlandıktan sonra, trafolara ait parametrelerinin oluşturulması için, tip kısmından yeni transformatör seçimi yapılarak, kullandığımız transformatör özellikleri girildi (Şekil 3.47.). Burada kullanılan YG/OG transformatörü için değerler; güç 50 MVA, nominal frekans 50 Hz, YG tarafı 154 kV ve OG tarafı 31,5 kV, vektör grubu YNyn0, % pozitif dizi empedansı kısa devre voltajı U_k = %12, % sıfır dizi empedansı kısa devre voltajı U_{k0} = %3 olarak seçildi.

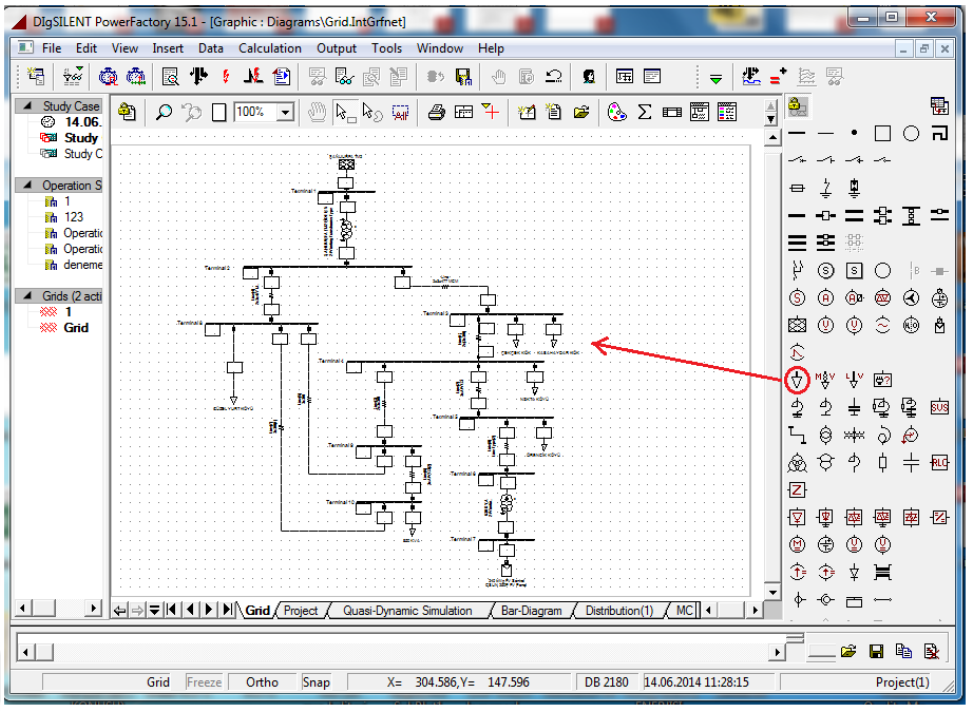
OG /AG transformatörü için değerler; güç değeri 0,63 MVA, nominal frekans 50 Hz, OG tarafı 31,5 kV ve AG tarafı 31,5 kV, vektör grubu Dyn0, % pozitif dizi empedansı kısa devre voltajı U_k = %4,5, % sıfır dizi empedansı kısa devre voltajı U_{k0} = %3 olarak seçildi.



Şekil 3.47. DIgSILENT PowerFactory programı transformatör modelleme ekranı

3.2.4.4. DIgSILENT PowerFactory programı ile yük modellemesi

Modelleme sırasında yük seçimi yapılırken Şekil 3.48.'deki ekranda sağ tarafta bulunan yük elemanı seçilerek gerekli baraya bağlantı yapılarak yük akışı sağlandı. Modellemede 6 adet yük bulunmaktadır ve tüm bu yükler, OG baralarına bağlantı yapılmıştır.

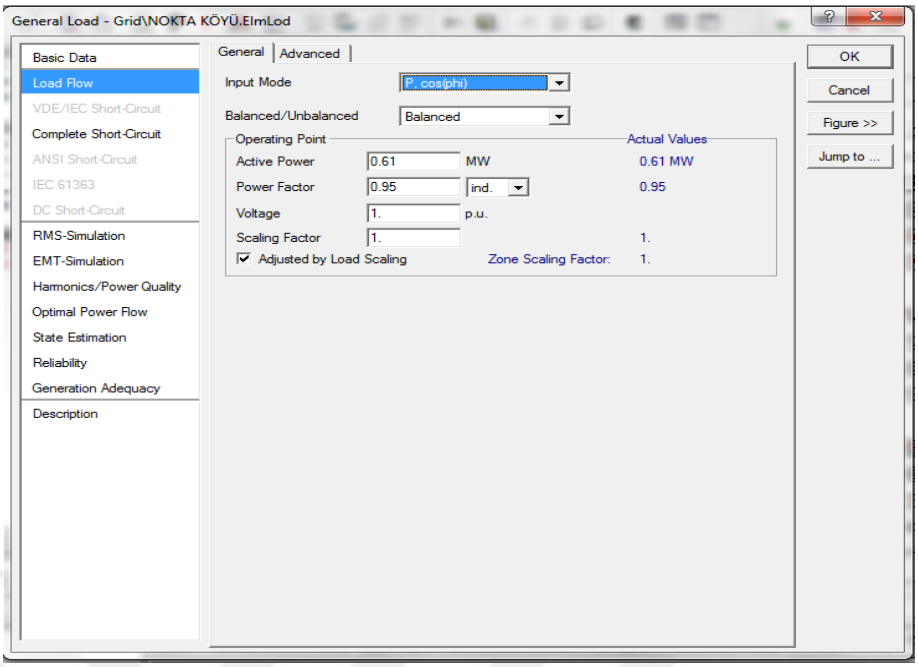


Şekil 3.48. DIgSILENT PowerFactory programı yük modelleme ekranı

Yük bağlantıları yapıldıktan sonra parametre ayarı yapabilmek üzere yük sembolü üstüne tıklatılarak Şekil 3.48.'de açılan ekranda, kabloya ait bilgiler girildi. Bu ekranda sol tarafta bulunan yük akış kısmında yüke ait aktif güçler, güç faktörü, gerilim ve ölçekleme faktörü verilmiştir (Şekil 3.49.).

Modellemede bulunan yüklerin, aktif güç değerlerini, enerji nakil hattına ait Şekil 3.41.'den alınan tek hat şeması bilgilerine göre şu şekilde sıralanır:

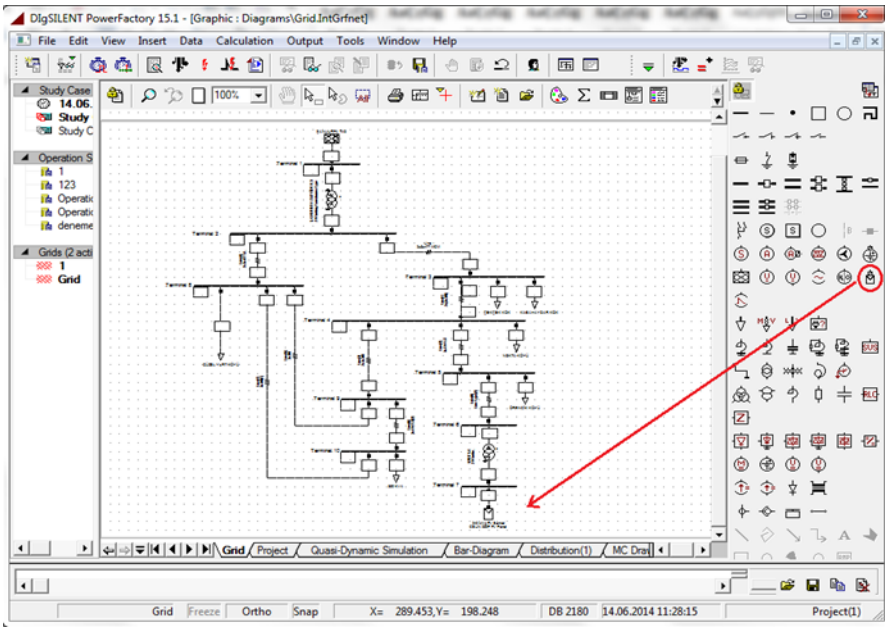
- Çekçek kök-10 MW
- Kabahaydar Kök-10 MW
- Nokta Köyü-0,61 MW
- Örencik Köyü-0,41 MW
- Güzel Yurt Köyü-0,75 MW
- Diğer bir yük-0,315 MW



Şekil 3.49. DIgSILENT PowerFactory programı yük seçim ekranı

3.2.4.5. DIgSILENT PowerFactory programı ile FV santral modellemesi

Modellemenin en sonunda, FV santral tasarımı yapılırken Şekil 3.50.'deki ekranda sağ tarafta bulunan, FV Santral elemanı seçilerek terminal 7'ye bağlantı yapılarak iletim sağlanmıştır.

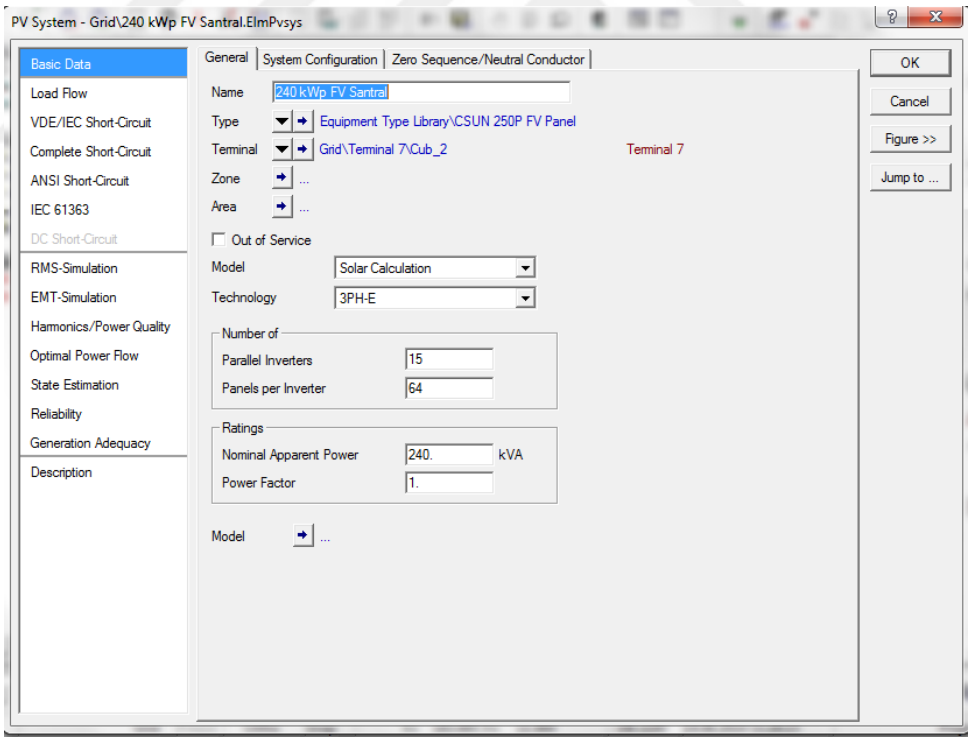


Şekil 3.50. DIgSILENT PowerFactory programı FV Santral modelleme ekranı

FV santral bağlantısı yapıldıktan sonra parametre ayarı yapabilmek üzere FV santral sembolü üstüne tıklatılarak Şekil 3.51.'de açılan ekranda FV santrale ait parametreler girilmiştir. Açılan ekranda tip kısmından FV panelimize ait tüm parametre girişi yapılmıştır. Ayrıca burada güneş enerjisi modeli güneş hesaplaması, teknolojisi olarak 3 faz-Nötr, paralel inverter sayısı 15, her invertere bağlanılan FV panel sayısı 64, toplam nominal güç 240 kVA ve güç faktörü 1 olarak girilmiştir.

Sistem konfigürasyon kısmında, FV santralin bulunduğu koordinat bilgileri Latitute açısı 37 derece, longtitute açısı 38 derece, bulunduğu zaman dilimi UTC+02:00, sabit metal kontrüksiyon tipi, yatay düzlem açısı 30 derece ve inverter verimlilik oranı %97 olarak seçilmiştir.

Şekil 3.51.'in sol tarafında bulunan yük akış sekmesinde çevresel parametreler seçildi. Burada Haurwitz global radyasyon hesaplama yöntemi seçildi. Simülasyon başlatıldığında bu yönteme göre global ve direkt ışınımlar hesaplanmıştır.

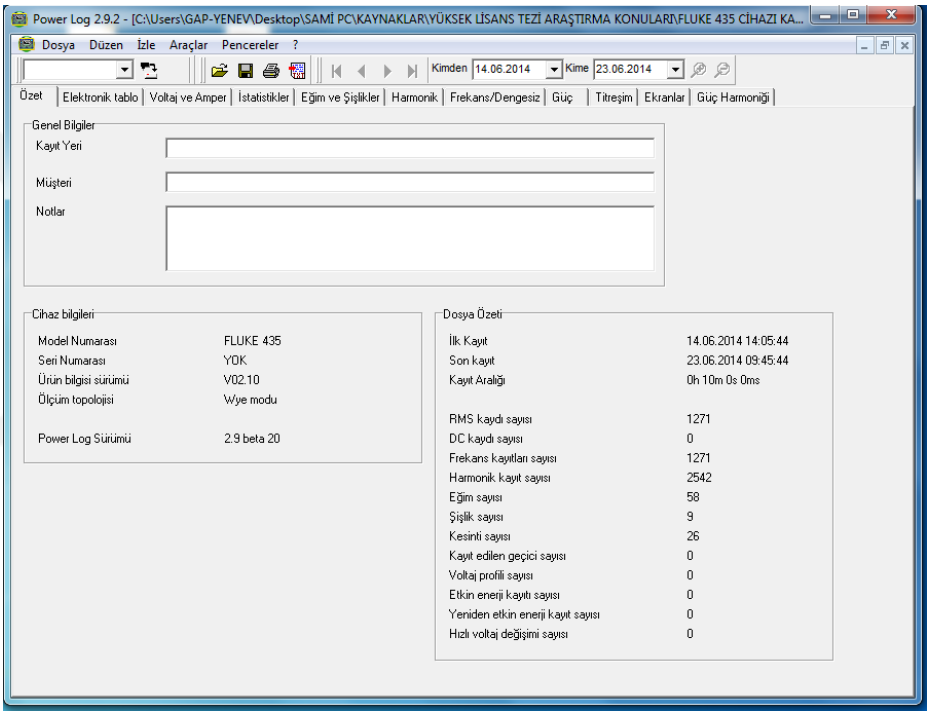


Şekil 3.51. DIgSILENT PowerFactory programı FV Santral seçim ekran

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Fluke 435 cihazı FV Santral Güç Kalite Ölçüm Sonuçları Analizi

Yapılan çalışmada; 15.06.2014 tarihinden itibaren, 7 tam gün boyunca FV santrale ait güç kalite parametreleri, Fluke 435 Güç Kalite Analizörü ile ölçülerek kaydedilmiştir. Kaydedilen ölçüm sonuçları analiz etmek üzere, Power Log yazılım programına aktarılmıştır. Power Log programı özet kısmında ilk olarak, Şekil 4.1.'deki özet ekranıyla karşılaşılmıştır.



Şekil 4.1. Power Log yazılımı özet ekran görüntüsü

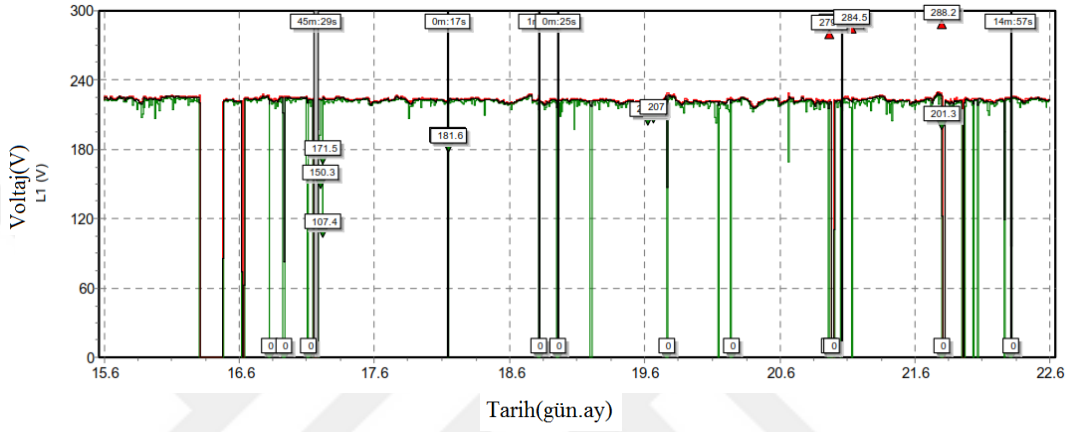
Özet kısmında yapılan ölçümlerde alınan bilgiler ışığında, şu sonuçlarla karşılaşılmıştır:

- RMS kaydı sayısı-1271
- Frekans kayıtları sayısı-1271
- Harmonik kayıt sayısı-2542
- Eğim sayısı-58
- Şişlik sayısı-9

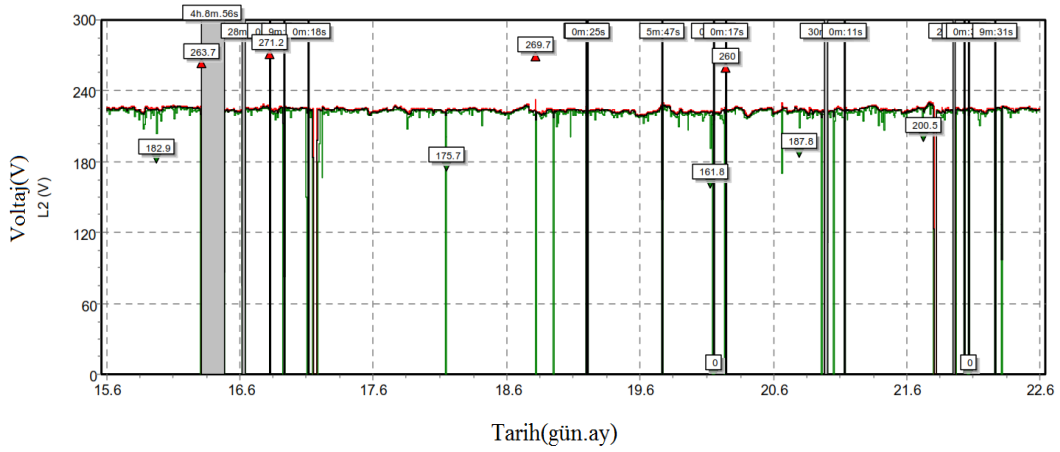
- Kesinti sayısı-26

4.1.1. FV santralde üretilen gerilim ve akım efektif değeri ölçüm analizi

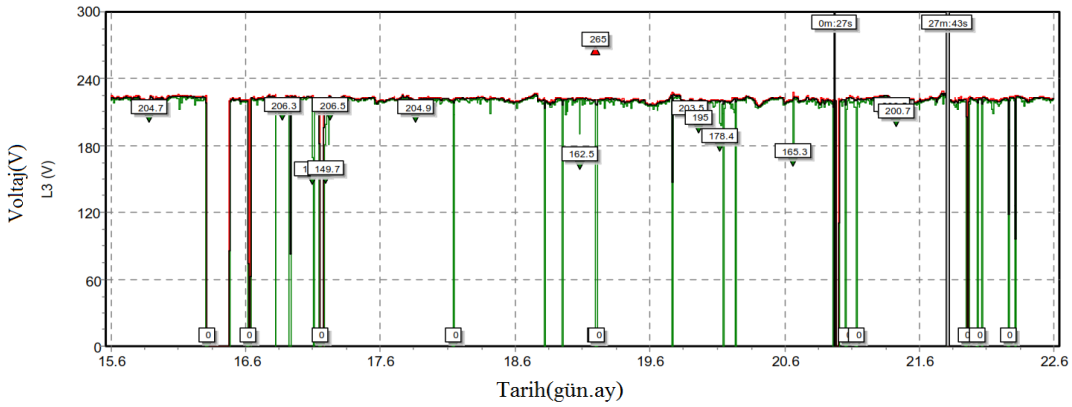
Yapılan ölçümlerde voltaj değişimlerinde, EN 50160 standartlarında belirtilmiş olan gerilim düzeyinin her üç faz (L1, L2 ve L3) için gerekli ölçüm sonuçları Şekil 4.2., Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'deki gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.2. Power Log yazılımı L1-fazı gerilim efektif değeri değişim grafiği



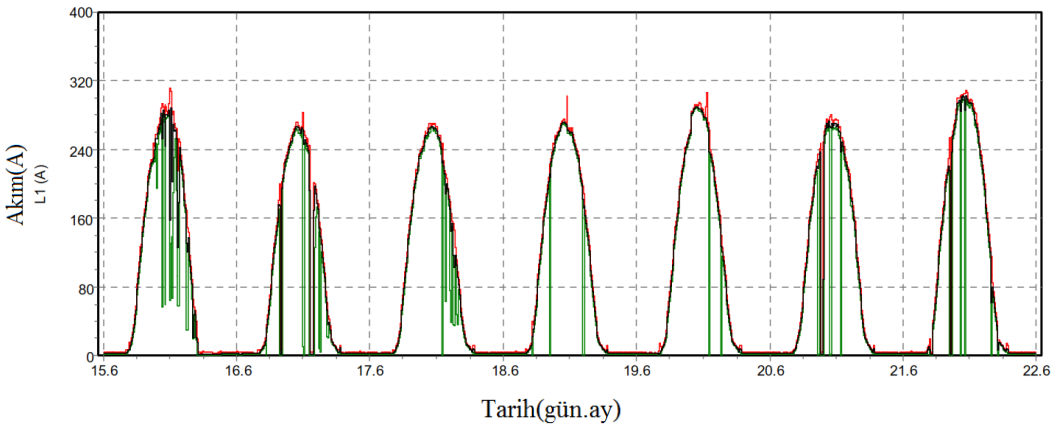
Şekil 4.3. Power Log yazılımı L2-fazı gerilim efektif değeri değişim grafiği



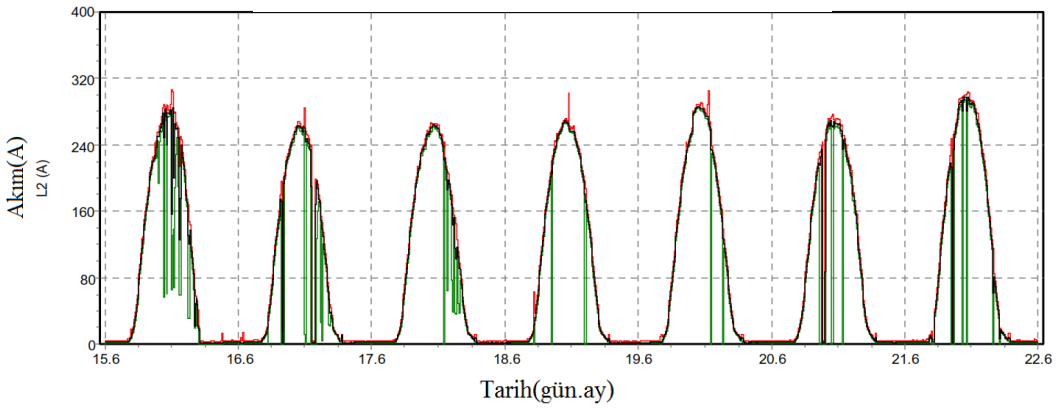
Şekil 4.4. Power Log yazılımı L3-fazı gerilim efektif değeri değişim grafiği

Alınan sonuçlara göre gerilimin onar dakikalık efektif değerlerinin ortalaması, üç faz içinde yaklaşık olarak 214 Volt olarak görülmektedir. Bu da yüzdesel olarak -%3 gerilim sapması anlamına gelmektedir. Bu sonuca göre, gerilimin efektif değerinin ortalaması, belirtilen ± %10 gerilim değişimi arasında olduğu için EN 50160 standardına göre uygundur.

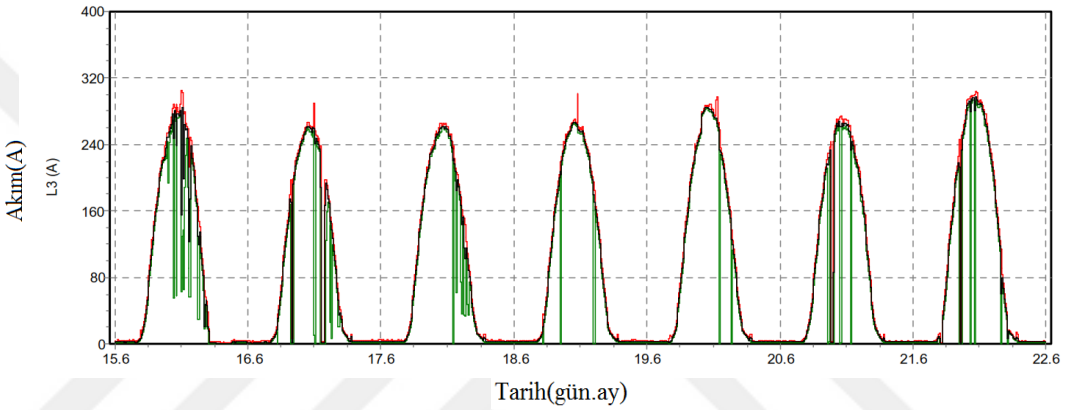
Üretilen 3-fazda meydana gelen akımda ki değişimler, Şekil 4.5., Şekil 4.6. ve Şekil 4.7.'deki grafiklerde olduğu gibi elde edilmiştir.



Şekil 4.5. Power Log yazılımı L1-fazı akım değişim grafiği



Şekil 4.6. Power Log yazılımı L2-fazı akım değişim grafiği

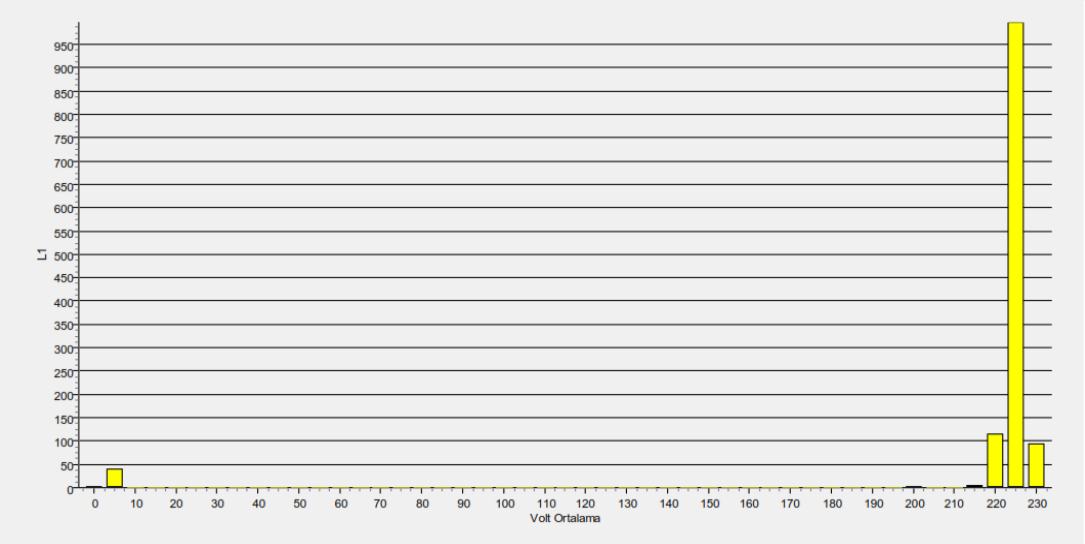


Şekil 4.7. Power Log yazılımı L3-fazı akım değişim grafiği

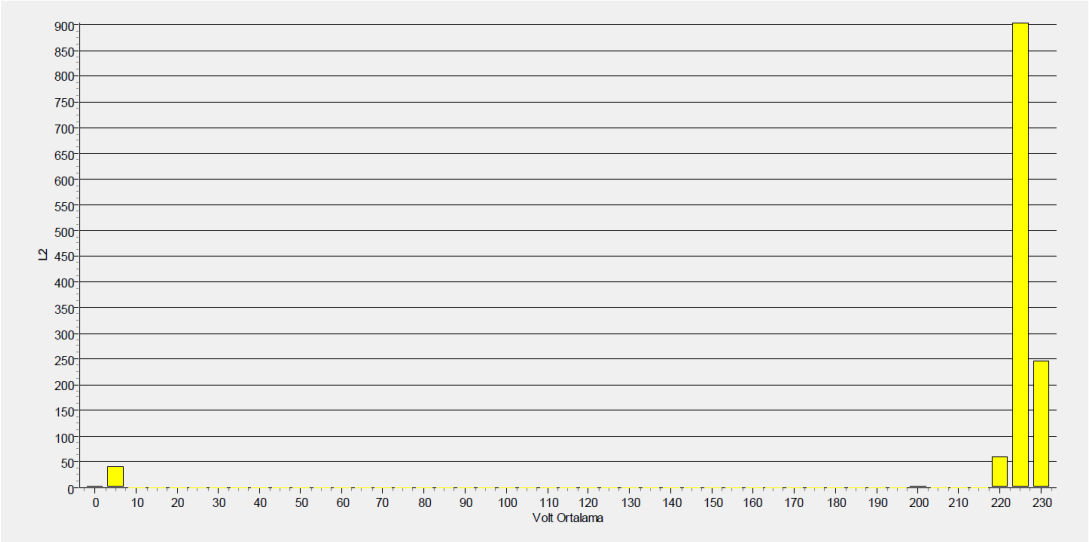
Akım fazları arasında çok fazla farklılık görülmemektedir. Buda, şebekeye AG tarafından verilen akım değerinin EN 50160 standardına uygun aralıkta olduğunu göstermektedir.

4.1.2. FV santrale ait gerilim dengesizliği ölçüm analizi

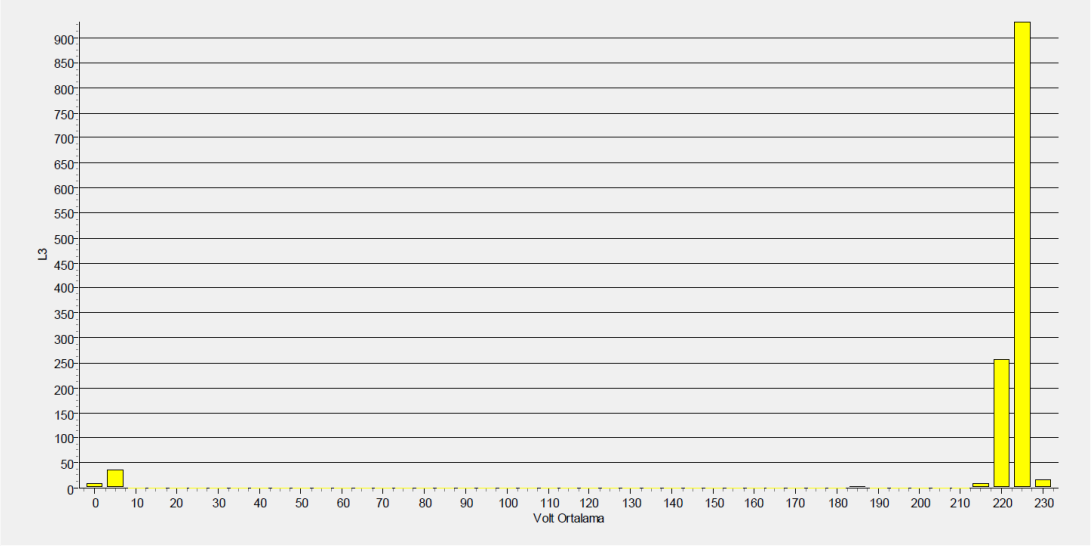
Ölçülen tüm fazlara ait voltaj değerlerinin istatistiği Şekil 4.8., Şekil 4.9., Şekil 4.10.'deki grafiklerde belirtilmiştir. Bu grafikte, fazlara ait gerilimdeki değişim aralığına göre ölçüm adedini göstermektedir.



Şekil 4.8. Power Log yazılımı L1-fazı gerilim efektif değeri değişim istatistiği grafiği



Şekil 4.9. Power Log yazılımı L2-fazı gerilim efektif değeri değişim istatistiği grafiği



Şekil 4.10. Power Log yazılımı L3-fazı gerilim efektif değeri değişim istatistiği grafiği

Şekil 4.8.'de gösterilen grafikte ki istatistiğe göre; L1 fazında üretilen gerilimin %5 negatif değer ortalaması 211,6 V, %95 pozitif değer ortalaması 225,4 V'dur. Bu değerlere göre L1 fazında üretilen, negatif gerilimin, pozitif gerilime göre farkı oranı %6,12'dir.

Şekil 4.9.'da gösterilen grafikte ki istatistiğe göre; L2 fazında üretilen gerilimin %5 negatif değer ortalaması 212 V, %95 pozitif değer ortalaması 226,2 V' dur. Bu değerlere göre L2 fazında üretilen, negatif gerilimin, pozitif gerilime göre farkı oranı %6,27'dir.

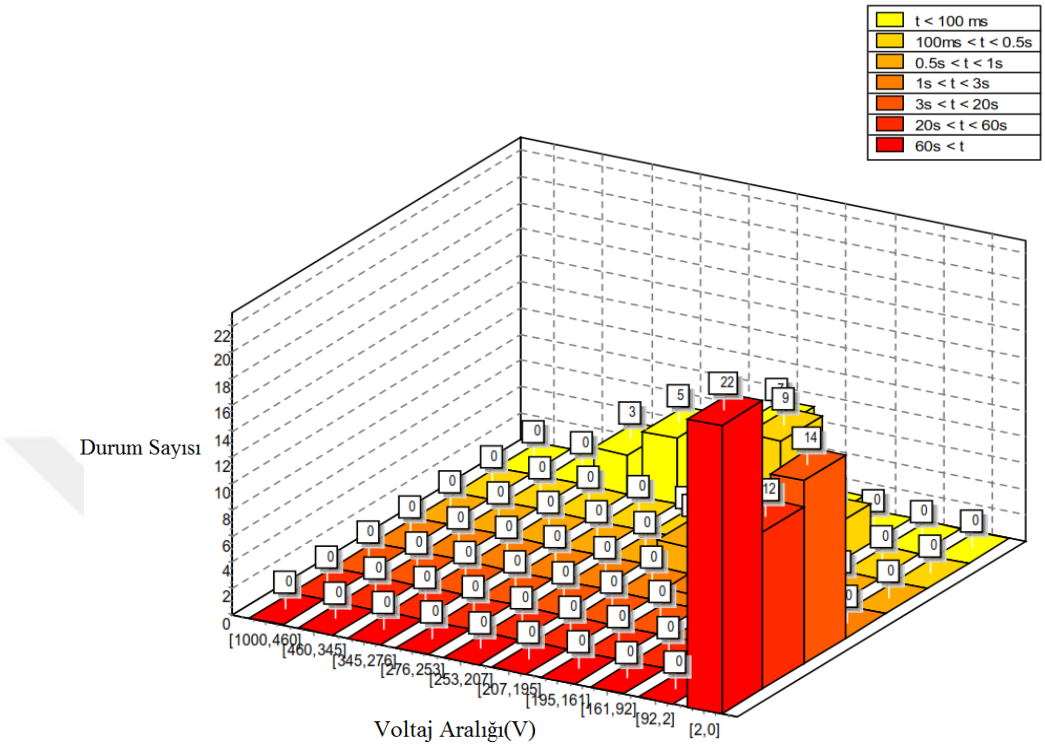
Şekil 4.10.'da gösterilen grafikte ki istatistiğe göre; L3 fazında üretilen gerilimin %5 negatif değer ortalaması 210,5 V, %95 pozitif değer ortalaması 224 V'dur. Bu değerlere göre L3 fazında üretilen, negatif gerilimin, pozitif gerilime göre farkı oranı ise %6,02'dir. EN 50160 standardına göre gerilim dengesizliği en fazla %2 olması gerekmektedir. Bu kapsamda üç faz içinde gerilim dengesizliği standarda göre yüksek olduğu görülmektedir.

4.1.3. FV santrale ait gerilimde meydana gelen olayların analizi

FV santrale ait gerilimde meydana gelen gerilim değişimleri ve süreleri ile ilgili durumlar Şekil 4.11.'de görülmektedir. Grafiğe göre ölçüm süresince; 3 defa 100 ms'den az süreyle 345-276 V aralığında gerilim yükselmesi, 5 defa 100 ms'den az süreyle 276-253 V arası gerilim yükselmesi ve 7 defa 100 ms'den az 253-207 V arası gerilim yükselmesi gözlemlenmiştir. Bu gerilim yükselmelerinin en büyük nedeni anlık olarak güneş ışınımında meydana gelen yükselmelerden kaynaklanıyor olabilir. Bu kısa süreli yükselmeler, inverterlerin gerilim sınırlamasında yetersiz kaldığını göstermektedir.

Şekil 4.11.'e göre; 2 defa 0,5 s ile 1 s arasında 207-195 V aralığında gerilim çökmesi, 9 defa ise 0,5 s ile 1 s arasında 161-92 V aralığında gerilim çökmesi yaşanmıştır. Burada meydana gelen gerilim çökmesi olayları bulutlanma ve enerji nakil hatlarında meydana gelen gerilim dalgalanmalarından kaynaklanabilmektedir. Haziran ayları içerisinde, Şanlıurfa ilindeki enerji nakil hatlarında meydana gelen gerilim dalgalanmaları genellikle tarımsal sulamadan kaynaklanmaktadır. Bu aylarda, enerji nakil hattına bağlı, FV santrale ait inverterlerin ürettiği enerjiyi senkron olarak enerji nakil hattına aktarabilmek için bu gerilim seviyelerine düşmesi gerekebilmektedir. Meydana gelen bu gerilim çökmelerinin sayısının artması, FV santralde bulunan anahtarlama elemanlarına zamanla zarar verebilmektedir (Keller ve ark., 2010).

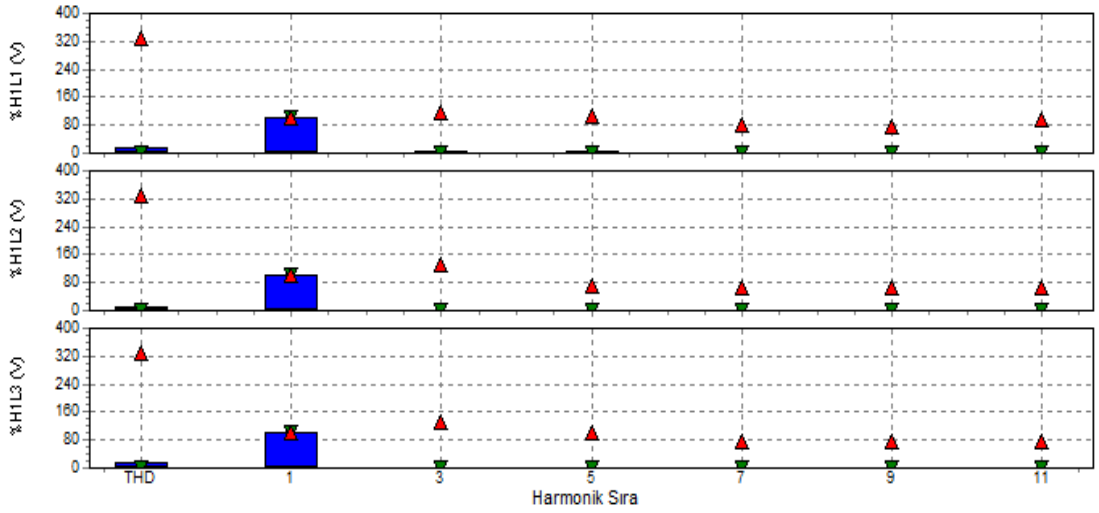
Şekil 4.11.'deki grafiğe göre, 14 defa 3 s ile 20 s arasında kısa kesinti, 12 defa 20 s ile 60 s arasında kısa kesinti meydana gelmiştir. 22 defada 60 s'den fazla süreyle kesintiler meydana gelmiştir. Ölçüm yapıldığı süre boyunca, gündüz süresince havanın açık ve ışınım şiddetinde ciddi düşüşler yaşanmadığından dolayı, meydana gelen kesintilerin en büyük nedeni; FV santralin bağlanmış olduğu enerji nakil hattında oluşan kesintilerdir.



Şekil 4.11. Power Log yazılımı FV santralde voltajda meydana gelen durum grafiği

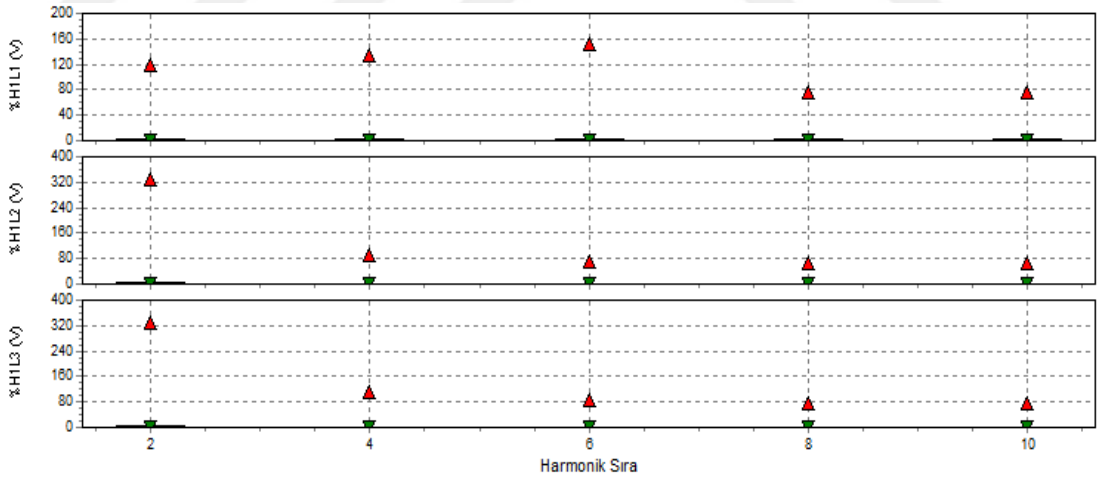
4.1.4. FV Santrale Ait Gerilim Harmonik Analizi

FV santralde yapılan ölçümler sonucunda elde edilen gerilime ait tek ve çift sayılı harmonikler ve toplam harmonik bozulma (THD) değerleri, Şekil 4.12. ve Şekil 4.13'deki histogram çubuk grafiğinde görülmektedir.



Şekil 4.12. Power Log yazılımı FV santralde tek sayılı voltaj harmoniği ve THD değişimi grafiği

Elde edilen grafiklere göre; L1, L2 ve L3 fazında meydana gelen %THD değeri sırasıyla, %14,9, % 10,5 ve %14,2 olarak grafiklerden görülmüştür. 3 faz içinde ölçülen gerilim THD değişimleri, standartta belirtilmiş olan THD değeri olan %8 değerinin üstünde olduğu görülmektedir. Buradan anlaşılacağı üzere üretilen gerilimin THD değerleri belirtilen standarda uymamaktadır.



Şekil 4.13. Power Log yazılımı FV santralde çift sayılı voltaj harmoniği değişimi grafiği

Elde edilen voltaj harmonik değerlerine göre gerekli standarda uygunluğunu incelemek üzere üç faza ait, tüm gerilim harmonik değerlerinin bulunduğu ve aynı zamanda standarda göre sınır değerleri, Çizelge 4.1., Çizelge 4.2. ve Çizelge 4.3.'de görülmektedir.

Çizelge 4.1. FV Santral L1 fazı-gerilim harmonikleri ölçüm ve sınır değerleri

L1 Fazı Tek Harmonikler						L1 Fazı Çift Harmonikler		
3'ün Katları olmayanlar			3'ün Katları Olanlar					
Harmonik Sırası (h)	Ölçülen Değer (%)	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası (h)	Ölçülen Değer (%)	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası (h)	Ölçülen Değer (%)	Sınır Değer (%)
5	2,82	6	3	2,59	5	2	2,96	2
7	2	5	9	1,43	1,5	4	2,06	1
11	2,1	3,5	15	1,41	0,5	6	2,44	0,5
13	1,79	3	21	1,32	0,5	8	1,46	0,5
17	1,42	2				10	1,58	0,5
19	1,41	1,5				12	1,54	0,5
23	1,36	1,5				14	1,46	0,5
25	1,33	1,5				16	1,53	0,5
						18	1,42	0,5
						20	1,32	0,5
						22	1,32	0,5
						24	1,31	0,5

Çizelge 4.2. FV Santral L2 fazı-gerilim harmonikleri ölçüm ve sınır değerleri

L2 Fazı Tek Harmonikler						L2 Fazı Çift Harmonikler		
3'ün Katları olmayanlar			3'ün Katları Olanlar					
Harmonik Sırası (h)	Ölçülen Değer (%)	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası (h)	Ölçülen Değer (%)	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası (h)	Ölçülen Değer (%)	Sınır Değer (%)
5	1,55	6	3	1,46	5	2	3,37	2
7	1,3	5	9	0,86	1,5	4	1,22	1
11	0,97	3,5	15	0,81	0,5	6	1,16	0,5
13	0,99	3	21	0,78	0,5	8	0,87	0,5
17	0,86	2				10	0,82	0,5
19	0,82	1,5				12	0,85	0,5
23	0,81	1,5				14	0,85	0,5
25	0,8	1,5				16	1,18	0,5
						18	0,78	0,5
						20	0,78	0,5
						22	0,78	0,5
						24	0,78	0,5

Çizelge 4.3. FV Santral L3 fazı-gerilim harmonikleri ölçüm ve sınır değerleri

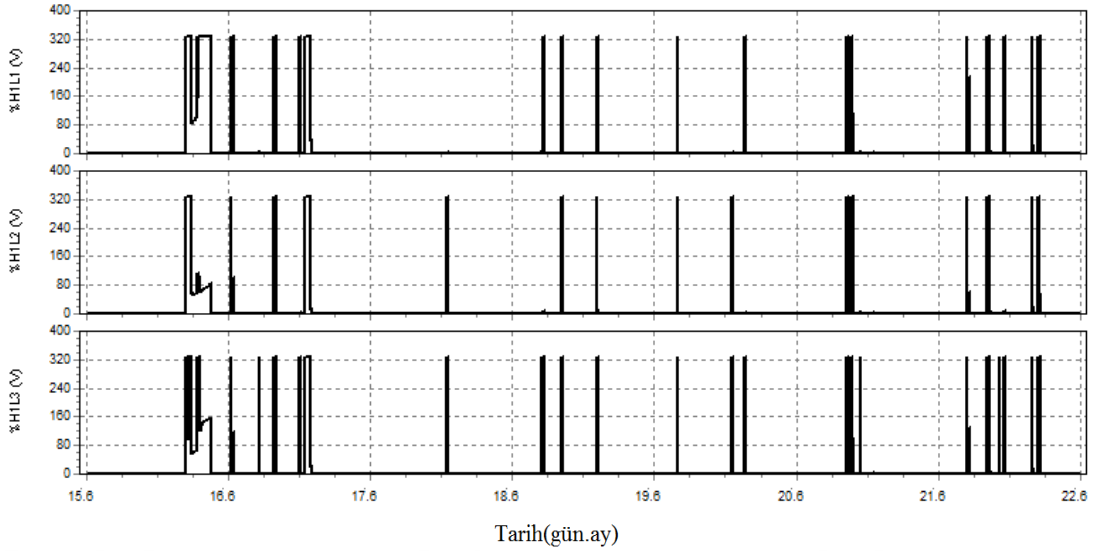
L3 Fazı Tek Harmonikler						L3 Fazı Çift Harmonikler		
3'ün Katları olmayanlar			3'ün Katları Olanlar					
Harmonik Sırası (h)	Ölçülen Değer (%)	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası (h)	Ölçülen Değer (%)	Sınır Değer (%)	Harmonik Sırası (h)	Ölçülen Değer (%)	Sınır Değer (%)
5	2,02	6	3	1,88	5	2	2,43	2
7	1,65	5	9	1,16	1,5	4	1,48	1
11	1,57	3,5	15	1,13	0,5	6	1,85	0,5
13	1,4	3	21	1,07	0,5	8	1,18	0,5
17	1,13	2				10	1,25	0,5
19	1,14	1,5				12	1,2	0,5
23	1,12	1,5				14	1,13	0,5
25	1,09	1,5				16	0,8	0,5
						18	1,15	0,5
						20	1,08	0,5
						22	1,07	0,5
						24	1,06	0,5

Çizelge 4.1., Çizelge 4.2. ve Çizelge 4.3.'e göre, L1, L2 ve L3 fazına ait tek harmoniklerden 3'ün katları olmayan harmonikler tabloya göre sınır değerlerine göre küçük değerlere sahiptir. Bu sebepten dolayı istenilen standarda uymaktadır.

L1, L2 ve L3 fazına ait tek harmoniklerden 3. ve 9. harmonik değerleri sınır değerleri altındadır. Fakat 15. ve 21. Harmonikler sınır değerini aşmıştır. Bu nedenle 3. ve 9. harmonik değerler standarda uyarken, 15. ve 21. harmonikler standarda uymamaktadır.

L1, L2 ve L3 fazına ait tüm çift harmonikler standartta belirtilen değerlerin üstündedir. Bu sebeple standarda uymamaktadır.

FV santralin 3-faz gerilimlerinde oluşan, THD değişimleri Şekil 4.14.'te görülmektedir. Buradaki fazlara ait harmoniklerin sınır değerlerinin aşıldığı durumlar; fazlara ait gerilimlerin, Şekil 4.2., Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'teki görülen gerilim kesintileri sırasında oluştuğu tespit edilmiştir.

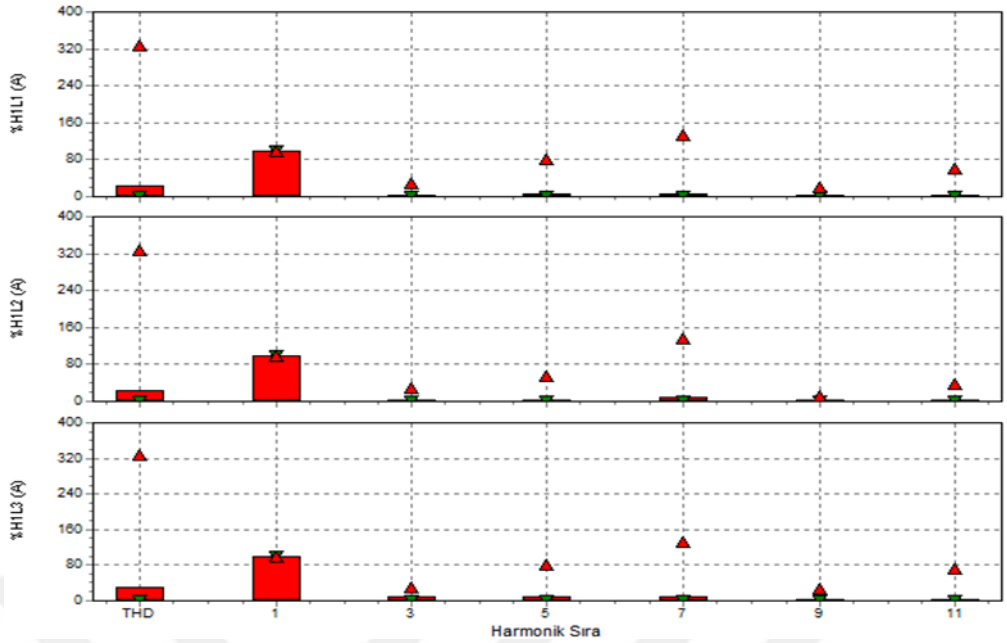


Şekil 4.14. Power Log yazılımı FV santral 3-faz gerilim THD değişim grafiği

Yapılan ölçümlere göre, şebekeye verilen gerilimin en baskın bileşenleri olan, 3., 5., 7. ve 11. harmonik bileşenlerin, sınır değerleri uygun olduğu görülmektedir. Bu sebepten dolayı şebekeye verilen geriliminin işletme açısından uygun olduğu söylenile bilinir.

4.1.4. FV santrale ait akım harmonik analizi

FV santralde yapılan ölçümler sonucunda, akıma ait tek ve çift sayılı harmonikler ve toplam harmonik bozulma (THD), Şekil 4.15. ve Şekil 4.16.'daki histogram çubuk grafiği şeklinde elde edilmiştir.



Şekil 4.15. Power Log yazılımı FV santralde tek sayılı akım harmoniği ve THD değişimi grafiği

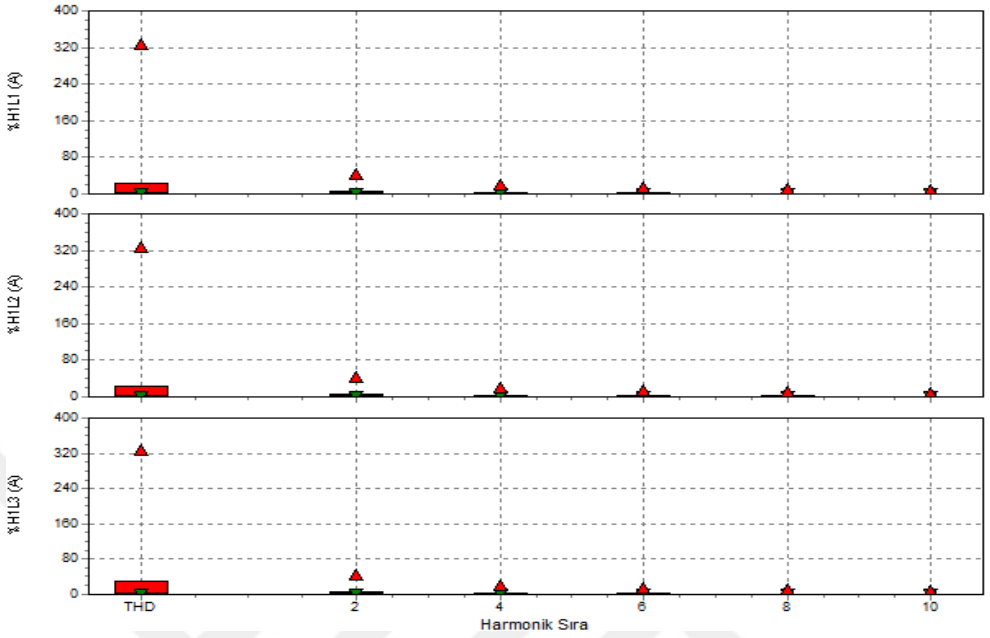
Şekil 4.15.'de elde edilen tek sayılı akım harmoniği değerlerinin TS EN 50160 standardına uygunluğunu incelemek üzere, Çizelge 4.4.'teki tabloda ilgili yerlere yazılarak karşılaştırma yapılmıştır. Çizelge 4.4.'te FV santralde kullanılan 630 kVA OG trafosunun katalog değerine göre, Isc/IL (20207/910=22,2) oranı 20 ile 50 arasında olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.4. FV Santral L1, L2 ve L3 fazı tek sayılı akım harmonikleri ve TTB ölçüm sınır değerleri

		L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Isc/IL	h	h<11	h<11	h<11	11≤h<17	11≤h<17	11≤h<17	TTB	TTB	TTB
20<50		7	7	7	3,5	3,5	3,5	8	8	8
	3	3,97	4,06	9,47				24,5	23	31,34
	5	4,98	4,34	8,15						
	7	7,12	7,46	8,64						
	9	2,52	1,87	4,27						
	11				3	3,17	4,13			

Çizelge 4.4.'te elde edilen sonuçlara göre, FV santralde oluşan akım harmoniklerinin değeri, 3. harmonik için L1, L2 fazı dışında tüm harmoniklerde sınır değerlerinin üstünde olduğu görülmektedir. Ayrıca fazlar arasında harmonik değerlerine bakıldığında, L3 fazında harmonik değerlerinin yüksek olduğu tespit

edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlara göre, akım harmoniklerinin standardın üstünde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.16. Power Log yazılımı FV santralde çift sayılı akım harmoniği ve THD değişimi grafiği

Şekil 4.16.'da elde edilen çift sayılı akım harmoniği değerlerinin TS EN 50160 standardına uygunluğunu incelemek üzere, Çizelge 4.5.'deki tabloda ilgili yerlere yazılarak karşılaştırma yapılmıştır. Çizelge 4.5.'de FV santralde kullanılan 630 kVA OG trafosunun katalog değerine göre, Isc/IL (20207/910=22,2) oranı 20 ile 50 arasında olduğu tespit edilmiştir.

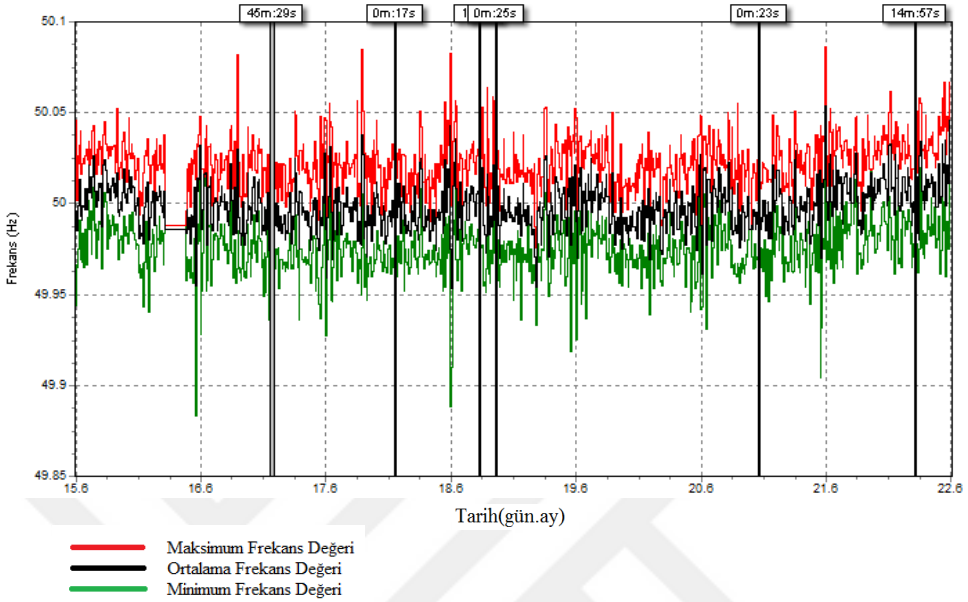
Çizelge 4.5. FV Santral L1, L2 ve L3 fazı çift sayılı akım harmonikleri ve TTB ölçüm sınır değerleri

		L1	L2	L3	L1	L2	L3	L1	L2	L3
Isc/IL	h	h<11	h<11	h<11	11≤h<17	11≤h<17	11≤h<17	TTB	TTB	TTB
20<50		1,75	1,75	1,75	0,88	0,88	0,88	8	8	8
	2	5,06	5,76	5,2				24,5	23	31,34
	4	2,53	2,88	2,85						
	6	1,65	1,91	1,78						
	8	1,33	1,51	1,31						
	10				1,22	1,32	1,19			

Çizelge 4.5.'de belirtilen değerlere göre çift sayılı akım harmonik değerleri standarda uymadığı tespit edilmiştir.

4.1.5. FV santrale ait gerilimdeki frekans değişim analizi

Yapılan ölçümlerde, FV santrale ait gerilimdeki frekans değişimini gösteren grafik Şekil 4.17.'de görülmektedir.

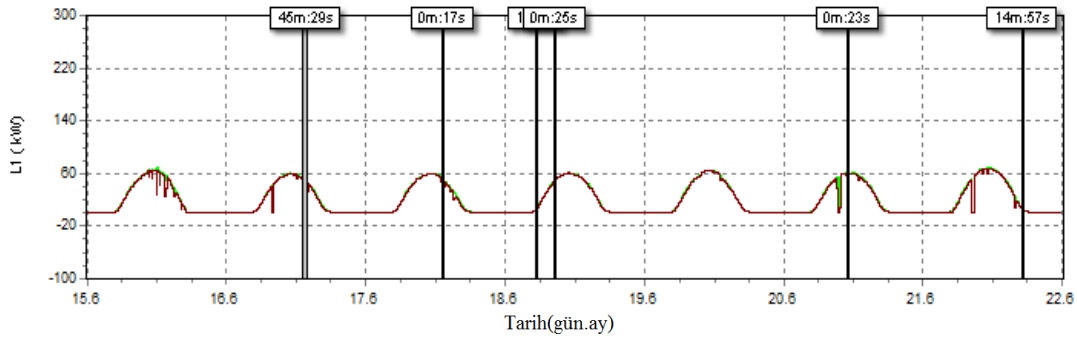


Şekil 4.17. Power Log yazılımı FV santralde gerilim frekans değişimi grafiği

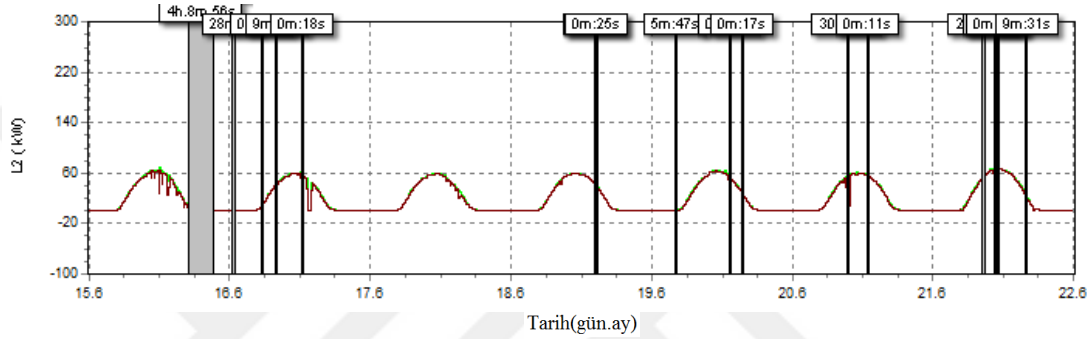
Şekil 4.17.'deki grafikte, ölçüm sonucunda elde edilen sonuçlara göre; FV santrale ait frekans değerleri, 49,5 Hz-50,5 Hz frekans bandını aşmamıştır. Minimum frekans ortalaması 49,97 Hz, tüm frekans ölçüm ortalaması 50 Hz ve maksimum frekansların ortalaması ise 50,2 Hz olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara bakarak üretilen gerilim frekansı EN 50160 standardına uygundur.

4.1.6. FV santrale ait aktif güç değişim analizi

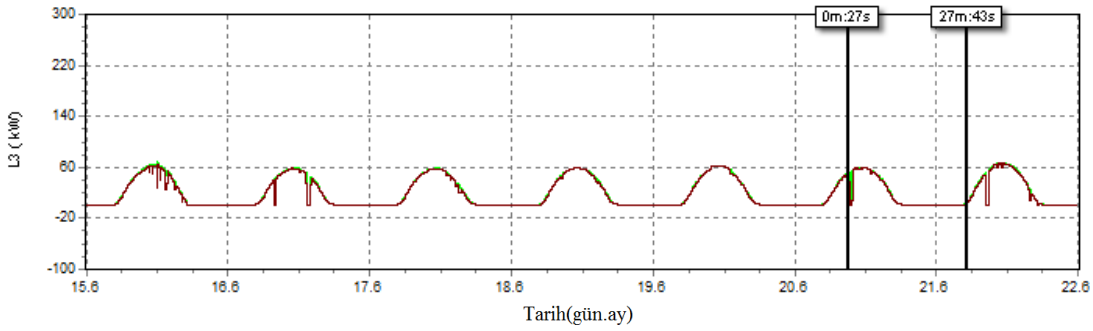
FV santrale ait 3 faz için yapılan aktif güç ölçümlerine göre Şekil 4.18., Şekil 4.19. ve Şekil 4.20.'deki ortalama aktif güç grafikleri elde edilmiştir.



Şekil 4.18. Power Log yazılımı ile FV santralde L1 fazı aktif güç değişimi grafiği



Şekil 4.19. Power Log yazılımı ile FV santralde L2 fazı aktif güç değişimi grafiği

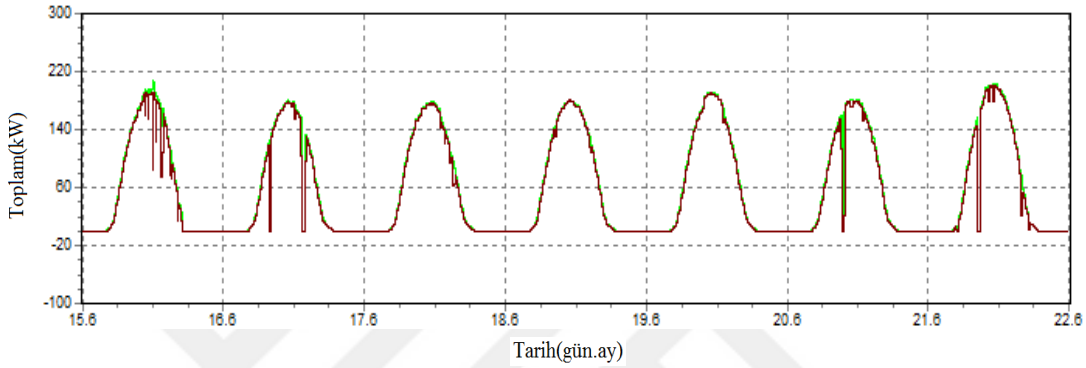


Şekil 4.20. Power Log yazılımı ile FV santralde L3 fazı aktif güç değişimi grafiği

Şekil 4.18., Şekil 4.19. ve Şekil 4.20.'deki grafiklerden elde edilen sonuçlara göre FV santral, saat 4.15'de güç üretimine başlamakta ve 17.05'de güç üretimi sonlandırmaktadır. FV santral yaklaşık olarak 13 saat güç üretmektedir. L1, L2 ve L3 fazlarına ait güç üretimler yaklaşık olarak birbirine çok yakındır. Bu nedenle güç üretiminde, EN 50160 standardına uygun olmayan bir durum görülmemiştir. Fazlar arasında görülen ufak aktif güç farklılıkları; kullanılan inverterlere bağlı olarak FV panellerin çalışma şartlarında üretim farklılıklarından ve bulunduğu konumun güneşe

göre yönelim pozisyonunun farklı olması gibi nedenlerden kaynaklanabilmektedir. Grafiklerde görülen güç dalgalanmaları, bulutlanma ve enerji nakil hattındaki kesintiler gibi dış etmenler neden olabilmektedir.

Şekil 4.19.'a bakıldığında, L2 fazında 15.06.2014 tarihinde, 4 saat süresince bir kesinti meydana gelmiştir. Buda fazların farklı şekilde şebekeye etki ettiğini göstermektedir.

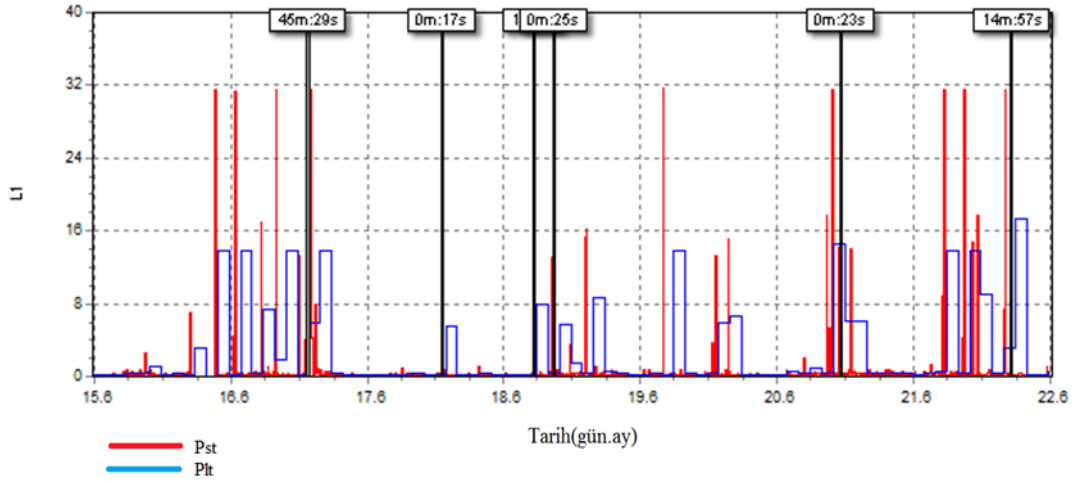


Şekil 4.21. Power Log yazılımı ile FV santralde üretilen toplam aktif güç değişimi grafiği

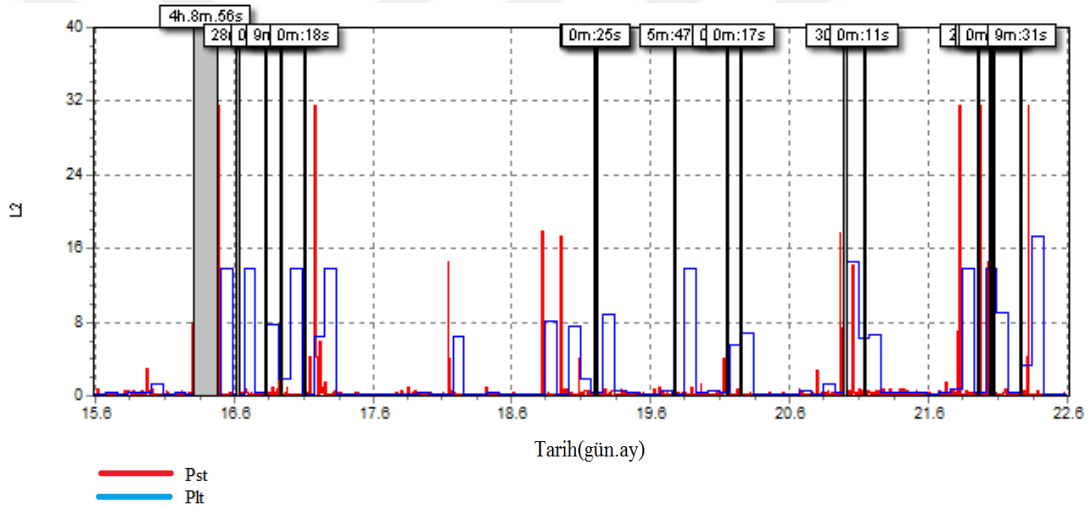
Toplam aktif güç grafiği sonuçlarına göre, FV santralde üretilen aktif gücün maksimum olduğu anlar, saat 11.15 civarı olduğu görülmektedir. Bu anda, FV santralde yaklaşık olarak 190 kWp aktif güç üretilmektedir. Ayrıca ölçümlere göre FV santralin çalışmadığı durumlarda şebekeden 100 W enerji çektiği görülmüştür (Şekil 4.21.).

4.1.7. FV santrale ait gerilim kırpışması (fliker) analizi

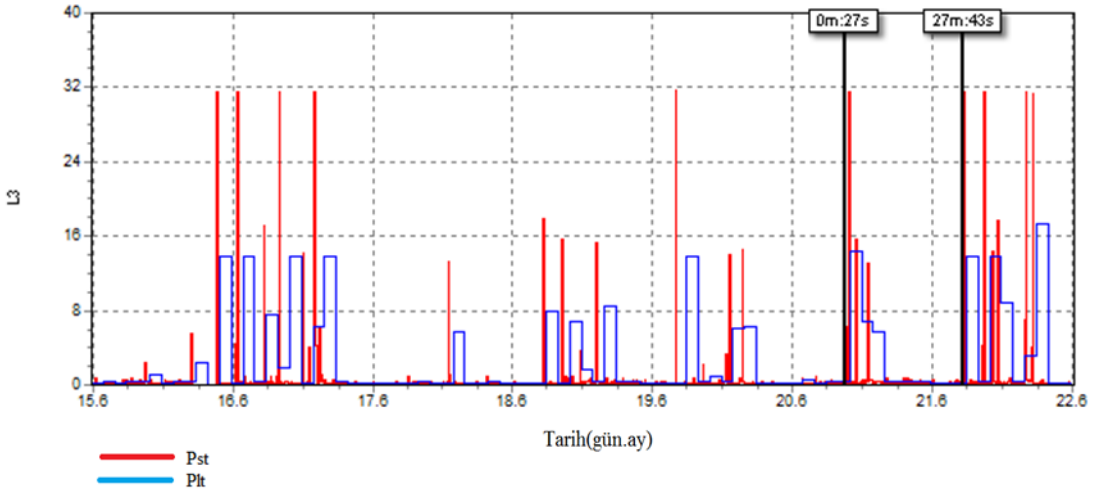
FV santralde yapılan gerilim kırpışması ölçümlerinde elde edilen sonuçlara göre, Şekil 4.22., Şekil 4.23. ve Şekil 4.24.'deki grafikler elde edilmiştir.



Şekil 4.22. Power Log yazılımı ile FV santralde L1 fazına ait fliker değişimi grafiği



Şekil 4.23. Power Log yazılımı ile FV santralde L2 fazına ait fliker değişimi grafiği



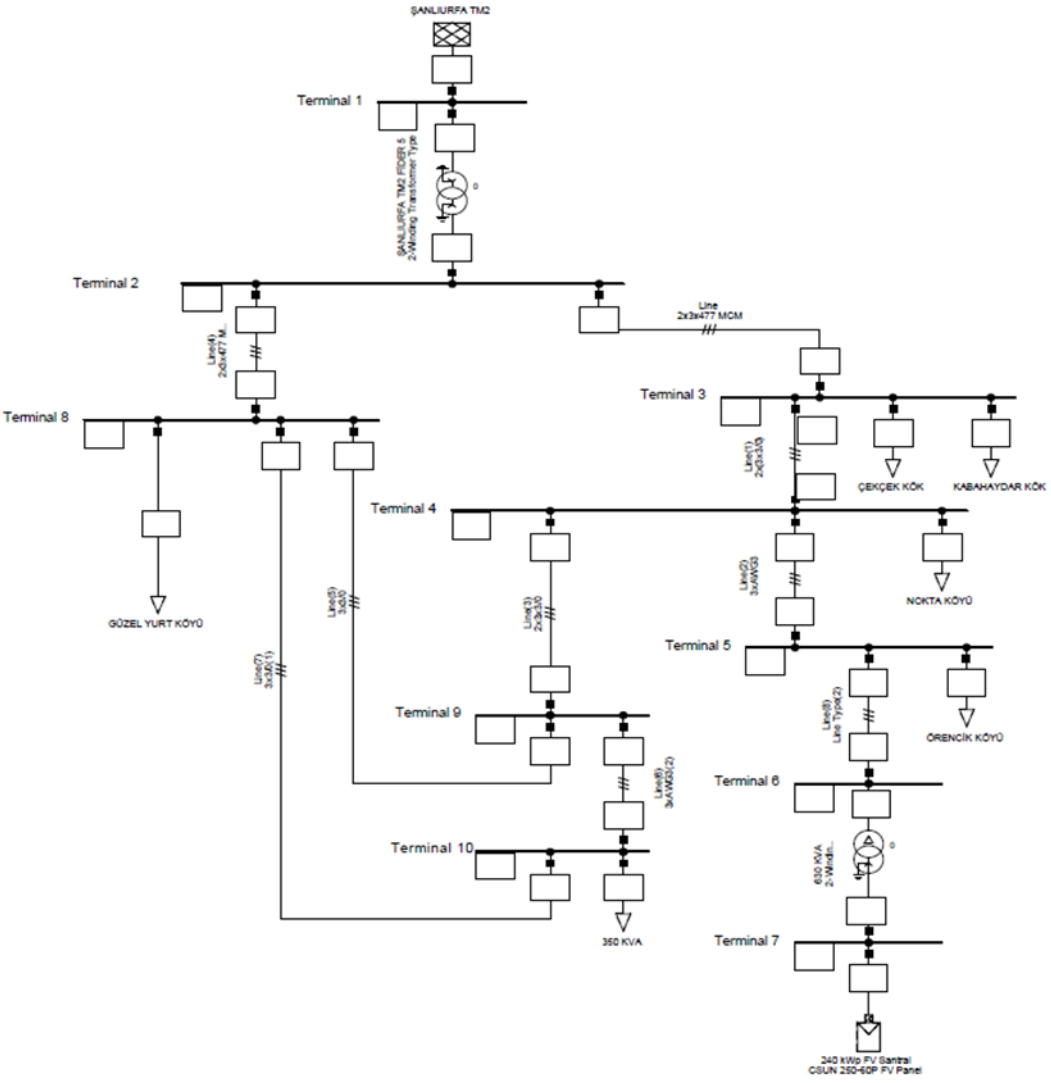
Şekil 4.24. Power Log yazılımı ile FV santralde L3 fazına ait fliker değişimi grafiği

Elde edilen Şekil 4.22., Şekil 4.23. ve Şekil 4.24.'deki 3-faza ait grafik sonuçlarına göre tüm ölçümlerde ki Pst değeri ortalaması; L1 fazı için 0,87, L2 fazı için 0,88 ve L3 fazı için 0,86 olarak hesaplanmıştır. Burada ki ortalama değerler standartta belirtilmiş olan, 1 eşik değerinden düşük olduğu görülmektedir. Genel olarak ölçümler sırasında Pst değeri 1 eşik değerinin altında kalmıştır. Ölçümler sırasında, Pst değerinin maksimum değerleri 31,57 olarak birkaç ölçüm sırasında rastlanmıştır.

Şekil 4.22., Şekil 4.23. ve Şekil 4.24.'deki 3-faza ait grafik sonuçlarına göre Plt değeri ortalaması; L1 fazı için 2,75, L2 fazı için 2,82 ve L3 fazı için 2,75 olarak hesaplanmıştır. 3-faz için alınan bu göre alınan sonuçlara göre standartta belirtilmiş olan 0,8 eşik değerinden büyük çıkmaktadır. Bu sonuç gösteriyor ki uzun dönemde santralin bağlandığı hat üzerinde ciddi gerilim kırpışması olayları gerçekleşmektedir. Oluşan bu dalgalanmanın sebebi, haziran ayı içerisinde enerji nakil hattı üzerinden sulama pompaları nedeniyle çekilen dengesiz yüklerden kaynaklanabilmektedir. Bunu gösteren en büyük neden, santralin gece vakitlerinde de Plt değerinin yüksek olmasıdır. Bu da gösteriyor ki; FV santralin ürettiği enerjinin kalitesinde, meteorolojik etkilerin yanı sıra enerji nakil hattı üzerindeki yüklerde ciddi değişimlere neden olabilmektedir.

4.2. DIgSILENT PowerFactory programı ile 240 kWp-FV santralin enerji nakil hattı simülasyon sonuçları

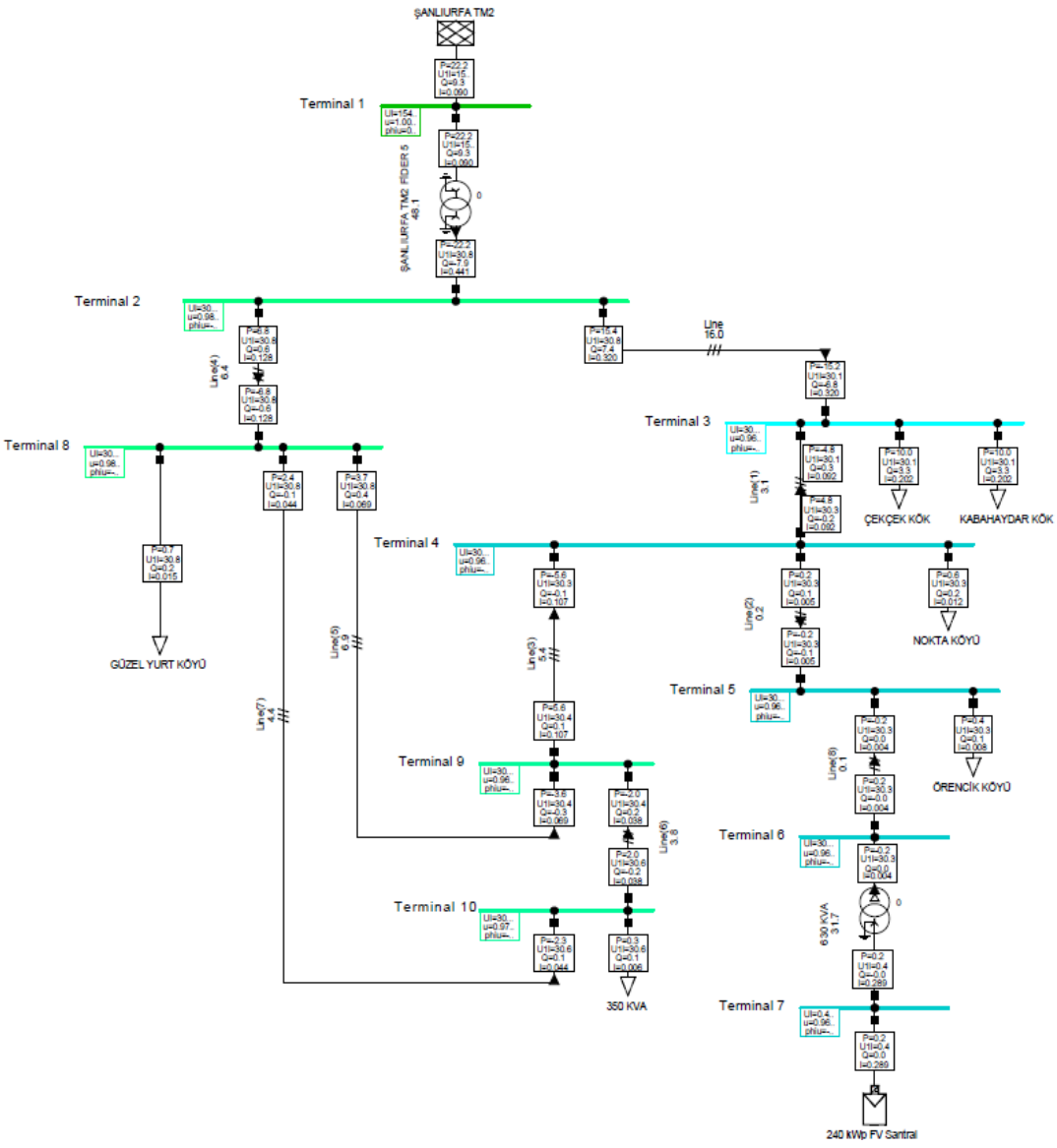
Şanlıurfa ili içerisinde kurulmuş olan; 240 kWp kurulu güce sahip FV Santralin bağlanmış olduğu enerji nakil hattının analizi için, DIgSILENT PowerFactory modelleme yazılımı yardımıyla, Şekil 4.25.'deki tek hat şeması oluşturularak simülasyona başlanılmıştır. Modellenen enerji nakil hattı için öncelikle sürekli durum analizi yöntemleri kullanılarak simüle edilen hattın, analiz sonuçları incelenmiştir.



Şekil 4.25. 240 kWp FV Santral DIgSILENT PowerFactory tek hat şeması

4.2.1. Yük akış yöntemi ile enerji nakil hattının simülasyonu

FV santralin bulunduğu enerji nakil hattına ait yük akış simülasyonu başlatıldıktan sonra, Şekil 4.26'daki gibi bir enerji akışı elde edilmiştir. FV Santralin bağlantı yapıldığı terminal 7 üzerinden tüketim olmadığından dolayı yük akışı ters yönde aktığı görülmektedir.

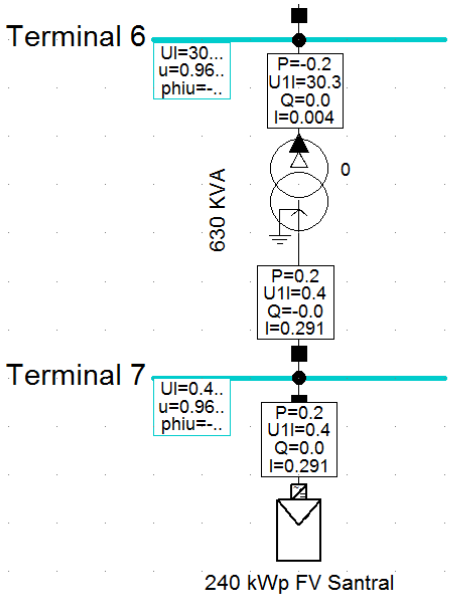


Şekil 4.26. 240 kWp FV Santral DIgSILENT PowerFactory tek hat şeması yük akış simülasyonu

Enerji nakil hattının yük akış simülasyonunda, terminallere ait renklerden anlaşılacağı üzere enerji nakil hattı üzerinde ki yük akışı sonucunda terminaller

üzerinde istenilen voltaj seviyesi yakalandığı görülmüştür. Buda, FV santralin hat üzerinde ki gerilim seviyesinin hat sonuna doğru azalmasının normale göre pozitif yönde etki ettiğini göstermektedir.

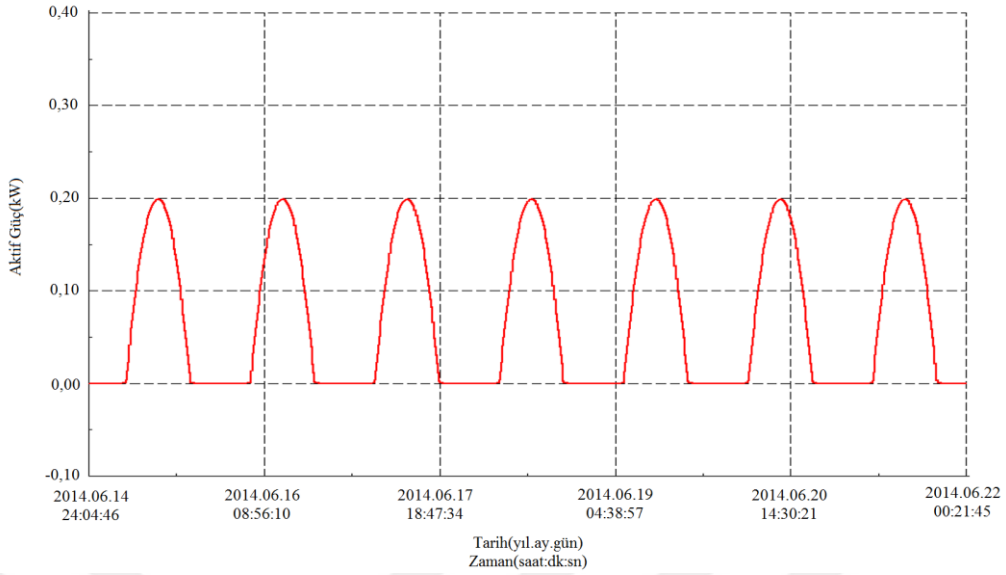
Yük akışı sırasında gözlemlenen sonuçlara göre enerji nakil hattına aktarılan enerjinin yaklaşık değerleri; Pmak=200 kW, Umak=400 V ve Imak=0.289 kA olarak Şekil 4.27.'de okunmaktadır.



Şekil 4.27. 240 kWp FV Santral DIgSILENT PowerFactory Terminal 6-7 yük akışı simülasyonu

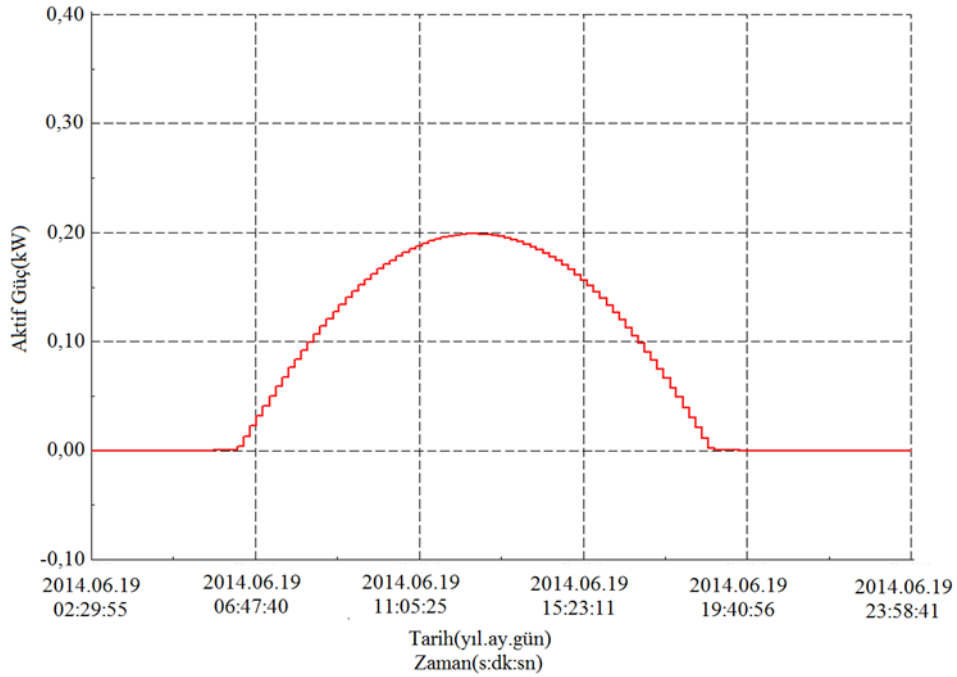
4.2.2. Yarı-dinamik güç benzetim yöntemi ile enerji nakil hattının simülasyonu

Dinamik güç benzetimi simülasyon yöntemiyle; AC yük akışına göre, alınan akım gerilim değerlerinin 10 dakikalık ölçüm tarama benzetimi sayesinde, 2014 yılı haziran ayına ait şekil' de ki ölçüm sonuçları elde edilmiştir. Burada elde edilen bilgilere göre bu santralde ortalama olarak günün saat 11.30 civarı, FV santral maksimum güç üretim değerine ulaşmaya başlamıştır (Şekil 4.28.). Analizör ile ölçülen verilerle, benzetim sonuçları çok küçük sapmayla birbiriyle örtüşmektedir.



Şekil 4.28. 240-kWp FV Santral DIgSILENT PowerFactory Terminal 7 dinamik güç grafiği

Analizörden alınan ölçüm sonuçlarında, FV santral üretime yaklaşık 1,5 saat önce başladığı görülmüştür. Buradan da anlaşılacağı üzere, DIgSILENT PowerFactory programının kullanmış olduğu meteorolojik veriler, gerçekte olması gerekenden ufakta olsa farklılık göstermektedir. FV santral maksimum ürettiği güç 200 kWp olarak görülmektedir. Bu da yaklaşık olarak kurulu gücün maksimum %80' i kadar enerji üretilebileceği gözlemlenmiştir. Analizörden alınan ölçüm sonuçlarında FV santralin toplam aktif çıkış gücü yaklaşık 190 kWp ölçülmüştür. Burada oluşan 10 kWp güç kaybı, hatlarda meydana gelen kesintiler ve bulutlanmadan kaynaklanmış olabilir.



Şekil 4.29. 240-kWp FV Santral DIgSILENT PowerFactory Terminal 7 bir günlük dinamik güç grafiği

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Yapılan çalışma sonucunda; FV santralde yapılan ölçümlerden elde edilen analizlere göre, güç kalite gereksinimlerine uymayan durumlar şu şekilde sıralanır:

- 3-fazda oluşan gerilim dengesizliğinin yüksek olması,
- Kısa süreli rastlanan gerilim yükselmesi ve gerilim çökmesi durumları,
- Uzun süreli ve kısa süreli kesintiler,
- Standardın belirlemiş olduğu eşik değerinin üstünde gerilim harmonikleri ve akım harmoniklerine rastlanılması,
- 3-fazın her birinde farklı güç değişimlerinin ve etkilerinin oluşması,
- Kısa dönem ve uzun dönemde fliker şiddetinin standartta belirtilmiş eşik değerden yüksek olması.

FV santralde oluşan bu olumsuz durumların nedenleri sıralanırsa; ilk olarak, FV santralin bağlanmış olduğu, OG enerji nakil hattının sıklıkla kesintilere maruz kalması ve fazlarda bulunan yüklerin farklı yük özellikleri ve kapasitelere sahip olması nedeniyle fazlarda dalgalanmalar meydana getirmesidir. Fazlar arasında oluşan güç farklılıklarının nedenlerinden biriside, FV santralde bulunan inverterlerin, farklı yönlere yönelmiş FV paneller nedeniyle farklı üretim ve dalgalanmaya neden olur. Diğer bir konu, FV santrallerin bulutlanma, ışınım ve diğer meteorolojik dış etmenlere bağlı olarak ürettiği enerjinin hızlı bir şekilde değişmesi, güç üretiminde ve fazlar arasında istenmeyen güç dalgalanmalarına neden olmaktadır. Gerilim ve akımda meydana gelen harmonik ve dalgalanmalar, inverterler tarafından tamamen engellenemediği görülmüştür. Oluşan bu olumsuz sonuçlar nedeniyle, FV santralde, şebekede ve yük tarafında bazı özel önlemler alınması gerekliliğini ortaya çıkartmaktadır.

DIgSILENT PowerFactory yazılımıyla yapılan değerlendirmeye göre, OG enerji nakil hattına bağlanan 240 kWp FV santral, hat sonunda oluşan gerilim düşümünü azalttığı, hatta ek yük getirmediği ve yarı-dinamik simülasyon yöntemiyle, ölçüm

sonuçlarına yakın bir değerde güç üretiminin grafiklerle ispatlanmasıyla, başarılı bir enerji nakil hattı benzetimi gerçekleştirildiğini göstermiştir.

Simülasyon yapılırken enerji nakil hattının üstünde bulunan yüklerin sabit güç çektiği ve benzer nitelikte yük yapısına sahip olduğu varsayılarak modelleme yapılmıştır. Bu yüzden çıkışta elde edilen güç grafiğindeki sonuçlar, ideal bir değişime sahip olmuştur. Modellemenin daha gerçeğe yakın olması adına ve oluşacak olumsuz sonuçların tahminini belirlemek üzere, hat üstündeki yüklerin detaylarının bilinmesi ve enerji ihtiyacının zamana göre değişimine sahip olunması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu bağlamda, Bölge Elektrik Dağıtım Firması tarafından yapılacak bölgesel çalışmalarla bu bilgiler elde edilerek, OG fiderinin ortak bağlantı noktasına bağlanacak FV santrallerin, yeterli enerji talep akışı ve koruma güvenliğine sahip olduğunu önceden tespit edilmesine ve önlemler alınmasına yardımcı olacağı kanısına varılmıştır.

5.2. Öneriler

FV santrallerde güç kalite parametrelerinde meydana gelen olumsuz durumları ve enerji nakil hattına etkilerini azaltmak adına; FV santral kısmı, enerji nakil hattı ve talep tarafında, Çizelge 5.1.'deki tabloda belirtilen güç kalite olaylarına karşı alınacak önlemler sıralanmıştır.

Çizelge 5.1. FV Santrallerde oluşan güç kalite olaylarına karşı alınacak önlemler

	Alınacak Önlemler		
Güç Kalite Olayları	**FV Santral Kısmı**	**Talep Tarafı**	**Enerji Nakil Hattı**
Aşırı Gerilim ve Düşük Gerilim	Güç Şartlandırma Sistemi (PCS)	Şönt Kapasitör, Şönt Reaktör	Hat Gerilim Düşümü Kompanzatörü(LDC), Şönt Kapasitör, Şönt Reaktör, Adım Voltaj Regülatörü (SVR)
Gerilim Şişmesi ve Gerilim Çökmesi	Güç Kalite Standardını Sağlayacak İnverter	Dinamik Gerilim Düzenleyici (DVR)	Tristör Voltaj Regülatörü (TVR), Statik VAR Kompanzasyonu (SVC), STATCOM

Çizelge 5.1. (devam)

	Alınacak Önlemler		
Güç Kalite Olayları	**FV Santral Kısmı**	**Talep Tarafı**	**Enerji Nakil Hattı**
Gerilim Dengesizliği	Güç Kalite Standardını Sağlayacak İnverter	DVR	STATCOM
Gerilim ve Akım Harmonikleri	Güç Kalite Standardını Sağlayacak İnverter	Şönt Kapasitör, Şönt Reaktör, Pasif Filtre, Aktif Filtre	Şönt Kapasitör, Şönt Reaktör, STATCOM, Pasif Filtre, Aktif Filtre
Fliker	Güç Kalite Standardını Sağlayacak İnverter		SVC

FV santrallerin kurulması öncesinde güç kalite sorunlarını engellemek adına, FV santralin bağlanacağı enerji nakil hattına ait güç kalite parametre bilgilerinin elde edilmiş olması ve FV santral bileşenleri seçilirken güç kalite standardı gerekliliğini sağlayacak ürünlerin tercih etmenin önemini ortaya çıkartmıştır. Bu kapsamda, Bölge Enerji Dağıtım Firmalarının, OG enerji nakil hatlarının güç kalite ölçümlerini yaparak; gerekli önlemleri almak adına sağlıklı olmayan hatların güç kalitesini arttırmaya yönelik enerji nakil hatlarını güçlendirmesi için gerekli önlemleri alması ve elde edilen bu ölçüm sonuçlarını halka arz etmesiyle, ülkemizde daha verimli FV santrallerin kurulması sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

ABB, 2014. Photovoltaic Plants, Technical Application Papers No. 10, Italy.

AKDENİZ, E., KAYPMAZ, A., ve YAĞMUR, E. A., Yenilenebilir Kaynaklardan Enerji Üretiminin Şebekenin Enerji Kalitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, TÜBİTAK MAM Enerji Enstitüsü, Gebze, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, İstanbul.

AREZKI, S., and BOUDOUR, M., 2014. Improvement of power quality for hybrid PV-FC power supply system, 16th International Power Electronics and Motion Control Conference and Exposition, 21-24 September, Antalya.

ARIYO, F. K., and OMOİGUİ, M. O., 2013. Investigation of Nigerian 330 kV Electrical Network with Distributed Generation Penetration – Part I: Basic Analyses, Department of Electronic and Electrical Engineering, Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Nigeria, Scientific & Academic Publishing.

BAŞOĞLU, M. E., KAZDALOĞLU, A., BİLGİN, M. Z., ERFİDAN, T., ve ÇAKIR, B., 2014. Farklı Güneş Paneli Teknolojilerinin Kocaeli ili için Performans Değerlendirmesi, Eleco 2014 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 27 – 29 Kasım, Bursa.

CHANG, Z., and TAO, S., 2013. Power Quality Analysis of Photovoltaic Generation Integrated in User-Side Grid, International Journal of Computer and Electrical Engineering, 5(2).

CIOBOTARU, C.K., POPA, L. M., ISLEIFSSON, F., and BINDNER, H., 2012, Simulation Model developed for a Small-Scale PV System in Distribution Networks, Politehnica University/Automation and Computer Science, Timisoara, Romania, Denmark Technical University/Electrical Engineering, Roskilde, Denmark.

DEMİRBAŞ, Ş., ve BAYHAN, S., 2009. Güç Sistemlerinde Harmoniklerin Gerçek Zamanlı Ölçüm ve Analizi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., 24(3): 461-468.

DIGSILENT POWERFACTORY, 2014. Digsilent Powerfactory 15 User Manuel, May 2014, Germany.

DING M. and WU X., Three-phase Probabilistic Power Flow in Distribution

DUGAN, R. C., MCGRANAGHAN, M. F., SANTOSO, S., and BEATY, H. W., 2004. Electrical Power Systems Quality, Second Edition, McGraw-Hill Companies.

EHARA, T., MIZUHO INFORMATION, and RESEARCH INSTITUTE, 2009. Overcoming PV Grid Issues In Urban Areas, IEA PVPS Task 10, Activity 3.3, Report IEA-PVPS T10-06, Japan.

ELTAWIL, M.A., and ZHAO, Z., 2009. Grid-connected photovoltaic power systems: Technical and potential problems - A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Elsevier, 14:112–129.

EPDK, 2012. Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği, 21 Aralık 2012, 28504 Sayılı Resmi Gazete.

EPDK, 2013. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik, 2 Ekim 2013 Çarşamba, 28783 Sayılı Resmi Gazete.

ERİŞTİ, H., ve DEMİR Y., 2011. Gerçek Zamanlı Güç Kalitesi İzleme Sistemleri ile Elektrik Dağıtım Sistemlerindeki Güç Kalitesinin İncelenmesi, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Fırat Üniversitesi, Elazığ.

FARHOODNEA, M., MOHAMED, A., SHAREEF, H., and ZAYANDEHROODI, H., 2013. Power Quality Analysis of Grid-Connected Photovoltaic Systems in Distribution Networks, University Kebangsaan Malaysia, Przeglad Elektrotechniczny, ISSN 0033-2097, R. 89 NR 2a/2013.

FLUKE, 2007. Power Log PC Application Software Users Manuel, May 2007.

FLUKE, 2008. Fluke 434/435 Users Manuel, December 2008, Netherlands.

FRAUNHOFER, ISE, 2015. Photovoltaics Report, 26 August, Freiburg.

GOLOVANOV, N., LAZAROIU, G. C., ROSCIA, M., and ZANINELLI, D., 2013. Monitoring Power Quality in Small Scale Renewable Energy Sources Supplying Distribution Systems, Intech, Chapter 4.

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.

GONZALES, P., ROMERO, E., MINAMBRES, V.M., GUERRERO, M.A., and GONZALES, E., 2014. Grid-Connected PV Plants. Power Quality and Technical Requirements, IEEE, Spain.

GONZALES, P., ROMERO-CADAVAL, E., GONZALES, E., and GUERRERO, M.A., 2011. Impact of Grid Connected Photovoltaic System in the Power Quality of a Distribution Network, Power Electrical and Electronic Systems, School of Industrial Engineering, Luis M. Camarinha-Matos (Ed.): DoCEIS, IFIP AICT 349:466–473.

GÖK, A., ve BİLMEZ, A., 2009. Güç Kalitesi Milli Projesi ve Sonuçları, TEİAŞ Genel Müdürlüğü.

HANKINS, M., 2010. Stand-Alone Solar Electric Systems, The Earthscan Handbook for Planning, Design and Installation, Washington, DC.

INTERNATIONAL STANDARD IEC 61000-4-30, 2003. Testing and Measurement Techniques – Power Quality Measurement Methods, First Edition'02, Switzerland.

IRENA, 2015. Batery Storage For Renewables: Market Status and Technology Outlook.

İŞCAN, S., ve İNCE, K., 2015. Enerji Kalitesinin Standartlar ve Yönetmelikler Çerçevesinde Değerlendirilmesi, Yalova Üniversitesi, 3rd International Istanbul Smart Grid Congress and Fair, İstanbul.

JOSE, D., 2012. Comparison of a three phase single stage PV system in PSCAD and PowerFactory, Degree project in Electric Power Systems Second Level, XR-EE-ES'13 Stockholm, Sweden.

KALAY, A., 2008. Muğla Üniversitesi Yerleşkesinde Bulunan 15 Kwp Kurulu Güce Sahip Fotovoltaik(PV) Sistemin Güç Kalitesinin İncelenmesi Ve Şebeke Karekteristikleri İle Karşılaştırılması, Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Muğla.

KHARE, V., NEMA, S., and BAREDAR, P., 2012. Power Quality Disturbances in Grid Connected Solar System & Its Prevention, International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT), Volume 1, Issue 5.

LENA, G., 2013. Rural Electrification with PV Hybrid Systems, Internatıonal Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programme Club of African National Agencies and Structures In Charge of Rural Electrıficatıon (Club-Er), IEA PVPS Task 9, Subtask 4, Report IEA-PVPS T9-13:2013 CLUB-ER, Thematic Paper..

MARKIEWICZ, H., and KLAJN, A., 2004. Voltage Disturbances Standard EN 50160- Voltage Characteristics in Public Distribution Systems, Wroclaw University of Technology, Copper Development Association, United Kingdom.

ORTEGA, M.J., HERNANDEZ, J.C., and GARCIA, O.G., 2012. Measurement and Assessment of Power Quality Characteristics for Photovoltaic Systems: Harmonics, Flicker, Unbalance, and Slow Voltage Variations, ELSEVIER Electric Power Systems Research, 96: 23-35.

PRAJAPAT, K. K., and KATARIYA, A., 2011. Simulation and Testing of Photovoltaic with Grid Connected System, 2011 International Conference on Computational Intelligence and Communication Systems, 978-0-7695-4587-5/11 $26.00, 2011 IEEE DOI 10.1109/CICN.2011.150.

PVUPSCALE, State-Of-The-Art On Dispersed Pv Power Generatıon: Publications review on the impacts of PV Distributed Generation and Electricity Networks, EIE/05/171/SI2.420208.

REID, E., 1996. Power Quality Issues-Standards and Guidelines, IEEE 1994 Annual Pulp and Paper Industry Technical Conference, Paper 0-7803-2028-X-1994, Houstan.

RENNER, H., HEIMBACK, B., and DESMET, J., 2015. Power Quality And Electromagnetic Compatibility, C I R E D, 23rd International Conference on Electricity Distribution, Special Report - Session 2, 15-18 June 2, Lyon.

SPRING, A., WIRTH, G., BECKER, G., PARDATSCHER, R., WITZMANN, R., BRANTL, J., and SCHMIDT, S., 2013. Effects of Flicker in a Distribution Grid with high PV Penetration, University of Applied Sciences Munich, Department of Electrical Engineering, Associated Institute of Power Transmission Systems, 28th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Germany.

SUWANAPINGKARL, P., 2012. Power Quality Analysis of Future Power Networks, PhD, Faculty of Engineering and Environment Incorporating: Computing, Engineering and Information Sciences.

System With Grid-connected Photovoltaic Systems, Research Center for Photovoltaic System Engineering, MOE Hefei University of Technology Hefei, China.

ŞENYURT, Ö., 2005. Elektrik Tesislerinde Harmonikler, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Semineri, Ankara.

ŞİMŞEK, B., 2013. Konya Sanayi Odası Lisanssız Elektrik Üretimi Bilgilendirme Toplantısı Projelerin Teknik Olarak Değerlendirilmesi, 22 Ocak, Konya.

ŞİMŞEK, B., 2014. Lisanssız Elektrik Üretim Yönetmeliğinde Mevzuat, Proje Hazırlanması ve Kabul İşlemleri, SOLARTR, 19-21 Kasım, İzmir.

TEDAŞ, 2007. Trafo Merkezleri OG-AG Güç Kalitesi Ölçüm Teknik Şartnamesi, Ekim 2007.

THEOLOGITIS I-T. K., 2011. Comparison of existing PV models and possible integration under EU grid specifications, KTH Electrical Engineering,

Degree Project In Electric Power Systems, Second Level, Stockholm, Sweden.

THIRUMOORTHY, A. D., and CHELLAMUTHU, C., 2014. Study On Power Quality Issues In Grid Connected Wind Farms and Their Remedial Measures, C-WET, Project No. RD-RD-190-10.

ULIANOV Y., and OROZCO M. I. A., 2012. Power Quality Performance of a Grid-Tie Photovoltaic System in Colombia, IEEE 978-1-4673-2673-5/12/$31.00, Spain.

ÜNLÜSOY, B., Enerji Kalitesi, TS EN 50160 Standardı ve Ülkemizdeki Uygulamaları, Schneider Elektrik San. ve Tic. A.Ş., İstanbul.

WASILEWSKI, J., WIECHOWSKI, W., and BAK, C. L., Harmonic Domain Modelling of A Distribution System Using The Digsilent Powerfactory Software.

XIAOYAN, X., YUEHUI, H., GUOQING, H., HAIXIANG, Z., and WEISHENG, W., 2009. Modeling Of Large Grid-Integrated PV Station and Analysis Its Impact On Grid Voltage, Sustainable Power Generation and Supply. SUPERGEN '09. International Conference on Nanjing.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Sami ABAMOR
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Şanlıurfa – 29/03/1988
Telefon : 0536 912 41 12
e-mail : samiabamor@harran.edu.tr

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: ÇEAŞ Anadolu Lisesi, Haliliye İlçesi, Şanlıurfa	2006
Üniversite	: Fırat Üniversitesi, Merkez, Elazığ	2011
Yüksek Lisans	: Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Haliliye, Şanlıurfa	2016

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012	Harran Üniversitesi, GAP YENEV Merkezi	Proje Mühendisi

UZMANLIK ALANI

Elektrik, Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

EKLER

EK 1: FV Santral tek hat şebeke bağlantı şeması

