

**T.C.
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**OG VE YG KADEMELERİNDE GÜÇ KALİTESİ
PARAMETRELERİNİN ANALİZİ: MANİSA OSB ÖRNEĞİ**

MEHMET TETİK

**Danışman
Prof. Dr. SEZAI TAŞKIN**



MANİSA-2019

**Mehmet
TETİK**

**OG VE YG KADEMELERİNDE GÜÇ KALİTESİ PARAMETRELERİNİN ANALİZİ: 2019
MANİSA OSB ÖRNEĞİ**

TEZ ONAYI

Mehmet TETİK tarafından hazırlanan "**OG VE YG KADEMELERİNDE GÜÇ KALİTESİ PARAMETRELERİNİN ANALİZİ: MANİSA OSB ÖRNEĞİ**" adlı tez çalışması 08/08/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde **Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak savunulmuş ve başarılı olarak kabul edilmiştir.

Danışman

Prof. Dr. Sezai TAŞKIN
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Hayati MAMUR
Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Özkan AKIN
Ege Üniversitesi

TAAHHÜTNAME

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

MEHMET TETİK



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	III
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	IV
TABLO DİZİNİ.....	VI
TEŞEKKÜR.....	VII
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT.....	X
1.GİRİŞ.....	1
1.1.Literatür araması.....	2
2. GÜÇ KALİTESİ VE PARAMETRELERİ.....	4
2.1 Güç Kalitesi Problemlerinin Sebepleri.....	4
2.2. Güç Kalitesi Problemlerinin Etkileri.....	6
2.3 Güç Kalitesi Parametreleri.....	6
2.3.1. Gerilim Yükselmesi (Voltage Swell).....	7
2.3.2. Gerilim Çökmesi (Voltage Sag).....	7
2.3.3. Gerilim Dengesizliği.....	8
2.3.4. Kısa Kesintiler (Short Interruptions).....	9
2.3.5. Geçici Rejim (Transient).....	9
2.3.6. Kırpışma (Flicker).....	10
2.3.7. Frekans Sapması.....	12
2.3.8. Çentik.....	13
2.3.9. Ara Harmonikler (Interharmonics).....	13
2.3.10. Harmonikler.....	14
2.3.10.1. Harmonik Üreten Elemanlar	15
2.3.10.2. Harmoniklerin Oluşturduğu Etkiler.....	16
2.3.10.3. Harmoniklere Ait Tanım ve Kavramlar.....	17
2.3.10.3.1. Sinüsoidal Olmayan Durumda Elektrik Büyüklükleri.....	17
2.3.10.3.2. Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD).....	17
2.3.10.3.3. Toplam Talep Distorsiyonu (TTD).....	18
2.3.10.3.4. Harmonik Faktörü (HF).....	18
2.3.10.3.5. Tepe (Crest) Faktörü.....	19
2.3.10.3.6. Şekil Faktörü (Kf).....	19
2.3.10.3.7. Transformatör K Faktörü.....	19
2.3.10.3.8. Distorsiyon Güç Faktörü.....	20
2.3.10.4.Harmoniklerin Sınırlandırılması ve İlgili Standartlar.....	21
3.MATERYAL VE METOT.....	24
3.1. Manisa OSB OG ve YG Şebekesi Ölçüm Sistemi.....	24
3.2. Gerilim Ölçümü.....	26
3.3. Akım Ölçümü.....	31
3.4. Veri Kayıt Sistemi.....	33
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	35
4.1. OG Tarafında Veri Analizi.....	35
4.1.1. Akım Harmonikleri.....	38
4.1.2. Etkin Gerilim.....	44
4.1.3. Gerilim Dengesizliği.....	45
4.1.4. OG’de Fliker.....	46
4.1.4.1. Kısa Dönem Fliker.....	46
4.1.4.2. Uzun Dönem Fliker.....	46

4.1.5. Güç Faktörü.....	47
4.1.6. Toplam Harmonik Bozulma.....	47
4.1.7. Frekans.....	48
4.2. YG Tarafında Veri Analizi.....	48
4.2.1. Toplam Harmonik Bozulma Akım.....	49
4.2.2. Toplam Harmonik Bozulma Gerilim.....	49
4.2.3. Gerilim Dengesizliği.....	50
4.2.4. YG’de Fliker.....	51
4.2.4.1. Kısa Dönem Fliker.....	51
4.2.4.2. Uzun Dönem Fliker.....	51
4.2.5. Güç Faktörü.....	52
4.2.6. Frekans.....	52
5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME.....	53
KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	56



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC	Alternating Current (Alternatif Akım)
DC	Direct Current (Doğru Akım)
EMI	Elektromanyetik Parazit
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
EPRI	Electrical Power Research Institute
IEC	The International Electrotechnical Commission
IEEE	The Institute of Electrical and Electronics Engineers
IT	Information Technologies (Bilgi Teknolojileri)
OG	Orta Gerilim
RMS	Root Mean Square (Etkin Değer)
STATCOM	Static Compensator
SMPS	Switch Mode Power Supply (Anahtarlama Güç Kaynağı)
TEİAŞ	Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
THD	Total Harmonic Distortion (Toplam Harmonik Bozulma)
USB	Universal Serial Bus
UPS	Uninterruptable Power Supply (Kesintisiz Güç Kaynağı)
YG	Yüksek Gerilim

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Gerilim yükselmesi.....	7
Şekil 2.2. Gerilim çökmesi.....	7
Şekil 2.3. Kısa süreli gerilim kesintisi.....	9
Şekil 2.4. Kısa süreli geçici rejimler.....	10
Şekil 2.5. Gerilim dalgalanması.....	11
Şekil 2.6. Frekans değişimi.....	12
Şekil 2.7. Bir güç elektroniği elemanında çentik.....	13
Şekil 2.8. Ara harmonik.....	14
Şekil 2.9. Bir periyottaki temel bileşen ve harmonik bileşenler.....	14
Şekil 3.1. UMG 511 ekran görüntüsü.....	25
Şekil 3.2. Janitza UMG 511'in görünümü.....	25
Şekil 3.3. Janitza UMG 511'in gerilim kaynağına bağlantısı.....	26
Şekil 3.4. Üç fazlı 4 iletkenli bir sistemde güç kalitesi analizörünün bağlantısı (yıldız noktası doğrudan topraklı).....	26
Şekil 3.5. Üç fazlı 4 iletkenli bir sistemde güç kalitesi analizörünün bağlantısı (yıldız noktası empedans üzerinden topraklı).....	27
Şekil 3.6. Gerilim ölçümü için bağlantı örneği.....	27
Şekil 3.7. Asimetrik yüke sahip üç fazlı 4 iletkenli bir şebekede ölçüm.....	28
Şekil 3.8. Asimetrik yüke sahip üç fazlı 4 iletkenli bir şebekede gerilim dönüştürücü kullanarak ölçüm.....	28
Şekil 3.9. Simetrik yüke sahip üç fazlı 4 iletkenli bir şebekede akım dönüştürücü kullanarak ölçüm.....	28
Şekil 3.10. Simetrik yüke sahip iki fazlı 4 iletkenli bir şebekede ölçüm.....	29
Şekil 3.11. Asimetrik yüke sahip iki fazlı 4 iletkenli bir şebekede gerilim dönüştürücü kullanarak ölçüm.....	29
Şekil 3.12. Asimetrik yüke sahip iki fazlı 4 iletkenli bir şebekede ölçüm.....	29
Şekil 3.13. Asimetrik yüke sahip üç fazlı 3 iletkenli bir şebekede ölçüm.....	30
Şekil 3.14. Simetrik yüke sahip üç fazlı 3 iletkenli bir şebekede ölçüm.....	30
Şekil 3.15. Asimetrik yüke sahip üç fazlı 3 iletkenli bir şebekede gerilim dönüştürücü kullanarak ölçüm.....	30
Şekil 3.16. Akım dönüştürücüleri kullanarak akım ölçümü bağlantı örneği.....	31
Şekil 3.17. RS485 arayüzü için DSUB soket.....	31
Şekil 3.18. Janitza UMG511 bağlantı örneği.....	33
Şekil 3.19. GridVis® diyagramı.....	34
Şekil 4.1. İncelenen sistemin tek hat şeması.....	36
Şekil 4.2. YDM 13 tek hat şeması.....	37
Şekil 4.3. YDM 13 dağıtım merkezi ölçüm cihazı görünümü.....	37
Şekil 4.4. L1 Fazı 2. Harmonik Akımları.....	38
Şekil 4.5. L1 Fazı 4. Harmonik Akımları.....	38
Şekil 4.6. L1 Fazı 1. Harmonik Akımları.....	39
Şekil 4.7. L1 Fazı 3. Harmonik Akımları.....	40
Şekil 4.8. L1 Fazı 5. Harmonik Akımları.....	40
Şekil 4.9. L1 Fazı 7. Harmonik Akımları.....	41
Şekil 4.10. L1 Fazı 9. Harmonik Akımları.....	41
Şekil 4.11. L1 Fazı 11. Harmonik Akımları.....	42
Şekil 4.12. L1 Fazı 13. Harmonik Akımları.....	42
Şekil 4.13. L1 Fazı 15. Harmonik Akımları.....	43
Şekil 4.14. L1 Fazı 17. Harmonik Akımları.....	43

Şekil 4.15. L1 Fazı 19. Harmonik Akımları.....	44
Şekil 4.16. L2-L3 Fazlar arası Etkin Gerilim.....	45
Şekil 4.17. 3 Faz Dengesizlik Gerilimleri.....	45
Şekil 4.18. L1 Fazı Kısa Dönem Fliker.....	46
Şekil 4.19. L1 Fazı Uzun Dönem Fliker.....	46
Şekil 4.20. L1 Fazı Güç Faktörü.....	47
Şekil 4.21. L1 Fazı Gerilim için Toplam Harmonik Bozulma.....	47
Şekil 4.22. L1 Fazı Frekansı.....	48
Şekil 4.23. Trafo D, YG’de 3 Faz Toplam Harmonik Bozulma Akım.....	49
Şekil 4.24. Trafo D, YG’de 3 Faz Toplam Harmonik Bozulma Gerilim.....	50
Şekil 4.25. Manisa OSB Trafo D Gerilim Dengesizliği.....	50
Şekil 4.26. Manisa OSB Trafo D Üç Faz Kısa Dönem Fliker.....	51
Şekil 4.27. Manisa OSB Trafo D Üç Faz Uzun Dönem Fliker.....	51
Şekil 4.28. Manisa OSB Trafo D Üç Faza Ait Güç Faktörü.....	52
Şekil 4.29. Manisa OSB Trafo D Frekans.....	52



TABLO DİZİNİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Güç kalitesi problemlerinin kaynakları ve sıklıkları	5
Tablo 2.2. Güç kalitesi, nicelik ve etkileri.....	6
Tablo 2.3. Fliker şiddeti için sınır değerler	11
Tablo 2.4. Sinyal bozulma tipleri.....	12
Tablo 2.5 Konutlarla ilgili alçak gerilim şebekelerinde IEC 61000-2-2 gerilim harmonik distorsiyon limitleri.....	21
Tablo 2.6. Endüstriyel santraller için IEC 61000-2-4 gerilim harmonik distorsiyon limitleri (2. sınıf elemanlar).....	22
Tablo 2.7. Endüstriyel santraller için IEC 61000-2-4 gerilim harmonik distorsiyon limitleri (3. sınıf elemanlar).....	22
Tablo 2.8. Konutlarla ilgili alçak ve orta gerilim şebekeleri için EN 50160 harmonik distorsiyon limitleri.....	23
Tablo 2.9. IEEE'nin Gerilim İçin Harmonik Distorsiyon Sınırları	23
Tablo 2.10. IEEE'nin Genel Dağıtım Sistemlerine Ait Akım İçin Harmonik Distorsiyon Sınırları.....	24
Tablo 3.1. Janitza UMG511 Fonksiyon Parametreleri.....	32

TEŞEKKÜR

Bu tezin yürütülmesi süresince bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren danışmanım Prof.Dr. Sezai TAŞKIN'a, bu tezde kullanılan verilerin sağlanmasındaki katkılarından dolayı Manisa Organize Sanayi Bölgesi Müdürlüğü Elektrik Mühendisi Recep KÖK'e, beni daima destekleyen eşime ve aileme teşekkür ederim.

Mehmet TETİK
Manisa, 2019



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OG ve YG Kademelerinde Güç Kalitesi Parametrelerinin Analizi: Manisa OSB Örneği

Mehmet TETİK

**Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Sezai TAŞKIN

Kaliteli bir elektrik enerjisi temini için enerjinin kesintisiz, gerilim ve frekansın sabit, güç faktörünün 1'e yakın, faz gerilimlerinin dengeli olması, gerilim ve akımdaki harmonik seviyelerinin ise IEEE 519 standardında tanımlanan sınırlar içinde kalması gibi bir takım ölçütlerin göz önüne alınması gerekir. Doğrusal olmayan yükler, güç sistemlerine temel frekansın dışında diğer frekansları barındıran harmonik akım ve gerilimleri enjekte ederek kalitesiz enerjinin varlığına sebep olurlar.

Güç elektroniği elemanı içeren cihaz ve sistemlerin gün geçtikçe çoğalması sonucu güç sistemlerinde akım ve gerilim karakteristiği doğrusal olmayan yüklerde de artış görülmektedir. Güç kalitesi parametrelerinden olan harmonikler elektrik enerji sistemlerinde ek enerji kayıplarına, ısınmalara, yalıtım hatalarına ve bazı cihazlarda ise ömür kısalmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, güç kalitesi tanımında yer alan parametrelerin standartta belirtilen sınırlar içinde tutulması önem arz etmektedir.

Bu tez çalışmasında, Manisa OSB Müdürlüğü bünyesinde yer alan enerji izleme biriminin sorumluluk sahasında yer alan farklı yük karakteristiğine sahip fabrikalardan düzenli olarak topladığı elektrikselsel veriler kullanılarak güç kalitesi parametrelerine dayalı bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, veri toplama için Janitza UMG 511 güç kalitesi analizörü kullanılmıştır. 2017 yılına ait OG ve YG tarafından toplanan verilerin analizi yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Güç Sistemleri, Harmonik Analizi, Orta ve Yüksek Gerilim Kademelerinde Güç Kalitesi, Manisa OSB.

2019, 61 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

Analysis of Power Quality Parameters in MV and HV Distribution Grids: The case of the Manisa Industrial Park

Mehmet TETİK

**Manisa Celal Bayar University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Sezai TASKIN

So as to supply electrical energy with defined quality parameters, it is necessary to consider a number of criteria that are uninterrupted energy, constant voltage and frequency, balanced phase voltages, and harmonic levels of the voltage and current within the limits defined in the IEEE 519 standard.

Nonlinear loads which are especially including power electronic devices cause poor quality energy due to harmonic currents and voltages. Harmonics cause additional energy losses, heating, insulation defects and shortening of life in electrical equipments. For this reason, it is important to keep the parameters in the definition of power quality limits specified in the related standards.

In this study, an analysis based on the power quality parameters are performed by using the electrical data which are collected from the factories having different load characteristics in Manisa Industrial Park. Janitza UMG 511 power quality analyzer is used for the data acquisition. The analyzed data are collected over the MV and HV distribution grids. One year period of 2017 power data is investigated.

Keywords: Power Systems, Harmonic Analysis, Power Quality in Medium and High Voltage Levels, Manisa Industrial Park.

2019, 61 pages

1.GİRİŞ

Elektrik enerjisi talebi her geçen gün artmaktadır. Bununla birlikte enerji kalitesi kavramı daha da önem kazanmıştır. Kaliteli elektrik enerjisi kavramı; enerjinin sürekliliği, gerilim ve frekansın sabitliği, güç faktörünün 1'e yakınlığı, faz gerilimlerinin dengeli olması ve gerilimdeki harmonik değerlerinin ilgili standartlarda belirtilen sınırlar içinde kalması gibi birtakım ölçütlerin göz önüne alınmasını gerektirmektedir [1].

Elektrik enerji sisteminde akım, gerilim gibi büyüklükler temel frekanslı sinüsoidal dalga formunda olmalıdır. Bu dalga formu için sistemin kaynağının sinüs formunda olması ve doğrusal yüklerle yüklenmesi gereklidir. Fakat güç sistemine bağlanan ve sayıları giderek artan güç elektroniği elemanları, dönüştürücüler, ark fırınları, statik kompanzatörler gibi doğrusal olmayan yükler, sistemdeki akım ve gerilim büyüklüklerinin sinüs formundan uzaklaşmasına, yani harmonik bozulmaya sebep olmaktadır [1]. Elektrik sistemlerinde güçleri düşük çok sayıda doğrusal olmayan yüklerin meydana getirdiği etki; distorsiyon değerlerinin, harmonik gerilimlerin ve ek kayıpların yüksek değerlere ulaşmasına sebep olur.

Gerilim ve/veya akım, sinüs dalga formundan uzaklaşınca, güç sisteminde normal olmayan çalışma koşulları oluşur. Senkronizasyon için gerilim dalga formunu kullanan farklı elektronik cihazların devreleri, gerilim harmonikleri nedeniyle arızalanabilir, asenkron ve senkron motorlarda ve generatörlerde ek ısınmalar olabilir. Aynı zamanda bu gerilim harmonikleri; kablolar, sargılar ve kapasitörlerin yalıtımının zayıflamasına neden olabilir. Motor sargılarındaki akım harmonikleri, elektromanyetik gürültü oluşturabilir [2]. Transformatörlerden ve kablolardan geçen akım harmonikleri, temel bileşenin oluşturduğu ısınmadan daha fazla ısınma meydana getirebilir. Şalterlerden ve devre kesicilerden geçen akım harmonikleri, ısınma kayıplarını artırabilir.

Bu tez çalışmasında, Manisa Organize Sanayi Bölgesi (OSB) 1. Kısımda yer alan tüketicilere güç tedarik eden dağıtım sistemine ait güç kalitesi parametrelerinin analizi gerçekleştirilmiştir. Bu analiz ile Manisa OSB'de yer alan tüketicilerin yük karakteristiğine bağlı olarak oluşan güç kalitesi parametrelerine ilişkin tüm detaylar

incelenmiş ve hem orta gerilim (OG) hem de yüksek gerilim (YG) kademelerinden elde edilen veriler değerlendirilmiştir. Bu çalışma ile dağıtım sistemlerinde esas yük karakteristiğini oluşturan OSB'lerdeki farklı yük karakteristiklerinin aynı anda olduğu bir sistemin güç kalitesi karakteristiği analiz edilmiştir.

1.1. Literatür Taraması

Konuyla ilgili literatür taramasında, aşağıda özetlenen bilgiler elde edilmiştir.

Teke vd. [3] tarafından yapılan araştırmada, Türkiye'nin güney sanayi bölgelerindeki güç kalitesi problemlerinin en çok gerilim düşmesi ve yükselmesi ile harmonikler olduğu anlatılmış, geleneksel çözümler ve güç elektroniği tabanlı yeni çözümler karşılaştırılarak, geleneksel çözümlerin yeterli olmadığı durumlarda güç elektroniği tabanlı cihazların kullanılabileceği ve güç kalitesi problemlerini azaltmak için öncelikle güç kalitesi analizörü kullanılarak ölçümler yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Eroğlu,H. [4] tarafından yapılan çalışmada, Konya 2. ve 3. Organize Sanayi Bölgesi'nde 8 manevra merkezinde bulunan, farklı alanlarda üretim yapan fabrikalarda harmonik ölçümleri yapılmış, elektrik kullanıcılarının birbirlerine etkileri incelenmiş, özellikle döküm fabrikalarında toplam harmonik bozulma (THD) akım değerlerinin standartların üzerinde olduğu görülmüştür. Bu tür yüksek distorsiyonlu fabrikaların diğer fabrikaları etkilememesi için kurulum aşamasında ayrı transformatörlerden beslenmesi, bunun mümkün olmaması durumunda ise harmonik ölçümlerin yapıp gerekli filtrelerin takılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Ayrıca fabrikalardan çekilen harmonikli akımların manevra merkezlerinde ve ana besleme trafosunda oluşturdukları harmonikli gerilim düşümleri incelenmiştir. Fabrikalardan alınan veriler Matlab&Simulink programının Simpowersystems Toolbox'ı kullanılarak sistemin elektriksel modeli oluşturulmuş, simülasyondan elde edilen değerlerin dağıtım şebekesinden alınan değerlere yakın olduğu sonucuna varılmıştır.

Akyel,A. [5] tarafından yapılan çalışmada, güç kalitesi problemlerinden harmonikler ele alınmış; harmonik üreten kaynaklar, harmoniklerin zararlı etkileri,

paralel ve seri rezonanslar, aktif ve pasif filtreler ile harmoniklerin giderilmesi, harmonik sınırlandırmalar ve standartları detaylı olarak yer verilmiş, Matlab&Simulink programı kullanılarak harmonik yükler, harmonik filtreler ve kompanzasyon tesisi modellenmiş, sonuçlar teorik bilgilerle karşılaştırılmış ve aktif filtelerin pasif filtrelerden daha maliyetli olmasına rağmen ilave yüklerin oluşturduğu harmonikleri gidermede daha etkin olduğu gözlemlenmiştir.

Öztürk, S.D. [6] tarafından yapılan çalışmada, güç kalitesi ile ilgili genel bilgiler anlatılmış, özellikle güç tanımlarına detaylı yer verilmiş, harmonik konusu ele alınmış, güç kalitesi ölçümlerinde kullanılan etkin değer hesaplama yöntemi ile Adaline yapay zeka algoritması karşılaştırılmış, LabVIEW uygulamasından yararlanılarak geliştirilen analizör ile güç kalitesi ölçümleri yapılmış ve sonuçları tartışılmıştır.

Yılmaz, M. [7] tarafından yapılan çalışmada, harmonikler üzerinde durulmuş, harmonik kaynakları ve harmoniklerin elektrik sistemindeki etkileri açıklanmış, harmoniklerin sınırlandırmalarına değinilerek, harmoniklerin yok edilmesi için kullanılan aktif, pasif ve hibrit filtreler üzerinde durularak birbirlerine göre üstünlük ve eksiklikleri karşılaştırılmış, SKM Power Tools programı kullanılarak harmonikleri elimine etmek için bir analiz yapılmış ve sonucu değerlendirilmiştir.

2. GÜÇ KALİTESİ VE PARAMETRELERİ

Elektrik enerjisi kullanımının giderek artması, bazı istenmeyen problemleri de beraberinde getirmiştir. Tüketicinin kaliteli enerji talebi “güç kalitesi” kavramıyla çözümlenmiş ve bu enerji, güç kalitesi parametrelerinin standartlardaki seviyelerine getirilmesiyle sağlanabilmektedir.

2.1. Güç Kalitesi Problemlerinin Sebepleri

Elektrik şebekesini olumsuz etkileyen, cihazların arızalanmasına veya çabuk bozulmasına yol açan güç kalitesi problemlerinin bazı sebepleri vardır. Güç kalitesi problemlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [8,9].

- Gerilim yükselmeleri ve dalgalanmaları
- Elektriksel gürültü
- Harmonikler
- Gerilim dalgalanmaları
- Güç ve elektrik kesintileri
- Acil durum güç kaynağı aktarımı
- Dağıtım sistemi ve güç kalitesi sorunları
- Yüksek enerji maliyeti/güç faktörü düzeltmesi
- Gerilim çökmesi
- Frekans sapması

Güç elektroniği elemanları, hem güç kalitesini bozarlar hem de güç kalitesinin bozulmasından etkilenirler. Motor hız kontrol cihazlarının devreleri, güç kalitesi problemlerinden epeyce zarar görmekle beraber gerilim çökmesi, bozulma oranlarının yükselmesine ve endüstriyel sistemlerde mekanik senkronlama sorunlarına sebep olabilirler. Bunun önüne geçmek için, cihazların tasarım ve satış aşamaları sırasında içerisine çeşitli filtrelerin yerleştirilmesi gerekmektedir [10].

Yüksek güçteki yüklerin anahtarlanması, elektrik şebekesinde geçici rejimlerin meydana gelmesine neden olmaktadır. Bu geçici rejimler, milisaniyeler derecesinde olup, duyarlı elektronik cihazları olumsuz etkilemektedir. Büyük güçlü motorların yol alma sırasında yüksek değerlerde akım çekmesi, şebekede gerilim çökmelerine neden

olmaktadır. Günümüzde bu durumun önüne geçmek için motorlara motor sürücü devreleri ile yol verilmekte ve başlangıçta çekilen akım makul seviyelerde kalmaktadır [11].

Sayıları giderek artan rüzgar ve güneş enerjisi üretim santrali gibi mikro şebekeler güç kalitesi problemlerinden harmoniklere neden olabilmektedir. Diğer taraftan yüksek gerilim havai hatlarına düşen yıldırımlar ani gerilim yükselmelerine, şimşek çakması ise düştüğü yerin yakınlarındaki elektrik şebekelerinde yüksek gerilim geçici rejimleri oluşturabilmektedir [12].

Tablo 2.1’de güç kalitesi problemlerinin kaynakları ve sıklıkları özet olarak verilmiştir [10].

Tablo 2.1. Güç kalitesi problemlerinin kaynakları ve sıklıkları

BOZULMALAR	Gerilim Çökmeleri	Aşırı Gerilimler	Harmonikler	Dengesizlikler	Gerilim Dalgalandırmaları
Karakteristik Dalgա Şekilleri					
Bozulma Kaynağı					
■Güç Sistemi					
□İzolasyon hataları, nötr iletkeninin kopması					
□Anahtarlama, ferorezonans					
□Yıldırım olayları					
■Donanım, teçhizat					
□Asenkron motor					
□Senkron motor					
□Kaynak makinesi					
□Ark fırını					
□Konverter					
□Bilgi işlem yükleri					
□Aydınlatma sistemi					
□İnvertör					
□Kondansatör grupları					
: Ara sıra karşılaşılan olaylar : Sıklıkla karşılaşılan olaylar					

2.2. Güç Kalitesi Problemlerinin Etkileri

Güç, enerji akışıdır. “Güç kalitesi” terimi, bir elektrik yükünü çalıştıran elektrik gücünü ve yükün düzgün çalışabilme özelliğini tanımlamak için kullanılır. Bir elektrik tesisinde elektronik cihazların performansı doğrudan güç kalitesi seviyesine bağlıdır. Endüstride elektrik enerjisi; elektrik üretimi, elektrik enerjisi iletimi ve sonunda tüketicinin elektrik sayacına kadar elektrik dağıtımı içerir. Elektrik daha sonra yüke ulaşana kadar tüketicinin kablolama sisteminden geçer. Sistemin elektrik enerjisini üretim noktasından tüketim noktasına taşıma zorluğu; hava durumu, üretim, talep ve diğer faktörlerdeki değişikliklerle birlikte tedarik kalitesinin bozulmasına sebep olmaktadır [13].

Bilgisayar sistemleri ve diğer yüksek teknoloji ekipmanlarında gerilim dalgalanmaları sebebiyle; ışıkların titremesi, cihazların kapanması ve hafıza kaybı yaşanabilir [9].

Endüstride ani elektrik kesintileri, asenkron motorlarda tork kaybına veya motorun durmasına sebep olabilir. Elektrik şebekelerindeki kontaktör, sigortalar vb. cihazlar, şebeke geriliminin nominal değerinin %25’ini aşan ani düşüslere, bilgisayarlar ise %10’ unu aşan ani düşüslere karşı duyarlıdırlar [14].

Güç kalitesindeki bozulmaların etkileri Tablo 2.2’de verilmiştir [11].

Tablo 2.2. Güç kalitesi, nicelik ve etkileri

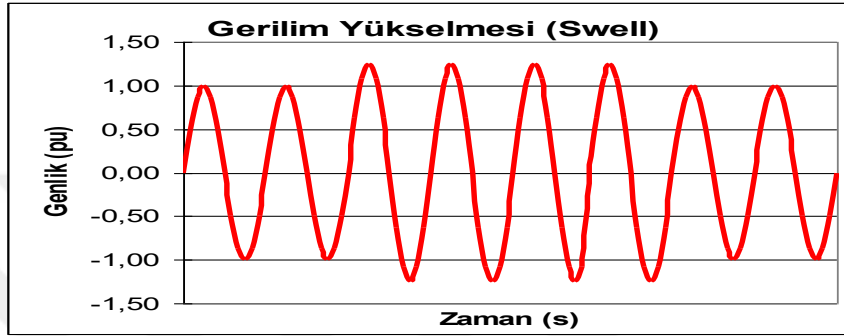
Özellik	Etkiler
Gerilim çökmesi	Makine ve işlemlerin bozulması, ürün kalitesi ve müşterilerin buna benzer nedenlerden kaynaklanan tamirat masrafları.
Geçici rejimler	Cihaz hataları, donanımların yeniden yüklenmesi zorunluluğu, yazılım problemleri, ürün kalitesindeki azalma.
Harmonikler	Transformatör ve nötr iletkenlerindeki ısınmalar nedeniyle kullanma ömürlerinin azalması, seslerdeki bozukluk, video görüntülerindeki titreşimler, yazılım performanslarının düşmesi, güç kaynağı arızaları.
Kırpışma	Görsel bozulmalar

2.3. Güç Kalitesi Parametreleri

Güç kalitesini etkileyen parametreleri aşağıdaki şekilde özetleyebiliriz.

2.3.1. Gerilim Yükselmesi (Voltage Swell)

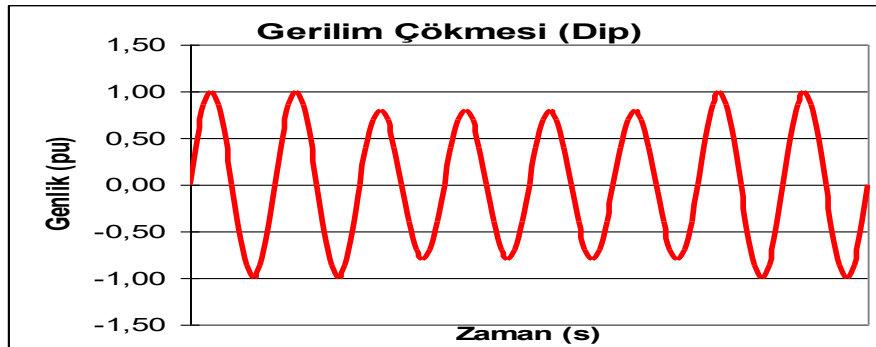
Sistem frekansındaki gerilimin etkin değerinin, yarım periyodluk süre ile 1 dakikadan daha az sürede 1,1 per unit (p.u.) ile 1,8 p.u. arası değerlerde olmasıdır. Bu durum Şekil 2.1’de sunulmuştur [11].



Şekil 2.1. Gerilim yükselmesi

2.3.2. Gerilim Çökmesi (Voltage Sag)

Sistem frekansındaki gerilimin etkin değerinin, yarım periyodluk süre ile 1 dakikadan daha az sürede 0,1 p.u. ile 0,9 p.u. arası değerlerde olmasıdır. Bu durum, Şekil 2.2’de verildiği gibi genellikle yüksek güçteki motorların ve yüklerin devreye girmesi durumlarında görülür [11].



Şekil 2.2. Gerilim çökmesi

Çökmelerin ortak sebepleri arasında büyük yüklerin başlatılması (örneğin

büyük bir klima ünitesinin ilk başlatılma durumu) ve yardımcı ekipman tarafından yapılan uzaktan arıza giderme yer almaktadır. Benzer biçimde, büyük güçteki bir motorun bir endüstriyel tesiste çalıştırılması, önemli miktarda gerilim düşmesine (çökme) sebep olabilir. Bir motor, başlangıçta normal çalışma akımının 3-5 katı akım çeker. Bunun gibi büyük ve ani bir elektrik yükü oluşturmak, üzerinde bulunduğu devrenin geri kalan kısmında önemli bir gerilim düşmesine neden olacaktır [15].

2.3.3. Gerilim Dengesizliği

Gerilim dengesizliği bir dalga şekli bozulma türü olmamakla beraber, güç kalitesi problemlerini değerlendirirken gerilim dengesizliklerinin farkında olmak gerekir.

Basitçe ifade etmek gerekirse, gerilimlerin eşit olmaması gerilim dengesizliğini meydana getirir [15]. Bu sorunlara harici elektrik şebekesi talebi neden olabilirken, ortak gerilim dengesizlik kaynakları ve tesis yükleri de gerilim dengesizliğine sebep olabilmektedir.

Çoğunlukla bu dengesizlikler, katı hal motorlarında ısınma olarak kendini gösterir. Dengesizliklerin büyük değerlerde olması motor aksamlarında aşırı ısınmaya ve motor kontrol cihazlarının belirli aralıklarla arızalanmasına sebep olabilir [15].

Gerilim dengesizliğini üç besleme geriliminin en yüksek ve en düşük gerilimleri arasındaki farkı alarak değerlendirmek daha kolaydır. Bu değer, en düşük besleme geriliminin %4'ünü geçmemelidir [15]. Aşağıda, sistemdeki gerilim dengesizliğinin basit bir değerlendirmesini yapmak için bir örnek verilmiştir.

Örnek:

İlk besleme gerilimi: 220 V

İkinci besleme gerilimi: 225 V

Üçüncü besleme gerilimi: 230 V

En düşük gerilim: 220 V

$220 \text{ V'nin } \% 4'ü = 8,8 \text{ V}$

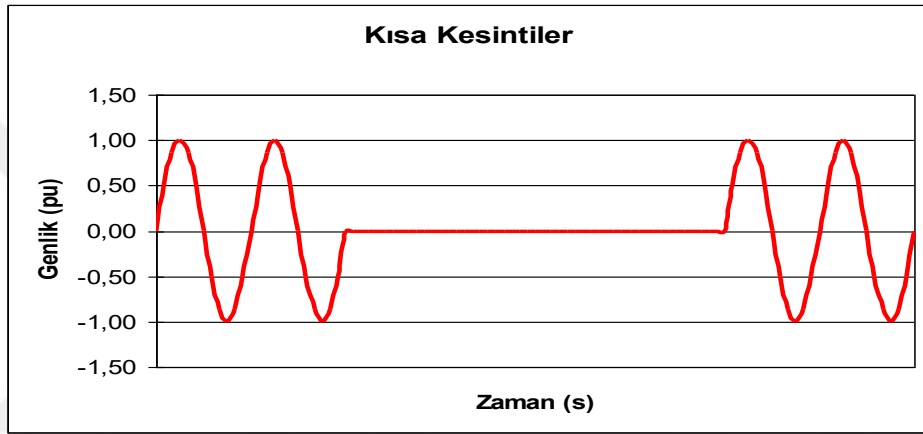
En yüksek ve en düşük gerilim arasındaki fark: 10 V

10 V > 8,8 V olduğundan dengesizlik durumu söz konusudur.

Gerilim dengesizliklerinin düzeltilmesi, dengesizlik iç yüklerden kaynaklanmıyorsa yüklerin yeniden yapılandırılmasını veya gerilimlerde faydalı değişikliklerin yapılmasını içerir [15].

2.3.4. Kısa Kesintiler (Short interruptions)

Kaynak geriliminin veya yük akımının seviyesinin, 1 dakikadan daha az sürede 0,1 p.u.'dan daha az değere düşmesidir. Şekil 2.3'te bu durum gösterilmiştir [11].



Şekil 2.3. Kısa süreli gerilim kesintisi

Kesintilerin nedenleri değişkenlik gösterebilir. Ancak genellikle yıldırım düşmesi, hayvanlar, ağaçlar, araç kazaları, zor hava koşulları elektrik kesintilerine neden olabilir.

Otomatik devre yeniden kapatıcıları gibi yardımcı koruma cihazları, elektrik şebekelerinde kesintiye yol açabilen en yaygın nedenlerden biridir. Yeniden kapayıcılar, arızanın yapısına bağlı olarak, çoğu kesintinin zamanını belirler. Yeniden kapayıcı cihazlar, kamu hizmeti şirketleri tarafından kamu hizmeti altyapısında kısa devreden gelen akımı algılamak ve bu gerçekleştiğinde tedarik gücünü kapatmak için kullanılan cihazlardır. Genellikle bir ağaç dalı veya faz ile toprak arasında sıkışmış küçük bir hayvan kısa devreye sebep olabilir. Yeniden kapama cihazı, ayarlanan bir sürenin ardından sistemi tekrar enerjilendirir.

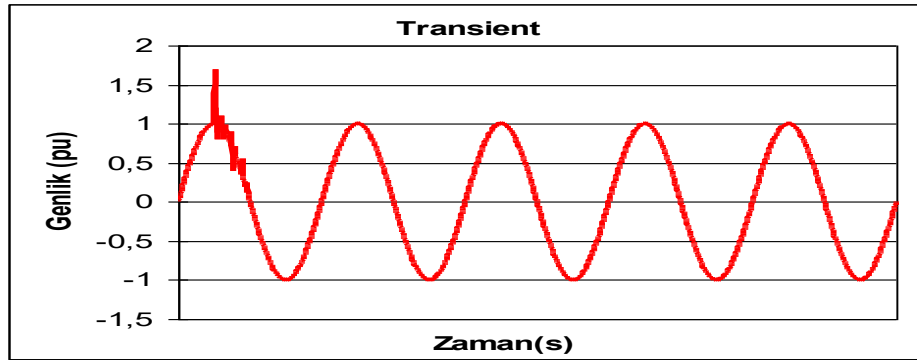
2.3.5. Geçici Rejim (Transient)

Potansiyel olarak en zarar verici güç kesintisi türü olan geçici olaylar iki alt kategoriye ayrılır [15].

1. İmpulsif
2. Osilasyonlu

Etkileyici geçici olaylar, gerilim ve/veya akım seviyelerini pozitif veya negatif yönde yükselten ani yüksek tepe olaylarıdır. Bu tür olaylar, oluştukları hıza göre hızlı, orta ve yavaş olarak sınıflandırılırlar. İmpulsif geçici rejimler çok hızlı geçici rejimlerdir.

Bir osilatör geçici rejimi, bir sinyalin geriliminin, akımının veya her ikisinin sabit durum koşulunda, doğal sistem frekansında salınan hem pozitif hem de negatif sinyal sınırlarında ani bir değişikliktir. Basit bir ifadeyle, geçici güç sinyalinin dönüşümlü olarak şişmesine ve ardından çok hızlı bir şekilde büzülmesine neden olur. Salınımlı geçici akımlar genellikle bir döngü içinde sıfıra düşer (bozulan bir salınım). Bu geçici olaylar, bir motor veya kapasitör bankası gibi endüktif veya kapasitif bir yükü kapattığınızda meydana gelir. Yük, değişime direnç gösterdiğinden osilasyonlu geçici bir sonuç ortaya çıkar. Kısa süreli geçici rejimlere ilişkin bir sinyal gösterimi Şekil 2.4'te verilmiştir.

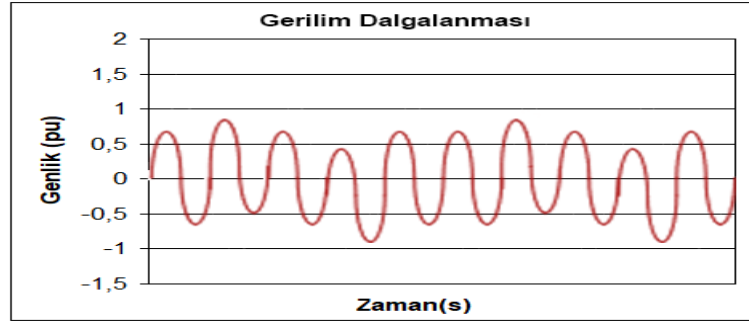


Şekil 2.4. Kısa süreli geçici rejimler

2.3.6. Kırpışma (Flicker)

Gerilim dalgalanmaları, dalga şekli anomalilerinin geri kalanından temelde farklı olduğu için, kendi kategorilerine yerleştirilirler. Bir gerilim dalgalanması (Şekil 2.5), düşük frekansta nominal değerin %95 ile %105'i, genellikle 25 Hz'nin altında

küçük boyutlarda, yani gerilim dalga biçiminin veya bir dizi rastgele gerilim değişiminin sistematik bir varyasyonudur [15].



Şekil 2.5. Gerilim dalgalanması

Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (IEC) 61000-4-15 standardı gerilim dalgalanmalarının ölçüm şeklini açıklamaktadır. Bu standarda göre iki çeşit fliker bulunmaktadır. Birincisi temel görünen ışık kırışmasının insan gözüne yansımaları olarak açıklanan kısa süreli fliker dir ve P_{st} olarak adlandırılır. P_{st} değeri 1,0 olarak kabul edilmiştir. Uzun süreli fliker değerlerinin ortalaması ise P_{lt} olarak adlandırılır. Bu değer standartlarda, uyulması gereken değer olarak kabul edilir [16].

Kısa süreli fliker (P_{st}) 10 dakikalık verilere göre, uzun süreli fliker ise 2 saatlik P_{st} verilerine göre hesaplanır. Fliker şiddeti için sınır değerler Tablo 2.3’de sunulmuştur. P_{lt} , iki saatlik zaman aralığında ölçülen ard arda alınan 12 P_{st} değerlerinden Denklem 2.1’ deki gibi hesaplanır [17].

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} P_{stj}^3} \quad (2.1)$$

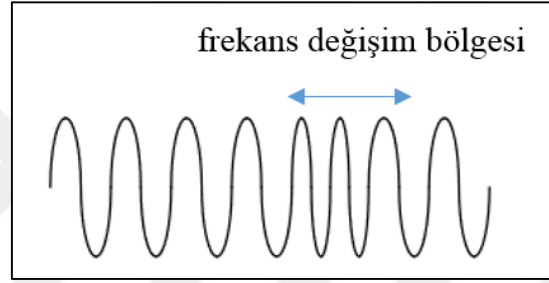
Tablo 2.3. Fliker şiddeti için sınır değerler

Fliker Şiddeti Endeksi	Sınır Değerler
P_{st}	≤ 1.0
P_{lt}	≤ 0.8

Önemli akım değişimleri gösteren herhangi bir yük, gerilim dalgalanmalarına sebep olabilir. İletim ve dağıtım sistemindeki gerilim dalgalanmalarının en yaygın nedenlerinden bir tanesi ark fırınlarıdır. Gerilim dalgalanmasının bir belirtisi akkor lambaların ışıklarının titremesidir. Yapılabiliyorsa rahatsız edici yükün kaldırılması, hassas ekipmanın yerinin değiştirilmesi ya da güç hattı şartlandırması ya da UPS cihazlarının kurulması bu sorunu çözme yöntemleridir [15].

2.3.7. Frekans Değişimleri

Frekans değişimi, kararlı elektrik dağıtım sistemlerinde, özellikle enterkonnekte sistemlerde nadir görülür. Frekans değişimi Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Frekans değişimi

Frekans değişimleri, motorun daha hızlı veya daha yavaş çalışmasına neden olabilir. Bu durum motorun verimsiz çalışmasına ve/veya ek akım çekmesiyle ilave sıcaklık ve arızalara neden olur. Bu sorunu düzeltmek için, frekans değişikliğine neden olan güç kaynakları ve yükler incelenmelidir.

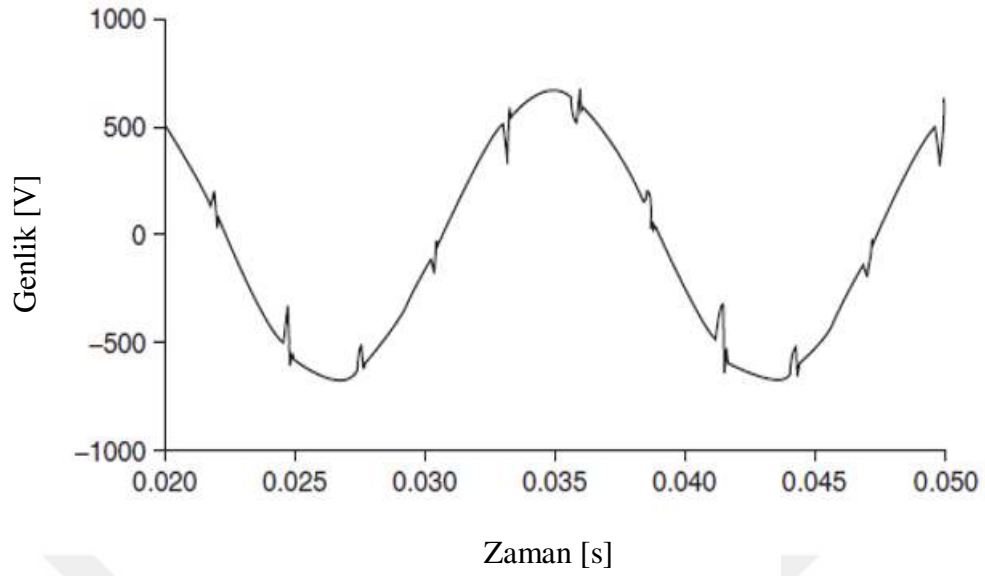
Tablo 2.4'de frekans, gerilim, harmonik ve diğer bilgi sinyallerindeki bozulma tipleri ve değerleri verilmiştir [18].

Tablo 2.4. Sinyal bozulma tipleri

Bozulma Tipi	Bozulma Alt tipi		Zaman	Genişlik	
				Min. Değer	Max. Değer
Frekans	Zayıf sapma		10 s	49,5 Hz	50,5 Hz
	Keskin Sapma			47 Hz	52 Hz
Gerilim	Nominal Gerilim		10 dak.	0,85 Un	1,1 Un
	Kırpışma		-	-	%7
	Çökme	Kısa	10 ms-1 s	0,1 U	0,9 U
		Uzun	1 s - 1 dak.		
		Uzun süreli bozulma	> 1 dak.		
	Düşük Gerilim	Kısa	< 3 dak.	0,99 U	
		Uzun	> 3 dak.		
	Yükselme	Geçici kısa	10 ms-1 s	1,1 U	1,5 KV
		Geçici Uzun	1 s- 1 dak.		
		Geçici uzun zaman	> 1 dak.		6 KV
		Aşırı Gerilim	< 10 ms		
Harmonik ve diğer bilgi sinyalleri	Harmonikler		-	THD > %8	
	Bilgi Sinyalleri		-	Diğer bozucu etkileri içerir	

2.3.8. Çentik

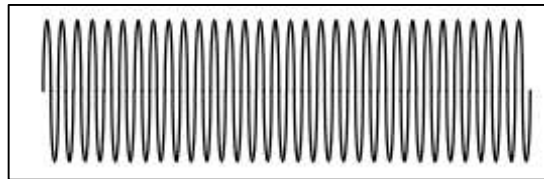
Çentik, normal çalışma koşullarında değişken hızlı sürücüler, ışık karartıcıları ve ark kaynakları gibi elektronik cihazların neden olduğu periyodik bir gerilim bozukluğudur. Bu problem geçici bir rejim problemi olarak tanımlanabilir, ancak çentikler her $\frac{1}{2}$ döngüde periyodik olduğu için çentiklenme bir dalga şekli bozulma problemi olarak kabul edilir. Şekil 2.7’de bir gerilim sinyalindeki çentik oluşumları gösterilmiştir [19].



Şekil 2.7. Bir güç elektroniği elemanında çentik

2.3.9. Ara Harmonikler (Interharmonics)

Ara harmonikler, genellikle statik frekans dönüştürücüler, endüksiyon motorları ve ark aygıtları gibi elektriksel ekipman tarafından besleme gerilimine uygulanan bir sinyalin sonucu olan dalga şekli bozulma türüdür. Döngü konvertörleri (haddehane, çimento ve madencilik ekipmanlarında kullanılan büyük lineer motorları kontrol eden), en önemli interharmonik arz gücü problemlerinden bazılarını meydana getirir. Bu cihazlar, besleme gerilimini, besleme frekansından düşük veya daha yüksek bir frekanstaki AC gerilimine dönüştürür [15].



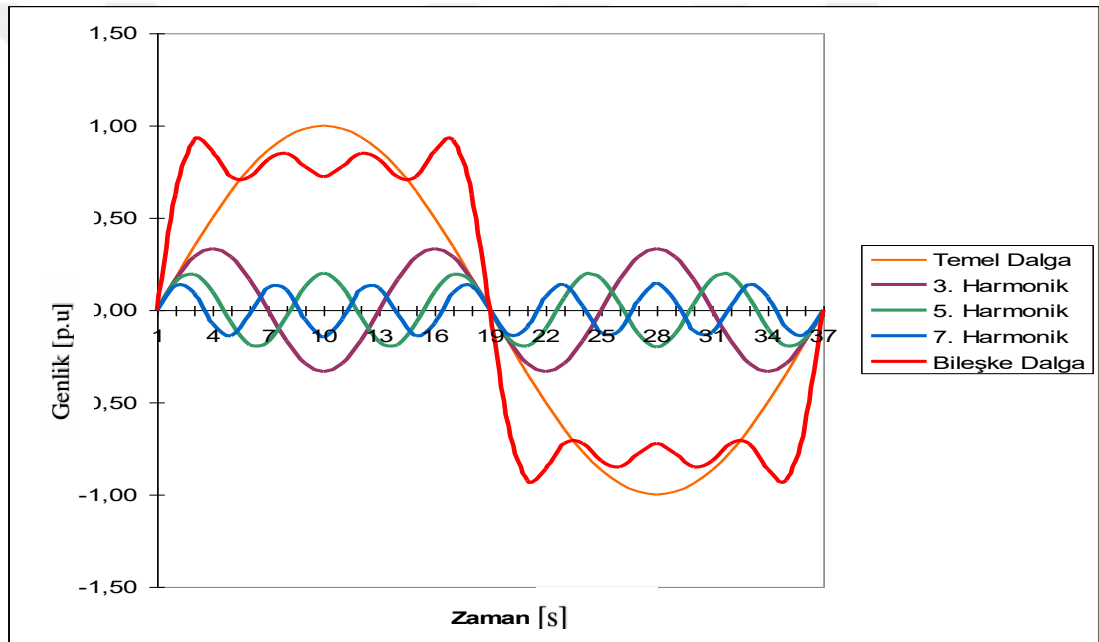
Şekil 2.8. Ara harmonik

Şekil 2.8’de gösterilen ara harmoniklerin en göze çarpan etkisi, ekranların ve akkor ışıkların görsel olarak titremesi ve olası ısı ve iletişim girişimlerine neden olmasıdır.

2.3.10. Harmonikler

Harmonik bozulma, temel sinüs dalgasının katları olan frekanslardaki bozulmadır. Örneğin, 250 Hz, 50 Hz'lik bir temel frekansın beşinci harmoniğidir.

Periyodik olmakla beraber sinüsoidal dalga ile frekans ve genliği farklı diğer sinüsoidal dalgaların toplamı, doğrusal olmayan dalgaları meydana getirmektedir. Temel dalga dışındaki sinüsoidal dalgalara “harmonik bileşen” adı verilir. Güç sistemindeki sinüsoidal dalganın simetrisinden dolayı 3., 5., 7., 11,.... gibi tek harmonik bileşenleri bulunur. Çift harmonikli bileşenler bulunmaz. Şekil 2.9’da bir periyodtaki temel bileşen ve harmonik bileşenler görülmektedir [20].



Şekil 2.9. Bir periyodtaki temel bileşen ve harmonik bileşenler

Harmonik problemlerin belirtileri arasında aşırı ısınmış transformatörler, nötr iletkenler ve diğer elektrik dağıtım ekipmanlarının yanı sıra, devre kesicilerin tetiklenmesi ve sıfır geçiş noktasında temiz bir sinüs dalgası tetikleyicisine bağlı zamanlama devrelerinde senkronizasyon kaybı bulunur [15].

2.3.10.1. Harmonik Üreten Elemanlar

Harmonik bileşenleri, elektrik güç sistemlerinde gerilim ve akımın dalga şeklinin sinüs formundan uzaklaşmasına sebep olan harmonik kaynaklarıdır. Harmonikleri meydana getiren elemanları aşağıdaki gibi belirtebiliriz [1].

- Kaynak makinaları,
- Bilgisayarlar,
- Ark fırınları,
- Transformatörler,
- Yüksek gerilim ile enerji iletim sistemleri,
- Yarı iletken elemanların kullanıldığı cihazlar,
- Generatörler,
- Motorlar,
- Senkron makinaların uyarılması için kullanılan dönüştürücüler,
- Gaz deşarj prensibi ile çalışan aydınlatma elemanları,
- Fotovoltaik sistemler,
- Elektronik balastlar,
- Kesintisiz güç kaynakları,
- Dönüştürücüler,
- Kontrol devreleri,
- Statik Var kompanzatörler.

Modern güç elektroniği cihazlarının temelini yarı iletken malzemeler oluşturmaktadır. Bunlar, enerji dönüşümüne yardım ederek, açık-kapalı anahtarların matrissel formundaki güç elektroniği dönüştürücülerinde kullanılır ve anahtarlama enerji dönüşümü yüksek bir verimlilik sağlarken bununla beraber anahtarların doğrusal olmayan özelliğe sahip olmalarından dolayı, yük ve besleme tarafında harmonik üretmeleri onların olumsuz yönlerindendir. Anahtarlama elemanlı güç cihazlarının ürettiği harmonikler, elektrik şebekesinde önemli güç kalitesi problemlerine yol açarlar. Farklı çalışma karakteristiklerine sahip olan güç anahtarları, farklı derece ve genlikli harmonik üretirler [21].

2.3.10.2. Harmoniklerin Oluşturduğu Etkiler

Güç elektroniği elemanları ile doğrusal olmayan yüklerin günümüzde

kullanımlarının giderek artmasıyla, elektrik güç sistemlerinde harmonik akımları da artmaktadır. Güç sistemine bağlı olan cihazlar üzerinde istenilmeyen etkiler oluşturan harmonik akımlar, aynı zamanda yüklerin dalga şekillerini de bozarlar [1]. Harmoniklerin teknik ve ekonomik yönden etkilerinin bilinmesiyle işletmelerde analizlerinin yapılması, işletmenin sürekliliği başta olmak üzere enerji kalitesi açısından da önem arz etmektedir. Akım ve gerilimin dalga şeklini sinüs formundan uzaklaştıran harmoniklerin elektrik güç sistemlerinde meydana getirdiği etkilerden bazıları aşağıda özetlenmiştir.

- Elektrik cihazlarının kısa ömürlü olması,
- Kesintisiz güç kaynaklarında verimin düşmesi,
- Sesli ve görüntülü iletişim araçlarının parazitli çalışması,
- Harmonikler nedeniyle kontrol sistemlerinin hatalı çalışması,
- Mikroişlemcilerin hatalı çalışması,
- Güç üretiminde, iletiminde ve dağıtımında düşük verim,
- Senkron ve asenkron motorlarda aşırı ısınmalar,
- Yalıtım malzemesinin zorlanması ve delinmesi,
- Harmonik frekanslarında şebekede rezonans olaylarının meydana gelerek aşırı gerilim veya akımların oluşması,
- Gerilim düşümünün artması,
- Elektrik güç sistemi elemanlarında ve yüklerde ilave kayıpların oluşması,
- Endüksiyon tipi sayaçların yanlış ölçüm yapması,
- Kompanzasyon tesislerindeki kondansatörlerin aşırı yüklenmeleri ve yalıtım zorlanması nedeniyle hasar görmeleri,
- Koruma sistemlerinin hatalı çalışmaları,
- Generatör ve şebeke geriliminin dalga şeklinin bozulması,
- Toprak kısa devre akımlarının daha büyük değerlere yükselmesi.

2.3.10.3. Harmoniklere Ait Tanım ve Kavramlar

Elektrik sistemlerinde güç kalitesinin daha iyi bir seviyede olması için doğrusal olmayan yüklerin sisteme yaptığı olumsuz etkilerinin en az seviyeye indirgenmesi, harmoniklerin analizinin yapılması ve harmoniklerin hangi seviyede olduğunun tespit edilmesi gerekmektedir. Enerjiye olan talebin gün geçtikçe artması nedeniyle doğrusal

olmayan yüklerin de buna bağlı olarak artması sonucu harmoniklerin meydana getirdiği sorunların giderilmesi için işletmelerin kurulmadan önce ilgili standartlar göz önüne alınarak harmonikler yönünden incelenmesi önem arz etmektedir. Bu bölümde, harmoniklerle ilgili standartlarda esas alınan çeşitli tanımlamalar ve kavramlara yer verilmiştir [1].

2.3.10.3.1. Sinüsoidal Olmayan Durumda Elektrik Büyüklükleri

Elektrik güç sisteminde harmonik bileşenleri bulunan, gerilim ve akımın ani değerleri Fourier serileri ile aşağıdaki gibi ifade edilebilir [1]:

$$v(t) = \sum_{n=1}^{\infty} v_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} V_n \sin(n\omega_1 t + \theta_n) \quad (2.2)$$

$$i(t) = \sum_{n=1}^{\infty} i_n(t) = \sum_{n=1}^{\infty} \sqrt{2} I_n \sin(n\omega_1 t + \delta_n) \quad (2.3)$$

Burada v_n ve i_n , n. harmonik gerilim ve akımın ani değerleri olup, DC terimler sadeleştirme amacıyla ihmal edilmiştir. V_n ve I_n sırasıyla, n. harmonik mertebesi için gerilim ve akımın efektif değerleridir. ω_1 ise temel frekansa (f_1) ait açısal frekanstır. θ_n ve δ_n ise sırasıyla n. harmonik için gerilim ve akıma ait faz açısıdır [1].

2.3.10.3.2. Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD)

Toplam harmonik bozulma (THD), harmonik bileşenlerin efektif değerlerinin, temel bileşen efektif değerine oranıdır ve çoğunlukla yüzde olarak ifade edilir. Bu değer, harmonikleri içeren periyodik dalga şeklinin, tam bir sinüs dalga şeklinden sapmasını tespit için kullanılır. Sadece temel frekanstan oluşan tam bir sinüs dalga şekli için THD sıfırdır. Toplam harmonik distorsiyonu gerilim ve akım için sırasıyla;

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (2.4)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (2.5)$$

ifadelerinden yararlanılarak bulunur [1].

2.3.10.3.3. Toplam Talep Distorsiyonu (TTD)

Bir yüke ait olan toplam talep distorsiyonu için toplam harmonik akım distorsiyonunu aşağıdaki gibi tanımlayabiliriz:

$$TTD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_L} \quad (2.6)$$

Burada I_L , yük tarafından besleme sisteminin ortak bağlantı noktasından çekilen, temel frekanslı maksimum akımdır. Yük tarafından çekilen on iki aylık maksimum akımların ortalaması olarak hesaplanır [1].

2.3.10.3.4. Harmonik Faktörü (HF)

Herhangi bir harmonik bileşenin temel bileşen içerisindeki seviyesini belirlemek için kullanılır.

Gerilim için,

$$HF_n = \frac{V_n}{V_1} \quad (2.7)$$

Akım için,

$$HF_n = \frac{I_n}{I_1} \quad (2.8)$$

şeklinde gösterilir.

Bu ifadelerde V_n ve I_n ; n. harmonik etkin değerlerini, V_1 ve I_1 ise temel bileşen etkin değerlerini gösterir [10].

2.3.10.3.5. Tepe (Crest) Faktörü

Bu faktör, sinüs formunda olmayan akım veya gerilimin tepe değeri ile temel bileşenin efektif değeri arasında tanımlanır. Harmonik bileşenlerin en basit bir biçimde ortaya konmasını sağlayan bu faktör;

$$Tepe\ faktörü = \frac{Tepe\ değer}{Temel\ Bileşenin\ Efektif\ Değeri} \quad (2.9)$$

eşitliği ile hesaplanır. Sinüsoidal bir dalga için bu değer, $\sqrt{2}$ 'dir [1].

2.3.10.3.6. Şekil Faktörü (K_f)

Sinüsoidal olmayan bir dalga için şekil faktörü,

$$K_f = Etkin\ Değer / Ortalama\ Değer \quad (2.10)$$

eşitliği ile ifade edilir.

2.3.10.3.7. Transformatör K Faktörü

Transformatör üzerinden akan yük akımını, transformatörlerin doğrusal olmayan yükleri beslemesi nedeniyle harmonik bileşenleri ihtiva eder. K-faktörü, standart transformatörlerin harmonik akımlardan dolayı anma akım ve gerilim değerlerindeki azalmaları tespit etmeye yarayan bir büyüklük olmakla beraber, kuru tip transformatörlerin sinüs şeklinde olmayan akımlar çeken yükleri besleyebilme kapasitesinin bir ölçütü olarak da kabul edilir.

K-faktörü, transformatör imalatçıları tarafından belirlenmiş, anma gerilimi veya anma gücü gibi bir anma büyüklüğü olup, anma gücü 500 kVA'nın altındaki transformatörler için tanımlanmıştır. Transformatör K-faktörü başka bir ifadeyle, harmonik akımlara sahip standart transformatörlerin yüklenme kapasitesindeki azalma miktarlarını hesaplamak için kullanılan bir kavramdır [1].

Doğrusal olmayan yükleri besleyen bir transformatör için K-Faktörü,

$$K = \sum_{n=1}^{\infty} \left(n \cdot \frac{I_n}{I_1} \right)^2 \quad (2.11)$$

olarak tanımlanır. Burada I efektif akımı, I_n n . harmonik bileşen akımını belirtmektedir [1].

2.3.10.3.8. Distorsiyon Güç Faktörü

Gerilim ve akım, harmonikler içerdiğinde efektif değerleri aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$V = V_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_V}{100}\right)^2}$$

$$I = I_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2} \quad (2.12)$$

Aynı biçimde toplam güç faktörü, gerilim ve akımın toplam harmonik distorsiyonu değerleriyle

$$pf_{toplam} = \frac{P}{V_1 I_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THD_V}{100}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{THD_I}{100}\right)^2}} \quad (2.13)$$

olarak ifade edilir [6]. Bu eşitlik aynı zamanda,

$$pf_{toplam} = \cos(\theta_1 - \delta_1) \cdot pf_{dist} \quad (2.14)$$

ile de verilir. Burada ilk terim ($\cos(\theta_1 - \delta_1)$), kayma güç faktörü ve ikinci terim (pf_{dist}), distorsiyon güç faktörü olarak bilinir. Kayma güç faktörü, 1'den büyük olamayacağından her zaman;

$$pf_{toplam} \leq pf_{dist} \quad (2.15)$$

olacaktır. Görüldüğü üzere, yüksek akım distorsiyonlu tek fazlı doğrusal olmayan yükler için toplam güç faktörü daha da düşmektedir. Buna benzer yükler rezonansa sebep olabileceğinden kondansatörler kullanılarak güç faktörü düzeltilir. Doğrusal

olmayan yükler tarafından üretilen harmonikleri yok etmek için aktif ve pasif filtreler kullanılarak da güç faktörü iyileştirilebilir.

2.3.10.4. Harmoniklerin Sınırlandırılması ve İlgili Standartlar

Günümüzde artan enerji talebiyle beraber güç elektroniği elemanlarının elektrik sisteminde giderek artması sonucu, harmonik bileşenlerin meydana getirdiği harmonik bozulmalarda artış gözlenmektedir. Bu bozulmalardan kaynaklanan istenmeyen durumların bertaraf edilmesi için harmonik sınırlamanın yapılması zorunluluğu doğmuştur.

Harmonik standartları, harmonikler için sınırlama getirmektedir. IEEE 519-1992, IEC 1000-3-2 standartları, şebeke bara gerilim bozulmasını ve müşteriler için doğrusal olmayan yükler tarafından üretilen harmonik akımları ile ilgili sınırlamaları ele almaktadırlar [1].

IEEE-519 ve VDE-0839 standartları endüstriyel kullanıcılarla birlikte elektrik üretim ve dağıtımıyla ilgili harmonik standartlar içermektedir. Bu standartlarda, şebeke gücünün bir fonksiyonu olarak akım ve gerilim harmonik bileşenlerinin, temel bileşenlere oranları verilmiştir. IEC harmonik sınırlamasını çeşitli yükler için sınıflandırmış ve bunlara ait tablolarda sınır değerleri vermiştir. IEC 61000-2-2 konutlarla ilgili alçak gerilim şebekelerine ait gerilim harmonik sınırlamalarını içermektedir, Tablo 2.5'deki gibi. Yine IEC tarafından endüstri için 2.sınıf olarak verilen IEC 61000-2-4'deki sınır değerler Tablo 2.6'da görülmektedir. IEC 61000-2-4, 3.sınıf olarak endüstriyel tesislere ait iç alan bağlantı noktalarındaki harmonik gerilim yüzdelerinin sınır değerleri Tablo 2.7'de, konutlarla ilgili alçak ve orta gerilim şebekeleri için EN 50160 harmonik distorsiyon limitleri ise Tablo 2.8'de verilmiştir. Tablo 2.9'da IEEE'nin gerilim için harmonik distorsiyon sınırları ve Tablo 2.10'da IEEE'nin genel dağıtım sistemlerine ait akım için harmonik distorsiyon sınırları görülmektedir.

Tablo 2.5. Konutlarla ilgili alçak gerilim şebekelerinde IEC 61000-2-2 gerilim harmonik distorsiyon limitleri

Tek Harmonikler		Çift Harmonikler		3 ve 3'ün Katı Harmonikler	
n	% V _n	n	% V _n	n	% V _n
5	6	2	2	3	5
7	5	4	1	9	1,5
11	3,5	6	0,5	15	0,3
13	3	8	0,5	≥ 21	0,2
17	2	10	0,5		
19	1,5	≥ 12	0,2		
23	1,5				
25	1,5				
≥ 29	K				

$$(k=0,2+12,5/n)$$

Tablo 2.6. Endüstriyel santraller için IEC 61000-2-4 gerilim harmonik distorsiyon limitleri (2. sınıf elemanlar)

Tek Harmonikler		Çift Harmonikler		3 ve 3'ün Katı Harmonikler	
n	% V _n	n	% V _n	n	% V _n
5	6	2	2	3	5
7	5	4	1	9	1,5
11	3,5	6	0,5	15	0,3
13	3	8	0,5	≥ 21	0,2
17	2	10	0,5		
19	1,5	≥ 12	0,2		
23	1,5				
25	1,5				
≥ 29	K				

$$(k=0,2+12,5/n)$$

Tablo 2.7. Endüstriyel santraller için IEC 61000-2-4 gerilim harmonik distorsiyon limitleri (3. sınıf elemanlar)

Tek Harmonikler		Çift Harmonikler		3 ve 3'ün Katı Harmonikler	
n	% V _n	n	% V _n	n	% V _n
5	8	2	3	3	6
7	7	4	1,5	9	2,5
11	5	≥ 6	1	15	2
13	4,5			21	1,75
17	4			≥ 27	1
19	4				
23	3,5				
25	3,5				
≥ 29	m				

$$(m = 5\sqrt{11/n})$$

Tablo 2.8. Konutlarla ilgili alçak ve orta gerilim şebekeleri için EN 50160 harmonik distorsiyon limitleri

Alçak (≤ 1kV) ve Orta Gerilim (1 kV <V<35 kV) Şebekeleri					
Tek Harmonikler		Çift Harmonikler		3 ve 3'ün Katı Harmonikler	
n	% V _n	n	% V _n	n	% V _n
5	6	2	2	3	5
7	5	4	1	9	1,5
11	3,5	6....24	0,5	15	0,5
13	3			21	0,5
17	2				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Tablo 2.9. IEEE'nin Gerilim İçin Harmonik Distorsiyon Sınırları

Bara Gerilimi (V_n)	Tekil Harmonik Büyükülüğü (%)	Toplam Harmonik Distorsiyonu THD _{Vn} (%)
$V_n \leq 69$ kV	3.0	5.0
$69 < V_n \leq 161$ kV	1.5	2.5
$V_n > 161$ kV	1.0	1.5

Tablo 2.10. IEEE'nin Genel Dağıtım Sistemlerine Ait Akım İçin Harmonik Distorsiyon Sınırları

$V_n \leq 69$ kV						
I_K / I_L	$n < 11$	$11 \leq n < 17$	$17 \leq n < 23$	$23 \leq n < 35$	$n \geq 35$	TTD (%)
< 20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
$69 \text{ kV} < V_n \leq 161 \text{ kV}$						
< 20	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
20-50	3.5	1.75	1.25	0.5	0.25	4.0
50-100	5.0	2.25	2.0	0.75	0.35	6.0
100-1000	6.0	2.75	2.5	1.0	0.5	7.5
> 1000	7.5	3.5	3.0	1.25	0.7	10.0
$V_n > 161 \text{ kV}$						
< 50	2.0	1.0	0.75	0.3	0.15	2.5
≥ 50	3.0	1.5	1.15	0.5	0.22	4.0

3. MATERYAL VE METOT

Bu kısımda tez çalışması kapsamında kullanılan ölçüm sistemi anlatılmıştır. Bu amaçla Manisa OSB Enerji İzleme Birimi tarafından kullanılan enerji izleme ve takip sistemine ilişkin teknolojik yapı ve izleme ekranlarından bahsedilmiştir.

3.1. Manisa OSB OG ve YG Şebekesi Ölçüm Sistemi

Manisa Organize Sanayi Bölgesi'ndeki (MOSB) dağıtım merkezlerine ait güç kalitesi verileri, Janitza UMG 511 güç kalitesi analizörü vasıtasıyla GridVis yazılımı kullanılarak MOSB Müdürlüğü bünyesindeki veri izleme bölümünde izlenmektedir. Burada akım, gerilim, görünür güç, aktif güç, reaktif güç, güç katsayısı, harmonik akım, harmonik gerilim ve kısa dönem fliker gibi güç kalitesi verileri 10 dakikalık zaman aralıklarıyla, frekans değeri ise 10 saniyelik zaman aralıklarıyla izlenmektedir [22]. Şekil 3.1'de ölçüm sistemine ait genel prensip şeması verilmiştir.

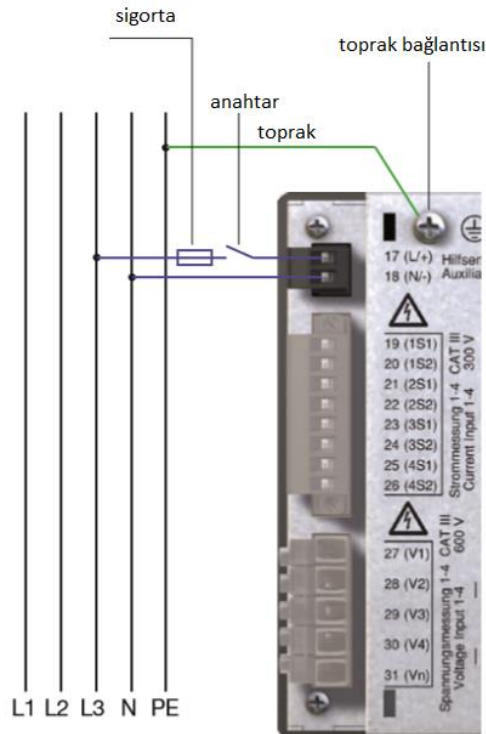


Şekil 3.1. UMG 511'in bir arayüz dönüştürücü kullanarak bilgisayara bağlantısı

Şekil 3.2'de kullanılan güç kalitesi analizörüne ait ekran görüntüsü yer almaktadır. Bu cihaz ile güç kalitesi parametrelerine ilişkin değerler ekranda görüntülenebilmekte ve aynı zamanda GridVIS yazılımı üzerinden ölçüm ve analiz değerleri bilgisayar ekranına yansıtılmaktadır. Şekil 3.1 ile Şekil 3.19 arasında Janitza UMG 511 güç kalitesi analizörüne ait akım gerilim bağlantıları yer almaktadır [22].



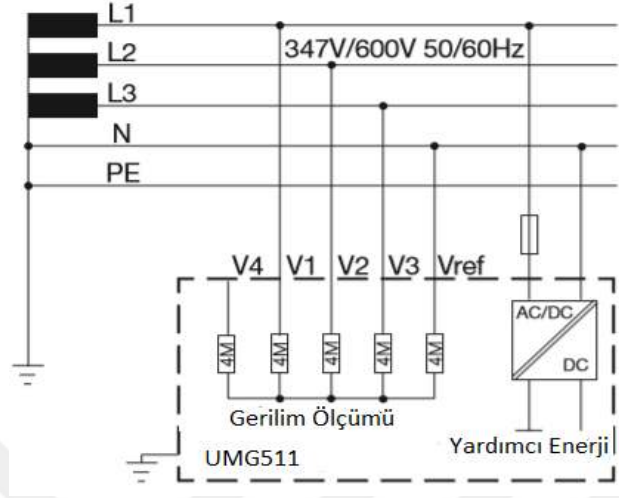
Şekil 3.2. Janitza UMG 511 ekran görüntüsü



Şekil 3.3. Janitza UMG 511'in gerilim kaynağına bağlantısı

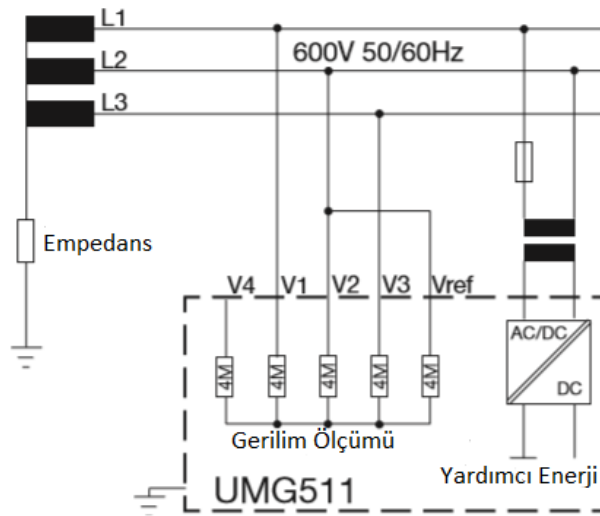
3.2. Gerilim Ölçümü

UMG511, topraklı bir nötr kabloyla üç fazlı 4 iletkenli bir sistemde (TN, TT şebekeleri) kullanılabilir. Elektrik sistemlerinin gövdeleri topraklanmıştır [22].



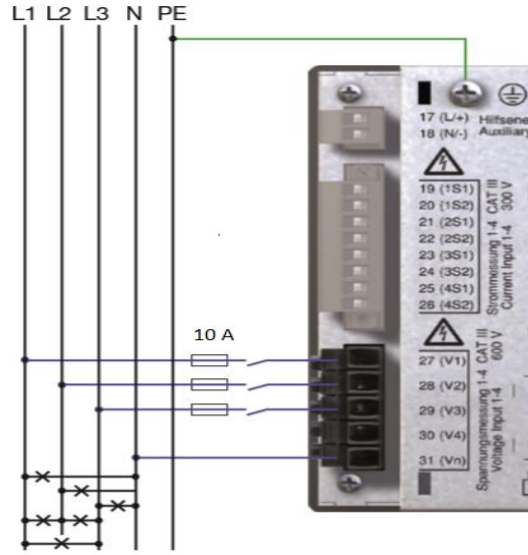
Şekil 3.4. Üç fazlı 4 iletkenli bir sistemde güç kalitesi analizörünün bağlantısı (yıldız noktası doğrudan topraklı)

UMG511 sadece IT şebekelerinde kullanım için sınırlı olarak uygundur. Çünkü ölçüm voltajı konut potansiyeline karşı ölçülür ve cihazın giriş empedansı toprağa karşı kaçak bir akıma neden olur. Kaçak akım, IT şebekelerindeki yalıtım izlemenin cevap vermesine neden olabilir. Gerilim dönüştürücülü olan bağlantı çeşitleri IT şebekelerinde herhangi bir kısıtlama olmadan kullanıma uygundur [22].

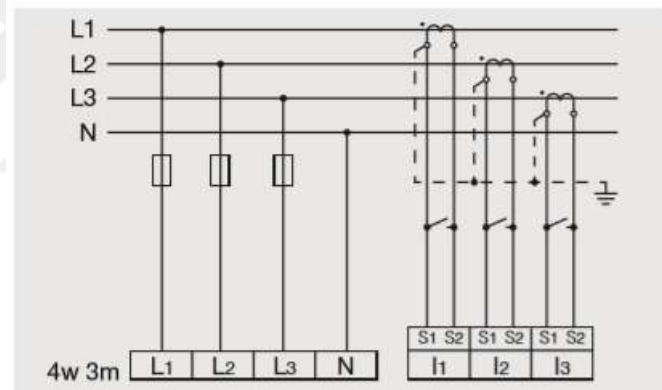


Şekil 3.5. Üç fazlı 4 iletkenli bir sistemde güç kalitesi analizörünün bağlantısı (yıldız noktası empedans üzerinden topraklı)

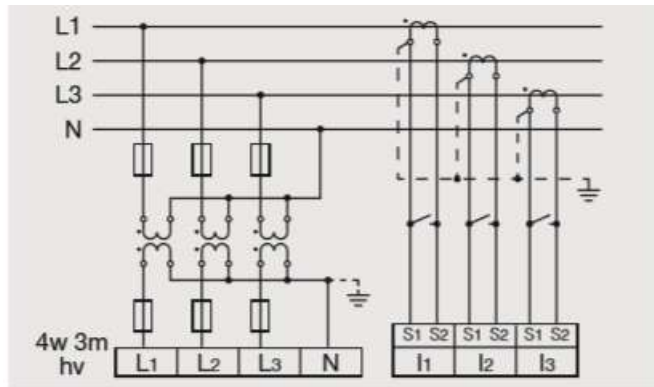
Şekil 3.6’da kullanılan analizörün gerilim ölçümü için bağlantı şeması verilmiştir. Şekil 3.7 – Şekil 3.15 arasında ise farklı yük durumları için bağlantılar gösterilmiştir.



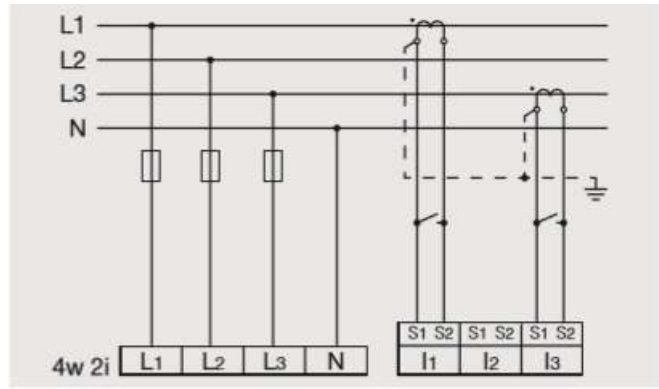
Şekil 3.6. Gerilim ölçümü için bağlantı örneği



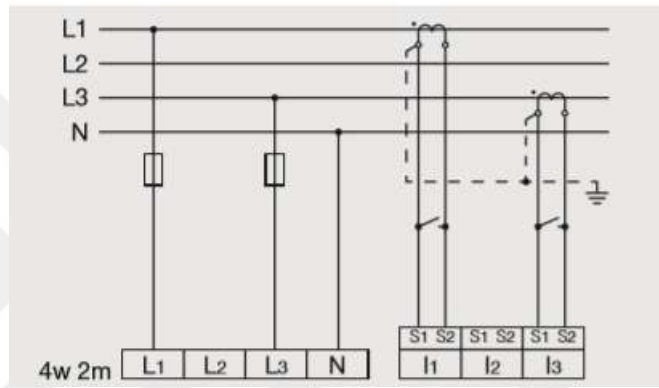
Şekil 3.7. Asimetrik yüke sahip üç fazlı 4 iletkenli bir şebekede ölçüm



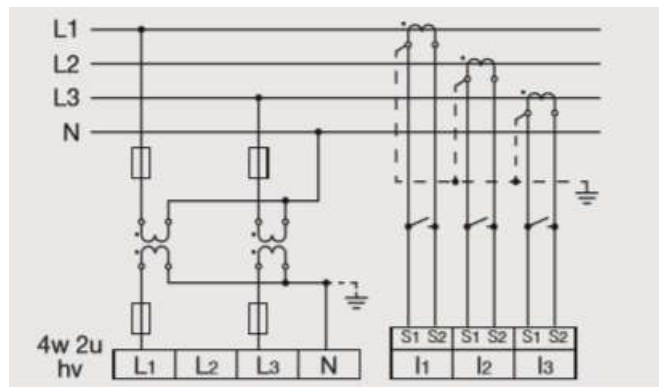
Şekil 3.8. Asimetrik yüke sahip üç fazlı 4 iletkenli bir şebekede gerilim dönüştürücü kullanarak ölçüm



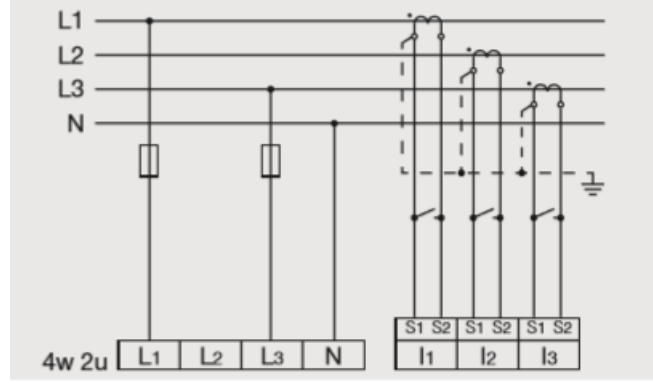
Şekil 3.9. Simetrik yüke sahip üç fazlı 4 iletkenli bir şebekede akım dönüştürücü kullanarak ölçüm



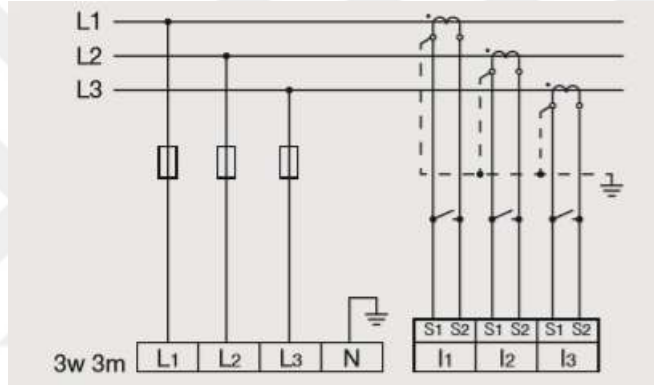
Şekil 3.10. Simetrik yüke sahip iki fazlı 4 iletkenli bir şebekede ölçüm



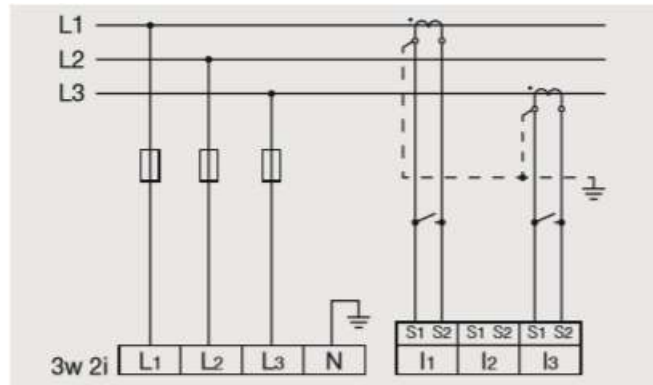
Şekil 3.11. Asimetrik yüke sahip iki fazlı 4 iletkenli bir şebekede gerilim dönüştürücü kullanarak ölçüm



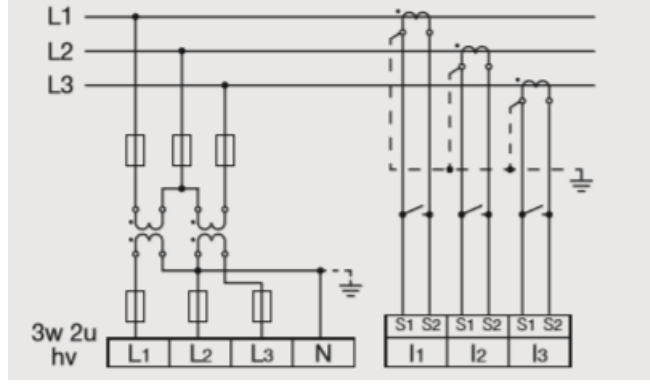
Şekil 3.12. Asimetrik yüke sahip iki fazlı 4 iletkenli bir şebekede ölçüm



Şekil 3.13. Asimetrik yüke sahip üç fazlı 3 iletkenli bir şebekede ölçüm



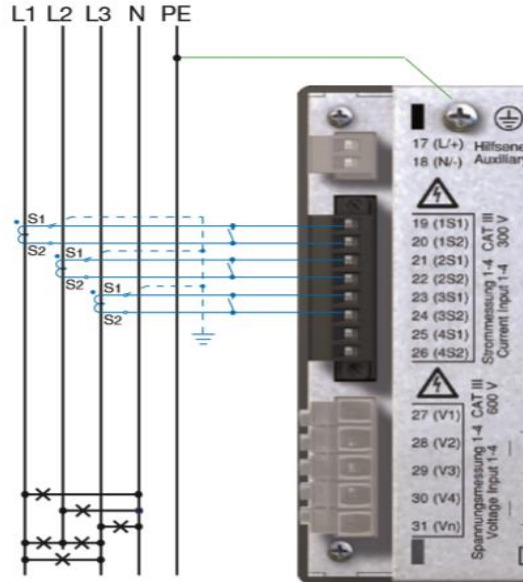
Şekil 3.14. Simetrik yüke sahip üç fazlı 3 iletkenli bir şebekede ölçüm



Şekil 3.15. Asimetrik yüke sahip üç fazlı 3 iletkenli bir şebekede gerilim dönüştürücü kullanarak ölçüm

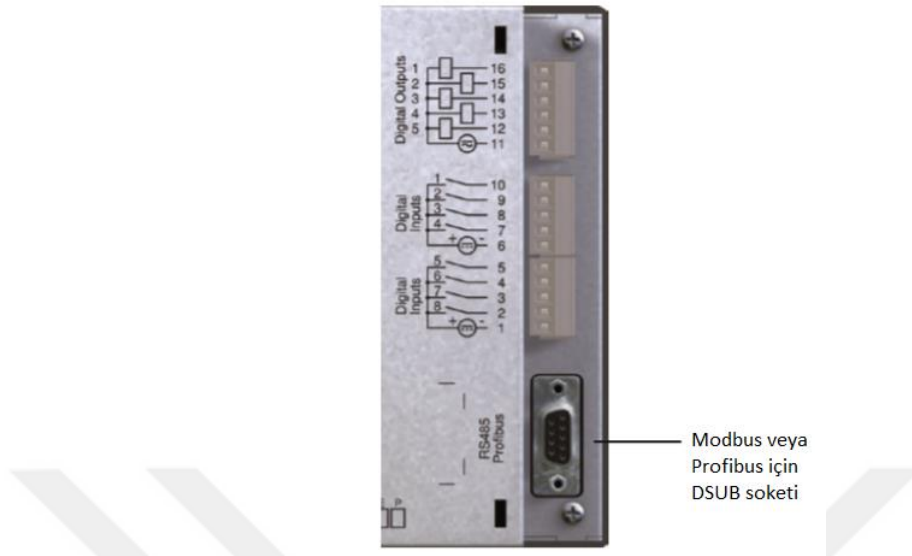
3.3. Akım Ölçümü

UMG511, akım dönüştürücülerin $\dots/1A$ ve $\dots/5A$ sekonder akımlarına bağlantısı için tasarlanmıştır. Yalnızca AC akımlar ölçülebilir. Her bir akım ölçüm girişi, 1 saniye boyunca 120A ile yüklenebilir. Akım yönü, her faz için mevcut seri arayüzler kullanılarak cihaz üzerinde ayrı ayrı düzeltilebilir. Yanlış bağlanırsa, akım dönüştürücülerinin daha sonra yeniden bağlanması gerekli değildir [22].



Şekil 3.16. Akım dönüştürücüleri kullanarak akım ölçümü bağlantı örneği

Güç kalitesi analizöründe RS485 arayüzü, 9 pinli bir DSUB soketi olarak tasarlanmıştır. Şekil 3.17’de desteklenen protokoller görülmektedir.



Şekil 3.17. RS485 arayüzü için DSUB soketi

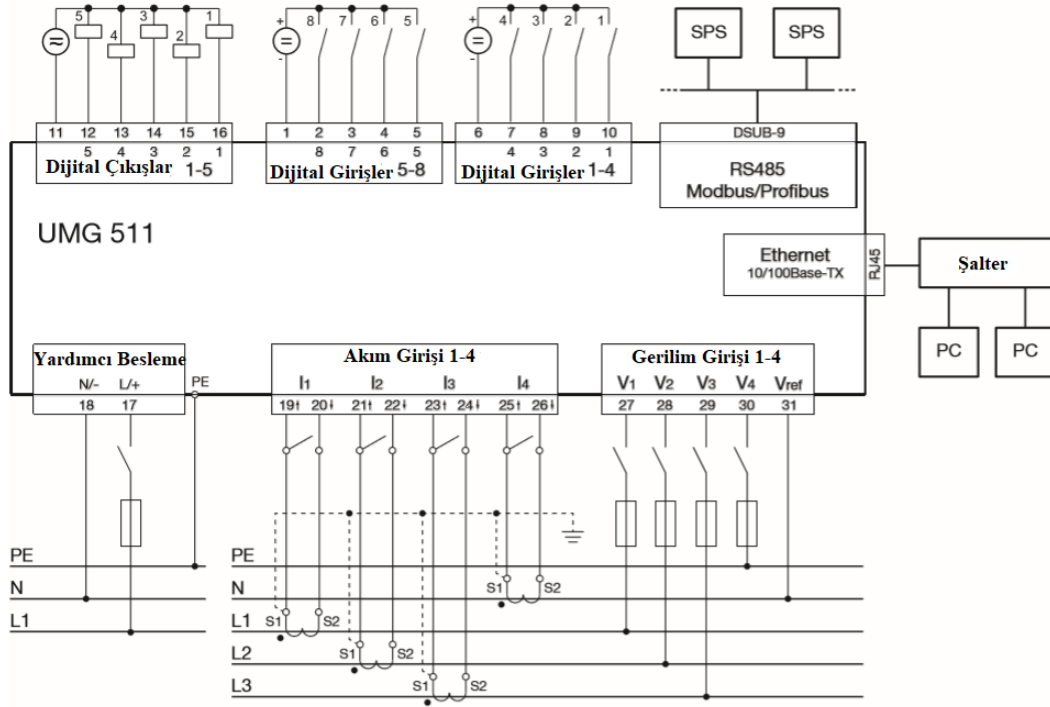
Tablo 3.1’de analizöre ait fonksiyonlar ve hangi standartlar referans alınarak ilgili fonksiyonun doğruluğunun gerçekleştirildiği verilmiştir [22].

Tablo 3.1. Janitza UMG511 Fonksiyon Parametreleri

Fonksiyon	Sembol	Doğruluk Sınıfı	Ölçüm Aralığı	Ekran Aralığı
Toplam Etkin Güç	P	0.2 (IEC61557-12)	0 .. 15.3 kW	0 .. 9999 GW
Toplam Reaktif Güç	QA, QV	1 (IEC61557-12)	0 .. 15.3 kvar	0 .. 9999 Gvar
Toplam Görünür Güç	SA, SV	0.2 (IEC61557-12)	0 .. 15.3 kVA	0 .. 9999 GVA
Toplam Etkin Enerji	Ea	0.2 (IEC61557-12)	0 .. 15.3 kWh	0 .. 9999 GWh
Toplam Reaktif Enerji	ErA, ErV	1 (IEC61557-12)	0 .. 15.3 kvarh	0 .. 9999 Gvarh
Toplam Görünür Enerji	EapA, EapV	0.2 (IEC61557-12)	0 .. 15.3 kVAh	0 .. 9999 GVAh
Frekans	f	0.05 (IEC61557-12)	40 .. 70 Hz	40 .. 70 Hz
Faz Akımı	I	0.2 (IEC61557-12)	0.001 .. 8.5 Arms	0 .. 9999 kA
Ölçülen Nötr İletken Akımı	IN	0.2 (IEC61557-12)	0.001 .. 8.5 Arms	0 .. 9999 kA
Hesaplanan Nötr İletken Akımı	INc	0.5 (IEC61557-12)	0.001 .. 25.5 Arms	0 .. 9999 kA
Gerilim	U L-N	0.1 (IEC61557-12)	10 .. 600 Vrms	0 .. 9999 kV

Fonksiyon	Sembol	Doğruluk Sınıfı	Ölçüm Aralığı	Ekran Aralığı
Gerilim Faz-Faz	U _{L-L}	0.1 (IEC61557-12)	18 .. 1000 Vrms	0 .. 9999 kV
Güç Faktörü	PFA, PFV	0.5 (IEC61557-12)	0.00 .. 1.00	0 .. 1
Kısa ve Uzun Dönem Fliker	Pst, Plt	KI.A (IEC61000-4-15)	0.4 Pst – 10.0 Pst	0 .. 10
Gerilim Düşmesi	Udip	0.2 (IEC61557-12)	10 .. 600 Vrms	0 .. 9999 kV
Gerilim Yükselmesi	Uswl	0.2 (IEC61557-12)	10 .. 600 Vrms	0 .. 9999 kV
Geçici Aşırı Gerilimler	Utr	0.2 (IEC61557-12)	10 .. 600 Vrms	0 .. 9999 kV
Gerilim Kesintileri	Uint	Süre + - 1 çevrim	-	-
Gerilim Dengesizliği	Unba	0.2 (IEC61557-12)	10 .. 600 Vrms	0 .. 9999 kV
Gerilim Dengesizliği	Unb	0.2 (IEC61557-12)	10 .. 600 Vrms	0 .. 9999 kV
Gerilim Harmonikleri	Uh	Cl.1 (IEC61000-4-7)	2.5 kHz'e kadar	0 .. 9999 kV
THD Gerilim	THDu	1 (IEC61557-12)	2.5 kHz'e kadar	%0 .. %999
THD Gerilim	THD-Ru	1 (IEC61557-12)	2.5 kHz'e kadar	%0 .. %999
Akım Harmonikleri	Ih	Cl.1 (IEC61000-4-7)	2.5 kHz'e kadar	0 .. 9999 kA
THD Akım	THDi	1 (IEC61557-12)	2.5 kHz'e kadar	%0 .. %999
THD Akım	THD-Ri	1 (IEC61557-12)	2.5 kHz'e kadar	%0 .. %999
Gerilim Ara Harmonikleri	MSV	Cl.1 (IEC61000-4-7)	%10 .. %200	0 .. 9999 kV

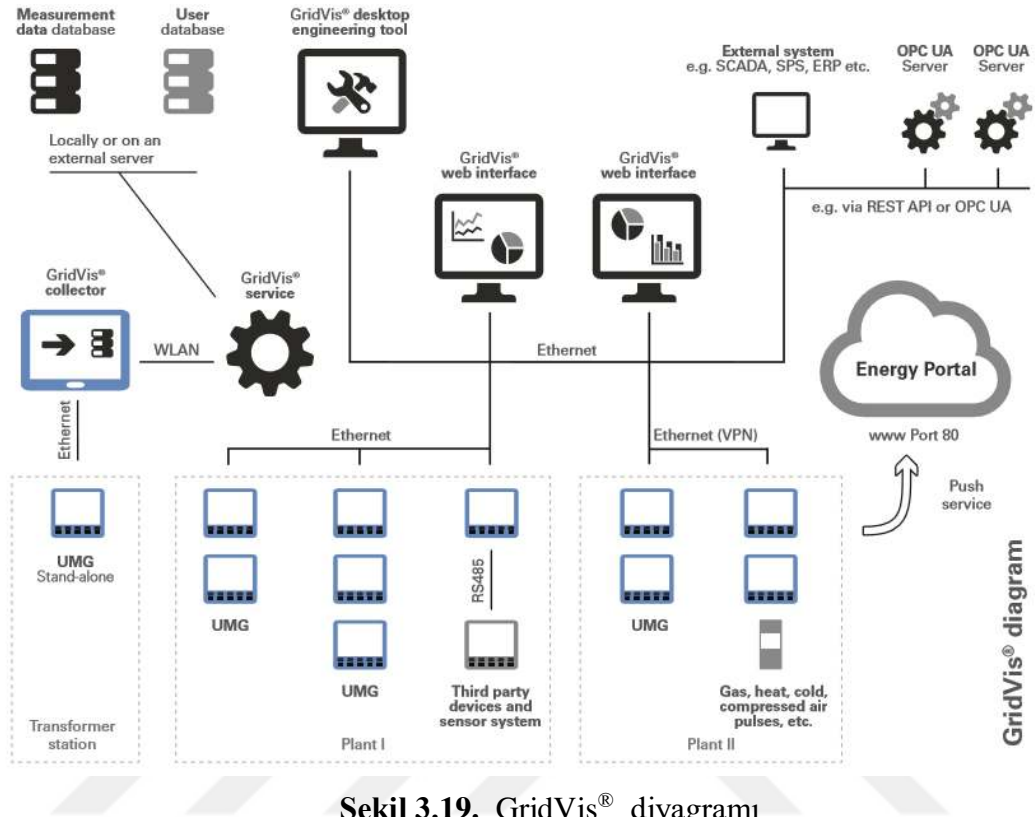
Şekil 3.18’de ölçümlerde kullanılan genel bağlantı şeması verilmiştir.



Şekil 3.18. Janitza UMG511 bağlantı örneği

3.4. Veri Kayıt Sistemi

Güç kalitesi analizörü ile alınan veriler, MOSB Müdürlüğü veri izleme odasında GridVis® yazılımı kullanılarak kayıt altına alınmaktadır. GridVis® yazılımı ile ölçüm verilerini analiz etme ve değerlendirme, istatistikler, çizgi şemaları, pasta grafikleri, ısı haritaları, CBEMA eğrileri, sürekli çizgiler, tablolar, Sankey şemaları, temel performans göstergeleri vb. işlevler gerçekleştirilebilir. İşlevler sezgisel olarak tasarlanabilir. Ölçüm verileri kullanıcı tarafından analiz edilebilir. Şekil 3.19’da GridVis® yazılımı üzerinden birçok güç kalitesi analizörünün bağlı olduğu diyagram verilmiştir [23].



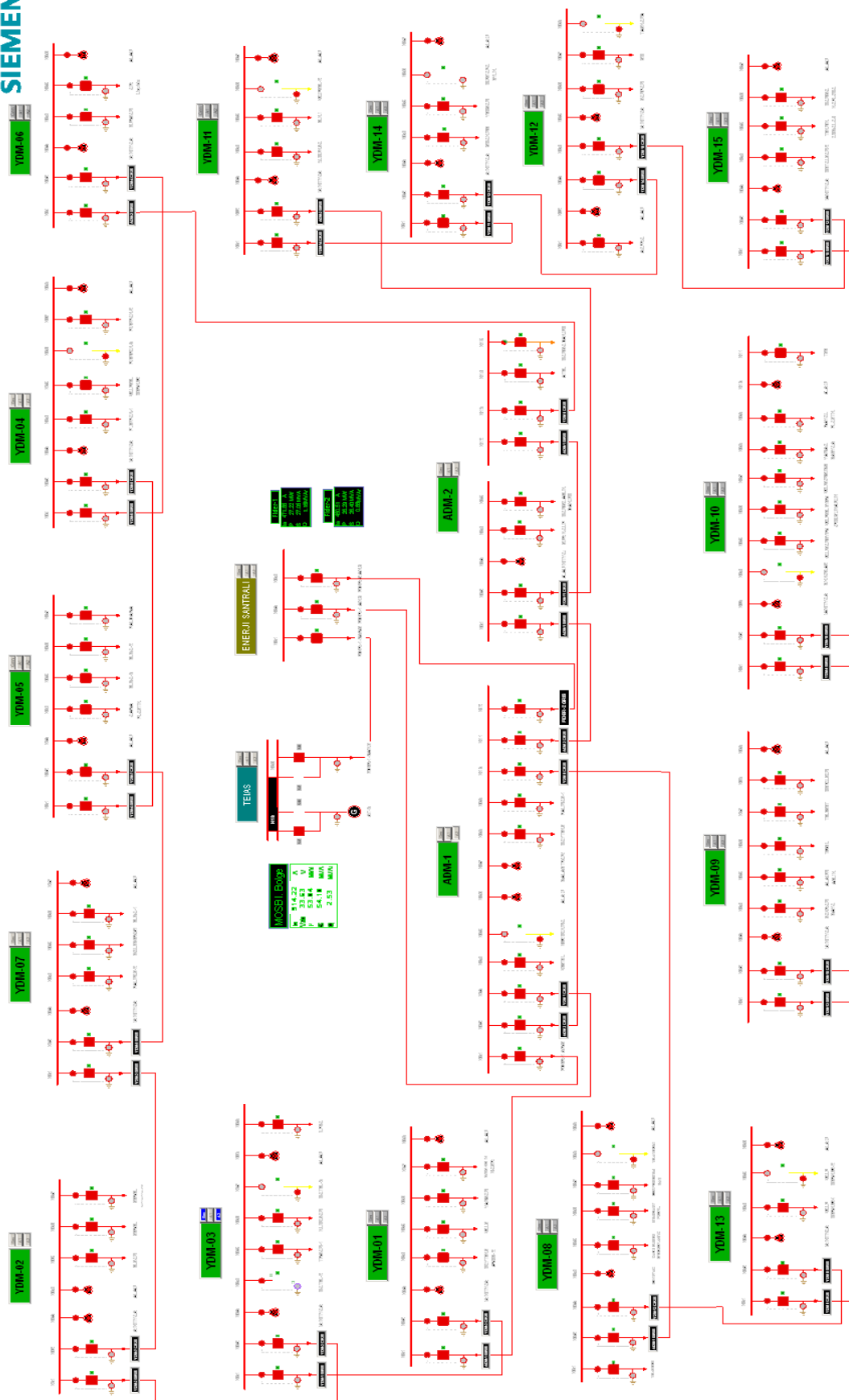
Şekil 3.19. GridVis® diyagramı

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde MOSB Müdürlüğü bünyesinde bulunan dağıtım merkezlerinden YDM 13 dağıtım merkezinden alınan OG verileri ile dağıtım merkezinin beslendiği TEİAŞ'tan alınan YG verileri ayrı ayrı analiz edilmiştir.

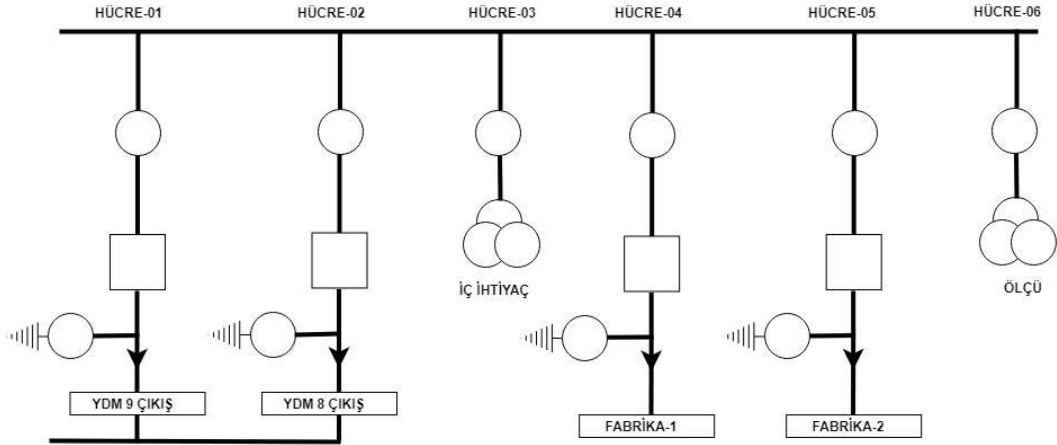
4.1. OG Tarafında Veri Analizi

Aşağıda tek hat şeması verilen YDM 13 dağıtım merkezinden 2017 yılına ait olan akım, gerilim, görünür güç, aktif güç, reaktif güç, frekans, güç katsayısı, 25. mertebeye kadar akım harmonikleri, kısa ve uzun dönem fliker, dengesizlik gerilimi, toplam talep bozulması ve toplam harmonik bozulma değerleri alınmıştır. Şekil 4.1'de incelenen şeklin tek hat şeması ve Şekil 4.2'de ise YDM13'e ait tek hat şeması verilmiştir. Şekil 4.3'te YDM 13 dağıtım merkezinde ölçüm cihazı görülmektedir.



Sekil 4.1. İncelenen sistemin tek hat seması

YDM-13



Şekil 4.2. YDM 13 tek hat şeması

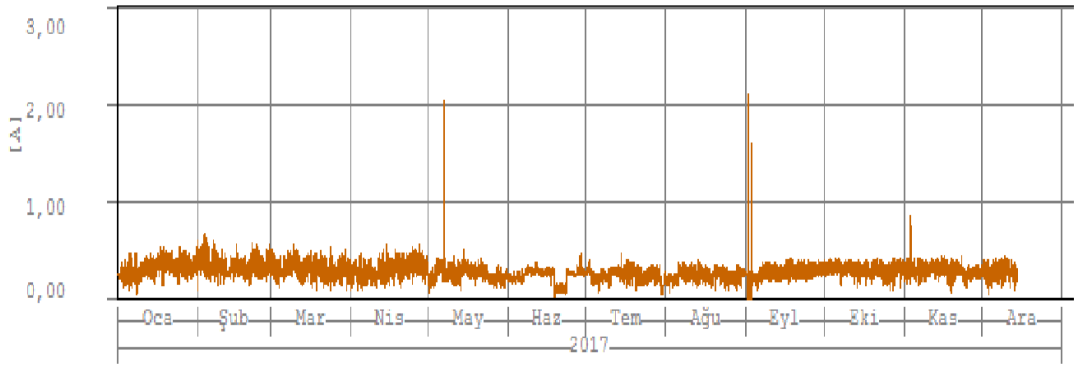


Şekil 4.3. YDM 13 dağıtım merkezinde ölçüm cihazı görünümü

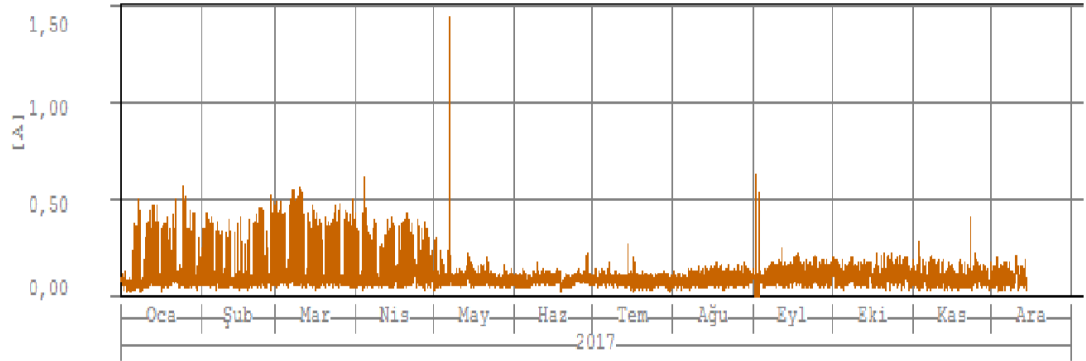
4.1.1. Akım Harmonikleri

Elektrik şebekelerindeki dalga şekillerinin simetri özellikleri sebebiyle çift katsayılı harmonik bileşenler (2., 4. ve 6. harmonik gibi) çoğunlukla değerlendirilmez. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te de görüldüğü gibi YDM 13 dağıtım merkezinin L1 fazına ait 2. ve 4. harmonikleri ihmal edilebilecek kadar küçük değerlerdedir. Bu nedenle YDM

13'ten alınan tek harmonikler dikkate alınmıştır. Şekil 4.4'te ve Şekil 4.5'te harmonik akımların anlık olarak yükseldiği görülmektedir. Bunun nedeni, 1 Eylül 2017 tarihi saat 19.07'de 19,901 ms süreyle gerilimin 18968,73 V seviyesine düşmesi, 2 Eylül 2017 tarihi saat 19.26'da 9,850 ms süreyle gerilimin 21580,85 V seviyesine düşmesi ve 7 Mayıs 2017 tarihi 08.30 – 14.48 saatleri arasında YDM4 H05'ten beslenen fabrikanın bakım talebi üzerine enerji kesintisi olmasındandır.



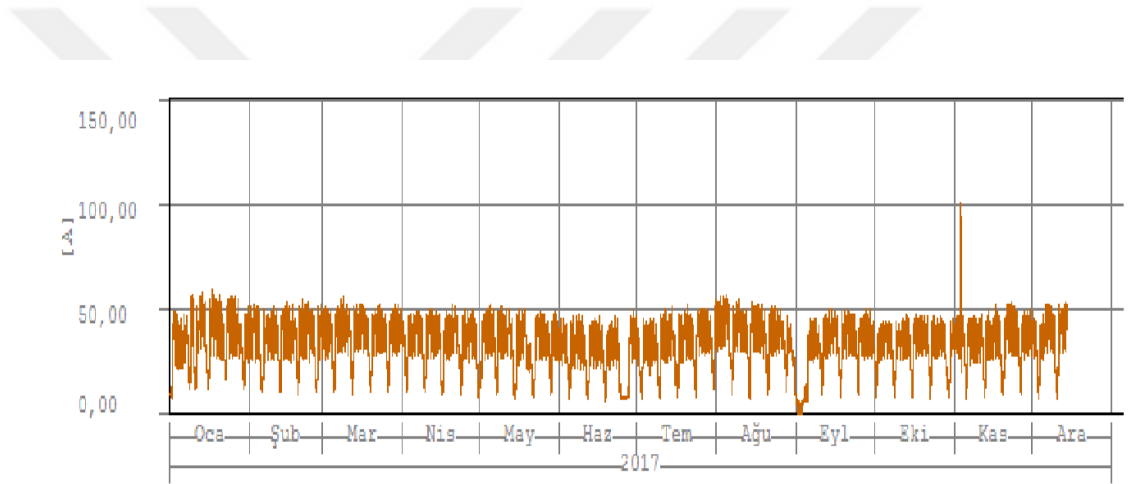
Şekil 4.4. L1 fazı 2. harmonik akımları



Şekil 4.5. L1 fazı 4. harmonik akımları

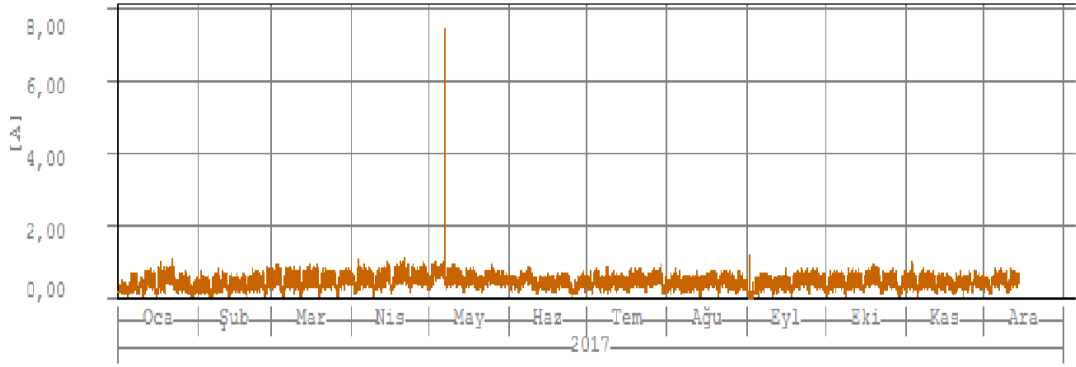
1. Harmonik temel akım bileşeni olduğu için 3. harmonikten itibaren değerlendirmeye başlayacağız. 3 ve 3'ün katları olan harmonikler etki açısından ortak özelliğe sahiptir. Sadece harmonik derecesi yükseldikçe genliği düştüğünden en zararlı olarak en düşük derecedeki harmonikleri incelemek daha anlamlı olmaktadır.

Sistemimiz 120 derece faz farkı bulunan 3 fazlı sistem olduğundan, 3. harmonik frekansındaki akımlar aynı fazda bulunmaktadır. 120 derece faz farkında bu akımların vektörel toplamı birbirini dengelerken, aynı fazda olan akımlar birbirinin üzerine eklenerek nötr hattından bir akımın akmasına sebep olmaktadır. Böylece nötr hattının kesidine bağlı olarak hatta ısınma, ilave kayıplar meydana gelmektedir. Bu bahsettiğimiz durum sekonderi Y (yıldız) bağlı sistem için geçerlidir. Bizim ölçümlerimiz OG tarafında olduğu için trafonun üçgen tarafında 3. dereceden harmonikler şebekeye geçmeyip sargılar içerisinde kalmaktadır [24]. Şekil 4.6’da harmonik akımın anlık olarak 2017 Kasım ayında 100A seviyesine çıktığı görülmektedir. Bunun nedeni 3 Kasım 2017 tarihi saat 11.14’te kazı çalışması sırasında kablo kopmasındandır.



Şekil 4.6. L1 fazı 1. harmonik (temel frekans) akımları

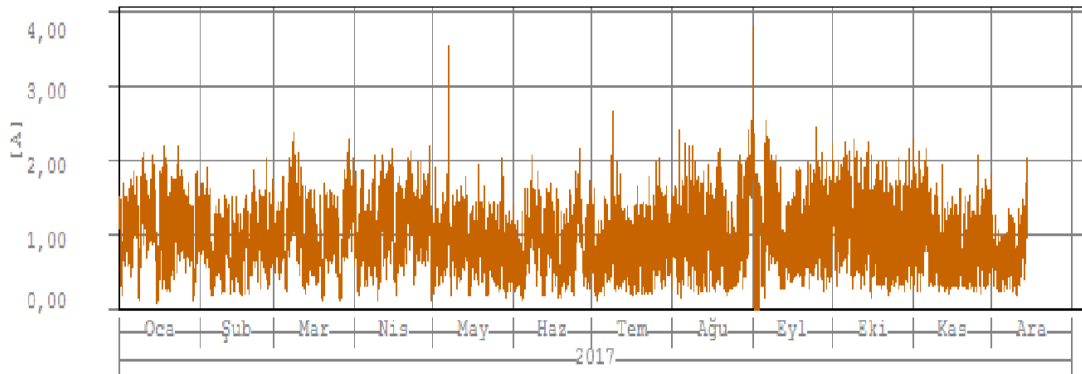
Şekil 4.7’de görüldüğü gibi L1 Fazında 3. harmonik akım değerleri ortalama 0,486 A civarında ve Şekil 4.6’daki temel bileşen akımını ortalama 33,75 A olduğundan 3. harmonik akım bozulması %1,44 olarak bulunur. Bu değer, Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde belirtilen sınır değer olan %5’in altındadır. Bu nedenle 3. Harmoniğin sisteme olumsuz bir etki oluşturmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Şekil 4.7’de Mayıs ayındaki harmonik akımın anlık olarak yükselmesi ise 7 Mayıs 2017 tarihi 08.30 – 14.48 saatleri arasında YDM4 H05’ten beslenen fabrikanın bakım talebi üzerine enerji kesintisi olmasındandır.



Şekil 4.7. L1 fazı 3. harmonik akımları

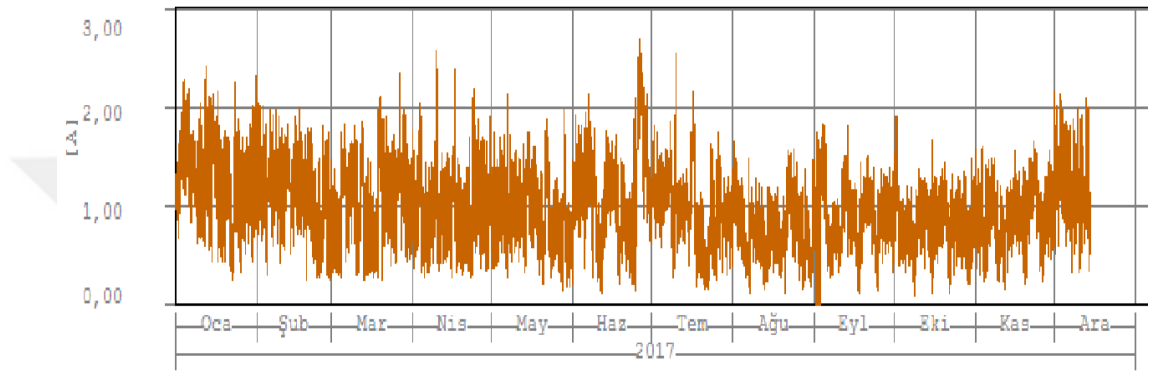
5. harmonik sistemde kullanıcı açısından en zararlı harmoniktir. Çünkü 5. harmoniği Fourier serisine açtığımızda negatif işaretli olduğunu görürüz. Bu da dönüş yönünün şebeke faz sırasının tersine olduğu anlamına gelir. Negatif bileşenli harmoniklerin en düşüğü olması sebebiyle genliği en büyük olanı ve en tehlikelisi [25].

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi L1 Fazında 5. harmonik akım değerleri ortalama 0,98 A civarında ve Şekil 4.6’daki temel bileşen akımı ortalama 33,75 A olduğundan 5. harmonik akım bozulması %2,9 bulunur. Görüldüğü gibi 5. harmonik akım bozulma oranı 3. harmonikten daha yüksek değerde olmasına rağmen yine de bu değer, Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde belirtilen sınır değerinin altındadır. Şekil 4.8’de Mayıs ve Eylül aylarında harmonik akımın anlık yükselmesi 1 Eylül 2017 tarihi saat 19.07’de 19,901 ms süreyle gerilimin 18968,73 V seviyesine düşmesi ve 7 Mayıs 2017 tarihi 08.30 – 14.48 saatleri arasında YDM4 H05’ten beslenen fabrikanın bakım talebi üzerine enerji kesintisi olmasındandır.



Şekil 4.8. L1 fazı 5. harmonik akımları

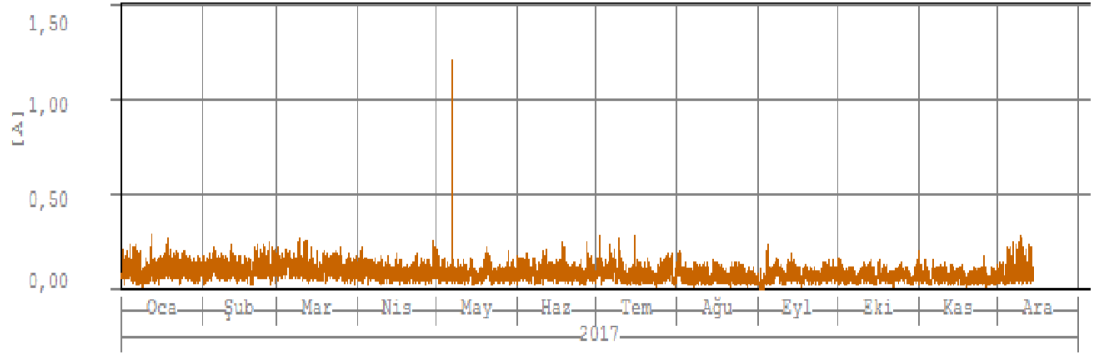
7. harmonik aralarında faz farkı olan ve aynı dönüş yönüne sahip en kuvvetli harmoniktir [25]. Şekil 4.9’da görüldüğü gibi L1 Fazında 7. harmonik akım değerleri ortalama 0,995 A civarında ve Şekil 4.6’daki temel bileşen akımı ortalama 33,75 A olduğundan 7. harmonik akım bozulması %2,95 bulunur. Görüldüğü gibi 7. harmonik akım bozulma oranı 3. ve 5. harmoniklerden daha yüksek değerde olmasına rağmen yine de bu değer Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde belirtilen sınır değerinin altındadır.



Şekil 4.9. L1 fazı 7. harmonik akımları

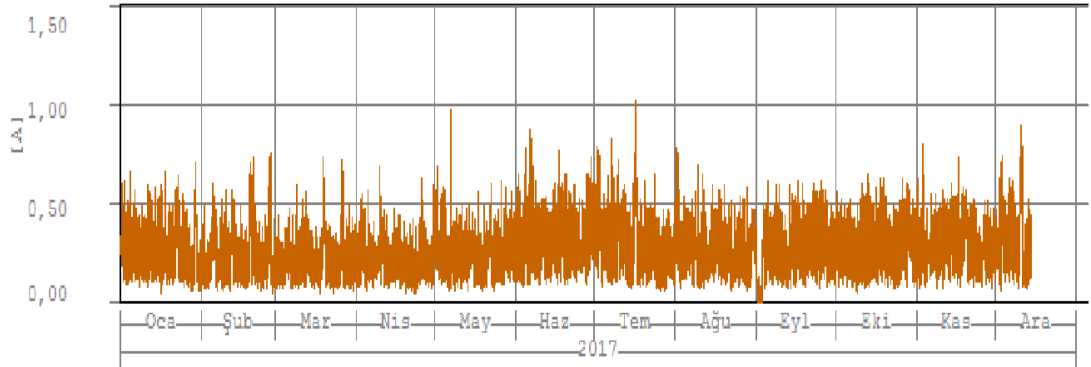
Şekil 4.10’da görüldüğü gibi L1 Fazında 9. harmonik akım değerleri ortalama 0,0835 A civarında ve Şekil 4.6’daki temel bileşen akımı ortalama 33,75 A olduğundan 9. harmonik akım bozulması %0,25 bulunur. Görüldüğü gibi 9. harmonik akım bozulma oranı oldukça küçük bir değerdedir ve bu değer, Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde belirtilen sınır değerinin altındadır.

Şekil 4.10’da, 7 Mayıs 2017 tarihi 08.30 – 14.48 saatleri arasında YDM4 H05’ten beslenen fabrikanın bakım talebi üzerine enerji kesintisi olmasından dolayı harmonik akım anlık olarak yükselmiştir.



Şekil 4.10. L1 fazı 9. harmonik akımları

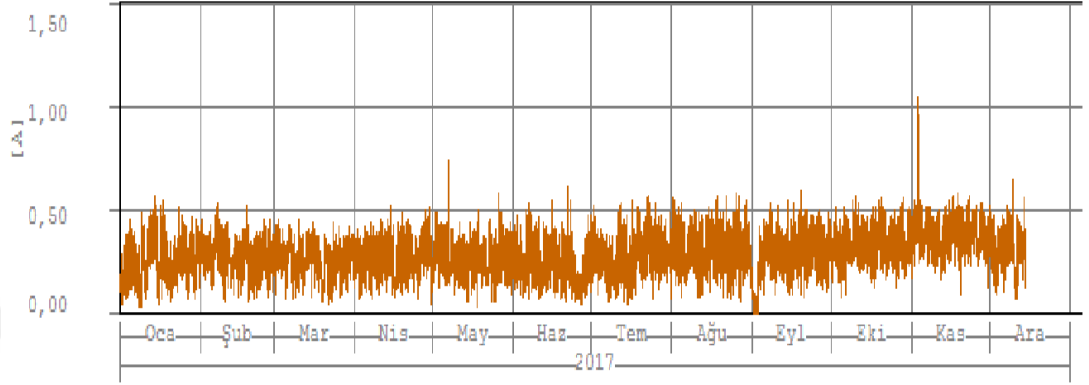
Şekil 4.11’de görüldüğü gibi L1 Fazında 11.harmonik akım değerleri ortalama 0,273 A civarında ve Şekil 4.6’daki temel bileşen akımı ortalama 33,75 A olduğundan 11. harmonik akım bozulması %0,81 bulunur. 11. harmonik akım bozulma oranı, 9. harmonik akım bozulma oranından büyük olsa da oldukça küçük bir değerdedir ve bu değer, Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde belirtilen sınır değerinin altındadır. Şekil 4.11’de, YDM4 H05’ten beslenen fabrikanın 7 Mayıs 2017 tarihi 08.30 – 14.48 saatleri ile 16 Temmuz 2017 08.17 – 18.21 saatleri arasında bakım talebi üzerine enerji kesintisi olmasından dolayı harmonik akım anlık olarak yükselmiştir.



Şekil 4.11. L1 fazı 11. harmonik akımları

Şekil 4.12’de görüldüğü gibi L1 Fazında 13.harmonik akım değerleri ortalama 0,286 A civarında ve Şekil 4.6’daki temel bileşen akımı ortalama 33,75 A olduğundan 13. harmonik akım bozulması %0,85 bulunur. 13. harmonik akım bozulma oranı, 9. ve 11. harmonik akım bozulma oranından büyük olsa da oldukça küçük bir değerdedir ve

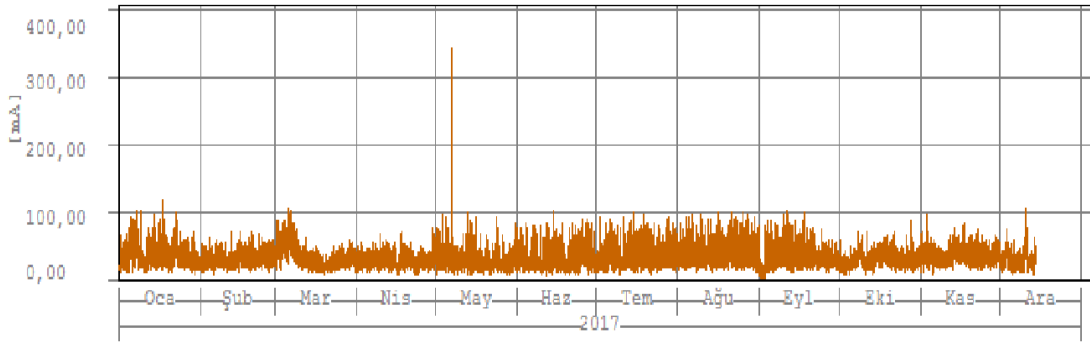
bu değer, Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde belirtilen sınır değerin altındadır. 3 Kasım 2017 tarihi saat 11.14'te kazı çalışması sırasında kablo kopmasından dolayı Şekil 4.12'de harmonik akımın anlık olarak yükseldiğı görölmektedir.



Şekil 4.12. L1 fazı 13. harmonik akımları

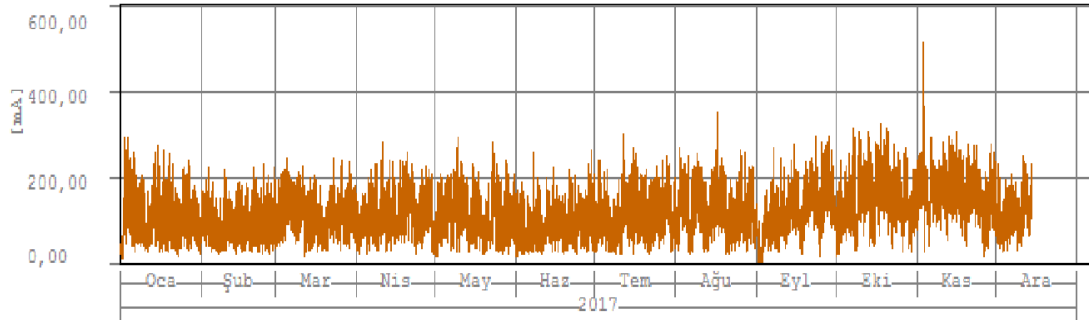
Şekil 4.13'te göröldüğü gibi L1 Fazında 15.harmonik akım değerleri ortalama 0,0318 A civarında ve Şekil 4.6'daki temel bileşen akımı ortalama 33,75 A olduğundan 15. harmonik akım bozulması %0,09 bulunur. 15. harmonik akım bozulma oranı oldukça küçük bir değerdedir ve bu değer, Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde belirtilen sınır değerin oldukça altındadır.

Şekil 4.13'te, 7 Mayıs 2017 tarihi 08.30 – 14.48 saatleri arasında YDM4 H05'ten beslenen fabrikanın bakım talebi üzerine enerji kesintisi olmasından dolayı harmonik akım anlık olarak yükselmiştir.



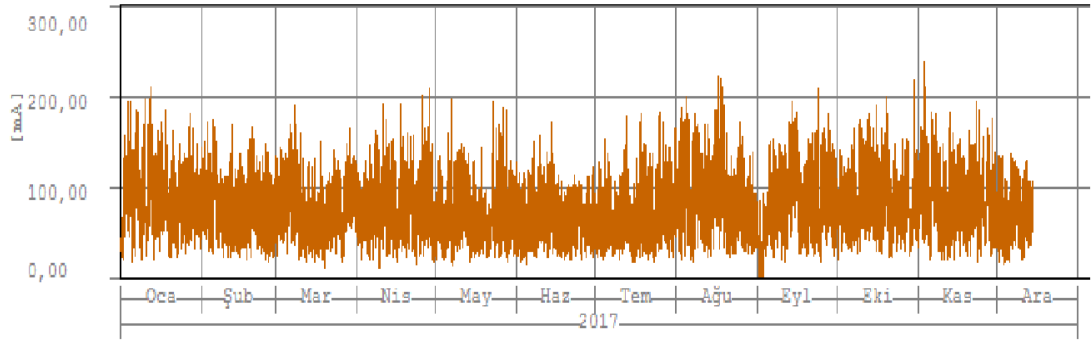
Şekil 4.13. L1 fazı 15. harmonik akımları

Şekil 4.14'te görüldüğü gibi L1 Fazında 17. harmonik akım değerleri ortalama 0,12 A civarında ve Şekil 4.6'daki temel bileşen akımı ortalama 33,75 A olduğundan 17. harmonik akım bozulması %0,36 bulunur. Benzer şekilde 17. harmonik akım bozulma oranı oldukça küçük bir değerdedir ve bu değer, Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde belirtilen sınır değerinin altındadır. 3 Kasım 2017 tarihi saat 11.14'te kazı çalışması sırasında kablo kopmasından dolayı Şekil 4.14'te harmonik akımın anlık olarak yükseldiği görülmektedir.



Şekil 4.14. L1 Fazı 17. harmonik akımları

Şekil 4.15'te görüldüğü gibi L1 Fazında 19. harmonik akım değerleri ortalama 0,0794 A civarında ve Şekil 4.6'daki temel bileşen akımı ortalama 33,75 A olduğundan 19. harmonik akım bozulması %0,24 bulunur. 19. harmonik akım bozulma oranı oldukça küçük bir değerdedir.



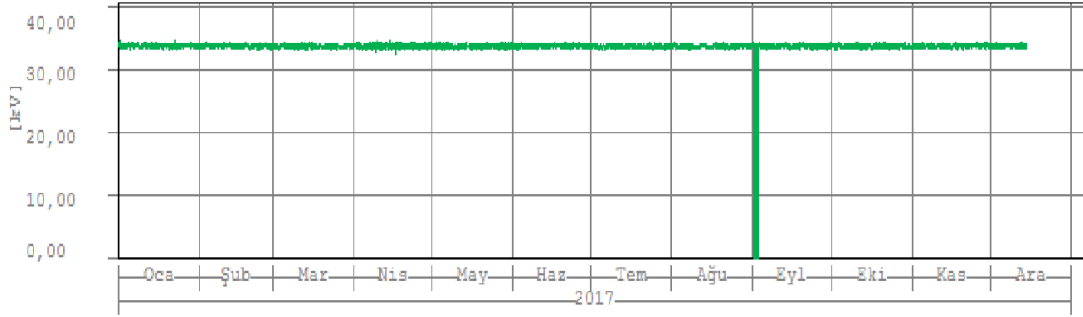
Şekil 4.15. L1 fazı 19. harmonik akımları

Benzer şekilde 21, 23 ve 25. harmonik akım bozulmaları sırasıyla %0,06, %0,19 ve %0,15 olarak hesaplanmıştır.

4.1.2. Etkin Gerilim

Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğine göre OG seviyesi için; ölçüm periyodu boyunca TS EN 61000-4-30'da tanımlanan ölçüm periyodu boyunca (kesintisiz bir hafta) ölçülen gerilim etkin değerlerinin 10'ar dakikalık ortalamalarının en az %99'u beyan etkin gerilim değerinin +%10'nu aşmamalı, yine bu ortalamaların en az %99'u beyan etkin gerilim değerinin - %10'nun altına düşmemelidir. Ölçülen gerilim etkin değerlerinin 10'ar dakikalık ortalamalarının hiçbirisi beyan etkin gerilimin $\pm\%15$ 'lik sınırlarının dışında olmamalıdır [24].

Şekil 4.16'da görüldüğü gibi L2-L3 Fazları arasında etkin gerilim değerleri ortalama 33,76 kV civarında ve beyan etkin gerilimi 33,6 kV olduğundan %0,48 bir değişim söz konusudur. Görüldüğü gibi gerilim etkin değerindeki değişim oranı oldukça küçük bir değerdedir ve bu değer Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde belirtilen sınır değer olan $\pm\%10$ 'un altındadır. 1 Eylül ve 2 Eylül 2017 tarihlerinde 154 kV trafo bakımı yapılması nedeniyle Şekil 4.16'da etkin gerilimin sıfır seviyesine düştüğü görülmektedir.

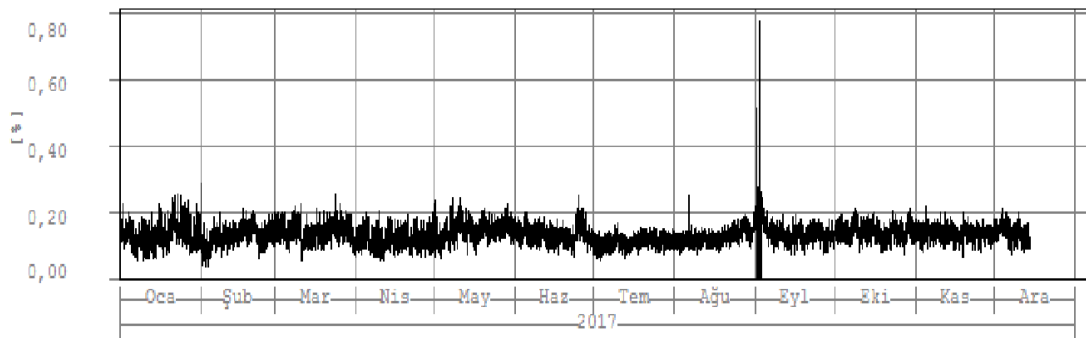


Şekil 4.16. L2-L3 fazlar arası etkin gerilim

4.1.3. Gerilim Dengesizliği

Gerilim dengesizliği faz gerilimlerinin etkin değerlerinin birbirine eşit olmaması ve/veya faz gerilimlerinin açıları arasında 120° şer derece faz farkı olmaması sonucu meydana gelen bir güç kalitesi sorunudur [26]. Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğine göre ölçüm periyodu boyunca ölçülen gerilim negatif bileşeni etkin değerlerinin 10'ar dakikalık ortalamalarının en az %95'inin pozitif bileşenlere oranı en fazla %2 olmalıdır [24].

Şekil 4.17'de görüldüğü gibi üç faz dengesizlik gerilim değerleri ortalama % 0,14 civarındadır. Yani faz gerilimleri hemen hemen birbirine eşit durumda olup istenilen düzeydedir. Dengesizlik gerilim oranı, Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde belirtilen sınır değer %2'nin altındadır. Şekil 4.17'de, 1 Eylül ve 2 Eylül 2017 tarihlerinde 154 kV trafo bakımı yapılması nedeniyle etkin gerilim sıfırlanmış ve dengesizlik gerilimi en yüksek değerine ulaşmıştır.

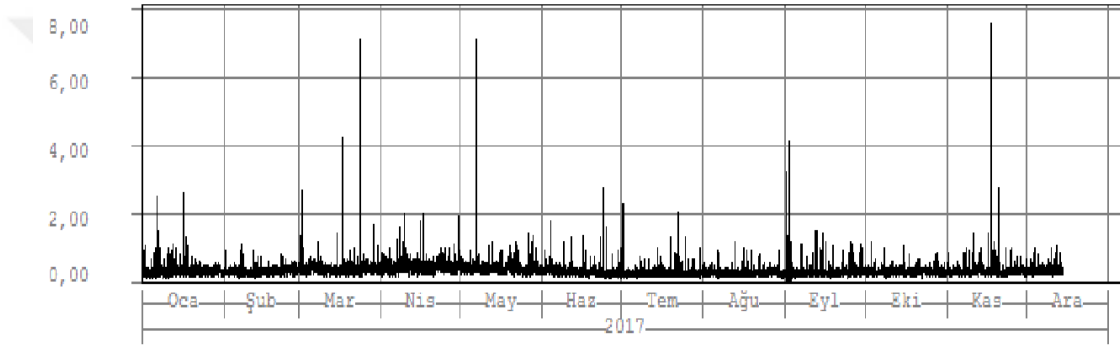


Şekil 4.17. 3 faz dengesizlik gerilimleri

4.1.4. OG’de Fliker

4.1.4.1. Kısa Dönem Fliker

Şekil 4.18’de L1 fazı on dakikalık periyodlarla ölçülen kısa dönem fliker değerleri ortalama 0,34 civarındadır. Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde belirtilen sınır değer 1 olduğundan kısa dönem fliker değeri, sınır değerinin altındadır. 24 Mart 2017, 08.16’da 170,165 ms süreyle etkin gerilimin 16642,37 V ile 38314,71 V arasında dalgalanması ve 7 Mayıs 2017 08.30 – 14.48 saatleri arasında YDM4 H05’ten beslenen fabrikanın bakım talebi üzerine enerji kesintisi olması nedeniyle Şekil 4.18’de kısa dönem fliker değerlerinde anlık yükselmeler görülmektedir.

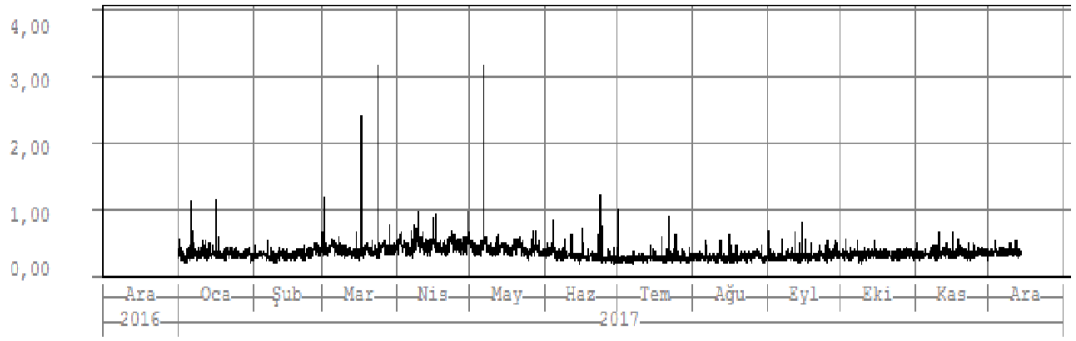


Şekil 4.18. L1 fazı kısa dönem fliker

4.1.4.2. Uzun Dönem Fliker

Şekil 4.19’da L1 fazı iki saatlik zaman aralığı boyunca ölçülen uzun dönem fliker değerleri ortalama 0,36 civarındadır. Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde belirtilen sınır değer 0,8 olduğundan, uzun dönem fliker değeri sınır değerinin altındadır.

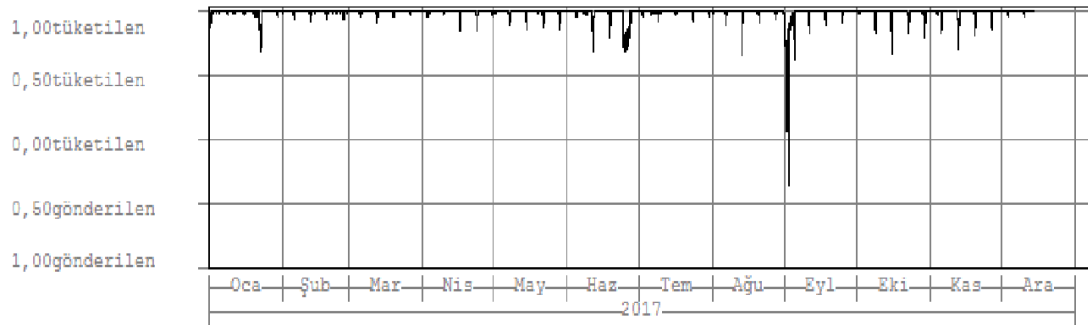
24 Mart 2017, 08.16’da 170,165 ms süreyle etkin gerilimin 16642,37 V ile 38314,71 V arasında dalgalanması ve 7 Mayıs 2017, 08.30 – 14.48 saatleri arasında YDM4 H05’ten beslenen fabrikanın bakım talebi üzerine enerji kesintisi olması nedeniyle Şekil 4.19’da uzun dönem fliker değerlerinde anlık yükselmeler görülmektedir.



Şekil 4.19. L1 fazı uzun dönem fliker

4.1.5. Güç Faktörü

Şekil 4.20’de L1 fazına ait güç faktörü değerleri ortalama 0,99 civarındadır. 17 Şubat 2000 tarih ve 23967 sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Elektrik Projelerinin Hazırlanması ve Elektrik Tesislerinin Gerçekleştirilmesi Sürecinde Güç Faktörünün İyileştirilmesi ile İlgili Tebliğ’de Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ gereğince güç faktörü 0,95 ile 1,0 arasında olmalıdır [27]. Bu nedenle L1 fazına ait güç faktörü değeri istenilen düzeydedir. 1 Eylül 2017, 19.07’de 19,901 ms süreyle gerilimin 18968,73 V seviyesine düşmesi ve 2 Eylül 2017 19.26’da 9,850 ms süreyle gerilimin 21580,85 V seviyesine düşmesi nedeniyle Şekil 4.20’de güç faktörünün -0,357 seviyesine düştüğü görülmektedir.

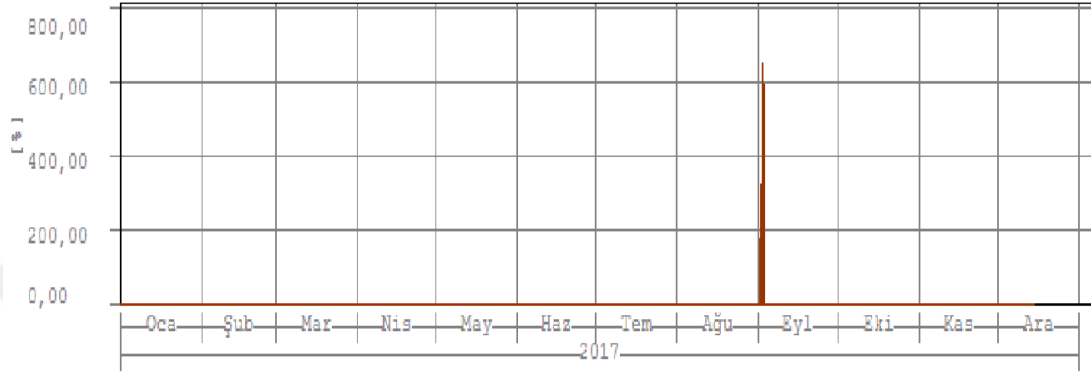


Şekil 4.20. L1 fazı güç faktörü

4.1.6. Toplam Harmonik Bozulma

Şekil 4.21’de görüldüğü gibi L1 fazına ait gerilim için toplam harmonik bozulma değerleri (THB_V) ortalama %1,82 civarındadır. Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde belirtilen sınır değer en

fazla %8 olduğundan, gerilim için toplam harmonik bozulma değeri sınır değerinin altındadır. 1 Eylül 2017 19.07’de 19,901 ms süreyle gerilimin 18968,73 V seviyesine düşmesi ve 2 Eylül 2017 19.26’da 9,850 ms süreyle gerilimin 21580,85 V seviyesine düşmesi nedeniyle gerilim için toplam harmonik bozulma değerinde anlık yükselme görülmüştür.

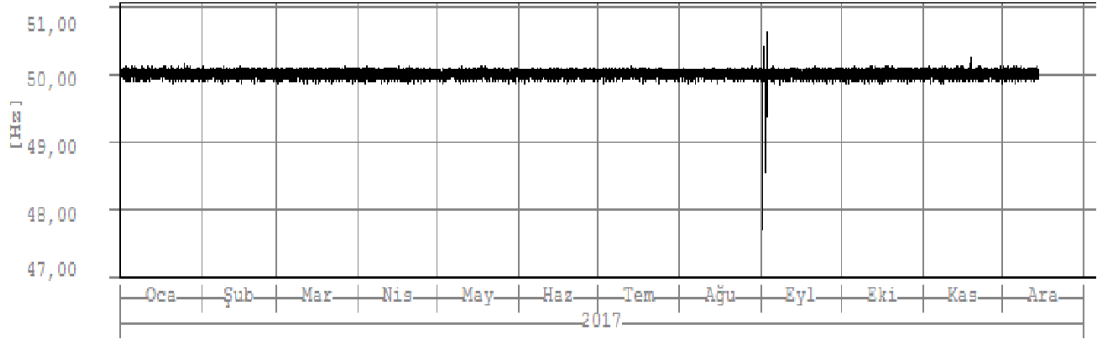


Şekil 4.21. L1 fazı gerilim için toplam harmonik bozulma

4.1.7. Frekans

Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğinde, sistem frekansının 22/01/2003 tarihli ve 25001 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliğinde belirtilen sınırlar içerisinde TEİAŞ tarafından kontrol edileceği belirtilmiştir. 28/5/2014 tarihli ve 29013 sayılı mükerrer Resmi Gazete’de yayımlanan Elektrik Şebeke Yönetmeliğinde, sistemin 50 Hz olan nominal frekansının TEİAŞ tarafından 49,8-50,2 Hz aralığında kontrol edildiği açıklanmıştır [28].

Şekil 4.22’de görüldüğü gibi L1 fazına ait frekans değerleri ortalama 50,003 civarındadır. Dolayısıyla bu değer, Elektrik Şebeke Yönetmeliğinde belirtilen 49,8 – 50,2 Hz aralığında olup, istenilen düzeydedir. 1 Eylül 2017 tarihi saat 19.07’de 19,901 ms süreyle gerilimin 18968,73 V seviyesine düşmesi ve 2 Eylül 2017 tarihi saat 19.26’da 9,850 ms süreyle gerilimin 21580,85 V seviyesine düşmesi nedeniyle frekans değerinde düşme görülmüştür.



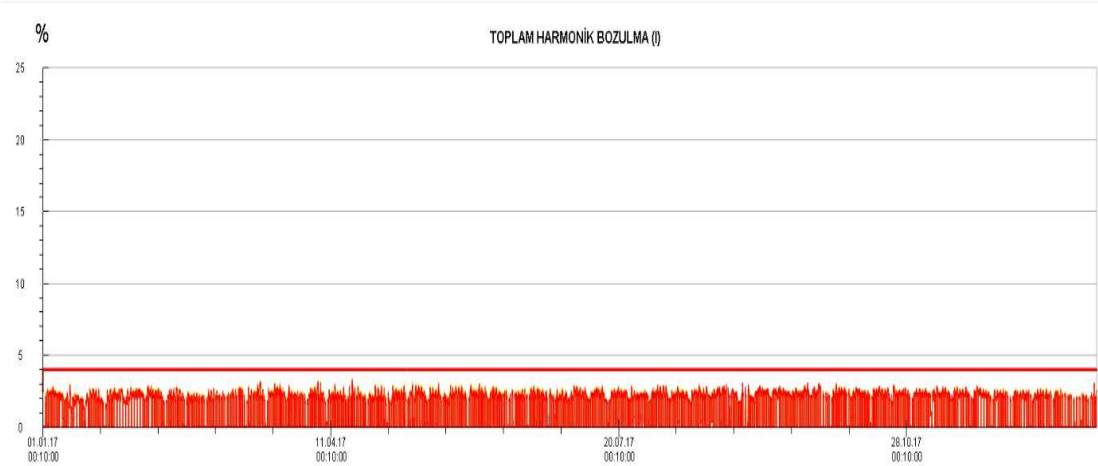
Şekil 4.22. L1 fazı frekansı

4.2. YG Tarafında Veri Analizi

Bu bölümde TEİAŞ tarafından alınan YG güç kalitesi parametrelerine ilişkin analiz sonuçları verilmiştir.

4.2.1. YG’de Toplam Harmonik Bozulma Akım

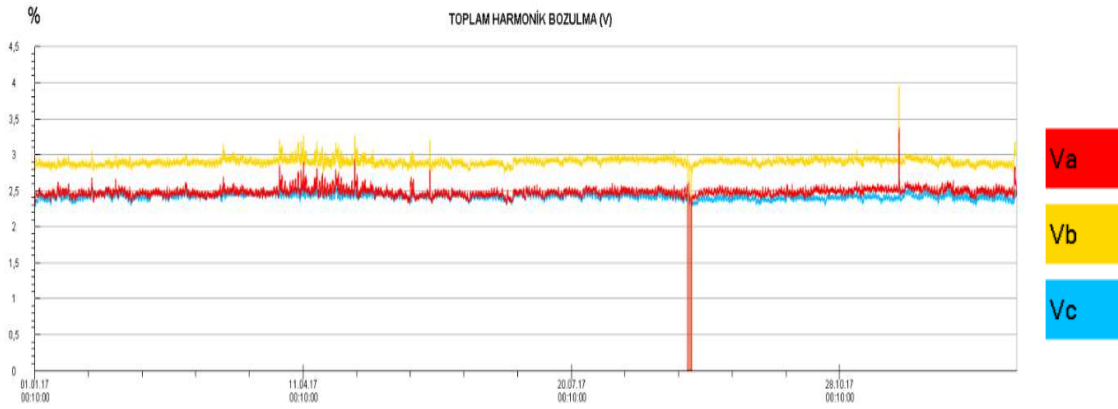
Şekil 4.23’te görüldüğü gibi Manisa OSB Trafo D üç faza ait akım için toplam harmonik bozulma değerleri (THB_I) A fazı için %1,38, B fazı için %1,42 ve C fazı için ortalama %1,4 civarındadır. Elektrik Şebeke Yönetmeliğinde belirtilen sınır değer %4 olduğundan, akım için toplam harmonik bozulma değerleri sınır değerinin altındadır.



Şekil 4.23. YG’de 3 faz toplam harmonik bozulma akım

4.2.2. YG'de Toplam Harmonik Bozulma Gerilim

Şekil 4.24'te görüldüğü gibi Manisa OSB Trafo D üç faza ait gerilim için toplam harmonik bozulma değerleri (THB_V) A fazı için %2,47, B fazı için %2,89 ve C fazı için ortalama %2,4 civarındadır. Elektrik Şebeke Yönetmeliğinde (THB_V) için belirtilen sınır değer %5 olduğundan gerilim için toplam harmonik bozulma değerleri sınır değerinin altındadır. 1 Eylül 2017 ve 2 Eylül 2017 tarihlerinde 154 kV trafo bakımı yapılması nedeniyle enerji kesilmiş ve Şekil 4.24'te görüldüğü gibi gerilim için toplam harmonik bozulma değeri sıfır değerine düşmüştür.

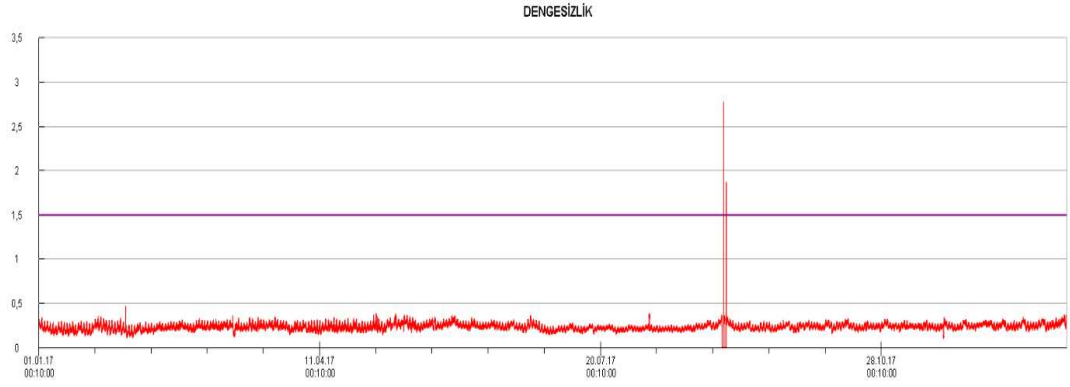


Şekil 4.24. YG'de 3 faz toplam harmonik bozulma gerilim

4.2.3. YG'de Gerilim Dengesizliği

TS EN 50160 Standardına göre normal çalışma şartları altında, bir haftalık her bir periyod boyunca besleme geriliminin negatif faz sıralı bileşeninin 10 dakikalık ortalama etkin değerlerinin %95'i, pozitif faz sıralı bileşeninin %0 ile %2 aralığında olmalıdır. Bazı bölgelerde, üç fazlı şebeke bağlantı noktalarında yaklaşık %3'e kadar dengesizlikler meydana gelebilir [29].

Şekil 4.25'te görüldüğü gibi Manisa OSB Trafo D dengesizlik gerilim değerleri ortalama %0,23 civarındadır. TS EN 50160 Standardına göre bu değer, sınır değerlerinin altındadır. 1 Eylül 2017 ve 2 Eylül 2017 tarihlerinde 154 kV trafo bakımı yapılması nedeniyle etkin gerilim sıfırlanmış ve Şekil 4.25'te görüldüğü gibi gerilim dengesizliği en yüksek değerine ulaşmıştır.

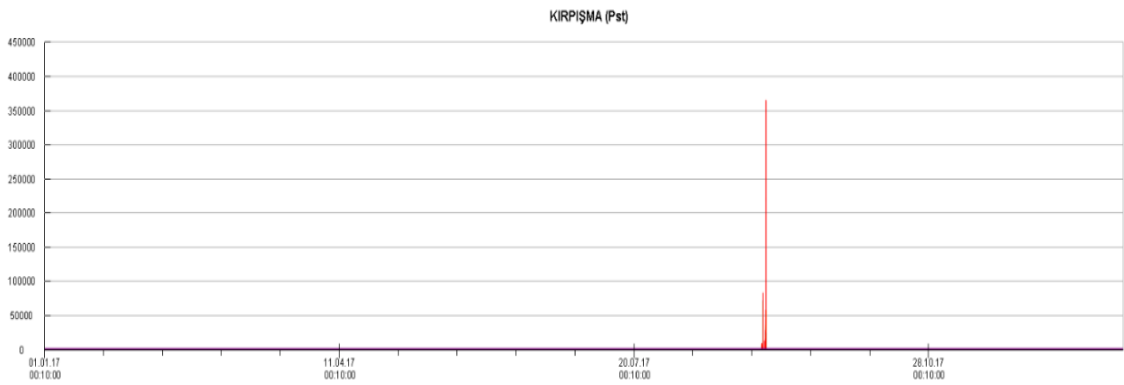


Şekil 4.25. YG tarafında gerilim dengesizliği

4.2.4. YG’de Fliker

4.2.4.1. Kısa Dönem Fliker

Şekil 4.26’da görüldüğü gibi Manisa OSB Trafo D üç faza ait kısa dönem fliker değerleri (P_{st}) A fazı için 0,37, B fazı için 0,34 ve C fazı için ortalama 0,37 civarındadır. Elektrik Şebeke Yönetmeliğinde kısa dönem fliker (P_{st}) için belirtilen sınır değer 0,97 olduğundan, üç faza ait kısa dönem fliker değerleri sınır değerinin altındadır. 1 Eylül 2017 ve 2 Eylül 2017 tarihlerinde 154 kV trafo bakımı yapılması nedeniyle etkin gerilim sıfırlanmış ve kısa dönem fliker en yüksek değerine ulaşmıştır.

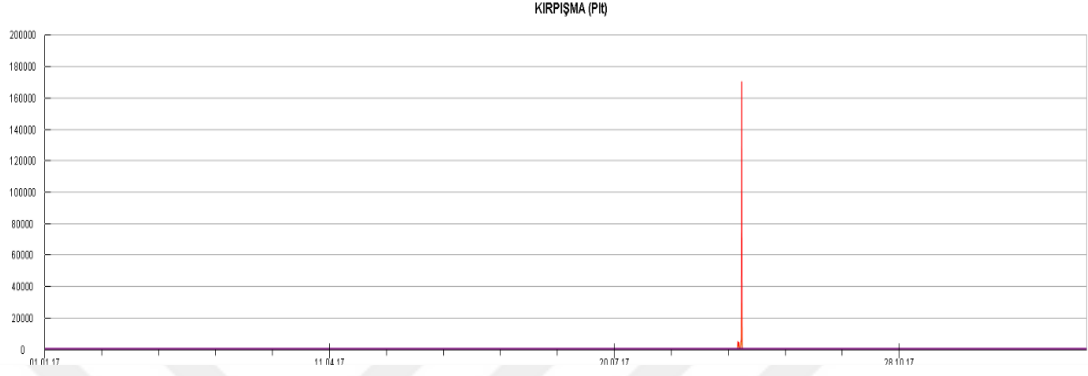


Şekil 4.26. YG’de üç faz kısa dönem fliker

4.2.4.2. Uzun Dönem Fliker

Şekil 4.27’de görüldüğü gibi Manisa OSB Trafo D üç faza ait uzun dönem fliker değerleri (P_{lt}) A fazı için 0,44, B fazı için 0,39 ve C fazı için ortalama 0,41

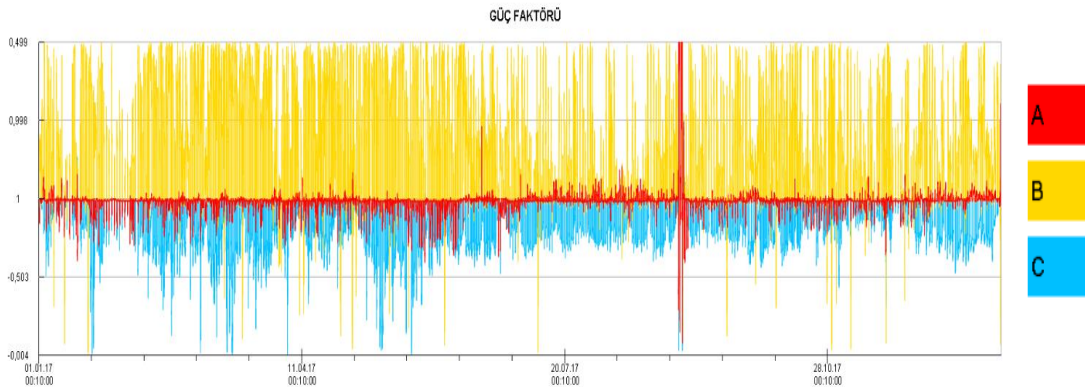
civarındadır. Elektrik Şebeke Yönetmeliğinde uzun dönem fliker (P_{lt}) için belirtilen sınır değer 0,72 olduğundan, üç faza ait uzun dönem fliker değerleri sınır değerinin altındadır. 1 Eylül 2017 ve 2 Eylül 2017 tarihlerinde 154 kV trafo bakımı yapılması nedeniyle etkin gerilim sıfırlanmış ve uzun dönem fliker en yüksek değerine ulaşmıştır.



Şekil 4.27. YG'de üç faz uzun dönem fliker

4.2.5. YG'de Güç Faktörü

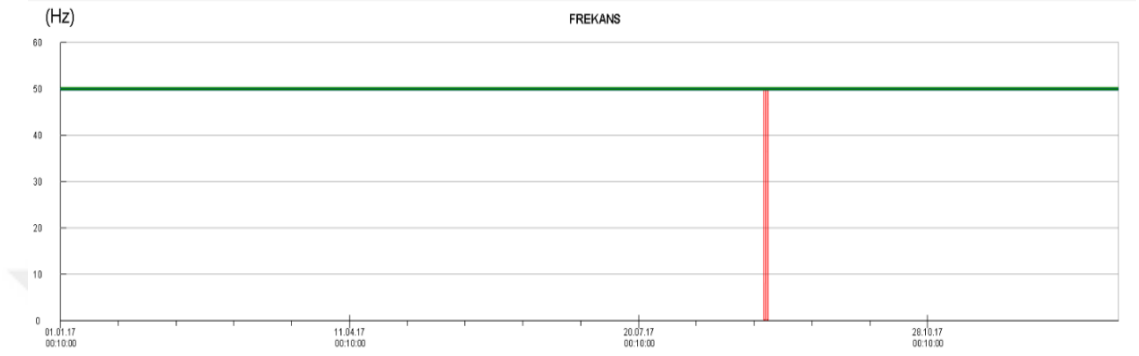
Şekil 4.28'de görüldüğü gibi güç faktörü değerleri A fazı için 0,98, B fazı için 0,99 ve C fazı için ortalama 0,97 civarındadır. Üç faz için de güç faktörü değerleri, 0,95 ile 1,0 arasında olduğu için istenilen düzeydedirler. 1 Eylül 2017 ve 2 Eylül 2017 tarihlerinde 154 kV trafo bakımı yapılması nedeniyle etkin gerilim sıfırlanmış ve Şekil 4.28'de görüldüğü gibi güç faktörü en düşük değerine ulaşmıştır.



Şekil 4.28. YG'de üç faza ait güç faktörü

4.2.6. YG'de Frekans

Şekil 4.29'da frekans ortalama 49,99 Hz olduğundan, Elektrik Şebeke Yönetmeliğindeki 49,8-50,2 Hz sınırları içerisinde bulunmaktadır. 1 Eylül 2017 ve 2 Eylül 2017 tarihlerinde 154 kV trafo bakımı yapılması nedeniyle enerji kesilmiş ve Şekil 4.29'da görüldüğü gibi frekans sıfır değerine düşmüştür.



Şekil 4.29. YG tarafında frekans

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Enerjiye olan talebin giderek artması, sanayinin gelişmesi beraberinde güç elektroniği elemanlarının kullanımının yaygınlaşmasına, bunun sonucunda da doğrusal olmayan yüklerin artmasına neden olmaktadır. Bütün bu gelişmeler güç kalitesi problemlerini meydana getirmektedir. Güç kalitesi problemlerinin izole edilmesi kullanıcılar açısından özellikle sanayi işletmeleri için bir zorunluluk haline gelmiştir. Güç kalitesi problemleri analiz edilerek gerekli tedbirler alınmalıdır.

Bu çalışmada Manisa Organize Sanayi Bölgesinde YDM 13 dağıtım merkezinden beslenen fabrikaların yüklerinin OG ve YG bazında güç kalitesi analizleri yapılmıştır. OG bazında yapılan analizlerde; 25. mertebeye kadar tekil akım harmonikleri incelenmiş, bunlar içerisinde özellikle 5'inci ve 7'nci; daha sonra 11'inci ve 13'üncü harmoniklerin diğer akım harmoniklerine göre daha yüksek değerlerde olduğu tespiti yapılmıştır. Diğer güç kalitesi parametrelerine ait değerlerin standartlardaki sınır değerler içerisinde kaldığı grafiklerden de anlaşılmaktadır. Yine YG bazında yapılan güç kalitesi analizlerinde toplam akım ve gerilim harmonikleri, gerilim dengesizliği, kısa ve uzun dönem fliker ve frekans değerlerinin Elektrik Şebeke Yönetmeliğinde belirtilen sınır değerler içinde kaldığı ve istenilen düzeylerde olduğu gözlenmiştir.

Sonuç olarak güç kalitesi parametre değerlerinin işletmelerin daha verimli çalışabilmesi adına düzenli olarak takip edilmesi ve bu değerlerin analiz edilerek varsa standart değerler dışında kalan parametrelerin ele alınarak sorunların giderilmesi gerekmektedir. Organize Sanayi Bölgelerinde farklı yük karakteristikleri durumları içinde akıllı durum izleme algoritmaları ile çalışmalar yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A., Arıkan, O. Elektrik Tesislerinde Harmonikler. Birsen Yayınevi, İstanbul, 2003, 1-1,13-15
2. Manias, S. Harmonic Treatment in Industrial Power Systems. IEEE PSC-02, Haziran, 2002, Atina, 115 s.
3. Teke, A., Meral, M.E., Tümay, M., Bayındır, K.Ç. Türkiye'nin Güney Sanayi Bölgelerindeki Güç Kalitesi Üzerine Bir Araştırma. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi.2009, 14(2), 23-31.
4. Eroğlu, H. Bir Dağıtım Şebekesinin Güç Kalitesi ve Harmonikler Yönünden İncelenmesi. Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya, 2009, 207 s. (Yüksek Lisans Tezi).
5. Akyel, A. Elektrik Enerji Sistemlerinde Güç Kalitesinin İncelenmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2011, 101 s. (Yüksek Lisans Tezi).
6. Öztürk, S.D. Labview Tabanlı Gelişmiş Güç Kalitesi Analizörü. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, 2010, 94 s. (Yüksek Lisans Tezi).
7. Yılmaz, M. Elektrik Sistem Tasarımında Harmoniklerin Giderilmesi İçin Bir Analiz. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2006, 98 s. (Yüksek Lisans Tezi).
8. Anand, V., Srivastava S.K. Causes, Effects and Solutions of Poor Quality Problems in the Power Systems. Vikash Anand et al Int. Journal of Engineering Research and Applications. 2014, 4(5), 67-74.
9. Rojin, R.K., A Review of Power Quality Problems And Solutions in Electrical Power System. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. 2013, 2(11), 5605-5614.
10. Gökozan H. Endüstriyel Tesislerde Güç Kalitesinin İzlenmesi Analizi ve Uygun Harmonik Filtre Seçimi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Sakarya, 2011, 110 s. (Doktora Tezi).
11. Laughton, M.A., Warne, D.F., Electrical Engineer's Reference Book, Stones, J., Section H. Power Systems, 43. Power Quality, 2-9, Elsevier, 2003.
12. Arrillaga, J., Watson, N. R., Power System Harmonics, John Wiley&Sons Ltd. 20-386, 2003.
13. Ribeiro, P., Johnson, B., Crow, M., Arsoy, A., Liu, Y. Energy Storage Systems for Advanced Power Applications. Proceedings of the IEEE. 2001, 89, 12.

14. Ferracci, P., no. 199 Power Quality, Schneider Electric's Collection technique, 2001.
15. Seymour, J. The Seven Types of Power Problems. The Schneider Electric White Paper. 2008, 18 (1) , 1-21.
16. Dugan, Roger C., McGranaghan, Mark F., Santoso, Surya & Beaty, H. Wayne Electrical Power Systems Quality. (2nd Edition), McGraw-Hill, 2003, 525 s.
17. Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete, Sayı:27052, 12 Kasım 2008.
18. Monedero, I., Leon, C., Ropero, J., Garcia, A., Elena, J. M., Montano, J. C. Classification of Electrical Disturbances in Real Time Using Neural Network. IEEE Transactions on Power Delivery. 2007, 22(3), 1288-1296.
19. Kusko, A., Thompson M. T., Power Quality in Electrical Systems, McGraw-Hill, Amerika Birleşik Devletleri, 2007, 215 s.
20. Adak, S. Enerji Sistemlerinde Harmonik Distorsiyonunun Azaltılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2003, 127 s. (Doktora Tezi).
21. Altıntaş, A. Güç Elektroniği Uygulamalarında Harmonik Analiz Sonuçlarının Yüzey Uydurma İle Üç Boyutlu Gösterimi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi. 2006, 10, 61-74.
22. Power Quality Analyser UMG 511 Installation and commissioning Dok Nr. 1.037.029.2k Firmware 1.2 Article no. 33.03.089
23. Network visualisation software GridVis®, <http://www.janitza.com> (Erişim Tarihi: 12/07/2019).
24. Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı:28504, 21 Aralık 2012.
25. Şebekede Gizli Tehlike Harmonikler, <http://www.3eelectrotech.com.tr> (Erişim Tarihi: 13/07/2019).
26. E. F. Fuchs, M. A. S. Masoum, Power Quality in Power Systems and Electrical Machines. Elsevier Academic Press. 2008.
27. Elektrik Projelerinin Hazırlanması ve Elektrik Tesislerinin Gerçekleştirilmesi Sürecinde Güç Faktörünün İyileştirilmesi ile İlgili Tebliğ'de Değişiklik Yapılmasına Dair Tebliğ, Resmi Gazete, Sayı:23967, 17 Şubat 2000.
28. Elektrik Şebeke Yönetmeliği, Resmi Gazete, Sayı:29013, 28 Mayıs 2014.

29. Ünlüsoy, B., Enerji Kalitesi, TS EN 50160 Standardı ve Ülkemizdeki Uygulamaları.



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet TETİK
Doğum Yeri ve Yılı : Yerköy, 1976
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : mehmettetik@sanayi.gov.tr

Eğitim Durumu

Lise : Gaziantep Fen Lisesi, 1993
Lisans : Selçuk Üniversitesi, Elektrik-Elektronik
Mühendisliği Bölümü, 1999
Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, 2019

Mesleki Deneyim

TEDAŞ Manisa İl Müdürlüğü	2000 – 2013
Manisa Sanayi ve Teknoloji İl Müdürlüğü	2013 – ...(Halen)