



**T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ENERJİ KALİTESİ BAKIMINDAN BİR SAĞLIK
TESİSİNİN İNCELENMESİ**

ÖZKAN ALKAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK VE BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. SALİH TOSUN**

DÜZCE, 2018

T.C.
DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK ENERJİ KALİTESİ BAKIMINDAN BİR SAĞLIK
TESİSİNİN İNCELENMESİ

Özkan ALKAN tarafından hazırlanan tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Bilgisayar Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Salih TOSUN

Düzce Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Salih TOSUN

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Uğur GÜVENÇ

Düzce Üniversitesi

Doç. Dr. Yusuf SÖNMEZ

Gazi Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: 28/12/2018

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün aşamalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

28 Aralık 2018

(İmza)

Özkan ALKAN

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimimde ve bu tezin hazırlanmasında gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı çok değerli hocalarım Doç. Dr. Salih TOSUN ve Doç. Dr. Uğur GÜVENÇ hocalarıma en içten dileklerle teşekkür ederim.

Hayatım boyunca beni her konuda destekleyen, bugünlere gelmem de sevgileri ve emekleri ile en büyük paya sahip olan, başarılı olacağıma benden fazla inanarak bana yardımcı olan annem, babam ve kıymetli eşime sonsuz teşekkür ederim.

Tezim boyunca bilgi ve desteğini hiç esirgemeyen, en zor anlarımda yardımcı olan ve hayatta çok değer verdiğim kardeşim ve meslektaşım Yüksek Elektrik-Elektronik Mühendisi Özge ALKAN'a sonsuz teşekkür ederim.

28 Aralık 2018

Özkan Alkan

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ŞEKİL LİSTESİ.....	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR.....	ix
SİMGELER	x
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. LİTERATÜR ÖZETİ.....	1
2. HARMONİKLER.....	10
2.1. HARMONİKLERE AİT TEMEL KAVRAMLAR	11
2.1.1. Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD).....	11
2.1.2. Toplam Talep Distorsiyonu (TTD).....	11
2.1.3. Şekil Faktörü	11
2.1.4. Tepe Faktörü	12
2.1.5. Distorsiyon Güç Faktörü	12
3. HARMONİKLERİN SEBEPLERİ.....	13
3.1. HARMONİK BİLEŞEN İÇEREN DEVRELER	13
3.1.1. Kaynağı Sinüs Olan Lineer Olmayan Devre	13
3.1.2. Kaynağı Düzgün Sinüs Olmayan Lineer Devre	13
3.1.3. Kaynağı Düzgün Sinüs Olmayan Lineer Olmayan Devre.....	13
3.2. HARMONİK ÜRETEN ELEMANLAR.....	13
3.2.1. Transformatörler	13
3.2.2. Generatör ve Motorlar	14
3.2.3. Güç Elektroniği Devre Elemanları.....	14
3.2.4. Doğru Akım Enerji İletim Hattı	14
3.2.5. Statik Volt Amper Reaktif Generatörü.....	15
3.2.6. Kesintisiz Güç Kaynağı.....	15
3.2.7. Aydınlatma Elemanları	15
3.2.8. Fotovoltaik Sistem	16
3.2.9. Ark Ocakları.....	16
4. HARMONİKLERİN ETKİLERİ	17
4.1. ENERJİ KALİTESİNE ETKİLERİ	17
4.2. ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNE ETKİLERİ	17
4.2.1. Harmoniklerin Kayıplara Etkisi.....	18

4.2.2. Direnç ve Reaktansa Etkisi	18
4.2.3. Kondansatörlere Etkisi.....	18
4.2.4. Transformatörlere Etkisi.....	18
4.2.5. Döner Makinelere Etkisi.....	18
4.2.6. Rölelere Etkisi.....	19
4.2.7. Ölçü Aletlerine Etkisi.....	19
4.2.8. Haberleşme Şebekesine Etkisi.....	19
4.2.9. Elektronik Devrelere Etkisi.....	19
4.2.10. İletim Hatlarına Etkisi.....	20
4.2.11. Güç Faktörüne Etkisi.....	20
4.2.12. Harmoniklerin Rezonans Olayına Etkisi.....	20
5. HARMONİKLERİN FİLTRE EDİLMESİ	21
5.1. TASARIM AŞAMASINDA ALINAN TEDBİRLER.....	21
5.2. AKTİF FİLTRE YÖNTEMİ	22
5.3. PASİF FİLTRE YÖNTEMİ	24
5.3.1. Seri Filtre	25
5.3.2. Şönt Filtreler	26
5.3.2.1. Tek Ayarlı Filtreler	26
5.3.2.2. Çift Ayarlı Filtreler	27
5.3.2.3. Sönümlü Filtreler	28
6. HARMONİK ANALİZİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER... 30	
6.1. ÖLÇME YÖNTEMİ.....	30
6.2. HARMONİKLERİN MATEMATİKSEL İFADESİ.....	30
6.3. HARMONİKLERİN MODELLENMESİ.....	31
7. MATERYAL, YÖNTEM VE TASARIM	33
7.1. HARMONİK ANALİZİNDE KULLANILAN ÖLÇME CİHAZI	34
7.2. ANALİZ SONUÇLARININ YORUMLANMASI	37
7.3. PASİF FİLTRE TASARIMI VE GÜÇ SİSTEMİN MODELLENMESİ	41
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	50
9. KAYNAKLAR	52
10. EKLER	56
10.1. EK-1: ANALİZATÖR BAĞLANTILARI.....	56
10.2. EK-2: ANALİZ SONUCU ELDE EDİLEN GRAFİKLER.....	57
ÖZGEÇMİŞ	62

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Harmonik bileşenler.	10
Şekil 3.1. Kesintisiz güç kaynağı blok diyagramı.	15
Şekil 5.1. Aktif filtre çalışma mantığı.....	22
Şekil 5.2. Paralel aktif filtre.	23
Şekil 5.3. Seri aktif filtre.....	23
Şekil 5.4. Birleştirilmiş güç kalite düzeltici filtre.	23
Şekil 5.5. Hibrit filtre.	24
Şekil 5.6. Pasif filtre.	25
Şekil 5.7. Seri filtrenin devreye bağlanması.	25
Şekil 5.8. Şönt filtrenin devreye bağlanması.	26
Şekil 5.9. Tek ayarlı filtre.	26
Şekil 5.10. Çift ayarlı filtre.	27
Şekil 5.11. Çift ayarlı filtrenin empedans değişimi.	28
Şekil 5.12. Sırasıyla 1 derece, 2. derece, 3. derece ve C tipi sönümlü filtre.....	28
Şekil 5.13. Sönümlü filtrenin frekans empedans değişimi.	28
Şekil 6.1. Hastane tek hat şeması.....	32
Şekil 7.1. Ölçüm alınan analizatör.....	34
Şekil 7.2. Analizatörün bara sistemine bağlanması.	34
Şekil 7.3. Analizatör durum ekranı.	35
Şekil 7.4. Analizatörün ölçüm ayarlarının yapıldığı ekran.	36
Şekil 7.5. Analizatörün kayıt ayarlarının yapıldığı ekran.	36
Şekil 7.6. Harmonik analizi sonucu elde edilen haftalık harmonik grafiği.	38
Şekil 7.7. Harmonik analizi sonucu elde edilen toplam harmonik açısız grafiği.	39
Şekil 7.8. Bir haftalık akım ortalama THD grafiği.	39
Şekil 7.9. Hafta içi 28.11.2017-29.11.2017 tarihleri arasında 24 saatlik akım ortalama THD grafiği.	40
Şekil 7.12. Akım harmoniklerinin simülasyon programı üzerindeki filtresiz görüntüsü.....	46
Şekil 7.13. Akım harmoniklerinin simülasyon programında FFT analizi.	46
Şekil 7.14. Akım harmoniklerinin simülasyon programında bar grafik FFT analizi.	47
Şekil 7.15. Akım harmoniklerinin filtrele eklenmiş halinin simülasyon programı üzerindeki görüntüsü.....	47
Şekil 7.16. Akım harmoniklerinin filtrelenmiş halinin simülasyon programında bar grafik FFT analizi.	48

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 7.1. Harmonik analizi sonucu elde edilen veriler.	37
Çizelge 7.2. Filtre değerleri.	44
Çizelge 7.3. Yük, filtre öncesi, filtre sonrası ve filtre değerlerinin özeti.....	37



KISALTMALAR

AA	Alternatif Akım
AGF	Aktif Güç Filtresi
ATDH	Akım Toplam Harmonik Distorsiyonu
AVG	Ortalama Değer
DA	Doğru Akım
DFIG	Doubly Fed Induction Generator
FFT	Hızlı Fourier Dönüşümü
FLC	Fuzzy Logic Controller
GA	Genetik Algoritma
HAGF	Hİbrit Aktif Güç Filtresi
IEEE	Institute of Electrical And Electronics Engineers
KF	Kalman Filtresi
PHF	Pasif Harmonik Filtre
PV	Fotovoltaik
PWM	Darbe Genişlik Modülasyonu
STF	Self-Tuning Filter
ŞAGF	Şönt Aktif Güç Filtresi
THBi	Toplam Harmonik Bozulma
THD	Toplam Harmonik Distorsiyonu
THDi	Toplam Harmonik Distorsiyonu Akım İçin
THDv	Toplam Harmonik Distorsiyonu Gerilim İçin
TTD	Toplam Talep Distorsiyonu
VTHD	Voltaj Toplam Harmonik Distorsiyonu
YSA	Yapay Sinir Ağı
YZ	Yapay Zeka

SİMGELER

A	Amper
C	Kapasite
C_n	Fourier Serisi n.harmonik sabiti
C_0	Fourier Serisi Sabit Sayı
C_1	Fourier Serisi 1.harmonik sabiti
C_2	Fourier Serisi 2.harmonik sabiti
f_r	Rezonans Frekansı
$f(x)$	Fonksiyon
Hz	Hertz
I	Akım
I_L	Yükün Maksimum Akımı
I_{mn}	n. Akım Değeri
I_{m1}	1. Akım Değeri
I_{m2}	2. Akım Değeri
I_n	n. Harmonik Akımı
I_0	Akım Değeri
I_1	Temel Harmonik Akımı
i(t)	Fonksiyon
j	Karmaşık Sayı İfadesi
k	Paralel Kol Sayısı
kA	Kilo Amper
k_f	Şekil Faktörü
kVA	Kilo Volt Amper
kVA _r	Kilo Volt Amper Reaktif
kW	Kilo Watt
L	Endüktans
L_n	n. Harmoniğin Endüktansı
L_s	Kaynak Özendüktansı
Mv	Mili Volt
MW	Mega Watt
n_x	n. Bilinmeyen
P	Akitif Güç
Q	Reaktif Güç
Q_c	Kondansatör Kapasitesi
Q_f	Kalite Faktörü
R	Direnç
R_n	n. Bileşen Direnci
R_1	Temel Bileşen Direnci
S	Görünür Güç
sin	Sinüs
V	Gerlim
V_{bara}	Bara Gerilimi

V_n	n. Harmonik Gerilimi
V_1	Temel Harmonik Gerilimi
X_{Cn}	n. Harmonik Kapasitif Reaktansı
X_{Cr}	Kapasitör Rezonans Reaktansı
X_{Ln}	n. Harmonik Endüktif Reaktansı
X_{Lr}	Endüktans Rezonans Reaktansı
X_r	Rezonans Reaktansı
X_{rn}	n. Harmoniğin Rezonans Reaktansı
y	Fonksiyon
Z	Empedans
Z_f	Filtre Empedansı
ω	Açısal Frekans
ω_c	Kondansatör Açısal Frekansı
ω_n	n. Harmoniğin Açısal Frekansı
ω_L	Bobin Açısal Frekansı
φ_n	n. Harmonik Faz Açısı
%	Yüzde
δ	Delta Sabiti
Σ	Toplam Sembolü
π	Pi Sayısı

ÖZET

ELEKTRİK ENERJİ KALİTESİ BAKIMINDAN BİR SAĞLIK TESİSİNİN İNCELENMESİ

Özkan ALKAN

Düzce Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Salih TOSUN

Aralık 2018, 61 sayfa

Elektrik enerji kalitesinin belirlenmesinde kriterlerden bir tanesi de harmoniklerdir. Şebekeyi olumsuz etkileyen harmonik etkilerin eliminasyonu önemlidir. Harmoniklerin etkilerini ortadan kaldırmak veya en aza indirmek amacıyla pasif güç filtreleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada tesis olarak önemli bir kurum olan Düzce Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi enerji sistemi incelenmiştir. Harmonik analizi sonucu elde edilen veriler, bilgisayar ortamına taşınarak MATLAB/Simulink’de modellenmiştir. Benzetim çalışması sonucu pasif filtre tasarlanarak bozucu etkiler elimine edilmiştir. Tasarımlardan elde edilen sonuçların analizi incelendiğinde; elde edilen sonuçlar Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (IEEE) harmonik limitleri içerisinde olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Enerji kalitesi, Harmonik analizi, Modelleme, Pasif filtre.

ABSTRACT

INVESTIGATION OF A HEALTH FACILITY BY ELECTRICITY ENERGY QUALITY MAINTENANCE

Özkan ALKAN
Düzce University
Graduate School of Natural and Applied Sciences,
Department of Electric Electronics and Computer Engineering
Master of Science Thesis
Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Salih TOSUN
December 2018, 61 pages

Harmonics in determining the quality of energy in electrical power systems and installations are important. These harmonics which cause adverse effects must be eliminated. Passive power filters are widely used to eliminate or limit the effects of harmonics in electrical installations or operations. In this study, the Duzce University Research and Application Hospital which is an important institution was taken up. As a result of the harmonic analysis, the plant is modeled in MATLAB / Simulink by moving to the computer environment. As a result of simulation, a passive filter was designed and the destructive effects were eliminated. When the analysis results obtained from the designs are examined, it is observed that the harmonic limits are within the The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) standards.

Keywords: Energy quality, Harmonic analysis, Modeling, Passive filter,

1. GİRİŞ

Son yıllarda günlük hayatımızda kullandığımız elektrik enerjisini etkileyen birçok faktör mevcuttur. Harmonik etkileri enerji kalitesini etkileyen temel faktörlerdendir. Elektrik enerji sisteminde harmonikleri oluşturan kaynakların varlığının yanında, harmoniklerinde sistem üzerine etkileri bulunmaktadır. Transformatörler, generatörler, motorlar, güç elektroniği devre elemanları, kesintisiz güç kaynakları harmonik oluşturan kaynakların başında gelmektedir. Özellikle yarı iletken anahtarlama elemanlarının gelişmesine bağlı olarak elektrik devrelerinde harmonik etkileri oldukça fazla görülmeye başlanmıştır. Harmoniklerin elektrik enerji sistemine etkileri ise; kayıpların artması, döner makinelere etkileri, ölçü aletlerine etkisi, elektronik devrelere etkisi, haberleşme şebekesine etkisi, güç faktörüne etkisi, rezonansa etkisi olarak sıralanabilir. Harmonik etkileri en aza indirmek yada yok etmek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu harmonik eliminasyonunun en önemli amacı elektrik enerji kalitesini artırmaktır.

Bir tesisin elektrik enerji kalitesinin artırılması mümkündür. Bunun için yapılması gereken temel işlem tesisin elektrik enerji kalitesinin saptanmasıdır. Ancak bu sayede harmonik etkiler tespit edilerek gerekli önlemler alınabilir. Tespit edilen veriler neticesinde tesisin enerji kalitesinin analizi yapılarak sistem üzerindeki bozucu etkiler yok edilebilir. Çeşitli filtre tasarımları yapılarak bozucu etkiler yok edilebilir. Filtrelerin temel görevi temel akımın üzerindeki harmonik akımlarını yok etmektir. Bu sayede daha kaliteli ve harmoniklerden arındırılmış bir elektrik enerjisi ile sistemi beslemek mümkün olacaktır.

1.1. LİTERATÜR ÖZETİ

Dünyada farklı işletmeler ve sistemler üzerinde harmonik analizleri yapılarak filtreleme işlemleri yapılan çalışmalar mevcuttur. Bu bilimsel çalışmaların ortak amacı enerji kalitesinin artırılmasıdır. Elektronik cihazların her geçen gün hayatımızda önemli bir yer tutmasıyla harmonik etkilerin sistemleri etkileme oranı artmıştır. Çalışmalar neticesinde bu bozucu etkileri yok edecek filtrelerin tasarımı yapılarak, elektrik enerjisi

harmoniklerden arındırılmıştır. Literatür taraması yapıldığında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde bozucu etkilerin enerji kalitesi açısından önemli olduğu ve yok edilmesinin de sistemler üzerinde gereklilik arz ettiği görülmüştür. Bu çalışmalar:

Yu ve arkadaşları bu çalışmada, güç kalitesini arttırmak için orta gerilim (10 kV) dağıtım ağına bağlı Hibrid Aktif Güç Filtresini (HAGF) kullanarak analiz etmişlerdir. HAGF'nin ana devresini tasarlamak ve optimize etmek için geliştirilmiş Parçacık Sürüsü Optimizasyonu'na (PSO) dayalı çok amaçlı bir optimizasyon algoritması önermişlerdir. Simülasyon ve deneysel sonuçlar, HAGF için ana devre tasarımının ve optimizasyonunun doğru ve etkili olduğunu göstermişlerdir [1].

Chang ve Low'un yaptığı çalışmada bir yapay sinir ağını ve bir genetik algoritmayı (YSA/GA), harmonik akım kaynakları altında bir çoklu veri sistemi için büyük ölçekli Pasif Harmonik Filtrelerin (PHF) planlamasında birleştiren bir yöntem sunmuşlardır. Bu makalede amaç, filtrenin maliyetini, güç kaybını, harmonik akımların toplam talep bozulmasını ve her birindeki gerilimler toplam harmonik distorsiyonunu en aza indirmektir. Bir çelik fabrikasındaki harmonik problemlere optimal bir çözüm için bir araştırma yapılarak, harmonik filtrelerin performansının orijinal tasarıma kıyasla önemli ölçüde arttığını belirlemişlerdir [2].

Mahajan ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği çalışmada, yüksek gerilim uygulamaları için farklı yükleme koşulları altında harmonik kompanzasyon ve Doğru Akım (DA) voltaj regülasyonu için 5 kademeli H-köprü invertörü için Yapay Zeka (YZ) tabanlı bir denetleyici göstermişlerdir. Önerilen topolojide, dengeleme akımı elde etmek için Yapay Sinir Ağı (YSA) uygulanır ve iki Fuzzy Logic Controller (FLC), Doğru Akım voltaj regülasyonu ve akım hata ayarı için tasarlanmıştır. YSA tabanlı anlık güç teorisi referans akım tahmini için uygulayıp, simülasyon sonuçları, doğrusal olmayan yükler olarak bobin direncinin kondansatör direncine oranı ile diyot köprü doğrultucu için MATLAB / SIMULINK'de elde etmişlerdir. Kaynak Akımdaki Toplam Harmonik Bozulma (THBi) sonuçları değerlendirmek için kriter olarak kullanmışlardır. YZ tabanlı kontrolör kullanılarak elde edilen THBi, IEEE 519, 1992 standardına göre önerilen yöntem, dSPACE 1103 ara yüzü ile prototip geliştirerek deneyler yoluyla doğrulamışlardır [3].

Endüstriyel ve büyük ticari tesisler için paralel filtreler genellikle beklendiği kadar etkili değildir. Filtreleme özelliklerinin değiştirilmesinde çeşitli faktörler katkıda bulunur, bu

yüzden filtre etkinliğini azaltır. Bu faktörler, beklenen varyasyonlarını gösterir ve bir filtrenin empedans profili üzerindeki etkilerini nasıl hesaplayacağını gösterir. Rezonans ve antirezonans frekanslarının maksimum varyasyonu hesaplanır. Pinceti ve Prando gerçekleştirdiği bu çalışmada filtre özelliğinin her bir parametreye duyarlılığı hesaplamışlardır [4].

Pereira ve arkadaşları bu makalede şebekeye bağlı invertörlerin empedans modellemesi ile harmonik akım tahminin 1,4 MW'lık bir fotovoltaik (PV) tesisi örnek çalışmasını gerçekleştirmişlerdir. Şebekeye bağlı invertörler, PV tesislerinin elektrik şebekesine başarılı bir şekilde entegre edilmesinden sorumludur. Harmonik akım katkısının harmonik gerilimi bileşenlerinin bir fonksiyonu olarak hesaplanması amaçlanmıştır. Sonuçlar, empedans modellerinin, PV tesisler tarafından ortak bağlantı noktasında yayılan harmonik akımın hassas bir şekilde temsil edebileceğini göstermişlerdir [5].

Bu çalışmada Tey ve arkadaşları, güç dağıtım sisteminde harmonik kompanzasyon için şönt ve seri aktif filtrelerin yeni bir kontrol tasarımını sunmuşlardır. Aktif filtrenin tasarımı, 3 fazlı darbe genişlik modülasyonlu (PWM) voltaj kaynağı invertörüne ve kontrol devresine dayanır. İki sinir ağı kontrol cihazı kullanan kontrol devresi önerilmiştir. Bir uyarlamalı sinir ağı denetleyicisi, tahmin etmek için tasarlanmıştır. Simülasyon sonuçları, nöral ağ kontrolüne sahip aktif filtrelerin, yük akımı ve besleme voltajındaki harmonik distorsiyonu önemli ölçüde azaltabildiğini ve sistem çalışma koşullarındaki değişikliklere uyum sağlayabildiğini göstermişlerdir [6].

Boussaid ve arkadaşları harmonik akım kompanzasyonu için anlık güç teorisine dayanan gelişmiş bir algoritmanın kullanılmasını önermişlerdir. Harmonik referansların hızlı ve kesin bir şekilde hesaplanması, özellikle geçici zaman ve frekans alanlarında, herhangi bir aktif filtre kontrol stratejisi için çok önemlidir. Önerilen yöntem esas olarak iki aşamadan oluşmuştur, ilki anlık senkronize sinüs ve kosinüs temel dalga formlarını gerçekleştirmek için bir Self-Tuning Filtresine (STF) dayanır. İkincisi, güç kalitesi aktif ve reaktif güçlerde güç dalgalanma sönümünü hızlandırarak önerilen bu yönteme dayandırmaktadır. Simülasyon ve deney sonuçları ile pekiştirilen bu yöntemlerin etkinliğini göstermek için analitik bir çalışma yapılmıştır [7].

Bu makalede güç sisteminde harmonik durum tahmini için yöntemin duyarlılık analizi yapılmıştır. Becirovic ve arkadaşları, güç sistemlerinde harmonik durum tahmini için yeni bir algoritma geliştirilmişlerdir. Algoritma, düğüm voltaj metodu, Kron indirgeme

matrisi, frekans alanı içinde güç sistemi modellemesi, faz değerleri ve optimizasyon genetik algoritması kullanılarak oluşturulmuştur. Algoritmada, iletim şebekesi hakkında kısmen bilinen verilerle, bir girdi verisi olarak ölçülen voltaj ve akım harmonikleri kullanılmıştır. Önerilen algoritmanın duyarlılık analizi, 110 kV iletim şebekesi üzerinde bir vaka çalışması üzerinde gerçekleştirilmiştir. Güç sisteminin kabul matrisi, %0,5'lik bir doğrulukla genetik algoritma kullanılarak belirlenirken, harmonik voltaj tahmini bir hata %1,129'dan daha düşük olduğunu saptamışlardır [8].

Brunoro elektrik sistemi modelleri, kayıpları azaltmayı ve güç kalitesini iyileştirmeyi amaçlayan çeşitli çalışmaların başarılmasını sağlamak için önemli olup sistemdeki doğrusal olmayan yüklerin artması nedeniyle harmonik analizi yapmak gerekliliğini vurgu yapmışlardır. Gerilim ve akım profilleri yük davranışından çok etkilendiğinden, bu tür analizleri gerçekleştirmek için modellemeler çok önemlidir. Sonuç olarak, önerilen harmonik modelin yükü yüksek doğrulukla gösterebildiğini ve bulunan parametrelerin modellenmiş yükün türü hakkında bilgi verdiğini tespit etmişler [9].

Varricchio ve Gomes çalışmalarında harmoniklerin model analizine uygulanan elektriksel ağın dinamik modellerini bulmaya çalışmışlardır. Bu makalede, çeşitli harmonik ve elektromanyetik geçici analize izin veren iki ağ modeli açıklanmıştır. Genel olarak, bu modeller zaman simülasyonu, frekans taraması ve modsal analizler yapmak için kullanılmıştır. Harmonik problemler, tarif edilen modellerle konvansiyonel olmayan bir yöntem kullanılarak önerilmiş ve çözülmüştür. Hesaplamalı performansla ilişkin büyük ölçekli bir güç sistemi sonuçları da yer almıştır [10].

Moreira ve arkadaşları gerçekleştirdikleri çalışmada çift beslemeli indüksiyon jeneratörü ile rüzgâr enerjisi üretimi ve akım harmonik filtreleme için güç kontrolünü yapmışlardır. Aktif ve reaktif üretilmiş güçleri kontrol eden ve şebeke akımlarının harmonik bileşenlerini filtreleme işlevini yerine getiren bir rüzgâr enerjisi sistemini açıklamışlardır. Bu çalışma üç önemli katkı ile ayırt edilmiştir. Bu makalenin ilk katkısı eğitim karakteridir, gelecekteki çalışmaların gelişiminde yardımcı olmalıdır. İkincisi, Doubly Fed Induction Generator (DFIG) / Aktif Güç Filtresi (AGF) sisteminin bazı çalışma noktaları için harmonik filtreleme davranışının analizidir. Üçüncüsü, her bir DFIG / AGF çalışma noktası için sistem kontrolünün stabilizesinin doğrulanmasına izin veren doğru akım gerilim dinamiklerinin hassas modelinin uygulanmasıdır. Simülasyon ve deney sonuçları önerilenlerin etkinliğini doğrulamıştır [11].

Bu çalışmada Kalair ve arkadaşları harmonik analizinin, modellenmesi ve azaltılması tekniklerinin gözden geçirilmesi amaçlanmıştır. Güç kalitesi sorunları, hassas ekipmanın arızalanmasına neden olan voltaj, akım veya frekans sapmalarında ortaya çıktığını saptamışlardır. Bu çalışmada, doğrusal olmayan yüklerin yaygın kullanımı nedeniyle güç faktörü 60 ± 10 oranında ve hat kayıplarında %2'den fazla artış tespit edilmiştir. Faydalı güç talebi, tüketicilerin IEC Standardı 61000-3-2 ve IEEE Standardı 519-1992'nin ihlali nedeniyle arttığını görmüşlerdir [12].

Chihab ve arkadaşları yaptıkları çalışmada üç fazlı Şönt Aktif Güç Filtrelerinin (ŞAGF) kontrol edilmesi problemi, üç fazlı güç şebekeleriyle sağlanan doğrusal olmayan yüklerin varlığında ele alınmıştır. ŞAGF yük sisteminin, (α, β) koordinat çerçevesinde, üçüncü dereceden doğrusal olmayan durum-uzay gösterimi ile modellenmesi gösterilmiştir. Bu amaçla, ortalama sistem modeline dayanarak Backstepping tasarımını kullanarak doğrusal olmayan adaptif bir kontrolör geliştirilmiştir. Denetleyici, ŞAGF anahtarlama güç kaybında hâkim olan belirsizliği telafi etmek için uyarlanmıştır. Teorik sonuçları sayısal simülasyonlarla doğrulamışlardır [13].

Biswas ve arkadaşları yaptıkları çalışmada güç sisteminde harmonik distorsiyonu en aza indirerek diferansiyel açılımı kullanarak Hibrit Aktif Güç Filtresinin (HAGF) optimum tasarımı yapılmasını amaçlamışlardır. HAGF parametrelerini optimize etmek için, bu makale L-SHADE olarak adlandırılan Diferansiyel Açılım (DA) algoritmasına dayalı bir yaklaşım önermiştir. Bu çalışmada, parametre tahmini için iki şık kullanılan HAGF topolojisi ele alınmıştır. Hem toplam Voltaj Harmonik Distorsiyonu (VTHD) hem de toplam Akım Harmonik Distorsiyonundan (ATHD) oluşan tek bir amaç fonksiyonu formüle edilmiş ve son olarak hem doğrusal olmayan hem de doğrusal olmayan yüklerden oluşan bir sistemde harmonik kirliliği en aza indirilmiştir. Seçilen bir endüstriyel tesisin çeşitli çalışmaları gerçekleştirilmiştir. L-SHADE algoritmasının çıktı sonuçları benzer geçmiş bir çalışma ile ve diğer iyi bilinen evrimsel algoritmalar ile karşılaştırılmıştır [14].

Bu çalışmada Shankar ve Kumar, doğrusal olmayan bir yüke beslenen akım harmoniklerini dengelemek için üç kablolu bir ağ için bir oransal integral ve bulanık mantık denetleyici tabanlı ŞAGF modellemesini araştırmışlardır. Oransal integral kontrollü ve bulanık mantık tabanlı ŞAGF, MATLAB'ın Simulink kullanılarak geliştirilmiştir. Simülasyon sonuçları bulanık mantık tabanlı aktif filtrenin oransal integral tabanlı şönt aktif filtresinden daha üstün olduğunu göstermiştir. Simülasyon

sonuçlarını doğrulamak için, üç telli bir sistem için anlık Id-Iq teorisini kullanarak bir donanım kurulumu geliştirilmiştir. Donanım sonuçlarının simülasyon çıktıları ile yakından eşleştiği görülmüştür [15].

Brantsæterve arkadaşları bu çalışma ile açık deniz rüzgâr santralının sistem düzeyinde harmonik çalışmaları için pasif filtre tasarımı ve açık deniz rüzgâr türbini modellemesi için bir çerçeve oluşturmayı amaçlamaktadır. Bu tür filtrelerin ayarlanması için yaygın uygulamalar bu nedenle incelenir ve belirli bir test durumunun gereksinimlerine uyarlanır. Bu analiz açık çevrim çevirici kontrol sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir [16].

Saldiva de André ve arkadaşları bu makalede genetik algoritmaya dayanan asimetrik bir sistemin pasif güç filtrelerinin optimum tasarımını yapmayı hedeflemişlerdir. Hibrid güç filtresi, harmonik kirliliği önlemek ve güç kalitesini artırmak için etkili bir ekipmandır. Güç filtreleri, optimum çözüme ulaşmak zor olan deneyimlere ve tek teknoloji kriterlerine dayanır. Pratik sistemde uygulanan pasif güç filtreleri tasarlanmış ve simülasyon modeli verilmiştir. Bu çalışmada gerçekleştirilen simülasyon sonuçlarında, önerilen algoritma tarafından tasarlanan filtrenin, geleneksel yaklaşımlardan daha iyi harmonik bastırma etkisine ve ekipmanlara daha düşük başlangıç yatırımına sahip olduğunu göstermişlerdir [17].

Bu çalışmada Aleem ve arkadaşları, pasif filtreler kullanmayı amaçlamıştır. Sinüzoidal olmayan sistemlerde kabloların ve transformatörlerin kullanılması sonucu olarak, sinüzoidal olmayan voltajı ve hat akımı koşulları altında, frekansa bağlı hat kayıplarını hesaba katan güç faktörü ifadesini en üst düzeye çıkarmak için optimum bir pasif filtre tasarım yaklaşımı sağlanmıştır. Ayrıca, yükün yer değiştirme güç faktörünü uygun bir aralıkta tutmak önerilen yaklaşımla istenmiştir. Klasik güç faktörü ifadesini maksimize etmeyi amaçlayan önerilen yaklaşım ve geleneksel optimal pasif filtre tasarım yaklaşımı, bir grup lineer ve lineer olmayan yük, havai iletim hatları, kablolar ve bir transformatör ile bir endüstriyel güç sistemi için karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Nümerik sonuçlar, toplam tedarik hattı kaybının ve transformatörün geleneksel olmayanla karşılaştırıldığında sinüzoidal olmayan koşullar altında yükleme kapasitesinin geliştirilmesinde önemli bir avantaj sağladığını göstermiştir [18].

Geleneksel şönt pasif filtrelerin sınırlamalarının üstesinden gelmek için, bu yazıda Mahanty ve Kapoor yarı-pasif bir filtre önerilmiştir. Paralel ve seri ayarlı bir LC tankı

devresinden oluşur. Geleneksel şant pasif filtresinin aksine, yarı-pasif filtre büyük bir değer Alternatif Akım (AA) kapasitörü kullanır. Unipolar DA kapasitörler ve güç yarı iletken cihazları büyük değerdeki AA kapasitörünü gerçekleştirmek için kullanılır. Yarı-pasif filtrenin çalışması basittir ve aktif güç filtrelerinin karmaşık kontrol yöntemlerini gerektirmez. Önerilen yarı-pasif filtre analiz ve simülasyon yoluyla doğrulanmıştır [19].

Sakar ve arkadaşları bu makalede bozulmuş dağıtım sistemlerinde PV barındırma kapasitesinin artırıcı harmonik filtreleme ile arttırılması amaçlanmıştır. Çalışmada, fotovoltaiik (PV) tabanlı dağıtılmış üretim üniteleri ile çarpık bir dağıtım sisteminin barındırma kapasitesi tayini, hatların aşırı ve düşük voltaj sınırlamaları, hatların akım taşıma kapasitesi ve sınırlama olarak harmonik distorsiyon sınırlamaları dikkate alınarak bir optimizasyon problemi olarak ele alınmıştır. Simülasyon sonuçlarından bakıldığında, barındırma kapasitesinin yükün lineerlik seviyesinin artması ve şebeke tarafındaki arka plan voltajı bozulma ile önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Sonuçlar, daha yüksek barındırma kapasitesi seviyesinin, voltaj toplamı harmonik distorsiyonu optimizasyonu, hat kaybı minimizasyonu ve güç faktörü maksimizasyonu gibi üç geleneksel filtre tasarım yaklaşımına kıyasla önerilen filtre tasarımı yaklaşımı kullanılarak elde edilebileceğini göstermektedir [20].

Bu çalışmada Kalair ve arkadaşları inverter bağlı PV ve rüzgar enerjisi santrallerinin entegrasyonu ve lineer olmayan yüklerde büyük artış, güç sisteminde harmonik problemlere yol açtığını göstermişlerdir. Sonuç olarak harmonik azaltma teknolojileri karşılaştırılmış, güncel bir teknoloji kullanılmış ve harmonik bir filtre tasarlanarak gösterilmiştir. Bu çalışmada, doğrusal olmayan yüklerin yaygın kullanımı nedeniyle güç faktörü 60 ± 10 oranında ve hat kayıplarında %2'den fazla artış tespit edilmiştir [21].

Harmonikler, tüketicilere verilen aktif gücü azaltmaya neden olan azaltılmış güç faktörüne neden olur. Harmonikleri önleme ve azaltma yöntemlerinden biri, diğer filtre türlerine göre avantajları konusunda C tipi pasif filtreler kullanmaktır. İlgili parametrelerin belirlenmesi, bu tür filtrelerin uygulanmasının ön şartıdır. Bu çalışmada Abolfathi ve arkadaşları C tipi pasif filtreler ile harmonik ve doyunluğun etkileri göz önüne alınarak dağıtım trafo modeli optimize edilmiştir. Modelin parametrelerinin optimizasyonunda farklı optimizasyon yöntemlerinin performansı birbiriyle karşılaştırılmıştır [22].

Kahar ve arkadaşlarının gerçekleştirdiği bu çalışmanın amacı, mikroskobik olmayan

sistemde hasarsız tek ayarlı filtrenin optimum boyutlandırma parametrelerini Karma Dağıtılmış Karınca Kolonisi Optimizasyonu adlı yeni bir yöntem kullanarak bulmaktır. Filtrenin endüktans ve kapasitans değerleri, güç faktörünün maksimize edildiği her bir kriter için elde edilir. Sonuç olarak önerilen yöntemin etkinliği, önceki yayın ve genetik algoritma ve parçacık sürüsü optimizasyonu olan diğer evrimsel hesaplama teknikleri ile karşılaştırılarak kanıtlanmıştır [23].

Sindhu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada harmonik ve reaktif güç kompanzasyonu, yapay sinir ağı bazlı aktif filtre tarafından sağlanmıştır. Önerilen hibrid filtrenin performansı, çeşitli kaynak / yük koşulları altında simülasyon ve laboratuvar deneyleri ile test edildi ve sonuçlar, önerilen şönt hibrid filtresinin değişen kaynak / yük koşullarına uyarlandığını göstermişlerdir [24].

Rüstemli ve arkadaşları bu çalışmada, Van ilindeki bir tesiste (fabrikada) ZERA MT 310 güç analizörü ile çeşitli ölçümler (anlık elektriksel değerler, harmonikler, akım ve gerilim dalga şekilleri vb.) yapılarak bazı güç kalitesizlikleri tespit edilmiş ve bu bulgulardan hareketle güç kalitesizliğine neden olan harmonikler incelenmiş ve harmoniklerin mevcut tesisler üzerindeki etkileri yorumlanarak aktif filtre çözümleri simülasyon çalışmalarıyla karşılaştırılmıştır [25].

Kalman filtreleme algoritmasına dayalı lineer ve lineer olmayan yüklerin harmonik modellenmesi amaçlanmıştır. Bu yazıda Soliman ve Alammari Kalman filtresinin (KF) harmoniklerin varlığında veya yokluğunda lineer olmayan yük modellemesine yeni bir uygulaması sunulmuştur. Önerilen teknik, yük parametrelerinin varyasyonunu tahmin etmek ve izlemek için yük voltajı ve akımının doğrudan mevcut örneklerini kullanılmıştır. Kritik parametrelerin önerilen algoritmanın davranışı üzerindeki etkileri tartışılmıştır. Farklı simüle edilmiş örnekler ve alan ölçümlerinden pratik örnekler için sonuçlar kâğıtta rapor edilmiştir. Bu örneklerden elde edilen sonuç, algoritmanın yük parametrelerini tahmin etmede başarılı olmasıdır [26].

Dağıtım sistemlerinde güç kalitesi zamanla değişen ve doğrusal olmayan yükler nedeniyle bozulabilir. Harmonik akım, voltaj bozulmasına neden olan olasılıksal ve doğrusal olmayan kirlilik kaynaklarından biridir. Tekli pasif filtre harmonikleri azaltmada ekonomik ama etkili bir yaklaşım olarak kabul edilmiştir. Bu çalışma Hong ve Liao Kümülatörler ve Uyarlamalı Dinamik Klon Seçme Algoritması kullanarak pasif filtre planlaması için yeni bir yöntem sunmuştur [27].

Bu çalışmada Tunçalp ve Sucu, elektrik enerji sistemlerinde oluşan harmoniklerin filtrelenmesinde kullanılan pasif filtrelerin ve filtreli kompanzasyon sistemlerinin (seri endüktans bağlanmış kompanzasyon sistemi) yapıları ve uygulama şekilleri hakkında bilgi verilmiştir. Daha sonra örnek olarak ele alınmış harmonik içeren bir elektrik enerji sisteminin modeli MATLAB programı ile oluşturulmuştur. Bu sisteme, pasif filtre ve filtreli kompanzasyon sistemi uygulanarak bu filtrenin sistem üzerinde oluşturduğu etkiler incelenmiş, sonuçlar üzerinde yorumlar yapılmıştır [28].

Patil ve arkadaşları bu çalışmada, indüksiyon ocakları ve güç elektroniği cihazlarının bozucu etkilerinin en aza indirilmesi amacıyla filtre tasarımının gerekliliğini ortaya koyarak değişken talepler için aktif filtrelerin daha uygun olduğunu açıklamıştır [29].

Filtre optimizasyonunun önemine değinen Maheswaran ve arkadaşları, bir sistem için filtre elemanının boyutlarının önemli olduğunu ve optimizasyon önerisi olarak genetik algoritmanın yapılabileceğini simülasyon ve deneylerle açıklamıştır [30].

Bu yapılan çalışmada; Düzce Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi güç sisteminden, harmonik analizatörü yardımıyla gerçek ölçüm verileri toplanmıştır. Elde edilen bu veriler bilgisayar ortamında MATLAB/Simulink'te modellenerek matematiksel analizi yapılmıştır. Sisteme uygun pasif filtre tasarımı yapılarak, harmoniklerin sistem üzerine etkileri harmonik standartlar da göz önüne alınarak yok edilmiş ve ayrıntılı olarak incelenmiştir.

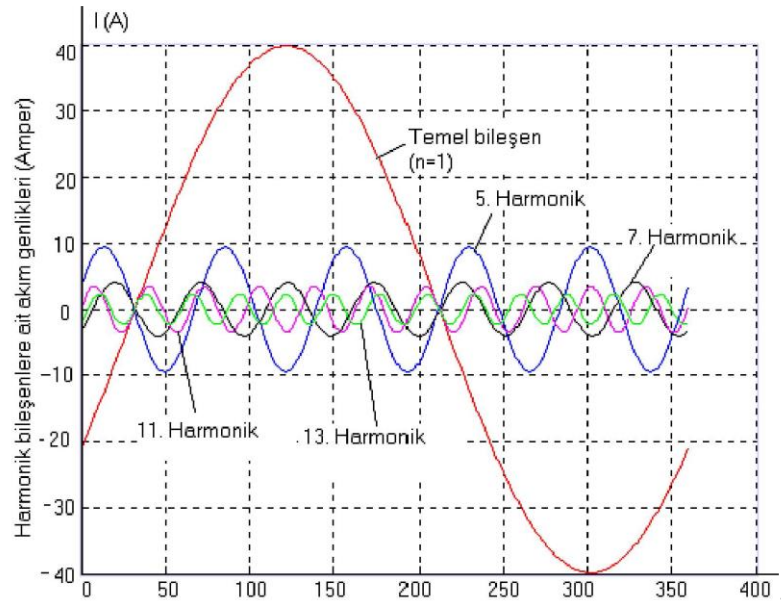
2. HARMONİKLER

Elektrik enerjisinin üretimi, dağıtılması ve iletilmesi işlemlerinde elde edilen akım ve gerilimin tam bir sinüs olması istenir. Enerji kalitesinin yüksek olmasını sağlayan en önemli kriter bu şarttır. Fakat tesis edilmiş işletme şebekesine bağlanan yükler ya da devre elemanlarının içerdiği lineer olmayan elemanlar, enerji kalitesinin belirlenmesinde etkili olan düzgün sinüs formunu olumsuz etkilemektedirler.

Bundan dolayı harmonikler şöyle tanımlanabilir; Bir şebeke ya da sistemde akım veya gerilimin dalga formunda oluşan periyodik dalgalanma ya da bozulmalardır. Bu tanımdan yola çıkarak harmoniklere kısaca “bozuk dalga” ya da “nonlineer dalga” denilebilir.

Sinüsoidal akım ve gerilim formları temel dalga üzerine binmiş bozuk dalgaların birleşimidir. Bu bozuk bileşenleri “harmonik bileşen” olarak adlandırılır.

Şebeke yada enerji sistemindeki temel form ve harmonik bileşenlerin birbirine olan durumundan dolayı bu bileşenler tek sayılarla yani; 3., 5., 7. bileşenler Şekil 2.1’deki gibi ifade edilir [31].



Şekil 2.1. Harmonik bileşenler.

2.1. HARMONİKLERE AİT TEMEL KAVRAMLAR

2.1.1. Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD)

Toplam harmonik distorsiyon ifadesi harmonikli temel bileşenin düzgün dalga formundan ne kadar saptığını tespit etmekte kullanılır. Temel frekansta ise bu değer sıfır olur. Toplam harmonik distorsiyon Denklem (2.2)'de ve Denklem (2.1)'de görüldüğü gibi harmonik bileşenlerin temel harmonik bileşene bölümü şeklinde ifade edilmesidir.

Toplam harmonik distorsiyonun gerilim ifadesi Denklem (2.1)'e göre V_n n. harmonik gerilimi ve V_1 temel harmonik gerilimi olmak üzere şöyledir;

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (2.1)$$

Toplam harmonik distorsiyonun akım ifadesi Denklem (2.2)'ye göre I_n n. harmonik akımı ve I_1 temel harmonik akımı olmak üzere şöyledir;

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (2.2)$$

2.1.2. Toplam Talep Distorsiyonu (TTD)

Toplam talep distorsiyonu ifadesi, yük tarafından talep edilen maksimum akımların ortalamasıdır. Toplam talep distorsiyonu değerinin yük ile alakalı bir parametre olduğu görülmektedir.

Toplam talep distorsiyonu Denklem (2.3)'e göre hesaplanırken yükün maksimum akımı (I_L) ve I_n n. harmonik akımı formülde yerine yazılır.

$$TTD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_L} \quad (2.3)$$

2.1.3. Şekil Faktörü

Şekil faktörü, bozulmuş olan Sinüsoidal dalganın bozunum ölçütünü ifade etmekte kullanılan bir parametredir.

Düzgün bir sinüs olma özelliğini yitiren sinüs eğrisinin k_f bozunum kriterini Denklem (2.4) ile elde edilir.

$$k_f = \frac{\text{Efektif Değer}}{\text{Ortalama Değer}} \quad (2.4)$$

2.1.4. Tepe Faktörü

Tepe faktörü, düzgün formda olmayan akım veya gerilimin tepe değeri ile temel bileşenin efektif değeri arasında belirlenen değeri ifade eder. Harmonik bileşenlerin en temel formda ortaya konmasını sağlar.

$$\text{Tepe Faktörü} = \frac{\text{Tepe Değer}}{\text{Temel Bileşenin Efektif Değeri}} \quad (2.5)$$

Düzgün bir sinüs olmayan akım veya gerilim için Denklem (2.5)'e göre tepe değerin temel bileşenin efektif değerine oranı kullanılarak bu değer hesaplanır.

2.1.5. Distorsiyon Güç Faktörü

Yüksek akım distorsiyonu oluşturan bir fazlı lineer olmayan yükler güç faktörünün hesaplanmasını gerektirmektedir. Çünkü bu yükler rezonansa neden olacağından dolayı güç faktörü hesaplaması ve güç faktörü düzeltici elemanlar kullanılmalıdır. Gerilim için Denklem (2.6);

$$V = V_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THDV}{100}\right)^2} \quad (2.6)$$

Akım için Denklem (2.7);

$$I = I_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THDI}{100}\right)^2} \quad (2.7)$$

Gerilim ve akım efektif değerleri V_1 baz gerilim değeri ve I_1 baz akım değeri ve akım ve gerilime ait THD değerleri formüllerde yazılarak akım ve gerilim değerleri hesaplanır.

$$pf_{\text{toplam}} = \frac{P}{V_1 I_1 \sqrt{1 + \left(\frac{THDV}{100}\right)^2} \sqrt{1 + \left(\frac{THDI}{100}\right)^2}} \quad (2.8)$$

Denklem (2.8)'de P aktif güç değeri yerine yazılarak güç faktörü hesaplanır. Distorsiyon güç faktörünü daha yüksek seviyelere çıkarmak için ve lineer olmayan yüklerin ürettiği harmonikleri elimine edebilmek için aktif ve pasif filtreler kullanılır [32].

3. HARMONİKLERİN SEBEPLERİ

Harmoniklerin sebepleri iki kısımda incelenebilir. Harmonik bileşen içeren devreler ve harmonik üreten elemanlar olarak sınıflandırılabilir.

3.1. HARMONİK BİLEŞEN İÇEREN DEVRELER

Şebeke geriliminin düzgün bir sinüs olmaması durumu yada yükün lineer olmaması gibi sebeplerden dolayı harmonik içeren gerilim ve akımlar oluşmaktadır. Yükün lineer olmaması; belirli özellikleri ya da manyetik yapıları materyallerin nonlineer olması durumlarından dolayıdır. Harmonik bileşen içeren devreleri üçe ayırılır.

3.1.1. Kaynağı Sinüs Olan Lineer Olmayan Devre

Bu devreler, kaynağı düzgün bir sinüse sahip, şebekeye bağlanacak yükün nonlineer olması durumunda harmonik bileşen üreten devrelerdir.

3.1.2. Kaynağı Düzgün Sinüs Olmayan Lineer Devre

Bu devreler, kaynağı düzgün bir sinüse sahip olmayan fakat; şebekeye bağlanacak yükün lineer olması durumunda harmonik bileşen üreten devrelerdir.

3.1.3. Kaynağı Düzgün Sinüs Olmayan Lineer Olmayan Devre

Bu devre tipinde şebekenin düzgün bir sinüs olmama ve yük olarak bağlanan devre elemanlarının lineer olmaması durumu söz konusu olup, bu tür devreler şebekenin ürettiği harmoniklere ek olarak yükten kaynaklı harmonikler üreterek harmonik etkilerinin artmasına sebep olurlar [33].

3.2. HARMONİK ÜRETEN ELEMANLAR

3.2.1. Transformatörler

Hastane teknik cihaz altyapısında gerilim dönüşüm işlemlerinde kullanılan; röntgen ve manyetik rezonans cihazı gibi aletler içinde bulunan bobin ve transformatör harmonik kaynaklarından bazılarıdır. Yapısı itibari ile demir nüve üzerine sarılan bobinlerden

oluşan transformatörlerin mıknatıslanma karakteristiği incelendiğinde doyuma gittiği görülmektedir. Transformatörün mıknatıslanma karakteristik eğrisinden de anlaşılacağı üzere lineer doyum eğrisinin lineer olmadığı görülmektedir. Bu lineer olmayan durum transformatörlerde oluşan harmoniklerin başlıca nedenidir.

3.2.2. Generatör ve Motorlar

İncelenen sağlık tesisinde iklimlendirme sistemleri pompa motorlarının yanı sıra birçok teknik alet içerisinde çeşitli güçlerde elektrik motorları bulunmaktadır. Harmonik kaynağı olarak sistemde var olan elektrik motorları gösterilebilir. Generatör ve motorlar elektrik makineleri içinde döner makine olarak isimlendirilir. Bunların ortak özellikleri stator ve rotorunun oluklardan oluşmasıdır. Oluklarda oluşan magnetik relüktans farklı değerler almaktadır. Bu makinelerin harmonik üretmesindeki nedenlerden birincisi; alanın oluşum şekli, ikincisi; kaçak akılarda oluşan doyumdur.

Senkron generatörler; çıkıntılı kutup alanı oluk özellikleri, doyum ve kaçak akılardan dolayı harmonik üretirler.

Asenkron motorlar da ise bu durumun sebebi; faz akımları, akı ve akım başına düşen sipir sayısı tam bir sinüs içermemesi gibi nedenlerdir.

3.2.3. Güç Elektroniği Devre Elemanları

Doğrultmaç devreleri, frekans ve gerilim kontrol devreleri, eviriciler gibi güç elektroniği devrelerindedir. Hastane altyapısında görüntüleme cihazları ve ameliyathanede bulunan aletlerin elektronik kartları birçok yarıiletken anahtarlama elemanı barındıran güç elektroniği devrelerine sahiptir.

Bu güç elektroniği devre elemanlarında THD yük akımının %10 ila %30'u arasındadır.

Güç elektroniği devrelerinde yarı iletken anahtarlama elemanları kullanılması güç elektroniği uygulamalarındaki harmoniklerin başlıca sebeplerindedir.

3.2.4. Doğru Akım Enerji İletim Hattı

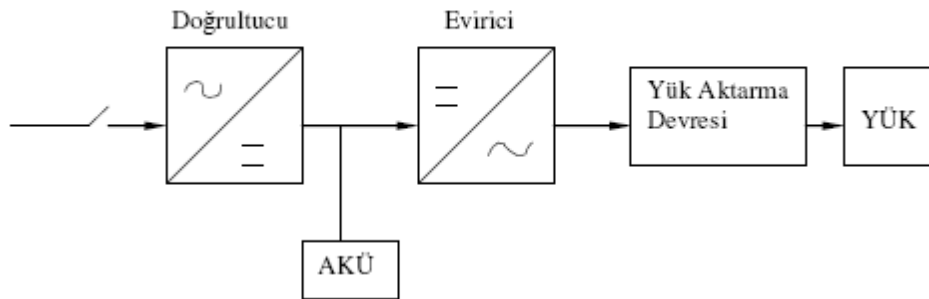
Doğru akım enerji iletiminde doğru akım ve alternatif akım arasındaki dönüşüm çeviriciler vasıtası ile yapılır. Çeviriciler ise doğrultmaç devresi ve evirici olmak üzere işlemler yaparak bu dönüşüm gerçekleşir. Doğrultmaç ve evirici devreleri yarı iletken elemanlardan oluştuğundan dolayı harmonik üretirler.

3.2.5. Statik Volt Amper Reaktif Generatörü

Bu generatör; akım kısıyıcı, akım ayarlayıcısı, şönt bağlı kondansatör ve otomasyon elemanlarından meydana gelir. Bu generatörün görevi reaktif güç üretmektir. Otomasyon devresinde yarı iletken devre elemanları kullanılmakta olup bu elemanlar çalışmalarında harmonik üretmektedirler.

3.2.6. Kesintisiz Güç Kaynağı

İncelenen sağlık kuruluşunda kesintisiz güç kaynakları kullanılmaktadır. Ameliyathane ve birçok tıp cihazının bağlı olduğu kesintisiz güç kaynakları elektrik enerjisinin sürekliliği açısından hayati bir öneme sahiptir. Elektrik kesintilerinde devreye giren kesintisiz güç kaynağı, incelenen tesiste bulunan ameliyathane ve laboratuvarın yanında tüm hastaneyi besleyebilecek kapasitededir. Hastanede kullanılan kesintisiz güç kaynağı depolama kapasitesi oldukça yüksektir. Bundan dolayı da doğrultma ve evirme işlemleri sürekli tekrarlanarak herhangi bir kesinti durumu için depolanan enerji hazır beklemektedir.



Şekil 3.1. Kesintisiz güç kaynağı blok diyagramı.

Kesintisiz güç kaynakları Şekil 3.1'de gösterildiği gibi doğru akımı depolayan bir sistemden meydana gelir. Öncelikle alternatif akım doğru akıma doğrultmaçlar vasıtasıyla çevrilir. Akü grubuna depolama işlemi yapılır. Daha sonra kesinti anında depolanan doğru akım evirici devre yardımıyla alternatif akıma çevrilerek kullanıma hazır hale getirilir. Bu dönüşümler sonucu elde edilen sinüsün düzgün elde edilebilmesi için devreler tasarlanır. Bu doğrultma, evirme ve düzgün sinüs sağlayan devreler yarı iletken elemanlardan oluştuğundan dolayı harmonik üretmektedir.

3.2.7. Aydınlatma Elemanları

Gelişen teknoloji basınç içeren flüoresan lambaları azaltsa da hala kullanılmaya devam etmektedir. Hastane elektrik tesisatında bağlı armatürlerin bir kısmı flüoresan lambalar

barındırmakta. Yeni inşa edilen poliklinik binasında ise bu durum yeni nesil armatürler kullanılarak giderilmiştir. Fakat eski binada klasik aydınlatma sistemlerinden olan floresan lambalar mevcuttur. Bu lambalar şebekeden harmonikli akım çekerler. Bu lambalar lineer olmayan yükler olduğundan akım akışına karşı zıt yönde etki gösterirler. Özellikle floresan devrelerde bulunan balastlar harmonik oluşturmaktadır. Günümüzde ise elektronik balastlar üretilerek ve filtre sistemi ilave dilerek bu harmoniklerin önüne geçilebilmektedir.

3.2.8. Fotovoltaik Sistem

Bu sistemler konvertör devreleri içerdiğinden ve bu devrelerde yarı iletken anahtarlama elemanları kullanıldığından harmoniklere sebep olurlar [34].

3.2.9. Ark Ocakları

Ark ocağında harmonik oluşumunda birinci sırada; ateşleme elektrotunun yapısı, ikinci sırada ise; oluşan ark gerilim-akım ilişkisi etkili olmaktadır. Ark ocaklarında özellikle ikinci harmoniklerin etkisi oldukça fazladır [35].



4. HARMONİKLERİN ETKİLERİ

4.1. ENERJİ KALİTESİNE ETKİLERİ

Harmoniklerin enerji kalitesine etkisi, diğer güç kalitesi ile ilgili sorunlara birlikte önemli bir paya sahiptir. Endüstrileşmiş ülkeler harmonik etkileri %6'nın üzerine çıktığında bu sorunun önemli olduğunu düşünerek abonelerini haberdar ediyorlar. Abone ise gerekli önlemleri almaklar yükümlüdür. Çünkü güç kalitesindeki sorunlar bozucu etkileri dikkate alındığında mevcut sistemi ve şebekede bağlı bulunan diğer cihazları olumsuz etkilemektedir [36].

Ülkemizde enerji iletim hatlarında enerji kalitesi incelendiğinde beşinci harmoniğin etkili olduğu görülmektedir. Harmoniklerin bozucu etkilerinden dolayı iletim hatlarında ortaya ısı olarak çıkan kayıp bedeli ise tüketicilerden talep edilmektedir. Şebekede bulunan lineer olmayan elemanlar da enerji kalitesini etkileyen diğer etkenler arasındadır. Harmoniklerin enerji kalitesine etkileri düşünüldüğünde ve yukarıdaki açıklamalar ışığında teknik problemler ve ekonomik problemlere sebebiyet verdiği ortadadır [36].

Enerji kalitesine harmoniklerin etkisini tespit etmek ve bozucu etkileri gidermek için harmonikler analiz edilerek harmonik büyüklüklerin tespit edilmesi gerekmektedir [37].

Şebekede oluşabilecek bozucu etkilere ve enerji kalitesini olumsuz etkileyecek diğer faktörleri ise geçici aşırı gerilimler, anlık gerilim düşümleri ve harmonik distorsiyonu olarak sınıflandırabiliriz. Harmonik distorsiyonu; mevcut şebekemiz için düşünenecek olursak 50 Hz frekansın katları biçiminde frekanslar barındıran gerilim ve akımlardır. Harmonik distorsiyonun enerji kalitesine etkisi ise şöyledir; saç nüvesi bulunan transformatör ve döner makinelerde ısı olarak açığa çıkar, kontrol ve kumanda elemanlarının elektronik devrelerinde hatalara sebebiyet verebilir [38].

4.2. ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNE ETKİLERİ

Bir şebeke kullanıcısının ürettiği harmonikler şebekeye bağlı diğer kullanıcıları etkiler. Bu harmoniklerden etkilenen kullanıcının sahip olduğu yükler lineer ise harmoniği

üreten abonenin yükü harmonikten etkilenen aboneye yüklenir.

Harmoniklerin neden olduğu etmenler arasında en önde gelen durum kayıplardaki artış sonucu ölçme ve koruyucu sistemlerde oluşan hata oranıdır.

4.2.1. Harmoniklerin Kayıplara Etkisi

Bir elektrik sisteminde meydana gelen harmonikler ısı kayıplarına neden olmaktadır. Harmonik bileşen içeren bir devrede kayıp güç ifadesi Denklem (4.1)'e göre şöyledir;

$$P_k = R_1 I_1^2 + R_n \sum_{n=2}^N I_n^2 \quad (4.1)$$

Denklem (4.1)'e göre temel bileşende olan kayıplar $R_1 I_1^2$ ifadesi ile ve n. bileşendeki harmonik güç kayıpları $R_n \sum_{n=2}^N I_n^2$ ile ısı kayıpları hesaplanır. Buradan harmonik akım değeri arttığı müddetçe harmonik bileşenlerin oluşturduğu kayıpların da arttığı görülmektedir [39].

4.2.2. Direnç ve Reaktansa Etkisi

İletkenden geçen akım, iletkenin dış yüzeyinden gitmek ister. Fakat bu akım dış yüzeyde homojen dağılmadığından ötürü “deri etkisi” (skin effect) oluşturur. Bu olay sonucu iletkenin direnci artar endüktansı azalır [39].

4.2.3. Kondansatörlere Etkisi

Harmoniklerin sebebiyet verdiği distorsiyondan en çok kondansatörler etkilenmektedir. Kondansatörlerde depolana etkin gerilim arttıkça buna bağlı olarak kayıplarda artar. Ayrıca tepe gerilimi dielektrik malzemeyi zorlayarak kayıplara sebebiyet verir [39].

4.2.4. Transformatörlere Etkisi

Transformatörlerde akım harmonikleri; bakır ve kaçak akı kayıplarının artmasına, gerilim harmonikleri ise demir kayıpları ve yalıtımın zorlanmasına sebebiyet verir. Genel olarak her iki durum için harmoniklerin bu etkileri ısı kaybı olarak ortaya çıkmaktadır [39].

4.2.5. Döner Makinelere Etkisi

Elektrik motorları ve generatörlerin üzerinde harmonik etkileri rotor, stator ve saç nüve üzerinde kayıplara neden olur. Ayrıca harmonik etkisi ile oluşan kaçak manyetik akılar bu kayıpların diğer bir nedenidir [39].

4.2.6. Rölelere Etkisi

Harmonikler rölelerin çalışma kararlılığını etkileyerek arızalara sebebiyet vermelerine neden olur. Gelen dalga formunun bozulması rölenin cevap yeteneğini etkileyerek kararlılığını olumsuz etkiler [39].

Bu durum cihaz kumanda devrelerinde bulunan rölelerin çalışmasını etkileyerek arızalara sebep olmaktadır. Hastane sisteminde pek çok röle barındıran kumanda devresi olduğu düşünülürse oluşabilecek arızaların sebeplerin bir kısmını harmonik etkilerin bu olumsuz etkisi neden olmaktadır.

4.2.7. Ölçü Aletlerine Etkisi

Kalibrasyon işleminde ölçü aletlerine uygulanan değerler ideale en yakın olan sinüs formudur. Fakat gerçekte bu durum aynı değildir çünkü sinüs form üzerinde bozucu etkiler yani harmonikler vardır. Bu da ölçü aletlerin okuma hataları yapmasına sebebiyet verir [39].

4.2.8. Haberleşme Şebekesine Etkisi

Harmonik içeren bir enerji iletim hattı ile haberleşme hattı birbirine yaklaştığında, iletişim hattında gürültü yani parazitlere neden olur [39].

Bu durumu minimize etmek yada ortadan kaldırmak amacıyla elektrik tesisatlarından farklı kanal yada sistemlerle haberleşme şebekesi kurulur.

4.2.9. Elektronik Devrelere Etkisi

Güç elektroniği ve diğer sürücü, doğrultmaç gibi elektronik devreler doğrusal olmayan elemanlar barındırdığından harmonik kaynağı olarak bilinmektedir. Harmoniklere kaynaklık etmelerinin yanı sıra harmonik distorsiyondan etkilenirler. Gerilim değerinin sıfır geçiş noktalarını kaydırarak komutasyon hatasına sebep olur dolayısı ile çalışmalarını olumsuz etkiler [39].

Hastane sisteminde bulunan evirici ve doğrultmaç devreleri içeren kesintisiz güç kaynağı gibi devrelere de oluşan harmoniklerin etkileri bulunmaktadır. Bunun yanı sıra medikal cihazların birçoğunda elektronik devreler bulunduğundan harmonikler bu cihazları da olumsuz etkilemektedir.

4.2.10. İletim Hatlarına Etkisi

Harmonikler enerji nakil hatları yada diğer iletim hatları üzerinde I^2R ısı kayıpları ve gerilim düşümleri sonucu oluşturduğu etkiler olarak sınıflandırılır. İletim hatlarındaki harmonikli gerilimler tepe geriliminin artması sonucu hat hasarlarına sebep olur [39].

Nakil hatlarında oluşan temel kayıp ısı kaybıdır. Isı kayıpları günlük hayatta nakil hatları giderleri olarak kullanıcılardan karşılandığı düşünüldüğünde harmoniklerin olumsuz etkilerinin en aza indirilmesi ya da yok edilmesinin önemini artırmaktadır.

4.2.11. Güç Faktörüne Etkisi

Lineer olmayan yük içeren devreler yada cihazlar sisteme bağlandığında güç faktöründe bir azalma gözlenir. Ama bu istenmeyen bir durumdur. Güç faktörünün bire yakın olması beklenir [39].

Nonlineer yükler genel olarak güç faktörünü olumsuz etkiler bu yüzden yarı iletken anahtarlama elemanları reaktif güç faktörünü düzenleyen kompanzasyon sistemini etkilemektedir. Hastane altyapısında mevcut kompanzasyon sisteminin kararlılığını etkileyebilecek etkilerden olan harmonikler güç faktörünü olumsuz etkilemektedir.

4.2.12. Harmoniklerin Rezonans Olayına Etkisi

Günümüzde kullanılan birçok cihaz üzerinde elektronik kartlar mevcuttur. Bu elektronik kartlar ise üzerlerinde lineer olmayan elemanlardan olan yarı iletken anahtarlama elemanları kullanılarak tasarlanmıştır. Yarı iletken anahtarlama elemanları elektrik sisteminde harmonik etkiler oluşturmaktadır. Bundan dolayı tesisin öncelikle harmoniklerden arındırılması gerekmektedir. Sonrasında elektrik tesislerine uygulanan kompanzasyon işlemi yani devreye kondansatör ilavesi ile harcanan reaktif gücün azaltılması işlemi uygulanır. Bu işlem rezonansa neden olarak güç faktörünün düşmesine sebep olur. Harmonik içeren devrelerde ise kompanzasyon mümkün değildir. Öncelikle harmonikler filtrelenip daha sonra kompanzasyon yapılması gerekmektedir.

Seri rezonans harmonikler üzerine düşük bir empedans etkisi gösterirken, paralel rezonans daha yüksek bir empedans etkisi gösterir. Lineer olmayan yüklerin ürettiği yükler ile birlikte kondansatör grupları arasında paralel rezonans oluşur. Paralel rezonans esnasında kondansatör gerilim çok yükseldiğinden kondansatör zarar görür. Bu istenmeyen bir durumdur [40].

5. HARMONİKLERİN FİLTRE EDİLMESİ

Harmonikleri tamamen ortadan kaldırmak mümkün değildir fakat en aza indirmek için bazı yöntemler mevcuttur.

Bu yöntemlerden bir tanesi tasarım aşamasında alınabilecek önlemler olup, çok yeterli olduğu söylenemez. Çünkü sistemi dış harmonikler yani diğer kullanıcıların ürettiği harmonikler etkilemeye devam edecektir. Bunun için şebeke giriş ya da çıkışına önlem alınması gerekmektedir. Bu harmonikleri elimine etmek için kullanılan devre tasarımlarına “harmonik filtreleri” denir. Aktif ve pasif filtreler olmak üzere iki kısımda incelenebilir.

5.1. TASARIM AŞAMASINDA ALINAN TEDBİRLER

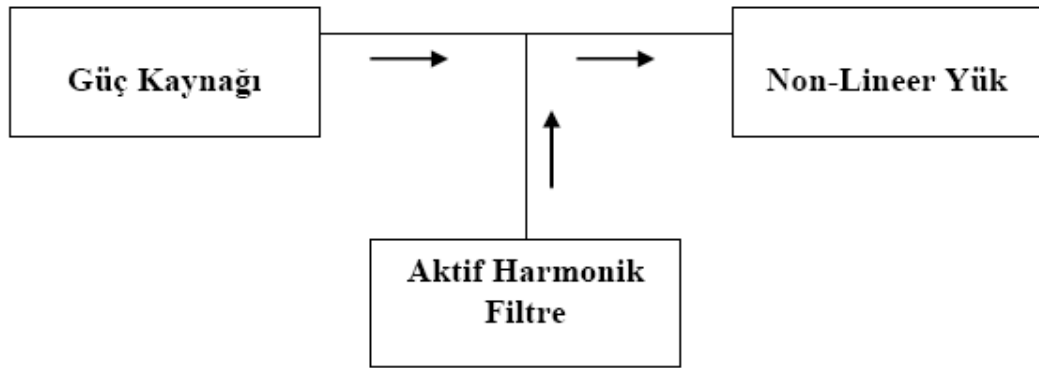
Tasarlanan sistem ya da cihazın harmoniklerden etkilenmemesi veya harmonik üretmemesi bazı tedbirler alınarak önlenir. Tasarım aşamasında alınan önlemler tasarlanan aygıtın ürettiği harmonikleri en aza indirir ya da yok eder. Tasarlanan cihaz; manyetik endüksiyon prensibiyle çalışan elektrik makinesi, yarı iletken anahtarlama elemanlarından oluşan bir devre ya da bir elektrik güç sistemi olabilir. Bu tasarımların hepsi ile ilgili önlemler almak mümkündür.

Bu önlemler tasarlanan makine yada tasarım için değişiklik gösterebilmektedir. Senkron generatörde çıkış gerilimi hava aralığındaki manyetik alana bağlı olarak endüvi uçlarından alınan değerdir. Endüvi sargı adım hesabının hassas yapılması harmonikleri en aza indirir. Çıkıntılı kutup yapısına sahip senkron makinelerin çıkık kutuplarına pah verilmesi harmonikleri azaltacaktır. Dönüştürücü devrelerinde ise darbe sayısını artırarak harmoniklerin önüne geçebiliriz. Enerji dağıtım şebekelerinde kullanılan yüksek güçlü transformatörlerden daha yüksek verim elde edebilmek için manyetik endüksiyon değerleri yüksek tutulur. Yüksek manyetik endüksiyon değerlerinde ise harmonik oluşumu fazladır. Manyetik endüksiyonu düşürdüğünde mıknatıslama akımı azalacak ve harmonik etkileri de azalacaktır. Manyetik endüksiyonu düşürmenin yani mıknatıslama akımını azaltmanın yolu ise soğuk işlenmiş ve domenleri yönlendirilmiş saçlar kullanılarak mümkündür [41].

Tasarlanan makine ya da cihazlar için alınan tedbirler bir sistemin parçalarını oluşturmaktadır. Bir sistem kurulurken, tasarım aşamasında tedbir alınan makine ve cihazlar kullanılmalıdır. Bu sayede meydana gelebilecek harmonikler için de önlem alınmış olur. Böylece sistemselsel olarak oluşabilecek harmoniklerin büyük bir kısmı önceden alınan tedbirlerle yok edilmiş olur.

5.2. AKTİF FİLTRE YÖNTEMİ

Aktif filtrenin çalışma mantığı; daha önce bahsedildiği gibi şebekeyi olumsuz etkileyen lineer olmayan yüklerin çektiği harmonik bileşeni, aktif filtre tarafından üretilerek sağlayarak şebekeden çekilen akımın bozulmasını önlemektir [41].



Şekil 5.1. Aktif filtre çalışma mantığı.

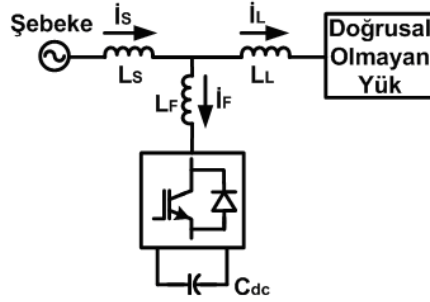
Şekil 5.1'e göre aktif filtre; bağlandığı devredeki akım değerini ölçerek, barındırdığı güç elektroniği devresi aracılığıyla belirlediği harmoniğin zıt işaretini sisteme verir. Bu işlemi gerçekleştirmek için bazı kontrol yöntemlerini kullanır.

Aktif filtreler, son yıllarda oldukça fazla kullanılan reaktif güç kompanzasyonu sistemlerinin yanında, regülasyon devreleriyle birlikte, akım ve gerilim dengesizlikleri olan yerlerde kullanılmaktadır.

Bağlanışlarına göre şu şekilde sınıflandırılırlar:

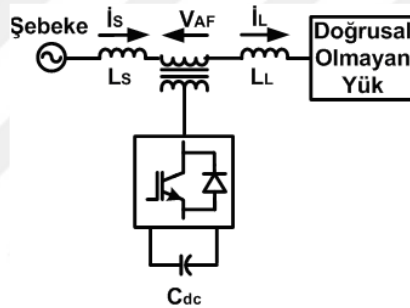
- Paralel
- Seri
- Birleştirilmiş güç kalitesi düzeltici
- Hibrit filtre olarak sınıflandırılır.

Birleştirilmiş güç kalitesi düzeltici seri ve paralel aktif güç filtresini birlikte içerir. Hibrit filtre pasif ve aktif filtrenin birlikte kullanımı ile oluşur [42].



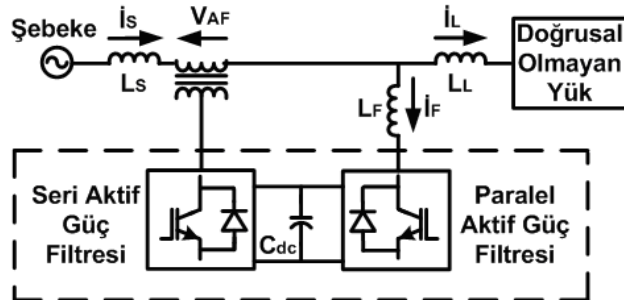
Şekil 5.2. Paralel aktif filtre.

Şekil 5.2’de paralel aktif filtrenin devreye bağlantısı görülmektedir. Doğrusal olmayan yükün temel bileşen dışında oluşacak akım değerlerini karşılamaktadır.



Şekil 5.3. Seri aktif filtre.

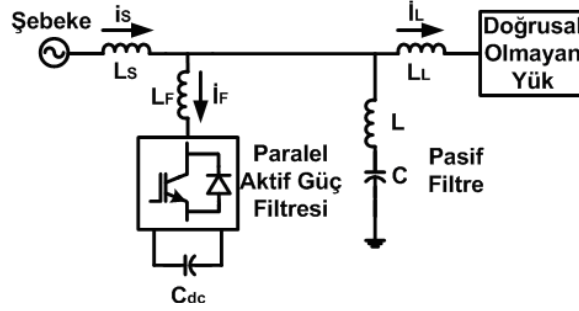
Şekil 5.3’de seri aktif filtrenin devreye bağlantısı görülmektedir. Temel olarak aktif filtrenin görevi olan yükün çektiği harmoniklerin analizini yapıp harmonik bileşenleri güç sistemine enjekte eder. Bağlantı yapısı itibari ile paralel filtreden farklıdır.



Şekil 5.4. Birleştirilmiş güç kalite düzeltici filtre.

Şekil 5.4’te birleşik halde seri ve paralel aktif filtrenin devreye bağlantısı görülmektedir. Buradaki temel amaç harmonik analizini en uygun şekilde yapıp sistemde oluşabilecek

harmoniklere etki etmektedir.



Şekil 5.5. Hibrit filtre.

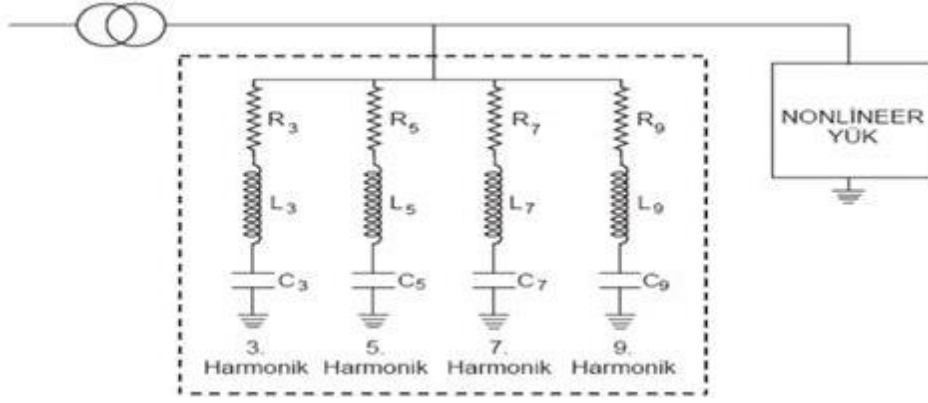
Şekil 5.5'te hibrit filtre yöntemi bağlantısı görülmektedir. Bir sonraki konuda da bahsedileceği gibi aktif ve pasif filtrelerin birbirlerine göre üstünlük ya da dezavantajları vardır. Pasif filtreler maliyeti düşük ve kullanımının kolay olmasından dolayı çok tercih edilmekle birlikte aktif filtreler de sisteme yeni eklenen harmonikleri tespit edip eliminasyonundaki etkinliği yadsınamaz bir gerçektir. Bu yüzden hibrit filtreler tasarlanmıştır. Harmoniklerin yok edilmesinde etkili olabilmekle birlikte maliyet açısından kullanışlı değildir [42].

5.3. PASİF FİLTRE YÖNTEMİ

Pasif filtreler harmoniklerin yok edilmesinde yaygın olarak kullanılan filtre çeşitlerindedir. Temel frekans üzerine etkiyen harmonik bileşenleri yok etmek amacıyla elektrik güç sisteminin enerji kalitesini artırmakta kullanılırlar. Kaynak ya da şebeke ile yük arasına yerleştirilen temel bant dışındaki diğer harmonik bantlarını elimine eden birbirine seri bağlı kondansatör ve bobinden oluşan filtredir. Her harmonik için onu rezonansa sokacak değere uygun bir bobin ve kondansatör elemanı bağlanarak yapılır [43].

Pasif filtreler tasarım, maliyet ve bağlantı kolaylığı bakımından değerlendirildiğinde sistem harmoniklerinin bozucu etkilerinin giderilmesinde oldukça kullanışlıdır.

Hastane elektrik enerji sisteminde pasif filtreleme işleminin tercih edilme sebebi ise; günümüz koşulları düşünüldüğünde düşük maliyetle maksimum fayda sağlamaktır. Bunun yanında tasarımlarının kolay olması diğer bir tercih sebebidir. Sisteme entegrasyonu oldukça sade olduğundan kullanım kolaylığı sağlamaktadır.



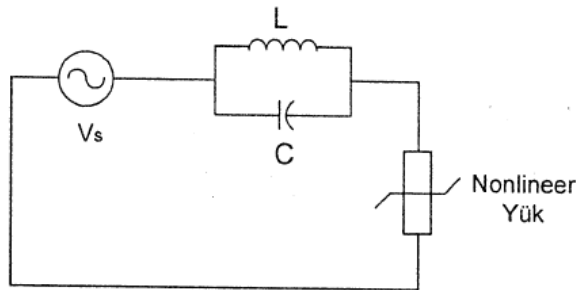
Şekil 5.6. Pasif filtre.

Şekil 5.6'da pasif filtrenin devreye bağlantısı görülmektedir. Bobin, direnç ve kondansatör elemanlarının birbirine bağlanmasıyla ve her bir harmonik için bobin, direnç ve kondansatör ilave edilerek oluşturulmuş bir sistemdir. 7. Bölüm'de pasif filtre tasarımı kısmında bu konuya ayrıntılı bir şekilde değinilecektir.

Sisteme bağlanış şekillerine göre seri ve şönt pasif filtreler olarak ikiye ayrılır. Bunun temel sebebi bağlantı şekline göre düşük yada yüksek empedans göstererek harmonikleri yok etmeleridir.

5.3.1. Seri Filtre

Güç sistemini etkileyen bozucu etkilerden sadece bir tanesini ya da belirli bir frekanstaki harmonik bozunumunu elimine etmek için bu yöntem kullanılır. Harmonik üreten kaynak ile güç sistemi arasına seri bağlanarak büyük empedansa sebep olur. Bunun yanında sadece belli bir frekansa göre hesaplandığından sadece bu hesaplanan frekans değerinde yüksek empedans göstermesi önemli bir özelliktir.

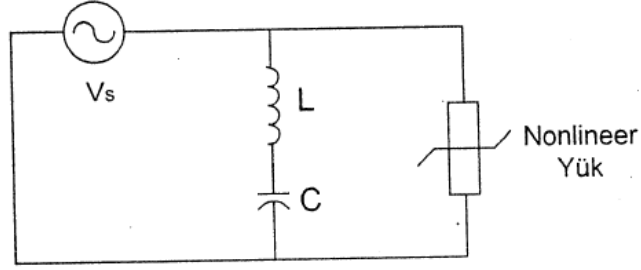


Şekil 5.7. Seri filtrenin devreye bağlantısı.

Şekil 5.7'de seri filtre devre bağlantısı görülmektedir. Genellikle 3. harmoniğin etkili durumlarda kullanılması bir diğer özelliğidir. Şönt filtreye göre en büyük avantajı ise rezonansa kalmamasıdır [44].

5.3.2. Şönt Filtreler

Filtreleme mantığında temel amaç harmonik bileşenlerin elimine edilmesidir. Harmonik etkilerin yok edilmesi ya da bu filtreleme yönteminde olduğu gibi toprağa akıtılması mümkündür. Seri filtrelerin maliyetinin yanı sıra şönt filtrenin temel frekansta sistemin reaktif güç ihtiyacını karşılıyor olması tercih sebebidir.



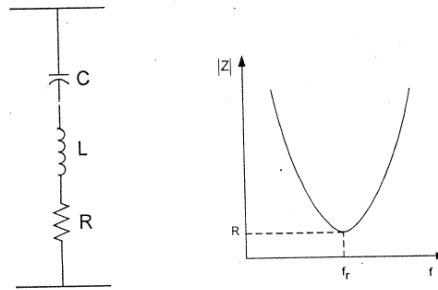
Şekil 5.8. Şönt filtrenin devreye bağlantısı.

Şekil 5.8'de görüldüğü gibi harmonik üreten nonlineer yük ile şebeke arasında paralel bağlanmıştır. Burada seri filtrenin tam tersi olarak harmonik değere minimum empedans göstermek için devreye bağlanırlar.

Üç tip şönt filtre uygulaması vardır. Bunlar:

5.3.2.1. Tek Ayarlı Filtreler

Bu filtre tipinde düşük empedans oluşturur ya da kısa devre meydana getirerek harmonik eliminasyonu sağlar. Her bir harmonikli frekans değeri için ayrı ayrı hesaplanır.



Şekil 5.9. Tek ayarlı filtre.

Şekil 5.9'da tek ayarlı filtre elemanı görülmektedir. Birbirine seri bağlanmış direnç, bobin ve kondansatörden oluşmaktadır. Şekildeki grafikte düşük empedans değerlerinde harmonikli frekans bastırıldığı görülmektedir [44].

Tek ayarlı filtre için ω açılal frekans değerine denk gelen filtre empedansı Z_f Denklem

(5.1)'deki gibi hesaplanır.

$$Z_f = R + j\left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right) \quad (5.1)$$

Filtre empedansı ve diğer filtre parametreleri kullanılarak X_r rezonans reaktansını hesaplayabiliriz.

$$\omega = \omega_n(1 + \delta) \quad (5.2)$$

Denklem (5.2)'ye göre açısal frekans değeri δ sabitesi ile ω_n n. harmoniğin açısal frekansı ile çarpılarak hesaplanır.

$$C = \frac{1}{\omega_n X_r} \quad (5.3)$$

Denklem (5.3)'e göre rezonans anındaki reaktans X_r ve n. harmoniğin açısal frekansı yerine yazılarak kapasite değeri olan C bulunur.

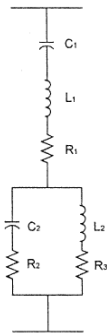
$$L = \frac{X_r}{\omega_n} \quad (5.4)$$

Denklem (5.4)'e göre değerler yerine yazılarak L endüktans değeri hesaplanır [44].

Hastane sistemi için tasarlanan filtre tek ayarlı şönt filtredir. Bölüm 7'de bu konuya ayrıntılı bir şekilde değinilecektir.

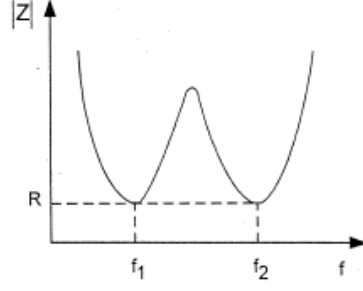
5.3.2.2. Çift Ayarlı Filtreler

Tek ayarlı filtreye alternatif olarak iki adet frekans değerinde alçak empedans etkisi oluşturarak bu frekansa denk gelen harmonik değerini filtre eder. Temel frekansta az güç kaybı oluşturmaları tek ayarlı filtreden ayıran en önemli özelliğidir.



Şekil 5.10. Çift ayarlı filtre.

Şekil 5.10'da çift ayarlı filtrenin oluşumu görülmektedir. Endüktans sayısı artırılarak diğer darbe genliklerinin de denetim altına alınabilmesi mümkündür.

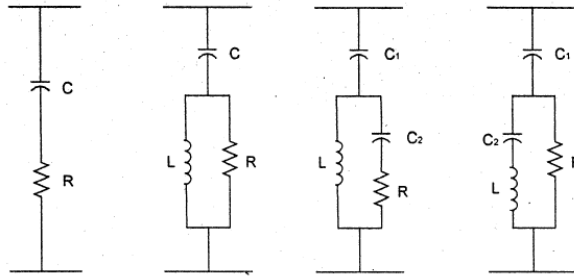


Şekil 5.11. Çift ayarlı filtrenin empedans değişimi.

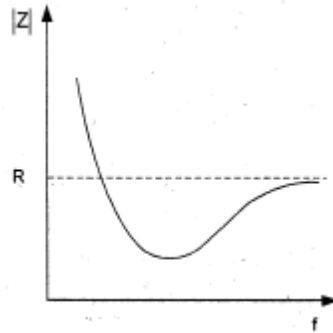
Şekil 5.11’de çift ayarlı filtre bastırılacak iki adet frekans değerinde düşük empedans gösterdiği görülmektedir.

5.3.2.3. Sönümlü Filtreler

Yüksek mertebeli frekansların filtrelenmesinde düşük empedans değeri gösteren filtreler tercih edilir. Sönümlü filtreler bu amaçla kullanıldıklarında yüksek geçiren filtre olarak isimlendirilir. Örneğin 17 ve üzeri harmonik bileşenlerin filtrelenmesi için uygundur fakat sönümlü filtrelerin kalite faktörleri 0,5-5 aralığında oldukça düşüktür.



Şekil 5.12. Sırasıyla 1 derece, 2. derece, 3. derece ve C tipi sönümlü filtre.



Şekil 5.13. Sönümlü filtrenin frekans empedans değişimi.

Şekil 5.12’de sönümlü filtrelerin dört çeşidi görülmektedir. Yüksek mertebeli filtreleme özelliğinden dolayı yüksek geçiren filtre de denilir. Şekil 5.13’te görüldüğü gibi en önemli özellikleri ise büyük frekanslarda düşük; küçük frekanslarda da yüksek

empedans oluşturmalarıdır. Birinci derece sönümlü filtreler temel frekansta kayıplara sebep olup büyük bir kapasite gerektirdiğinden çok fazla tercih edilmez. İkinci derece sönümlü filtreler ise üçüncü derece filtrelere göre temel frekansta daha yüksek kayıp oluşturur. Üçüncü derece sönümlü filtrenin ikinci derece sönümlü filtreye göre avantajı C_2 kapasitesinin sebep olduğu empedans artışı nedeniyle temel frekans kaybı çıkarmasıdır. C tipi filtre kayıpları ikinci ve üçüncü dereceden sönümlü filtrelerin arasında bir değerdedir ve temel frekansta kayıpların az olması bir üstünlüğüdür [44].



6. HARMONİK ANALİZİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

6.1. ÖLÇME YÖNTEMİ

Çalışmanın temel kısımlarından olan harmoniklerin ölçümü aşaması harmonik analizatörleri yardımıyla yapılır. Bu analizatörler Fast Fourier Transform (FFT) mantığına göre çalışırlar. Analizatör bağlı olduğu şebeke ya da sistemin gerilim ve akım değerlerini okuyarak harmonik büyüklükleri tespit eder. Harmoniklere ait genlik, faz açısı, frekans değerlerini verir.

Teknolojinin gelişmesi ile haftalık, aylık ve daha uzun süreli verileri kaydeden bu cihazlar temel bileşen ve harmonik bileşenlerini gerçek zamanlı veriler halinde sunar. Belirli değerlere kadar harmonik büyüklükleri gösteren cihazlar mevcuttur. Bu cihazlarla elde edilen veriler, etkin değerdeki harmonik akım ve gerilim değerleridir. Elde edilen veriler doğrultusunda harmonik eşdeğer devre tasarlanacak ise analizatörler harmoniklerin genliğinin yanında faz açısı bilgisini de vermektedir.

6.2. HARMONİKLERİN MATEMATİKSEL İFADESİ

Bir fonksiyon olarak tanımlı ve düzgün bir sinüs olmayan periyodik sinyali yazmak mümkündür. Fransız bilim adamı Fourier temel frekans ve diğer harmonikli bileşenleri toplayarak aynı fonksiyonda aşağıdaki ifadede görüldüğü gibi yazmıştır.

$$y = f(x) = C_0 + C_1 \sin(x + \varphi_1) + C_2 \sin(2x + \varphi_2) + \dots + C_n \sin(nx + \varphi_n) \quad (6.1)$$

Bu eşitlikten yola çıkarak zaman domeninde akımı yazılırsa:

$$i(t) = I_0 + I_{m1} \sin(\omega t + \varphi_1) + I_{m2} \sin(2\omega t + \varphi_2) + \dots + I_{mn} \sin(n\omega t + \varphi_n) \quad (6.2)$$

Elde edilir. Burada $\omega = 2\pi f$ olup, f temel bileşen frekansıdır, n en yüksek harmonik mertebesi, I_0 akımın doğru bileşeni, I_{mn} harmonik mertebesi n olup ($n=1,2, \dots, n$) I_{mn} ve φ_n n . harmonik akım bileşeninin en yüksek değeri ve faz açısıdır [41].

6.3. HARMONİKLERİN MODELLENMESİ

Modelleme aşamasında ise Matlab/Simulink yardımıyla modellenerek uygun filtre tasarımı yapılabilir. Öncelikle sistemin reaktif gücü tespit edilir çünkü filtreler aynı zamanda reaktif gücü de kompanze eder [45].

Bu tasarım matematiksel ifadelerden faydalanılarak ya da bu çalışmada yapıldığı gibi analizatör verilerinin derlenmesi ile yapılabilir. Analizi yapılan hastaneden elde edilen analizatör verilerine göre sistemin aktif gücü 189 kW, reaktif gücü 38 kVAr ve görünür gücü de 192 kVA'dır.

Hastanede 1600 KVA gücünde bir transformatör mevcuttur. 600 KVA gücünde kesintisiz güç kaynağı kesinti durumları için sürekli sisteme bağlı durmaktadır.

Şekil 6.1'de görülen hastane tek hat şemasından da görüldüğü gibi;

- Yoğun Bakım
- Çamaşırhane
- Mutfak
- Ameliyathane
- 13 Adet Servis
- Doğumhane
- Diyaliz
- Acil Servis
- Laboratuvar birimlerine ait kolon hatları mevcuttur.

Öncelikle incelenen sağlık kuruluşu güç sisteminden analizatör yardımıyla alınan veriler değerlendirilir. Güç sistemi bir bütün olarak ele alındığında ve Çizelge 7.1'deki ölçüm sonuçları düşünüldüğünde harmonik filtreleme işleminin önemli olduğu görülmektedir. Bu veriler doğrultusunda tek ayarlı şönt filtre için hesaplamalar yapılmıştır. Daha sonra MATLAB/Simulink'te güç sistemi ve filtre modellemesi yapılarak sistem oluşturulur. Materyal yöntem ve tasarım kısmında bu durum ayrıntılı açıklanacaktır.

7. MATERYAL, YÖNTEM VE TASARIM

Hastane elektrik sistemi kampüs içerisinde bulunan diğer yapı ve tesisler arasında ayrı bir öneme sahiptir. Elektrik güç sistemi iyi bir şekilde teşkil edilmiş olması önem arz etmektedir. Şekil 6.1’de görülen Düzce Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi tek hat şemasından anlaşılacağı üzere enerji giriş bölümü, orta gerilim, alçak gerilim bölümlerinden oluşmaktadır. Bunun yanında destek üniteleri olan kesintisiz güç kaynağı ve jeneratör birimleri de mevcuttur. İleriye dönük bir yaklaşımla tesis edilecek bir sistem elektrik enerji kalitesine olumlu katkı sağlayacaktır. 1600 kVA’lık trafo tesis edilmesi bunun en güzel örneğidir. Çünkü ileride oluşabilecek ilave yükler rahatlıkla karşılanabilecektir.

Bir tesisin enerji kalitesini belirlemede ve gerekli tedbirlerin alınmasında bazı materyallere ihtiyaç vardır. Harmonik analizi yapabilecek, akım ve gerilim değerleri uygun bir analizatöre ihtiyaç vardır. Bunun yanında ölçüm sonuçlarının derlenmesi için analizatör paket programının olması kolaylık sağlamaktadır. Bilgisayar ortamında veriler rahatlıkla yorumlanabilir. Yorumlanan veriler neticesinde filtre tasarımına gidilecek ise uygun tasarım modeli seçilerek gerekli hesaplamalar yapılır. Ardından simülasyon programı yardımıyla güç sistemi ve tasarlanan filtre modellenerek analiz yapılır.

Elektrik enerjisi kalitesinin incelenmesi sürecinde kullanılan materyallerden olan harmonik analizatörü sisteme entegre edilerek işleme başlanır. Şekil 6.1’de hastane tek hat şeması üzerinde, ölçü hücresinde bulunan alçak gerilim barasına ve akım trafosuna analizatörün eklendiği yer görülmektedir. Daha sonra ölçme yöntemi ile hastane trafo merkezinden analizatör kullanılarak bir hafta süreyle otuz saniyede bir veri toplanmıştır. Ardından bu veriler derlenerek uygun filtre hesaplaması yapıp, MATLAB/Simulink yardımıyla güç sistemi ve filtre modellenerek gerekli analizler yapılmıştır. Elde edilen veriler doğrultusunda harmonik seviyesinin istenen standartlara indirilmesi sağlanmıştır.

Harmonik analizi, filtre tasarımı ve modelleme basamakları ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

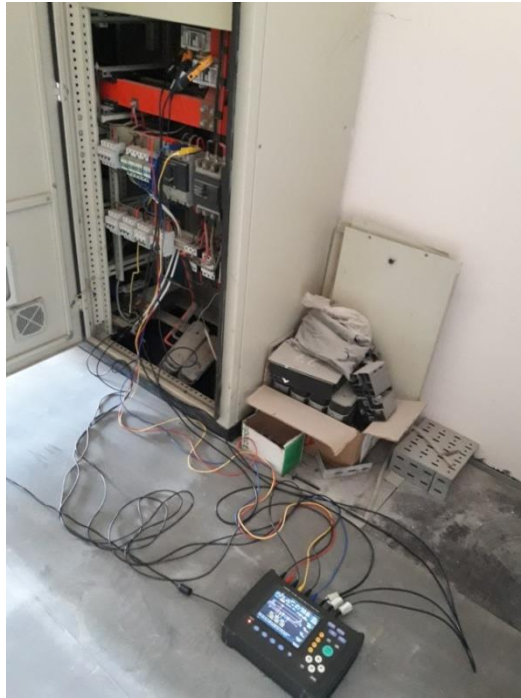
7.1. HARMONİK ANALİZİNDE KULLANILAN ÖLÇME CİHAZI

Şekil 7.1’de kullanılan harmonik analizatörü görülmektedir. Harmonik analizleri için tasarlanmış olan ve taşınabilir özelliklerinden dolayı kullanım kolaylığı sağlayan bu cihazlar ihtiyaca göre farklı gerilim ve akım seviyelerinde üretilmektedir. Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği laboratuvarında bulunan analizatörü kullanarak ölçme işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 7.1. Ölçüm alınan analizatör.

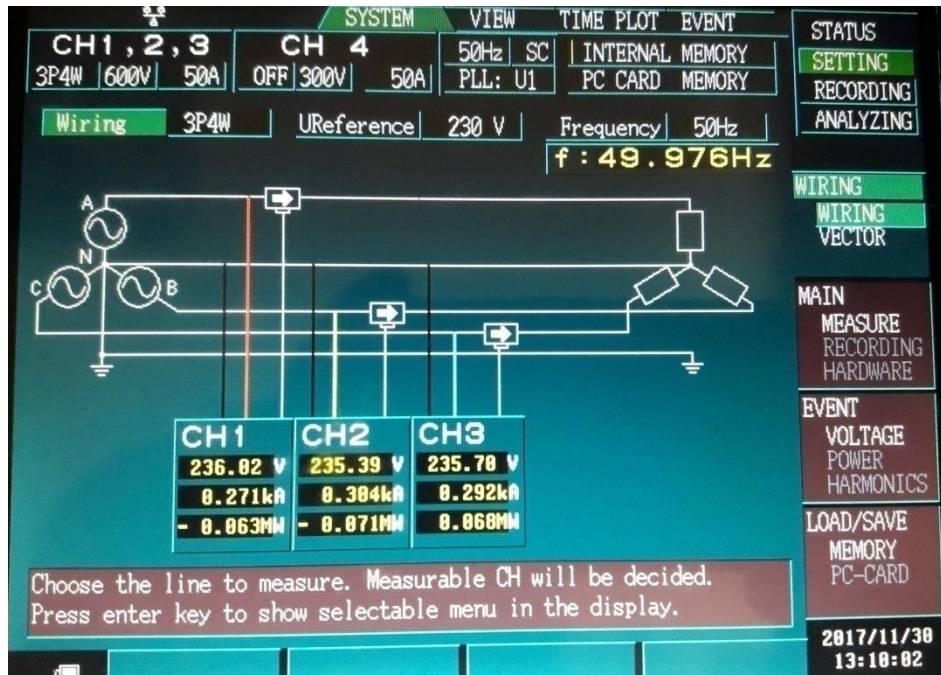
Hastane bara sistemine Şekil 7.2’deki gibi analizatör bağlantısı yapılmıştır. Analizatör bağlantısı, Şekil 6.1’deki noktada alçak gerilim barası ve akım trafosu üzerinden veri alınacak şekilde yapılmıştır. Üç adet gerilim probu baralar üzerine, üç adet nötr probu nötr barasına, üç adet akım ölçer pens de 250/5 A’lik akım trafosu üzerine bağlanmıştır.



Şekil 7.2. Analizatörün bara sistemine bağlanması.

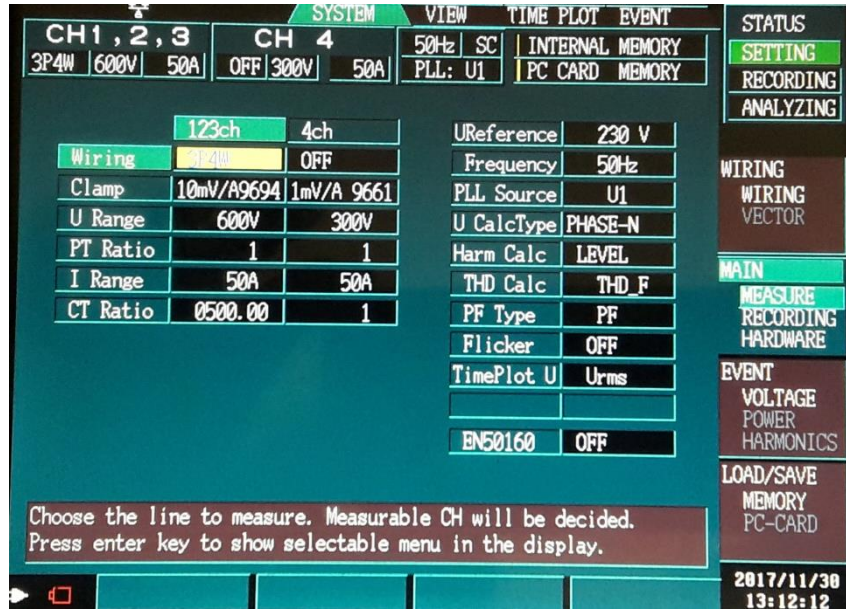
Onuncu bölüm EK-1’de analizatörün sisteme bağlandığı noktalar, Şekil 10.1 ve Şekil 10.2 ile ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

Ölçümlere analizatör ayarları yapılarak başlanmıştır. Şekil 7.3’te görülen ekran cihaz durum ekranıdır ve tüm verilerin aynı anda görülmesini sağlamaktadır. Ayrıca cihazın güç kaynağı ve bataryası mevcuttur. Kesinti durumlarında kayıt alabilmesi açısından cihaz bataryasının üzerinde takılı olduğundan emin olunmalıdır. Bunun yanında eklenecek harici hafıza birimiyle kapasitesi artırılabilir. Haftalık alınan ölçümlerde hafıza kapasitesi önem arz etmektedir. İstenirse ölçüm aralığı artırılarak hafızaya daha uzun süreli veriler yedeklenebilir. Bu analizde ölçüm aralığı olarak otuz saniye seçilmiş ve harici hafıza birimi eklenmiş olarak ölçümler alınmıştır.



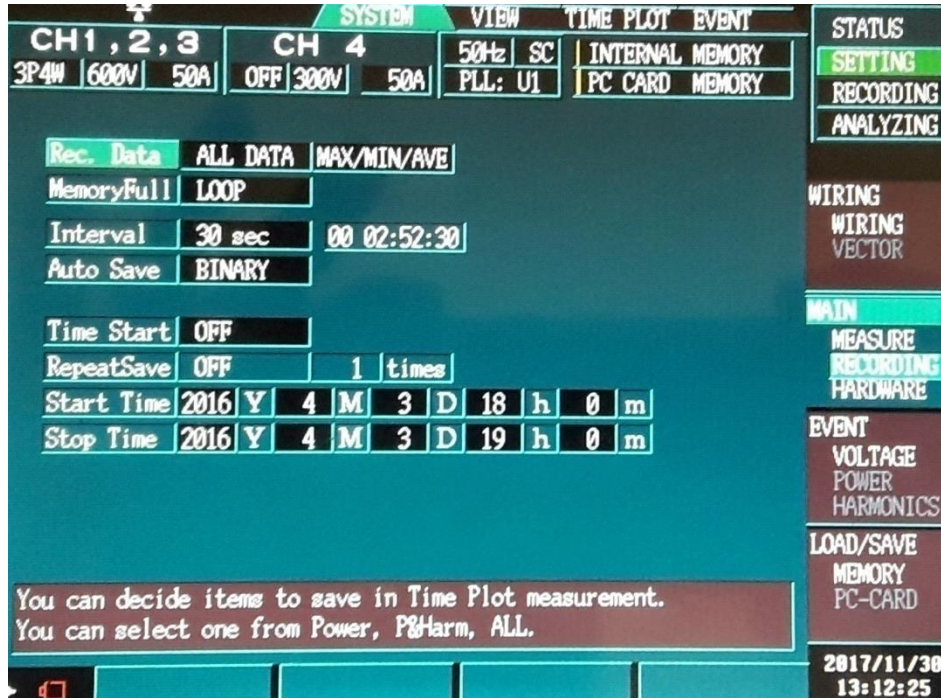
Şekil 7.3. Analizatör durum ekranı.

Analizator, Şekil 7.3’te görüldüğü gibi fazlar arası 600 V ve maksimum 500 A akıma göre tasarlanmıştır. Sistemin çalışma gerilimini, akımını ve aktif gücünü de analizator durum ekranında görmek mümkündür. Kaç kanaldan veri alındığı ve veri alınan kanalları da bu ekrandan görmek mümkündür. Üç fazlı dört telli bağlantı özelliği bulunmaktadır. Bu ayarlamaları yapmak için öncelikle ayarlar menüsüne girilmelidir.



Şekil 7.4. Analizatörün ölçüm ayarlarının yapıldığı ekran.

Şekil 7.4'te görüldüğü gibi ayarlar menüsünden ölçüm ayarlarına girilir ve buradan kaç kanallı kullanılacağı ayarlanır. Sonrasında kullanılan ölçü pensi özellikleri clamp menüsünden 10 mV/A, A9694 modeli seçilir. Ardından gerilim ve akım ölçme aralığı ayarlanır. Burada akım ölçme aralığının 50 A'ye ayarlanma sebebi akım trafosunun dönüştürme oranının 250/5 A olmasıdır. Daha sonra kayıt ayarlarının yapılması gerekmektedir.



Şekil 7.5. Analizatörün kayıt ayarlarının yapıldığı ekran.

Şekil 7.5'te görülen ekranda ayarlar menüsünün kayıt bölümünde analizatörün ne kadar aralıklarla kayıt alacağını belirlediği bölüm vardır. Burada otuz saniye aralıklarla ölçüm alınması sağlanmıştır. Ölçüm işlemi tüm bu ayarlar yapıldıktan sonra bir hafta süreyle gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen veriler cihaz ekranında doğrudan görülememektedir. Sadece akım, gerilim ve aktif güç her kanal bir fazı temsil edecek şekilde durum ekranında görülmektedir. Ancak bu şekilde analiz sonucu ile ilgili ayrıntılı bilgi elde edilememektedir. Verileri derleyebilmek ve yorumlanacak grafikleri elde edebilmek için hafıza birimine depolanan veriler bilgisayar ortamına taşınarak cihaz paket programı yardımıyla görüntülenebilmektedir. Burada akım ve gerilim harmoniklerinin haftalık değerleri ve bar grafikleri ile sayısal tablolar halinde THD şeklinde görüntülenebilmektedir.

Elde edilen bu verilerin yorumlanması ve ardından harmonik sınırların içinde olup olmadığına karar verilerek gerekli filtre tasarımına gidilmesi gerekmektedir.

7.2. ANALİZ SONUÇLARININ YORUMLANMASI

Topla harmonik distorsiyon (THD) harmonikli ve periyodik olan dalga formunun, tam bir dalga formundan sapmasını gösteren ifadedir [44]. Bir sistemin harmonikli olup olmadığının tespitinde önemli bir parametredir. Ölçüm neticesinde analizatörden elde edilen veriler neticesinde, harmonik etkilerin sınırlanmasını amaçlayan standartlarda çok yaygın olarak kullanılan toplam harmonik distorsiyonu ve harmonik büyüklükler, akım için şöyledir:

Çizelge 7.1. Harmonik analizi sonucu elde edilen veriler.

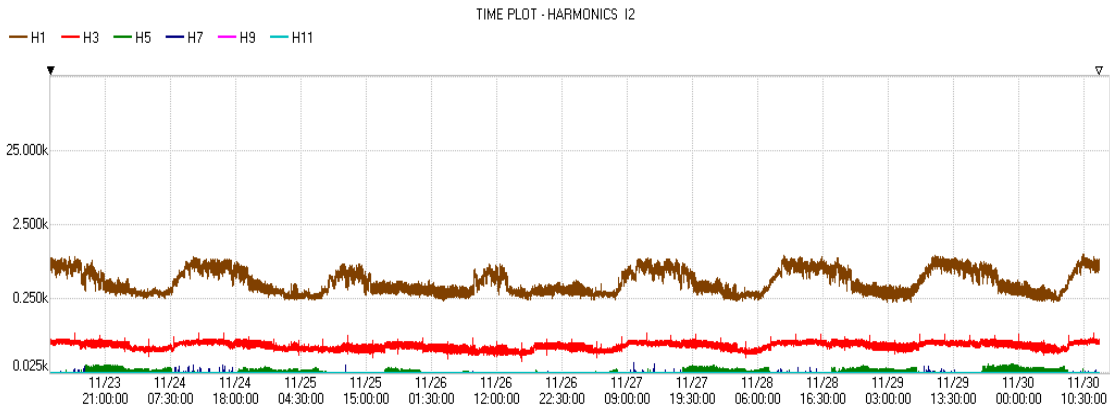
Harmonik Sırası	Akım (kA)	Harmonik Sırası	Akım (kA)	Harmonik Sırası	Akım (kA)	Harmonik Sırası	Akım (kA)
1	0,769	14	0,000	27	0,000	40	0,000
2	0,001	15	0,003	28	0,000	41	0,000
3	0,068	16	0,000	29	0,001	42	0,000
4	0,001	17	0,004	30	0,000	43	0,000
5	0,014	18	0,000	31	0,001	44	0,000
6	0,000	19	0,002	32	0,000	45	0,000
7	0,018	20	0,000	33	0,000	46	0,000
8	0,000	21	0,001	34	0,000	47	0,001
9	0,009	22	0,000	35	0,001	48	0,000
10	0,000	23	0,002	36	0,000	49	0,001
11	0,009	24	0,000	37	0,001	50	0,000
12	0,000	25	0,001	38	0,000	THD	%9,56
13	0,006	26	0,000	39	0,000		

Çizelge 7.1’de elde edilen veriler THD incelendiğinde akım yüzdesinin 9,56 seviyesinde olduğu ve IEEE standartlarının üzerinde olduğu görülmektedir. Harmonik değerleri incelendiğinde %5-%8 arasında bir değere indirmek için filtre tasarımı yapılarak ilgili sağlık kuruluşunun enerji kalitesi artırılabilir.

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (7.1)$$

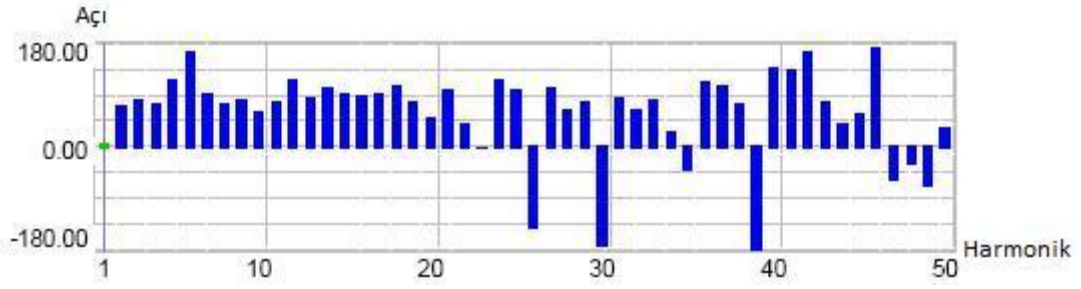
Çizelge 7.1’de analiz sonucu elde edilen veriler Denklem (7.1)’de yerine yazılarak, elli harmonik değerlerin karelerinin toplamının karekökü ifadesinin temel harmonik akıma oranlanmasıyla bu değer %9,56 olduğu belirlenmiştir. Bu hesaplama ile Çizelge 7.1’de elde edilen toplam harmonik distorsiyonu verisi doğrulanmaktadır.

Şekil 7.6’da görüldüğü gibi Çizelge 7.1 ile sayısal olarak elde edilen değerlerin grafiksel gösterimi verilmiştir. Bu ölçüm bir hafta süreyle alınmış olup temel akıma etki eden harmonik akımlar ayrıntılı bir şekilde görülmektedir. Temel akımın yanında ilk beş harmonik büyüklük bu grafik üzerinde belirtilmektedir. Üçüncü harmoniklerin etkisinin oldukça fazla olduğu gözlenmektedir. Bunun yanında beşinci ve yedinci harmonikler de sistemi olumsuz etkilemektedir. Dokuz ve on birinci harmonik etkilerinin oldukça az olduğu da grafik üzerinde görülmektedir.



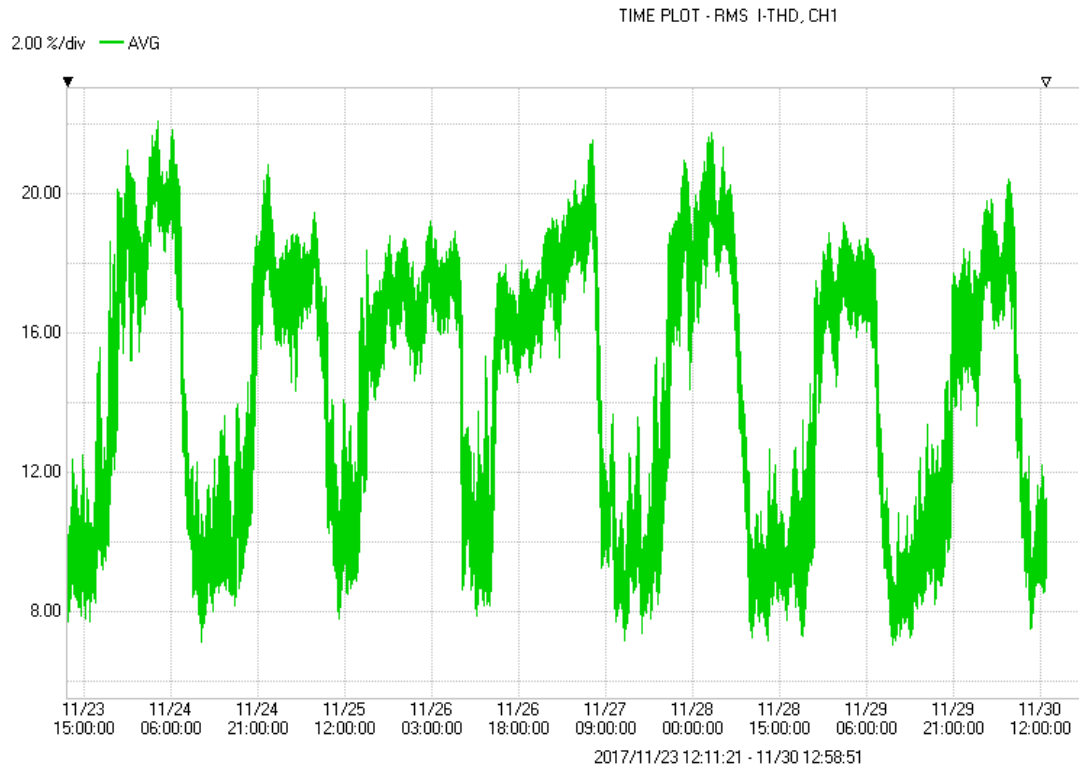
Şekil 7.6. Harmonik analizi sonucu elde edilen haftalık harmonik grafiği.

Bu harmonik oluşumlarının giderilmesi gereklilik arz ettiğinden dolayı öncelikle filtre tasarımı yapılmalıdır. Ardından simülasyon programında kurulan bara sistemine güç değerleri ve analizatör yardımıyla alınan gerçek harmonik akım değerleri de girilerek sistemin simülasyonu yapılır. Sonrasında tasarımı yapılan pasif filtre sisteme eklenerek harmonik seviyesi istenen değerlere indirilir.



Şekil 7.7 Harmonik analizi sonucu elde edilen toplam harmonik açısal grafiği.

Çizelge 7.1’de analizatörden alınan sayısal veriler Şekil 7.7’deki bar şeklinde de ifade edilebilir. Bu grafik analizatör paket programının bilgisayar ortamında veriler neticesinde gösterilmesiyle elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde elli harmonik değeri açısal olarak ifade edilmiştir. Bazı geçici durumlar nedeniyle açısal değişimler grafikte görülmektedir. Bir haftalık alınan ölçüm sürecinde elde edilen grafiğin bir toplam harmonik distorsiyonu verisi olduğu düşünüldüğünde kesinti yada anlık harmonik rezonans durumlarının sistemi etkilediği görülmektedir.



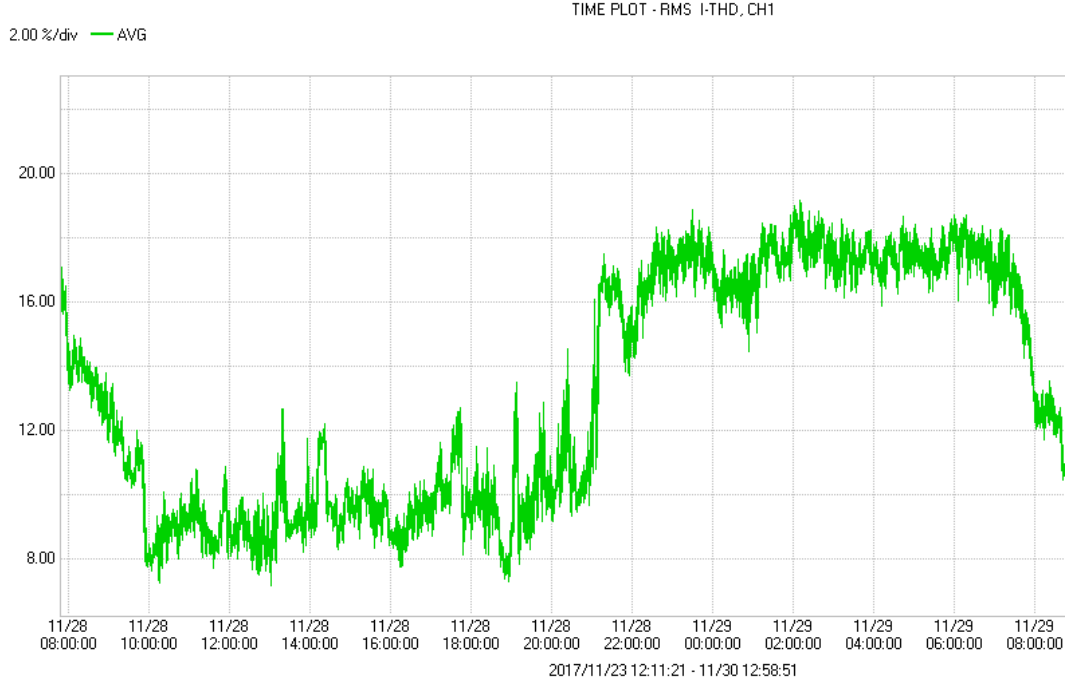
Şekil 7.8. Bir haftalık akım ortalama THD grafiği.

Şekil 7.8’de görüldüğü gibi bir haftalık ölçüm hastane güç sisteminin değişken yapısını göstermektedir. Bu akım dalgalanmalarının bir haftalık bazda gece-gündüz, mevsimsel ve haftanın günlerine göre değişebildiği gözlenmiş olup; harmonik etkilerinde buna

bağlı olarak değişkenlik gösterdiği saptanmıştır.

Bu grafik ayrıntılı bir şekilde günlük bazda ele alınacak olursa gün içindeki akım dalgalanmalarının zaman göre nasıl değiştiğini ayrıntılı bir şekilde görülebilir.

Ayrıca günün elektrik enerjisi tüketim saatleri, mesai saatleri ve mevsimsel ısınma ihtiyacı gibi etkilerin günlük etkilerinin izlenmesi mümkündür.



Şekil 7.9. Hafta içi 28.11.2017-29.11.2017 tarihleri arasında 24 saatlik akım ortalama THD grafiği.

Şekil 7.9’da görülen grafik bir hafta boyunca yapılan ölçümün bir günlük değişimini göstermektedir. Bu grafikte mesai saatlerine denk gelen zaman dilimi incelenmiştir. Gecenin bitişiyile sabah saatlerinde akım değerleri aşağı seviyelere inmektedir. Bunun nedeni enerji kullanımının azalmasıdır. Fakat mesainin başlaması ile özellikle tetkiklerin verilmeye başlandığı saat olan 10:00 civarında akım değerlerinin artması ve bozucu etkilerin varlığı görülmektedir. Buradan da anlaşılacağı gibi laboratuvar ve görüntüleme cihazları sistemi olumsuz etkilemektedir. Öğleden sonra mesainin başlaması ile yine ani bir artış görülmektedir. Bu durum sisteme girip çıkan cihazlarda bir artış olduğunu göstermektedir. Akşam saatlerine doğru mevsimin kış ve aylardan da Kasım olması nedeniyle ısıtma sisteminin ısıyı artırmak için ilave pompaların devreye alınması ve bunların sürekli devreye girip çıkması akım değişikliklerine sebep olmaktadır. Ayrıca klima sistemlerinin ısıtma amacıyla kullanılması da bu akım

artışlarının sebeplerindedir. Yine akşam saatlerinde iç ve dış aydınlatma sistemlerinin devreye alınması akım dengesizlikleri yaratmaktadır. Bunun yanında hastanenin servis ve kantin tarafındaki bloklarda balastlı floresan lambalar mevcut. Bu lambaların manyetik endüksiyon etkisi yaratan balastları bozucu etkileri artırmaktadır. Bu bozulmaların gün boyu oluşan harmoniklerin geneline etkisi vardır.

Onuncu bölümde EK-2’de analiz sonucu elde edilen, Şekil 10.3 ile birinci, Şekil 10.4 ile ikinci ve Şekil 10.5 ile üçüncü faza ait harmonik akım grafikleri görülmektedir. Bunun yanında üç faza ait haftalık gerilim ve akım harmonik grafikleri Şekil 10.6 ve Şekil 10.7 de görülmektedir. Gerilim ve akımın üç faza ait THD grafikleri ise Şekil 10.8 ve Şekil 10.9’da görülmektedir.

Bu durumları bir bütün halinde ele alınırsa, THD akım değeri yüzdesinin 9,56 çıkması ve sebep olan anlık akım değişimleri gözlemlendiğinde akım harmoniklerinin bastırılarak enerji kalitesinin artırılması gerekmektedir. Bundan dolayı filtre tasarımı yapılmalıdır.

7.3. PASİF FİLTRE TASARIMI VE GÜÇ SİSTEMİN MODELLENMESİ

Bir filtre tasarımında; harmonik akım eğrileri, toplam harmonik bozunum değeri, sistemin reaktif gücü, diğer kaynakların etkisi gibi kriterler göz önünde bulundurulur. Sistemde üç, beş ve yedinci harmonikler etkili olduğundan dolayı, kullanılabilirlik ve maliyet açısından kolaylık sağlayan tek ayarlı şönt filtre tercih edilmiştir.

Şekil 5.9’da görülen tek ayarlı filtre tasarımında aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplama yapmak mümkündür.

Empedans değeri Z Denklem (7.2) ile hesaplanır.

$$Z = R + j \left(\omega L - \frac{1}{\omega C} \right) \quad (7.2)$$

Filtrenin uygulanacağı frekans değerinde rezonans anındaki endüktif reaktans ωL ve kapasitif reaktans ωC olmak üzere; denkleminin sanal kısmı sıfıra eşit olacağından direnç değeri R , empedansa eşit olur.

Filtre uygulanacak rezonans anındaki frekans değeri f_r aşağıdaki Denklem (7.3) ile L endüktans ve C kapasite değerleri hesaplamaya katılarak bulunur.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (7.3)$$

İstenen harmonik değeri sırası n olmak üzere; endüktif ve kapasitif reaktans değerleri aşağıdaki Denklem (7.4) ve Denklem (7.5) ile hesaplanır.

$$X_{Ln} = n\omega L \quad (7.4)$$

$$X_{Cn} = \frac{1}{n\omega C} \quad (7.5)$$

Rezonans anında ise;

$$X_{Ln} = X_{Cn} \quad (7.6)$$

olur.

Filtreyi oluşturan direnç, bobin ve kondansatör değerleri şu şekilde belirlenir:

Kondansatör kapasitesi;

$$Q_c = \omega \cdot C \cdot V^2 \quad (7.7)$$

Denklem (7.7) ile hesaplanır. Paralel filtre kol sayısına “k” ile ifade edecek olursak bir filtre kapasitesi;

$$C_r = C/k \quad (7.8)$$

olur. Kalite faktörü X_{Cn} , n. sıradaki harmoniğe ait kapasitif reaktans değeri olmak üzere; rezonans anındaki reaktans değerlerinin dirence oranıdır ve Denklem (7.9) ile ifade edilir:

$$X_{Cn} = \frac{\sqrt{L/C}}{R} = \frac{X_{Lr}}{R} = \frac{X_{Cr}}{R} \quad (7.9)$$

Direnç değeri;

Bu değer küçük bir değere sahip olduğundan genelde seçilen herhangi bir değerden oluşur. Ne kadar küçük seçilirse filtrenin kalite faktörü o kadar fazla olur. Eğer bir Q kalite faktörü verilip endüktans ve kapasite değerleri istenir ise Denklem (7.10) ve Denklem (7.11) kullanılır:

$$L_r = \frac{X_{Lr}}{2\pi f_r} = \frac{R \cdot Q}{2\pi f_r} \quad (7.10)$$

$$C_r = \frac{1}{2\pi f_r \cdot X_{Cr}} = \frac{1}{2\pi f_r \cdot R \cdot Q} \quad (7.11)$$

Rezonans frekansı f_r ise L_s kaynak özendüktans değeri ve L endüktans olmak üzere Denklem (7.12) ile ifade edilir [44]:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{(L_s + L) \cdot C}} \quad (7.12)$$

Öncelikle analizatörden ölçülen bir faza aktif güç verisi olan 63 kW değeri üç faz için aktif güç (P) 189 kW olarak hesaplanır.

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} \quad (7.13)$$

Denklem (7.13)'te aktif güç ve 0,98 olan $\cos\varphi$ değeri yerine yazılarak görünür güç (S) hesaplanır.

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (7.14)$$

Denklem (7.14)'e göre reaktif güç (Q) 33,81 kVAR olarak hesaplanır. Artık sistemin reaktif gücü bilindiğinden ve buradan rahatlıkla kondansatör gücü hesaplanabileceğinden aşağıdaki formülleri kullanmak kolaylık sağlayacaktır [44].

$$C_t = \frac{Q}{2\pi \cdot f \cdot (V_{bara})^2} \quad (7.15)$$

Denklem (7.15)'te görüldüğü gibi sistemin Q reaktif gücü 38 kVAR, f frekans değeri 50 Hz ve giriş bara gerilimi V_{bara} 34,5 kV değerleri yerine yazılarak C_t kondansatör gücü hesaplanır. Hastane elektrik sisteminin aktif gücü 189 kW'tır. Sistemin güç değerleri analizatör yardımıyla tespit edilmiştir. Bu değer filtrelerin bir diğer fonksiyonu olan kompanzasyon içinde önemlidir [5].

$$C = \frac{C_t}{3} \quad (7.16)$$

İlk üç harmonik için filtre tasarımı yapılacağından Denklem (7.16)'da da görüldüğü gibi kondansatör kapasitesinin üçe bölünmesi ile her koldaki kondansatör kapasitesi hesaplanır.

$$X_{rn} = \frac{1}{n \cdot \omega \cdot C} = \frac{1}{n \cdot 2\pi \cdot f \cdot C} \quad (7.17)$$

Bobin direnç değerlerini hesaplayabilmek için öncelikle rezonans anındaki reaktans değeri X_{rn} Denklem (7.17)'ye göre hesaplanır. Burada n hesapladığımız harmonikler olan üç, beş ve yedi olarak değişecektir. Her bir harmonik değeri için ayrı ayrı hesaplanır.

$$R_n = \frac{X_{rn}}{Q_f} \quad (7.18)$$

Denklem (7.18)'e göre n. harmoniğin direnç değeri R_n rezonans anındaki reaktans değeri X_{rn} 'nin Q_f kalite faktörüne oranıdır. Bu değer küçük bir değere sahip olduğundan genellikle seçilen bir değerle ifade edilir.

$$L_n = \frac{X_{rn}}{n \cdot \omega} = \frac{X_{rn}}{n \cdot 2\pi \cdot f} \quad (7.19)$$

Denklem (7.19)'a göre n. harmoniğin endüktans değeri L_n rezonans anındaki reaktans değeri X_{rn} 'nin n harmonik sayısı ve ω açısal frekansa oranıdır.

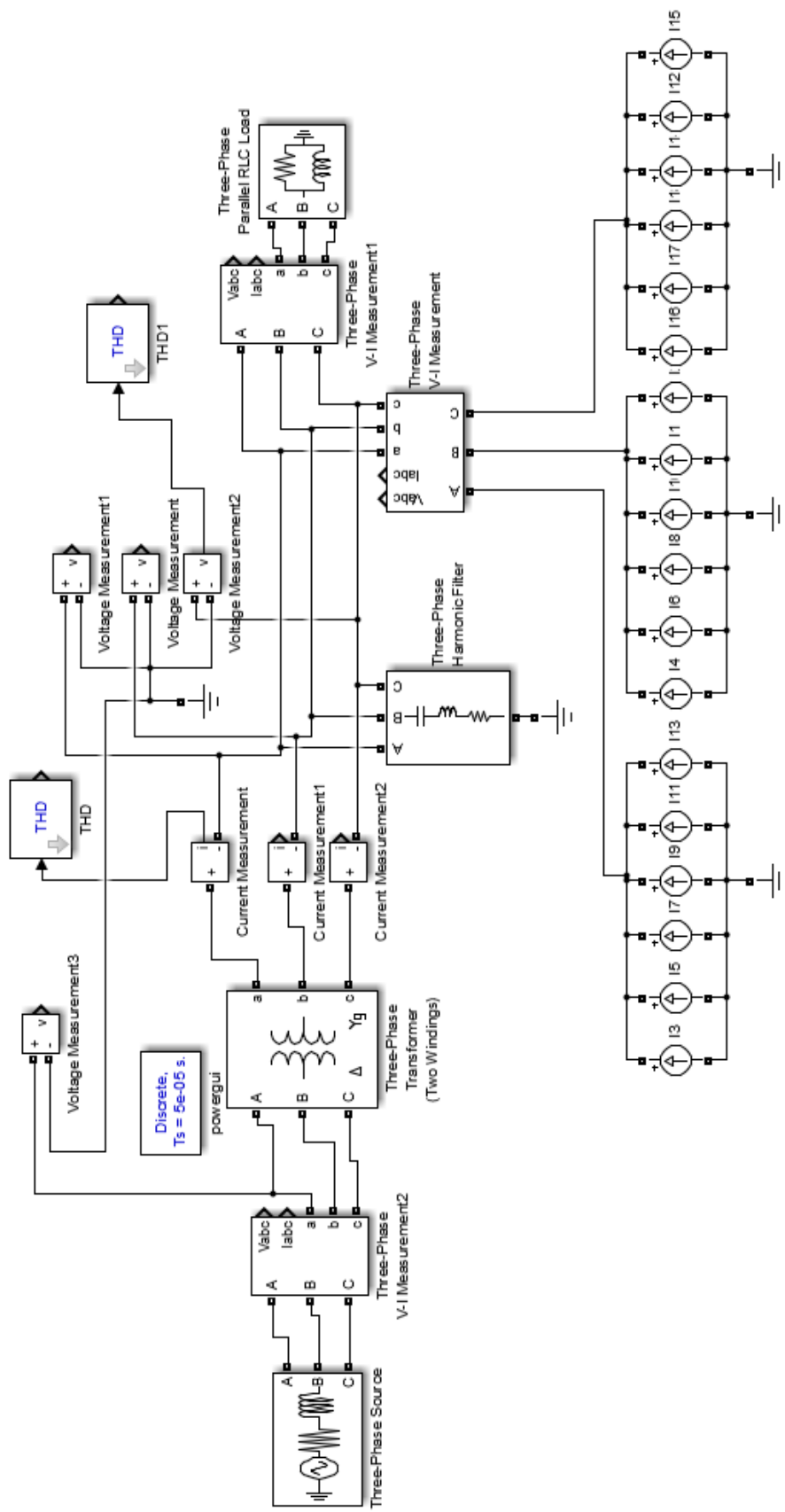
Bu değerlerin hesaplanması neticesinde tasarlamak istenen tek ayarlı şönt filtrenin tüm parametreleri elde edilir.

Çizelge 7.2. Filtre değerleri.

Harmonik Sırası	C (Farad)	R(Ohm)	L(Henry)
3.	$3,014 \cdot 10^{-9}$	50290,689	1867,603
5.	$3,014 \cdot 10^{-9}$	603,488	13,447
7.	$3,014 \cdot 10^{-9}$	431,063	6,861

Elde edilen filtre parametreleri Çizelge 7.2'deki gibidir. Tek ayarlı şönt filtreye ait veriler olan bobin, direnç ve kondansatör değerleri simülasyon programına aktararak filtre tasarımı uygulanmış olacaktır. Üçüncü, beşinci ve yedinci harmoniklere ait veriler sırası ile verilmiştir.

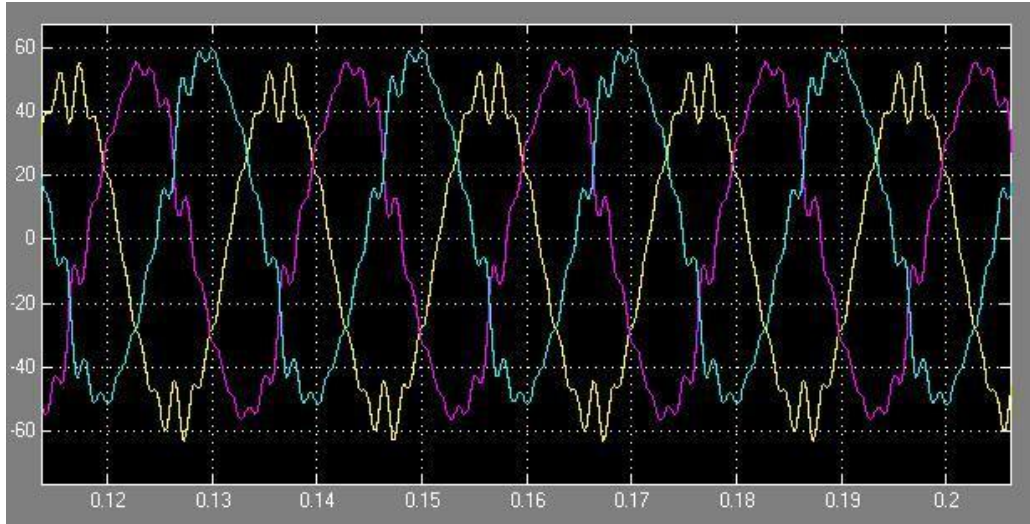
Sistemin Matlab/Simulink modellenmesi için gerekli parametreler olan güç değerleri ve filtre değerleri bilindiğine göre sistem program üzerinde kurulabilir.



Şekil 7.11. Güç sisteminin MATLAB/Simulink modellenmesi ve filtre tasarımı.

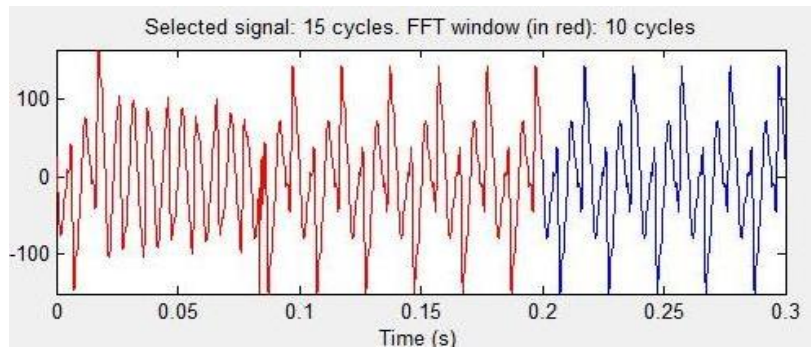
Şekil 7.11’de harmonik analizi yapılan hastane sistemine ait modelleme, harmonik kaynakları ile birlikte görülmektedir. Transformator ve yük değerleri göz önüne alınarak, harmonik etkileri akım kaynağını temsil edecek şekilde sisteme eklenmiştir. Burada faz farkları kontrol edilerek akım kaynaklarının her birine bu değerler yazılmıştır. Bu sayede her bir faz için harmonik etkiler oluşturulmuştur. Bu değerler Çizelge 7.1’deki akım değerleridir.

Sonrasında harmoniklerin bozucu etkilerini elimine edecek olan filtre tasarımına hesaplanan değerler yazılarak simülasyon düzeneği hazır hale getirilmiştir. Simülasyon iki şekilde tekrarlanmıştır. Filtre öncesi sistemin harmonikli durumu ve filtrelenmiş haliyle harmoniklerin eliminasyonunun bulunması şeklinde simülasyon yapılmıştır.



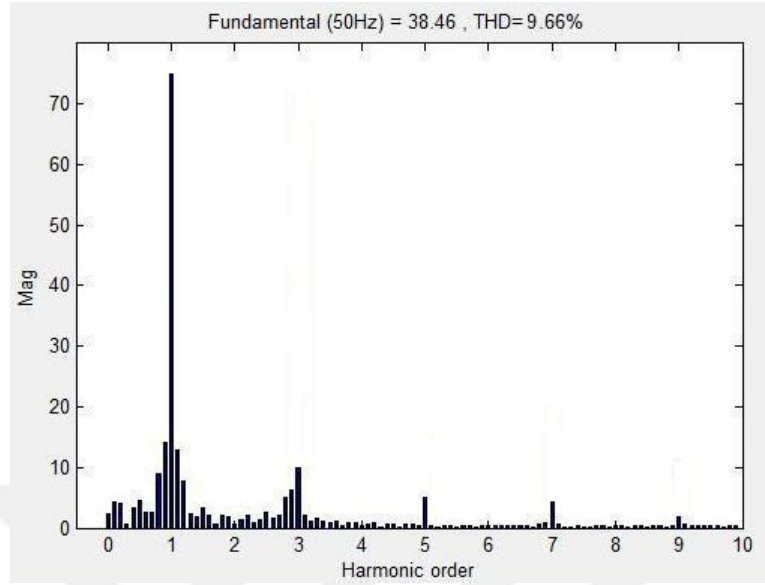
Şekil 7.12. Akım harmoniklerinin simülasyon programı üzerindeki filtresiz görüntüsü.

Şekil 7.12’de ilk simülasyon işleminde tasarlanan filtre devrede yok iken harmonik etkilerin izlendiği şekil görülmektedir. Üç faz sinüs eğrilerindeki bozulmalar sistemdeki harmoniklerin varlığını göstermektedir.



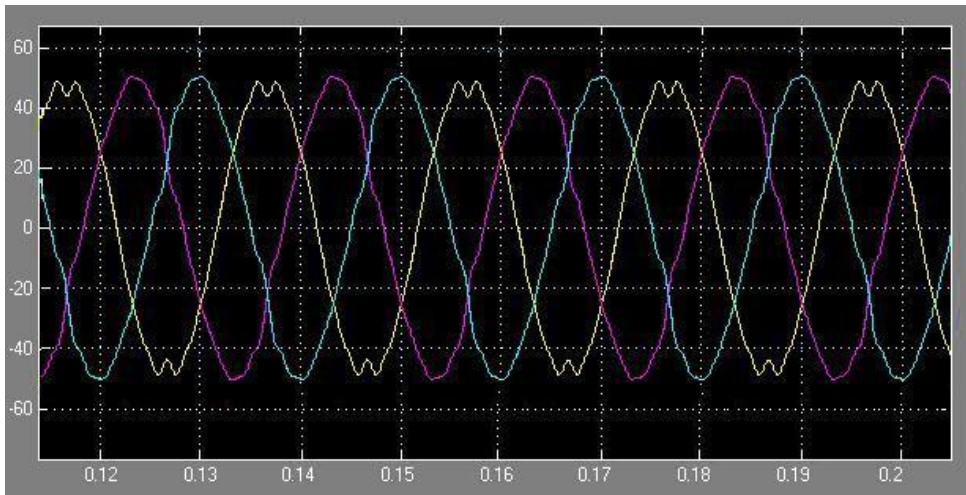
Şekil 7.13. Akım harmoniklerinin simülasyon programında FFT analizi.

Şekil 7.13’de simülasyon programında yapılan FFT analiz sonucu yer almaktadır. Burada da bozunumlar anlık olarak görülmektedir.



Şekil 7.14. Akım harmoniklerinin simülasyon programında bar grafik FFT analizi.

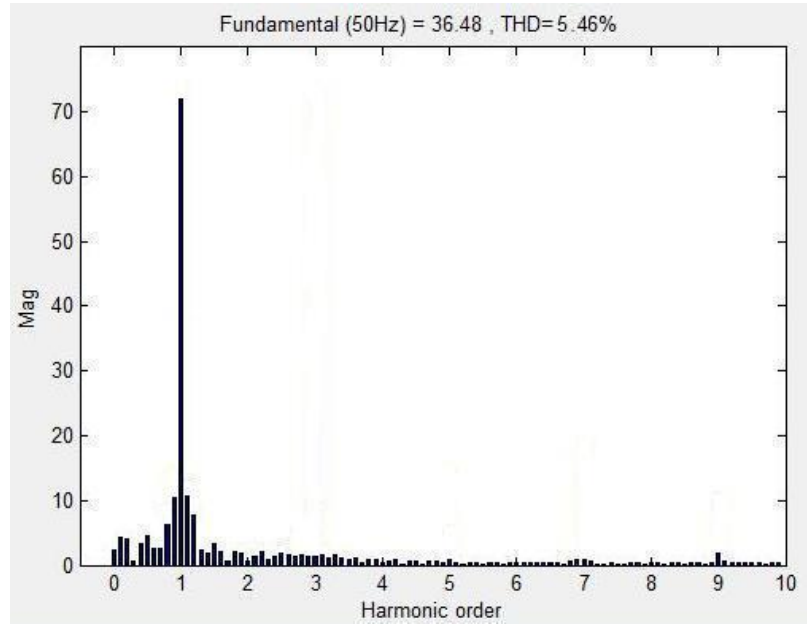
Şekil 7.14’de analize ait harmonik etkilerin bar grafik ile ifadesi yer almaktadır. Bu veriler Çizelge 7.1’de analizatörden elde edilen veriler ile örtüşmektedir. Üçüncü, beşinci ve yedinci harmonik değerleri elde edilen veriler bar grafikte de görülmektedir. Sonraki simülasyon işleminde sisteme filtre uygulanarak aşağıdaki grafikler elde edilmiştir.



Şekil 7.15. Akım harmoniklerinin filtrele eklenmiş halinin simülasyon programı üzerindeki görüntüsü.

Şekil 7.15’te tasarlanan filtrenin sisteme entegrasyonu sonucu üç faza ait grafik

görülmektedir. Sinüs eğri üzerindeki dalgalanmaların azaldığı gözlenmektedir. Fazlardan birine ait harmonik bozulmanın filtreleme işleminden sonra devam etmesinin temel nedeni; toplam harmonik distorsiyonun sifıra indirilememesi ve fazlara bağlı olan harmonik etkilerin değişkenlik göstermesidir. Ayrıca yedinci harmonikten sonraki etkilerin düşük genlikli olmasından ve filtre tasarımına gerek duyulmamamsından dolayı bozucu etkilerin bir kısmının devam ettiği gözlenmektedir. Şekil 7.12’de ki filtresiz harmonik grafiği filtre eklendikten sonra daha düzgün hale geldiği iki şekil karşılaştırıldığında görülmektedir.



Şekil 7.16. Akım harmoniklerinin filtrelenmiş halinin simülasyon programında bar grafik FFT analizi.

Şekil 7.16’da üçüncü, beşinci ve yedinci harmoniklerin filtreleme işlemi sonucunda elimine edilmesiyle oluşan bar grafik görülmektedir. Şekil 7.14 ile karşılaştırıldığında THD akım değerinde azalma olduğu belirlenmiştir.

Harmonik analizi yapılan hastane güç sisteminden elde edilen veriler göz önüne alınarak %9.56 seviyesinde olan THD değeri bu benzetim çalışması ile IEEE standartlarına göre %5-%8 arasına indirilmiştir. %5.46 uygun bir değer olup, sistemin bozucu etkilerinin en aza çekildiğinin göstergesidir.

Çalışma neticesinde hastane sisteminin harmonik analizi neticesinde bozucu etkilerin sınırlar içerisine çekilmesi ile enerji kalitesi artırılmıştır.

Elde edilen veriler, hesaplamalar ve simülasyon neticesinde bulunan sonucun bir bütün

olarak ele alınması, yapılan çalışmanın özetlenmesi açısından önemlidir.

Çizelge 7.3. Yük, filtre öncesi, filtre sonrası ve filtre değerlerinin özeti.

Yüke Ait Değerler	Filtre Öncesi Değerleri	Filtre Sonrası Değerleri	
P=189 kW	THD _I = %9,56	THD _I = %5,46	
S=192,86 kVA	I ₃ =0,068 kA	I ₃ =0,048 kA	
Q=33,81 kVAr	I ₅ =0,014 kA	I ₅ =0,009 kA	
cosφ=0,98	I ₇ =0,018 kA	I ₇ =0,007 kA	
Filtre Değerleri			
Harmonik Sırası	C (Farad)	R(Ohm)	L(Henry)
3.	3,014. 10 ⁻⁹	50290,689	1867,603
5.	3,014. 10 ⁻⁹	603,488	13,447
7.	3,014. 10 ⁻⁹	431,063	6,861

Çizelge 7.3'te yapılan çalışmada hesaplanan ve elde edilen veriler görülmektedir. Harmonik analizi sonucu elde edilen veriler neticesinde hesaplanan reaktif güç değeri yüke ait veriler kısmında verilmiştir. Filtre öncesi değerler harmonik analizatöründen elde edilen Çizelge 7.1'deki verilerdir ve bu veriler simülasyon programına aktarılan değerlerdir. Filtre değerleri Çizelge 7.2'de gösterilen hesaplanmış değerlerdir.

Filtre sonrası değerler ise simülasyon neticesinde elde edilen değerlerdir. THD akım oranının IEEE standardına göre %5-%8 arasına indiği görülmektedir. Üçüncü, beşinci ve yedinci harmonik akımlarındaki azalmalar da görülmektedir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada öncelikle bir sağlık kuruluşu olan Düzce Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi enerji tesisi harmonik analizi otuz saniye aralıklarla bir haftalık sürekli olarak kayıt altına alınmak sureti ile ve ölçümler tekrarlanarak gerçekleştirilmiştir.

Hastane enerji şebekesi genel olarak incelendiğinde ameliyathane, görüntüleme ve laboratuvar altyapısında birçok güç elektroniği devresi mevcut olup, yarı iletken anahtarlama elemanlarının harmonik etkileri azımsanmayacak kadar fazladır. Hastanenin bir kısmında balastlı floresan lambalar, klimalar ve manyetik endüksiyon prensibiyle çalışan elektrik makinelerinin varlığı düşünüldüğünde harmonik oluşumunda bu kaynakların önemli bir etken olduğu görülmektedir.

Analiz sonuçları incelenerek harmonik akım değerinin IEEE standardına uygun olmayıp % 9,56 seviyesinde olduğu görülmüştür. Harmoniklerin bozucu etkileri bilindiğine göre ve hastane altyapısının harmonik kaynaklar barındırabileceği düşünüldüğünde; uygun filtre tasarımına gidilmesi gerekmektedir. Tek ayarlı şönt filtre tasarımı maliyet, tasarım ve bağlantı kolaylığından dolayı uygun görülerek tasarımı yapılmıştır. Mevcut enerji sistemi MATLAB üzerinde modellenerek harmonik kaynaklar sisteme eklendikten sonra; sistem için uygun olan tek ayarlı pasif filtre sisteme ilave edilmiştir. Gerekli analizler yapılarak harmonik eliminasyonu grafikler ile de desteklenmiştir. Toplam harmonik distorsiyon akım değerinin % 5,46'ya indiği gözlenmiştir.

Bu çalışmada hastane enerji sistemi üzerindeki harmonik etkilerini en aza indirerek, geçici durum arızaları minimize edilip, sistem kararlılığının artırılmasıyla enerji kalitesi üst seviyelere çıkarılmıştır.

Hastane elektrik tesislerinde floresan lambaların balastlarının etkilerini en az indirilmesi gerekmektedir. Led armatürler yada elektronik balastlar aydınlatma için tercih edilmelidir. Uygulaması yapılan filtre tasarımının sisteme entegrasyonu sağlanarak, laboratuvar ve ameliyathanede bulunan tıbbi cihazlar üzerindeki bozucu harmonik etkilerin en aza indirilmesi sağlanabilir.

Tesiste yapılan incelemeler, enerji giriş, orta gerilim, alçak gerilim, jeneratör ve kesintisiz güç kaynağı bölümleri aynı binadadır. Bu durum acil müdahale gerektirecek durumlarda birbirine engel teşkil edebileceğini göstermektedir. Ayrıca hastanenin tek bir hattan değil farklı bir hattan da beslenmesi konusunda tedbir alınmalıdır. Yapılacak tüm bu düzenlemeler müdahale imkânlarını artırarak kesintileri en aza indirip, enerji kalitesi açısından fayda olacaktır. Bunların yanında enerji kalitesi, sistemin sürekliliği ve kararlılığı açısından önemli bir parametredir.



9. KAYNAKLAR

- [1] J. Yu, S. Ding, Y. Wang, W. Wu, M. Dong, “The engineering design and optimization of main circuit for hybrid active power filter,” *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 46, no. 1, pp. 40–48, 2013.
- [2] Y. Chang, C. Low, “Optimization of a passive harmonic filter based on the neural-genetic algorithm with fuzzy logic for a steel manufacturing plant,” *Expert Systems with Applications*, vol. 34, no. 1, pp. 2059–2070, 2008.
- [3] V. Mahajan, P. Agarwal, H. O. Gupta, “An artificial intelligence based controller for multilevel harmonic filter,” *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 58, no. 1, pp. 170–180, 2014.
- [4] P. Pinceti, D. Prando, “Sensitivity of parallel harmonic filters to parameters variations,” *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 68, no. 1, pp. 26–32, 2015.
- [5] H. A. Pereira, F. D. Freijedo, M. M. Silva, V. F. Mendes, R. Teodorescu, “Harmonic current prediction by impedance modeling of grid-tied inverters: A 1.4 MW PV plant case study,” *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 93, no. 1, pp. 30–38, 2017.
- [6] L. H. Tey, P. L. So, Y. C. Chu, “Adaptive neural network control of active filters,” *Electric Power Systems Research*, vol. 74, no. 1, pp. 37–56, 2005.
- [7] A. Boussaid, A. L. Nemmour, L. Louze, A. Khezzar, “A novel strategy for shunt active filter control,” *Electric Power Systems Research*, vol. 123, no. 1, pp. 154–163, 2015.
- [8] V. Becirovic, I. Pavic, B. Filipovic-Grcic, “Sensitivity analysis of method for harmonic state estimation in the power system,” *Electric Power Systems Research*, vol. 154, no. 1, pp. 515–527, 2018.
- [9] M. Brunoro, L. F. Encarnacao, J. F. Fardin, “Modeling of loads dependent on harmonic voltages,” *Electric Power Systems Research*, vol. 152, no. 1, pp. 367–376, 2017.
- [10] S. L. Varricchio, S. Gomes Jr., “Electrical network dynamic models with application to modal analysis of harmonics,” *Electric Power Systems Research*, vol. 154, no. 1, pp. 433–443, 2018.
- [11] A. B. Moreira, T. A. S. Barros, V. S. C. Teixeira, E. Ruppert, “Power control for wind power generation and current harmonic filtering with doubly fed induction generator,” *Renewable Energy*, vol. 107, no. 1, pp. 181–193, 2017.
- [12] A. Kalair, N. Abas, A. R. Kalair, Z. Saleem, N. Khan, “Review of harmonic analysis, modeling and mitigation techniques,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 78, no. 1, pp. 1152–1187, 2017.
- [13] A. A. Chihab, H. Ouadi, F. Giri, “Adaptive nonlinear control of three-phase shunt active power filters,” *5th IFAC International Workshop on Periodic*

Control Systems The International Federation of Automatic Control, pp. 125-130, Caen, France. 2013.

- [14] P. P. Biswas, P.N. Suganthan, G. A.J. Amaratunga, "Minimizing harmonic distortion in power system with optimal design of hybrid active power filter using differential evolution," *Applied Soft Computing*, vol. 61, no. 1, pp. 486-496, 2017.
- [15] A. Shankar V. K, S. Kumar N., "Implementation of shunt active filter for harmonic compensation in a 3 phase 3 wire distribution network," *Energy Procedia*, vol. 117, no. 1, pp. 172-179, 2017.
- [16] H. Brantsæter, L. Kocewiak, A.R. Ardal, E. Tedeschi, "Passive filter design and offshore wind turbine modelling for system level harmonic studies," *Energy Procedia*, vol. 80, no. 1, pp. 401-410, 2015.
- [17] C. D. S. de André, P. A. de André, F. M. Rocha, P. H. N. Saldiva, R. Carvalho de Oliveira, J. M. Singer, "Reliability of reflectance measures in passive filters," *Atmospheric Environment*, vol. 92, no. 1, pp. 178-181, 2014.
- [18] S. H. E. A. Aleem , M. E. Balci, S. Sakar, "Effective utilization of cables and transformers using passive filters for non-linear loads," *Electrical Power and Energy Systems*, vol.71, no. 1, pp. 344-350, 2015
- [19] R. Mahanty , A. K. Kapoor, "Quasi-passive filter for harmonic filtering," *Electric Power Systems Research*, vol. 78, no. 1, pp. 1456-1465, 2008.
- [20] S. Sakar, M. E. Balci, S. H. E. A. Aleem, A. F. Zobaa, "Increasing PV hosting capacity in distorted distribution systems using passive harmonic filtering ," *Electric Power Systems Research*, vol. 148, no. 1, pp. 74-86, 2017.
- [21] A. Kalair, N. Abas, A. R. Kalair, Z. Saleem, N.Khan, "Review of Harmonic Analysis, Modeling and Mitigation Techniques," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 78, no. 1, pp. 1152-1187, 2017.
- [22] K. Abolfathi, M. Babaei, A. Ahmarinejad, "Designing optimal passive filters for transformers under harmonic conditions," *Energy Procedia*, vol. 141, no. 1, pp. 411-417, 2017.
- [23] N. H.B. A. Kahar, A. F. Zobaa, "Application of mixed integer distributed ant colony optimization to the design of undamped single-tuned passive filters based harmonics mitigation," *Swarm and Evolutionary Computation*, In press.
- [24] M. R. Sindhu, M. G. Nair, T.N.P. Nambiar, "Three phase auto-tuned shunt hybrid filter for harmonic and reactive power compensation" *Procedia Technology*, vol. 21, no. 1, pp. 482-489, 2015.
- [25] S. Rüstemli, M. S. Cengiz, F. Dinçer, "Elektrik tesislerinde harmoniklerin aktif filtre kullanılarak yok edilmesi ve simülasyonu," *Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 2, c. 1, ss. 30-38, 2013.
- [26] S. A. Soliman, R. A. Alammari, "Harmonic modeling of linear and nonlinear loads based on Kalman filtering algorithm," *Electric Power Systems Research*, vol. 72, no. 1, pp. 147-155, 2004.
- [27] Y.-Y. Hong, W.-J. Liao, "Optimal passive filter planning considering probabilistic parameters using cumulant and adaptive dynamic clone selection

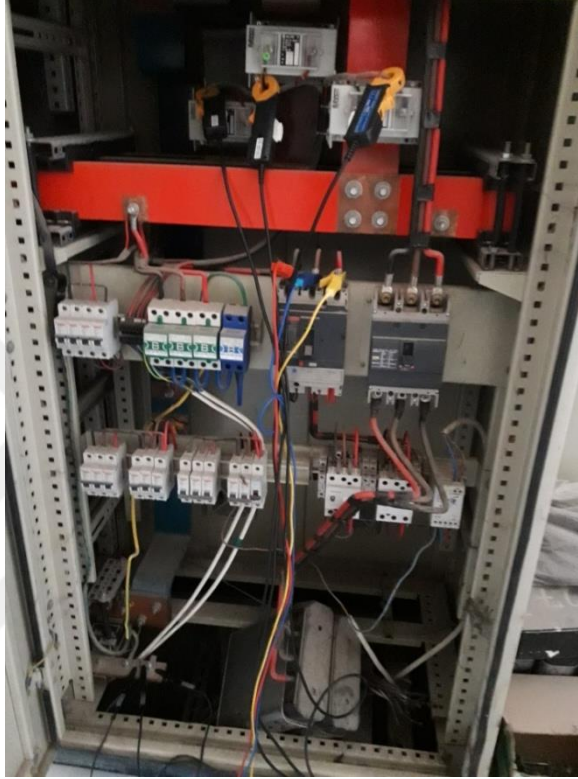
- algorithm,” *Electrical Power and Energy Systems*, vol. 45, no. 1, pp. 159–166, 2013.
- [28] K. Tunçalp, M. Sucu, “Elektrik enerji sistemlerinde oluşan harmoniklerin filtrelenmesinde pasif filtre ve filtreli kompanzasyonun kullanımı ve simülasyon örnekleri,” *Politeknik Dergisi*, c. 9, s. 4, ss. 263–269, 2006.
- [29] A. A. Patil, R. N. Katkar, P. A. Ajit, C. P. Vijay, P. P. Patil, S. V. Patil, “Harmonic mitigation using passive filter,” *International Journal of Engineering Trends and Technology*, vol. 45, no. 2, pp. 83–86, 2017.
- [30] D. Maheswaran, N. Rajasekar, L. A. Kumar, “Design of passive filters for reducing harmonic distortion and correcting power factor in two pulse rectifier systems using optimization,” *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, vol. 62, no. 3, pp. 720–728, 2014.
- [31] M. Bilge, “Güç sistemlerinde harmoniklerin pasif filtrlere eliminasyonu,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş, Türkiye, 2008
- [32] S. B. Efe, “Güç sistemlerinde harmonikler ve harmoniklerin analizi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, İnönü Üniversitesi, Malatya, Türkiye, 2006
- [33] C. Kocatepe, S. Köroğlu, O. Arık, “Nonsinüsoidal şartlar altında güç faktörünün ve güç tanımlarının incelenmesi,” *Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 1, ss. 117–126, 2005.
- [34] C. Filiz, “Güç sistemlerinde harmonikler ve filtrelemelerin nicelenmesi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, Türkiye, 2006
- [35] H. Ş. Öztura, E. Akpınar. (2010, 24 Şubat) Ark ocaklarının akım analiz harmonikleri ile enerji sistemi üzerindeki bozucu etkilerinin belirlenmesi (1. baskı) [Online]. Erişim: http://www.emo.org.tr/ekler/8dd51d173c892cd_ek.pdf.
- [36] F. Kürker, R. Taşaltın, “Elektrik tesislerinde harmoniklerin meydana getirdiği kayıpların analizi,” *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 5, s. 1, ss. 21–38, 2016.
- [37] A. Kara, Y. Ceylan, S. Ayasun, T. Yalçınöz, “Bir tekstil fabrikasının harmonik analizi,” *3e Electrotech Dergisi*, c. 142, s. 1, ss. 118–122, 2006.
- [38] M. Bayrak. (2017, 28 Kasım) Elektrik güç sistemlerinde enerji aklitesi (1. baskı) [Online]. Erişim: <http://www.etoist.org.tr/makaleler/Enerji%20Kalitesi.pdf>
- [39] Ö. Şahin, “Elektrik güç sistemlerinde harmonik analizi,” Yüksek lisans tezi, Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2003
- [40] C. Gezeğin ve M. Özdemir, “Tesislerde meydana gelen paralel rezonans olayının bilgisayar destekli analizi,” *Elektrik, Elektronik ve Biyomedikal Mühendisliği Konferansı’nda sunuldu*, Bursa, 2006.
- [41] A. İnan ve F. Attar, “Harmonik içeren devrelerde kompanzasyon hesabı,” *Elmeksem’97 Sempozyumu’nda sunuldu*, Bursa, 1997.

- [42] S. Rüstemli, M. S. Cengiz, F. Dinçer, “Elektrik tesislerinde harmoniklerin aktif filtre kullanılarak yok edilmesi ve simülasyonu,” Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, c. 2, s. 1, ss. 30-38, 2013.
- [43] S. B. Efe, “Endüstriyel tesisler için aktif ve pasif harmonik filtre uygulaması,” Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, c. 5, s. 1, ss. 65-76, 2016.
- [44] C. Kocatepe, M. Uzunoğlu, R. Yumurtacı, A. Karakaş, O. Arıkan, “Harmoniklerin filtrelenmesi ve filtre tasarımı,” Elektrik Tesislerinde Harmonikler, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Birsan Yayınevi, 2003, böl. 13, ss. 314-323.
- [45] M. M. Ertay, B. Alboyacı, H. T. Duru, E. M. Yeğın, “Endüstriyel güç sistemlerinde oluşan harmoniklerin pasif filtrelerle yok edilmesi,” 4. Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu’nda sunuldu, Kocaeli, 2011.



10. EKLER

10.1. EK-1: ANALİZATÖR BAĞLANTILARI

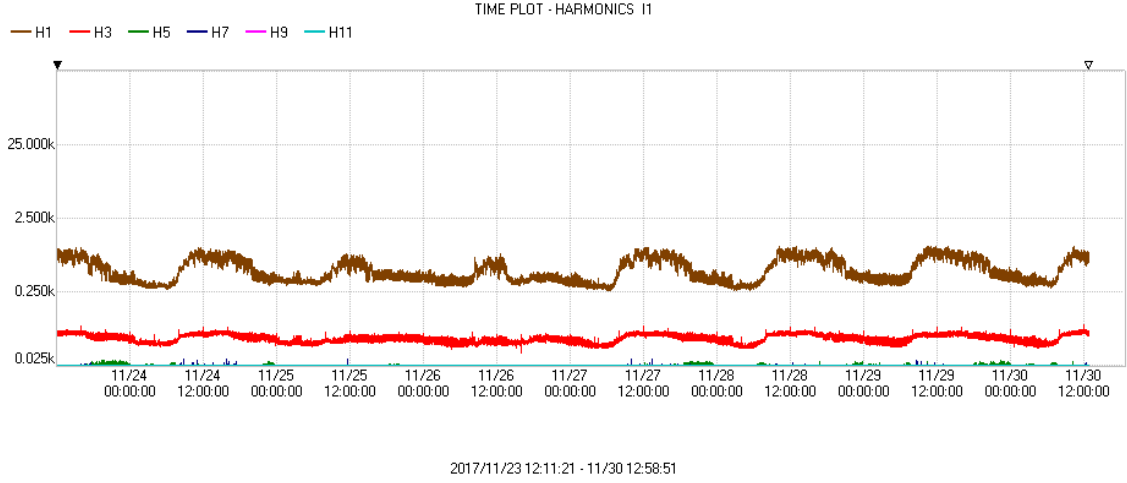


Şekil 10.1. Analizator pano bağlantısı

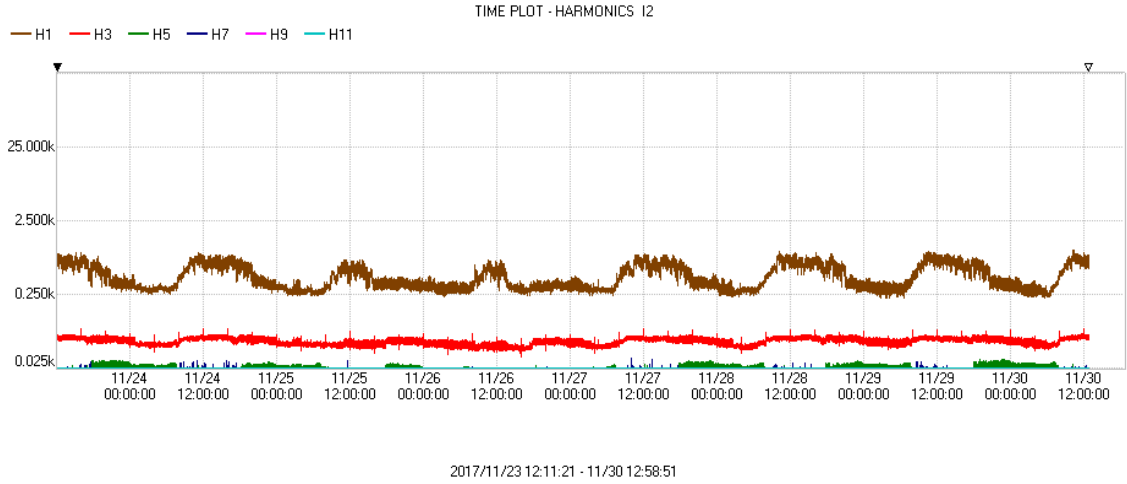


Şekil 10.2. Analizator akım trafosu bağlantısı

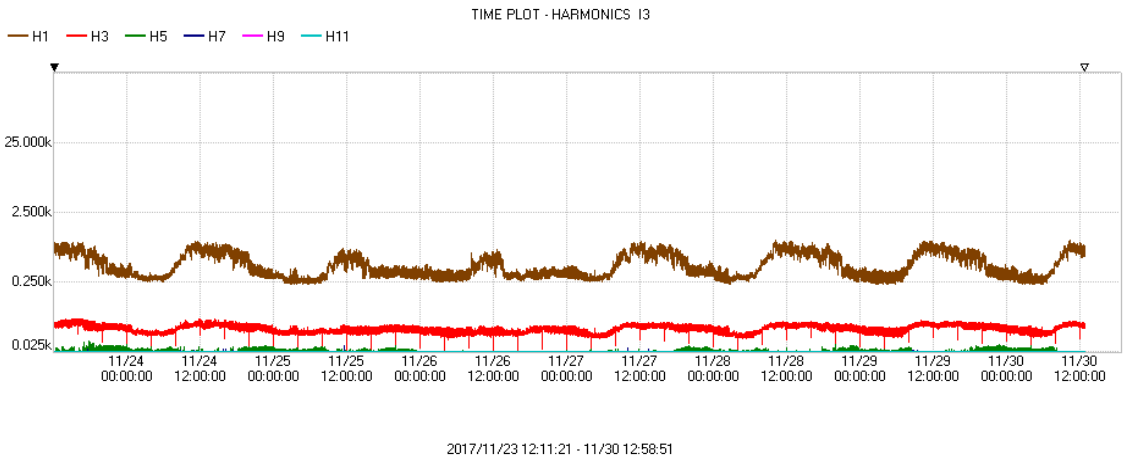
10.2. EK-2: ANALİZ SONUCU ELEDE EDİLEN GRAFİKLER



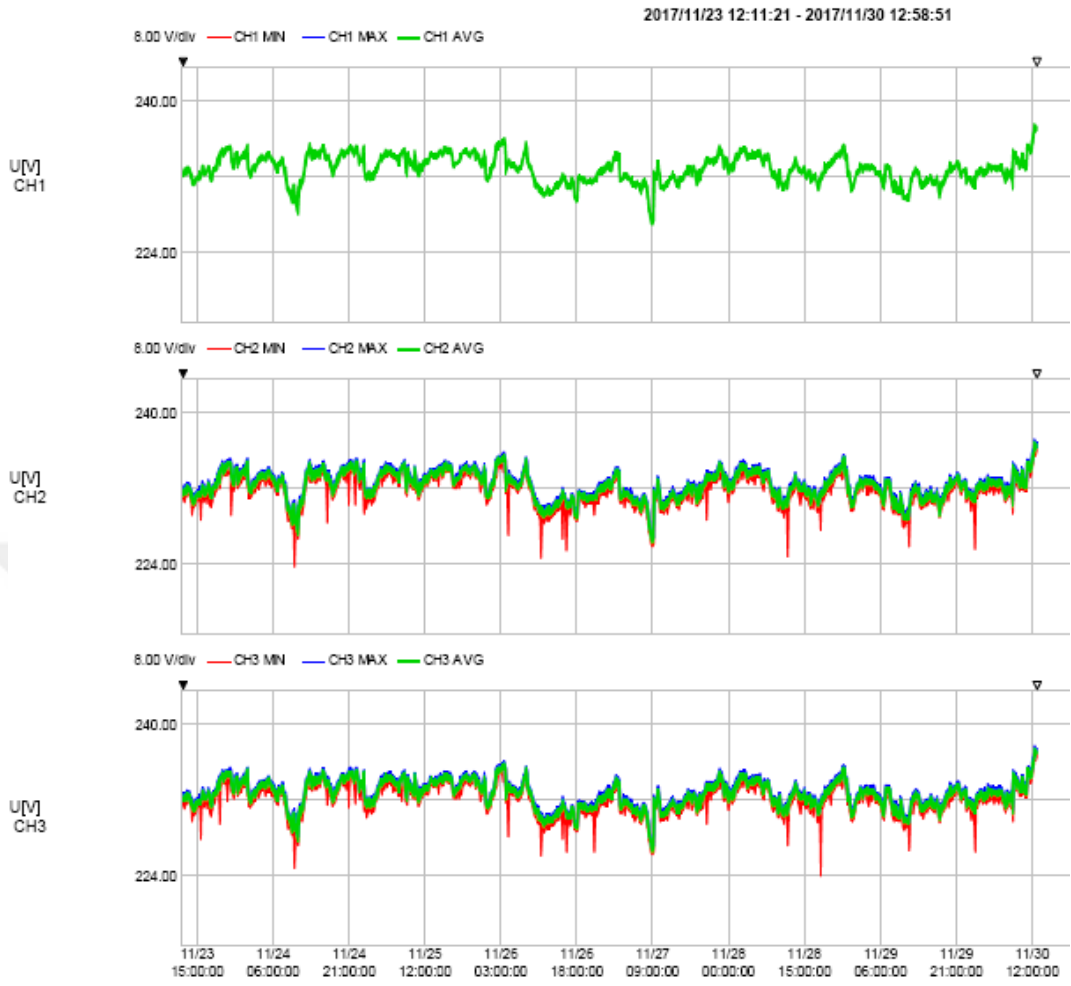
Şekil 10.3. Birinci faza ait haftalık harmonik akım grafiği.



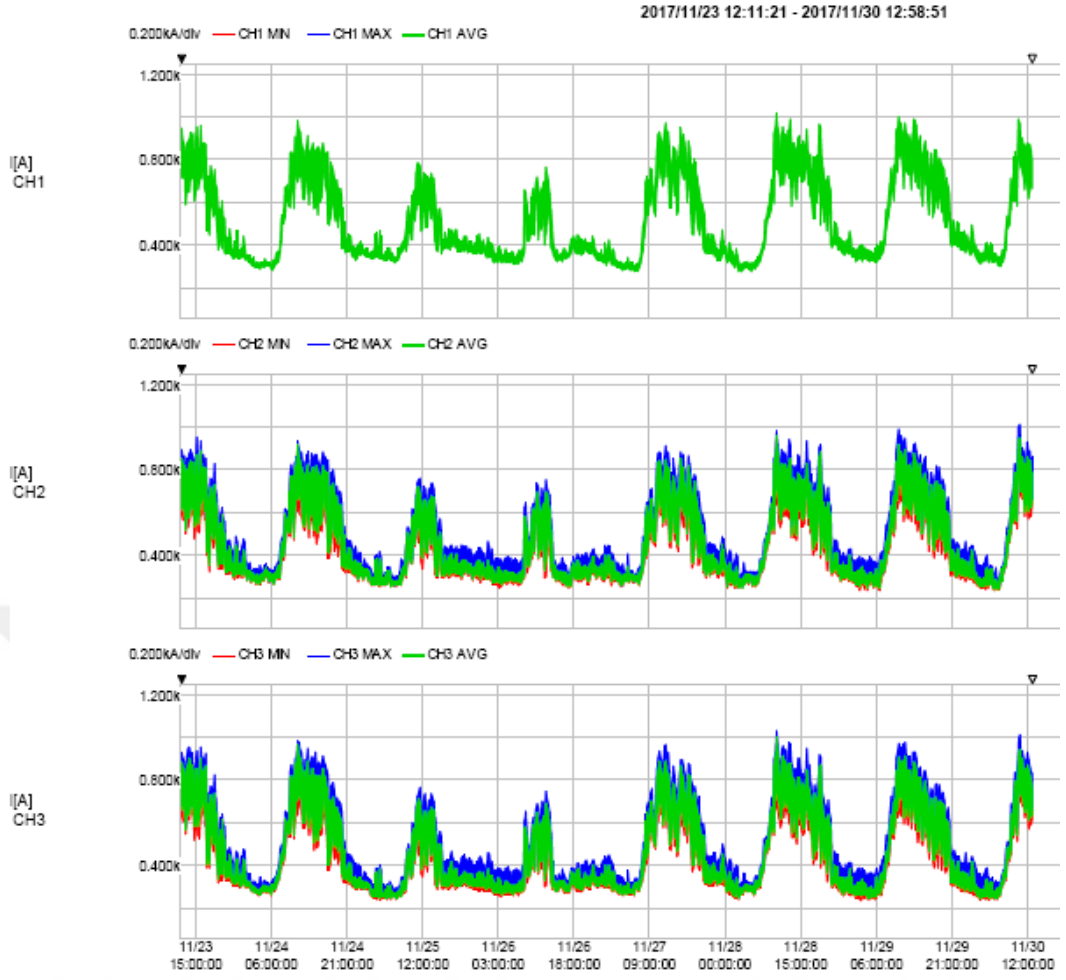
Şekil 10.4. İkinci faza ait haftalık harmonik akım grafiği.



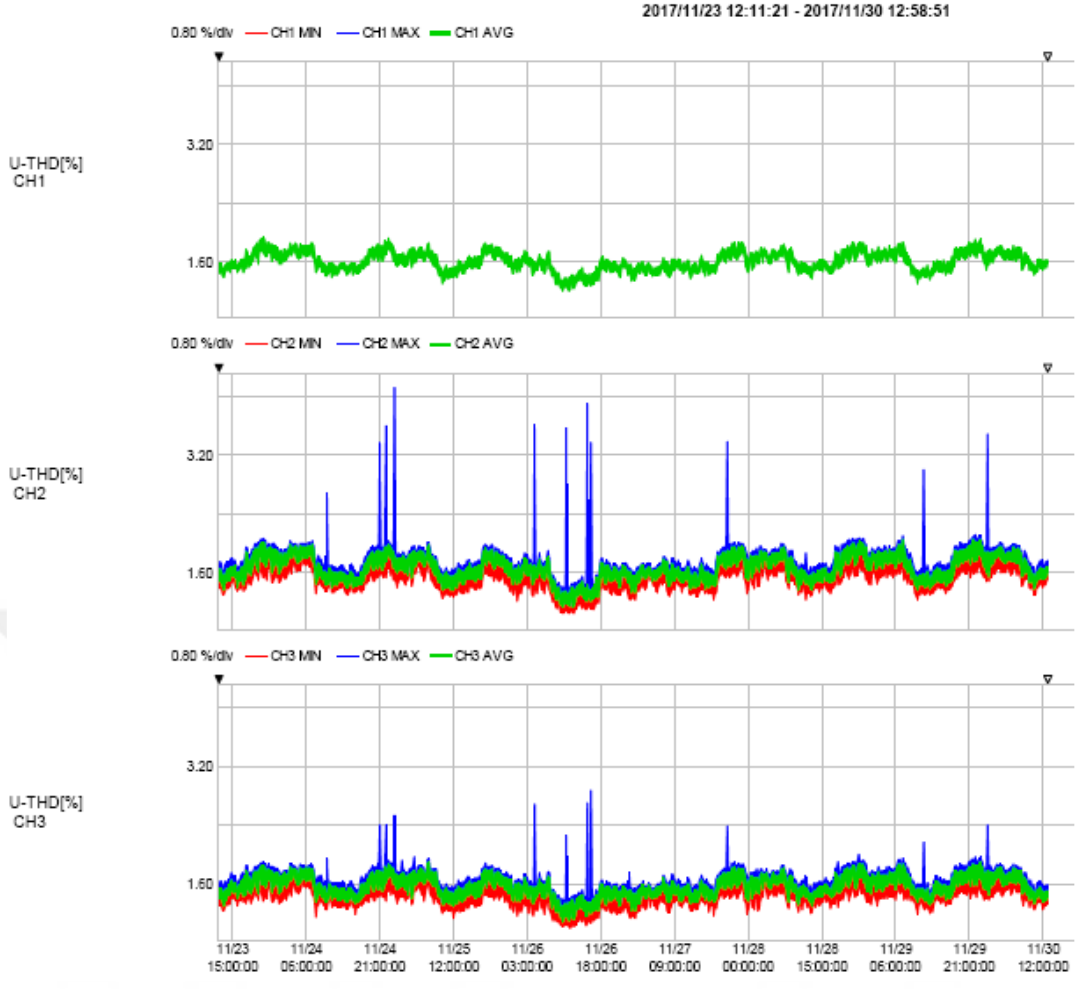
Şekil 10.5. Üçüncü faza ait haftalık harmonik akım grafiği.



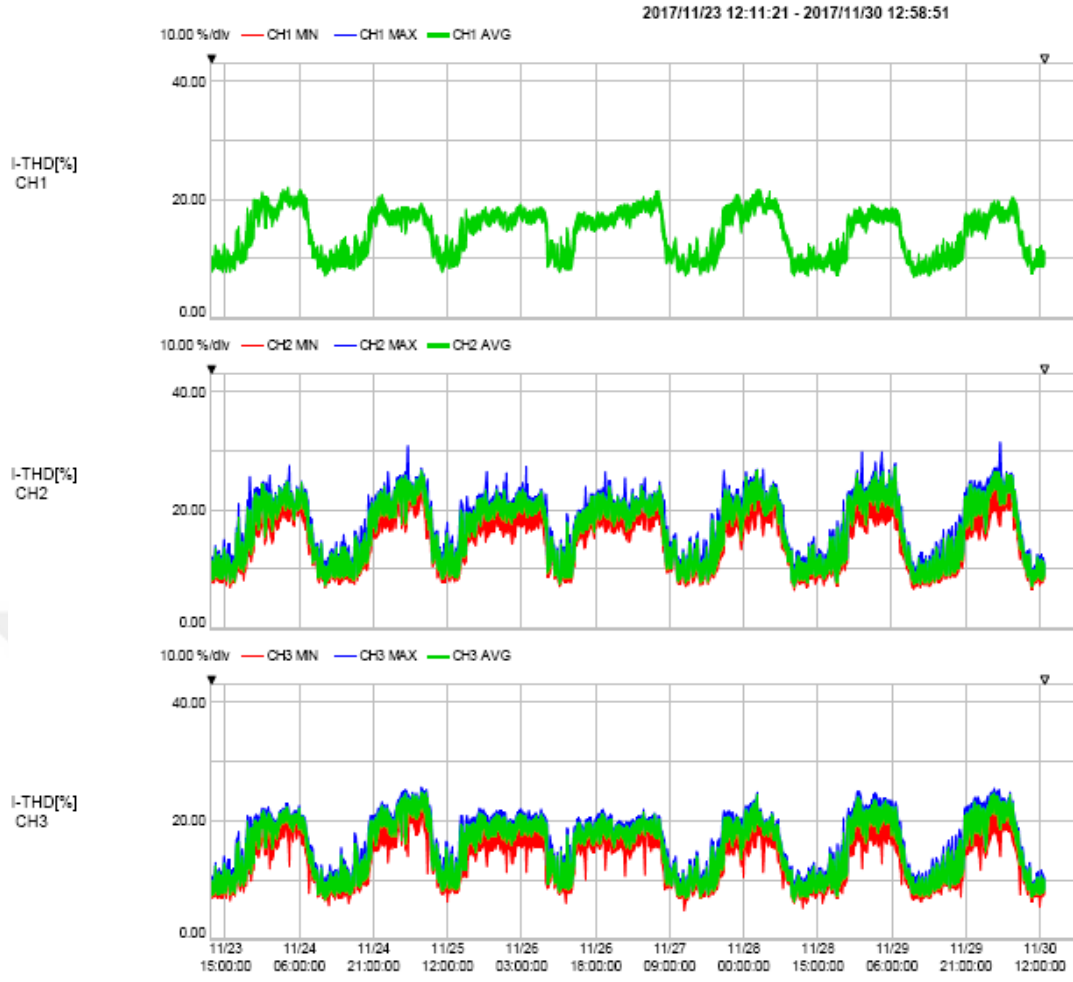
Şekil 10.6. Üç faza ait haftalık gerilim harmonikleri grafiği.



Şekil 10.7. Üç faza ait haftalık akım harmonikleri grafiği.



Şekil 10.8. Üç faza ait haftalık gerilim THD grafiği.



Şekil 10.9. Üç faza ait haftalık akım THD grafiği.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Özkan ALKAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 28.09.1987/ Düzce
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : zknkn81@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Düzce Üniversitesi	2019
Lisans	Elektrik Elektronik Müh.	Düzce Üniversitesi	2018
Lisans	Elektrik Öğretmenliği	Gazi Üniversitesi	2011
Lise	Elektrik Bölümü	Düzce Teknik Lisesi	2005