



**T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI**

**YALOVA ÜNİVERSİTESİ YERLEŞKELERİNDEKİ ELEKTRİK
TESİSLERİNİN GÜÇ KALİTE ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSMAİL ASLAN

DANIŞMAN: DOÇ. DR. SUNAY TÜRKDOĞAN

**YALOVA
TEMMUZ 2023**



T.C.
YALOVA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BİLİM DALI

YALOVA ÜNİVERSİTESİ YERLEŞKELERİNDEKİ ELEKTRİK
TESİSLERİNİN GÜÇ KALİTE ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İSMAİL ASLAN
205119003

DANIŞMAN: DOÇ. DR. SUNAY TÜRKDOĞAN

YALOVA
TEMMUZ 2023

ETİK BEYAN

Yalova Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım “Yalova Üniversitesi Yerleşkelerindeki Elektrik Tesislerinin Güç Kalite Analizi” başlıklı bu tez çalışmada; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksinin tespiti halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi taahhüt ve beyan ederim.

İmza

İSMAİL ASLAN



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden yardımlarını esirgemeyen, akademik anlamda bana her zaman destek olan ve doğru yolu gösteren sayın danışman hocam Doç. Dr. Sunay TÜRKDOĞAN'a teşekkür ederim. Her zaman yanımda oldukları ve benden desteklerini hiçbir zaman esirgemedikleri için aileme teşekkür ederim.

Bu tez çalışması desteklenmesine olanak sağlayan Yalova Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinasyon Birimine (Proje No: 2022/YL/0004) teşekkür ederim.

Temmuz – 2023

İsmail ASLAN





İÇİNDEKİLER

ETİK BEYAN	i
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	v
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ	xiii
TABLolar LİSTESİ	xv
ŞEKİLLER LİSTESİ	xvii
ÖZET	xxix
ABSTRACT	xxx
1. GİRİŞ	1
1.1. Literatür Özeti	2
2. ENERJİ KALİTESİ STANDART, YÖNETMELİK VE ÖLÇME YÖNTEMLERİ	5
2.1. Enerji Kalitesi Standart ve Yönetmelikleri	5
2.1.1. Gerilim değeri açısından tanımlanan yönetmelik ve limitleri	6
2.1.2. Gerilim ve akım harmoniği açısından tanımlanan yönetmelik ve limitler	7
2.1.3. Güç faktörü açısından tanımlanan yönetmelik ve limitler	8
2.1.4. Akım ve gerilim dengesizliği açısından tanımlanan yönetmelik ve limitler	9
2.1.5. Fliker (titreme) açısından tanımlanan yönetmelik ve limitler	10
3. MATERYAL VE METOD	11
3.1. Enerji ve Güç Analizör Cihazının Ekipman ve Düzenekleri	12
3.2. Güç Analizörü Pc Arayüzü	14
3.3. Ölçüm Yapılan Binalar Hakkında Bilgiler	18
4. ENERJİ KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER VE GÜÇ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ	21
4.1. Harmonikler	22
4.1.1. Harmonik formüller	22
4.1.2. Harmoniklerin sönümlenmesi	24
4.1.3. Harmoniklerin ölçüm yöntemi	26
4.1.4. Harmonik kaynaklar ve zararları	26
4.2. Aktif, Reaktif Güç, Güç Faktörü ve Kompanzasyon	27
4.2.1. Aktif güç	27



4.2.2. Reaktif güç.....	28
4.2.3. Güç faktörü	28
4.2.4. Reaktif güç kompanzasyonu ve çeşitleri	30
4.3. Akım ve Gerilim Dengesizliği	33
4.3.1. Akım dengesizliği	33
4.3.2. Gerilim dengesizliği	34
4.4. Enerji Kayıpları	35
4.4.1. Aktif enerji kaybı.....	35
4.4.2. Reaktif enerji kaybı.....	36
4.4.3. Dengesizlik enerji kaybı	36
4.4.4. Harmonik enerji kaybı	36
4.4.5. Nötr enerji kaybı	37
4.5. Fliker (Titreme)	37
5. ÖLÇÜM NOKTALARI PARAMETRELERİ VE DEĞERLENDİRMELERİ.....	39
5.1. Mühendislik Fakültesi Binası Elektrik Enerji Ölçümü ve Analizi.....	39
5.1.1. Mühendislik fakültesi akım değerlerinin analizi	41
5.1.2. Mühendislik fakültesi gerilim değerlerinin analizi.....	42
5.1.3. Mühendislik fakültesi gerilim harmonik analizi.....	44
5.1.4. Mühendislik fakültesi akım harmonik analizi	46
5.1.5. Mühendislik fakültesi güç ve kompanzasyon durum analizi.....	48
5.1.6. Mühendislik fakültesi gerilim ve akım dengesizlik durum analizi.....	52
5.1.7. Mühendislik fakültesi enerji kaybı ve enerji tüketim durum analizi	55
5.1.8. Mühendislik fakültesi titreşim durum analizi	57
5.2. Merkezi Araştırma Laboratuvarı Binası Elektrik Enerji Ölçümü ve Analizi	59
5.2.1. Merkezi araştırma laboratuvarı akım değerlerinin analizi.....	60
5.2.2. Merkezi araştırma laboratuvarı gerilim değerlerinin analizi	61
5.2.3. Merkezi araştırma laboratuvarı gerilim harmonik analizi	63
5.2.4. Merkezi araştırma laboratuvarı akım harmonik analizi.....	64
5.2.5. Merkezi araştırma laboratuvarı güç ve kompanzasyon durum analizi ...	67
5.2.6. Merkezi araştırma laboratuvarı gerilim ve akım dengesizlik durum analizi.....	71
5.2.7. Merkezi araştırma laboratuvarı enerji kaybı ve enerji tüketim durum analizi.....	75



5.2.8. Merkezi araştırma laboratuvarı titreşim durum analizi	78
5.3. İslami İlimler Fakültesi Binası Elektrik Enerji Ölçümü ve Analizi	79
5.3.1. İslami ilimler fakültesi akım değerlerinin analizi	80
5.3.2. İslami ilimler fakültesi gerilim değerlerinin analizi	80
5.3.3. İslami ilimler fakültesi gerilim harmonik analizi	82
5.3.4. İslami ilimler fakültesi akım harmonik analizi	83
5.3.5. İslami ilimler fakültesi güç ve kompanzasyon durum analizi	85
5.3.6. İslami ilimler fakültesi binası gerilim ve akım dengesizlik durum analizi	89
5.3.7. İslami ilimler fakültesi binası enerji kaybı ve enerji tüketim durum analizi.....	90
5.3.8. İslami ilimler fakültesi binası titreşim durum analizi	93
5.4. Yabancı Diller Yüksekokulu Elektrik Enerji Ölçümü ve Analizi.....	94
5.4.1. Yabancı diller yüksekokulu akım değerlerinin analizi	95
5.4.2. Yabancı diller yüksekokulu gerilim değerlerinin analizi.....	95
5.4.3. Yabancı diller yüksekokulu gerilim harmonik analizi.....	96
5.4.4. Yabancı diller yüksekokulu akım harmonik analizi	98
5.4.5. Yabancı diller yüksekokulu güç ve kompanzasyon durum analizi	99
5.4.6. Yabancı diller yüksekokulu gerilim ve akım dengesizlik durum analizi	104
5.4.7. Yabancı diller yüksekokulu enerji kaybı ve enerji tüketim durum analizi	105
5.4.8. Yabancı diller yüksekokulu titreşim durum analizi.....	108
5.5. Termal Sağlık Bilimleri Yüksekokulu Elektrik Enerji Ölçümü ve Analizi	109
5.5.1. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu akım değerlerinin analizi	110
5.5.2. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu gerilim değerlerinin analizi	111
5.5.3. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu gerilim harmonik analizi	112
5.5.4. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu akım harmonik analizi	113
5.5.5. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu güç ve kompanzasyon durum analizi.....	115
5.5.6. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu gerilim ve akım dengesizlik durum analizi.....	119
5.5.7. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu enerji kaybı ve enerji tüketim durum analizi	121
5.5.8. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binası titreşim durum analizi	123



5.6. Çınarcık Meslek Yüksekokulu Elektrik Enerji Ölçümü ve Analizi	124
5.6.1. Çınarcık meslek yüksekokulu binası akım değerlerinin analizi	125
5.6.2. Çınarcık meslek yüksekokulu binası gerilim değerlerinin analizi.....	126
5.6.3. Çınarcık meslek yüksekokulu binası gerilim harmonik analizi.....	127
5.6.4. Çınarcık meslek yüksekokulu binası akım harmonik analizi	128
5.6.5. Çınarcık meslek yüksekokulu binası güç ve kompanzasyon durum analizi.....	130
5.6.6. Çınarcık meslek yüksekokulu binası gerilim ve akım dengesizlik durum analizi.....	134
5.6.7. Çınarcık meslek yüksekokulu binası enerji kaybı ve enerji tüketim durum analizi	136
5.6.8. Çınarcık meslek yüksekokulu binası titreşim durum analizi	138
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	141
6.1. Sonuçlar.....	141
6.2.Öneriler.....	147
KAYNAKLAR	153
ÖZGEÇMİŞ	157



SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

SİMGELER

E	: Enerji
I	: Akım
I(t)	: Zamana bağlı akım
P	: Aktif güç
S	: Görünür güç
V	: Gerilim
V(t)	: Zamana bağlı gerilim
Q	: Reaktif güç
Qc	: Kapasitif reaktif güç
Ql	: İndüktif reaktif güç

KISALTMALAR

AG	: Alçak Gerilim
An	: Akım Dengesizliği
CENELEC	: Avrupa Elektroteknik Standardizasyon Komitesi
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
EMC	: Elektromanyetik Uyumluluk
Hz	: Hertz
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
IEEE	: Elektrik ve Elektronik Mühendisler Enstitüsü
kVA	: Kilo Volt Amper
KW	: Kilo Watt
LED	: Işık Üreten Diyot
OG	: Orta Gerilim
PF	: Güç Faktörü
PLT	: Uzun Süreli Fliker Şiddeti Endeksi
PST	: Kısa Süreli Fliker Şiddeti Endeksi
RMS	: Etkin Değer
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
THD	: Toplam Harmonik Distorsiyon
UPS	: Kesintisiz Güç Kaynağı
VRF	: Değişken Debili Soğutucu
Vz	: Gerilim Dengesizliği
XLPE	: Çapraz Bağlı Polietilen Kablo



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Güç kalitesi ölçüm standartları (Fluke, 2012)	6
Tablo 2.2. Gerilim harmonikleri sınır değerleri (Broshi, 2007).....	7
Tablo 2.3. Toplam gerilim harmonikleri sınır değerleri (Broshi, 2007)	7
Tablo 2.4. Toplam akım harmonikleri sınır değerleri (Broshi, 2007).....	8
Tablo 2.5. Gerilim dengesizliği sınır değerleri ve ölçüm tekniği (İşcan, 2015)	10
Tablo 2.6. Fliker şiddeti sınır değerleri (İşcan, 2015).....	10
Tablo 3.1. Güç analizör cihaz kiti içerik açıklaması (Fluke, 2012)	13
Tablo 4.1. Harmoniklere ait mertebelerin sekans ve frekans bilgisi (Alkan, 2017).....	27
Tablo 6.1. Yalova Üniversitesi enerji kalitesi ölçüm sonuçları	151



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Fluke 435-II güç analizör cihaz gösterimi	11
Şekil 3.2. Güç analizör cihaz kiti içeriği	12
Şekil 3.3. Güç analizör cihazının üç faz-nötr-toprak bağlantı şeması.....	13
Şekil 3.4. Enerji analizör ölçüm noktası	14
Şekil 3.5. PowerLog kullanım arayüzü	14
Şekil 3.6. Analizör ayar giriş ekranı	15
Şekil 3.7. Analizör fazör bilgi ekranı	15
Şekil 3.8. Analizör dalga grafik bilgi ekranı	16
Şekil 3.9. Analizör menü bilgi ekranı	16
Şekil 3.10. Harmonik tablo ekranı	16
Şekil 3.11. Güç ve enerji ölçüm ekranı	17
Şekil 3.12. Enerji kaybı ölçüm ekranı	17
Şekil 3.13. Dengesizlik ölçüm ekranı	17
Şekil 3.14. Fliker ölçüm ekranı	18
Şekil 4.1. Harmonik bileşenlere ait dalga formu.....	22
Şekil 4.2. Pasif filtre.....	25
Şekil 4.3. Aktif, reaktif, görünür güç fazör diyagramı.....	29
Şekil 4.4. Bireysel kompanzasyon	32
Şekil 4.5. Grup kompanzasyon	32
Şekil 4.6. Merkezi kompanzasyonu	33
Şekil 5.1. Mühendislik fakültesi tek hat şeması ve enerji kalitesi ölçüm noktası.....	40
Şekil 5.2. Mühendislik fakültesi giriş şalteri enerji kalitesi ölçüm noktası	40
Şekil 5.3. Mühendislik fakültesine ait üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği.....	41
Şekil 5.4. Mühendislik fakültesine ait üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği.....	43
Şekil 5.5. Mühendislik fakültesine ait gerilim harmoniklerinin histogram grafiği	44
Şekil 5.6. Mühendislik fakültesine ait her bir fazın gerilim harmoniği zaman çizelgesi.....	45
Şekil 5.7. Mühendislik fakültesine ait akım harmoniklerinin histogram grafiği	46
Şekil 5.8. Mühendislik fakültesine ait her bir fazın akım harmoniği zaman çizelgesi.....	47
Şekil 5.9. Mühendislik fakültesi kompanzasyon panosu	48



Şekil 5.10. Mühendislik fakültesi aktif, reaktif ve güç faktörü zaman çizelgesi grafiği	49
Şekil 5.11. Mühendislik fakültesi etkin güç istatistik grafiği	50
Şekil 5.12. Mühendislik fakültesi reaktif güç istatistik grafiği	50
Şekil 5.13. Mühendislik fakültesi güç faktörü istatistik grafiği	51
Şekil 5.14. Mühendislik fakültesinde zamana bağlı gerilim dengesizliği (%Vz).....	52
Şekil 5.15. Mühendislik fakültesi gerilim dengesizliği Vz (%) istatistik grafiği.....	53
Şekil 5.16. Mühendislik fakültesindeki zamana bağlı akım dengesizliği %An.....	54
Şekil 5.17. Mühendislik fakültesi akım An (%) dengesizlik istatistiksel grafiği	55
Şekil 5.18. Mühendislik fakültesi enerji kaybı zaman çizelgesi grafiği	56
Şekil 5.19. Mühendislik fakültesine ait aktif ve reaktif enerji tüketim çizelgesi	57
Şekil 5.20. Mühendislik fakültesi fliker (Pst, Plt) zaman çizelgesi	58
Şekil 5.21. Merkezi araştırma laboratuvar binası tek hat şeması ve enerji kalitesi ölçüm noktası.....	59
Şekil 5.22. Merkezi araştırma laboratuvarına ait üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği.....	60
Şekil 5.23. Merkezi araştırma laboratuvarına ait gerilimin üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği	62
Şekil 5.24. Merkezi araştırma laboratuvarına ait gerilim harmoniklerinin histogram grafiği	63
Şekil 5.25. Merkezi araştırma laboratuvarına ait her bir fazın gerilim harmoniği zaman çizelgesi	64
Şekil 5.26. Merkezi araştırma laboratuvarına ait akım harmoniklerinin histogram grafiği	65
Şekil 5.27. Merkezi araştırma laboratuvar binasına ait her bir fazın akım harmoniği zaman çizelgesi	66
Şekil 5.28. Merkezi araştırma laboratuvarı kompanzasyon panosu.....	67
Şekil 5.29. Merkezi araştırma laboratuvarı aktif, reaktif ve güç faktörü zaman çizelgesi grafiği	68
Şekil 5.30. Merkezi araştırma laboratuvarı etkin güç istatistik grafiği.....	69
Şekil 5.31. Merkezi araştırma laboratuvarı reaktif güç istatistik grafiği.....	70
Şekil 5.32. Merkezi araştırma laboratuvarı güç faktörü istatistik grafiği	71
Şekil 5.33. Merkezi araştırma laboratuvarının zamana bağlı gerilim dengesizliği (%Vz).....	72
Şekil 5.34. Merkezi araştırma laboratuvarı gerilim dengesizliği Vz (%) istatistik grafiği.....	73



Şekil 5.35. Merkezi araştırma laboratuvarının zamana bağlı akım dengesizliği %An.....	74
Şekil 5.36. Merkezi araştırma laboratuvarı akım An (%) dengesizlik istatistiksel grafığı	75
Şekil 5.37. Merkezi araştırma laboratuvarı enerji kaybı zaman çizelgesi grafığı.....	76
Şekil 5.38. Merkezi araştırma laboratuvarına ait aktif ve reaktif enerji tüketim çizelgesi.....	77
Şekil 5.39. Merkezi araştırma laboratuvarı fliker (Pst, Plt) zaman çizelgesi.....	78
Şekil 5.40. İslami ilimler fakültesi tek hat şeması ve enerji kalitesi ölçüm noktası	79
Şekil 5.41. İslami ilimler fakülte binasına ait üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafığı.....	80
Şekil 5.42. İslami ilimler fakülte binasına ait gerilimin üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafığı	81
Şekil 5.43. İslami ilimler fakülte binasına ait gerilim harmoniklerinin histogram grafığı	82
Şekil 5.44. İslami ilimler fakülte binasına ait her bir fazın gerilim harmoniği zaman çizelgesi	83
Şekil 5.45. İslami ilimler fakülte binasına ait akım harmoniklerinin histogram grafığı	84
Şekil 5.46. İslami ilimler fakülte binasına ait her bir fazın akım harmoniği zaman çizelgesi	84
Şekil 5.47. İslami ilimler fakülte binasına ait kompanzasyon panosu	85
Şekil 5.48. İslami ilimler fakülte binasına ait aktif, reaktif güç ve güç faktörü zaman çizelgesi grafığı.....	86
Şekil 5.49. İslami ilimler fakülte binasına ait etkin güç istatistik grafığı	87
Şekil 5.50. İslami ilimler fakülte binasına ait reaktif güç istatistik grafığı.....	87
Şekil 5.51. İslami ilimler fakülte binasına ait güç faktörü istatistik grafığı.....	88
Şekil 5.52. İslami ilimler fakültesi binasına ait zamana bağlı gerilim dengesizliği (%Vz).....	89
Şekil 5.53. İslami ilimler fakültesi binasına ait zamana bağlı akım dengesizliği %An.....	90
Şekil 5.54. İslami ilimler fakültesi binasına ait enerji kaybı zaman çizelgesi grafığı	91
Şekil 5.55. İslami ilimler fakültesi binasına ait aktif ve reaktif enerji tüketim çizelgesi.....	92
Şekil 5.56. İslami ilimler fakültesi binasına ait fliker (Pst, Plt) zaman çizelgesi.....	93



Şekil 5.57. Yabancı diller yüksekokulu binası tek hat şeması ve enerji kalitesi ölçüm noktası	94
Şekil 5.58. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği	95
Şekil 5.59. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait gerilimin üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği	96
Şekil 5.60. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait gerilim harmoniklerinin histogram grafiği	97
Şekil 5.61. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait her bir fazın gerilim harmoniği zaman çizelgesi	97
Şekil 5.62. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait akım harmoniklerinin histogram grafiği	98
Şekil 5.63. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait her bir fazın akım harmoniği zaman çizelgesi	99
Şekil 5.64. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait kompanzasyon panosu.....	100
Şekil 5.65. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait aktif, reaktif güç ve güç faktörü zaman çizelgesi grafiği	101
Şekil 5.66. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait etkin güç istatistik grafiği	102
Şekil 5.67. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait reaktif güç istatistik grafiği....	102
Şekil 5.68. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait güç faktörü istatistik grafiği ..	103
Şekil 5.69. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait zamana bağlı gerilim dengesizliği (%Vz)	104
Şekil 5.70. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait zamana bağlı akım dengesizliği %An	105
Şekil 5.71. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait enerji kaybı zaman çizelgesi grafiği	106
Şekil 5.72. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait aktif ve reaktif enerji tüketim çizelgesi.....	107
Şekil 5.73. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait fliker (Pst, Plt) zaman çizelgesi.....	108
Şekil 5.74. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait tek hat şeması ve enerji kalitesi ölçüm noktası.....	109
Şekil 5.75. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği	110
Şekil 5.76. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait gerilimin üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği.....	111
Şekil 5.77. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait gerilim harmoniklerinin histogram grafiği	112



Şekil 5.78. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait her bir fazın gerilim harmoniği zaman çizelgesi	113
Şekil 5.79. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait akım harmoniklerinin histogram grafiği	114
Şekil 5.80. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait her bir fazın akım harmoniği zaman çizelgesi	114
Şekil 5.81. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait kompanzasyon panosu.....	115
Şekil 5.82. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait aktif, reaktif güç ve güç faktörü zaman çizelgesi grafiği.....	116
Şekil 5.83. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait etkin güç istatistik grafiği	117
Şekil 5.84. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait reaktif güç istatistik grafiği.....	117
Şekil 5.85. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait güç faktörü istatistik grafiği.....	118
Şekil 5.86. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait zamana bağlı gerilim dengesizliği (%Vz)	119
Şekil 5.87. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait zamana bağlı akım dengesizliği %An	120
Şekil 5.88. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait enerji kaybı zaman çizelgesi grafiği	121
Şekil 5.89. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait aktif ve reaktif enerji tüketim çizelgesi.....	122
Şekil 5.90. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait fliker (Pst, Plt) zaman çizelgesi	123
Şekil 5.91. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait tek hat şeması ve enerji kalitesi ölçüm noktası.....	124
Şekil 5.92. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği	125
Şekil 5.93. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait gerilimin üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği	126
Şekil 5.94. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait gerilim harmoniklerinin histogram grafiği	127
Şekil 5.95. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait her bir fazın gerilim harmoniği zaman çizelgesi	128
Şekil 5.96. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait akım harmoniklerinin histogram grafiği	129
Şekil 5.97. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait her bir fazın akım harmoniği zaman çizelgesi	129



Şekil 5.98. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait kompanzasyon panosu	130
Şekil 5.99. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait aktif, reaktif güç ve güç faktörü zaman çizelgesi grafiği	131
Şekil 5.100. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait etkin güç istatistik grafiği	132
Şekil 5.101. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait reaktif güç istatistik grafiği	132
Şekil 5.102. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait güç faktörü istatistik grafiği	133
Şekil 5.103. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait zamana bağlı gerilim dengesizliği (%Vz)	134
Şekil 5.104. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait zamana bağlı akım dengesizliği %An	135
Şekil 5.105. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait enerji kaybı zaman çizelgesi grafiği	136
Şekil 5.106. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait aktif ve reaktif enerji tüketim çizelgesi.....	137
Şekil 5.107. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait fliker (Pst, Plt) zaman çizelgesi.....	138



YALOVA ÜNİVERSİTESİ YERLEŞKELERİNDEKİ ELEKTRİK TESİSLERİNİN GÜÇ KALİTE ANALİZİ

ÖZET

Yeni enerji kaynaklarını keşfetmek kadar, mevcut kaynakları daha etkili ve verimli bir şekilde kullanmak da önemlidir. Elektrik enerjisi kullanımında, kalitenin etkili olması da önem taşır. Teknolojinin hızla ilerlemesi, güç elektroniği devre elemanlarının elektrikli cihazlarda daha fazla kullanılmasına yol açmıştır. Güç elektroniği devre elemanlarının artan kullanımı, bazı güç kalitesi sorunlarının ortaya çıkmasına sebep olur. Bu sorunlar arasında harmonik bozulmalar, dalgalanmalar, güç faktörü problemleri ve akım-gerilim dengesizlikleri bulunmaktadır. Elektrik enerjisi kalitesinin belirlenmesi için, öncelikli olarak enerji analizör cihazlarıyla doğru ve sürekli güç kalitesi ölçümleri yaparak, bozucu etkilerin ve kaynaklarının tespit edilmesi gerekmektedir.

Bu amaçla, Yalova Üniversitesi'ne ait idari ve eğitim binalarının elektrik enerji kalitesi, Fluke 435-II enerji analizör cihazı kullanılarak bir hafta boyunca ölçülmüş ve enerji kalitesi analizi için değerlendirilen temel enerji kalite parametreleri; akım, gerilim, akım-gerilim harmonikleri, aktif-reaktif güçler, güç faktörü, enerji tüketimi ve kayıpları, titreşim (flicker) durumları incelenmiştir. Analiz sonuçlarına göre, hafta içi ve hafta sonu boyunca binaların yüklerinin elektrik şebekesinde oluşturduğu enerji kalite sorunları ve kayıp miktarları tespit edilmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur. Binaların en yüksek, en düşük ve ortalama harmonik, güç, enerji değerleri, kompanzasyon durumları, binaların yük profili değişim zamanı, yük tipleri gibi veriler aktarılmış ve ölçüm sonuçları, ölçüm yönetmelikleri ve standartlarına göre karşılaştırılmıştır. Elektrik enerjisinin iş saatlerinde yoğun bir şekilde kullanıldığı ve bazı anlarda ani değişimlerin olduğu gözlemlenmiştir. Bu değişimlerin kaynağı ve enerji kalitesine etkisi üzerine bulgular belirlenmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Elektrik enerjisi, Enerji kalitesi, Güç faktörü, Kompanzasyon, Harmonikler.



POWER QUALITY ANALYSIS OF ELECTRICAL FACILITIES AT YALOVA UNIVERSITY CAMPUSES

ABSTRACT

Discovering new energy sources is as important as utilizing existing sources more effectively and efficiently. The effectiveness of electricity usage also holds significance in the field of energy. The rapid advancement of technology has led to increased utilization of power electronic circuit components in electrical devices. However, this increased usage of power electronic circuit elements gives rise to certain power quality issues. Among these issues are harmonic distortions, fluctuations, power factor problems, and current-voltage imbalances. To determine the quality of electric energy, it is essential to prioritize accurate and continuous power quality measurements using energy analyzer devices in order to identify disruptive effects and sources.

With this aim in mind, the electrical energy quality of administrative and educational buildings affiliated with Yalova University was examined using the Fluke 435-II energy analyzer device for a duration of one week. The main energy quality parameters evaluated in the energy quality analysis included current, voltage, current-voltage harmonics, active-reactive powers, power factor, energy consumption and losses, and vibration (flicker) conditions. Based on the analysis results, energy quality issues and loss levels caused by the loads on the electrical grid during weekdays and weekends were identified, and solutions were proposed. Data regarding the highest, lowest, and average harmonics, power, and energy values of the buildings, compensation statuses, changes in the load profile of the buildings over time, and types of loads were provided, and measurement results were compared with measurement regulations and standards. It was observed that electricity consumption was intensive during working hours, and sudden fluctuations occurred at certain times. Findings regarding the source of these fluctuations and their impact on energy quality were determined, and corresponding recommendations were presented.

Keywords: Electric power, Energy quality, Power factor, Compensation, Harmonics.



1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte güç elektroniği elemanlarından oluşan cihaz ve ekipmanların sayısının artması elektrik enerjisinin kalite sorunlarının oluşmasına sebebiyet vermektedir. Elektrik enerjinin daha kaliteli ve verimli kullanılabilmesi için elektrik enerjisinin kalitesini bozan etkileri en aza indirilmesi gerekmektedir (Sankaran, 2017). Enerji kalitesini bozan en önemli parametrelerden bazıları; akım-gerilim ilişkisi, harmonikler, dengesizlik, titreşim, aktif-reaktif güç ve enerji kayıplarıdır. Yalova Üniversitesine bağlı 13 eğitim binası ve bir idari binanın elektrik enerjisi yönünden incelenmesi için Fluke 435-II enerji analizör ve güç kalitesi ölçüm cihazı ile enerji kalite analizi yapılmıştır. Enerji analiz ölçümleri her bina için yedi günlük zaman aralıklarında yapılmıştır. Enerji analizinde değerlendirilen başlıca enerji bileşenleri; akım gerilim değerleri, toplam akım ve gerilim harmonik değerleri, aktif, reaktif güç değerleri, güç faktörü, enerji tüketimi, enerji kayıpları ve fliker değerleridir.

Yapılan ölçüm sonuçları neticesinde binaların enerji kalitesini etkileyen akım ve gerilim değerleri incelendiğinde gerilimlerin yük kullanımına göre 220-240 volt arasında değişim gösterdiği ve akım değerleri incelendiğinde mesai saati içerisinde yük kullanımına göre artış olduğu mesai saati dışında kalan zamanlarda akım değerlerinin düştüğü gözlemlenmiştir. Akım ve gerilim değerlerine göre enerji kalitesini etkileyen bileşenler sırayla analiz edilmiştir. Bazı binalarda gerilim değerlerinin standart seviyelerden fazla olduğu ve trafo kademe ayarlarının kontrol edilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Binaların harmonik değerleri hem histogram grafiği hem de zaman çizelge grafiğinde gösterilmiş aynı zamanda istatistiksel verilerden faydalanılmıştır. Toplam akım harmoniği, kabul görülen IEC ölçüm standartlarının üzerinde seyrettiği, toplam gerilim harmoniğinin kabul görülen standartların altında seyrettiği görülmektedir. Ayrıca çoğu binada kompanzasyon panosu içerisinde pasif harmonik filtre sisteminin bulunmadığı, bazı binalarda pasif harmonik filtre uygulamasının mevcut olduğu gözlemlenmiştir. Enerji kayıpları açısından bakıldığında çoğu binanın enerji kayıp bileşenleri benzerlik göstermekle birlikte merkezi araştırma laboratuvarı binasında enerji kayıplarında asıl kayıp olan aktif enerji kaybından daha fazla reaktif enerji kaybı olduğu görülmektedir. Fliker değerleri incelendiğinde Pst ve Plt ortalama değerleri standart kabul görmüş değerlerin altında olduğu fakat ani gerilim dalgalanmalarında

kısa süreli de olsa kabul görmüş değerleri aştığı görülmekte fakat bir haftalık ölçüm periyodunda ortalama olarak insan sağlığını olumsuz etkileyecek bir durum oluşmadığı gözlenmiştir. Güç faktörü bileşeni incelendiğinde binalarda ölçüm yapılırken mevcut kompanzasyon panolarının aktif olduğu bilinmekte ve yapılan ölçümler doğrultusunda binaların bir kısmında elektrik yük karakteristiği endüktif/reaktif özellikte birçoğunda ise kapasitif/reaktif özellikte olup binalarda kullanılan alıcıların özelliklerinden ötürü reaktif güç değişkenlik göstermekte ve buna bağlı olarak güç faktörü çoğu binada olması gereken yasal değerlerin altında ve reaktif güç kullanımından dolayı cezai işleme tabi olduğu görülmektedir. Dengesizlik bileşeni açısından binalarda kullanılan çoğu elektrikli alıcı tek faz beslemeli olduğundan ve bina yapımından sonra ilave tek faz elektrik alıcıların eklenmesiyle birlikte alıcı beslemelerinin üç faza eşit bir şekilde dağıtılmadığı için fazlar arası akım dengesizliğinin bariz olarak görüldüğü ve buna bağlı olarak da az da olsa gerilim dengesizliğinin yaşandığı gözlenmiştir (Sankaran, 2017).

Bu çalışmada enerji kalitesini etkileyen bileşenlerden harmonikler, fliker, reaktif güç ve dengesizlik bileşenlerinin; Uluslararası Kuruluşların yönetmeliği, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumunun hizmet kalitesi yönetmeliği, IEEE'nin dağıtım sistemleri gerilim ve akım harmonik distorsiyon standartları dikkate alınarak ölçülen verilerin analizi yapılmış, ölçüm yapılan noktaların enerji kalitesi ve durumunun, yönetmeliklere uygunluğu ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yapılan enerji analiz ölçümlerinin sonucunda binalarda değişkenlik gösteren çeşitli bulgular tespit edilmiştir. Yapılan bulgulara öneriler eklenerek Yalova Üniversitesine bağlı binaların elektrik enerji kalitesinin artırılması ve enerji verimliliğine katkı sağlaması amaçlanmıştır.

1.1. Literatür Özeti

Dünya genelinde işletmeler ve sistemler üzerinde yapılan enerji kalitesi analizleri çalışmalarının temel amacı, güç kalitesini artırmaktır. Son yıllarda elektronik cihazların hayatımızdaki önemi arttıkça, güç faktörü, harmonik, dengesizlik etkilerin sistemlere olan olumsuz etkisi de artmıştır. Yapılan bilimsel çalışmalar, bu bozucu etkilerin enerji kalitesi açısından önemli olduğunu ve sistemler üzerindeki olumsuz etkilerinin giderilmesinin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu çalışmalar sonucunda, güç faktörü, harmonikleri ve dengesizliği düzeltebilecek ve enerji kalitesini standart

değerlere taşıyabilmek güç faktörünün iyileştirilmesi için kompanzasyon panolarında yapılması gerekenler, harmoniklerin sönümlenmesi için filtre sistemlerinin tasarımı ve dengesizlik için doğru tesisat boyutlandırılması gibi işlemlerin elektrik enerjisi tesisatlarında gereklilik arz ettiği görülmektedir.

Literatür araştırmaları sonucunda elde edilen bulgular, bozucu etkilerin enerji kalitesi üzerinde büyük öneme sahip olduğunu ve bu etkilerin sistemler üzerinde ortadan kaldırılmasının gerekliliğini ortaya koymuştur.

Van ilindeki bir tesiste (fabrikada) ZERA MT 310 güç analizörü ile çeşitli ölçümler (anlık elektriksel değerler, harmonikler, akım ve gerilim dalga şekilleri vb.) yaparak bazı güç kalitesizlikleri tespit edilmiş ve bu bulgulardan hareketle güç kalitesizliğine neden olan harmonikler incelenmiş ve harmoniklerin mevcut tesisler üzerindeki etkileri yorumlanarak aktif filtre çözümlerini simülasyon çalışmalarıyla karşılaştırmasını yapmışlardır (Rüstemli ve diğ., 2013).

Elektrik enerji sistemlerinde, Tunçalp ve Sucu (2006) tarafından, yapılan çalışmada sistem üzerinde oluşan harmoniklerin filtrelenmesinde kullanılan pasif filtrelerin ve filtreli kompanzasyon sistemlerinin (seri endüktans bağlanmış kompanzasyon sistemi) yapıları ve uygulama şekilleri hakkında bilgi sunmuşlar ve ilerleyen aşamalarda, harmonik içeren bir elektrik enerji sisteminin modelini, MATLAB programı kullanılarak oluşturulmuşlar, bu model üzerinde, pasif filtre ve filtreli kompanzasyon sistemi uygulanarak, bu filtrelerin sistem üzerindeki etkileri incelenmiş ve elde edilen sonuçlar üzerinde yorumlar yapmışlardır.

Elektrik enerji sistemlerinde Kakilli ve diğ. (2008), tarafından yapılmış çalışmada harmoniklerin reaktif güç kompanzasyon sistemlerine olan etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, harmonik içeren bir elektrik enerji sisteminin modeli MATLAB/Simulink programı kullanılarak oluşturulmuş ve ilk olarak, klasik bir kompanzasyon sistemi bu modele uygulanmış ve ardından filtreli kompanzasyon sistemi uygulanarak bu filtrelerin sisteme etkileri incelenmiş, elde edilen sonuçlar üzerinde detaylı yorumlar yapmışlar ve yapılan bu çalışma sayesinde harmoniklerin reaktif güç kompanzasyon sistemleri üzerindeki etkilerinin daha iyi anlaşılmasını sağlamışlardır.

Kampüs içi yerleşim birimlerinde kompanzasyon ve harmonik açısından güç analizlerinin incelemesi yapılmış ve yönetmeliklere göre enerji kalitesi sorunlarına

değınmiş ve Sakarya Üniversitesi'nin gelecekteki enerji politikaları hakkında değerdendirmelerde bulunmuştur (Aydın, 2007).

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, merkezi ısı santralının enerji kalitesini ölçerek ve analizini yaparak, enerji kalitesinin önemli parametrelerinden harmonikler ve kırpışma (flikler) faktörleri hakkında araştırma gerçekleştirmişler, yapılan analizler sonucunda, ısı santralindeki yüklerin şebeke üzerinde yoğun harmonik oluşturduğu ve akım dalga şeklini bozduğu tespit etmişlerdir. Harmoniklerin meydana getirdiğı enerji kalite sorunlarının çözümü için, araştırmacılar pasif filtre kullanımının yeterli olabileceğini düşünmüşler ve bu yöntemle, oluşan harmoniklerin sistemdeki etkileri azaltılarak enerji kalitesi sorunlarının giderilmesini hedeflemiş (Keçecioğlu ve diğ., 2015).

Kürker, (2022) tarafından yapılan çalışmada, üç farklı tesiste beş ölçüm noktasının üç faza ait güç parametreleri ölçmüş ve yük dengesizliğı ile üçlü harmonik değerdlerinin nötr akımına etkisini karşılaştırmıştır. Birinci ve ikinci ölçümdeki güç dengesizliğı standart hata değeri birbirine yakın olmasına rağmen üçlü harmonik değerdler arasında yaklaşık %30'luk değışkenlik var iken nötr akımda oluşan farkın 13.27 A değerdinde olduğunu tespit etmiş. Çalışmadaki test edilen sistem için üçlü harmoniklerin, dengesiz yüklenmeye göre nötr iletkende oluşan akım üzerinde daha fazla etkisinin olduğu sonucuna varmıştır.

Literatür çalışmalarında görüldüğü üzere enerji kalitesi sorunları ve bunların yol açtığı problemlerin neler olduğu ve bu sorunlara ne tür çözümler bulunması gerektiğı görülmektedir. Bu tez çalışmasında da geniş kapsamlı bir çalışma yapılarak üniversite yerleşkelerindeki elektrik tesislerinin enerji kalitesi sorunlarının tespiti ve alınabilecek önlemlerden hakkında çalışmaların yapılmıştır.

2. ENERJİ KALİTESİ STANDART, YÖNETMELİK VE ÖLÇME YÖNTEMLERİ

Enerji kalitesi tanımı genel olarak, herhangi bir anda gerilim, akım ve frekansın beklenen değerlerinden sapma göstererek enerji sorunlarına neden olabileceği durumları, kullanıcının sisteminde arıza veya istenmeyen işleyişe yol açmadan düzeltmeyi ifade eder (Tabak ve Yalçın, 2004).

Elektrik enerjisinin üretiminden dağıtımına ve kullanımına kadar gerilim değeri üzerine önemli bir etkide bulunulacağı varsayılacağından, güç kalitesi yönünden yapılan tanımlamaların büyük bölümünün gerilim üzerine olduğu görülmektedir. Sistem üzerinden çekilen akım yüklere bağlı olacağından, akımın dalga formu üzerinde varsayım yapılamamaktadır. Fakat Nötr hattı üzerinden akan akımın enerji kaybına sebebiyet vermesi, fazlar arasında çekilen dengesiz yüklerin akım dengesizliğine sebebiyet verdiği, yük kullanımında ani değişimlerin sonucu gerilimi etkilese de temel ölçüt olarak gerilimde oluşan değişimler enerji kalitesinde etkin rol almaktadır (Tabak ve Yalçın, 2004). Fakat enerji kalitesine ait standartlar ve tanımlar yapılırken sistemden çekilen akım, gerilim dalga formu, harmonikler, dengesizlik, fliker (titreme) değerleri temel alınmıştır.

2.1. Enerji Kalitesi Standart ve Yönetmelikleri

Enerji ve güç kalitesi; üretim, dağıtım ve tüketim ile ilgili olduğundan bu çalışma kapsamında tüketim taraflı cihazlara ait standartlar IEC 61000-2- 5:1995 IEC 61000-2-5:1995: "Elektromanyetik Uyumluluk (EMC), Bölüm 2: Çevre, Bölüm 5: Elektromanyetik Ortamların Sınıflandırılması: Elektrik Dağıtım Sistemleri Tarafından Sağlanan Elektriğin Gerilim Karakteristikleri (EN 50160:2000 BS EN50160:2000) - BRITISH STANDART INSTITUTION, 2000" gibi dağıtım sistemleri tarafından sağlanan elektriğin gerilim karakteristiklerini tanımlar. Elektromanyetik ortamların sınıflandırılmasıyla ilgili bilgileri içerir ve elektrikli cihaz veya ürün temelli standartlardır. Bir cihaz veya ürünün sahip olması gereken uyumluluk limitlerini belirler (Naci ve Tür, 2021).

EN50160 olarak bilinen standart, dağıtım şebekelerindeki orta ve alçak gerilim sistemlerinin güç kalitesi limitlerinin belirlendiği en önemli standarttır. Bu standart, çoğu ülkede çevirileri yapılarak kullanılmakta ve ulusal yönetmeliklerin temelini

oluşturmaktadır. EN50160, dağıtım şirketleri tarafından sağlanan elektrik enerjisinin gerilim kalitesini tanımlayan ve bu şirketlerin müşterilere karşı sorumluluklarını belirleyen bir standarttır. Bu standart, CENELEC tarafından kabul edilmiş olup ülkemizde TSE tarafından 2010 yılında son şekliyle yayınlanmıştır. EN50160, müşteri ve tüketici arasındaki ilişkiyi düzenleyerek belirli sınırlar ve kontrol altına alma yöntemleri sağlamaktadır (Langella ve diğ., 2014).

Tablo 2.1. Güç kalitesi ölçüm standartları (Fluke, 2012)

Kullanılan ölçüm yöntemleri	IEC61000-4-30 2. sürüm sınıf A
Ölçüm performansı	Fluke 435-II/437-II IEC61000-4-30 Sınıf A, Fluke 434-II IEC61000-4-30 Sınıf S
Güç Kalitesi	EN50160
Titreme	IEC 61000-4-15
Harmonikler	IEC 61000-4-7
Shipboard V/A/Hz	MIL-STD-1399-300B

Güç kalitesi ölçüm standartlarına ait bilgiler Tablo 2.1’de gösterilmiştir. Kalite yönünden sistem frekansının kontrolü 22/01/2003 tarihli ve 25001 sayılı Resmî Gazete’ de yayımlanan Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliğinde belirtilen limitler içerisinde TEİAŞ tarafından kontrol edileceği belirtilmiştir (Gazete, 2006). Elektrik dağıtımı ve perakende satışıyla ilgili hizmet kalitesi yönetmeliği, EN50160 standartına dayanmaktadır. Bu yönetmelikte, güç kalitesi bileşenleri şu şekilde açıklanmıştır.

2.1.1. Gerilim değeri açısından tanımlanan yönetmelik ve limitleri

Alçak Gerilim (AG), gerilim seviyesinin 1000 Volt ve altında olduğu bir elektrik enerjisi düzeyini ifade etmektedir. Alçak gerilimde, 4 telli 3 fazlı sistemler için faz-nötr arasındaki standart anma gerilim aralığı 220-230V AC olarak belirlenmiştir. Aynı şekilde, 3 telli 3 fazlı sistemler için ise faz-faz arasındaki standart anma gerilim aralığı 380-400V AC olarak kabul edilmektedir (Standart, 2007).

Nötr ve toprak arası gerilim değerleri, nötr iletken ile toprak arasındaki gerilim farkını ifade eder. Normal bir durumda, nötr iletken toprakla aynı potansiyele sahip olmalıdır, yani nötr-toprak gerilimi sıfır olmalıdır. Ancak bazı durumlarda, elektrik devrelerinde arızalar veya hatalar meydana gelebilir ve bu durumda nötr-toprak arası gerilim farkı

oluşmaktadır. Nötr-toprak arası gerilim değeri ülkeler arası farklılık göstermekle birlikte $V_n - p_{max} \leq 2$ volt'u geçmemesi önerilmektedir.

2.1.2. Gerilim ve akım harmoniği açısından tanımlanan yönetmelik ve limitler

Elektrik enerji sistemlerinde harmonik miktarını sınırlamak için iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Birincisi, IEC (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) tarafından tercih edilen ve herhangi bir nonlineer yükün bağlandığı noktada uygulanan bir yöntemdir. İkinci yöntem ise IEEE (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) tarafından benimsenen ve birden fazla nonlineer yükün beslendiği bir veya daha fazla merkezi noktada uygulanan bir yöntemdir (IEEE Standards Association, 2009).

Tablo 2.2. Gerilim harmonikleri sınır değerleri (Broshi, 2007)

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

Dağıtım şirketleri nezdinde TS EN 50160:2011 standardının bir parçası olan Tablo 2.2'de belirtilen gerilim harmonik sınır değerlerine uymakla yükümlüdür. Bu çizelge, her bir gerilim harmoniğinin ana bileşene oranla ifade edilen oransal değerlerini içerir. Ölçüm süresi boyunca, her bir gerilim harmoniğinin etkin değerinin 10 dakikalık ortalaması, Tablo 2.2'de belirtilen değerlerin %95'inden küçük veya eşit olmalıdır (Broshi, 2007).

Tablo 2.3. Toplam gerilim harmonikleri sınır değerleri (Broshi, 2007)

En Yüksek Harmonik Bozunum%	Sistem Gerilimi		
	<69 kV	69-158 kV	>138 kV
Tek Harmonik Değeri	3	1,5	1
Toplam Harmonik Değeri	5	2,5	1,5

Birçok ülke, harmoniklerin sınırlanması için toplam harmonik distorsiyonu (THD) kriterine dayanan çeşitli standartlara sahiptir. IEEE'nin (519-1992) belirttiği maksimum izin verilen gerilim ve akım distorsiyonu sınırları bulunmaktadır. Endüstriyel tesisler için çoğu durumda, maksimum izin verilen THD genellikle %5, herhangi bir harmonik bileşen için ise %3'tür. IEEE (519-1992), dağıtım sistemleri için gerilim harmonik distorsiyon limitleri Tablo 2.3'te, akım harmonik distorsiyonu limitleri ise Tablo 2.4'te belirtmiştir (Masetti, 2010).

Ülkemizde güç sistemimiz için belirlenmiş standart değerler ve bu konuda bir çalışma bulunmamaktadır. Sadece küçük ev aletleri için yayınlanmış bir standart mevcuttur.

Tablo 2.4. Toplam akım harmonikleri sınır değerleri (Broshi, 2007)

Tek Harmonikler						
I_{sc}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TTB
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0
Çift harmonikler, kendinden sonraki tek harmonik için tanımlanan değerin %25'i ile sınırlandırılmıştır.						

2.1.3. Güç faktörü açısından tanımlanan yönetmelik ve limitler

Güç faktörü, elektrik sistemlerindeki etkin gücün (watt) görünür güce (volt-amper) oranını ifade eder. Güç faktörü, enerji verimliliği ve elektrik sistemi performansı açısından önemlidir. Bu standartlar, genellikle enerji tüketimi, elektrik sistemlerinin stabilitesi ve harmonik bozulmaları gibi faktörleri dikkate alarak belirlenir. IEC (Uluslararası Elektroteknik Komisyonu) ve IEEE (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü) gibi kuruluşlar, güç faktörüyle ilgili standartlar yayınlamıştır. IEC 61000-3-2 standardı, elektrikli cihazların harmonik bozulmasını ve güç faktörünü belirlemek için kullanılır. Bu standarda göre, bazı elektrikli cihazlar için belirli güç faktörü sınırları belirlenmiştir (IEEE Standards Association, 2009).

Güç faktörü standart değerleri, farklı ülkeler ve uygulama alanları için değişiklik göstermektedir. Genel olarak kullanılan güç faktörü standart değerleri için reaktif güç, endüstriyel uygulamalarda, ticari ve kamu binalarında kapasitif olarak baz alınmaktadır. Fakat binaların reaktif yük profilleri teknolojinin gelişmesiyle endüktif

özellikten kapasitif özelliğe geçiş sağlamış ve reaktif güç kompanzasyonunda endüktif özellikli şönt reaktör ihtiyacı oluşmuştur.

2.1.4. Akım ve gerilim dengesizliği açısından tanımlanan yönetmelik ve limitler

Akım dengesizliği, üç fazlı bir elektrik sistemine bağlı olan yükler arasındaki akım farkını ifade eder. Akım dengesizliği genellikle yüklerin asimetrik şekilde dağılması veya bir faz hattının arızalanması gibi durumlarda ortaya çıkar. Akım dengesizliği, elektrik sisteminin performansını etkileyebilir ve cihazlara zarar verebilir.

Akım dengesizliği için genel olarak kabul edilen standart değerler IEC 61000-2-2 ve IEEE Std 519-2014 standartlarına göre ideal olarak sıfır olmakla birlikte pratikte akım dengesizlik oranı %10'u geçmemelidir (Fluke, 2012).

TS EN 50160, "Elektrik Enerjisi Şebekeleri için Gerilim Karakteristikleri" başlığı altında, gerilim değerlerini ve gerilim dengesizliğini içeren bir standarttır. Bu standart, Türkiye'deki elektrik enerjisi şebekelerindeki gerilim karakteristiklerini belirlemek ve sınırlamak için kullanılır. TS EN 50160 standardı, gerilim değerleri, frekans dalgalanmaları, harmonikler, gerilim dengesizliği, geçici gerilim değişiklikleri, gerilim dalgalanmaları ve çarpıntı gibi elektrik şebekelerinde yaygın olarak görülen parametreleri kapsar. Gerilim dengesizliği için TS EN 50160 standardında limit değerler idealde sıfır kabul edilir, fakat uygulamada gerilim dengesizlik oranı %2'yi geçmemelidir. Bu limit değerler, Türkiye'deki elektrik enerjisi şebekeleri için TS EN 50160 standardında belirtilen gerilim dengesizliği sınırlarını temsil etmektedir (Fluke, 2012).

Tablo 2.5. Gerilim dengesizliği sınır değerleri ve ölçüm tekniği (İşcan, 2015)

Ölçülen Parametre	Alçak Gerilim Sınır Değer	Ölçüm Tekniği
Gerilim Dengesizlikleri	<%2	Ölçüm periyodu boyunca ölçülen negatif gerilim bileşeni etkin değerinin 10'ar dk'lık ortalamalarının en az %95'inin pozitif bileşenlere oranı en fazla %2 olmalıdır.
	<%3	Ölçüm tekniği aynı olmakla beraber, tek fazlı ve iki fazlı yüklerin beslediği noktalarda bu oran %3'e kadar çıkabilir.

2.1.5. Fliker (titreme) açısından tanımlanan yönetmelik ve limitler

Fliker (titreşim), elektrik sisteminde gerilim dalgalanmaları nedeniyle ortaya çıkan bir olaydır. Bu dalgalanmalar, aydınlatma armatürleri aracılığıyla insan gözünde algılanabilir ve rahatsızlık yaratabilir. Fliker'ın sınırlandırılması için çeşitli standartlar ve yönergeler mevcuttur. IEC 61000-3-3 bu standart, elektrikli cihazların harmonik ve titreşim (fliker) emisyonlarını sınırlamak için kullanılır. Fliker sınırlandırmasında, kısa süreli dalgalanmalar olan Pst (Perceptibility short term) ve uzun süreli dalgalanmalar olan Plt (Perceptibility long term) indeksleri Tablo 2.6'da gösterilmiştir (İşcan, 2015).

Enerji analizör cihazının ölçümlerde kullandığı standart 61000-4-15 olup bu standart, elektrik şebekelerindeki fliker'ı ölçmek için kullanılan ölçüm yöntemlerini ve ekipman gereksinimlerini belirler (Fluke, 2012).

Tablo 2.6. Fliker şiddeti sınır değerleri (İşcan, 2015)

Fliker Şiddeti Endeksi	Sınır Değerler
Pst	≤ 1.0
Plt	≤ 0.8

3. MATERYAL VE METOD

Güç analizör cihazları, elektrik sistemlerinde güç kalitesinin ölçülmesi, kaydedilmesi ve analiz edilmesi için yeni yaklaşımlar sunmaktadır. Tez kapsamında 14 binanın enerji kalitesi ölçümleri Fluke 435-II enerji ve güç kalitesi ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Fluke 435-II, güç kalitesi analizi için kullanılan bir elektrik analizör cihazıdır. Bu cihaz, elektrik sistemlerinde güç kalitesinin ölçülmesi, analiz edilmesi ve sorunların teşhis edilmesi için kullanılan yüksek hassasiyetli bir araçtır. İşletmelerin enerji verimliliğini artırmalarına, sorunları tespit etmelerine ve çözmelerine yardımcı olur.

Fluke 435-II enerji ve güç analizör modeli, IEC / EN61010-1 direktifine uygun olarak tasarlanmış bir cihazdır. Bu cihaz, Windows CE teknolojisi kullanılarak büyük boyutlu verilerin kolay ve hızlı bir şekilde analiz edilebilmesine olanak tanır. Geniş ekranı ve renkli grafik görselleri sayesinde ölçüm sonuçlarını grafiksel olarak görüntüleyebilir ve kaydedebilir. Bu sayede kullanıcılar, verileri daha ayrıntılı bir şekilde analiz edebilir ve sorunların kaynağını tespit edebilir. Cihaz, kullanıcı dostu bir arayüze ve taşınabilir bir tasarıma sahiptir, bu da saha çalışmalarında kolaylıkla kullanılabilmesini sağlar. Ayrıca, bellek alanı, takılı olan SD Kartın boyutuna bağlı olarak desteklenen maksimum kart boyutu 32 GB'dir. Güç analizör cihazı kaydedilen bu verileri bilgisayara aktarma ve bilgisayar üzerinden PowerLog 435-II uygulaması üzerinden verilerin analiz edilmesi ve dışa aktarılmasına da olanak sağlamaktadır (Fluke, 2012).

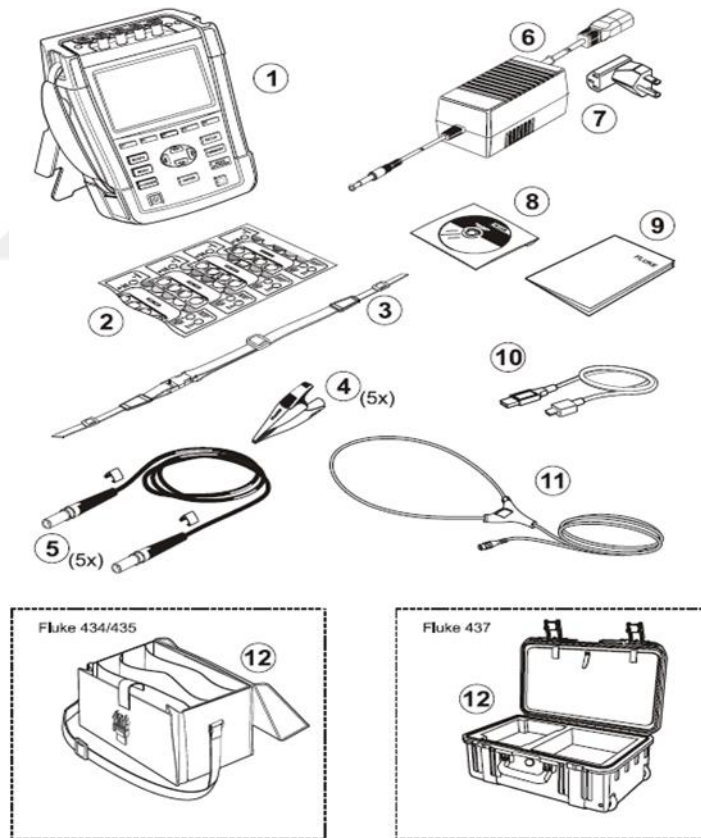


Şekil 3.1. Fluke 435-II güç analizör cihaz gösterimi

Fluke 435-II güç analizör cihazı Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Cihaz çeşitli güç kalitesi parametrelerini ölçebilme yeteneğine sahiptir. Bu parametreler arasında gerilim, akım, frekans, güç faktörü, harmonikler, titreşim (flicker), dalga formu analizi enerji kayıpları, güç, enerji ve daha fazlası bulunur. Cihaz, gerçek zamanlı ölçümler yapabilir ve geniş bir frekans ve gerilim aralığında çalışabilir.

3.1. Enerji ve Güç Analizör Cihazının Ekipman ve Düzenekleri

Fluke 435-II, endüstriyel tesisler, enerji dağıtım şebekeleri, güneş enerjisi sistemleri, rüzgâr enerjisi tesisleri ve diğer elektrik sistemlerinin güç kalitesi analizi için yaygın olarak kullanılan bir cihazdır. Yüksek ölçüm hassasiyeti, geniş ölçüm yetenekleri ve kullanıcı dostu tasarımıyla önemli bir araç olarak kabul edilir. Güç analizör cihazının ekipmanlarına ait görsel ve açıklama Şekil 3.2 de ve Tablo 3.1’de gösterilmiştir.

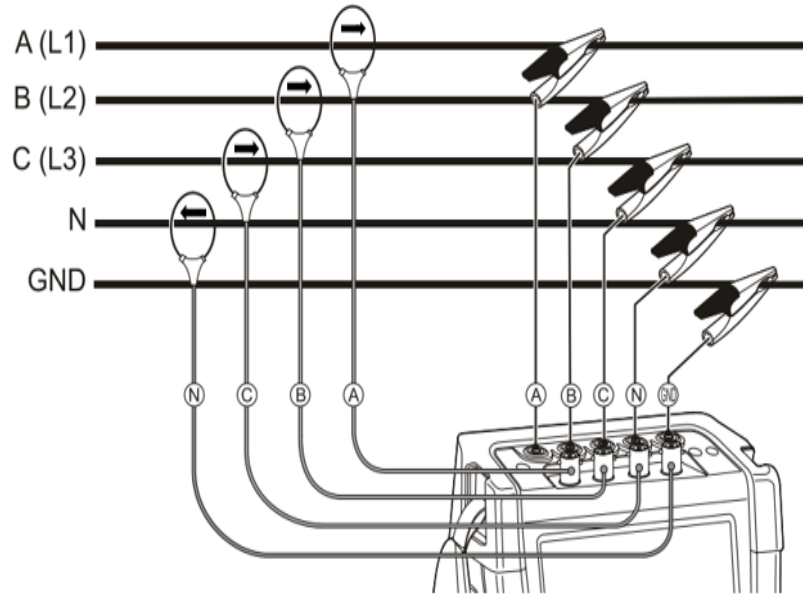


Şekil 3.2. Güç analizör cihaz kiti içeriği

Tablo 3.1. Güç analizör cihaz kiti içerik açıklaması (Fluke, 2012)

#	Açıklama	
1	Güç Kalitesi Analizörü Fluke 43x Series II + Yan Bant, Pili Paketi BP290 (28 Wh) ve 8 GB SD Bellek Kartı Takılı	
2	Giriş Soketleri Etiket Seti (Yeni AB ve İngiltere, AB, Çin, İngiltere, ABD, Kanada)	
3	Asma Bandı	
4	Timsah Tipi Klipsler. 5'li set	
5	Test Uçları 2,5 m + Renk Kodlu Klips. 5'li set	
6	Güç Adaptörü	
7	Elektrik Fişi Adaptörü Seti (AB, ABD, İngiltere, Avustralya/Çin, İsviçre, Brezilya, İtalya) veya Bölgeye Özel Güç Kablosu.	
8	Güvenlik Talimatları Kitapçığı (Çoklu Dil Desteği)	
9	Kılavuzları içeren CD-ROM (Çoklu Dil Desteği), PowerLog Yazılımı ve USB sürücüler	
10	Bilgisayar Bağlantısı için USB Arabirim Kablosu (mini-USB-B için USB-A)	
11	Esnek 6000 A AC Akım Probu (Temel Versiyon değil)	
	Fluke 434-II/435-II:	Fluke 437-II:
12	Yumuşak Taşıma Kutusu C1740	Tekerlekli Muhafaza Kutusu C437-II

Fluke 435-II güç analizör cihazının üç fazlı dağıtım sisteminde ölçüm bağlantı görseli Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Akım probu faz kabloları için enerjinin besleme noktasından tüketim noktasına doğru olacak şekilde, nötr kablosu içinde tüketim noktasından besleme noktasına doğru olacak şekilde bağlantıları yapılmaktadır.



Şekil 3.3. Güç analizör cihazının üç faz-nötr-toprak bağlantı şeması

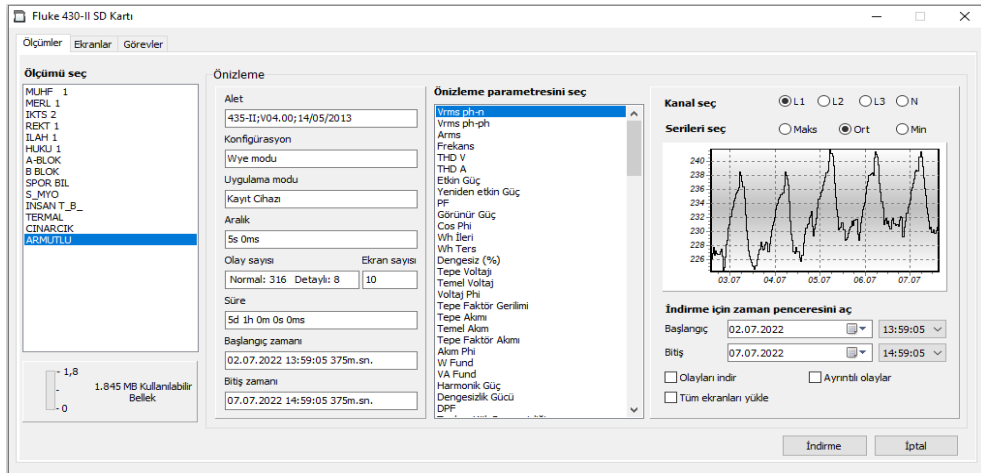
Enerji analizörünün bina ana panosunda bulunan termik manyetik şalter giriş bağlantı kısımlarına akım probu ve gerilim probunun uç bağlantı örneği Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Enerji analizör ölçüm noktası

3.2. Güç Analizörü Pc Arayüzü

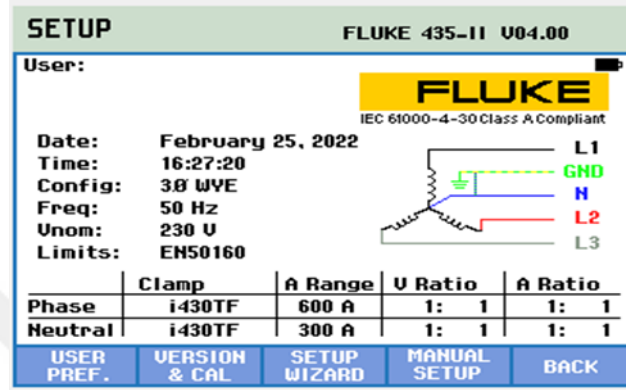
Fluke Power Log (Yazılım), Fluke 345, 435, VR1710 ve 1735 serisi cihazlar için kullanılan bir bilgisayar yazılımıdır. Yazılım, cihazlardan bilgisayara aktarılan verileri işler. Yazılım, Microsoft Windows® XP için tasarlanmış olup, Vista işletim sistemiyle uyumlu olduğu doğrulanmıştır. Kaydedilen veriler, grafik ve tablo formatında bir bilgisayara aktarıldıktan sonra, rapor oluşturmak ve yazdırmak için bir çalışma sayfası olarak dışa aktarılabilir (PowerLog, 2010).



Şekil 3.5. PowerLog kullanım arayüzü

Power Log yazılımı ölçüm yapılan binaların enerji kalite analiz sonuçlarının detaylı bir şekilde incelenmesi için Şekil 3.5'te ölçümler ekranı görünümü sunulmuştur. Tüm

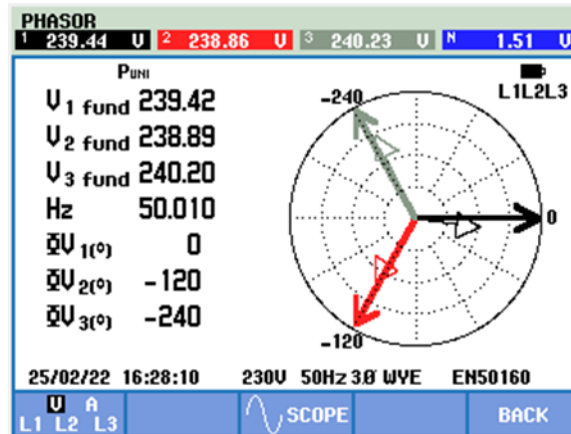
binalara ait ölçüm yer isimleri, ölçüm zamanları, bağlantı ayarı, ölçüm yapılan parametre bilgileri ve ölçümlere ait grafiklerin ön inceleme alanı gösterilmiştir. Bağlantı yapısı olarak binalarda üç faz-nötr-toprak konfigürasyonu uygulanmış limitler EN50160 standartına göre ayarlanmış, faz-nötr gerilimi 230 Volt, frekans 50 Hz, her bir faz için 600 Amper, nötr hattı için 300 Amper sınır değer kabul edilerek ölçüm değerleri ayarlanmıştır.



Şekil 3.6. Analizör ayar giriş ekranı

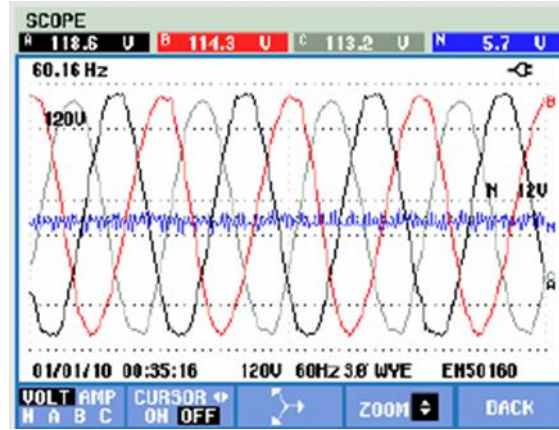
Cihazın kurulum ayarlar ekranı Şekil 3.6’da gösterilmiştir.

Enerji kalitesi güç analizörü cihazının bağlantı problemlerinin montajı yapıldıktan sonra akım ve gerilime ait fazör ekran gösterimi Şekil 3.7’de gösterilmiştir. Fazör ekranında akım ve gerilime ait faz açıları arasında anormal bir durum oluşursa akım problemlerinde bağlantı hatası olduğu ve fazlara ait akım problemlerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Hem faz açılarının hem de fazör diyagramının bağlantı yapıldıktan sonra kontrol edilmesi ölçüm sonucu açısından önem arz etmektedir.



Şekil 3.7. Analizör fazör bilgi ekranı

Analizör cihazının üç faz ve nötr dalga grafikleri de Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Analizör dalga grafik bilgi ekranı

Fluke Power Log yazılım programının menü alanı Şekil 3.9’da gösterilmiştir. Bu tez kapsamında volt/amper/frekans, harmonikler, güç ve enerji, enerji kaybı, dengesizlik fliker bölümleri kullanılarak enerji kalitesi analizi yapılmıştır.



Şekil 3.9. Analizör menü bilgi ekranı

HARMONICS TABLE METER

0:02:42 UP

Volt	A	B	C	N
H4%f	0.6	0.8	0.6	49.1
Volt	A	B	C	N
H5%f	1.2	0.7	1.2	70.3
Volt	A	B	C	N
H6%f	0.5	0.5	0.6	38.2
Volt	A	B	C	N
H7%f	1.4	0.7	1.7	67.3

11/16/11 09:30:56 120V 60Hz 3Ø WYE EH50160

UP DOWN HARMONIC GRAPH TREND EVENTS 0 HOLD RUN

Şekil 3.10. Harmonik tablo ekranı

POWER & ENERGY METER				
	L1	L2	L3	Total
kU	3.742	3.367	3.572	10.68
	L1	L2	L3	Total
kVA	3.801	3.513	3.582	10.90
	L1	L2	L3	Total
kvar	≤ 0.001	≤ 0.002	0.000	≤ 0.002
	L1	L2	L3	Total
PF	0.985	0.958	0.997	0.980
11/23/11 10:04:01 230V 50Hz 3Ø WYE EH50160				
UP DOWN	TREND		EVENTS 0	
			HOLD RUN	

Şekil 3.11. Güç ve enerji ölçüm ekranı

Harmonikler, güç ve enerji ölçümlerinin ekran arayüzleri Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Harmonikler fazlara göre gerilim ve akım harmoniği olarak 1-49. mertebe harmonik seviyeleri hesap edilerek ölçülmüştür. Güç ölçümlerinde aktif, reaktif güçler ve güç faktörü analizi, enerji ölçümünde aktif ve reaktif enerji tüketimlerinin analizleri yapılmıştır.

ENERGY LOSS METER				
	L1	L2	L3	N
Arms	9.86	9.49	9.72	0.19
	L1	L2	L3	Total
kU fund	0.003	0.003	0.002	0.008
	L1	L2	L3	Total
kVA fund	0.003	0.003	0.002	0.008
	L1	L2	L3	Total
kvar	≤ 0.000	≤ 0.001	± 0.000	≤ 0.001
11/23/11 10:14:07 230V 50Hz 3Ø WYE EH50160				
UP DOWN	ENERGY LOSS		TREND	
			EVENTS 1793	
			HOLD RUN	

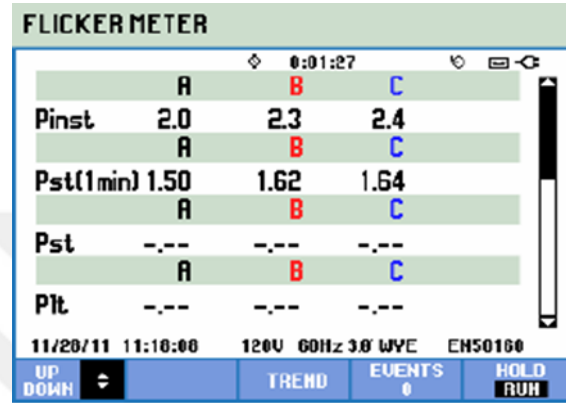
Şekil 3.12. Enerji kaybı ölçüm ekranı

UNBALANCE METER				
	Uneg.	Uzero	Aneg.	Rzero
unbal(%)	9.3	2.8	7.0	3.6
	L1	L2	L3	N
V fund	7.9	8.1	7.2	0.5
	L1	L2	L3	N
∠ V(°)	0.0	-130.2	110.0	-19.1
	L1	L2	L3	N
A fund	0.35	0.34	0.32	0.02
11/23/11 10:17:41 230V 50Hz 3Ø WYE EH50160				
UP DOWN	BACK		TREND	
			EVENTS 2079	
			HOLD RUN	

Şekil 3.13. Dengesizlik ölçüm ekranı

Enerji kayıpları ve dengesizlik ölçümlerinin ekran arayüzleri Şekil 3.12 ve Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Enerji kayıplarında fazlara ait akım ve güç kayıpları referans alınmış, dengesizlik ölçümünde gerilim ve akım dengesizliklerinin V_z ve A_n bileşenlerinin analizi yapılmıştır.

Fliker ölçümlerinde her bir faza ait Pst ve Plt değerlerinin analizi yapılmış ve enerji kalitesi yönünden etkilerinden bahsedilmiştir.



Şekil 3.14. Fliker ölçüm ekranı

Fluke PowerLog yazılım programının fliker ölçüm ekran görüntüsü Şekil 3.14'te gösterilmiştir.

3.3. Ölçüm Yapılan Binalar Hakkında Bilgiler

Yalova Üniversitesi bünyesinde faaliyet gösteren 13 eğitim binası ve bir idari binaya ait enerji kalite analizleri Fluke 435-II enerji kalitesi ve güç analizi cihazı yardımıyla binaların elektrik ana pano merkezlerinden yapılmıştır. Ölçümler, binaya bağlı tüm yüklerin beslendiği giriş termik manyetik şalter bağlantı noktalarından referans alınarak yapılmıştır. Bundan dolayı da enerji kesintilerinde ikincil enerji kaynağı olan jeneratörlerin sağlamış olduğu elektrik enerjisinin ölçüm sonuçlarına etkisi olmamıştır.

Binaları besleyen trafo merkezlerinden ölçüm yapılmamasının sebebi olarak her bir binayı besleyen trafo merkezi olmaması ve bir trafo merkezinden birden fazla binanın enerji sağlamasından ötürü enerji kalite analizinin bina bazında değerlendirilmesinin enerji kalitesi analizi sonucuna daha çok tesir edeceği düşünülmüştür.

Üniversitenin merkez yerleşkesinde; Mühendislik, İktisadi ve İdari Bilimler, Hukuk, İslami İlimler, Spor Bilimleri Fakülteleri, Rektörlük, Merkezi Araştırma Laboratuvarı,

Yabancı Diller Yüksek Okulu, Kütüphane-Mühendislik Fakültesi Ek Binaları yer almaktadır. Üniversite merkez yerleşke dışında ise Yalova Meslek Yüksek Okulu, İnsan Toplum Bilimleri Fakültesi, Çınarcık Meslek Yüksek Okulu, Termal Sağlık Bilimleri Fakültesi, Armutlu Meslek Yüksek Okulu binaları yer almaktadır. Toplamda 13 eğitim binası ve bir idari binanın enerji kalitesi analizi yapılmıştır. Ölçüm yapılan tüm binalara ait enerji kalite analiz verileri bu tez kapsamında kayıt altına alınmış ve enerji kalitesi yönünden analizleri yapılmıştır. Fakat ölçümlerin değerlendirilmesi kapsamında enerji kalitesi açısından en sorunlu olduğu tespit edilen beş eğitim binası verileri ile enerji kalitesi açısından en sorunsuz bir eğitim binasının ölçüm verileri paylaşılarak şekiller üzerinden detaylı incelemesi yapılmıştır.

Yalova Üniversitesinin merkez yerleşkesi, ileri ki zamanlarda bina sayısında artış olacak ve gelişimine devam edecektir. Bu büyüme ve gelişmenin sonucunda merkez yerleşke içerisinde yeni eğitim ve sosyal binalar ortaya çıkacaktır. Bu gelişmeler sonucunda elektrik enerji tüketiminde de artış yaşanacaktır. Enerjide yaşanacak bu artış şebekenin değişken yüklere daha fazla maruz kalacağı sonucunu çıkarmaktadır. Şebeke enerjisinde yaşanacak artışın elektrik enerji kalitesi yönünden daha verimli olması için, bu tez kapsamında mevcut binalarda yapılan enerji kalite analizlerinin dikkate alınarak yeni yapılacak olan binalarda da yapılması önem arz edecektir.

Yalova Üniversitesi merkez yerleşkesinin elektrik enerjisi aboneliğine ait toplam sözleşme gücü 7,9 MVA' dır. Merkez yerleşke elektrik enerjisi bir abonelik üzerinden beton köşk giriş hücresinden iki kol ayrımıyla 8 noktada bulunan trafo merkezlerine dağıtılmıştır. Trafo güçleri; 2 adet 1600 kVA, 2 adet 1250 kVA, 1 adet 1000 kVA ve 3 adet 400 kVA beton köşk tipi trafolar binalara enerji beslemesi sağlamaktadır. Orta gerilim enerji nakil hattı olarak yeraltı güç kablolama her bir faz için 1*150/25 YAXC7V-R alüminyum çapraz bağlı polietilen kablo (XLPE) besleme hattı kullanılmıştır. Yer altı kablo besleme hattı kapasitif/reaktif enerji tüketimini kondansatör yapısına benzer etkiye maruz kaldığından artırmaktadır. Enerji kalitesi ve verimliliği açısından bu durumun düzeltilmesi için trafo köşklerine belirli güçlerde şönt reaktörler yerleştirilmiş ve EPDK'nın belirlemiş olduğu reaktif enerji tüketiminin sınırlandırılması sağlanmıştır. Üniversitemiz orta gerilim enerji tedariki, dağıtım seviyesi trafo ihtiyaçları için gerilim seviyesi TEİAŞ'ın belirlediği limit olan 34,5 kV 'dır. Şebeke sistemine bağlı trafo orta gerilim hücreleri birbirine ring (halka) sistemi

şeklinde bağlantılıdır. Üniversiteye bağlı diğer binalara bakıldığına Yalova MYO ve İnsan Toplum Bilimleri Fakültesi AG aboneliği üzerinden enerji tedariği sağlanmakta, Çınarcık Myo binası 250 kVA trafo merkezinden, Armutlu MYO binası 400 kVA trafo merkezinden, Termal Sağlık Bilimleri Fakültesi 630 kVA trafo merkezinden beslenmektedir.



4. ENERJİ KALİTESİNİ ETKİLEYEN FAKTÖRLER VE GÜÇ ÖLÇÜM YÖNTEMLERİ

Enerji kalitesini etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler, elektrik sistemlerindeki istenmeyen durumlar ve dalgalanmalar nedeniyle enerji kalitesinin düşmesine yol açabilir. Bu tez kapsamında bazı önemli faktörlerden bahsedilmiştir.

Gerilim dalgalanmaları, elektrik sistemlerinde ortaya çıkan anormal gerilim değerleri veya ani gerilim değişimleri olarak tanımlanır. Bu dalgalanmalar, gerilim seviyelerinin normal aralık dışına çıkması durumunda elektrik ekipmanlarında arıza ve performans düşüklüğüne neden olabilir (Sarı, 2017).

Harmonikler, elektrik sistemlerinde oluşan düzensiz dalgalanmalardır. Doğrusal olmayan yüklerin (elektronik cihazlar, aydınlatma sistemleri, motorlar vb.) kullanımıyla ilişkilidir. Yüksek harmonik seviyeleri, enerji verimliliğini azaltabilir, elektrikli cihazların çalışmasını bozabilir ve ekipmanlara zarar verebilir (Kocatepe ve diğ., 2003).

Güç faktörü, aktif gücün görünür güce oranını ifade eder. Düşük güç faktörü, enerji verimliliğini düşürür, güç kayıplarını artırır ve elektrik sistemlerinde gerilim dalgalanmalarına sebep olabilir (Solar ve diğ., 2009).

Gerilim ve akım dengesizliği, üç fazlı sistemlerde önemlidir. Dengesizlik durumunda, fazlar arasındaki gerilim farkları ortaya çıkabilir ve bu da ekipmanların doğru çalışmasını etkileyebilir (Uçar ve Özdemir, 2013).

Fliker'in aydınlatma armatürleri aracılığıyla insan sağlığına doğrudan etkisi nispeten düşük gibi görünse de uzun süreli ve sık tekrarlanan durumlarda baş dönmesi, göz rahatsızlıkları ve epilepsi gibi rahatsızlıklara sebep olabilir. Bu nedenle, fliker etkisinin, diğer enerji kalite parametrelerinden daha fazla öneme sahip olabileceği düşünülmektedir. Bu etki, sadece sistemlere, işletmelere veya cihazlara olumsuz etkileri olan diğer enerji kalitesi faktörleriyle karşılaştırıldığında insan fizyolojisi üzerinde doğrudan ve olumsuz bir etkiye sahip olabilir (İşcan, 2015).

Bu faktörler, enerji kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir ve elektrik sistemlerinde istenmeyen sonuçlara yol açabilir. Enerji kalitesini korumak için, bu faktörlerin izlenmesi, ölçülmesi ve kabul görülen standartlara uyulması önemlidir. Bu şekilde,

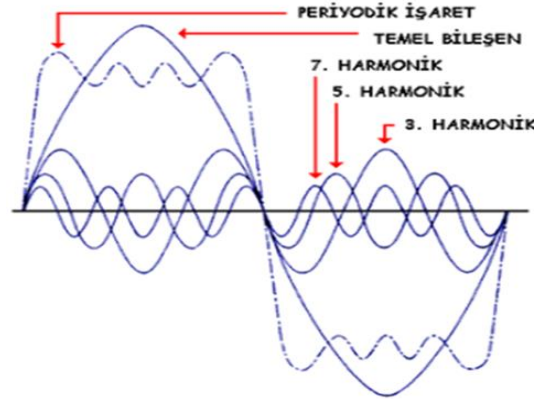
enerji kalitesi düşmeleri ve zararlı etkileri minimize edilebilir, güvenilirlik sağlanabilir ve ekipmanların ömrü uzatılabilir.

4.1. Harmonikler

Elektrik enerjisinin üretimi, dağıtımı ve iletimi süreçlerinde, ideal olarak elde edilen akım ve gerilim dalgalanmalarının tam bir sinüs şeklinde olması önemlidir. Bu durum, enerji kalitesinin yüksek olmasını sağlayan en önemli kriterdir. Ancak, işletme şebekesine bağlanan yükler veya devre elemanları içerisinde bulunan lineer olmayan bileşenler, enerji kalitesini belirleyen düzgün sinüs formunu olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu sebeple, harmonikler şöyle ifade edilebilir: Bir şebeke veya sistemde akım veya gerilim dalga formunda meydana gelen düzensiz dalgalanma veya bozulmalardır. Bu tanıma dayanarak, harmonikler kısaca "bozuk dalga" veya "lineer olmayan dalga" olarak adlandırılabilir (Filiz, 2006).

4.1.1. Harmonik formüller

Sinüzoidal akım ve gerilim formları, temel dalga üzerine eklenen bozuk dalgaların bir kombinasyonudur. Bu bozuk bileşenler, "harmonik bileşenler" olarak adlandırılır (Tekin, 2016).



Şekil 4.1. Harmonik bileşenlere ait dalga formu

Şekil 4.1’de temel bileşen, 3., 5., 7. harmonik ve oluşan periyodik dalga şekli gösterilmiştir. Sinüs formunda olan zamana bağlı periyodik gerilim ile akım fonksiyonları sırasıyla aşağıdaki formüller ile ifade edilebilir:

$$v(t) = V \sin(\omega t) \quad (4.1)$$

$$i(t) = I \sin(\omega t \pm \varphi) \quad (4.2)$$

Harmonik büyüklüğünün sınırlanması amacıyla yaygın olarak kullanılan standartlarda, gerilim ve akım için toplam harmonik distorsiyonu (THD) terimi sıkça kullanılmaktadır. Bu terim, bir elektrik sistemindeki harmonik bileşenlerin toplamını ve bunların temel bileşene oranını ifade eder. THD, belirli bir yüzde değeriyle ifade edilir ve harmonik bozulmanın kabul edilebilir düzeyde olmasını sağlamak için belirlenen limitlere göre değerlendirilir (Yılmaz, 2006).

Bu standartlarda, gerilim için toplam harmonik distorsiyonu şu şekilde ifade edilebilir: "Gerilimdeki toplam harmonik distorsiyonu (THD_v), harmonik bileşenlerin genliklerinin karesinin toplamının temel frekanstaki bileşenin genliğine oranıdır ve belirli bir yüzde cinsinden ifade edilir." Benzer şekilde, akım için toplam harmonik distorsiyonu şu şekilde ifade edilebilir: "Akımdaki toplam harmonik distorsiyonu (THD_a), harmonik bileşenlerin genliklerinin karesinin toplamının temel frekanstaki bileşenin genliğine oranıdır ve belirli bir yüzde cinsinden ifade edilir (Cengiz ve Rüstemli, 2016).

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} \quad (4.3)$$

şeklindedir. Akım için ise,

$$THD_a = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_1} \quad (4.4)$$

şeklinde tanımlanabilir. Burada,

THD_v: Gerilimin toplam harmonik distorsiyonu,

THD_a: Akımın toplam harmonik distorsiyonu,

V_n: Uygulanan gerilimin n' inci mertebedeki harmoniğinin etkin değeri,

I_n: Devreden geçen akımın n' inci mertebedeki harmoniğinin etkin değeri,

V₁: Devreye uygulanan gerilimin temel frekanstaki etkin değeri,

I₁: Devreden geçen akımın temel frekanstaki etkin değeridir

Bu ifadeler, harmonik bozulmanın sınırlanması amacıyla belirlenen standartlarda gerilim ve akım için THD'nin nasıl hesaplandığını ve değerlendirildiğini açıklar. THD, bir elektrik sisteminin kalitesini değerlendirmek, uyumluluk sağlamak ve istenmeyen harmonik etkileri kontrol etmek için önemli bir parametredir.

4.1.2. Harmoniklerin sönümlenmesi

Harmoniklerin güç sistemleri üzerindeki olumsuz etkilerini tamamen ortadan kaldırmak mümkün olmasa da bu etkileri en aza indirmek için çeşitli önlemler alınabilir. Harmoniklerin güç sistemi üzerindeki zararlarını minimize etmek amacıyla çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu önlemler, harmoniklerin neden olduğu sorunları azaltmak ve sistemin istikrarını ve verimliliğini artırmak için tasarlanmıştır. Bu yöntemlerin uygulanmasıyla harmonik etkiler kontrol altına alınabilir ve güç sistemi üzerindeki olumsuz etkiler en alt düzeye indirilebilir.

Harmoniklerin güç sistemlerindeki zararlarını azaltmak için çeşitli önlemler alınabilir. Bunlardan birincisi, harmonik üreten elemanların imalat aşamasında yapısının harmonik üretmeyecek veya çok az üretecek şekilde tasarlanmasıdır. Ayrıca, bu elemanların şebekeye bağlantıları uygun şekilde tasarlanmalı veya yapılmış olmalıdır. Bu yöntem, tasarım aşamasında alınabilecek önlemler olarak adlandırılır. İkinci yöntem ise harmoniklerin üretildikten sonra yok edilmesidir. Bu yöntemde harmoniklerin filtrelenmesi kullanılır. Filtreleme işlemi, harmonik bileşenlerin istenmeyen frekanslarının sistemden uzaklaştırılmasını sağlar. Bu sayede harmonik etkiler minimize edilir ve güç sistemi üzerindeki zararlar en aza indirgenir (Yılmaz, 2006).

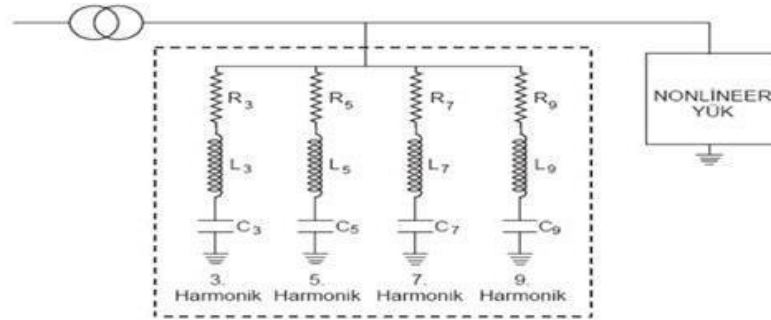
Harmoniklerin olumsuz etkilerini önlemek için yalnızca tasarıma yönelik alınan önlemler yeterli değildir. Tasarım tedbirlerine ek olarak, harmoniklerin şebekeye ve cihazlara olan etkisini engellemek önemlidir ve bunun için sistemde ek olarak filtre devrelerine ihtiyaç duyulur. Harmonik filtrelerin amacı, belirli bir veya daha fazla frekanstaki akım veya gerilimlerin harmonik içeriğini azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmaktır. Harmonik filtre sistemleri, pasif elemanlar aracılığıyla direnç, endüktans ve kondansatör gibi bileşenlerden oluşan "pasif filtreler" ile kontrollü akım veya gerilim kaynağına sahip olan "aktif filtreler" olarak iki ana gruba ayrılır (Brantsæter ve diğ., 2015).

Pasif filtrede amaç harmonik bileşenin yok edilmesi istenen frekansta rezonansa gelen L (endüktans) ve C (kapasitans) değerlerini belirlemektir. Her bir harmonik bileşen için, onu rezonansa getirecek ayrı bir filtre devresi kullanılmalıdır. Genellikle en etkili harmonik bileşenler için tasarım yapılırken, etkisi daha az olan harmonik bileşenler için ise zayıflatılan bir filtre devresi düşünülebilir. Bu çalışma kapsamında en etkili

harmonik bileşenler; 3.,5. ve 7. mertebelerdir. Bu noktada dikkat edilmesi gereken başka bir hususta, filtre devrelerinde kullanılan kondansatörlerin normal güç kondansatörlerine göre daha yüksek gerilimde çalışabilmeleri gerekliliği olarak açıklanabilir. Aksi halde kondansatörlerde arıza, delinme ve patlama vakaları yaşanacaktır (Bilge, 2008).

Pasif filtreler, kaynak veya şebeke ile yük arasına yerleştirilir ve temel frekans dışındaki diğer harmonik bantlarını ortadan kaldırır. Bunlar, seri bağlı kondansatörler ve bobinlerden oluşur. Her harmonik için uygun bir bobin ve kondansatör elemanı kullanılarak harmoniği rezonansa getirir ve ortadan kaldırır. Pasif filtreler, sistemdeki harmoniklerin istenmeyen etkilerini gidermek için tasarım, maliyet ve bağlantı kolaylığı açısından oldukça faydalıdır. Sonuç olarak, tesisteki harmonik akımlar cihazlardan serbestçe geçmek yerine, kendilerine düşük direnç gösteren filtrelerin yolunu tercih ederler (Abdel Aleem ve diğ., 2015).

Yalova Üniversite binalarında elektrik enerji sistemlerinde bazı binalarda pasif filtreleme yöntemi tercih edilirken, düşük maliyetle maksimum fayda sağlama amacı gözetilmiştir. Özellikle günümüz koşullarında tasarımlarının basit olması, pasif filtrelerin tercih edilme sebeplerinden biridir. Bu filtrelerin sistemle entegrasyonu kolaydır, bu da kullanım kolaylığı sağlamaktadır.



Şekil 4.2. Pasif filtre

Şekil 4.2 de pasif filtrenin devre bağlantısı gösterilmiştir. Sisteme bağlantı şekillerine göre seri ve şönt pasif filtreler olarak ikiye ayrılır. Bunun sebebi bağlantı yapısına göre düşük veya yüksek empedans göstererek harmoniklerin sönümlenmesidir (Efe, 2015).

Aktif harmonik filtreler, elektronik bir filtre sistemi olarak kullanılan ve harmonik bileşenlerin etkin bir şekilde azaltılmasını veya giderilmesini sağlayan bir yöntemdir. Pasif filtrelerden farklı olarak, aktif filtrelerde kontrol edilebilir bir kaynak kullanılır. Aktif harmonik filtreler, karmaşık kontrol algoritmaları ve elektronik devreler kullanarak harmonik bileşenleri tespit eder ve bunları karşılar. İlk olarak harmonik akımları algılar ve ardından bu akımları ters fazda ve eşit büyüklükte üretir. Bu ters fazlı harmonik akımlar, orijinal harmonik akımları dengeleyerek sistemdeki harmonikleri nötralize eder (Efe, 2016).

Aktif filtreler, yüksek tepki hızına sahip oldukları için gerçek zamanlı olarak gerilim ve akım harmoniklerini kontrol edebilme yeteneğine sahiptirler. Bu sayede harmonik etkileri hızlı ve etkili bir şekilde azaltabilirler. Bu filtreler, harmoniklerin neden olduğu güç kalitesi sorunlarını azaltarak sistem performansını artırır ve cihazların daha verimli bir şekilde çalışmasını sağlar. İlk yatırım maliyetleri çok yüksek olduğu için fazla tercih edilmemektedir (Aleem ve diğ., 2015).

4.1.3. Harmoniklerin ölçüm yöntemi

Fluke 435-II enerji analizör cihazı, akım ve gerilim harmoniklerini, 49. mertebeye kadar olan tüm harmonik ve interharmonik frekans bileşenlerini ölçer ve kaydeder. Bu ölçümler, DC bileşenleri, THD ve K faktörü gibi ilgili verileri içerir. Bu harmonik bileşenler, farklı frekans ve büyüklüklerdeki çeşitli sinüs dalgalarının kombinasyonu olarak düşünülebilir. Her bir bileşenin temel sinyale olan katkısı ölçülür. Bu değerler genellikle asıl sinyalin yüzdesi, tüm harmonik bileşenlerin toplamının yüzdesi veya rms değeri olarak ifade edilebilir. Elde edilen sonuçlar, zaman çizelgesi, histogram grafiği ve istatistiksel olarak görüntülenebilir (Alkan, 2017).

4.1.4. Harmonik kaynaklar ve zararları

Harmonikler genellikle anahtarlamalı güç kaynakları, bilgisayarlar, televizyonlar, değişken hızlı motor sürücüler, kesintisiz güç kaynakları, elektronik balastlı armatürler, gibi doğrusal olmayan yüklerden kaynaklanır. Bu harmonik bileşenler, transformatörlerin, iletkenlerin ve motorların aşırı ısınmasına, elektronik kartların arızalanmasına, devre kesicilerde (kaçak akım koruma röleleri ve sigortaların) diğer kontrol sistemlerinde beklenmedik zamanlarda açma, kondansatörlerin aşırı gerilime maruz kalarak arızalanması gibi zararlara sebebiyet vermektedir (Demirkol, 2006).

Tablo 4.1. Harmoniklere ait mertebelerin sekans ve frekans bilgisi (Alkan, 2017).

Sıra	1inci	2nci	3üncü	4üncü	5inci	6ncı
Frekans	60 Hz 50 Hz	120 Hz 100 Hz	180 Hz 150 Hz	240 Hz 200 Hz	300 Hz 250 Hz	360 Hz 300 Hz
Sekans	+	-	0	+	-	0

Sıra	7nci	8inci	9uncu	10uncu	11inci	...
Frekans	420 Hz 350 Hz	480 Hz 400 Hz	540 Hz 450 Hz	600 Hz 500 Hz	660 Hz 550 Hz	...
Sekans	+	-	0	+	-	...

Harmoniklerin sayısı, harmonik frekansını temsil eder. İlk harmonik, temel frekansa (50 Hz) karşılık gelir, ikinci harmonik ise temel frekansın iki katı frekansa (100 Hz) sahip olan bir bileşendir. Bu şekilde harmonikler devam eder. Harmonik sırası, pozitif (+), sıfır (0) veya negatif (-) olabilir. Pozitif sekans harmonikleri, motorun esas değerinden daha hızlı çalışmasını amaçlarken, negatif sekans harmonikleri motorun esas değerinden daha yavaş çalışmasını hedefler. Her iki durumda da motorun torku azalır ve aşırı ısınma meydana gelebilir. Harmonikler ayrıca transformatörlerin aşırı ısınmasına da yol açabilir. Sıfır sekans akım harmonikleri ise nötr iletkenine eklenir ve iletkenin aşırı ısınmasına neden olabilir (Fluke, 2012).

4.2. Aktif, Reaktif Güç, Güç Faktörü ve Kompanzasyon

Aktif, reaktif ve görünür güç, enerji kalitesi açısından ele alındığında güç bileşenleri olarak güç üçgenini oluşturur. Aktif güç, üçgeninin temel bileşenidir ve gerçek enerji dönüşümünü temsil ederken, reaktif güç ve görünür güç, enerji kayıpları ve güç faktörü gibi diğer parametreleri gösterir. Bu bölümde aktif güç, reaktif güç ve güç faktörü hakkında bilgiler verilmiştir.

4.2.1. Aktif güç

Aktif güç, gerçek güç olarak da adlandırılır ve watt (W) birimiyle ölçülür. Bu, enerjinin gerçek dönüşümünü temsil eder ve elektrik enerjisinin çalıştırdığı cihazlara verilen gücü gösterir. Aktif güç, elektrik hesaplamalarında, dağıtım sistemlerinde ve enerji verimliliğinin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynar.

Aktif akım ve güce ait formüller;

$$I_p = I \times \cos \phi \quad (4.5)$$

$$P = S \times \cos \phi \quad (4.6)$$

olarak ifade edilir.

4.2.2. Reaktif güç

Reaktif güç, bir elektrik devresinde gerilim ve akım arasındaki faz farkından kaynaklanan gücü ifade eder. Reaktif güç, enerjinin gerçek kullanılabilir formda dönüşmediği, ancak devredeki endüktif veya kapasitif yüklerin neden olduğu bir tür "boşa harcanan" güçtür. Reaktif gücün birimi varsayımsal birim olan volt-amper reaktif (VAR) veya kilovolt-amper reaktif (kVAR) olarak ifade edilir. Reaktif güç genellikle motor, indüktör ve transformatör gibi endüktif yükler ve kondansatör gibi kapasitif yüklerden oluşmaktadır.

Reaktif akım ve güce ait formüller;

$$I_q = I \times \sin \phi \quad (4.7)$$

$$Q = S \times \sin \phi \quad (4.8)$$

olarak ifade edilir.

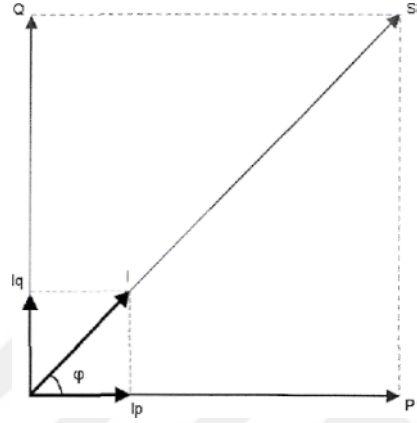
4.2.3. Güç faktörü

Güç faktörü, aktif gücün görünür güce oranı olarak ifade edilir fakat görünür güç ifadesinde akım harmoniklerin etkisiyle aktif güç görünür güce eşit olması mümkün değildir. Güç faktörü, bir devrenin verimliliğini belirlemek için kullanılır. Bir güç faktörü, 0 ile 1 arasında değer alabilir. 1'e ne kadar yakınsa, o kadar iyi bir güç faktörüne sahip demektir ve enerjinin daha verimli bir şekilde kullanıldığını gösterir. Güç faktörü 1 olduğunda, aktif güç görünür güce eşittir ve sistemde harmonik bozunum olmadığı sonucu ortaya çıkar.

Güç faktörü, bir cihazın ölçüldüğünde sağlanan gücün nasıl kullanıldığını belirleyen bir ölçüdür. Aşağıda, farklı güç faktörü değerlerinin yorumlanması verilmiştir:

- PF = 0- 1: Bu durumda, sağlanan gücün tamamı tüketilmemekte ve bir miktar reaktif güç bulunmaktadır. Bu, kapasitif yüklerde akım uçlarında veya endüktif yüklerde duraklamalar şeklinde olabilir.

- $PF = 1$: Bu durumda, sağlanan gücün tamamı cihaz tarafından tüketilmektedir. Gerilim ve akım aynı fazdadır.
- $PF = -1$: Bu durumda, cihaz güç üretmektedir. Akım ve gerilim aynı fazdadır.
- $PF = -1-0$: Bu durumda da cihaz güç üretmektedir. Akım uçlarında veya duraklamalarda görülebilir (Fluke, 2012).



Şekil 4.3. Aktif, reaktif, görünür güç fazör diyagramı

Güç faktörü, basitçe, görünür gücün (S) ve aktif gücün (P) oluşturduğu ϕ açısının kosinüsünün alınmasıyla hesaplanabilir. Güç faktörü, 0 ile 1 arasında değişen bir değere sahip olabilir. Bu oran, sistemdeki reaktif enerji tüketimini anlamak için kullanılabilir. Güç faktörü 1'e eşit olduğunda, ϕ açısı sıfır olacak ve tüketilen enerjinin tamamı aktif bileşenli olacaktır. Reaktif gücün kompanzasyon sistemi aracılığıyla sağlanması, şebekeden değil, kurulan kompanzasyon sisteminden tüketilmesini sağlar. Bu şekilde, şebekeden çekilen görünür güç (S) azalır ve böylece görünür (S) ve aktif güç (P) arasındaki ϕ açısı daralır. ϕ açısının daralarak sıfıra yaklaşması, güç faktörünün ($\cos\phi$) 1'e yaklaştığı anlamına gelir.

Güç faktörü, bir sistemin tam bant genişliğindeki verimliliğini gösteren bir ölçüttür ve hesaplanırken tam spektrumlu güç (49. harmoniğe kadar) ve görünür güç kullanılır. Akım ve gerilim arası faz farkının olmaması aktif güce ait olan $\cos\phi$ değerinin 1'e eşit olmasını sağlasa da güç faktörü değerinin 1'e eşit olduğu anlamı taşımaz. Bunun sebebi görünür gücü oluşturan kaynak akımının harmonik kaynaklardan dolayı akım harmoniğini etkilemesi olarak açıklanabilir. Bu değerlerin birleşimiyle güç faktörü hesaplanır (Fluke, 2012).

Genel olarak güç faktörü ifadesi;

$$GK = \frac{Pk}{Sk}. \quad (4.9)$$

formülü ile ifade edilebilir.

Pk: Aktif kaynak gücünü,

Sk: Görünür kaynak gücünü ifade eder.

Görünür güç;

$$VxIk \quad (4.10)$$

formülü ile ifade edilebilir.

Kaynak akımı;

$$Ik = \sqrt{\sum_1^n In^2} \quad (4.11)$$

formülü ile ifade edilebilir.

Toplam akım harmonik distorsiyon denklemi (4.4)'de belirtildiği üzere In akımına bağlı olarak harmonik bileşenlerde bozulmalar güç faktörüne de etki ettiği anlaşılmaktadır (Abb, 2019).

4.2.4. Reaktif güç kompanzasyonu ve çeşitleri

Elektrik dağıtım sistemlerinde, maksimum düzeyde aktif gücün iletilmesi önemlidir, çünkü bu güç tüketicilerin ihtiyaçlarını karşılamak için gereklidir. Ancak, reaktif güç için aynı zorunluluklar geçerli değildir. Reaktif güç, çeşitli yardımcı sistemler kullanılarak ihtiyaç duyulan noktalarda üretilebilir. Bu şekilde, elektrik dağıtım sistemi ideal koşulları sağlayarak verimli bir şekilde çalışabilir. Şekil 4.5'teki ideal koşullar bu amaçla oluşturulmuştur. Reaktif güç kompanzasyonu, kullanıcıların normalde şebekeden çektikleri endüktif-reaktif gücün, özel bir reaktif güç üretici aracılığıyla kapasitif güç sağlayarak dengelemesidir. Kompanze edilmemiş bir yükün dağıtım şebekesine bağlanması durumunda, ani reaktif güç değişimleri gerilim dalgalanmalarına neden olabilir. Bu ani gerilim değişimleri, bağlı olduğu hat üzerinde arızalara ve diğer kullanıcıların şebekelerinde sorunlara yol açabilir. Reaktif güç kompanzasyonunun bir amacı, bu gerilim değişimlerini minimize etmektir. Reaktif

güç kompanzasyonu, güç faktörünü düzeltir ve aynı zamanda tüketicilerin reaktif güç için faturalarda ceza ödemelerinin önüne geçer (Sarı, 2017).

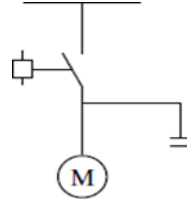
Reaktif güç kompanzasyonu için dört farklı yöntem bulunmaktadır.

1. **Kapasitif Reaktif Güç Kompanzasyonu:** Bu yöntemde, kapasitif (C) reaktif güç elemanları kullanılarak endüktif (L) reaktif gücün dengelenmesi sağlanır. Kompanzasyon miktarı, endüktif reaktif gücün negatif değeri kadar kapasitif reaktif güç üretilerek gerçekleştirilir. Formül olarak $Q_C = -Q_L$ şeklinde ifade edilebilir, burada Q_C kapasitif reaktif gücü, Q_L ise endüktif reaktif gücü temsil etmektedir.
2. **Kombine Reaktif Güç Kompanzasyonu:** Bu yöntemde, hem kapasitif (C) hem de endüktif (L) reaktif güç elemanları kullanılarak kompanzasyon gerçekleştirilir. Kompanzasyon miktarı, sistemdeki toplam reaktif gücün dengelenmesi ve güç faktörünün iyileştirilmesi hedeflenir.
3. **Statik Reaktif Güç Kompanzasyonu:** Bu yöntemde, statik kondansatörler kullanılarak kompanzasyon gerçekleştirilir. Statik kondansatörler, kapasitif reaktif güç üretir ve sistemdeki endüktif reaktif gücün dengelemesini sağlar. Bu yöntem hızlı tepki süresine sahiptir ve güç faktörünün iyileştirilmesi için etkilidir.
4. **Dinamik Reaktif Güç Kompanzasyonu:** Bu yöntemde, statik kondansatörler yerine dinamik reaktif güç kompanzasyon sistemleri kullanılır. Bu sistemler, kontrol edilebilir reaktif güç üretebilen aygıtlardan oluşur ve sistemdeki reaktif güç dalgalanmalarını daha hassas bir şekilde dengeleyebilir.

Bu yöntemler, reaktif güç kompanzasyonunda yaygın olarak kullanılan temel yaklaşımlardır (Alkan, 2017).

Bu tez kapsamında ölçüm yapılan binaların tamamı Kapasitif Reaktif Güç Kompanzasyonu yöntemine göre tasarlanmış olduğu görülmüştür. Reaktif kompanzasyon tesisleri, ihtiyaca ve yüklerin durumuna göre üç farklı şekilde oluşturulur. Bireysel kompanzasyon, şebekede sürekli olarak bulunan sabit yüklerin reaktif güç ihtiyacını karşılamak için alıcılara paralel olarak kondansatörlerin

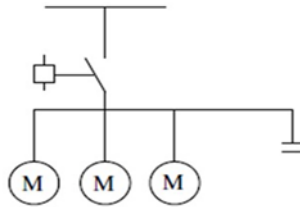
bağlandığı bir kompanzasyon şeklidir. Bireysel kompanzasyonun sembolik gösterimi Şekil 4.4'te görülmektedir.



Şekil 4.4. Bireysel kompanzasyon

Bireysel kompanzasyon, belirli bir alıcının ihtiyaç duyduğu reaktif gücü karşılamak için kullanılır. Bu şekilde, yalnızca o alıcının güç faktörü iyileştirilir ve reaktif güç kompanzasyonu sağlanır.

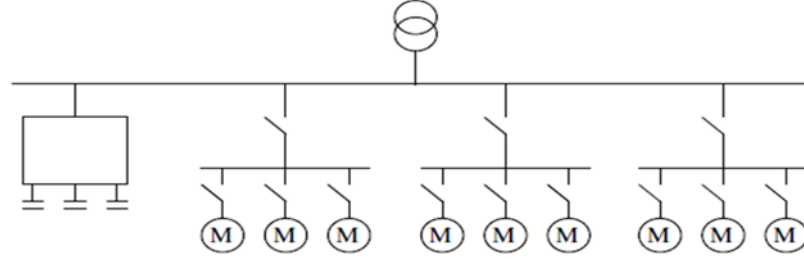
Grup Kompanzasyonu, birden fazla benzer türde çalışan alıcının bulunduğu bir tesiste, kondansatörlerin tek tek bağlanması yerine tüm tesis için ortak bir kompanzasyon tesisi kurulması işlemidir. Grup kompanzasyonu hem kolay hem de ekonomiktir. Şekil 4.5'te grup kompanzasyonun bağlantı şekli görülmektedir. Bu yöntem, benzer yüklerin toplu olarak reaktif güç ihtiyacını karşılamak için kullanılır ve tüm alıcılar için ortak bir kompanzasyon sistemi sağlar.



Şekil 4.5. Grup kompanzasyon

Merkezi Kompanzasyon, büyük tesislerde yaygın olarak kullanılır, çünkü bu tesislerde birçok alıcı bulunur ve tüm alıcılar aynı anda devrede olmayabilir. Farklı zamanlarda çalıştırılmaları gerekebilir. Bu nedenle, tek tek veya grup kompanzasyonu bu durumda verimli veya ekonomik olmayabilir. Bu sistemde, kompanzasyon gücü sürekli olarak değişir. Reaktif güç kontrol röleleri kullanılarak otomatik veya manuel olarak ayarlanan devreler ve elemanlar kullanılarak kompanzasyon gerçekleştirilir. Bu şekilde güç faktörü istenilen değerde sabit tutulabilir. Montajı oldukça basittir ve yeni teknoloji ile üretilen röleler sayesinde istenen programlama daha kolay

yapılabilmektedir. Bu şekilde düşük ve aşırı kompanzasyondan kaçınılmış olur. Şekil 4.6’da merkezi kompanzasyon sistemi gösterilmektedir (Sarı, 2017).



Şekil 4.6. Merkezi kompanzasyonu

Bu tez kapsamında enerji kalitesi analizi için ölçüm yapılan binaların kompanzasyon pano tasarımları merkezi tip kompanzasyon sistemine göre tasarlandığı görülmüştür.

4.3. Akım ve Gerilim Dengesizliği

4.3.1. Akım dengesizliği

Akım dengesizliği, üç fazlı elektrik sistemlerindeki faz akımları arasındaki farkı ifade eder. Bir sistemin akım açısından dengeli olması, her üç fazdaki akımların eşit değerlere sahip olması anlamına gelir. Ancak, uygulamada akım dengesizlikleri montaj aşamasında teknik personel hatası, tek fazlı sonradan eklenen cihazların bağlanması, asimetrik yükler, harmonik bozulmalar, arızalar veya dengesiz dağıtım hatları gibi faktörlerden kaynaklanır. Bu durum, sistemin stabilitesini etkileyebilir ve aşırı yüklenmelere veya performans sorunlarına yol açabilir.

Akım dengesizliğinin sisteme etkileri arasında; faz akımları arasında oluşacak fark, güç kayıplarına neden olabilir. Daha yüksek akım değerine sahip fazlar daha fazla güç tüketirken, diğer fazlar düşük güç seviyelerinde kalabilir. Asimetrik akımlar, ekipmanlarda dengesiz ısınmalara neden olur ve uzun vadede ekipman hasarına yol açar. Dengesiz faz akımları, transformatörler ve motorlar gibi ekipmanların verimini düşürür.

Akım dengesizliğinin ölçümü, Fluke435-II enerji analizör cihazı kullanılarak simetrik bileşenler yöntemi ile tespit edilebilir. Ölçüm cihazlarıyla her bir faz akımı ölçülerek farklılıklar belirlenir. Akım dengesizliğini değerlendirmek için genellikle akım dengesizlik faktörü kullanılır. Akım dengesizlik faktörü, faz akımları arasındaki farkı

yüzde olarak ifade eder. Akım dengesizlik faktörü (A_n) %10 geçmemelidir (Fluke, 2012).

Akım dengesizlikleri giderilmek istendiğinde, doğru boyutlandırılmış kablo kesitleri, harmonik filtreler veya yük dağılımının yeniden düzenlenmesi gibi önlemler alınabilir. Bu sayede sistemin akım dengesizliği azaltılabilir ve performansı iyileştirilebilir. Ölçüm yapılan binalarda akım dengesizliğinin oluşmasının en büyük nedeni, alıcıların büyük bir çoğunluğunun tek fazlı olması ve buna bağlı olarak da yük dağılımının iyi yapılmaması ve tek fazlı yüklerin sistemde eş zamanlı olarak çalışmamları gösterilebilir.

4.3.2. Gerilim dengesizliği

Gerilim dengesizliği, üç fazlı bir elektrik sisteminde fazlar arasında oluşan gerilim farkını ifade eder. Bu fark, fazların nominal gerilim değerlerinden sapma gösterdiği durumda ortaya çıkar. Bir elektrik sisteminde gerilim dengesizliği, sistemdeki yüklerin dengeli bir şekilde dağıtılmadığını veya sistemdeki hatlarda, trafoda veya bağlantı noktalarında oluşan problemleri işaret edebilir. Gerilim dengesizliği, çeşitli nedenlere bağlı olarak ortaya çıkar. Bunlar arasında transformatör arızaları, hatlardaki kablo kesintileri veya gevşek bağlantılar, dengesiz yük dağılımı, asimetrik yüklerin varlığı, harmonik bozulmalar gibi faktörler yer alır.

Gerilim dengesizliği, sistemdeki fazların gerilimlerinin eşit olmaması sonucunda olumsuz etkilere neden olabilir. Bu etkiler arasında aşırı akım, düşük verimlilik, ısı artışı, motorlarda çalışma problemlerine (stator sargılarında yüksek dengesiz akımlara bu da aşırı ısınmaya ve motor kullanım ömrünün azalmasına) ve elektrikli cihazlarda arıza riskine neden olur (Fluke, 2012).

Gerilim dengesizliği ölçümü için genellikle besleme gerilimi dengesizliği IEC61000-4-30'a göre simetrik bileşenler yöntemi kullanılarak değerlendirilir ve simetrik bileşenler kullanılarak yapılan hesaplamalar kullanılır. Gerilim dengesizliği, fazlar arasındaki gerilim farkını yüzde olarak ifade eder.

Gerilim dengesizliği ölçümü üç aşamada gerçekleştirilir: Üç fazlı sistemin her bir fazındaki gerilim değerleri ölçülür, en yüksek ve en düşük değerler kaydedilir. Ölçülen gerilim değerlerinin ortalaması, üç faz gerilim değerinin toplamının üçe bölünmesiyle

elde edilir. En yüksek gerilim değeri ile en düşük gerilim değeri arasındaki fark, ortalamaya bölünerek yüzde olarak gerilim dengesizlik faktörü hesaplanır.

Gerilim dengesizlik faktörü, dengesizliğin ne kadar olduğunu gösterir. Daha yüksek bir gerilim dengesizlik faktörü, daha büyük bir dengesizliği işaret ederken, düşük bir faktör daha az dengesizliği gösterir. Gerilim dengesizliği V_z : %2'yi geçmemelidir (Fluke, 2012).

4.4. Enerji Kayıpları

Enerji analiz cihazı, enerji kullanımıyla ilgili detaylı bir analiz yaparak, enerji kayıplarının nerede meydana geldiğini belirlemenize ve bu kayıpların enerji giderleri üzerindeki etkisini tespit etmenize yardımcı olur. Enerji kaybı fonksiyonu ise çeşitli sebeplerden kaynaklanan kayıpların tespitini sağlar. Başlıca enerji kaybı bileşenleri: Aktif, reaktif, dengesizlik, harmonik ve nötr akım kaynaklı bileşenlerdir.

Analizör, bu bileşenleri eşzamanlı olarak ölçerken, enerji kaybı hesaplayıcısı patentli algoritmalar kullanarak kayıpları hesaplar ve bunların parasal değerini belirler. Aktif güç (W), reaktif güç (VAR), dengesizlik (VA), harmonik (VA) ve nötr akım kaynaklı maliyetler, saat başı olarak görüntülenir. Enerji analizör cihazı otomatik modunda kablo direncinden kaynaklanan kaybı %3'lük bir oranı baz alarak hesaplar, bu ortalama bir dağıtım sistemi için normal bir oran kabul edilir (Fluke, 2012).

Enerji kaybı için iki ana bileşen söz konusudur:

Hat Gücü Kaybı; hat direnci üzerinden akan çeşitli akımlardan kaynaklanan kayıplardır.

Artık Güç Kaybı; harmonikler ve dengesizlikten kaynaklanan kayıplardır.

4.4.1. Aktif enerji kaybı

Aktif kayıp, elektrik devrelerindeki direnç, endüktans ve kapasitans gibi etkenlerden kaynaklanan gerçek güç kaybını ifade eder. Aktif kayıp, elektrik enerjisinin gerçek kullanımının ötesinde harcanan gücü temsil eder. Bu kayıp, genellikle ısıya dönüşür ve enerji verimliliği üzerinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Aktif kaybı en aza indirmek, enerji tüketimini ve maliyetlerini azaltmak için önemlidir. Fluke 435-II enerji analizör cihazı enerji kaybı hesabında aktif enerji kaybını (kW), güç iletiminden kaynaklanan kayıp olarak ifade eder. Bu kayıp, kabloların dirençlerinden kaynaklanır (Fluke, 2012).

4.4.2. Reaktif enerji kaybı

Reaktif enerji kaybı, endüktans ve kapasitans gibi reaktif bileşenlerin neden olduğu enerji kaybını ifade eder. Bu kayıp, elektrik devrelerindeki reaktif bileşenlerin enerjiye dönüşümünden kaynaklanır ve genellikle güç faktörünün düşük olduğu durumlarda ortaya çıkar. Fluke 435-II enerji analizör cihazı enerji kaybı hesabında reaktif enerji kaybının azaltılması, enerji verimliliğini artırmak ve elektrik sistemlerinin daha etkin çalışmasını sağlamak için önemlidir. Bu kayıp, geri ve ileri yönde taşınan ancak gerçek iş yapmayan reaktif güçten kaynaklanır. Kaybın sebebi, akım geçişinden dolayı oluşur (Fluke, 2012).

4.4.3. Dengesizlik enerji kaybı

Dengesizlik kaybı, simetrik olmayan yükler veya harmonikler gibi sistemdeki dengesizliklerden kaynaklanan enerji kaybını ifade eder. Bu tür kayıplar, üç fazlı sistemlerde gerilim, akım veya güçteki asimetri sonucunda oluşabilir. Dengesizlik kaybı, güç sistemi üzerindeki dengesizliklerin neden olduğu verimsizlikleri temsil eder. Bu kayıplar, enerji tüketimi ve enerji verimliliği açısından önemli bir etkiye sahip olabilir. Dengesizlik kaybını minimize etmek, güç sisteminin daha istikrarlı ve verimli çalışmasını sağlamak için gereklidir.

Dengesizlik, kaynak ve yük arasındaki dengesizlikten kaynaklanan kaybı ifade eder. Fluke 435-II enerji analizör cihazı bu özel ölçüm fonksiyonu ile şebekedeki dengesizlikler nedeniyle oluşan kayıpları belirlemeye yardımcı olur. Dengesizlik gücü, Aktif güçten pozitif sekans gücünün çıkarılmasıyla elde edilir (Fluke, 2012).

4.4.4. Harmonik enerji kaybı

Harmonik enerji kaybı, harmonik titreşimlerin neden olduğu enerji kaybını ifade eder. Harmonikler, harmonik frekanslarda gerilim veya akım dalgalanmaları olarak ortaya çıkar. Bu dalgalanmalar, harmonik yükler veya harmonik üreten cihazlar tarafından oluşturulur. Harmonik enerji kaybı, harmonik titreşimlerin sebep olduğu güç kaybını temsil eder. Bu kayıplar, elektrik sistemlerindeki enerji verimliliğini azaltabilir ve cihazların daha fazla enerji tüketmesine yol açabilir. Harmonik enerji kaybını minimize etmek, enerji verimliliğini artırmak ve elektrik sistemlerinin daha istikrarlı çalışmasını sağlamak için önemlidir. Harmonik gücünden (distorsiyon) kaynaklanan kaybı ifade eder. Bu ölçüm, aktif, pasif filtreleme veya diğer sistem iyileştirmeleri

sayesinde tasarrufların hızlı bir şekilde önceden belirlenmesini sağlar. Harmoniğe bağlı olarak oluşan kayıplar, kVA oranında ifade edilir ve gerçek güç (W) ile esas gücün (W fund) farkını temsil eder (Fluke, 2012).

4.4.5. Nötr enerji kaybı

Nötr akım enerji kaybı, nötr iletkeninde meydana gelen kayıpları ifade eder. Nötr iletkeni üzerinden geçen yüksek akım, güvenlik açısından tehlikeli durumlar, özellikle aşırı ısınma gibi sorunlara yol açabilir ve aynı zamanda enerji kayıplarına neden olabilir. Nötr akım enerji kaybı, genellikle topraklama hatlarında iletkenlik kaynaklı dirençlerin etkisiyle oluşur. Bu kayıplar, iletkenlerin direncine, akımın büyüklüğüne ve sistemdeki nötr akımın dengesizliklerine bağlı olarak değişebilir. Enerji kaybı, iletkenlerde ısı olarak açığa çıkar ve sistemin verimliliğini düşürebilir. Elektrik şebekelerinde nötr akım enerji kaybını minimize etmek için, uygun kesitlerde iletkenler kullanılmalı, bağlantı noktaları düzgün bir şekilde sıkıştırılmalı ve topraklama hatlarının kalitesi kontrol edilmelidir. Ayrıca, sistemdeki dengesizliklerin azaltılması ve harmonik akımların kontrol edilmesi de enerji kayıplarını azaltmaya yardımcı olabilir (Fluke, 2012).

4.5. Fliker (Titreme)

Fliker (titreme), ışık kaynaklarının veya aydınlatma sistemlerinin parlaklıkta hızla dalgalanma veya titreşim göstermesi durumunu ifade eder. Bu dalgalanmalar genellikle elektrik güç kaynaklarının dalgalanması veya lambaların besleme gerilimindeki değişimler gibi faktörlerden kaynaklanır. Fliker, görsel rahatsızlıklara, yorgunluğa, göz yorgunluğuna, baş ağrısına ve konsantrasyon kaybına neden olabilir. Bazı insanlar için fliker hassasiyet daha yüksek olabilir ve bu durum özellikle uzun süre maruz kalındığında veya belirli bir frekansta tekrarlandığında daha belirgin hale gelebilir (Atasal, 2000).

Fluke 435-II enerji analizör cihazı, lambaların besleme gerilimi değişimlerinden kaynaklanan ışık dalgalanmalarını ölçer. EN61000-4-15 standardına uygun bir algoritma kullanarak ölçüm yapar ve insan gözü ve beyin duyuşal sistemini temel alır. Analizör, gerilim değişikliklerinin süresini ve şiddetini 60 W lambanın titreşiminden kaynaklanan bir "rahatsızlık faktörüne" dönüştürür. Yüksek bir titreşim değeri, insanların genellikle bu ışık değişimlerini rahatsız edici bulacakları anlamına gelir.

Ölçümler, 230 V / 50 Hz. güç beslemesine sahip lambalar için optimize edilmiştir. Titreme, ölçümleri farklı parametreler üzerinden yapılan bir değerlendirme şeklidir. Anlık Titreme Pinst (bir dakika üzerinden ölçülür), kısa vadeli şiddet Pst (10 dakika üzerinden ölçülür) ve uzun vadeli şiddet Plt (iki saat üzerinden ölçülür) gibi farklı değerlerle ifade edilir (Fluke, 2012).

Fliker'ı azaltmak veya önlemek için çeşitli yöntemler kullanılır. Bunlar arasında daha kararlı bir güç kaynağı kullanmak, uygun ışık kaynaklarını seçmek, ışık kaynaklarının düzgün bir şekilde çalışmasını sağlamak, uygun aydınlatma tasarımı ve düzenlemeleri yapmak gibi önlemler sıralanabilir.

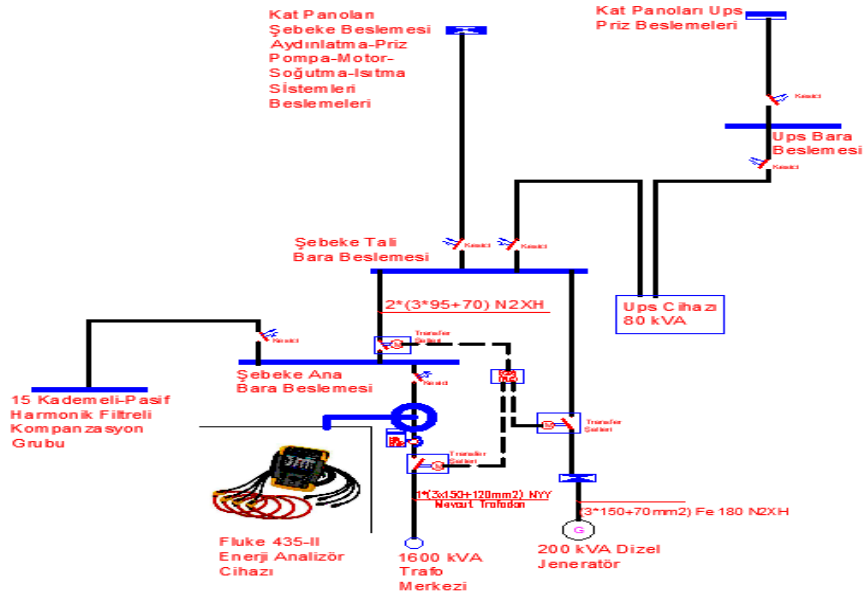


5. ÖLÇÜM NOKTALARI PARAMETRELERİ VE DEĞERLENDİRMELERİ

Bu çalışmada, Yalova Üniversitesi Merkez Yerleşkesi ve bağlı birimlerine ait 13 eğitim binası ve bir idari binanın ana pano giriş noktasından ölçümleri yapılmıştır. 14 binaya ait ölçümlerin değerlendirilmesi sonucu enerji kalitesi açısından en sorunlu olduğu tespit edilen beş eğitim binası verileri ile enerji kalitesi açısından daha az sorunlu bir eğitim binasının ölçüm verilerinin analizi yapılarak şekiller üzerinden detaylı incelemesi yapılmıştır. Ölçüm parametreleri arasında her bir faz için akım ve gerilim ölçümlerinin RMS değerleri, her bir faza ait gerilim ve akım toplam harmonik değerleri, aktif, reaktif güç değerleri, güç faktörü değerleri ile toplam güç değerleri, toplam enerji kayıpları ve aktif enerji tüketimi ile reaktif enerji tüketiminin analizi, akım ve gerilim dengesizlik değerleri, kısa süreli Plt ve uzun süreli Pst fliker değerleri yer almaktadır. Bu ölçüm verileri, EN50160 Tedarik Sürekliliği ve EPDK hizmet kalitesi yönetmeliği açısından değerlendirilerek binaların elektrik enerji kalitesi ve durumunun yönetmeliklere uygunluğu incelenmiş ve öneriler sunulmuştur.

5.1. Mühendislik Fakültesi Binası Elektrik Enerji Ölçümü ve Analizi

Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, TR-B1 kodlu 1600 kVA trafodan gelen elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Bu binada 220 kVA gücünde bir dizel jeneratör, 60 kVA gücünde kesintisiz güç kaynağı ve çeşitli elektrikli yükler bulunmaktadır. Bu yükler arasında, soğutma sistemine ait değişken soğutuculu akışkan debili (VRF) inverterli iç ve dış üniteler, sirkülasyon pompaları, elektronik balastlı floresan armatürler, dış cephe aydınlatma led projektörleri, yönlendirme armatürleri, bilgisayarlar, yazıcılar, düşük güçlü laboratuvar cihazları, içecek ve yiyecek otomatları ve havalandırma fanları, elektronik cihaz panelleri, acil anons ses sistemi vb. elektrik yükleri yer almaktadır.



Şekil 5.1. Mühendislik fakültesi tek hat şeması ve enerji kalitesi ölçüm noktası

Binanın ana pano ölçüm noktası ve yük durumu tek hat şeması Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Bu binanın elektrik tüketimini ölçmek için Fluke 435-II enerji analizör cihazı kullanılmış ve 18-25 Şubat 2022 tarihleri arasında bir haftalık enerji kalitesi ölçümleri yapılmıştır.

Enerji ölçüm noktası Şekil 5.1'de tek hat şeması üzerinde gösterilmiş ve Şekil 5.2'de giriş termik manyetik şalterin giriş noktasından akım ve gerilim problemlerinin bağlantısı gösterilmiştir.

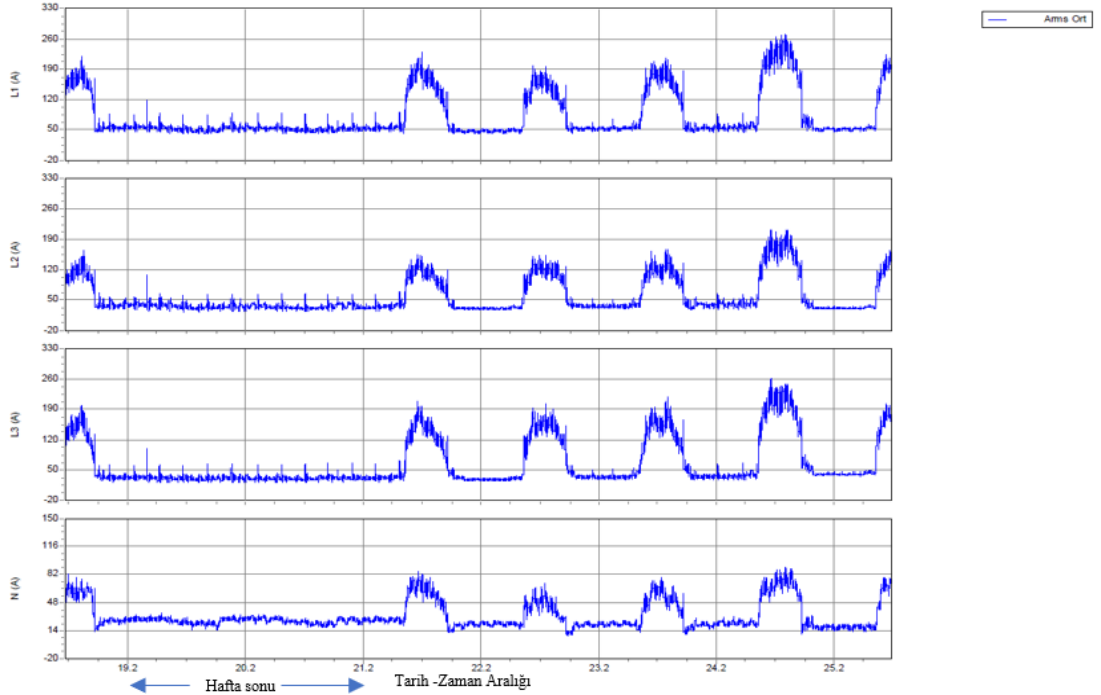


Şekil 5.2. Mühendislik fakültesi giriş şalteri enerji kalitesi ölçüm noktası

Mühendislik fakültesi, elektrik panosu termik şalter girişinden yapılan ölçüm sonuçlarını analizde, istatistiksel veriler kullanılarak zaman çizelgesi üzerinde akım, gerilim, aktif, reaktif güç ve güç faktörü değerleri için analiz grafiği oluşturuldu. Ayrıca, her bir faza ait ve toplam değerlerinin harmoniklerinden 3-5-7'nci harmonik mertebeleri ile toplam harmonik bozunum değerleri, histogram ve zaman çizelgesi üzerinde kabul edilen standart değerlerle karşılaştırıldı. Akım ve gerilim dengesizlik bileşeninin zaman çizelgesi üzerinde gösterimi yapılarak standart değerlere göre analizi gerçekleştirildi. Enerji kaybı ve enerji tüketim değerleri, enerji kayıplarının bileşenleri ile reaktif bileşeninin endüktif/kapasitif özellikleri de dahil olmak üzere zaman çizelgesinde gösterildi. Fliker açısından, kısa süreli Pst ve uzun süreli Plt değerleri, istatistiksel veriler üzerinden zaman çizelgesi grafiğinde gösterilerek kabul edilen standart değerlerle kıyaslandı ve analizi yapıldı.

5.1.1. Mühendislik fakültesi akım değerlerinin analizi

Binanın enerji kalitesi ölçümleri için, binanın tükettiği elektrik yüklerinin zamana bağlı olarak çektiği Rms akım değerlerinin değişimini ve bu değişime sebep olan faktörleri anlamak ve yorumlamak oldukça önemlidir. Bu nedenle, Rms akım değerlerinin zamana bağlı değişiminin analiz edilmesi gerekmektedir.



Şekil 5.3. Mühendislik fakültesine ait üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği

Mühendislik fakültesi binasında L1-L2-L3 fazları ve nötr hattına ait akım değerlerinin zamana göre değişimi Şekil 3.3'te gösterilmiştir. Akım değerleri incelendiğinde her faza ait akım değerleri değişkenlik göstermektedir. L1 fazına ait akım grafiği ve istatistiksel verilerin analizi neticesinde en yüksek akım değerlerinin 24.02.2022 Cuma günü saat 14:00-14:30 aralığında 270.5 amper, en düşük değerinin 21.02.2022 Pazartesi günü saat 18:30-19:00 aralığında 23.7 amper olduğu, ve ortalama L1 fazına ait akım değerinin 81.56 amper olarak ölçüldüğü görülmüştür.

L2 fazına ait en yüksek akım değerinin 24.02.2022 Cuma günü saat 14:30-15:00 aralığında 212.6 amper olduğu, en düşük akım değeri 19.02.2022 Cumartesi günü saat 14:30-15:00 aralığında 23.7 amper olduğu ve ortalama L2 fazına ait akım değerinin 56 amper olarak ölçüldüğü görülmüştür.

L3 fazına ait en yüksek akım değerinin 24.02.2022 Cuma günü saat 11:00-11:30 aralığında 261.7 amper, en düşük akım değeri 19.02.2022 Cumartesi günü saat 14:30-15:00 aralığında 21.6 amper olduğu ve ortalama L3 fazına ait akım değerinin 63.8 amper olarak ölçüldüğü görülmüştür.

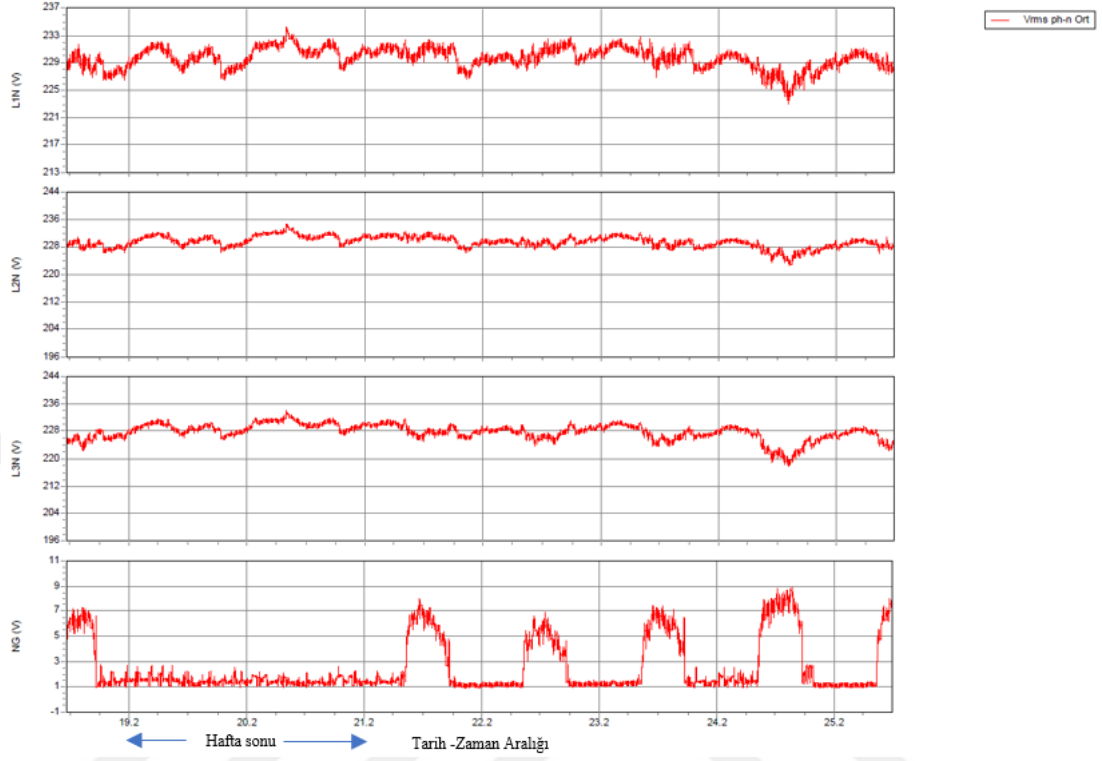
Mesai saatleri içerisinde elektrik yük kullanımının artmasıyla akım değerlerinde artış yaşanmış, mesai saatleri dışında elektrik yük kullanımının azalmasıyla akım değerlerinde azalış görülmüştür. Her bir faza ait ortalama akım değerleri değişkenlik göstermiş ve dengeli bir yük dağılımının olmadığı görülmüştür.

Nötr hattı üzerinden akan akım değeri incelendiğinde, en yüksek akım değerinin 24.02.2022 Cuma günü saat 14:00-14:30 aralığında 91.4 amper, en düşük akım değeri 22.02.2022 Salı günü saat 17:30-18:00 aralığında 7.9 amper olduğu ve ortalama nötr hattı üzerinden geçen akım değerinin 31.8 amper olarak ölçüldüğü görülmüştür. Ölçümler neticesinde dengesiz yük dağılımından dolayı L1-L2-L3 fazlarından geçen akımların vektörel toplamaları sıfıra eşit olmadığı dolayısıyla nötr hattı üzerinden akım geçişi yaşandığı ve buna bağlı olarak da ölçüm noktasında gerilim düşümünün yaşandığı anlaşılmaktadır.

5.1.2. Mühendislik fakültesi gerilim değerlerinin analizi

Binanın enerji kalitesi ölçümleri için, binanın her bir fazındaki gerilim Rms değerlerinin, zaman içinde ölçülen akım değerleriyle ilişkisini anlamak ve yorumlamak oldukça önemlidir. Gerilim Rms değerlerinin zaman içindeki değişimi,

binanın enerji kalitesinin belirlenmesinde büyük bir rol oynar. Bu nedenle, bu değişimlerin dikkatle izlenmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir.



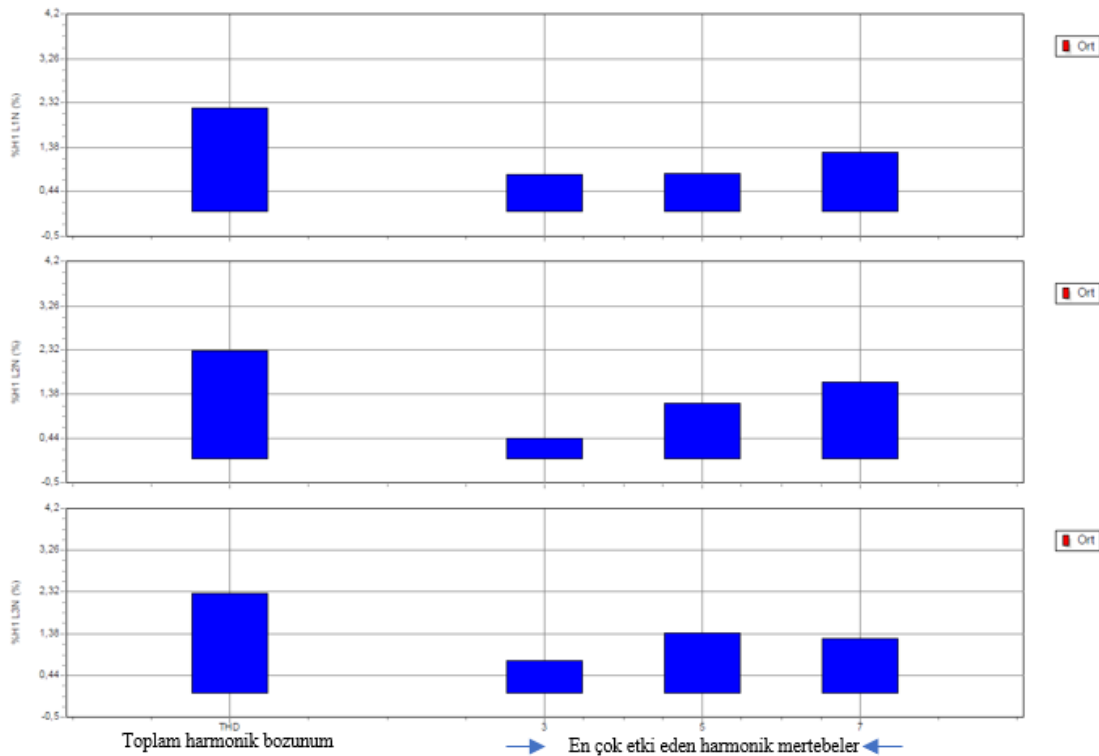
Şekil 5.4. Mühendislik fakültesine ait üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği

Mühendislik fakültesi binasında L1-L2-L3 fazları ve nötr'e ait gerilim değerlerinin zaman çizelgesi şekil 3.2'de gösterilmiştir. Fazlara ait ortalama en yüksek gerilim değerlerinin 20.02.2022 Pazar günü 08:00-09:00 saat aralığında 234-235 volt olduğu, en alt gerilim değerinin ise 24.02.2022 cuma günü saat 14:00-14:30 saat aralığında 220-224 volt olduğu görülmüştür. Mesai saatleri içerisinde elektrik yük kullanımının artmasıyla birlikte hat akımı artışı, hat üzerindeki gerilim düşüşüyle birlikte ölçüm noktasındaki gerilim değerinde düşüş yaşanmıştır. Mesai saat dışında elektrik yük kullanımının azalmasıyla hat akımında azalma, hat üzerindeki gerilimde artış ve ölçüm noktasındaki gerilim değerlerinde artış yaşanmıştır. Her bir faza ait ortalama gerilim değerleri 227-229 volt civarında olup yük kullanımına göre gerilim düşümü ve artışı yaşandığı fakat gerilimin istenilen düzeylerde olduğu görülmektedir. Zaman çizelgesinde nötr- toprak arası gerilim değeri incelendiğinde mesai saati içerisinde yük kullanımına bağlı olarak fazlardaki dengesiz yük çekiminden dolayı nötr hattında mesai saati dışına göre fazla akım akması ve bu akımın hat üzerindeki 'R' direnci

üzerinde ($I \times R$) kadar daha fazla bir gerilim düşümü oluşturmaktadır. Nötr hattı üzerinde en yüksek gerilim düşümü 8,08 volt civarında olduğu mesai saati dışında kalan zaman dilimlerine bakıldığında en alt gerilim düşümü değerinin 0,88 volt olarak ölçüldüğü gözlenmiştir. Ortalama nötr-toprak gerilim düşümü 2,53 volt olarak ölçülmüştür. Kabul görülen en yüksek nötr-toprak arası gerilim değeri (2-3) volt arasında olması istenir, bu değerler ışığında nötr-toprak geriliminin sınır değer eşiğinde olduğu görülmektedir.

5.1.3. Mühendislik fakültesi gerilim harmonik analizi

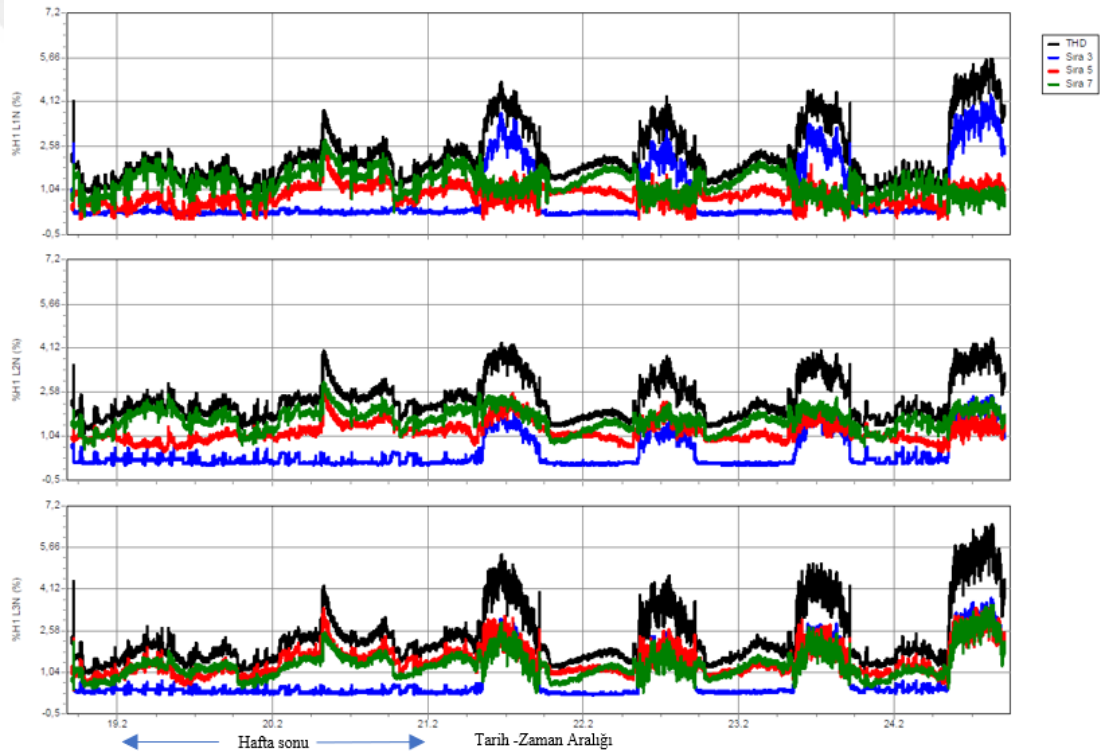
Binanın enerji kalitesi ölçümleri için, her bir fazdaki toplam harmonik değerlerinin, 3-5-7'nci derecelerdeki histogram grafikler üzerinde analizi yapılarak gerilim harmonik durumunun tespit edilmesi büyük bir önem taşımaktadır. Bu verilerin doğru bir şekilde yorumlanması, binanın enerji kalitesinin belirlenmesinde kritik bir rol oynamaktadır. Bu nedenle, bu verilerin dikkatli bir şekilde incelenmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir.



Şekil 5.5. Mühendislik fakültesine ait gerilim harmoniklerinin histogram grafiği

Mühendislik fakültesi binasının gerilim harmonik ölçümleri histogram grafiği Şekil 5.5'te sunulmuştur. Her bir faza ait gerilim harmonik değerleri, 1'inci ile 50'nci

mertebeler arasında ölçülmüştür. Bu çalışmada, gerilim harmoniğini en çok etkileyen 3., 5. ve 7.mertebe gerilim harmonik değerleri incelenmiş ve ortalama toplam gerilim harmonik değerleri hesaplanmıştır. Şekil 5.5'te, ortalama toplam gerilim harmonik değerlerinin her bir faz için kabul edilen standart değerlerin altında olduğu görülmektedir. L1 fazı için ortalama gerilim harmonik değeri %2,30, L2 fazı için ortalama gerilim harmonik değeri %2,35 ve L3 fazı için ise ortalama toplam gerilim harmonik değeri 2,35 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, farklı fazlarda gerilim harmonik mertebelerinde farklılıklar olduğu gözlemlenmektedir. Bu farklılıkların temel nedeni, farklı güçlerdeki yarıiletken güç elemanlarına sahip tek fazlı elektrikli cihazların farklı fazlardan beslenmesidir.



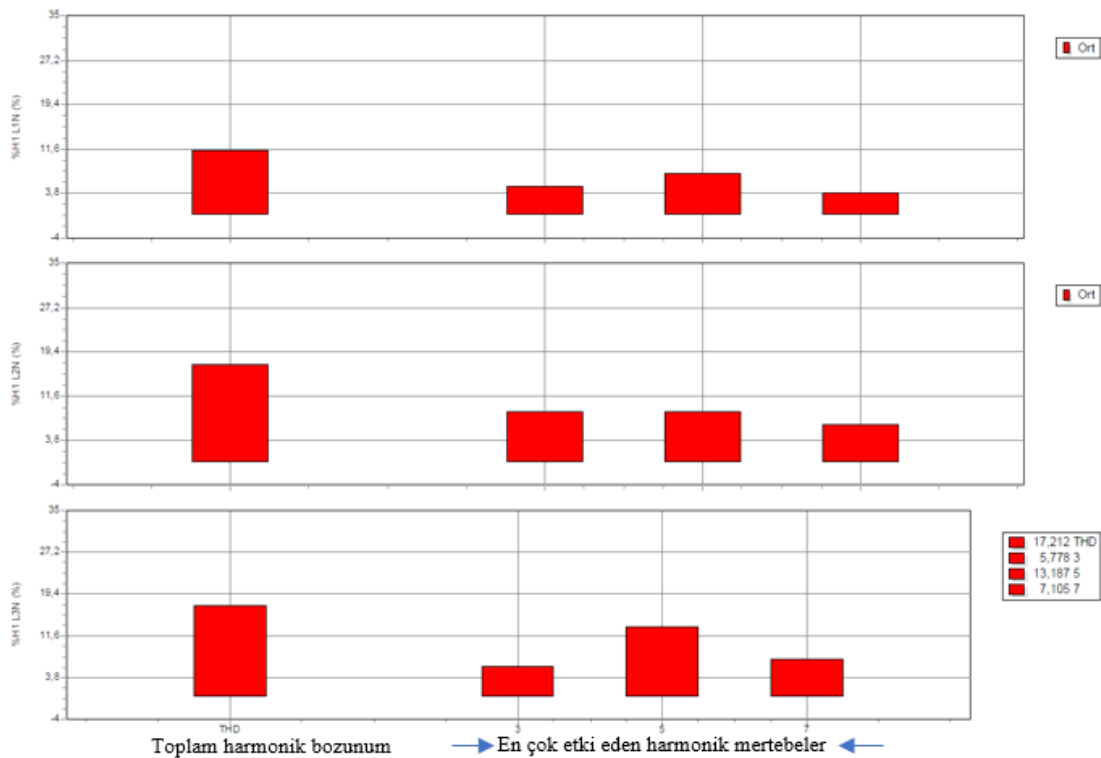
Şekil 5.6. Mühendislik fakültesine ait her bir fazın gerilim harmoniği zaman çizelgesi

Şekil 5.6'da gösterilen ölçüm sonuçlarına göre, zamana bağlı olarak 3., 5. ve 7. mertebe toplam gerilim harmonikleri incelenmiştir. Siyah renk toplam gerilim harmonik bozunumunu, mavi renk 3. mertebe, kırmızı renk 5. mertebe, yeşil renk ise 7. mertebe harmonik seviyesini göstermektedir. Mesai saatleri içinde toplam gerilim harmonik bozunum seviyesi kabul görülen seviyenin ($THD_v \geq \%5$) üzerinde ölçülmüş, mesai saatleri dışındaki zaman dilimlerinde toplam gerilim harmonik seviyesi istenilen seviyelerde ölçüm sonucu çıkmıştır. Özellikle 3. mertebe harmonik seviyesi mesai

saatleri içinde ve dışında bariz bir şekilde değişiklik göstermektedir. Ayrıca her faz için gerilim harmonik mertebelerinde farklılıklar tespit edilmiştir. İstatistiksel verilere göre, en yüksek toplam gerilim harmonik seviyesi L1 fazında %5,62, L2 fazında %4,62 ve L3 fazında %6,5 olarak ölçülmüştür. Toplam gerilim harmonik seviyesi standart seviyenin ($THD_v \geq 5\%$) üzerinde seyrettiği zaman dilimlerinde, alıcılara anlık zararlar verebileceği bilinmektedir. Bu nedenle, gerilim harmonik seviyesinin en yüksek seviyeden yorumlanması gerekmektedir. Farklı fazlardan enerjilendirilen tek fazlı alıcılar ve farklı yarı iletken teknolojileri, fazlara ait gerilim harmonik seviyelerindeki farklılıkların ana nedenidir.

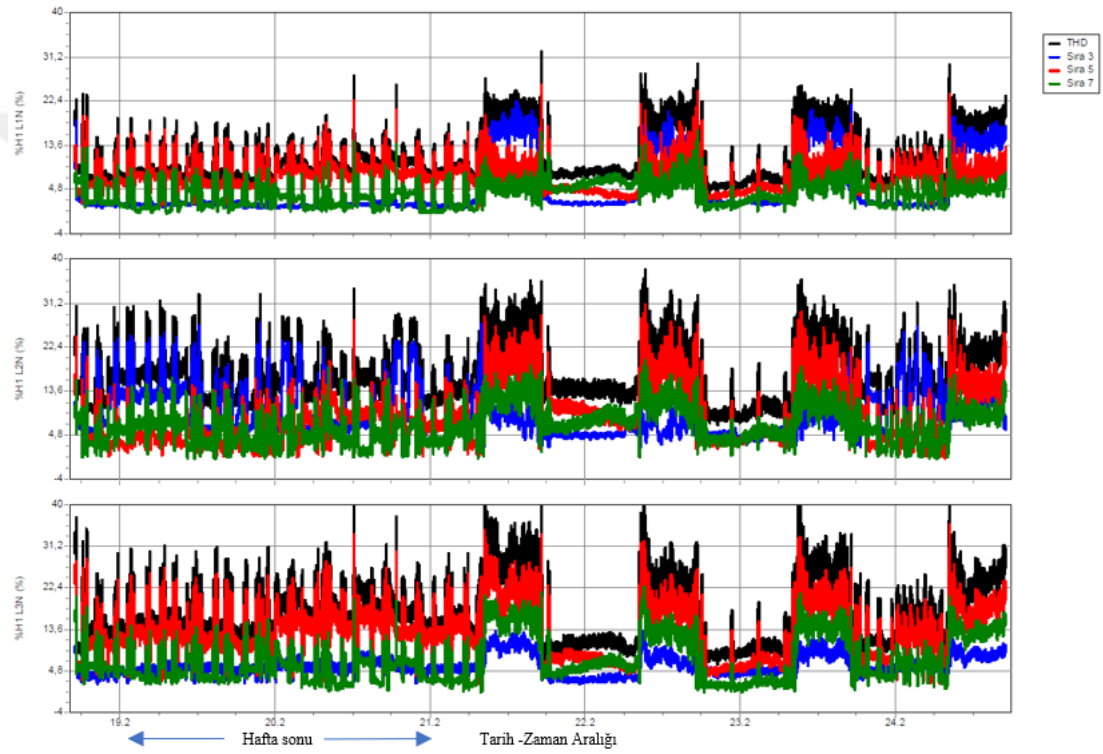
5.1.4. Mühendislik fakültesi akım harmonik analizi

Binaya ait bir akımın harmonik değerleri ölçülmüş ve bu veriler hem histogram hem de zaman çizelgesi şeklinde analiz edilmiştir. Akımın harmonik bileşenlerinin istatistiksel verileri kullanılarak, en yüksek ve en düşük değerlerin hangi zaman aralıklarında görüldüğü belirlenmiştir ve standart değerlerle karşılaştırılmıştır. Binaya ait akım harmonik değerleri hakkında yapılan ölçümler ve analizler hakkında bilgi verilmiştir.



Şekil 5.7. Mühendislik fakültesine ait akım harmoniklerinin histogram grafiği

Mühendislik fakültesi binası akım harmonik değerlerinin histogram görünümü Şekil 5.7'de gösterilmiştir. L1, L2 ve L3 fazlarına ait harmonik değerler toplam, 3.mertebe, 5.mertebe ve 7.mertebe olarak belirtilmiştir. IEEE'nin dağıtım sistemlerine ait akım harmonik distorsiyonu $THD_a \leq \%20$ değerine göre binanın akım harmonik değerleri L2 ve L3 fazları için sınır değerlerde, L1 fazı için orta seviyede olduğu görülmektedir. Her bir faza ait akım harmonik mertebelerde farklı değerlerin oluşmasının nedeni gerilim harmoniğinde olduğu gibi farklı yarıiletken güç elemanları içeren tek fazlı elektrik cihazlarının farklı fazlara rastgele dağıtılmasıdır.



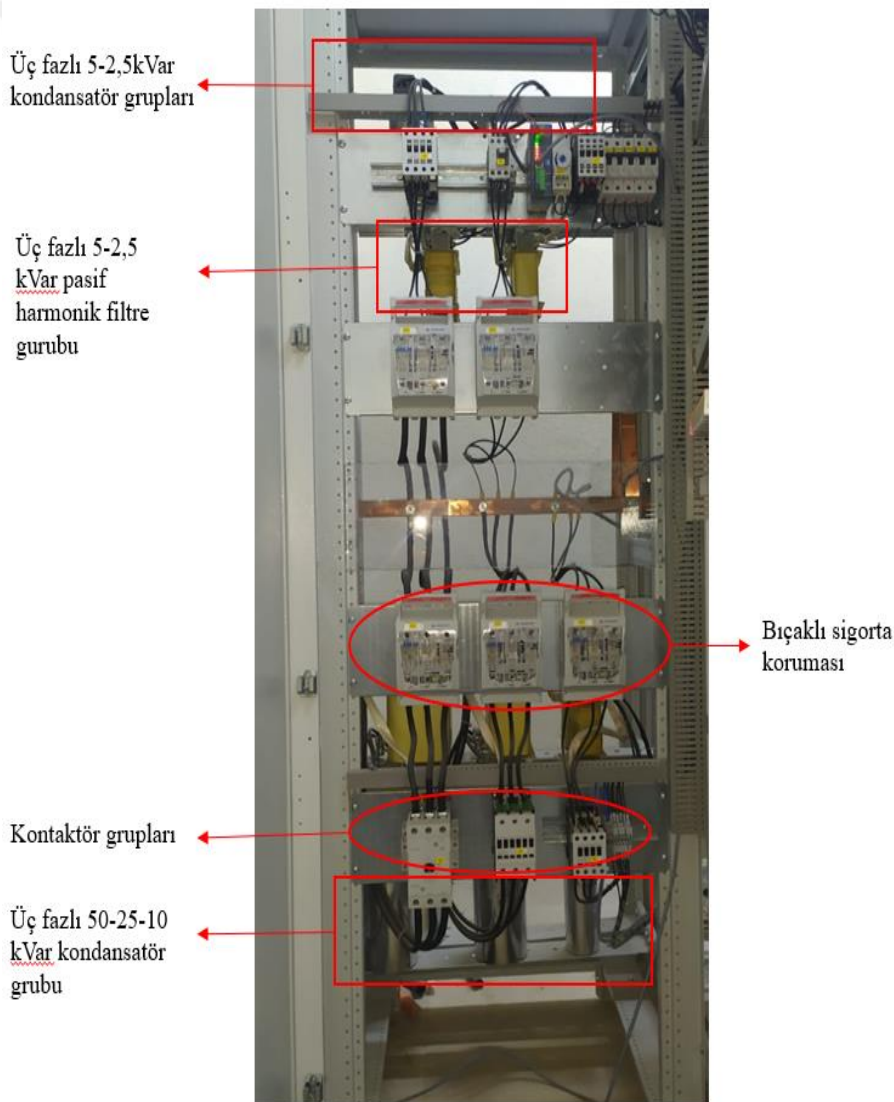
Şekil 5.8. Mühendislik fakültesine ait her bir fazın akım harmoniği zaman çizelgesi

Mühendislik fakültesi binasına ait akım harmonik değerlerinin zaman çizelgesi gösterimi Şekil 5.8'de, yer almaktadır. Bu değerlerin bir haftalık periyotta ölçümü yapılmış ve mesai saatleri içinde ve dışında farklılıklar görülmüştür. Hafta sonları, akım harmonik bozunum değerlerinde ani yükseliş ve düşüşlere neden olan ani yük değişimleri nedeniyle belirli periyotlarla dalgalanma yaşanmıştır. Ancak, hafta içi mesai saatlerinde, standart değerlerin ($THD_a \leq \%20$) üzerine çıkan akım harmonik bozunumu gözlemlenmiştir. Mesai saatleri dışındaki zaman dilimlerinde ise sönümlendiği ve dalgalanmaların belirli zaman periyotlarında üç fazlı alıcılar tarafından olduğu söylenebilir. Değişken yük profili nedeniyle, akım harmonik

salınımlarında da değişkenlik görölmektedir. Binanın kompanzasyon panosunda, pasif harmonik filtreli kondansatör grupları mevcuttur. Ancak, kondansatörlerin kapasiteleri yüksek olduğu ve bağlantı grupları üç fazlı sistem üzerinden yapıldığı için reaktif güç kontrol rölesi tarafından devreye girmemekte dolayısıyla akım harmoniğinde düzeltme faktörü oluşmamaktadır.

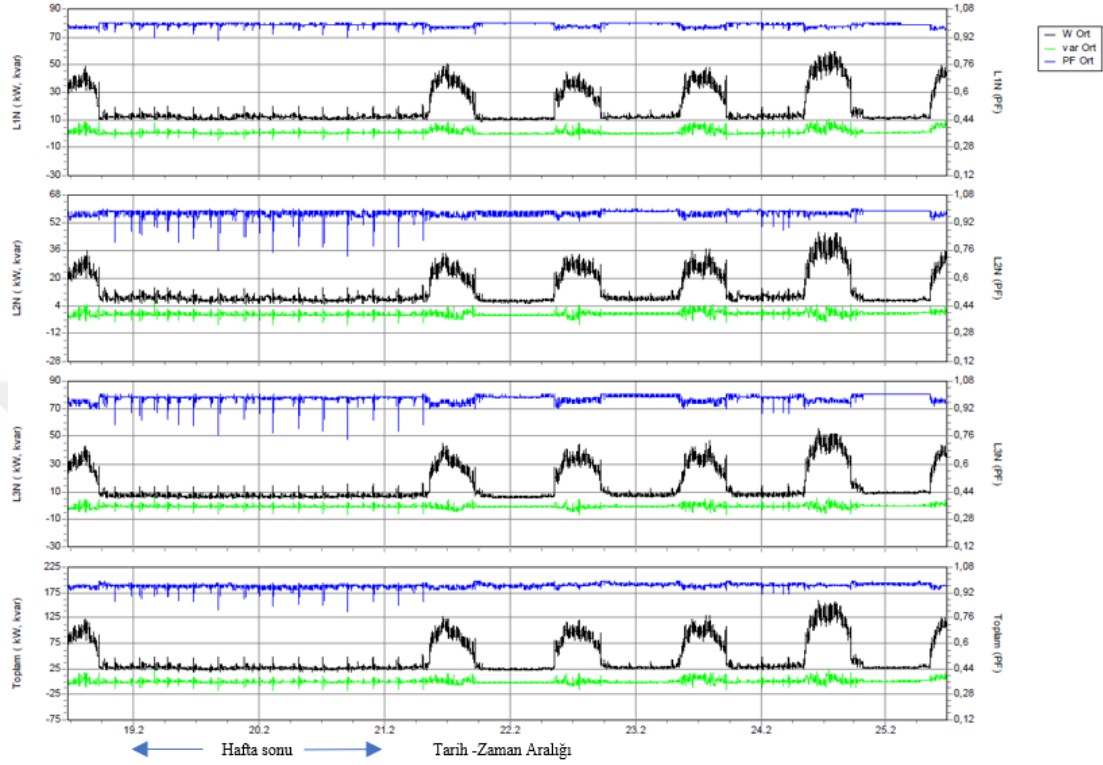
5.1.5. Mühendislik faköltesi güç ve kompanzasyon durum analizi

Binanın kompanzasyon panosunda koruma amaçlı bıçaklı sigortalar, kontaktör grupları, kondansatör grupları ve bu gruplara seri bağlı pasif harmonik filtreler bulunmaktadır.



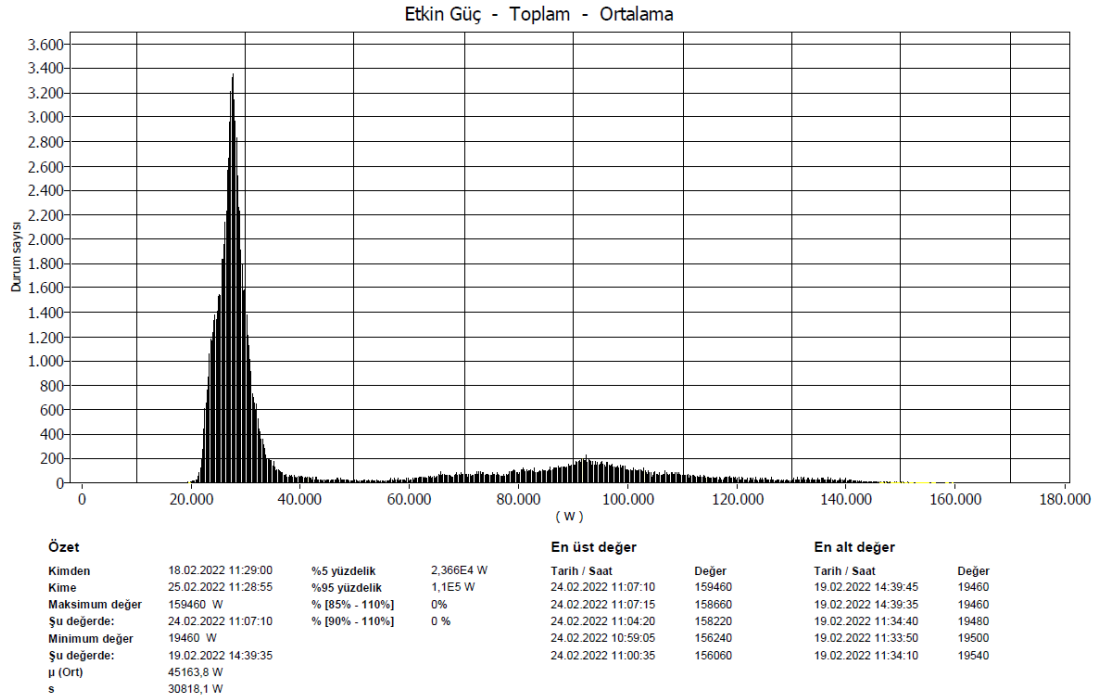
Şekil 5.9. Mühendislik faköltesi kompanzasyon panosu

Kompanzasyon sistemi için tasarlanmış ve 15 kademeli panonun bir bölümü Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Kondansatör kademe güçleri bina yük karakteristiğine göre yüksek seçilmesinden dolayı ölçüm boyunca devreye girmediği gözlenmiştir.



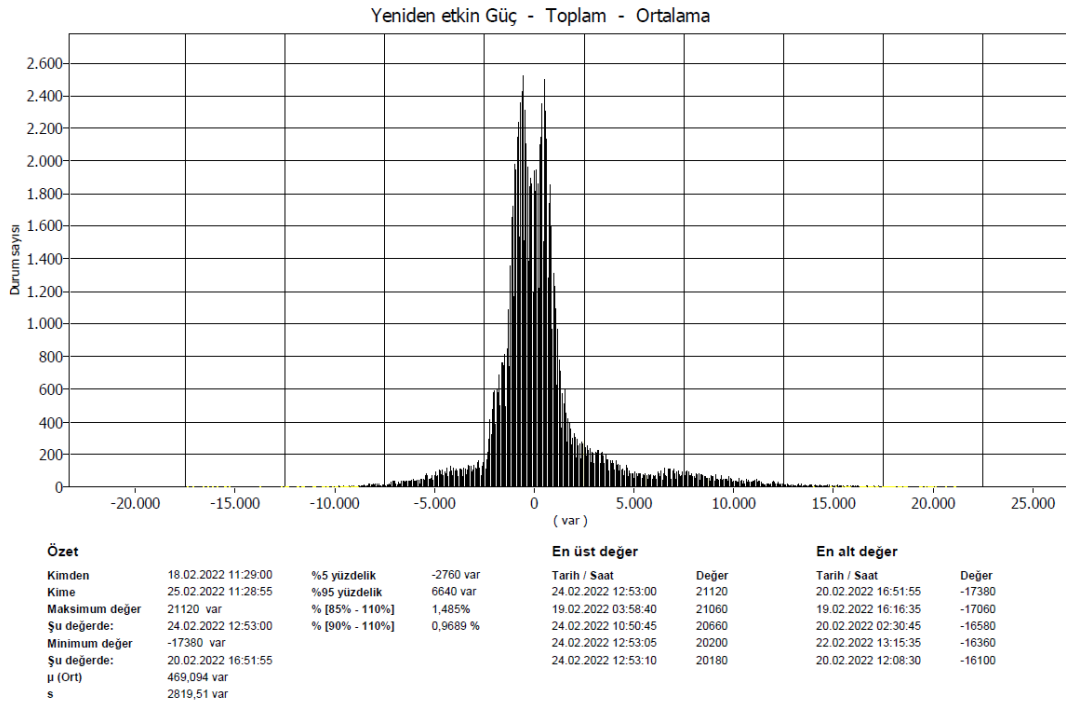
Şekil 5.10. Mühendislik fakültesi aktif, reaktif ve güç faktörü zaman çizelgesi grafiği

Mühendislik fakültesi binasına ait aktif, reaktif ve güç faktörü değerlerine ait zaman çizelgesi Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Etkin güç siyah, reaktif güç kırmızı ve güç faktörü mavi renk ile belirtilmiştir. Mesai saatlerinde etkin güç kullanımının artmasıyla ortalama olarak L1 fazında endüktif, L2 fazında kapasitif ve L3 fazında kapasitif yük profili ortaya çıkmıştır. Hafta sonu etkin güç kullanımı azalıp ani değişimler göstermiş ve tüm fazlarda belirli zaman aralıklarında az da olsa ani artış yaşanmış ve sistemde üç fazlı bir alıcının belirli periyotlarla devreye girdiği anlaşılmaktadır. Etkin güçte yaşanan bu artış güç faktöründe de belirli aralıklarla düşüşe sebebiyet vermiştir. Reaktif güç açısından bakıldığında mesai saatlerinde etkin güç kullanımıyla beraber endüktif/reaktif güç kullanımı olmuş. Hafta sonunda ise ağırlıklı olarak kapasitif/reaktif özellikte güç kullanımı olduğu görülmektedir.



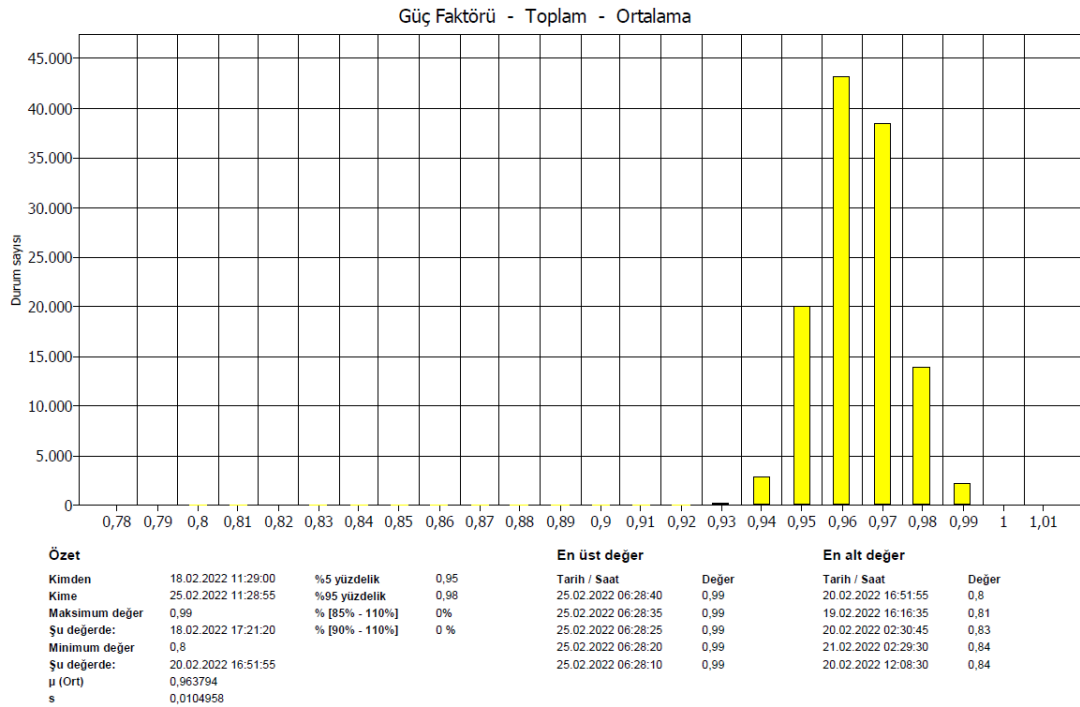
Şekil 5.11. Mühendislik fakültesi etkin güç istatistik grafiği

Binanın bir haftalık etkin güç ortalama kullanımı Şekil 5.11’de gösterilmiştir. İstatistik verilere bakıldığında anlık en üst değer 159,460kW, en alt değer 19,460 kW, ortalama etkin güç ise 45,163kW olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.12. Mühendislik fakültesi reaktif güç istatistik grafiği

Bina enerji kalitesini etkileyen önemli faktörlerden biri de reaktif enerji tüketimidir. Reaktif enerji tüketim istatistik grafiği Şekil 5.12’de gösterilmiştir. Binanın yük karakteristiğini yansıtan bu grafikte ortalama olarak yükün cinsi endüktif/reaktif özellikte olup ortalama +469,09 VAr güçte olduğu görülmüştür. Binada endüktif özellik gösteren başlıca yükler; temiz su hidrofor motorları, sirkülasyon motorları, havalandırma motorları, laboratuvar tipi cihazlara ait motorlar, asansör motorları, pis su rögar pompaları ve yapısında bobin bulunan diğer cihazlar gösterilebilir. Kapasitif özellik gösteren başlıca yükler; Kesintisiz güç kaynağı, Vrf klima sistemi iç ve dış üniteleri, elektronik balastlı floresan armatürler, led spot armatürler, led projektörler, bilgisayarlar, inverterler ve yapısında kondansatör bulunduran diğer alıcılar gösterilebilir. Binadaki yüklerin reaktif güce etkisi, şekil 5.10’da da gösterildiği üzere mesai saati dışında çalışmaya devam eden kesintisiz güç kaynağından dolayı kapasitif özellikte olduğu, mesai saati içinde ise ağırlıklı olarak sirkülasyon motorlarının çalışmasından dolayı endüktif özellikte olduğu söylenebilir.



Şekil 5.13. Mühendislik fakültesi güç faktörü istatistik grafiği

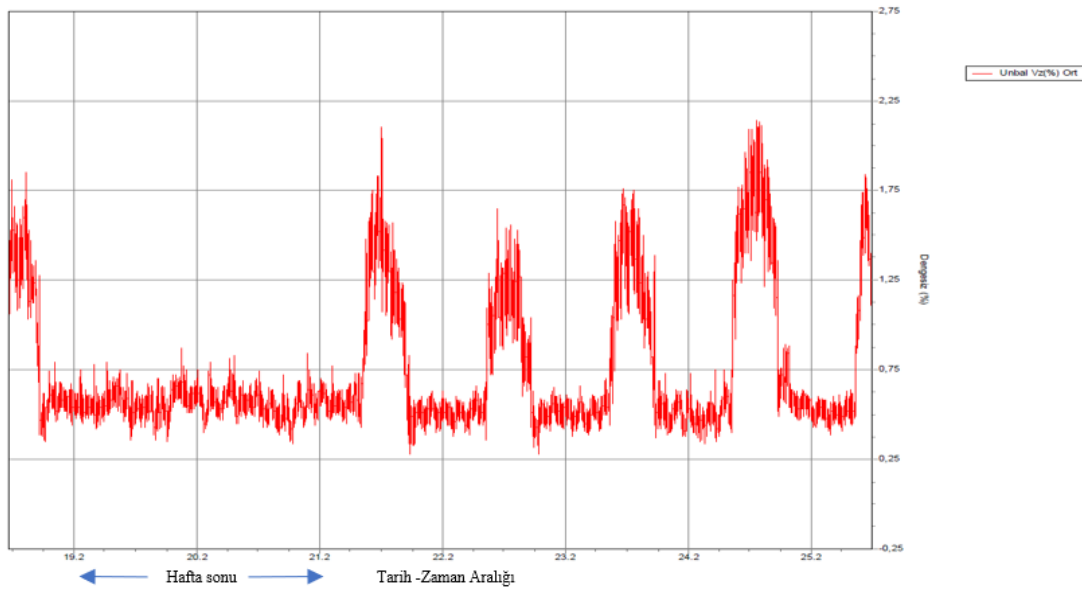
Binanın enerji kalitesi ve enerji verimliliği için yapılan kompanzasyon durum analizi, güç faktörü ölçümleriyle gerçekleştirilmiştir. Binaya ait kompanzasyon panosunda kondansatör grupları ve bunlara seri bağılı harmonik filtreler Şekil 5.13’te gösterilmiş ve binanın reaktif yük profili Şekil 5.12’de gösterilen grafikte ortalama olarak endüktif

yük ağırlıkta olduğu belirtilmiştir. Güç faktörü açısından bakıldığında Şekil 5.13'te gösterilen güç faktörü grafiğinde ortalama güç faktörü 0,96 civarında ideal seviyededir. En düşük güç faktörü değeri 0,80 civarını görmüştür. Kompanzasyon panosunda üç fazlı kondansatör gruplarının devreye girmesi güç faktörü kötü olan fazda iyileştirme sağlarken, diğer fazlarda iyi olan güç faktörünün bozulmasına neden olacaktır. Bu durumun önlenmesi için tek fazlı pasif harmonik filtreli kondansatör gruplarının montajının yapılması, mevcut kondansatör kademeleri ve bunlara seri bağlı pasif harmonik filtrelerin kapasitelerinin düşürülmesi ve kapasitif yükler içinde şönt reaktör gruplarının montajının yapılması güç faktörünü daha da iyileştirecektir.

5.1.6. Mühendislik fakültesi gerilim ve akım dengesizlik durum analizi

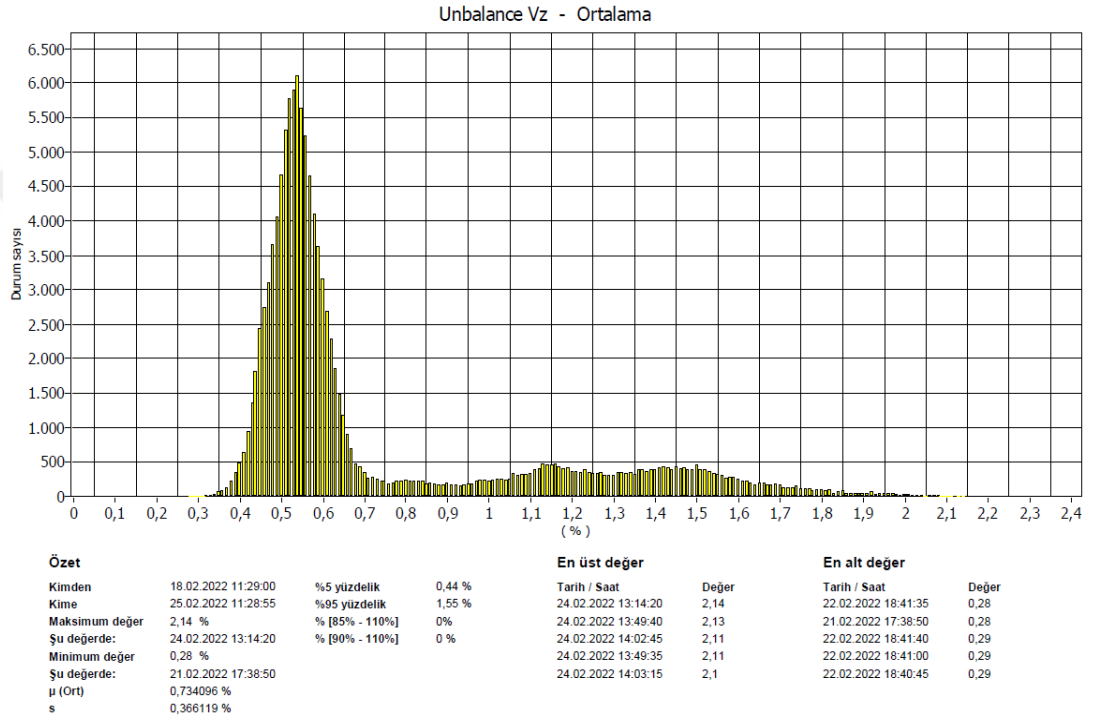
Enerji kalitesini etkileyen dengesizlik bileşeni gerilim ve akım dengesizliği olarak ayrı ayrı incelenmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak zamana bağlı değişimleri çizilmiş ve istatistiksel analizleri yapılmıştır. Her iki durum içinde farklı parametreler ortaya konmuş ve yorumlar yapılmıştır.

Gerilim dengesizliği V_z (%): Mühendislik fakültesinde gerilim dengesizliği bileşeninde 3 fazlı, dengesiz ve 4 kablolu güç sistemlerinde $\%V_z$ ortalama değerine göre gerilim dengesizliği ele alınmıştır. Gerilim dengesizliği hem zaman değişimi grafiği ile hem de istatistiksel grafik verileri kullanılarak analizi yapılmıştır.



Şekil 5.14. Mühendislik fakültesinde zamana bağlı gerilim dengesizliği ($\%V_z$)

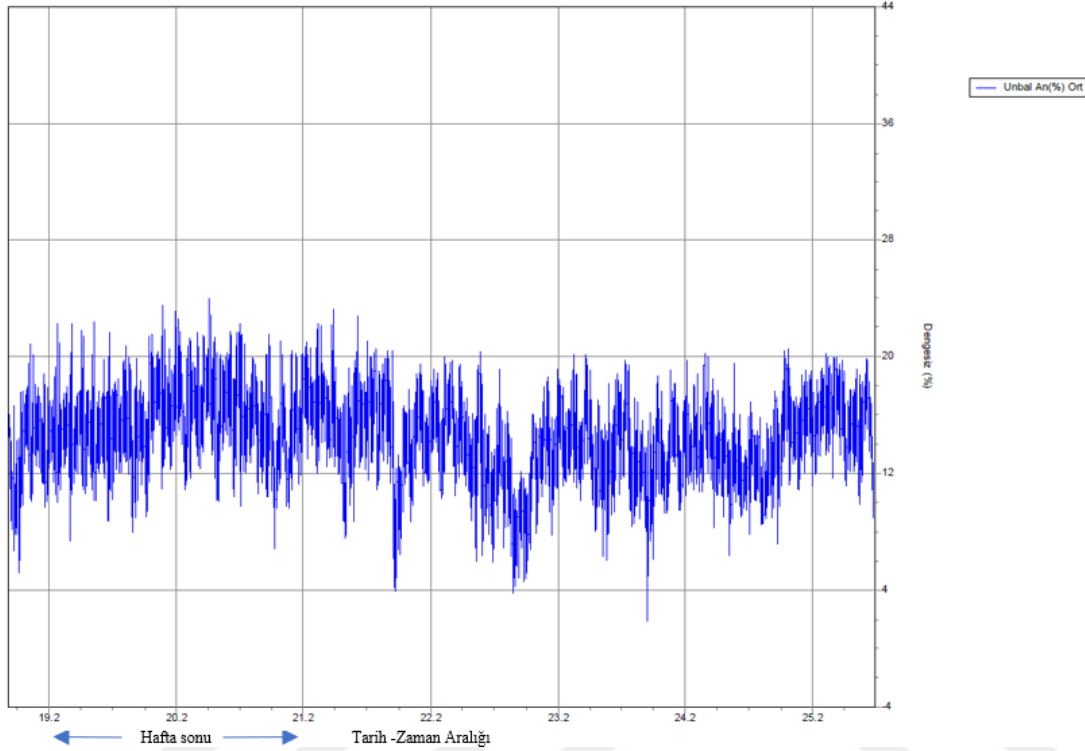
Zamana bağılı gerilim dengesizliği grafiği Şekil 5.14'te gösterilmiştir. Simetrik bileşenler yöntemine göre fazlara ait gerilim dengesizliği mesai saatlerinde belirli zaman dilimlerinde %2 değerlerine ulaşmış fakat mesai saati dışında kalan zamanlarda ortalama %0,50 civarında ölçülmüştür. Gerilim dengesizliği eşik değeri %2 olup bu değer üzerinde gerilim dengesizliklerinde, yapısında bobin sargı bulunan cihazlarda özellikle 'motorlarda' sargı izolasyonunun da delinmeye sebebiyet vermekte ve gürültülü çalışmaya maruz kalmaktadır.



Şekil 5.15. Mühendislik fakültesi gerilim dengesizliği Vz (%) istatistik grafiği

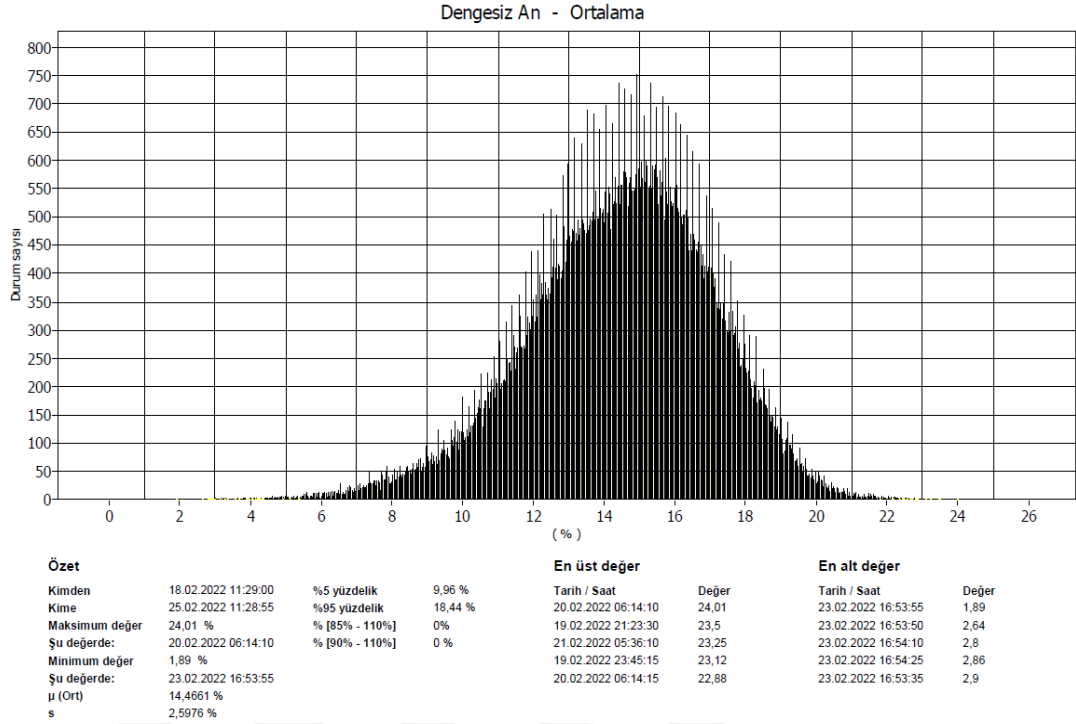
Gerilim dengesizliğine ait ortalama istatistiksel grafiği Şekil 5.15'te gösterilmiştir. Gerilim dengesizliğe ait en üst değer %2,14, ortalama değer %0,73 ve en alt değer %0,28 olarak ölçülmüştür. Mesai saatinde yük kullanımı artığında gerilim dengesizliği sınır değerlere ulaştığı mesai saati dışında ise gerilim dengesizliği kabul görülen değerlerin altında seyrettiği görülmektedir. Genel bilgiler bölümünde bahsedildiği üzere gerilim dengesizliği değerleri sınır değerlerin altında olduğundan kompanzasyon kondansatörlerinde patlama beklenmez ve motor ile üç fazlı doğrultucularda arızalara sebebiyet vermeyecektir. Ayrıca motorlarda ve üç fazlı doğrultucularda normalin üzerinde akım akışına ayrıca üç fazlı yıldız tipi sistemlerde nötr iletkeninden akım geçişine sebebiyet verecektir.

Akım dengesizliği An (%): Akım dengesizliği bileşeninde üç fazlı, dengesiz ve dört kablolu güç sistemlerinde An %'lik ortalama değerine göre mühendislik fakültesinde akım dengesizliği ele alınmıştır.



Şekil 5.16. Mühendislik fakültesindeki zamana bağlı akım dengesizliği %An

Akım dengesizliğine ait zaman çizelgesi Şekil 5.16'da gösterilmiştir. Fazlara ait akım dengesizliği mesai saatlerinde belirli zaman dilimlerinde ortalama %4-%18 civarlarında değerlere ulaşmış, Hafta sonu zaman dilimlerinde ortalama %12-%22 seviyelerinde ölçülmüştür. Materyal ve metot bölümünün akım dengesizlik başlığında bahsedildiği üzere akım dengesizliğinin kabul görülen standart eşik değeri %10'dur. Mesai saatinde binada dengeli yük kullanımı artığında akım dengesizliğinde düşüş yaşandığı, Hafta sonu zaman aralığında akım dengesizliği, kabul görülen standart değer üzerinde seyrettiği görülmektedir.



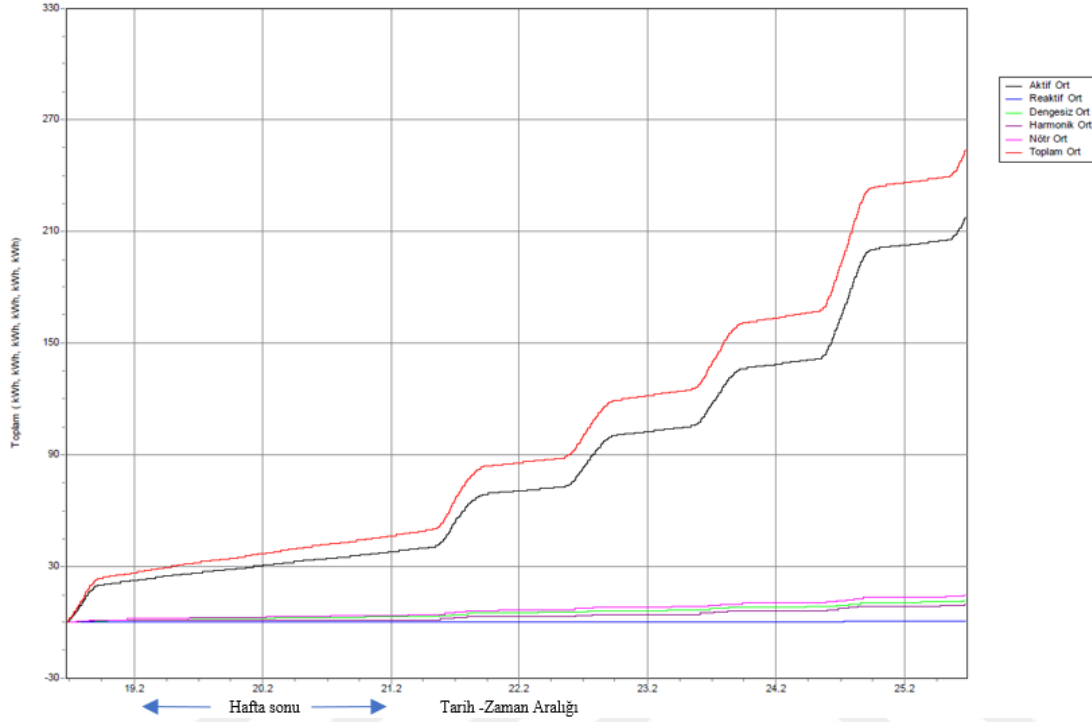
Şekil 5.17. Mühendislik fakültesi akım An (%) dengesizlik istatistiksel grafiği

Akım dengesizliğine ait istatistiksel veriler şekil 5.17' de gösterilmiştir. Akım dengesizliğine ait en üst değer %24,01, ortalama değer %14,46 ve en alt değer %1,89 olarak ölçülmüştür. Ortalama akım dengesizliği kabul görülen sınır değerinin (%10) üzerindedir. Akım dengesizlikleri 3 fazlı sistemlerde akımın, nötr üzerinden geçişine sebebiyet verecek ve nötr iletkeninde ısınma ile kayıplara yol açacaktır. Akım dengesizliğinin önlenmesi için dengeli yük sisteminin oluşturulması özellikle de tek fazlı alıcıların sisteme dengeli bir şekilde dağıtılması gerekmektedir.

5.1.7. Mühendislik fakültesi enerji kaybı ve enerji tüketim durum analizi

Enerji kalitesi üzerinde etkisi olan faktörlerin (harmonikler, güç ve güç faktörü, dengesizlik) toplam enerji kayıpları üzerindeki olumsuz etkisi, beş farklı bileşen olarak incelenmiştir. Bu bileşenler aktif enerji kaybı, reaktif enerji kaybı, dengesizlik enerji kaybı, harmonik enerji kaybı ve nötr iletkeni üzerinden geçen akımlardan dolayı oluşan enerji kaybıdır. Ayrıca, binanın enerji tüketim durumu hakkında bilgi edinmek için aktif enerji ve reaktif enerji tüketimini gösteren bir grafik kullanılmış ve bir haftalık tüketimin aktif-reaktif oranı da analiz edilmiştir.

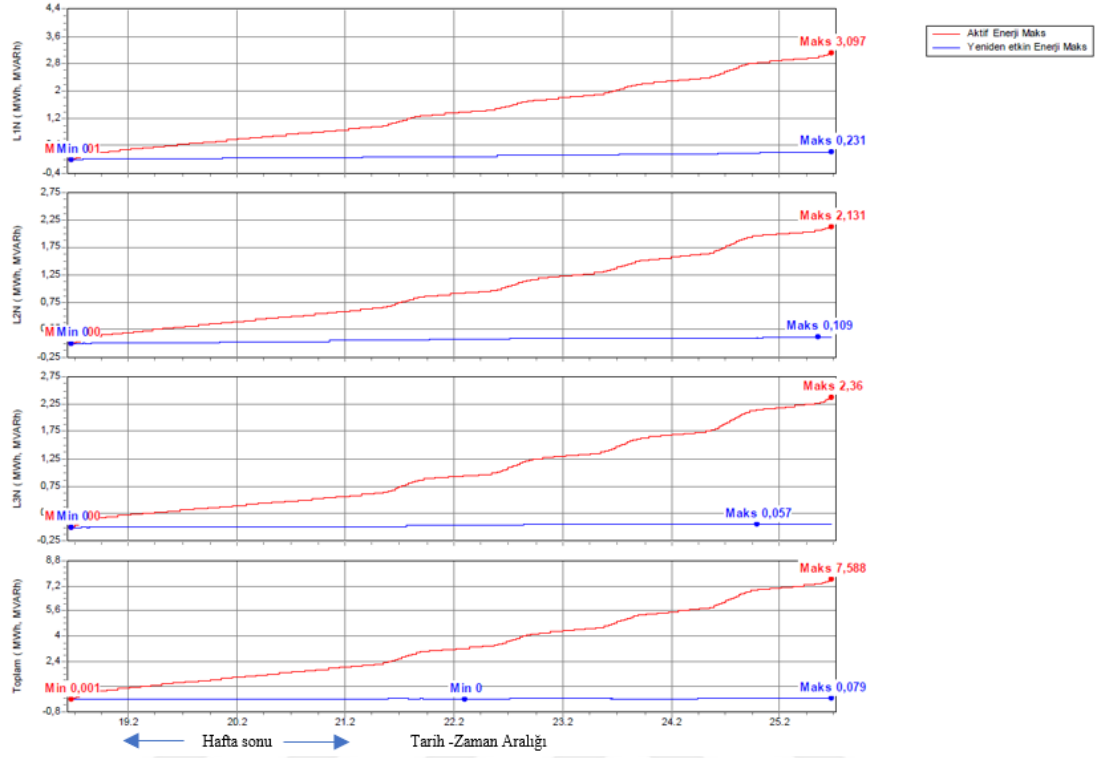
Enerji kaybı: Binanın elektrik enerjine ait enerji kaybı beş bileşen olarak ölçümü yapılarak hesap edilmiş ve toplam enerji kaybı verileri işlenmiştir. Kayıp enerjinin en çok hangi bileşende olduğu tespit edilerek çözüm önerilerinde bulunulmuştur.



Şekil 5.18. Mühendislik fakültesi enerji kaybı zaman çizelgesi grafiği

Enerji kayıplarını oluşturan bileşenler zamana bağlı olarak Şekil-5.18'de gösterilmiştir. Mühendislik fakültesinde enerji kaybına neden olan en önemli etken aktif güç kullanımına bağlı olup siyah renk ile gösterilmiştir. Hafta sonu enerji kaybı bileşenleri yatay pozisyonda ilerlemiş. Hafta içi mesai saatlerinde enerji kaybı binadaki cihazların devreye girmesiyle birlikte dikey pozisyonda artış göstermiştir. Aktif enerji kayıpları, elektrikli cihazların verimlilik kaybı ve iletimi sağlayan kablolar üzerinde oluşan kayıpların toplamı olarak ifade edilebilir. Haftalık olarak toplam enerji kaybı 255 kWh olup aktif enerji kaybı ortalama 215kWh olarak hesaplanmıştır. 40 kWh enerji kaybı reaktif, dengesiz, harmonik, nötr enerji kayıpları olarak ölçülmüştür. Bu tez çalışmasında elektrik enerjisinin birim fiyat bedeli 0,17\$ olarak baz alınmış ve yıl bazında ortalama toplam enerji kaybı: $(56 \text{ hafta} \times 255 \text{ kWh} \times 0,17\$) = 2.470,44\$$ olarak hesap edilmiştir.

Aktif ve reaktif enerji tüketimi:

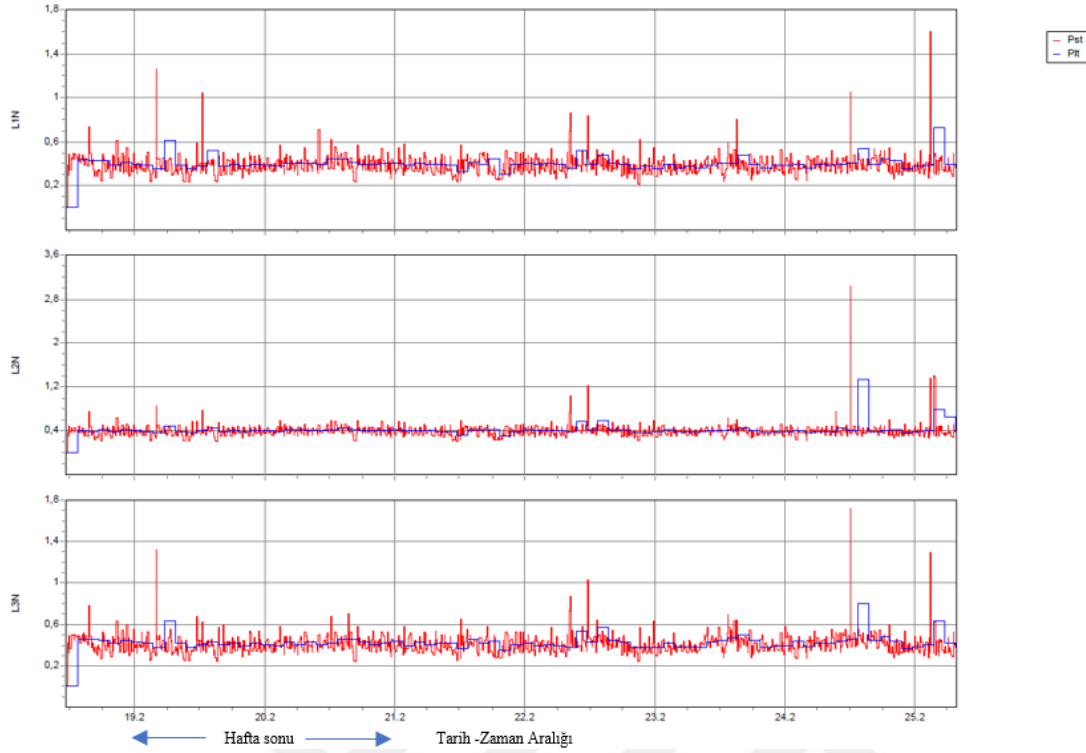


Şekil 5.19. Mühendislik fakültesine ait aktif ve reaktif enerji tüketim çizelgesi

Enerji tüketiminin her bir faza ait ve toplam tüketimlerini bir haftalık periyot boyunca Şekil 5.19’da gösterilmiştir. Fazlara ait enerji tüketimlerinde dengesiz bir enerji tüketimi yaşandığı görülmektedir. Aktif ve yeniden etkin enerji (reaktif enerji) tüketimlerinin oransal değerlendirmesi sonucu EPDK’nın belirlemiş olduğu reaktif enerji tüketim oranları kapasitif/reaktif için %15, endüktif/reaktif için %20 dir. Şekil 5.12’de reaktif güç istatistik grafiğinde bina yük tipi endüktif/reaktif özellikte olduğu ve yasal sınır değerini aşılmadığı anlaşılmaktadır. Reaktif enerji tüketiminin aktif enerji tüketimine oranı yüzdesel olarak hesaplanmış (reaktif/aktif enerji x100) ve %1,04 aktif güce göre reaktif enerji tüketimi olmuştur. Bu grafik mühendislik fakültesi enerji tüketimine göre güç faktörünün istenilen değerlerde olduğunu teyit etmektedir.

5.1.8. Mühendislik fakültesi titreşim durum analizi

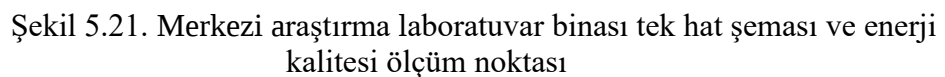
Mühendislik fakültesi binası titreşim durumu iki aşamalı olarak Fluke 435-II enerji analizör cihazıyla ölçülmüştür. Fliker iki aşamalı olarak ölçülmüş olup kısa süreli şiddet Pst 10 dk üzerinden ve uzun süreli şiddet Plt iki saat üzerinden hesaplanmış ve ölçümler bir haftalık periyotta ölçülmüştür.



Şekil 5.20. Mühendislik fakültesi fliker (Pst, Plt) zaman çizelgesi

Mühendislik fakültesi binasının enerji kalitesini etkileyen faktörlerden fliker Şekil 5.20’ de gösterilmiştir. IEC 61000-2-2 fliker uyumluluk seviyesini kısa dönem fliker için uyumluluk seviyesi (Pst) 0,8, uzun dönem fliker için uyumluluk seviyesi (Plt) 1 dir. Pst: kısa süreli titreme kırmızı, Plt: uzun süreli titreme mavi renk ile belirtilmiş ve bir haftalık zaman çizelgesinde gösterilmiştir. Fazlara ait fliker durumu incelendiğinde L1 ve L3 fazlarında fliker değerleri L2 fazına göre yüksek değerlerde seyretmiştir fakat uyumluluk seviye nezdinde bakıldığında ortalama olarak L1, L2 ve L3 fazlarında Pst değeri sırasıyla 0,38, 0,39, 0,40 değerlerinde ölçülmüştür. L1, L2 ve L3 fazlarına ait ortalama Plt değeri sırasıyla 0,40, 0,42, 0,42 olarak ölçülmüştür. Kısa süreli yükselmeler yük karakteristiği ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Ölçüm sırasında binada ani elektrik enerji kesintisi yaşanmamış olup mesai saatleri içerisinde yük kullanımına bağlı olarak fliker değerlerinde ani yükselmeler gözlenmiş, mesai saati dışında kalan zamanlarda fliker değerlerinde ani bir değişim gözlenmemiş olup fliker değerlerinin standart seviyelerde olmasından dolayı binalarda kullanılan aydınlatma armatürleri, insanların sağlıklı bir ortamda baş ağrısı vb. sağlık sorunları oluşturmadan çalışmasını sağlayacaktır.

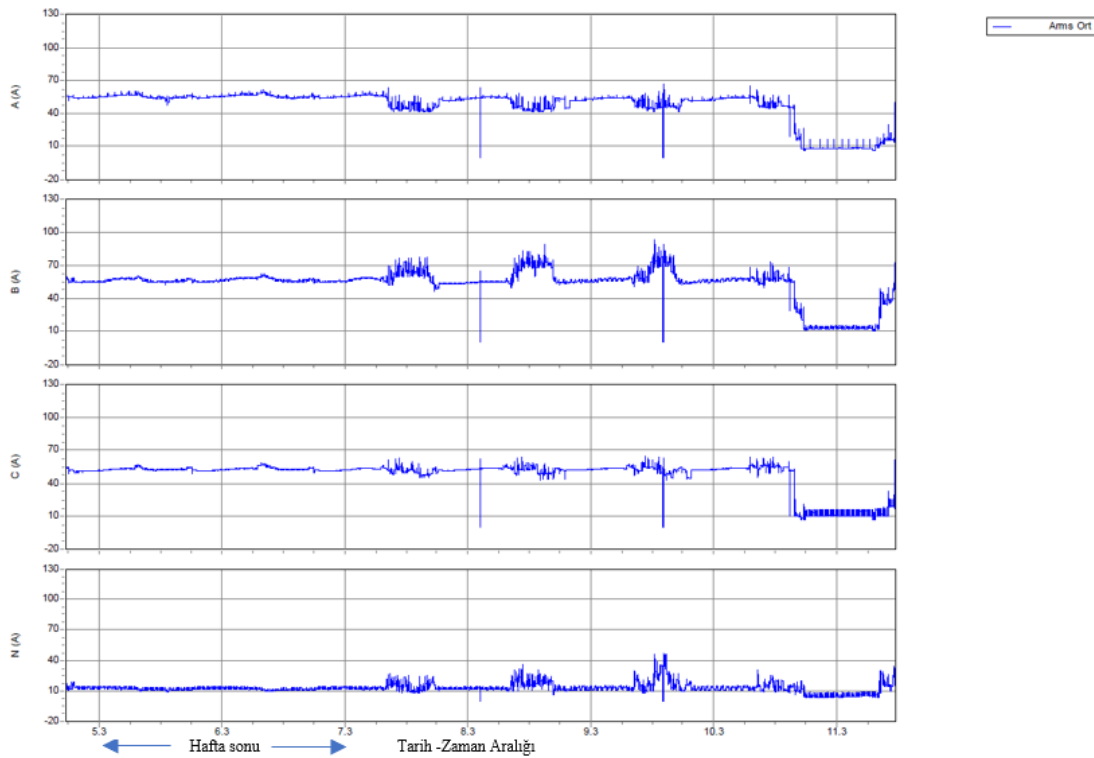
Yalova Üniversitesi Merkezi Araştırma TR-B4 kodlu 1600 kVA trafodan elektrik enerji ihtiyacını sağlamaktadır. Bina ana giriş enerji barasından 04.03.2022-11.03.2022 tarihleri arasında Fluke 435-II enerji analizör cihazıyla bir haftalık ölçüm yapılmıştır. Binaya ait ikincil enerji kaynağı, kesintisiz güç kaynağı ve elektriksel yüklere ait bilgiler şu şekildedir; 200 kVA gücünde dizel jeneratör, 200 kVA gücünde 7/24 çalışan kesintisiz güç kaynağı, ısıtma sistemine ait endüstriyel kombiler ile frekans inverterli-invertersiz sirkülasyon pompa-motorları, soğutma sistemine ait hava soğutmalı (Chiller) dış ünite-fancoil hava üflemleri iç üniteleri ve bunlara bağlı frekans inverterli-invertersiz sirkülasyon pompaları mevcuttur. Aydınlatmada 4x18 Watt mekanik balastlı floresan armatürler, ofisler ve sınıflarda bilgisayarlar, yazıcılar, projeksiyon cihazları, laboratuvar cihazları bulunmaktadır. İçecek ve yiyecek otomat cihazları sürekli çalışır vaziyette olup lavabo-tuvalet mahallerinde havalandırma fanları ve diğer elektrikli yükler bulunmaktadır. Bina ana pano ölçüm noktası ve yük durumu tek hat şeması üzerinde Şekil 5.21’de gösterilmektedir.



Merkezi Araştırma Laboratuvarı binası akım, gerilim, aktif güç, reaktif güç, güç faktörü, akım ve gerilim harmoniklerinden 3-5-7'nci harmonik mertebeler ile toplam harmonik bozunumu, dengesizlik, enerji kaybı ve enerji tüketimi, fliker açısından Pst ve Plt değerlerinin istatistik değerleri üzerinden zaman çizelgesi grafiğinde gösterimi ile kabul görülen değerlere göre kıyaslanması ve analizi yapılmıştır.

5.2.1. Merkezi araştırma laboratuvarı akım değerlerinin analizi

Binanın enerji kalitesi ölçümleri için, binanın tükettiği elektrik yüklerinin çektiği Rms akım değerlerinin zamana bağlı değişiminin analiz edilmesi gerekmektedir.



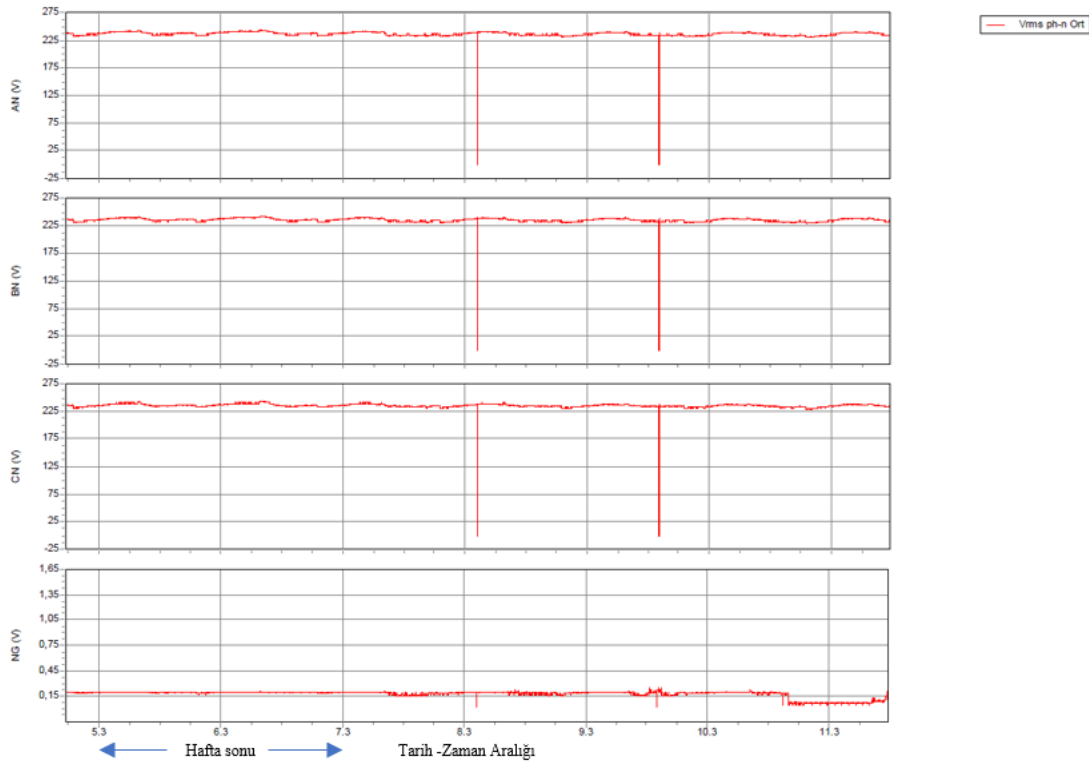
Şekil 5.22. Merkezi araştırma laboratuvarına ait üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği

Merkezi Araştırma Laboratuvarı binasında A-B-C fazları ve nötr akımına ait değerlerinin zaman çizelgesi şekil 5.22’de gösterilmiştir. Fazlara ait akım değerleri incelendiğinde her faza ait akım değerleri değişkenlik gösterdiği görülmektedir. A fazına ait akım grafiği ve istatistiksel verilerin analizi neticesinde 09.03.2022 tarihinde saat 14:00-14:30 aralığında akımın en üst değeri 67,3 amper olduğu, en alt değerinin enerji kesintisinden dolayı 0,03 amper olduğu, ortalama akım değerinin ise 47,3 amper olarak ölçüldüğü gözlemlenmiştir. B fazına ait akım verilerinde 09.03.2022 tarihinde

saat 14:30-15:00 aralığında akım en üst değeri 93,30 amper olduğu, en alt akım değerinin enerji kesintisinden dolayı 0,02 amper olduğu, ortalama akım değerinin 53 amper olarak ölçüldüğü gözlemlenmiştir. C fazına ait akım verilerinde 09.03.2022s tarihinde saat 10:00-10:30 aralığında akım en üst değeri 65 amper olduğu, en alt akım değerinin enerji kesintisinden dolayı 0,02 amper olduğu, ortalama akım değerinin 47,6 amper olarak ölçüldüğü görülmektedir. Mesai saatleri içerisinde elektrik yük kullanımının artmasıyla akım değerlerinde artış yaşanmış fakat 10.03.2022 tarihinde saat 15:00-15:30 zaman aralığında 200 kVA Ups cihazının online moddan bypass moda alınması sonucu Ups aktif güç tüketimi azalarak akım düşüşü yaşandığı bariz olarak görülmektedir. Ups cihazına bağlı yükler şebeke enerjisini kullanmasına rağmen akımda yaşanan bu düşüş Ups cihazının harcamış olduğu enerjiden dolayıdır. 11.03.2022 tarihinde 11:00-11:30 zaman aralığında Ups cihazının bypass moddan online moda alınmasıyla akımda bariz bir yükseliş görülmektedir. Mesai saat dışında elektrik yük kullanımının azalmasıyla akım değerlerinde azalış yaşandığı görülmektedir. Her bir faza ait ortalama akım değerleri değişkenlik göstermiş olup dengeli bir yük dağılımı söz konusu değildir. Nötr hattı üzerinden akan akım değeri incelendiğinde en üst akım değerini 09.03.2022 tarihinde saat 14:00-14:30 aralığında 47,2 amper olduğu en alt akım değerinin enerji kesintisinden dolayı 0,02 amper olduğu ortalama nötr hattı üzerinden geçen akım değerinin de 12,76 amper olarak ölçüldüğü gözlemlenmiştir. Akım verileri incelendiğinde akım dengesizliğinden dolayı her bir faza ait akımda farklılıklar olduğu bu farkta nötr hattı üzerinden akım akmasına sebebiyet verdiği görülmektedir.

5.2.2. Merkezi araştırma laboratuvarı gerilim değerlerinin analizi

Binanın enerji kalitesi ölçümleri için, binanın her bir fazındaki gerilim Rms değerlerinin, zaman içinde ölçülen akım değerleriyle ilişkisini anlamak ve yorumlamak oldukça önemlidir. Bu nedenle, bu değişimlerin dikkatle izlenmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir.



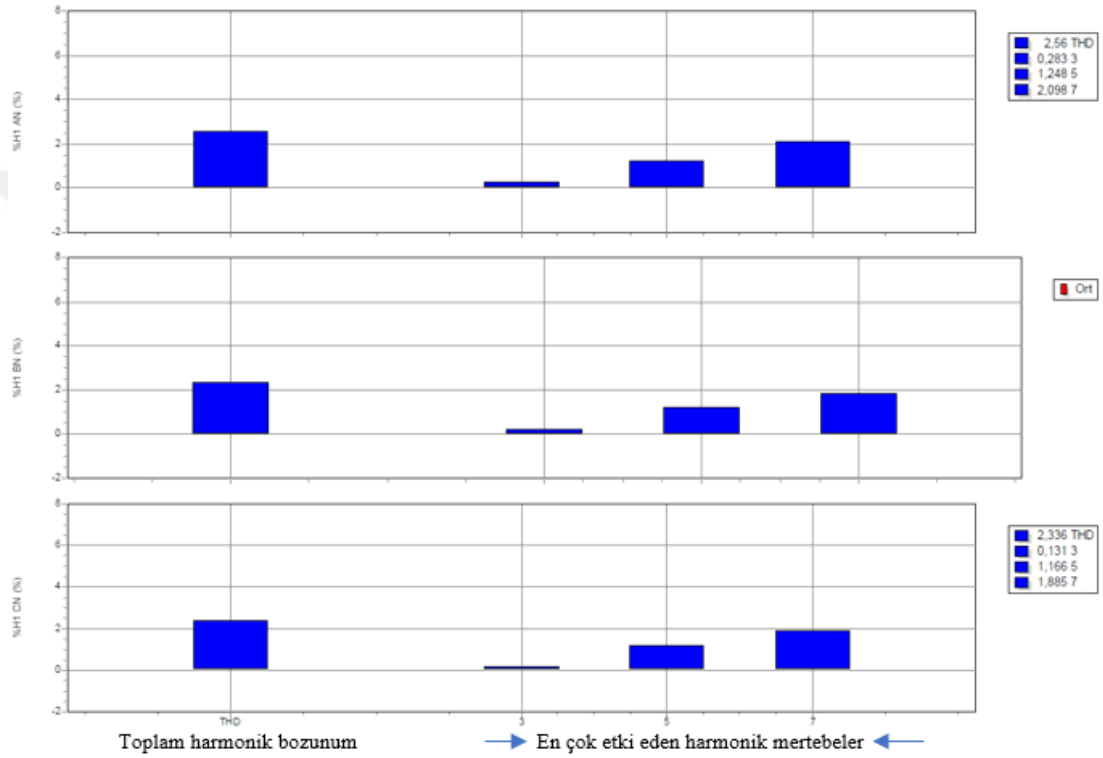
Şekil 5.23. Merkezi araştırma laboratuvarına ait gerilimin üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği

Merkezi Araştırma Laboratuvarı binasında A-B-C fazları ve nötr'e ait gerilim değerlerinin zaman çizelgesi şekil 5.23'te gösterilmiştir. Ölçümler sırasında iki defa gerilim düşüşü yaşandığı ve sebebinin elektrik enerji kesintisi olduğu anlaşılmaktadır. Fazlara ait ortalama en yüksek gerilim değerlerinin 06.03.2022 tarihinde saat 07:00-07:30 zaman aralığında 240-243 volt olduğu en alt gerilim değerinin ise 09.03.2022 tarihinde saat 14:00-14:30 zaman aralığında 0 volt olarak ölçüldüğü görülmüştür. Ortalama gerilim değeri 234-235 volt aralığındadır. Mesai saatleri içerisinde elektrik yük kullanımının artmasıyla gerilim değerlerinde düşüş yaşanmış, mesai saat dışında kalan zaman dilimlerinde elektrik yük kullanımının azalmasıyla gerilim değerlerinde artış yaşanmıştır. Faz gerilimlerinin 243 volt değerinde olduğu anlarda devrede olan alıcıların güç kaynağı gerilim tolerans değerini aşması halinde alıcı cihazlarda arızalara sebebiyet vermesi düşünülmektedir. Zaman çizelgesinde nötr- toprak arası gerilim değeri incelendiğinde mesai saati içerisinde yük kullanımına bağlı olarak en yüksek 0,25 volt civarında olduğu mesai saati dışında kalan zaman dilimlerine bakıldığında en alt değer 0,02 volt olarak ölçüldüğü gözlemlenmiş ve ortalama nötr-

toprak gerilimi 0,17 volt olarak ölçülmüştür. Nötr-toprak arası gerilim değeri standart değere göre ideal seviyede kalmıştır.

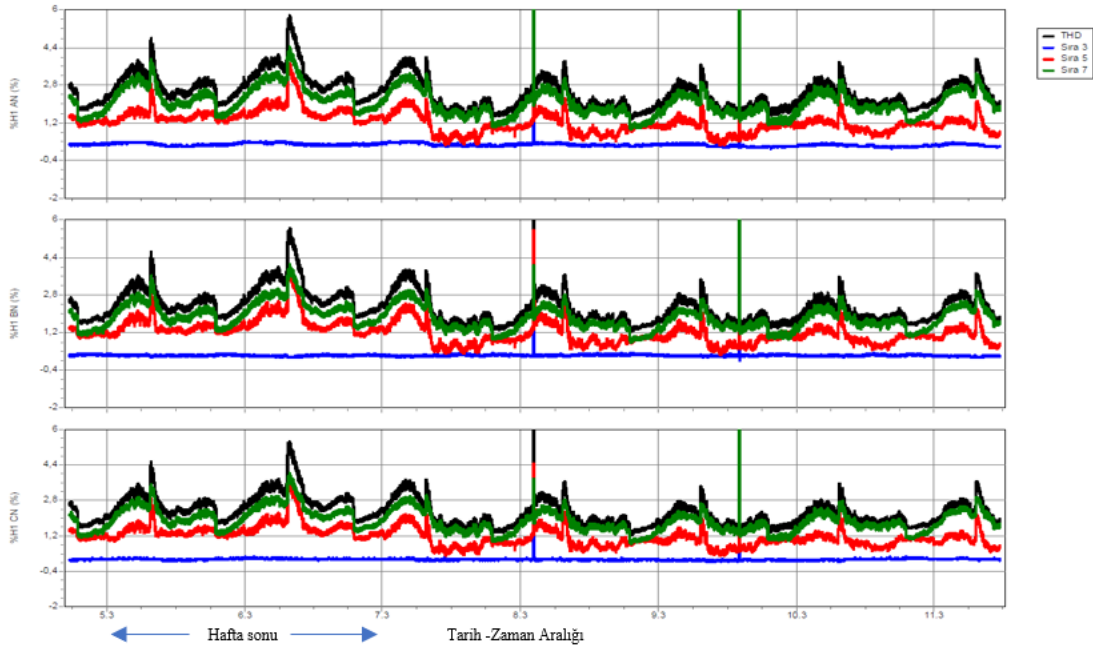
5.2.3. Merkezi araştırma laboratuvarı gerilim harmonik analizi

Binanın enerji kalitesi ölçümleri için, her bir fazdaki toplam harmonik değerlerinin, 3-5-7'nci derecelerdeki histogram grafikler üzerinde analizi yapılarak gerilim harmonik durumunun tespit edilmesi büyük bir önem taşımaktadır.



Şekil 5.24. Merkezi araştırma laboratuvarına ait gerilim harmoniklerinin histogram grafiği

Merkezi araştırma laboratuvarı gerilim harmonik ölçümlerini gösteren histogram grafiği Şekil 5.24'te sunulmuştur. Ortalama toplam gerilim harmonik değerlerinin her bir faz için kabul edilen standart değerlerin altında olduğu görülmektedir. A fazı için ortalama gerilim harmonik değeri %2,56, B fazı için ortalama gerilim harmonik değeri %2,35 ve C fazı için ise ortalama toplam gerilim harmonik değeri %2,33 olarak belirlenmiştir.

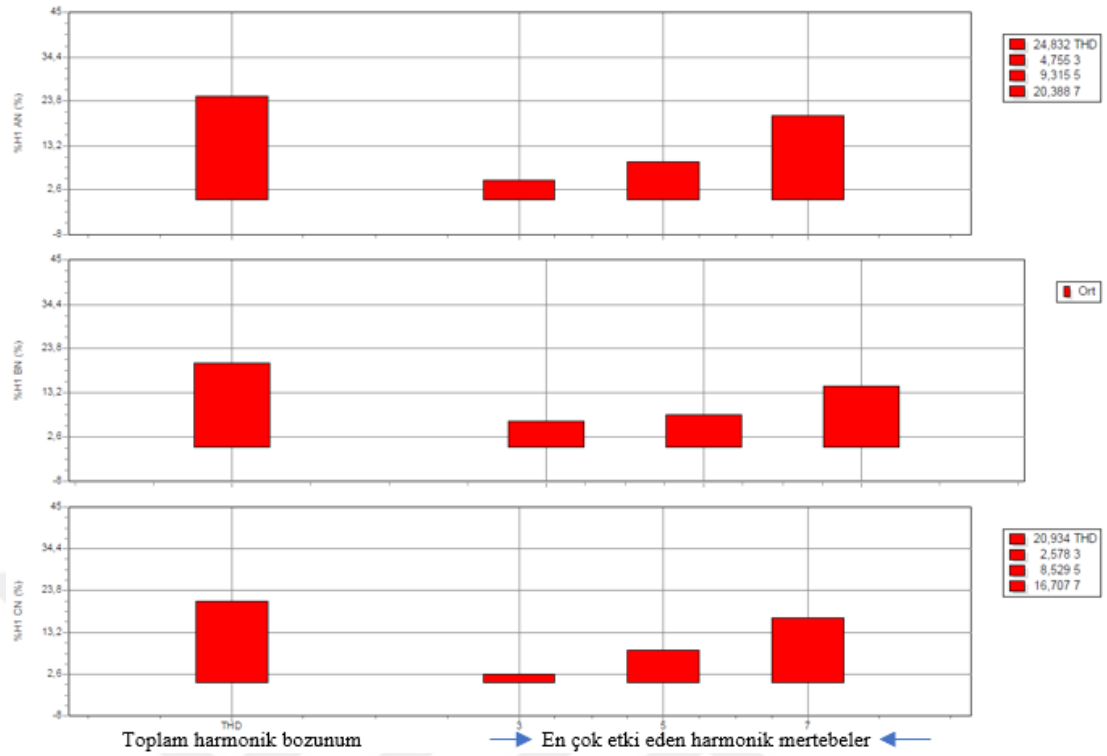


Şekil 5.25. Merkezi araştırma laboratuvarına ait her bir fazın gerilim harmoniği zaman çizelgesi

Şekil 5.25'te gösterilen ölçüm sonuçlarına göre, zamana bağlı olarak 3., 5. ve 7. mertebe toplam gerilim harmonikleri incelenmiştir. Siyah renk toplam gerilim harmonik bozunumunu, mavi renk 3. mertebe, kırmızı renk 5. mertebe, yeşil renk ise 7. mertebe harmonik seviyesini göstermektedir. Mesai saatleri içinde toplam gerilim harmonik bozunum seviyesi her bir faz için kabul görülen seviyenin ($THD_v \geq 5\%$) üzerine çıkmamıştır. Mesai saatleri dışındaki zaman dilimlerinde toplam gerilim harmonik seviyesi kabul görülen seviyeyi aşmış olduğu ayrıca gerilim harmonik mertebeleri incelendiğinde mesai saati dışında yük kullanımının azalmasıyla 5. ve 7. harmonik seviyesinin arttığı gözlemlenmiştir ayrıca 3. mertebe harmonik seviyesinin etkisinin çok az olduğu görülmüştür. Binanın enerji kalitesi açısından gerilim harmoniklerinin sönümlenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

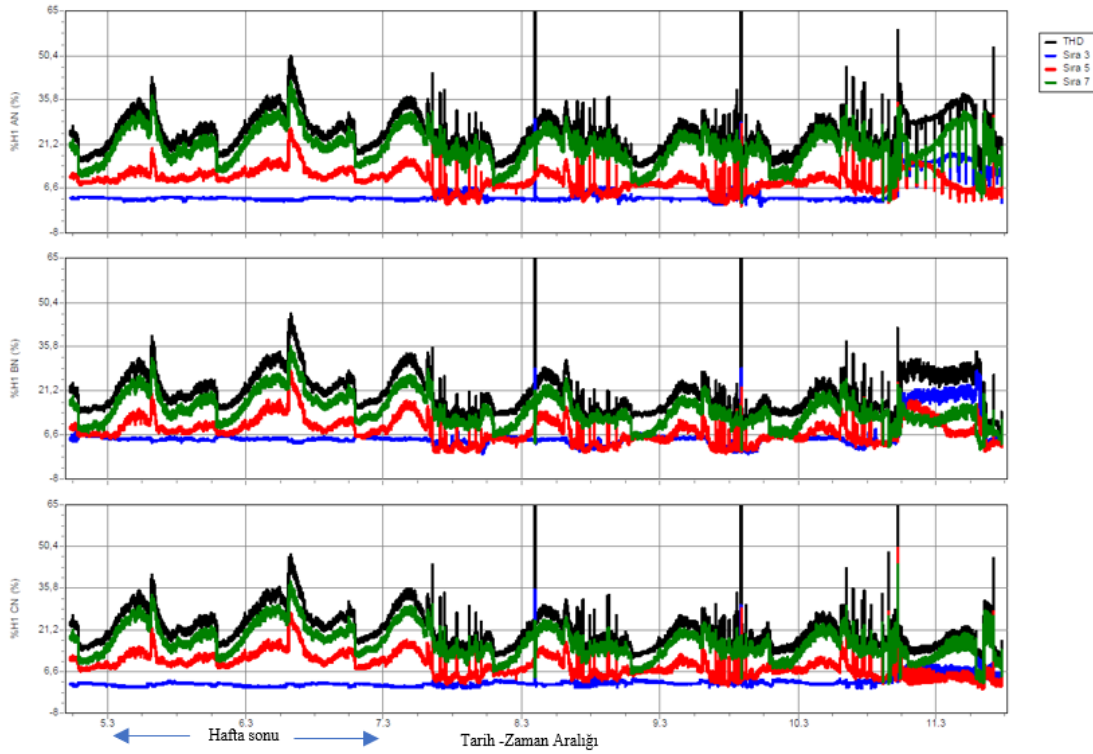
5.2.4. Merkezi araştırma laboratuvarı akım harmonik analizi

Binaya ait akımın harmonik değerleri ölçülmüş ve akım harmoniğine ait bileşenlerin istatistiksel verileri kullanılarak, en yüksek ve en düşük değerlerin hangi zaman aralıklarında yaşandığı belirlenmiştir ve standart değerlerle karşılaştırılmıştır. Binaya ait akım harmonik değerleri hakkında yapılan ölçümler ve analizler hakkında bilgi verilmiştir.



Şekil 5.26. Merkezi araştırma laboratuvarına ait akım harmoniklerinin histogram grafiği

Mühendislik fakültesi binası akım harmonik değerlerinin histogram görünümü Şekil 5.26’da gösterilmiştir. A, B ve C fazlarına ait harmonik değerler toplam, 3.mertebe, 5.mertebe ve 7.mertebe olarak belirtilmiştir. Binanın toplam akım harmonik değerleri incelendiğinde tüm fazlardaki harmonik seviyenin kabul görülen değerin üzerinde olduğu görülmüştür. Akım harmoniğinin en çok etkileyen 7. mertebe harmonik seviye olup binada herhangi harmonik filtreleme sistemi de bulunmamaktadır. Akım harmoniğinin aktif veya pasif filtre tasarımıyla istenilen değerlere düşürülmesi sağlanmalıdır.



Şekil 5.27. Merkezi araştırma laboratuvar binasına ait her bir fazın akım harmoniği zaman çizelgesi

Merkezi araştırma laboratuvar binasına ait akım harmonik değerlerinin zaman çizelgesi gösterimi Şekil 5.27'de, yer almaktadır. Hafta sonu akım harmonik grafiğinde ani değişimler yaşanmamış fakat bina yük kullanımının az olmasına rağmen akım harmoniği standart seviyenin üzerinde seyrettiği görülmektedir. Hafta içi mesai saatlerinde 5. ve 7. akım harmonik bozunum değerlerinde ani yükseliş ve düşüşler yaşanmıştır. Binada bulunan elektrik yüklerinin karakteristik özelliğinden dolayı akım harmoniğinde artışlar görülmektedir. Bina'nın kompanzasyon panosunda, pasif harmonik filtreli kondansatör grupları mevcut değildir. Kompanzasyon işlemi sadece kondansatör blokları ile yapılmış dolayısıyla akım harmoniğinde herhangi bir düzeltme faktörü oluşmamaktadır. Ölçüm esnasında hafta içi perşembe günü 200 kVA kesintisiz güç kaynağı saat 16:00'da şebeke beslemesine alınmış (Bypass) ve cuma günü ölçüm sonuna kadar bypass modda çalıştırılmıştır. Ups cihazı online moddan çıkmasıyla cihaza bağlı olan yüklerin oluşturduğu akım harmonikleri fazlarda akım harmonik dengesizliğine yol açmıştır. A fazında harmonik salınım ani yükseliş ve düşüşler, B fazında stabil ve standart değerin üzerinde harmonik salınım, C fazında ise akım harmoniğinde düşüş yaşandığı görülmüştür.

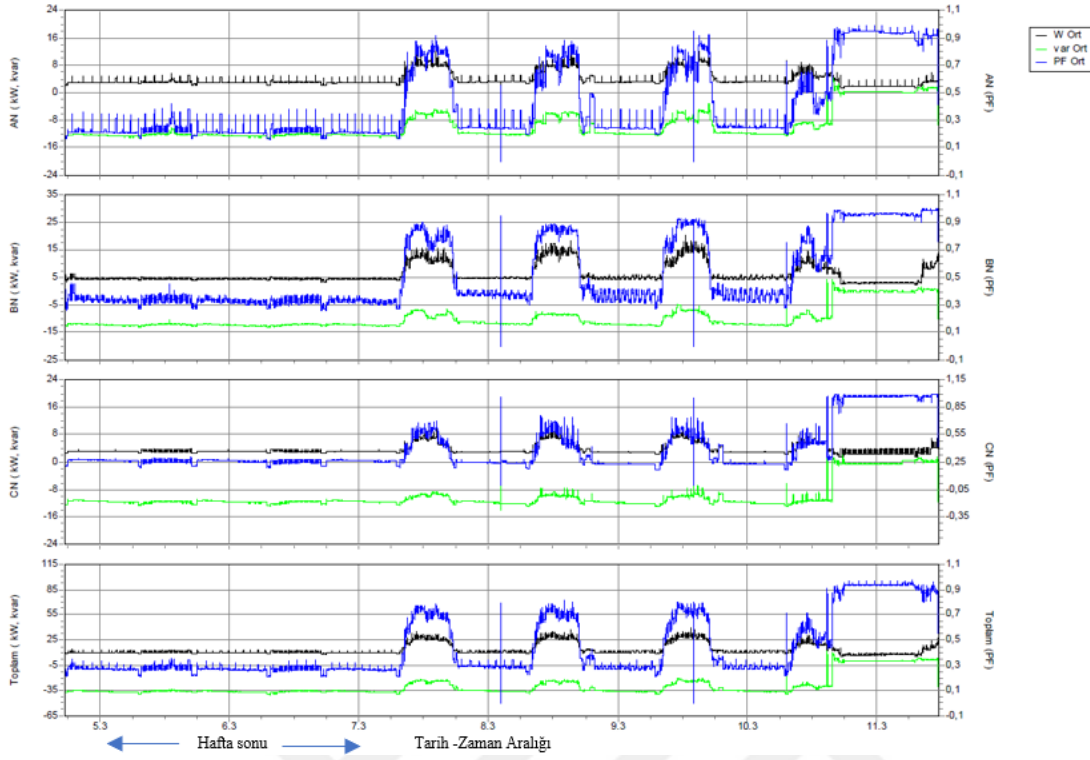
5.2.5. Merkezi araştırma laboratuvarı güç ve kompanzasyon durum analizi

Binanın kompanzasyon panosunda koruma amaçlı bıçaklı sigortalar, kontaktör grupları, kondansatör grupları mevcut olup herhangi harmonik filtre uygulaması mevcut değildir.



Şekil 5.28. Merkezi araştırma laboratuvarı kompanzasyon panosu

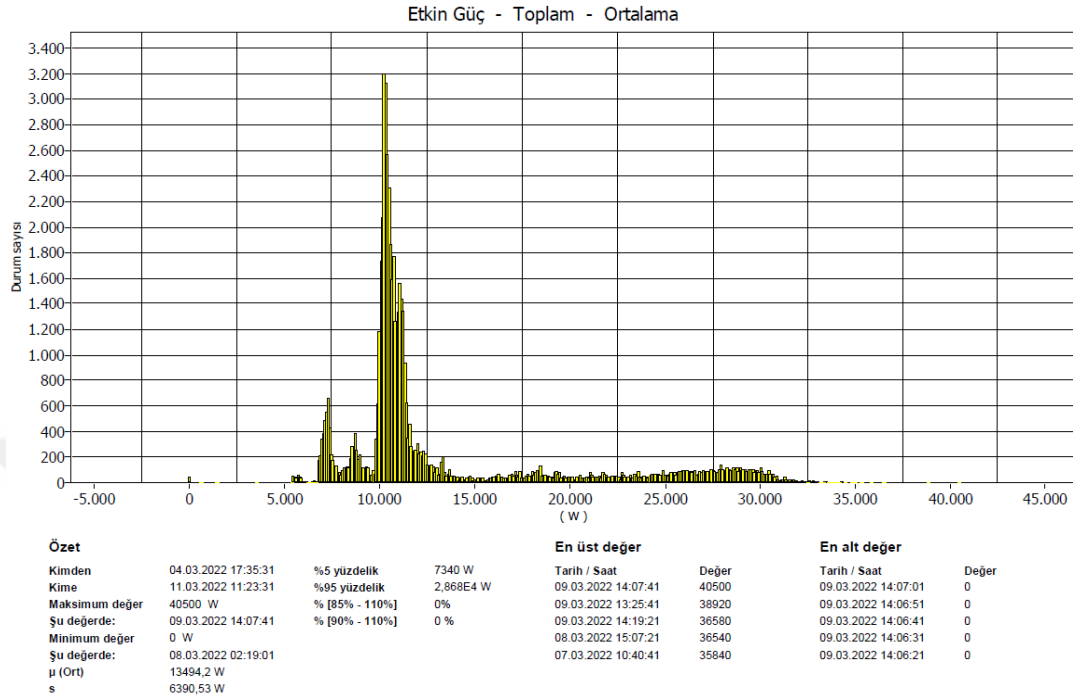
Kompanzasyon sistemi için tasarlanmış ve 15 kademeli panonun bir bölümü Şekil 5.28’de gösterilmiştir. Kondansatör kademe güçleri bina yük karakteristiğine göre yüksek seçilmesinden ve bina yük profilinin kapasitif özellikte olmasından dolayı ölçüm boyunca devreye girmediği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.29. Merkezi araştırma laboratuvarı aktif, reaktif ve güç faktörü zaman çizelgesi grafiği

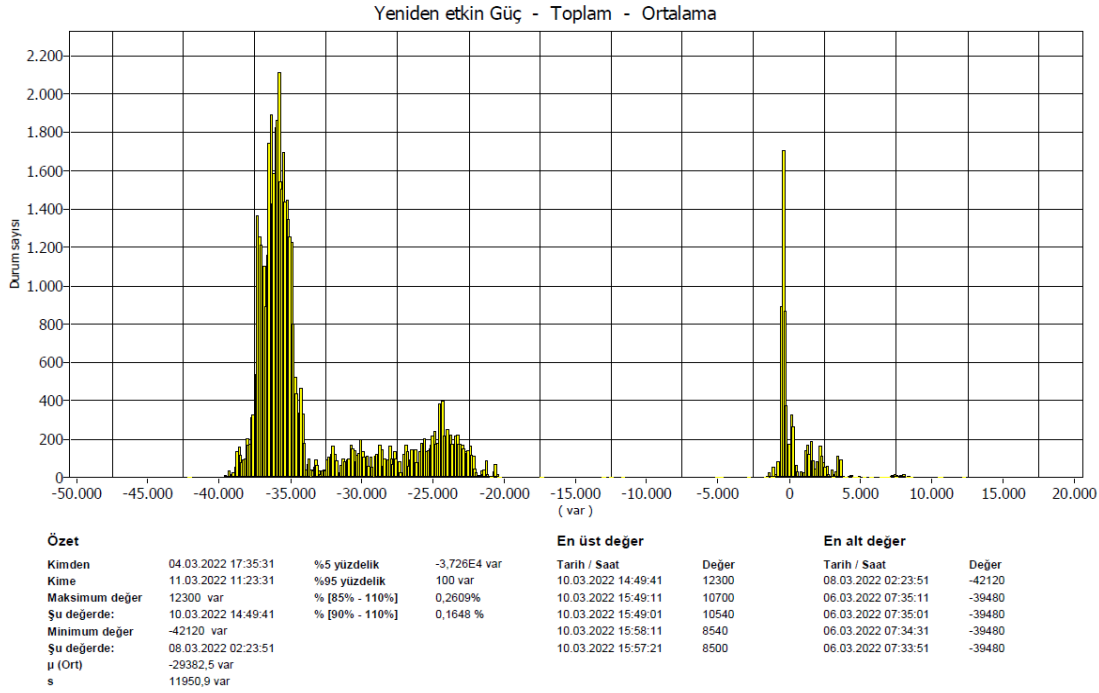
Binanın aktif, reaktif ve güç faktörü değerlerine ait zaman çizelgesi Şekil 5.29'da gösterilmiştir. Etkin güç siyah, reaktif güç yeşil ve güç faktörü mavi renk ile belirtilmiştir. Mesai saatlerinde etkin güç kullanımının artmasıyla ortalama olarak reaktif güç için A, B ve C fazlarında kapasitif yük profilinden endüktif yük profiline geçiş gözlemlenmiştir. Mesai saati dışında kalan zaman dilimlerinde ise kapasitif yük karakteristiğinde güç çekimi olmuştur. Kesintisiz güç kaynağının 10.03.2022 Perşembe günü saat 16:00'da bypass moduna alındığı zaman diliminde aktif güçte cihazın harcadığı enerjiden dolayı düşüş gözlemlenmiş, reaktif güçte de bariz olarak kapasitif özellikten endüktif özelliğe geçiş söz konusu olmuştur. Güç faktörü açısından bakıldığında mesai saati zaman dilimlerinde özellikle mekanik balastlı armatürlerin ve sirkülasyon pompa-motorlarının devreye girmesiyle standart değere (0.95-0.9) yaklaşıp da arzu edilen değerlere ulaşmamıştır. Mesai saatleri dışında kalan zaman dilimlerinde özellikle de hafta sonunda güç faktöründe, kesintisiz güç kaynağı cihazının etkisiyle ortalama olarak 0,25-0,30 değerlerine kadar düşüş gözlemlenmiştir. Kesintisiz güç kaynağının online moddan bypass moduna alınmasıyla güç faktöründe

mesai saati içinde ve mesai sonrası zamanlarda (0,9-0,98) standart değerlere ulaşılmıştır.



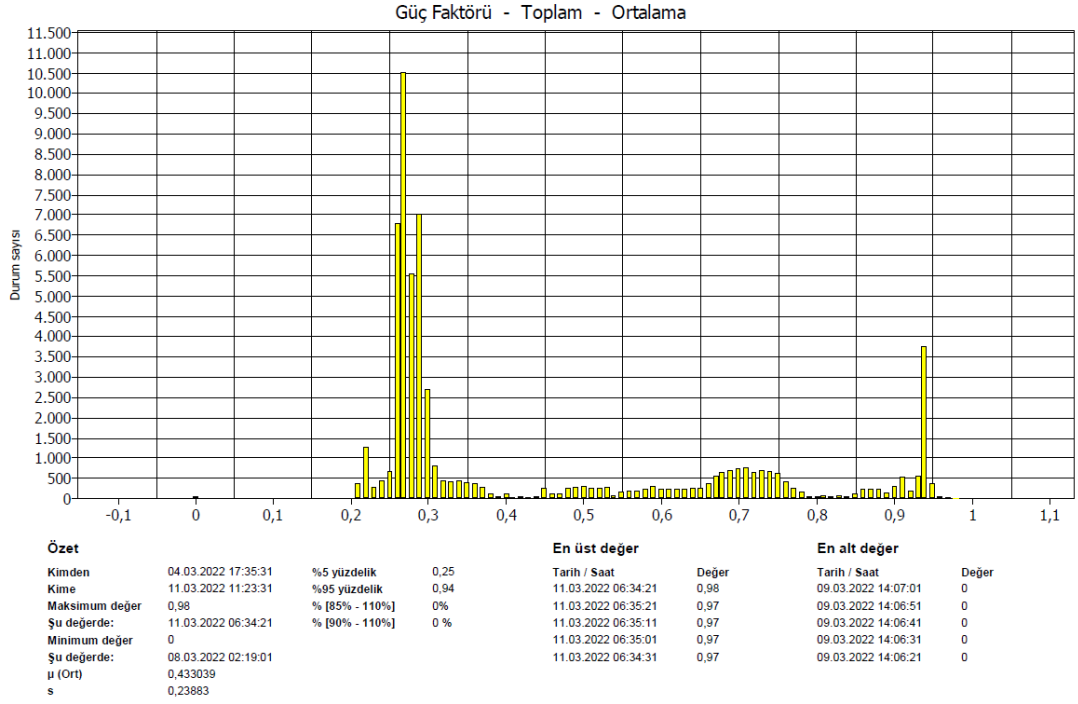
Şekil 5.30. Merkezi araştırma laboratuvarı etkin güç istatistik grafiği

Binanın bir haftalık etkin güç ortalama kullanımı Şekil 5.30'da gösterilmiştir. İstatistik verilere bakıldığında binada anlık en üst değer 40,500kW, en alt değer enerji kesintisinden dolayı 0 kW, ortalama etkin güç ise 13,434kW olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.31. Merkezi araştırma laboratuvarı reaktif güç istatistik grafiği

Reaktif enerji tüketim istatistik grafiği Şekil 5.31’de gösterilmiştir. Binanın reaktif yük karakteristiği ortalama olarak kapasitif/reaktif özellikte olup -29,382 kVAr güçte olduğu görülmüştür. Binada kapasitif özellik gösteren başlıca yükler; 200 kVA gücünde kesintisiz güç kaynağı, bilgisayarlar, inverterler ve yapısında kondansatör bulunduran diğer alıcılar gösterilebilir. Endüktif özellikli başlıca yükler; temiz su hidrofor motorları, sirkülasyon motorları, laboratuvar tipi cihazlara ait motorlar, asansör motorları, pis su rögar pompa-motorları ve yapısında bobin bulunan diğer cihazlar gösterilebilir. Binadaki yüklerin reaktif güce olan etkisi, şekil 5.29’da da gösterildiği üzere mesai saati dışında çalışmaya devam eden kesintisiz güç kaynağından dolayı kapasitif özellikte olduğu, mesai saati içinde ise ağırlıklı olarak mekanik balastlı armatürlerin ve sirkülasyon motorlarının çalışmasından dolayı endüktif özellikte olduğu söylenebilir.



Şekil 5.32. Merkezi araştırma laboratuvarı güç faktörü istatistik grafiği

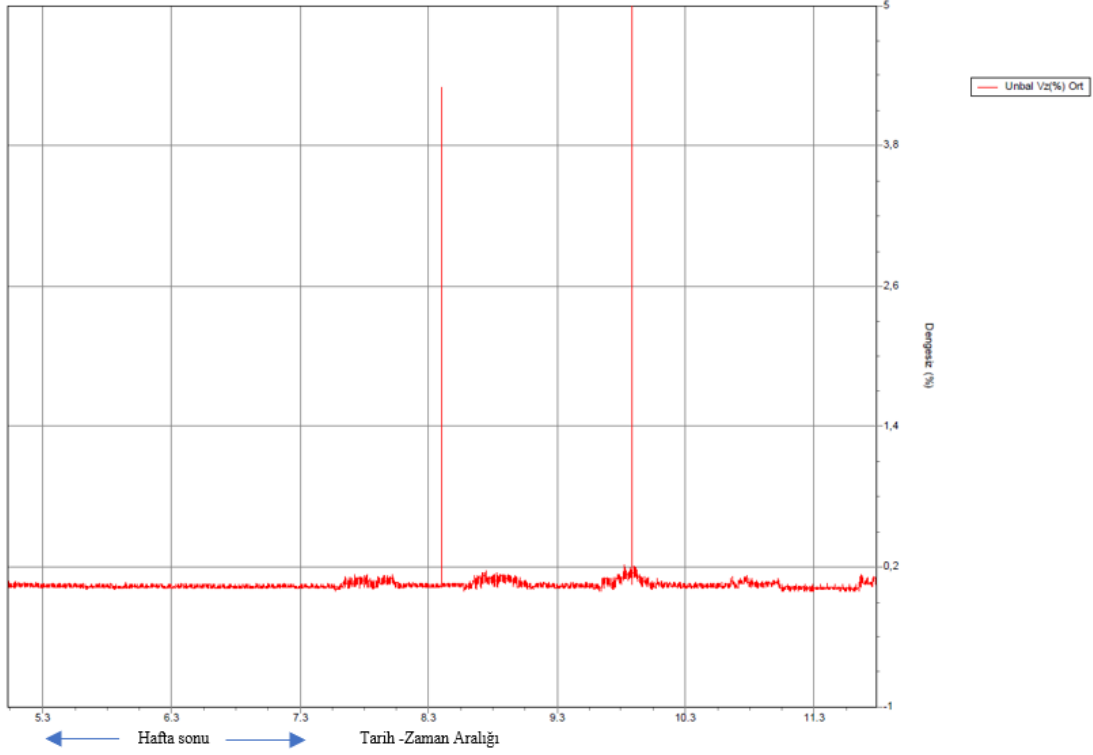
Binaya ait kompanzasyon panosunda kondansatör grupları Şekil 5.28’de gösterilmiş ve binanın reaktif yük profili Şekil 5.31’de gösterilen grafikte ortalama olarak kapasitif yük ağırlıkta olduğu belirtilmiştir. Güç faktörü açısından bakıldığında Şekil 5.31’de gösterilen güç faktörü grafiğinde ortalama güç faktörü 0,43 civarında olup standart değer çok altında kalmış ve enerji kalitesi açısından olumsuz bir durum tespit edilmiştir. Kompanzasyon panosunda üç fazlı kondansatör grupları mevcut olup tek fazlı kondansatör grubu bulunmamakta ayrıca endüktif özellikte şönt reaktörde olmadığından güç faktöründe istenilen seviyelere ulaşamamıştır. Bu durumun önlenmesi için tek fazlı pasif harmonik filtreli kondansatör gruplarının montajının yapılması, mevcut kondansatör kademelerinin kapasiteleri düşürülerek bunlara seri bağlı pasif harmonik filtrelerin montajının yapılması ve kapasitif yüklerin oluşturduğu etkiyi sönmölemek içinde tek fazlı ve üç fazlı şönt reaktör gruplarının montajının yapılması güç faktörünü standart değerlere ulaşmasını sağlayacaktır.

5.2.6. Merkezi araştırma laboratuvarı gerilim ve akım dengesizlik durum analizi

Enerji kalitesini etkileyen dengesizlik bileşeni gerilim ve akım dengesizliği olarak ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen veriler kullanılarak zamana bağlı değişimleri grafiklerle

gösterilerek istatistiksel analizleri yapılmıştır. Her iki durum içinde farklı parametreler ortaya konmuş ve yorumlar yapılmıştır.

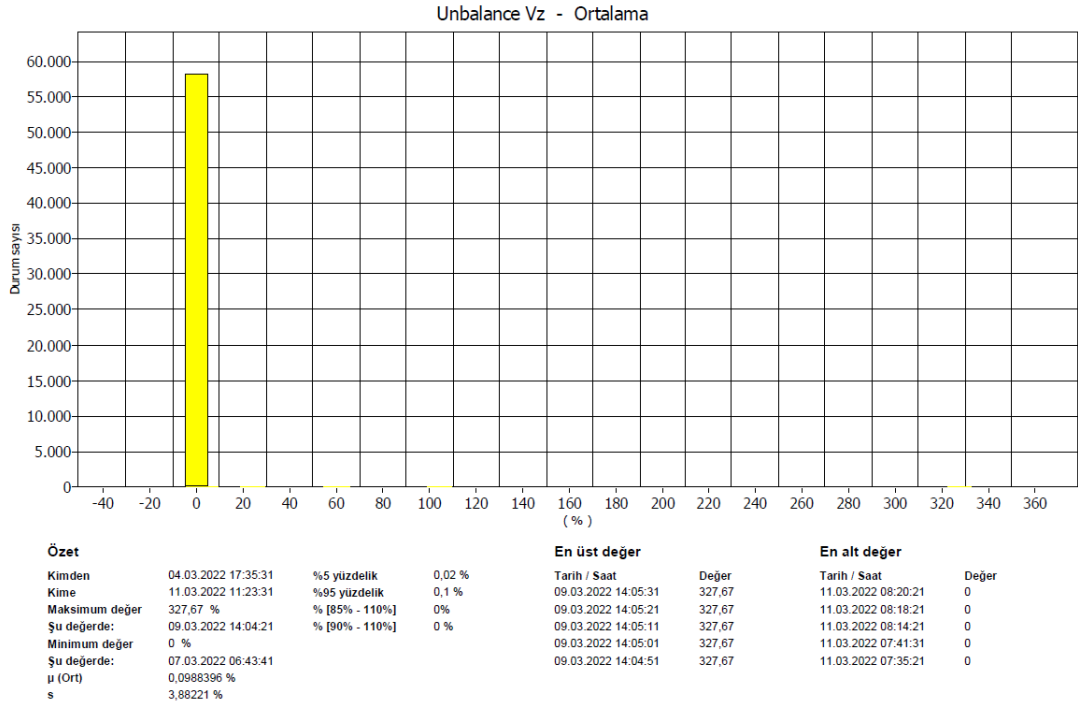
Gerilim dengesizliği Vz (%): Binanın gerilim dengesizliği hem zaman değişimi grafiği ile hem de istatistiksel grafik verileri kullanılarak analizi yapılmıştır.



Şekil 5.33. Merkezi araştırma laboratuvarının zamana bağlı gerilim dengesizliği (%Vz)

Zamana bağlı gerilim dengesizliği grafiği Şekil 5.33'te gösterilmiştir. Fazlara ait gerilim dengesizliği mesai saatlerinde belirli zaman dilimlerinde %0,2 değerlerine ulaşmış, mesai saati dışında kalan zamanlarda ortalama %0,1 değerinde seyretmiştir.

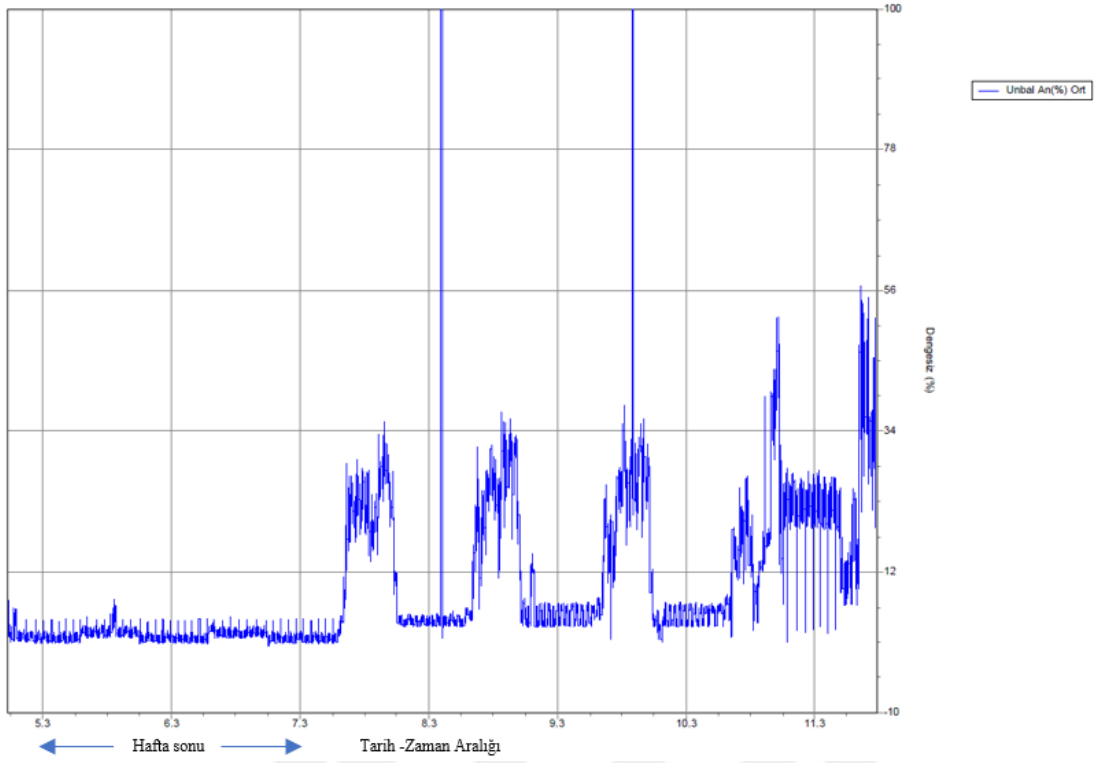
Gerilim dengesizliği eşik değeri %2 olup bu değer üzerinde gerilim dengesizliği yaşanmamıştır.



Şekil 5.34. Merkezi araştırma laboratuvarı gerilim dengesizliği Vz (%) istatistik grafiği

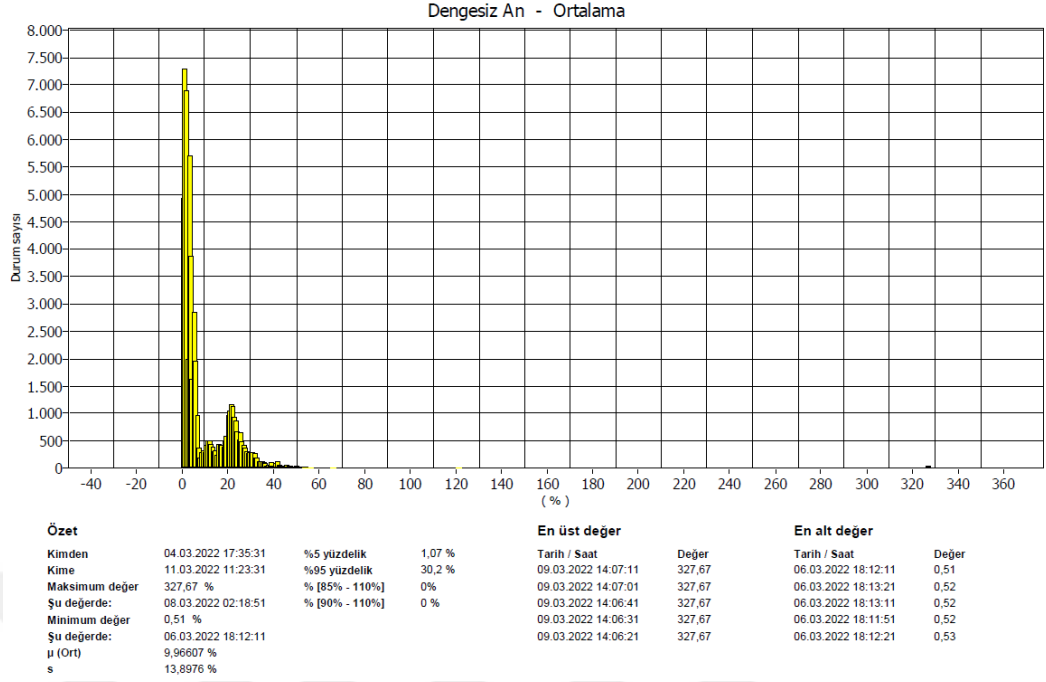
Gerilim dengesizliğine ait ortalama istatiksel grafiği Şekil 5.34'te gösterilmiştir. Gerilim dengesizliğe ait en üst değer enerji kesintisinden dolayı zirvede olup ortalama değer %0,09 olarak ölçölmüştür. Mesai saatinde yük kullanımı artığında gerilim dengesizliği çok az da olsa artış gözlemlenmiş fakat sınır değerin altında seyretmiştir. Mesai saati dışında ise gerilim dengesizliği yük kullanımının az olmasından dolayı kabul görölen sınır değerin çok altında seyrettiği görölmektedir.

Akım dengesizliği An (%): Binanın akım dengesizliği hem zaman değişimi grafiği ile hem de istatistiksel grafik verileri kullanılarak analizi yapılmıştır.



Şekil 5.35. Merkezi araştırma laboratuvarının zamana bağlı akım dengesizliği %An

Akım dengesizliğine ait zaman çizelgesi Şekil 5.35'te gösterilmiştir. Fazlara ait akım dengesizliği mesai saatleri zaman dilimlerinde ortalama %25-%30 civarlarında değerlere ulaşmış, Hafta sonu zaman dilimlerinde ortalama %10-%11 seviyelerinde ölçülmüştür. Akım dengesizliğinin kabul görülen standart eşik değeri %10 olup mesai saatinde binada dengesiz yük kullanımı artığında akım dengesizliğinde artış yaşandığı, Mesai saati dışında kalan zaman aralığında akım dengesizliği, kabul görülen standart değerinin altında seyrettiği görülmektedir. Kesintisiz güç kaynağının 10.03.2022 tarihinde saat 16:00'de bypass moduna alınmasıyla akım dengesizliğinde hem mesai saati içinde hem de dışında daha fazla artış gözlemlenmiştir.



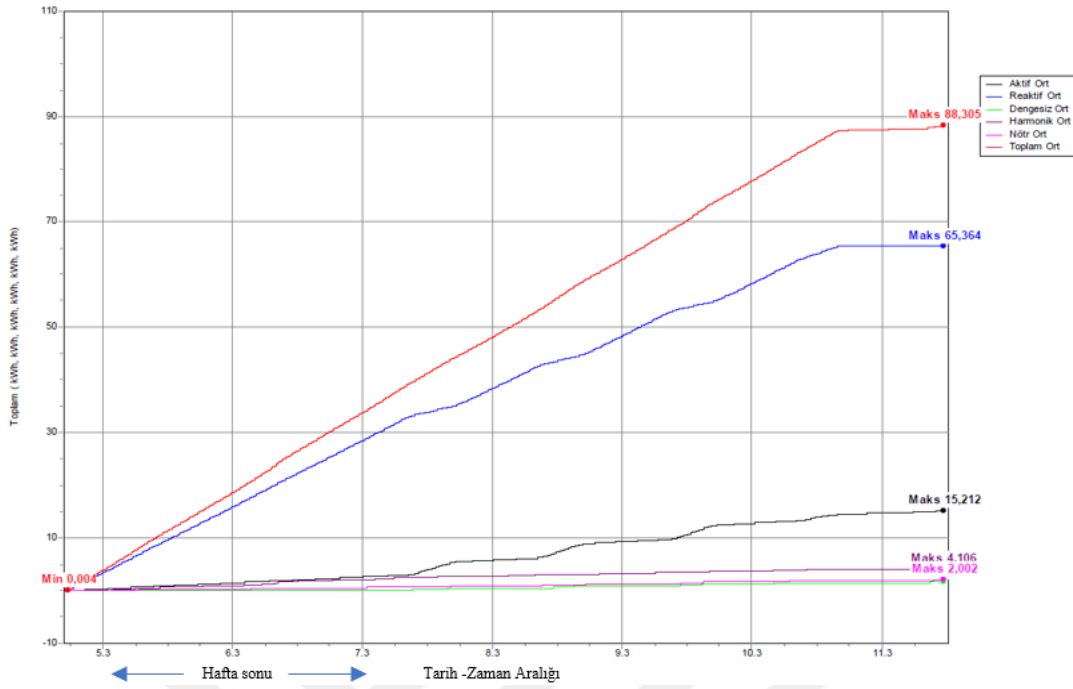
Şekil 5.36. Merkezi araştırma laboratuvarı akım An (%) dengesizlik istatistiksel grafiği

Akım dengesizliğine ait istatistiksel veriler şekil 5.36’da gösterilmiştir. Akım dengesizliğine ait ortalama değer %9,96 olarak ölçülmüştür. Ortalama akım dengesizliği kabul görülen sınır değere (%10) çok yakındır. Akım dengesizliğinin önlenmesi için dengeli yük sisteminin oluşturulması özellikle de tek fazlı alıcıların sisteme dengeli bir şekilde dağıtılması gerekmektedir.

5.2.7. Merkezi araştırma laboratuvarı enerji kaybı ve enerji tüketim durum analizi

Enerji kalitesi üzerinde etkisi olan faktörlerin (harmonikler, güç ve güç faktörü, dengesizlik) toplam enerji kayıpları üzerindeki olumsuz etkisi, beş farklı bileşen olarak incelenmiştir. Ayrıca, binanın enerji tüketim durumu hakkında bilgi edinmek için aktif enerji ve reaktif enerji tüketimini gösteren bir grafik kullanılmış ve bir haftalık tüketimin aktif-reaktif oranı da analiz edilmiştir.

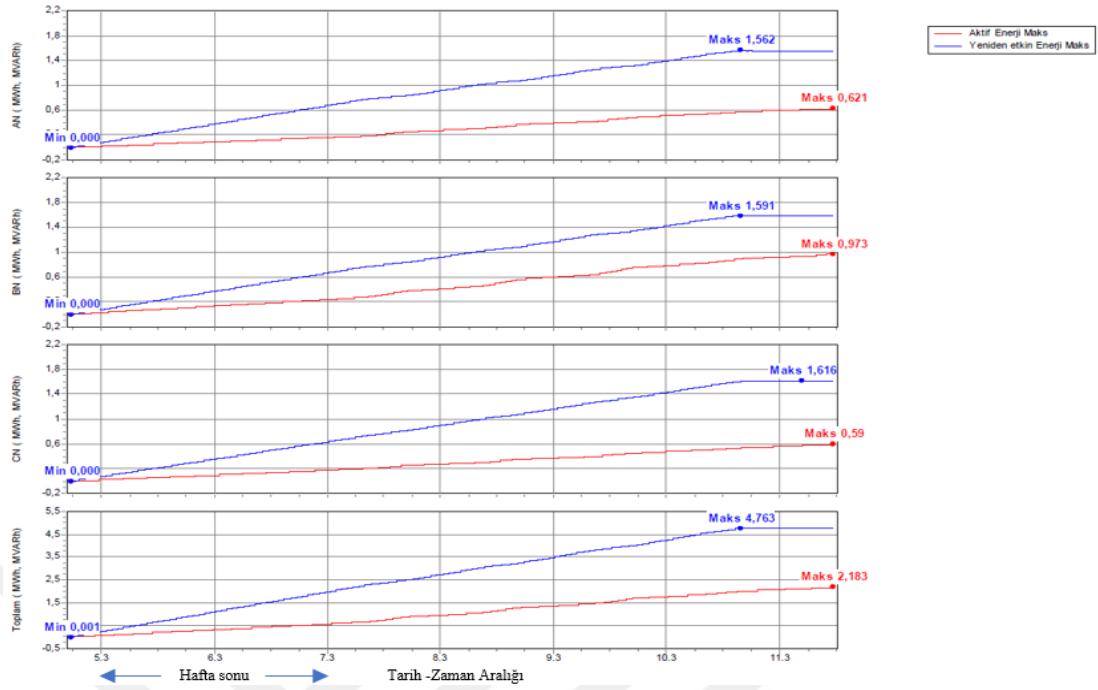
Enerji kaybı: Merkezi araştırma laboratuvarı binasının elektrik enerjine ait enerji kaybı ölçümü yapılarak grafik üzerinde hesabı yapılmış ve toplam enerji kaybı verileri işlenmiştir. Kayıp enerjinin en çok hangi bileşende olduğu tespit edilerek çözüm önerilerinde bulunulmuştur.



Şekil 5.37. Merkezi araştırma laboratuvarı enerji kaybı zaman çizelgesi grafiği

Enerji kayıplarını oluşturan bileşenler zamana bağlı olarak Şekil 5.37’de gösterilmiştir. Binanın enerji kaybına neden olan en önemli etken reaktif güç kullanımına bağlı olup mavi renk ile gösterilmiştir. Hafta sonu reaktif enerji kaybı hariç diğer kayıp bileşenleri yatay pozisyonda ilerlemiş, hafta içi mesai saatlerinde enerji kaybı binadaki cihazların devreye girmesiyle birlikte dikey pozisyonda artış göstermiştir. Reaktif enerji kaybı kapasitif özellikte olup en çok kesintisiz güç kaynağında bulunan kondansatör bloklarından dolayı oluştuğu düşünülmektedir. Haftalık olarak toplam enerji kaybı 88,30 kWh olup reaktif enerji kaybı ortalama 65,36 kWh olarak hesaplanmıştır. Diğer kayıp enerji toplamı ise 22,94 kWh ile aktif, dengesiz, harmonik, nötr enerji kayıpları olarak ölçülmüştür. Bu tez çalışmasında elektrik enerjisinin birim fiyat bedeli 0,17\$ olarak baz alınmış ve yıl bazında ortalama toplam enerji kaybı: $(56 \text{ hafta} \times 88,30 \text{ kWh} \times 0,17\$) = 840,61\$$ olarak hesap edilmiştir.

Aktif ve reaktif enerji tüketimi: Aktif ve reaktif enerji tüketimlerinin haftalık verileri, enerji kalitesi açısından önemli parametreleri barındırmaktadır. Reaktif enerjinin aktif enerjiye oranı ile kompanzasyon sınır değerlerinin ortaya çıkmasını ve güç faktörü durumu hakkında bilgi sahibi olmayı sağlamakta buna bağlı olarak da çözüm önerilerinin sunulmasını sağlayacaktır.

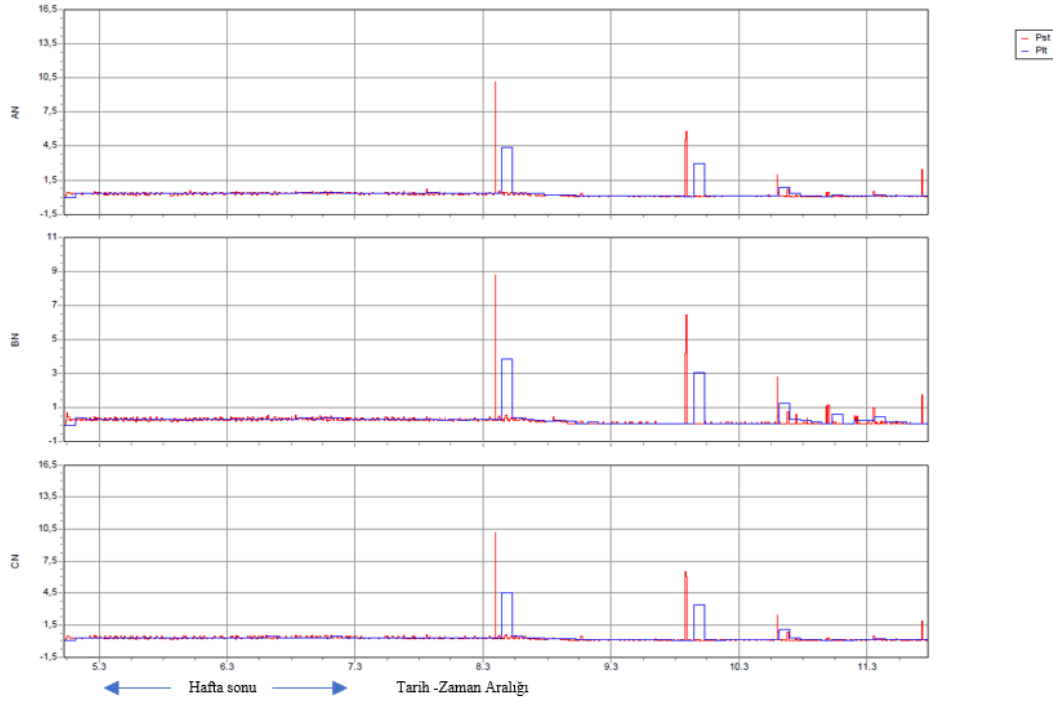


Şekil 5.38. Merkezi araştırma laboratuvarına ait aktif ve reaktif enerji tüketim çizelgesi

Enerji tüketiminin her bir faza ait ve toplam tüketimlerini bir haftalık periyot boyunca Şekil 5.38’de gösterilmiştir. Fazlara ait enerji tüketimlerinde dengesiz bir enerji tüketimi yaşandığı görülmektedir. Aktif ve yeniden etkin enerji (reaktif enerji) tüketimlerinin oransal değerlendirmesi sonucu EPDK’nın belirlemiş olduğu reaktif enerji tüketim oranları kapasitif/reaktif için %15, endüktif/reaktif için %20 dir. Şekil 5.31’de reaktif güç istatistik grafiğinde bina yük tipi kapasitif/reaktif özellikte olduğu ve yasal sınır değerini aştığı anlaşılmaktadır. Reaktif enerji tüketiminin aktif enerji tüketimine oranı yüzdesel olarak hesaplanmış (reaktif/aktif enerji x100) ve %218 aktif güce göre reaktif enerji tüketimi olmuştur. Merkez yerleşkede aboneliğin tek noktadan olması reaktif enerji bedelinin yansıtılmamasını sağlasa da kapasitif/reaktif enerjinin sönümlenmesi için beş ayrı trafo noktasına 25 kVAr gücünde dokuz adet şönt reaktör ile kompanze edilmesi sağlanmaktadır. Bina elektrik aboneliğinin bireysel olduğu varsayılırsa faturada reaktif enerji bedeli yansıtılacak olup reaktif enerji birim fiyatı 0,04\$ olarak baz alındığında aylık reaktif enerji bedeli: (4 hafta*4.763 kWh*) = 3.048,30\$ olarak faturaya etki edecektir. Bina kompanzasyonun kapasitif/reaktif enerjiyi sönümleyecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca bu grafik binanın enerji tüketimine göre güç faktörünün istenilen değerlerden çok uzak olduğunu da teyit etmektedir.

5.2.8. Merkezi araştırma laboratuvarı titreşim durum analizi

Merkezi Araştırma Laboratuvar binası titreşim durumu iki aşamalı olarak Fluke 435-II enerji analizör cihazıyla ölçülmüştür. Kısa süreli şiddet Pst 10 dk üzerinden ve uzun süreli şiddet Plt iki saat üzerinden hesaplanmış ve ölçümler bir haftalık periyotta ölçülmüştür.

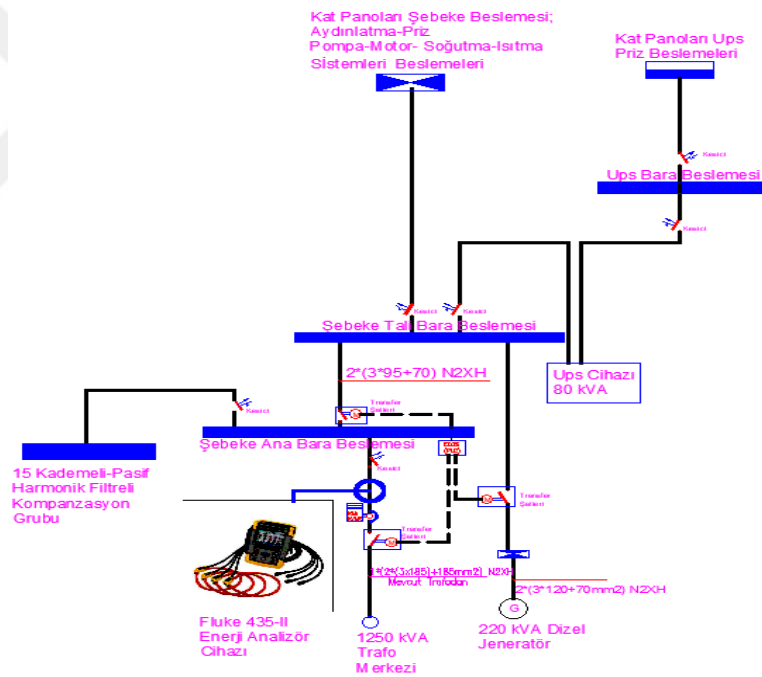


Şekil 5.39. Merkezi araştırma laboratuvarı fliker (Pst, Plt) zaman çizelgesi

Binanın enerji kalitesini etkileyen faktörlerden fliker Şekil 5.39’ da gösterilmiştir. Pst: kısa süreli titreşim kırmızı, Plt: uzun süreli titreşim mavi renk ile belirtilmiş ve bir haftalık zaman çizelgesinde gösterilmiştir. Fazlara ait fliker durumu incelendiğinde uyumluluk seviyesinin altında seyrettiği görülmektedir. Ortalama olarak A, B ve C fazlarında Pst değeri sırasıyla 0,25, 0,25, 0,26 değerlerinde ölçülmüş, Plt değeri ise sırasıyla 0,33, 0,34, 0,35 değerinde ölçülmüştür. Ayrıca kısa süreli iki ayrı zamanda aşırı yükselmeler görülmüş bunun sebebi ise enerji kesintisinden kaynaklanmaktadır. Genel olarak fliker değerlerinde ani bir değişim gözlenmemiş olup fliker değerlerinin standart seviyelerde olmasından dolayı binalarda kullanılan aydınlatma armatürleri, insanların sağlıklı bir ortamda baş ağrısı vb. sağlık sorunları oluşturmada çalışmasını sağlayacaktır.

5.3. İslami İlimler Fakültesi Binası Elektrik Enerji Ölçümü ve Analizi

Yalova Üniversitesi İslami İlimler Fakültesi elektrik enerjisini TR-B6 kodlu 1250 kVA trafodan sağlamaktadır. Bina ana giriş enerji barasından 25.03.2022-01.04.2022 tarihleri arasında Fluke 435-II enerji analizör cihazıyla bir haftalık ölçüm yapılmıştır. Binaya ait ikincil enerji kaynağı, kesintisiz güç kaynağı ve elektriksel yüklere ait bilgiler şu şekildedir; 220 kVA gücünde dizel jeneratör, 80 kVA gücünde 7/24 çalışan kesintisiz güç kaynağı, soğutma sistemine ait değişken soğutuculu akışkan debili (VRF) inverterli iç ve dış üniteler, endüstriyel kombiler ile frekans inverterli sirkülasyon pompa-motorları, aydınlatmada led panel, downlight, projektör armatürleri, bilgisayarlar, yazıcılar, makine dairesi asansörler, içecek ve yiyecek otomat cihazları, lavabo-tuvalet mahallerinde havalandırma fanları ve diğer elektrikli yükler bulunmaktadır.

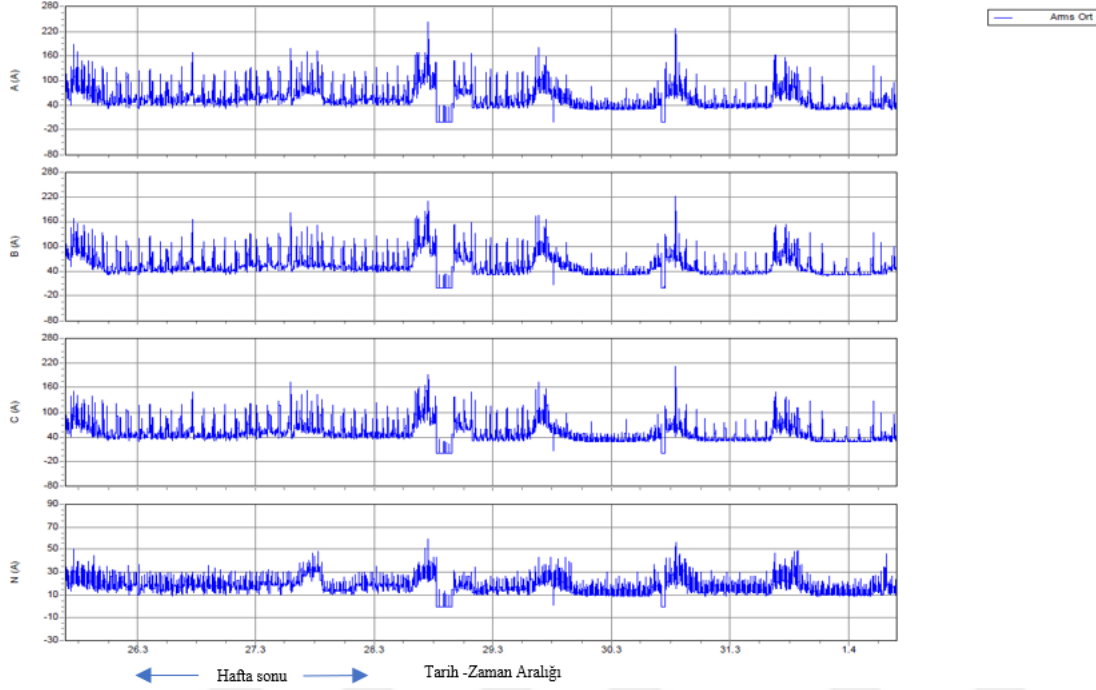


Şekil 5.40. İslami ilimler fakültesi tek hat şeması ve enerji kalitesi ölçüm noktası

Bina ana pano ölçüm noktası ve yük durumu tek hat şeması üzerinde Şekil 5.40'ta gösterilmektedir. Binaya ait akım, gerilim, aktif güç, reaktif güç, güç faktörü, akım ve gerilim harmoniklerinden 3-5-7'nci harmonik mertebeler ile toplam harmonik bozunumu, dengesizlik, enerji kaybı, enerji tüketimi ve fliker açısından Pst ve Plt değerlerinin istatistik değerleri üzerinden zaman çizelgesi grafiğinde gösterimi ile kabul görülen değerlere göre kıyaslanması ve analizi yapılmıştır.

5.3.1. İslami ilimler fakültesi akım değerlerinin analizi

Binanın enerji kalitesi ölçümleri için, binanın tükettiği elektrik yüklerinin çektiği rms akım değerlerinin zamana bağlı değişiminin analiz edilmesi gerekmektedir.

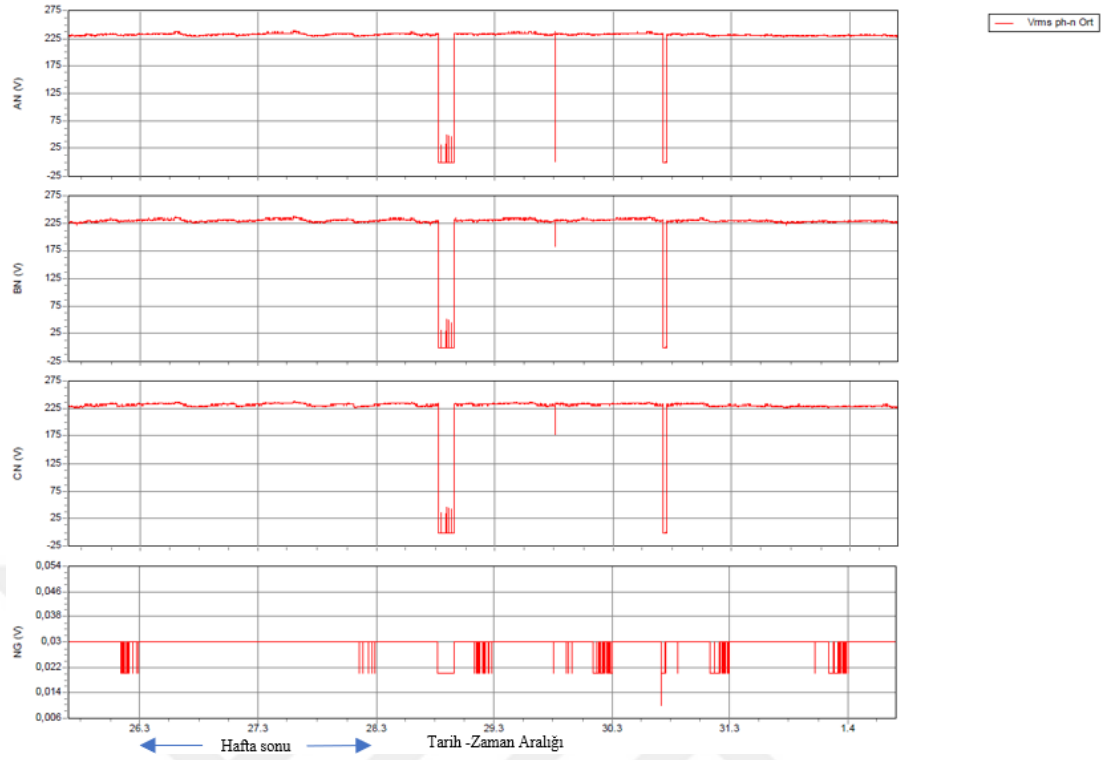


Şekil 5.41. İslami ilimler fakülte binasına ait üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği

Binanın A-B-C fazları ve nötr akımına ait değerlerinin zaman çizelgesi şekil 5.41’de gösterilmiştir. Fazlara ait akım değerleri incelendiğinde mesai saatleri içerisinde elektrik yük kullanımının artmasıyla akım değerlerinde artış yaşanmış, mesai saat dışında elektrik yük kullanımının azalmasıyla akım değerlerinde azalış yaşandığı görülmektedir. Nötr hattı akım verileri incelendiğinde akım dengesizliğinden dolayı nötr hattından ortalama 17,5 amper akım geçişi görülmektedir. Ayrıca ölçümler esnasında üç defa enerji kesintisi yaşanmıştır.

5.3.2. İslami ilimler fakültesi gerilim değerlerinin analizi

Binanın enerji kalitesi ölçümleri için, her bir fazdaki gerilim rms değerlerinin, zaman içinde ölçülen akım değerleriyle ilişkisi yorumlanarak analiz edilmesi gerekmektedir.

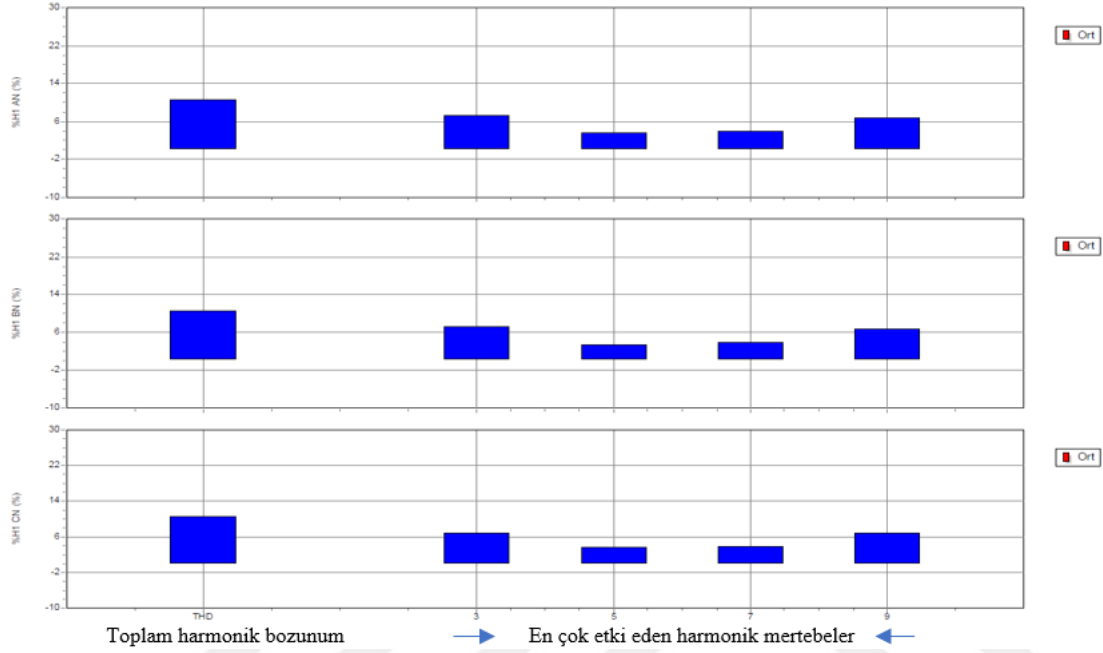


Şekil 5.42. İslami ilimler fakülte binasına ait gerilimin üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği

Binaya ait enerji kalite analizi için A-B-C fazları ve nötr-toprak arasındaki gerilim değerlerinin zaman çizelgesi şekil 5.42’de gösterilmiştir. Fazlara ait ortalama en yüksek gerilim değerleri sırasıyla 238, 237 ve 238 volt olarak ölçülmüştür. Ortalama gerilim değerleri ise sırasıyla 226,8, 225,7 ve 226,6 volt aralığındadır. Mesai saatleri içerisinde elektrik yük kullanımının artmasıyla gerilim değerlerinde 4-8 volt değerinde düşüşler yaşanmış, mesai saat dışında kalan zaman dilimlerinde elektrik yük kullanımının azalmasıyla gerilim değerlerinde tekrardan artış yaşanmıştır. Nötr-toprak arası gerilim değeri incelendiğinde yük kullanımına bağlı olarak en yüksek 0,03 volt civarında olduğu, en alt değer 0,1 volt olarak ölçüldüğü gözlemlenmiş ve ortalama nötr-toprak gerilimi 0,02volt olarak ölçülmüştür. Nötr-toprak arası ortalama gerilim değeri, kabul görülen standart sınır değer (2 volt) altındadır.

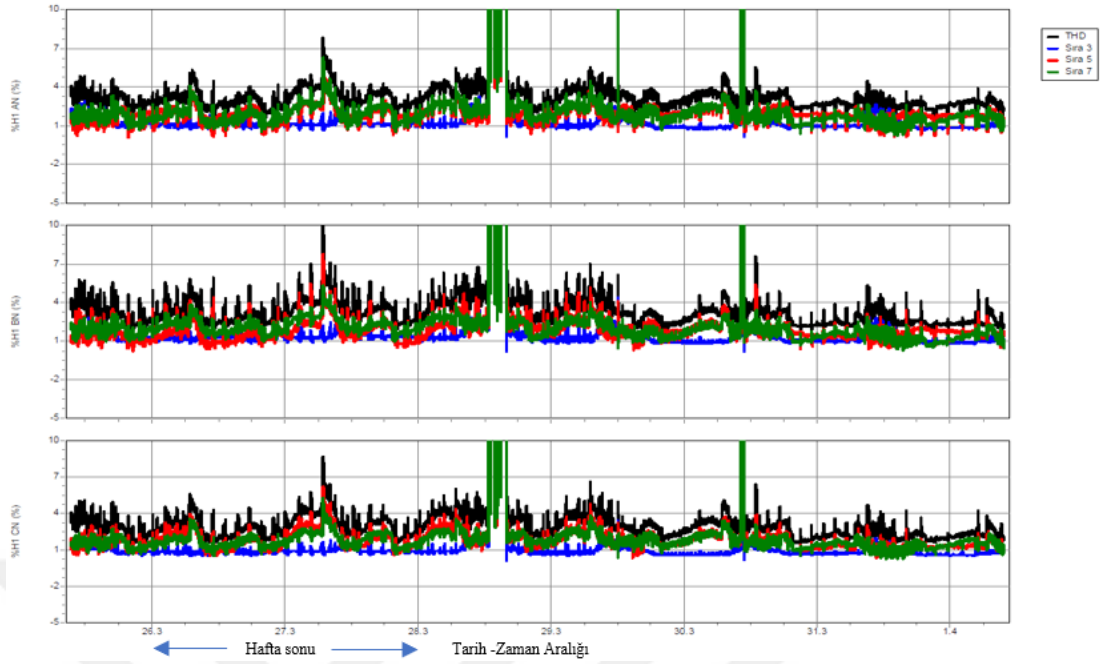
5.3.3. İslami ilimler fakültesi gerilim harmonik analizi

Binanın enerji kalitesi ölçümleri için, her bir fazdaki toplam harmonik değerlerinin, 3-5-7'nci derecelerdeki histogram ve zamana bağlı değişim grafikleri üzerinde analizi yapılarak gerilim harmonik durumunun tespiti yapılmıştır.



Şekil 5.43. İslami ilimler fakülte binasına ait gerilim harmoniklerinin histogram grafiği

Binanın gerilim harmonik ölçümlerini gösteren histogram grafiği Şekil 5.43'te sunulmuştur. Ortalama toplam gerilim harmonik değerlerinin her bir faz için kabul edilen standart değerlerin üstünde olduğu görülmektedir. A fazı için ortalama gerilim harmonik değeri %10,38 B fazı için ortalama gerilim harmonik değeri %10,48 ve C fazı için ise ortalama toplam gerilim harmonik değeri %10,14 olarak belirlenmiştir.

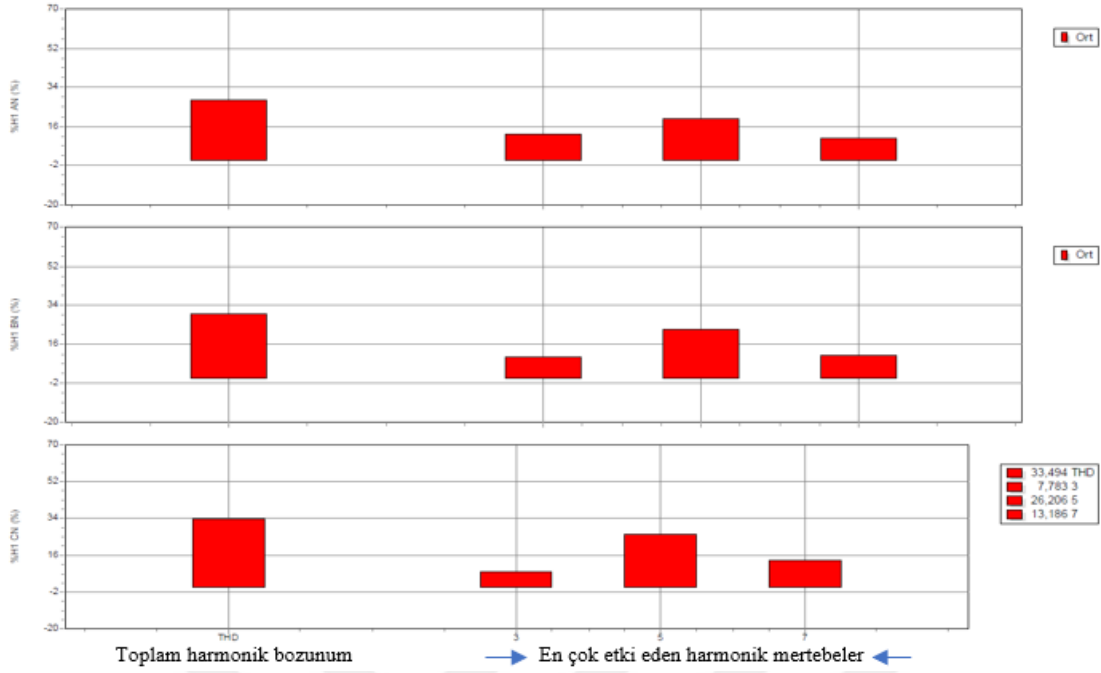


Şekil 5.44. İslami ilimler fakülte binasına ait her bir fazın gerilim harmoniği zaman çizelgesi

Şekil 5.44'te gösterilen ölçüm sonuçlarına göre, zamana bağlı olarak 3., 5. ve 7. mertebe toplam gerilim harmonikleri incelenmiştir. Toplam gerilim harmonik bozunum seviyesi her bir faz için kabul görülen seviyenin ($THD_v \geq \%5$) üzerine çıktığı görülmüştür. Mesai saatlerinde harmoniğin ani yükselme ve düşüşlerinde inverterli klimaların, sirkülasyon pompa-motorlarının çalıştığı ve harmonik dalgalanmalara neden olduğu düşünülmektedir. Gerilim harmonik mertebeleri incelendiğinde 5. ve 7. harmonik mertebenin toplam gerilim harmonik değerini daha çok artırdığı gözlemlenmiştir. Binanın enerji kalitesi açısından gerilim harmoniklerinin sönümlenmesi gerekliliği sonucu ortaya çıkmıştır.

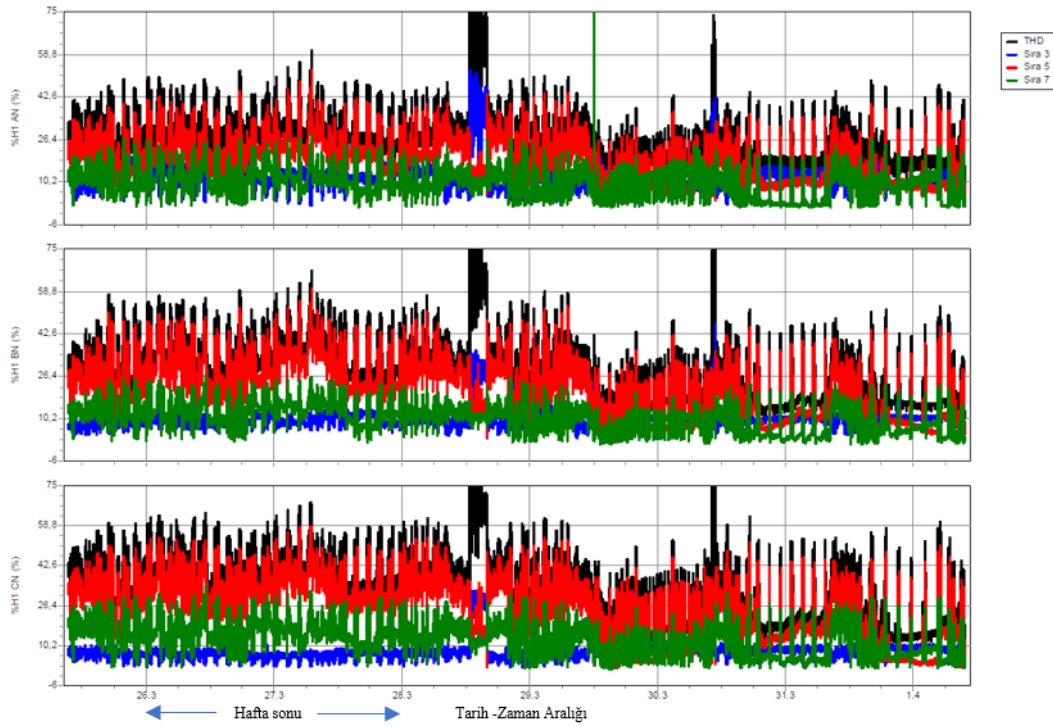
5.3.4. İslami ilimler fakültesi akım harmonik analizi

Binaya ait akımın harmonik değerleri ölçülmüş ve akım harmoniğine ait bileşenlerin istatistiksel verileri kullanılarak, en yüksek ve en düşük değerlerin hangi zaman aralıklarında yaşandığı belirlenmiştir ve standart değerlerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.45. İslami ilimler fakülte binasına ait akım harmoniklerinin histogram grafiği

Binanın akım harmonik değerlerinin histogram görünümü Şekil 5.45'te gösterilmiştir. Toplam akım harmonik değerleri incelendiğinde A, B ve C fazında harmonik seviyenin kabul görülen sınır değeri aştığı görülmüştür.

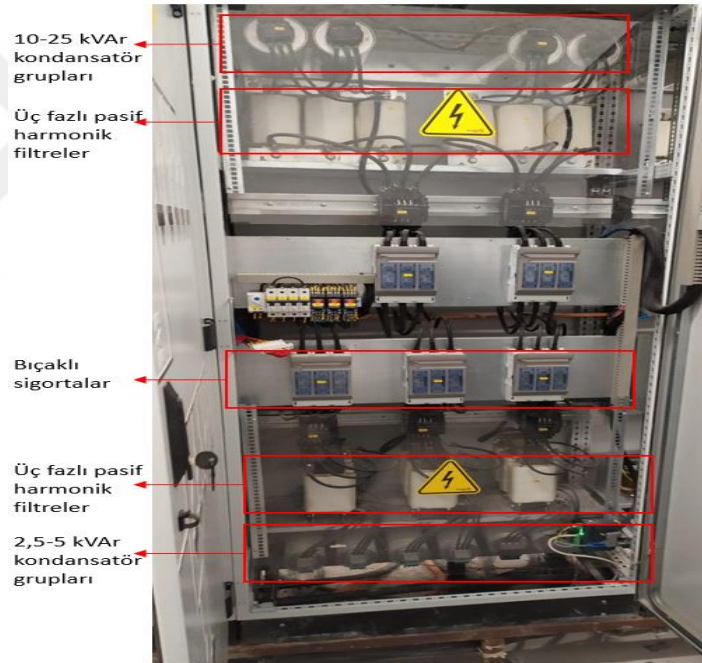


Şekil 5.46. İslami ilimler fakülte binasına ait her bir fazın akım harmoniği zaman çizelgesi

Binaya ait akım harmonik değerlerinin zaman çizelgesi gösterimi Şekil 5.46'da yer almaktadır. Bir haftalık periyot boyunca toplam akım harmoniği A, B ve C fazlarında anlık olarak kabul görülen harmonik değerlerin üzerinde seyretmiştir. Harmoniği en çok 5.mertebe ve 7. mertebe seviyeler tetiklemektedir. Binanın kompanzasyon panosunda, pasif harmonik filtreli kondansatör grupları mevcut olmasına rağmen kapasiteleri yüksek olduğu için devreye girmediği anlaşılmaktadır. Akım harmonik bozunumu tehlike arz etmekte olup pasif filtre uygulamasının yapılması gerekmektedir.

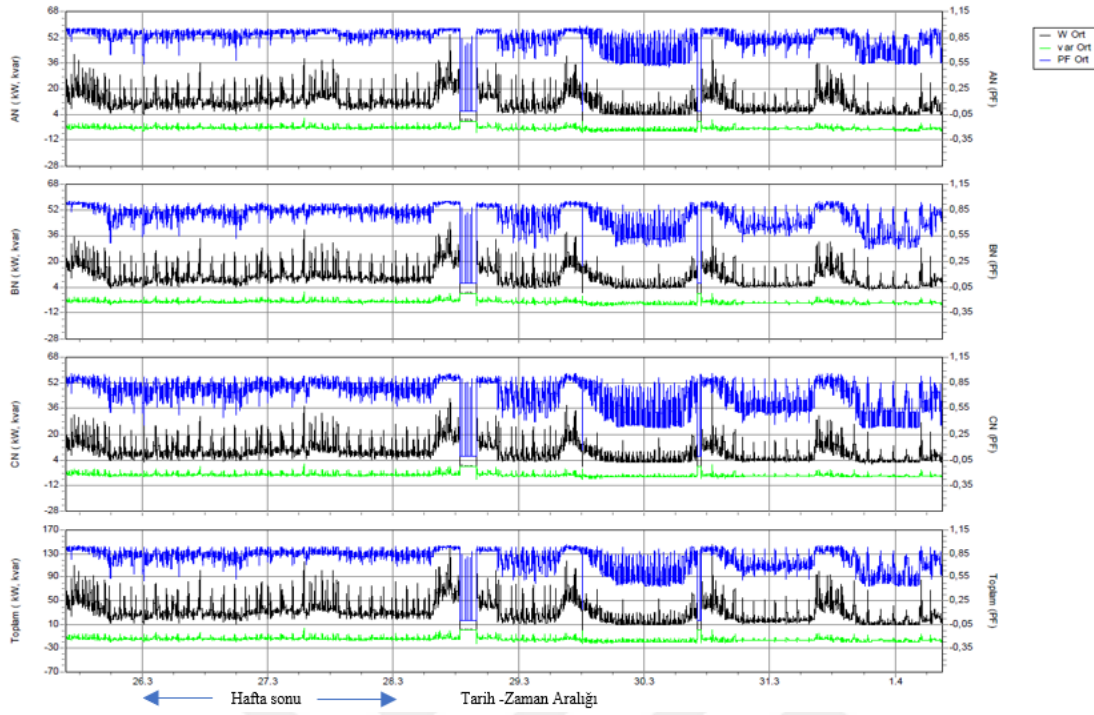
5.3.5. İslami ilimler fakültesi güç ve kompanzasyon durum analizi

Binanın kompanzasyon panosunda koruma amaçlı bıçaklı sigortalar, kontaktör grupları, kondansatör grupları ve bunlara seri bağlı pasif harmonik filtreler mevcuttur.



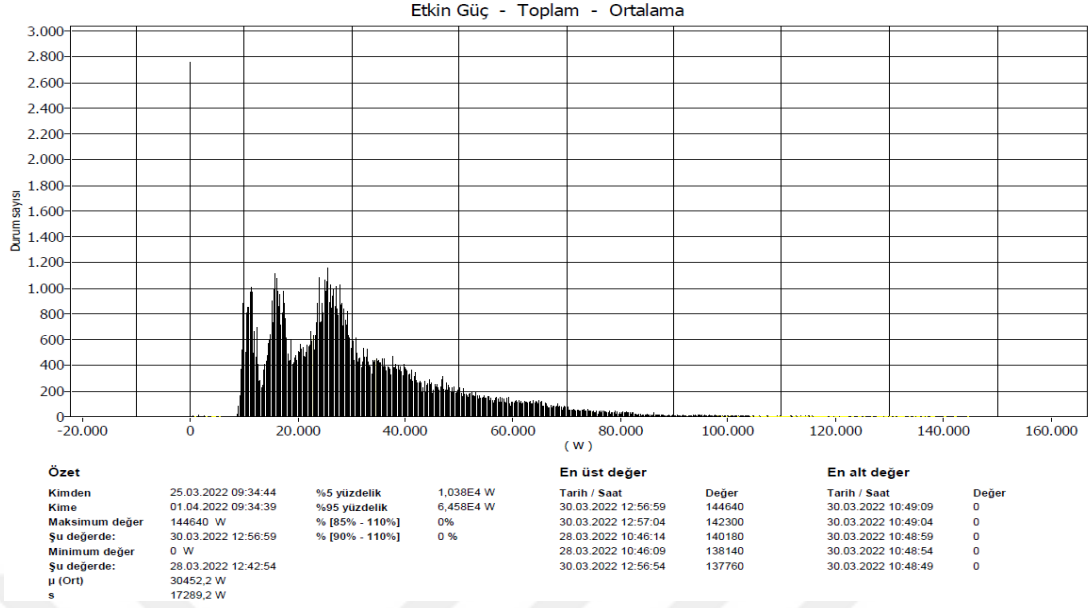
Şekil 5.47. İslami ilimler fakülte binasına ait kompanzasyon panosu

Kompanzasyon sistemi için tasarlanmış ve 15 kademeli panonun bir bölümü Şekil 5.47'te gösterilmiştir. Kondansatör kademe güçleri binanın reaktif yük karakteristiğine göre yüksek güçlerde seçilmesinden ve binanın ortalama yük profilinin kapasitif özellikte olmasından dolayı ölçüm boyunca devreye girmediği gözlemlenmiştir.



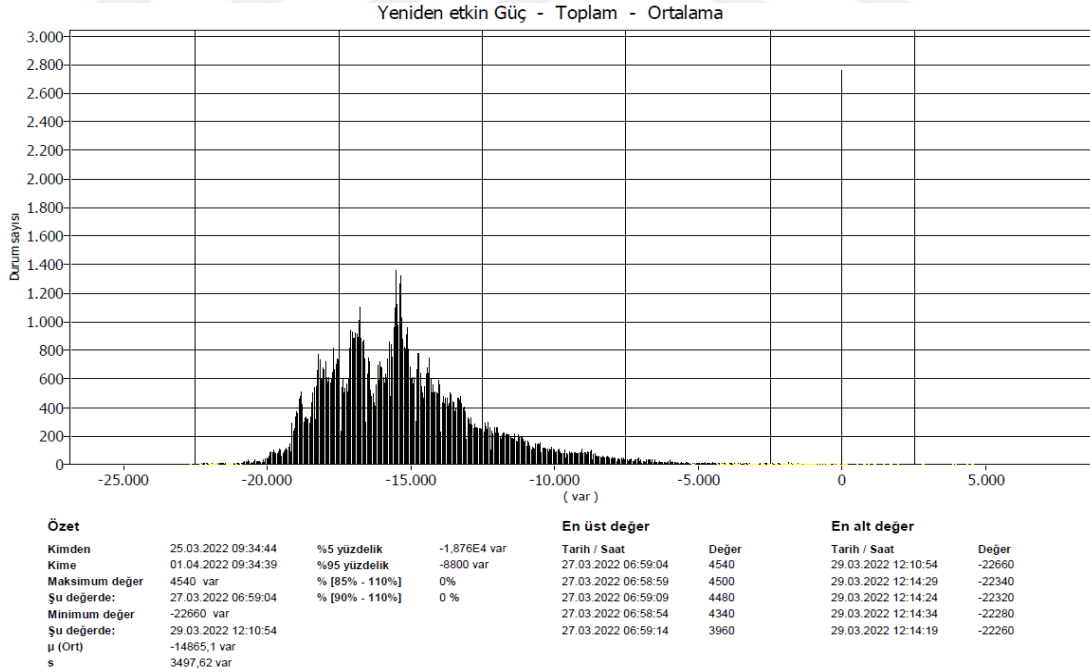
Şekil 5.48. İslami ilimler fakülte binasına ait aktif, reaktif güç ve güç faktörü zaman çizelgesi grafiği

Binanın aktif, reaktif güç ve güç faktörü değerlerine ait zaman çizelgesi Şekil 3.48’de gösterilmiştir. Mesai saatlerinde etkin güç kullanımının artmasıyla ortalama olarak reaktif güç için A, B ve C fazlarında kapasitif yük profilinden endüktif yük profiline geçiş gözlemlenmiş mesai saati dışında kalan zaman dilimlerinde ise kapasitif/reaktif yük karakteristiğinde güç çekimi yaşanmıştır. Mesai saatleri içinde reaktif güç açısından bakıldığında endüktif ve kapasitif yük karakteristiğinin birbirlerini kompanze ettiği ve güç faktörünü olumlu etkilediği görülmektedir. Güç faktörü açısından toplam değere bakıldığında mesai saati zaman dilimlerinde etkin güç kullanımı endüktif karakteristik özellik göstermesinden dolayı güç faktörünün standart değere yakın olduğu görülmüştür. Mesai saatleri dışında kalan zaman dilimlerinde yük profili kapasitif özellik göstermiş ve kompanze işlemi şönt reaktörler kullanılmadığından ve güç faktörü değeri standart sınır değerinin altında kalmış ve enerji kalitesi ve verimliliğini olumsuz etkilemiştir.



Şekil 5.49. İslami ilimler fakülte binasına ait etkin güç istatistik grafiği

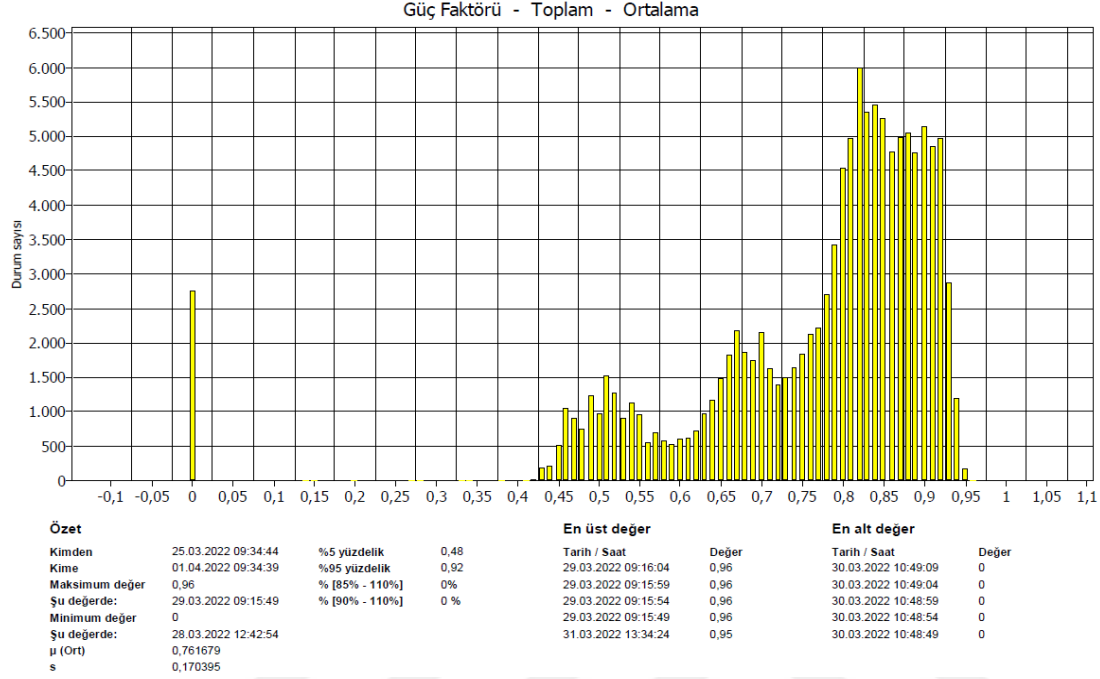
Binanın bir haftalık etkin güç ortalama kullanımı Şekil 5.49’da gösterilmiştir. İstatistik verilere bakıldığında binada anlık en üst değer 144.640kW, en alt değer enerji kesintisinden dolayı 0 kW, ortalama etkin güç ise 30.452kW olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.50. İslami ilimler fakülte binasına ait reaktif güç istatistik grafiği

Reaktif enerji tüketim istatistik grafiği Şekil 5.50’de gösterilmiştir. Binanın reaktif yük karakteristiği ortalama olarak kapasitif/reaktif özellikte olup-14.865kVAr güçte

olduğu görülmüştür. Binada kapasitif özellik gösteren başlıca yükler; Ups cihazı, elektronik balastlı armatürler, yapısında kondansatör bulunan diğer cihazlar gösterilebilir.



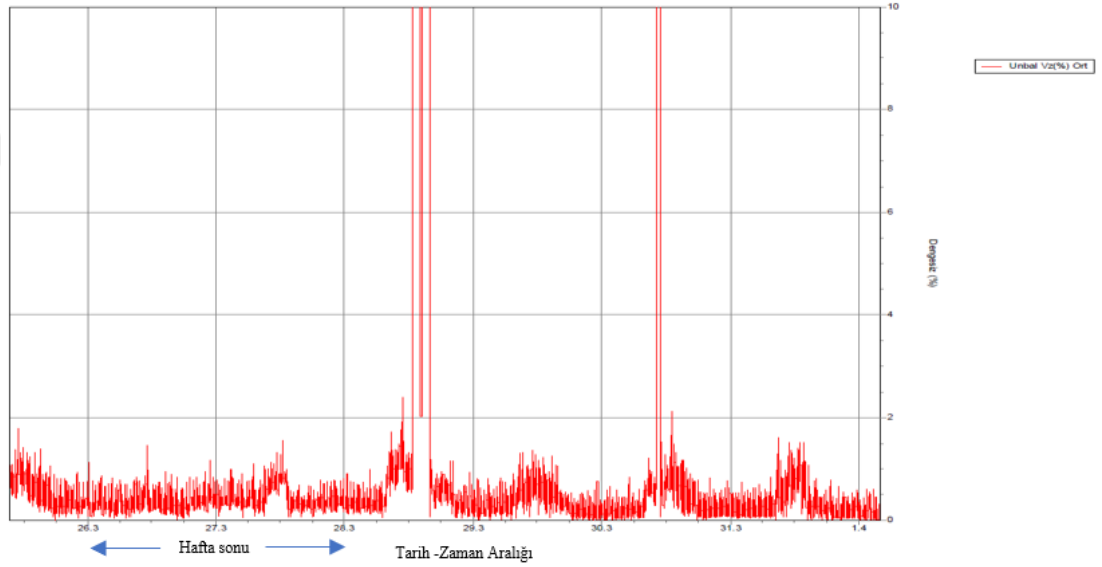
Şekil 5.51. İslami ilimler fakültesi binasına ait güç faktörü istatistik grafiği

Binaya ait kompanzasyon panosunda kondansatör grupları Şekil 5.47’de gösterilmiş ve binanın reaktif yük profili Şekil 5.50’de gösterilen grafikte ortalama olarak kapasitif yük ağırlıkta olduğu belirtilmiştir. Güç faktörü açısından bakıldığında Şekil 5.51’de gösterilen güç faktörü grafiğinde ortalama güç faktörü 0,76 civarında olup standart değerlerin altında kalmış ve enerji kalitesi açısından olumsuz bir durum teşkil etmektedir. Kompanzasyon panosunda üç fazlı kondansatör grupları mevcut olup tek fazlı kondansatör grubu bulunmadığından her bir faz için güç faktörü aynı değerde kalmamıştır. Güç faktörünü standart kabul edilen (0,95-1) değer aralığına ulaştırabilmek için sisteme tek fazlı ve üç fazlı şönt reaktörlerin ilave edilmesi ve bina yük profilinin endüktif özellikte tutup tek fazlı ve üç fazlı düşük güç kapasiteli ve seri bağlı pasif harmonik filtreli kondansatör gruplarının kompanzasyon panosuna ilave edilmesi gerekmektedir.

5.3.6. İslami ilimler fakültesi binası gerilim ve akım dengesizlik durum analizi

Enerji kalitesini etkileyen dengesizlik bileşeni gerilim ve akım dengesizliği olarak ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen veriler kullanılarak zamana bağlı değişimleri grafiklerle gösterilerek istatistiksel analizleri yapılmıştır. Her iki durum içinde farklı parametreler ortaya konmuş ve yorumlar yapılmıştır.

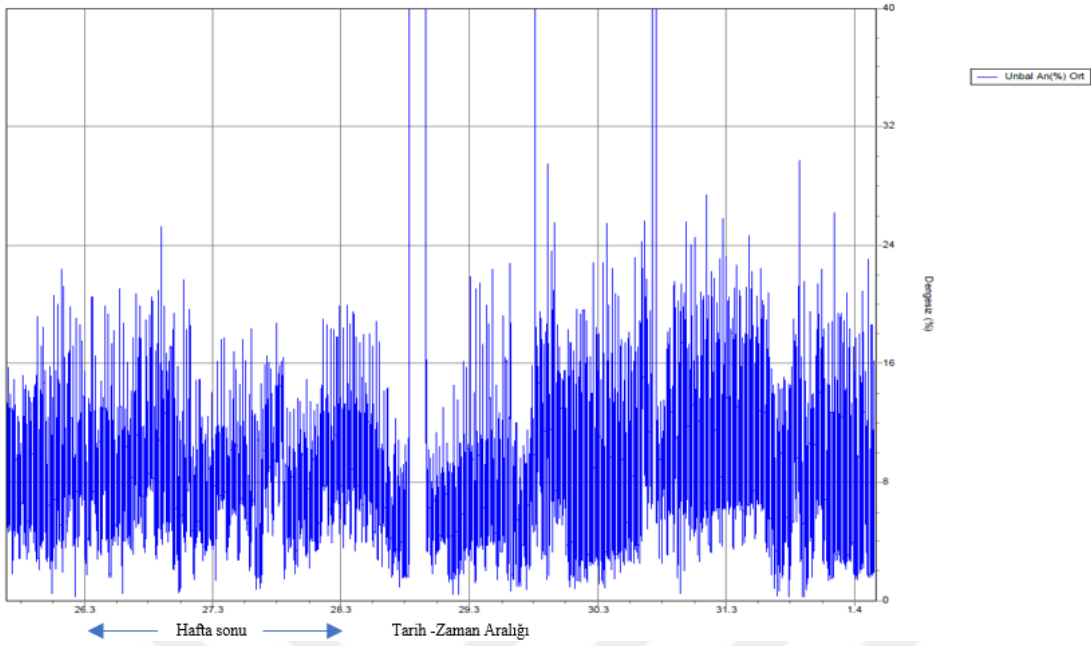
Gerilim dengesizliği Vz (%): Binanın gerilim dengesizliği hem zaman değişimi grafiği ile hem de istatistiksel grafik verileri kullanılarak analizi yapılmıştır.



Şekil 5.52. İslami ilimler fakültesi binasına ait zamana bağlı gerilim dengesizliği (%Vz)

Zamana bağlı gerilim dengesizliği grafiği Şekil 5.52’de gösterilmiştir. Fazlara ait gerilim dengesizliği mesai saatlerinde belirli zaman dilimlerinde %2 değerlerine ulaşmış, mesai saati dışında kalan zamanlarda ortalama %0,75 değerinde seyretmiştir. Gerilim dengesizliği eşik değeri %2 olup bu değer üzerinde gerilim dengesizliği yaşanmamış fakat sınır değeri eşiğinde olduğu görülmüştür.

Akım dengesizliği An (%): Binanın akım dengesizliği hem zaman değişimi grafiği ile hem de istatistiksel grafik verileri kullanılarak analizi yapılmıştır.



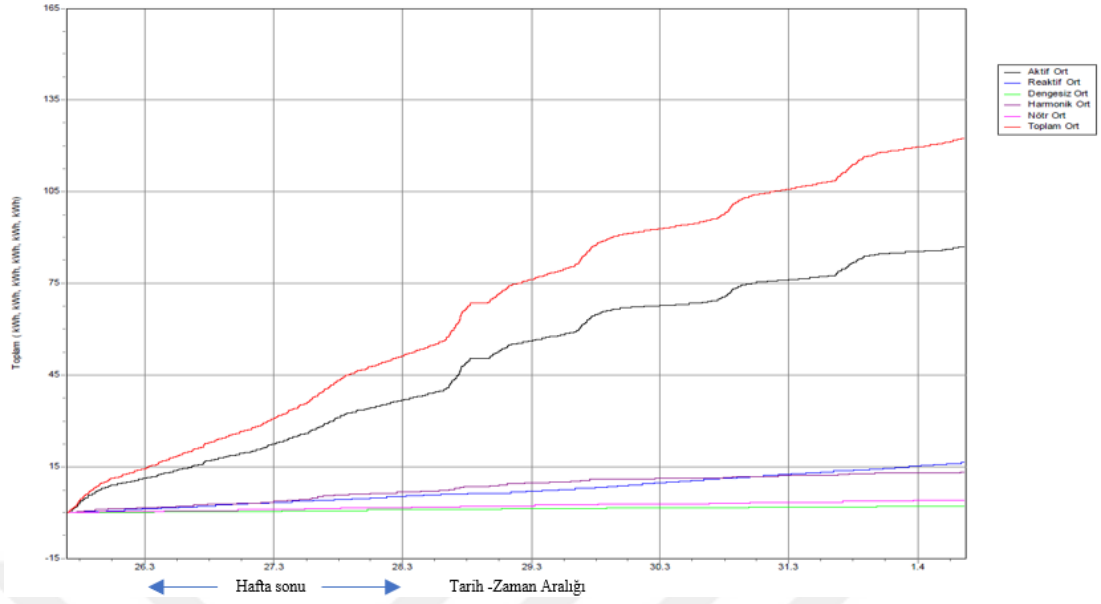
Şekil 5.53. İslami ilimler fakültesi binasına ait zamana bağlı akım dengesizliği %An

Akım dengesizliğine ait zaman çizelgesi Şekil 5.53'te gösterilmiştir. Fazlara ait akım dengesizliği mesai saati zaman dilimlerinde ortalama %5-8 civarlarında değerlere ulaşmış, Hafta sonu ve hafta içi mesai saatleri dışındaki zaman dilimlerinde ise ortalama %8-25 seviyelerinde ölçülmüştür. Mesai saatleri içinde dengeli yük kullanımının artmasıyla akım dengesizliği sınır değerinin altında kalmıştır. Fakat diğer zaman dilimlerinde tek fazlı ve dengesiz yük kullanımı artığında akım dengesizliğinde artış yaşandığı gözlemlenmiştir. Akım dengesizliğine ait ortalama değer %15,5 olarak ölçülmüş ve kabul görülen standart değer üzerinde olduğu ve enerji kalitesi ve verimliliği açısından olumsuz bir sonuç çıkmıştır.

5.3.7. İslami ilimler fakültesi binası enerji kaybı ve enerji tüketim durum analizi

Toplam enerji kayıpları beş farklı bileşen olarak incelenmiştir. Ayrıca, binanın enerji tüketim durumu hakkında bilgi edinmek için aktif enerji ve reaktif enerji tüketimini gösteren bir grafik kullanılmış ve bir haftalık tüketimin aktif-reaktif oranı da analiz edilmiştir.

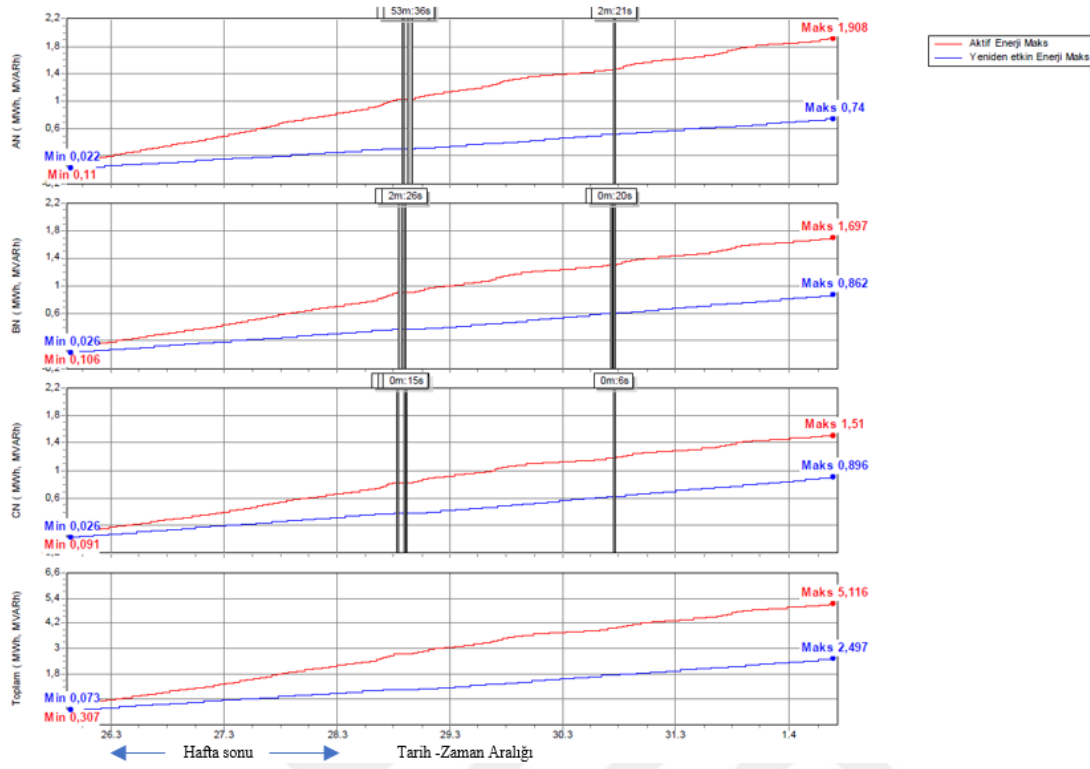
Enerji kaybı: Binanın elektrik enerjine ait enerji kaybı ölçümü yapılarak grafik üzerinde gösterimi yapılmış ve toplam enerji kaybı verileri işlenmiştir. Kayıp enerjinin en çok hangi bileşende olduğu tespit edilerek çözüm önerilerinde bulunulmuştur.



Şekil 5.54. İslami ilimler fakültesi binasına ait enerji kaybı zaman çizelgesi grafiği

Enerji kayıplarını oluşturan bileşenler zamana bağlı olarak Şekil 5.54'te gösterilmiştir. Binanın enerji kaybına neden olan en önemli etken aktif güç kullanımına bağlı olup siyah renk ile gösterilmiştir. Yük kullanımına bağlı olarak hafta sonu enerji kayıpları yatay pozisyonda ilerlemiş hafta içi mesai saati içerisinde dikey, mesai saati dışındaki zamanlarda yatay pozisyonda ilerlemiştir. Aktif enerji kayıpları, elektrikli cihazların verimlilik kaybı ve iletimi sağlayan kablolar üzerinde oluşan kayıpların toplamı olarak ifade edilebilir. Haftalık olarak toplam enerji kaybı 120 kWh olup aktif enerji kaybı ortalama 85 kWh olarak hesaplanmıştır. Diğer kayıp enerji bileşen toplamı ise 35 kWh ile sırasıyla reaktif, harmonik nötr ve dengesizlik enerji kayıpları olarak ölçülmüştür. Toplam enerji kaybı maliyeti için elektrik enerjisinin birim fiyat bedeli 0,17\$ olarak baz alınmış ve yıl bazında binaya ait ortalama toplam enerji kaybı: $(56 \text{ hafta} \times 120 \text{ kWh} \times 0,17\$) = 1.142,40\$$ olarak hesap edilmiştir.

Aktif ve reaktif enerji tüketimi: Aktif ve reaktif enerji tüketimlerinin haftalık verileri, reaktif enerjinin aktif enerjiye oranı ile kompanzasyon sınır değerlerinin ortaya çıkmasını ve güç faktörü durumu hakkında bilgi sahibi olmayı sağlamakta buna bağlı olarak da çözüm önerilerinin sunulmasını sağlayacaktır.

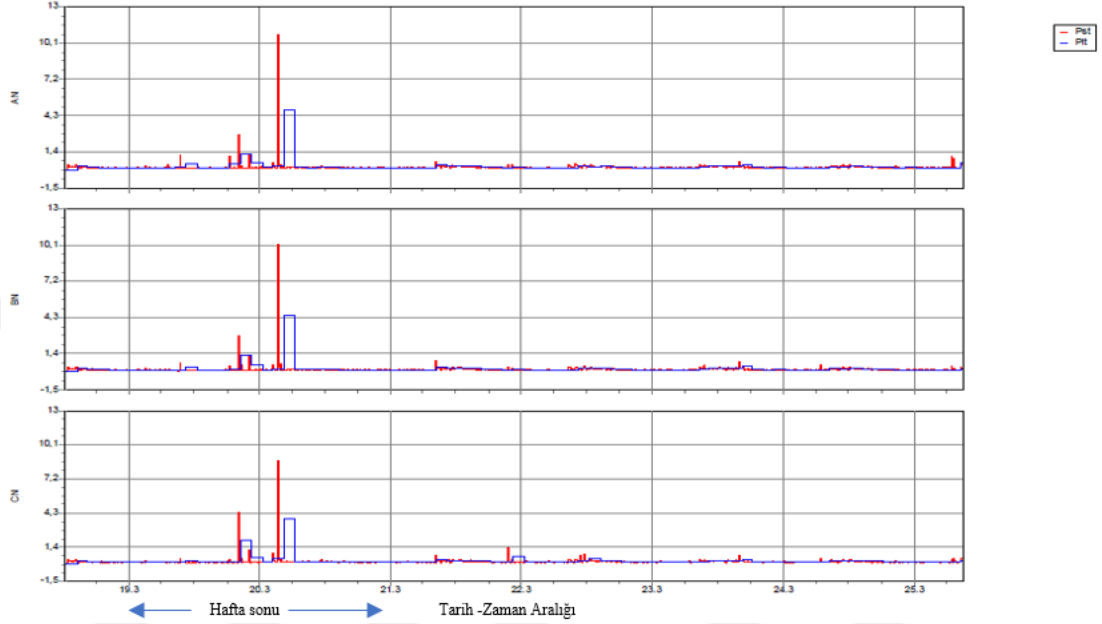


Şekil 5.55. İslami ilimler fakültesi binasına ait aktif ve reaktif enerji tüketim çizelgesi

Enerji tüketiminin her bir faza ait ve toplam tüketimlerini bir haftalık periyot boyunca Şekil 5.55'te gösterilmiştir. Aktif ve yeniden etkin enerji (reaktif enerji) tüketimlerinin oransal değerlendirmesi sonucu EPDK'nın belirlemiş olduğu reaktif enerji tüketim oranları kapasitif/reaktif için %15, endüktif/reaktif için %20 dir. Şekil 5.50'de reaktif güç istatistik grafiğinde bina yük tipi kapasitif/reaktif özellikte olduğu ve yasal sınır değeri aştığı anlaşılmaktadır. Reaktif enerji tüketiminin aktif enerji tüketimine oranı yüzdesel olarak hesaplanmış (reaktif/aktif enerji x100) ve % 48,7 aktif güce göre reaktif enerji tüketimi olmuştur. Bina elektrik aboneliğinin bireysel olduğu varsayılırsa faturada reaktif enerji bedeli yansıtılacak olup reaktif enerji birim fiyatı 0,04\$ olarak baz alındığında aylık reaktif enerji bedeli: $(4 \text{ hafta} \times 2,497 \text{ kWh} \times 0,04\$) = 399,52\$$ olarak faturaya etki edecektir. Bina kompanzasyonun kapasitif/reaktif enerjiyi sönmüleyecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca bu grafik binanın enerji tüketimine göre güç faktörünün istenilen değerlerden uzak olduğunu da teyit etmektedir.

5.3.8. İslami ilimler fakültesi binası titreşim durum analizi

Binanın titreşim durumu iki aşamalı olarak kısa süreli şiddet Pst 10 dk üzerinden ve uzun süreli şiddet Plt iki saat üzerinden hesaplanmış ve ölçümler bir haftalık periyotta ölçülmüştür.

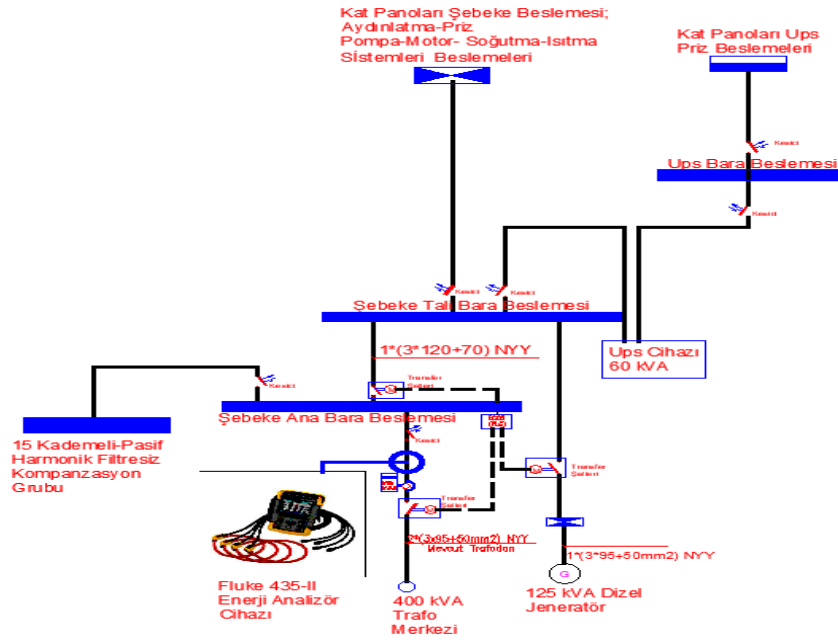


Şekil 5.56. İslami ilimler fakültesi binasına ait fliker (Pst, Plt) zaman çizelgesi

Binanın enerji kalitesini etkileyen faktörlerden fliker Şekil 5.56’da gösterilmiştir. Pst: kısa süreli titreşim kırmızı, Plt: uzun süreli titreşim mavi renk ile belirtilmiş ve bir haftalık zaman çizelgesinde gösterilmiştir. Ortalama olarak A, B ve C fazlarında Pst değeri sırasıyla 0,25, 0,39, 0,22 değerlerinde ölçülmüş, Plt değeri ise sırasıyla 0,43, 0,39, 0,37 değerinde ölçülmüştür. Fazlara ait fliker durumu incelendiğinde uyumluluk seviyesinin altında seyrettiği görülmektedir. Ayrıca kısa süreli aşırı yükselmeler görülmüş bunun sebebi ise enerji kesintisinden kaynaklanmaktadır. Genel olarak fliker değerlerinde ani bir değişim gözlenmemiş olup fliker değerlerinin standart seviyelerde olmasından dolayı binalarda kullanılan aydınlatma armatürleri, insanların sağlıklı bir ortamda baş ağrısı vb. sağlık sorunları oluşturmada çalışmasını sağlayacaktır.

5.4. Yabancı Diller Yüksekokulu Elektrik Enerji Ölçümü ve Analizi

Yalova Üniversitesi Yabancı diller yüksekokulu binası elektrik enerjisini TR-B3 kodlu 400 kVA trafodan sağlamaktadır. Bina ana giriş enerji barasından 20.04.2022-27.04.2022 tarihleri arasında Fluke 435-II enerji analizör cihazıyla bir haftalık ölçüm yapılmıştır. Binaya ait ikincil enerji kaynağı, kesintisiz güç kaynağı ve elektriksel yüklere ait bilgiler şu şekildedir; 125 kVA gücünde dizel jeneratör, 60 kVA gücünde 7/24 çalışan kesintisiz güç kaynağı, soğutma sistemine ait hava soğutmalı Chiller sistemi ve buna bağlı iç fancoil motorları, endüstriyel kombiler ile sirkülasyon pompa-motorları, aydınlatmada elektronik balastlı floresan armatürler, bilgisayarlar, yazıcılar, hidrolik motorlu asansör, içecek ve yiyecek otomat cihazları ile diğer elektrikli yükler bulunmaktadır.

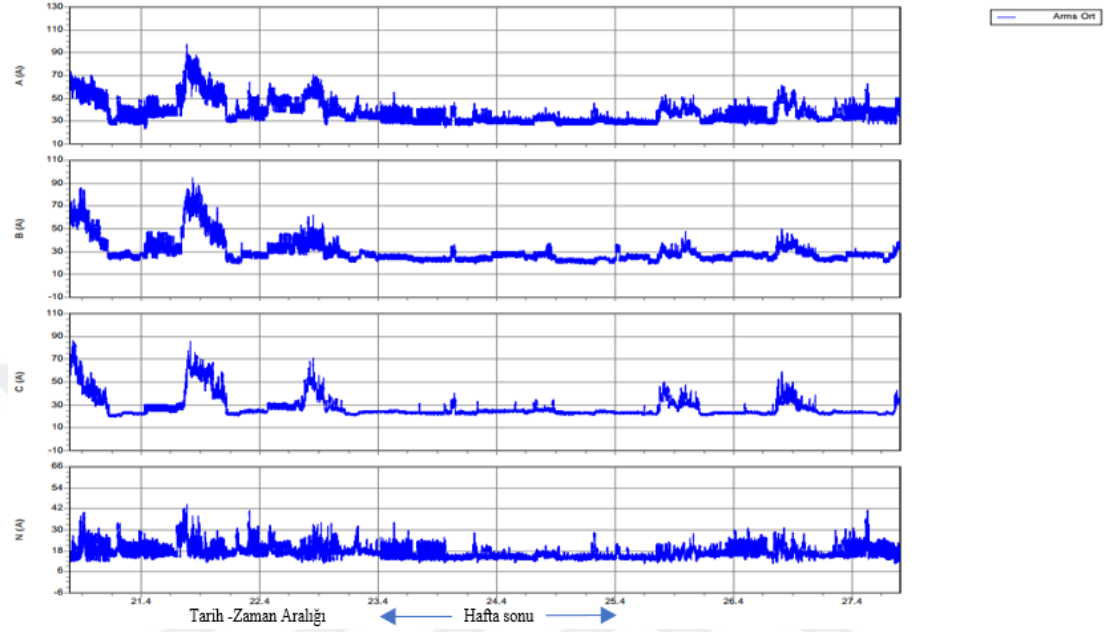


Şekil 5.57. Yabancı diller yüksekokulu binası tek hat şeması ve enerji kalitesi ölçüm noktası

Bina ana pano ölçüm noktası ve yük durumu tek hat şeması üzerinde Şekil 5.57’de gösterilmektedir. Binaya ait akım, gerilim, aktif güç, reaktif güç, güç faktörü, akım ve gerilim harmoniklerinden 3-5-7’nci harmonik mertebeler ile toplam harmonik bozunumu, dengesizlik, enerji kaybı, enerji tüketimi ve fliker açısından Pst ve Plt değerlerinin istatistik değerleri üzerinden zaman çizelgesi grafiğinde gösterimi ile kabul görülen değerlere göre kıyaslanması ve analizi yapılmıştır.

5.4.1. Yabancı diller yüksekokulu akım değerlerinin analizi

Binanın enerji kalitesi ölçümleri için, binanın tükettiği elektrik yüklerinin çektiği rms akım değerlerinin zamana bağlı değişiminin analiz edilmesi gerekmektedir.

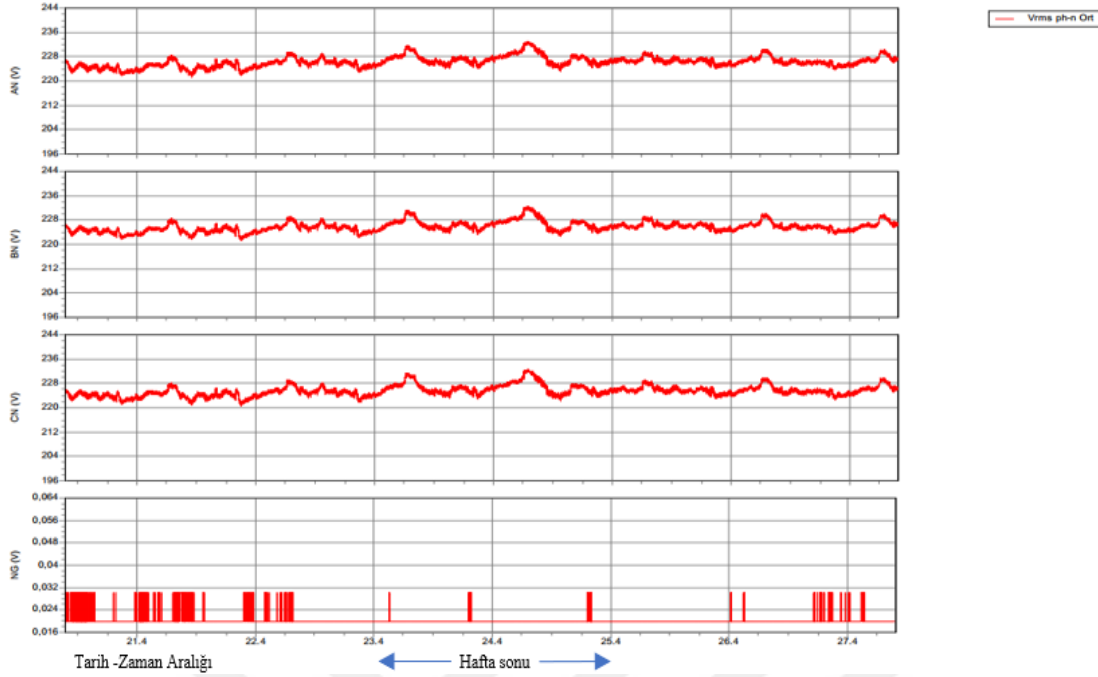


Şekil 5.58. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği

Binanın A-B-C fazları ve nötr akımına ait değerlerinin zaman çizelgesi şekil 5.59’da gösterilmiştir. Fazlara ait akım değerleri incelendiğinde mesai saatleri içerisinde elektrik yük kullanımının artmasıyla akım değerlerinde artış yaşanmış, mesai saat dışında elektrik yük kullanımının azalmasıyla akım değerlerinde azalış yaşandığı görülmektedir. Nötr hattı akım verileri incelendiğinde akım dengesizliğinden dolayı nötr hattından ortalama 17,66 amper akım geçişi görülmektedir.

5.4.2. Yabancı diller yüksekokulu gerilim değerlerinin analizi

Binanın enerji kalitesi ölçümleri için, her bir fazdaki gerilim rms değerlerinin, zaman içinde ölçülen akım değerleriyle ilişkisi yorumlanarak analiz edilmesi gerekmektedir.

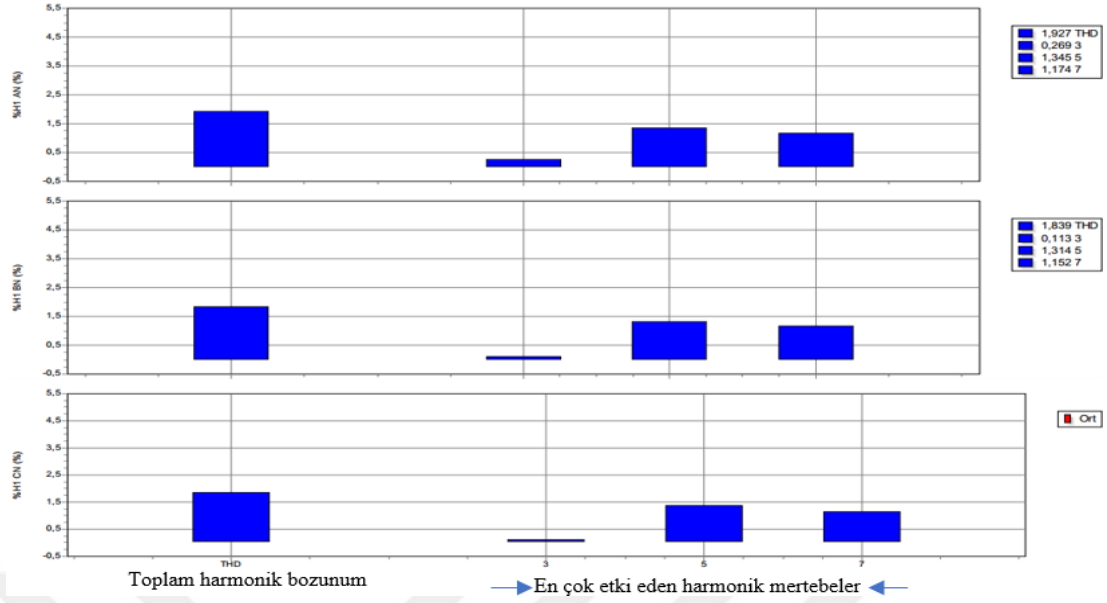


Şekil 5.59. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait gerilimin üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği

Binaya ait enerji kalite analizi için A-B-C fazları ve nötr-toprak arasındaki gerilim değerlerinin zaman çizelgesi şekil 5.59’da gösterilmiştir. Fazlara ait ortalama en yüksek gerilim değerleri sırasıyla 232,6, 232,3 ve 232,5 volt olarak ölçülmüştür. Ortalama gerilim değerleri ise sırasıyla 226,3, 225,7 ve 225,5 volt aralığındadır. Mesai saatleri içerisinde elektrik yük kullanımının artmasıyla gerilim değerlerinde 4-7 volt değerinde düşüşler yaşanmış, mesai saat dışında kalan zaman dilimlerinde elektrik yük kullanımının azalmasıyla gerilim değerlerinde tekrardan artış yaşanmıştır. Gerilim değerleri istenilen seviyede olup yükler için sorun teşkil etmemektedir. Nötr-toprak arası gerilim değeri incelendiğinde yük kullanımına bağlı olarak en yüksek 0,3 volt civarında olduğu, en alt değer 0,2 volt olarak ölçüldüğü gözlemlenmiş ve ortalama nötr-toprak gerilimi 0,21volt olarak ölçülmüştür. Nötr-toprak arası ortalama gerilim değeri, kabul görülen standart sınır değer (2 volt) altındadır. Fakat ana pano nötr ve toprak bağlantısı birleştirilerek sıfırlama uygulaması yapılmıştır.

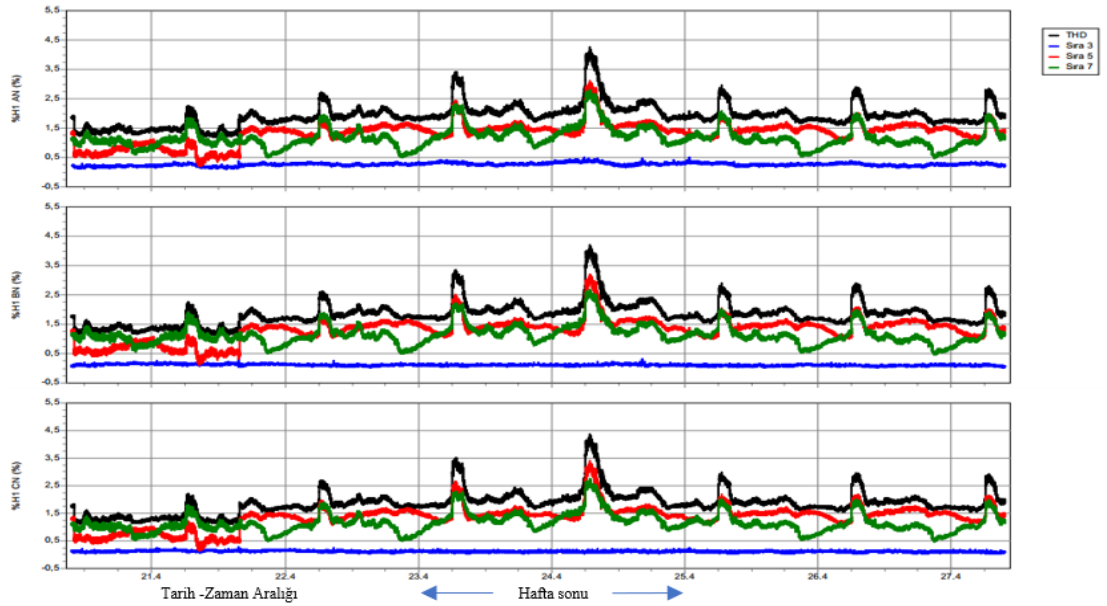
5.4.3. Yabancı diller yüksekokulu gerilim harmonik analizi

Binanın enerji kalitesi ölçümleri için, her bir fazdaki toplam harmonik değerlerinin, 3-5-7’nci derecelerdeki histogram ve zamana bağlı değişim grafikleri üzerinde analizi yapılarak gerilim harmonik durumunun tespiti yapılmıştır.



Şekil 5.60. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait gerilim harmoniklerinin histogram grafiği

Binanın gerilim harmonik ölçümlerini gösteren histogram grafiği Şekil 5.60'ta sunulmuştur. Ortalama toplam gerilim harmonik değerlerinin her bir faz için kabul edilen standart sınır değerlerin ($THD_v \leq 5\%$) altında olduğu görülmektedir. A fazı için ortalama gerilim harmonik değeri %1,92, B fazı için ortalama gerilim harmonik değeri %1,83 ve C fazı için ise ortalama toplam gerilim harmonik değeri %1,86 olarak belirlenmiştir.

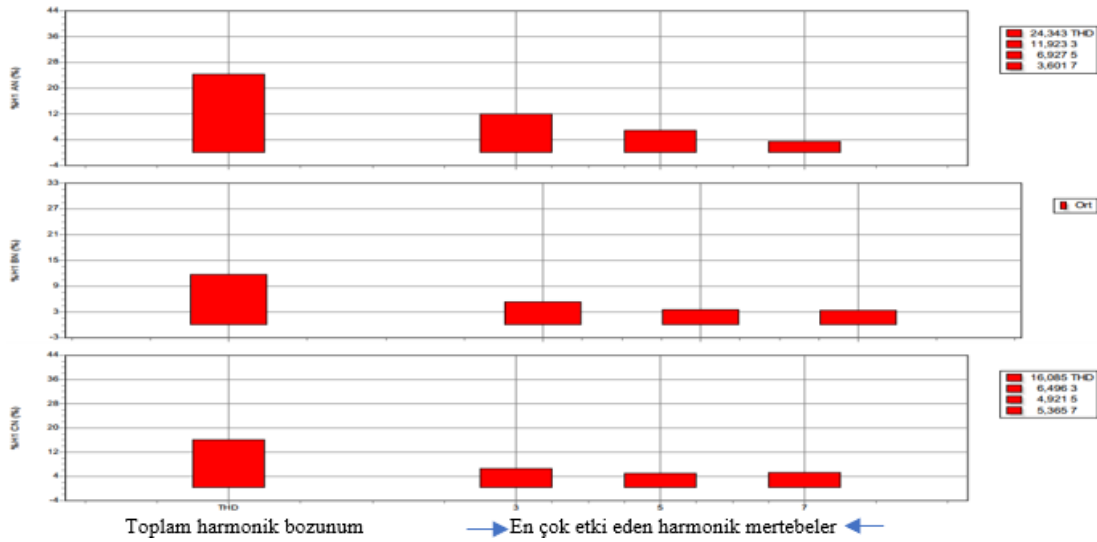


Şekil 5.61. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait her bir fazın gerilim harmoniği zaman çizelgesi

Şekil 5.61'de gösterilen ölçüm sonuçlarına göre, zamana bağlı olarak 3., 5. ve 7. mertebe toplam gerilim harmonikleri incelenmiştir. Toplam gerilim harmonik bozunum seviyesi her bir faz için kabul görülen seviyenin ($THD_v \geq \%5$) altında olduğu görülmüştür. Hafta içi ve hafta sonu saat 07:00-09:00 civarında ısıtma sistemine ait sirkülasyon pompalarının ve ofis sınıf ve koridorlarda bulunan fancoil motorlarının devreye girmesiyle gerilim harmoniğinde artış gözlemlenmiş fakat sınır değeri geçmemiştir. Gerilim harmonik mertebeleri incelendiğinde 5. ve 7. harmonik mertebenin toplam gerilim harmonik değerini daha çok artırdığı gözlemlenmiştir. Binanın enerji kalitesi açısından gerilim harmoniklerinin ideal seviyelerde olduğu görülmekte olup farklı zamanlarda ölçümlerin yapılarak takip edilmesi gerekmektedir.

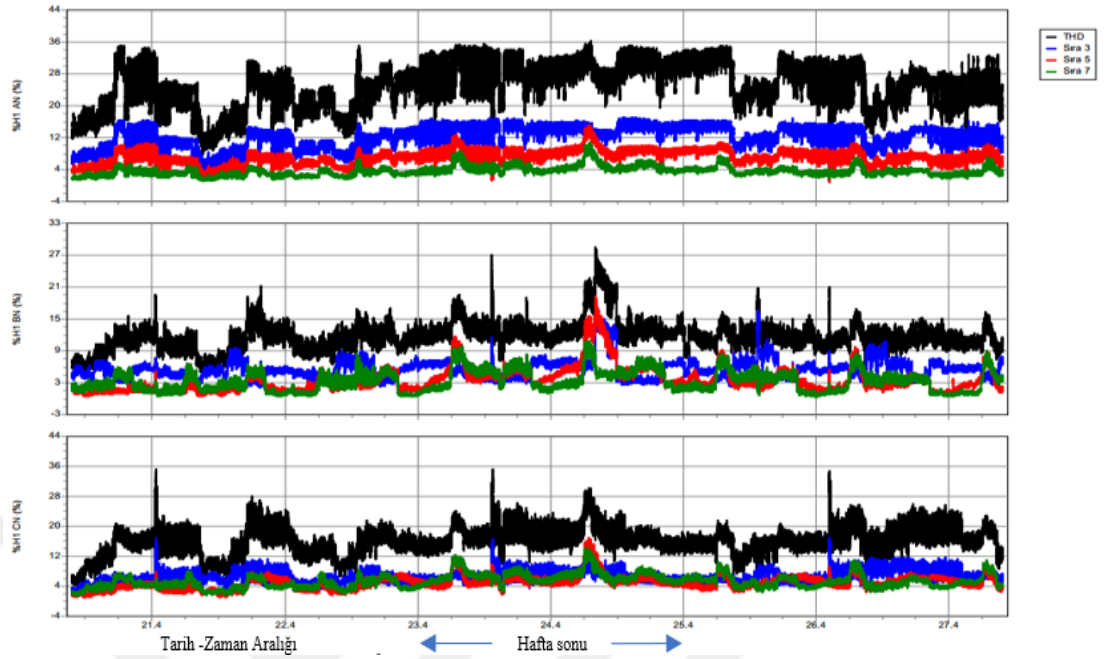
5.4.4. Yabancı diller yüksekokulu akım harmonik analizi

Binaya ait akımın harmonik değerleri ölçülmüş ve akım harmoniğine ait bileşenlerin istatistiksel verileri kullanılarak, en yüksek ve en düşük değerlerin hangi zaman aralıklarında yaşandığı belirlenmiştir ve standart değerlerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.62. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait akım harmoniklerinin histogram grafiği

Binanın akım harmonik değerlerinin histogram görünümü Şekil 5.62'de gösterilmiştir. Toplam akım harmonik ortalama değerleri incelendiğinde A fazında harmonik değerinin sınır değerin üzerinde olduğu, B ve C fazlarında akım harmonik seviyenin kabul görülen sınır değerin altında olduğu görülmüştür.

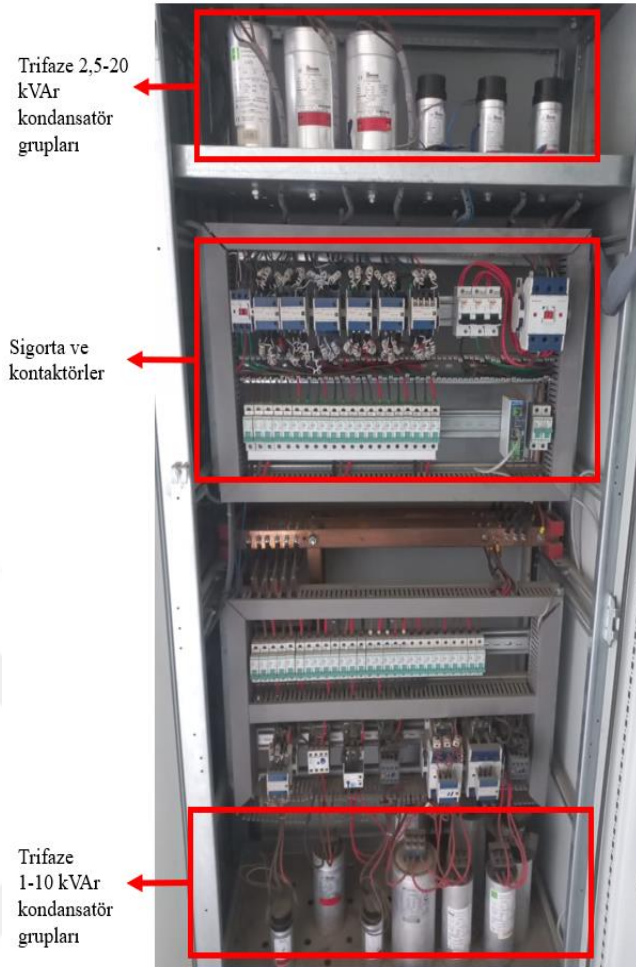


Şekil 5.63. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait her bir fazın akım harmoniği zaman çizelgesi

Binaya ait akım harmonik değerlerinin zaman çizelgesi gösterimi Şekil 5.63'te yer almaktadır. Toplam akım harmoniği, mesai saatleri içerisinde yüklerin devreye girmesiyle birlikte harmonik sınır değerinin altında kalmıştır. Fakat mesai saatleri dışında ve hafta sonu zaman dilimlerinde harmonik sınır değerleri aştığı görülmüştür. A fazında akım harmoniğinin diğer fazlara göre fazla olması tek fazlı alıcıların akım harmoniğine sebebiyet verdiği sonucunu çıkarmaktadır. Binanın kompanzasyon panosunda, pasif harmonik filtre mevcut olmayıp sadece kondansatör grupları mevcuttur. Akım harmonik bozunumu mesai saatleri dışında kalan zamanlarda tehlike arz etmekte olup pasif harmonik filtre uygulamasının yapılması gerekmektedir.

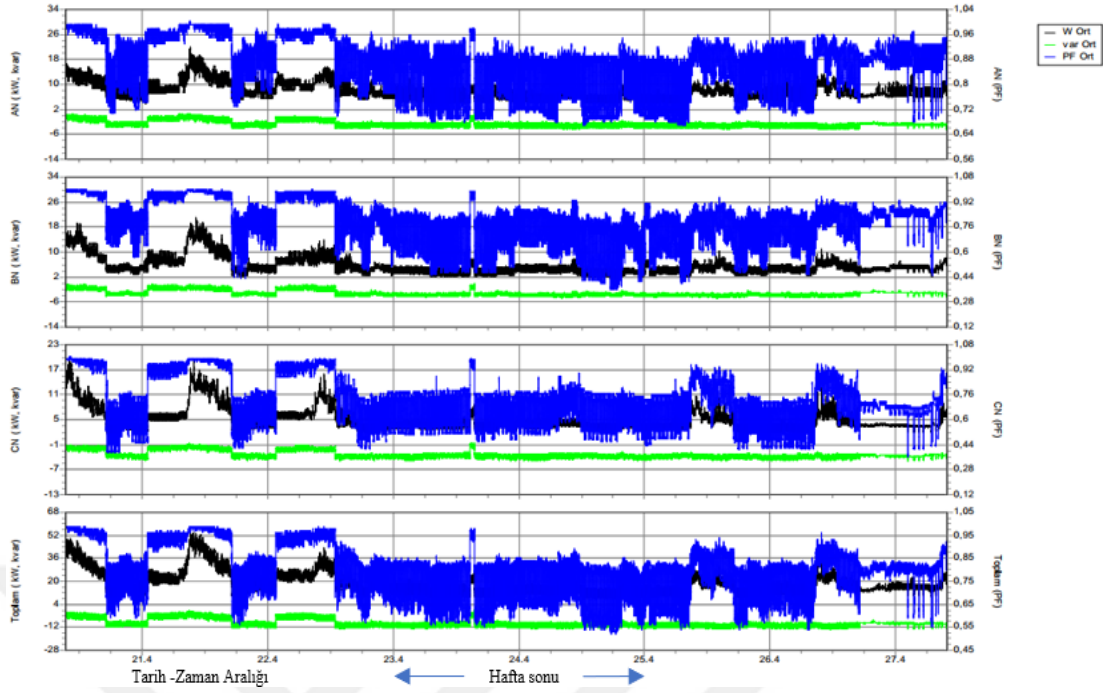
5.4.5. Yabancı diller yüksekokulu güç ve kompanzasyon durum analizi

Binanın kompanzasyon panosunda koruma amaçlı anahtarlı sigortalar, kontaktör grupları, 15 kademeli kondansatör grupları ile sonradan ilave edilen iki adet şönt reaktörler mevcuttur.



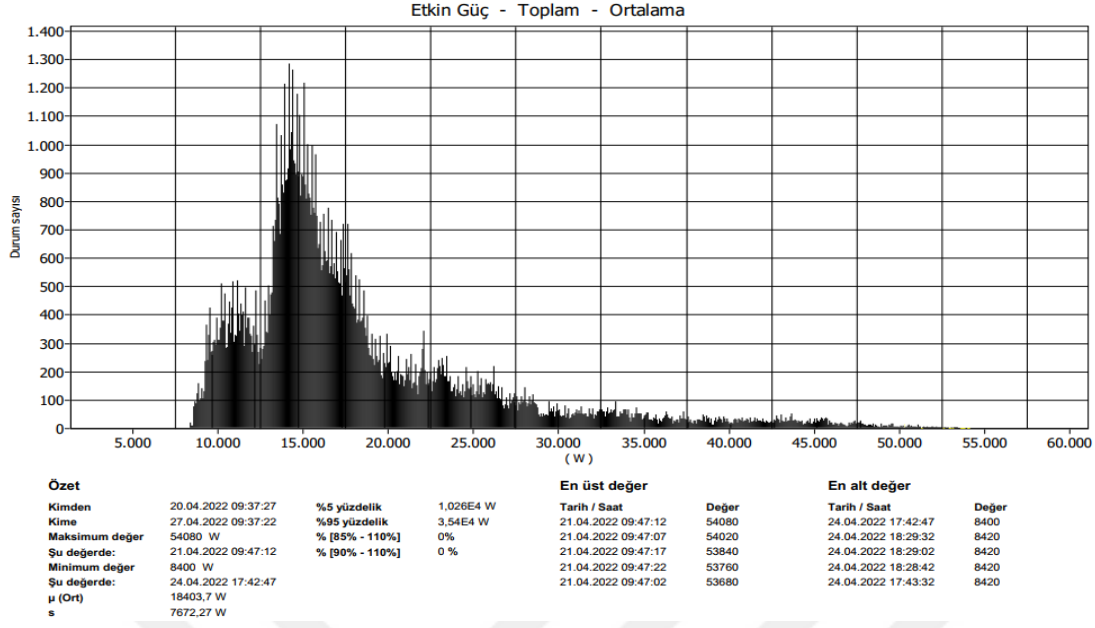
Şekil 5.64. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait kompanzasyon panosu

Kompanzasyon panosu 15 kademeli olarak tasarlanmış ve Şekil 5.64'te gösterilmiştir. Kondansatörler üç fazlı bağlantılı olup tek fazlı kondansatör mevcut değildir. Kondansatör güçleri düşük kapasiteli seçilmiş ve binanın reaktif gücü endüktif özellikte olduğundan devreye girmesine rağmen güç faktörünü ideal seviyelerde tutulmadığı Şekil 5.65'te güç faktörü çizelgesinden anlaşılmaktadır.



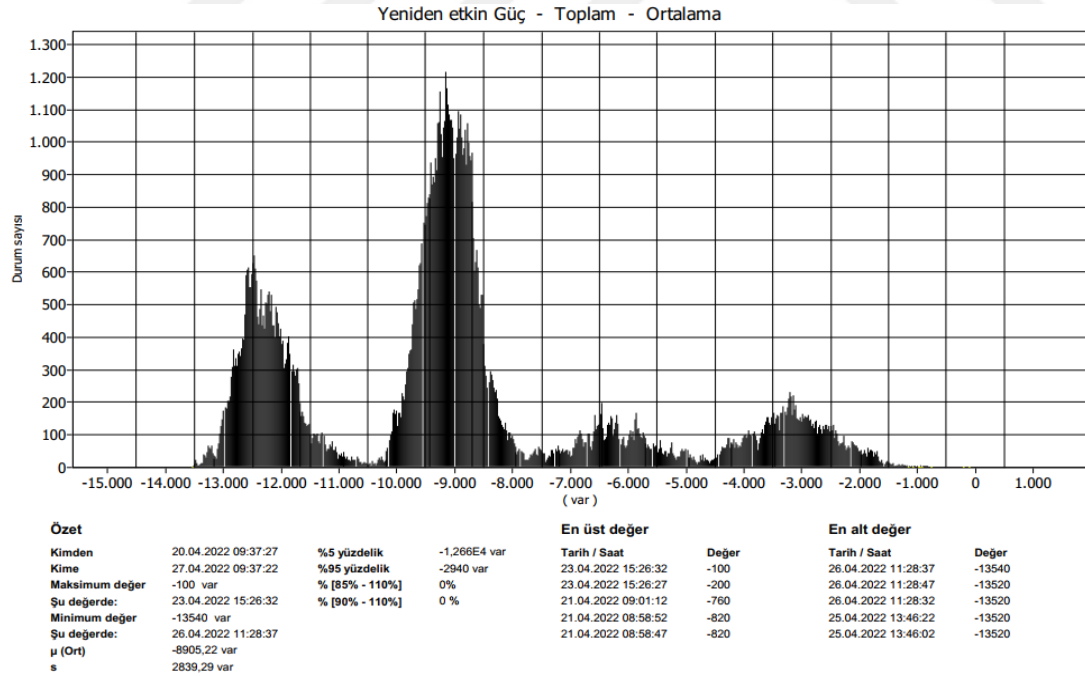
Şekil 5.65. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait aktif, reaktif güç ve güç faktörü zaman çizelgesi grafiği

Binanın aktif, reaktif güç ve güç faktörü değerlerine ait zaman çizelgesi Şekil 5.65'te gösterilmiştir. Mesai saatlerinde etkin güç kullanımının artmasıyla ortalama olarak reaktif güç için A, B ve C fazlarında endüktif özellikli yüklerin devreye girmesiyle reaktif güçte kapasitif özellikte düşüş görülse de endüktif yük profiline geçiş olmamıştır. Mesai saati dışında kalan zaman dilimlerinde ise kapasitif/reaktif yük karakteristiğinde güç çekimi devam etmiştir. Güç faktörü açısından toplam değere bakıldığında mesai saati zaman dilimlerinde etkin güç kullanımı endüktif karakteristik özellikli cihazların devreye girmesiyle kapasitif etki baskılanmış ve güç faktörünün standart değere yakın olduğu fakat ideal seviyeye ulaşmadığı görülmüştür. Mesai saatleri dışında kalan zaman dilimlerinde güç faktörü değeri standart sınır değerinin altında kalmış ve enerji kalitesi ve verimliliğini olumsuz etkilemiştir.



Şekil 5.66. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait etkin güç istatistik grafiği

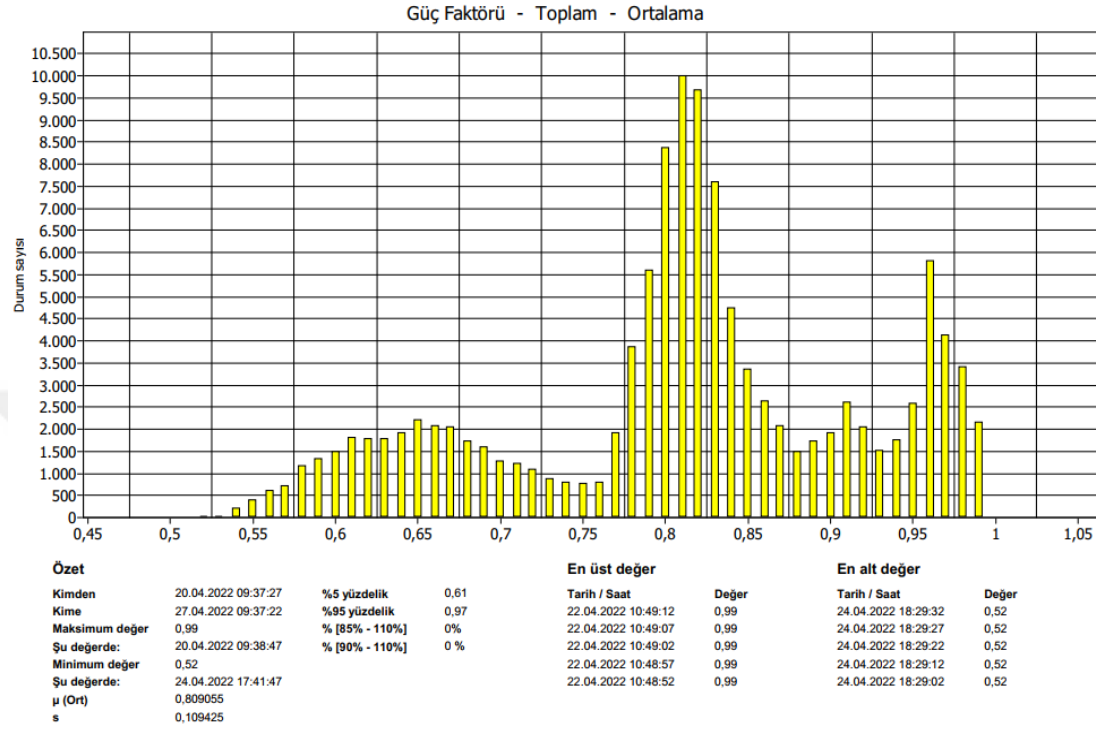
Binanın bir haftalık etkin güç ortalama kullanımı Şekil 5.66’da gösterilmiştir. İstatistik verilere bakıldığında binada anlık en üst değer 54.080 kW, en alt değer 8.400 kW, ortalama etkin güç ise 18.403 kW olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.67. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait reaktif güç istatistik grafiği

Reaktif enerji tüketim istatistik grafiği Şekil 5.67’de gösterilmiştir. Binanın reaktif yük karakteristiği ortalama olarak kapasitif/reaktif özellikte olup -8.905 kVAr güçte olduğu

görülmüştür. Binada kapasitif özellik gösteren başlıca yükler; Ups cihazı elektronik balastlı floresan armatürler, bilgi işlem yedek server sistemine ait switchler, bilgisayarlar ve yapısında kondansatör bulunan diğer cihazlar gösterilebilir.



Şekil 5.68. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait güç faktörü istatistik grafiği

Binaya ait kompanzasyon panosunda kondansatör grupları Şekil 5.64'te gösterilmiş ve binanın reaktif yük profili Şekil 5.67'de gösterilen grafikte ortalama olarak kapasitif yük ağırlıkta olduğu belirtilmiştir. Güç faktörü açısından bakıldığında Şekil 5.68'de gösterilen güç faktörü grafiğinde ortalama güç faktörü 0,80 civarında olup standart değerlerin altında kalmış ve enerji kalitesi açısından olumsuz bir durum teşkil etmiştir. Kompanzasyon panosunda üç fazlı kondansatör grupları mevcut olup tek fazlı kondansatör grubu bulunmadığından her bir faz için güç faktörü aynı değerde kalmamıştır. Ayrıca ara kademe kondansatör grupları da (0,5-1-1,5 kVAr) panoda mevcut değildir.

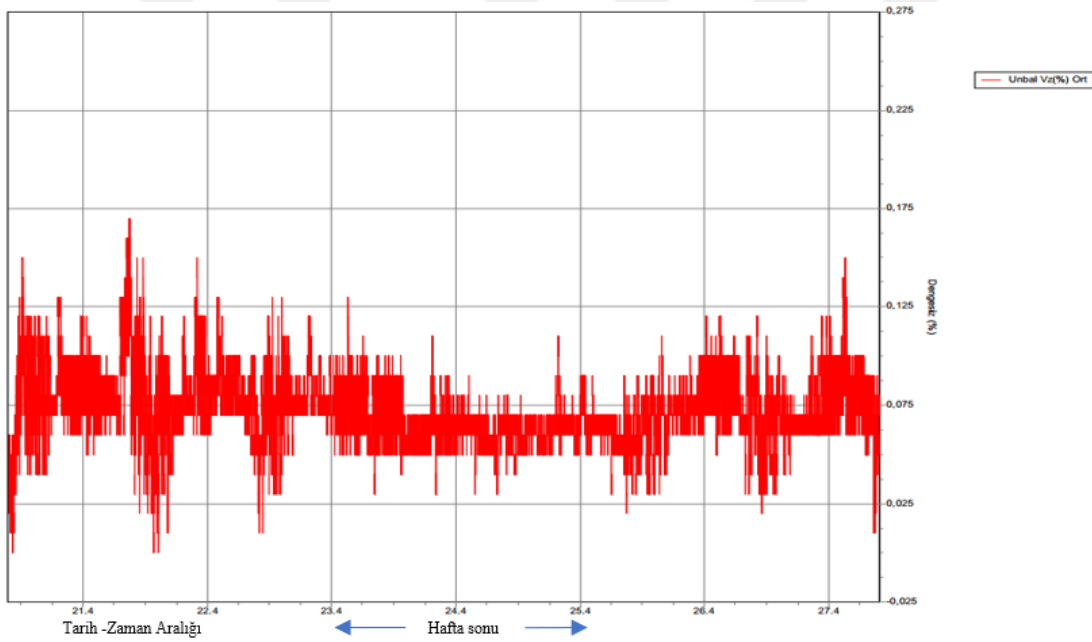
Güç faktörünü standart kabul edilen (0,95-1) değer aralığına ulaştırabilmek için sisteme tek fazlı ve üç fazlı statik Var kontrollü şönt reaktör gruplarının ilave edilerek yük profilinin endüktif özelliğe geçişinin sağlanması ile kondansatör gruplarının ve ilave edilecek pasif harmonik filtrelerin devreye girerek kompanze işleminin yerine getirilmesi gerekmektedir. Ayrıca panoya sonradan ilave edilen ve direk sisteme bağlı

olup ölçümler sırasında devreden çıkarılan üç fazlı 25 kVAr gücündeki şönt reaktörün tristör kontrollü endüktif yük sürücüsü ile devreye alınması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

5.4.6. Yabancı diller yüksekokulu gerilim ve akım dengesizlik durum analizi

Enerji kalitesini etkileyen dengesizlik bileşeni gerilim ve akım dengesizliği olarak ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen veriler kullanılarak zamana bağlı değişimleri grafiklerle gösterilerek istatistiksel analizleri yapılmıştır. Her iki durum içinde farklı parametreler ortaya konmuş ve yorumlar yapılmıştır.

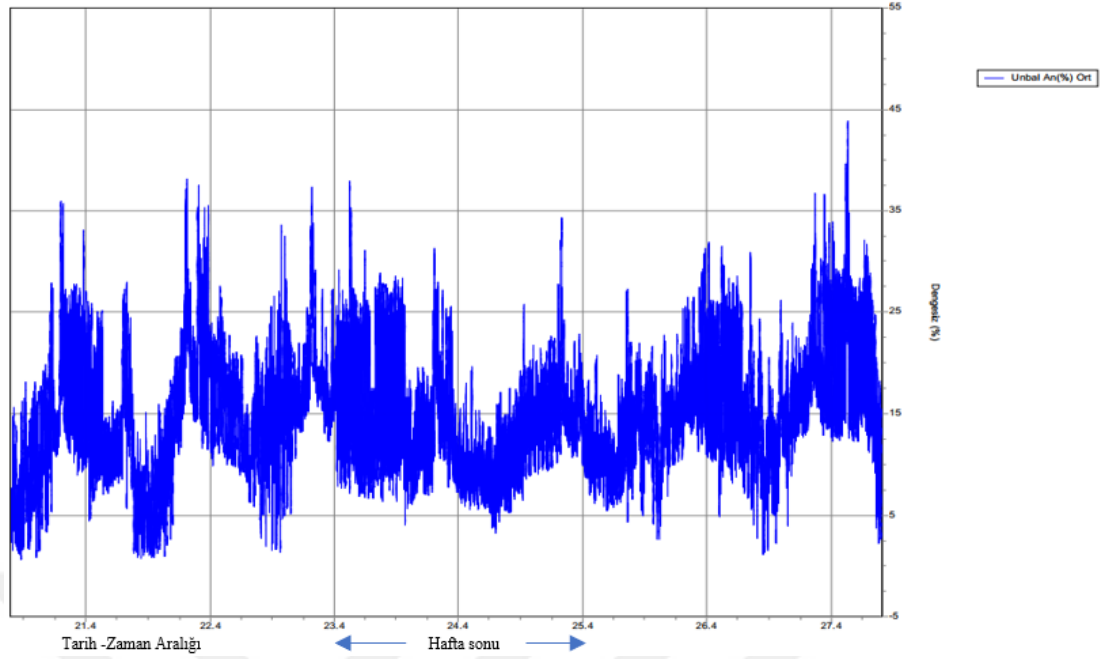
Gerilim dengesizliği V_z (%): Binanın gerilim dengesizliği hem zaman değişimi grafiği ile hem de istatistiksel grafik verileri kullanılarak analizi yapılmıştır.



Şekil 5.69. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait zamana bağlı gerilim dengesizliği ($\%V_z$)

Zamana bağlı gerilim dengesizliği grafiği Şekil 5.69'da gösterilmiştir. Fazlara ait gerilim dengesizliği mesai saatlerinde ve diğer zaman aralıklarında sınır değerinin ($\%2$) altında seyretmiş olup enerji kalitesi ve verimliliği açısından sorun teşkil etmemiştir.

Akım dengesizliği A_n (%): Binanın akım dengesizliği hem zaman değişimi grafiği ile hem de istatistiksel grafik verileri kullanılarak analizi yapılmıştır.



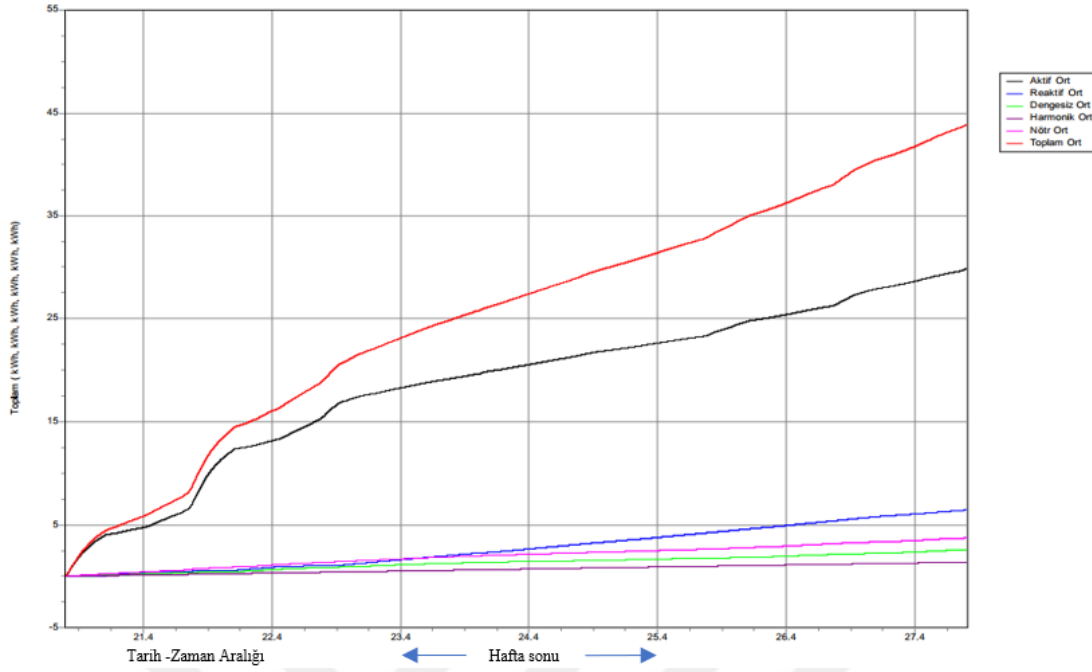
Şekil 5.70. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait zamana bağlı akım dengesizliği %An

Akım dengesizliğine ait zaman çizelgesi Şekil 5.70’te gösterilmiştir. Fazlara ait akım dengesizliğinde mesai saatleri içerisinde dengeli yük kullanımının artmasıyla bir miktar düşüş yaşansa da ortalama olarak sınır değer üzerinde seyretmiştir. Ayrıca yük kullanımının azalması sonucu tek fazlı ve dengesiz yük kullanımı artığında akım dengesizliğinde daha fazla artış yaşandığı gözlemlenmiştir. Akım dengesizliğine ait ortalama değer %14,9 olarak ölçülmüş ve kabul görülen standart sınır değerinin (%10) üzerinde olduğu ve enerji kalitesi ve verimliliği açısından sorun teşkil ettiği tespit edilmiştir.

5.4.7. Yabancı diller yüksekokulu enerji kaybı ve enerji tüketim durum analizi

Toplam enerji kayıpları beş farklı bileşen olarak incelenmiştir. Ayrıca, binanın enerji tüketim durumu hakkında bilgi edinmek için aktif enerji ve reaktif enerji tüketimini gösteren bir grafik kullanılmış ve bir haftalık tüketimin aktif-reaktif oranı da analiz edilmiştir.

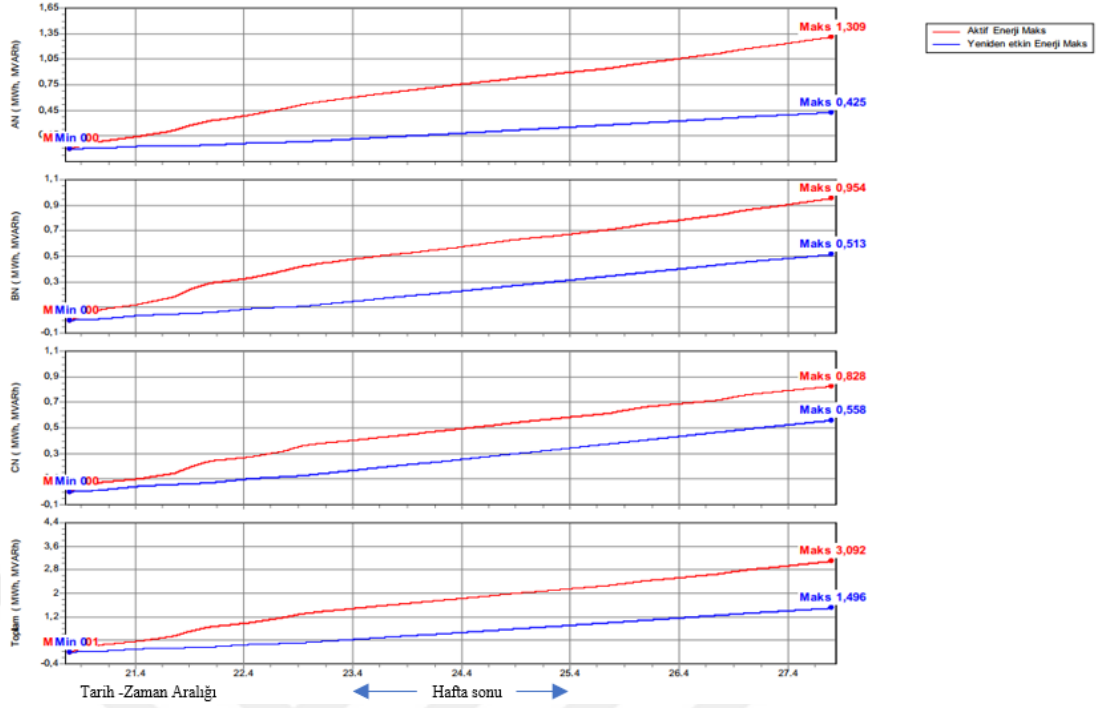
Enerji kaybı: Binanın elektrik enerjine ait enerji kaybı ölçümü yapılarak grafik üzerinde gösterimi yapılmış ve toplam enerji kaybı verileri işlenmiştir. Kayıp enerjinin en çok hangi bileşende olduğu tespit edilerek çözüm önerilerinde bulunulmuştur.



Şekil 5.71. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait enerji kaybı zaman çizelgesi grafiği

Enerji kayıplarını oluşturan bileşenler zamana bağlı olarak Şekil 5.71’de gösterilmiştir. Binanın enerji kaybına neden olan en önemli etken aktif güç kullanımına bağlı olup siyah renk ile gösterilmiştir. Yük kullanımına bağlı olarak hafta sonu enerji kayıpları yatay pozisyonda ilerlemiş hafta içi mesai saati içerisinde dikey, mesai saati dışındaki zamanlarda ise yatay pozisyonda ilerlemiştir. Aktif enerji kayıpları, elektrikli cihazların verimlilik kaybı ve iletimi sağlayan kablolar üzerinde oluşan kayıpların toplamı olarak ifade edilebilir. Haftalık olarak toplam enerji kaybı 43 kWh olup aktif enerji kaybı ortalama 30 kWh olarak hesaplanmıştır. Diğer kayıp enerji bileşen toplamı ise 13 kWh ile sırasıyla reaktif, nötr, dengesizlik ve harmonik enerji kayıpları olarak ölçülmüştür. Toplam enerji kaybı maliyeti için elektrik enerjisinin birim fiyat bedeli 0,17\$ olarak baz alınmış ve yıl bazında binaya ait ortalama toplam enerji kaybı: $(56 \text{ hafta} \times 43 \text{ kWh} \times 0,17\$) = 409,36\$$ olarak hesap edilmiştir.

Aktif ve reaktif enerji tüketimi: Aktif ve reaktif enerji tüketimlerinin haftalık verileri, reaktif enerjinin aktif enerjiye oranı ile kompanzasyon sınır değerlerinin ortaya çıkmasını ve güç faktörü durumu hakkında bilgi sahibi olmayı sağlamakta buna bağlı olarak da çözüm önerilerinin sunulmasını sağlayacaktır.

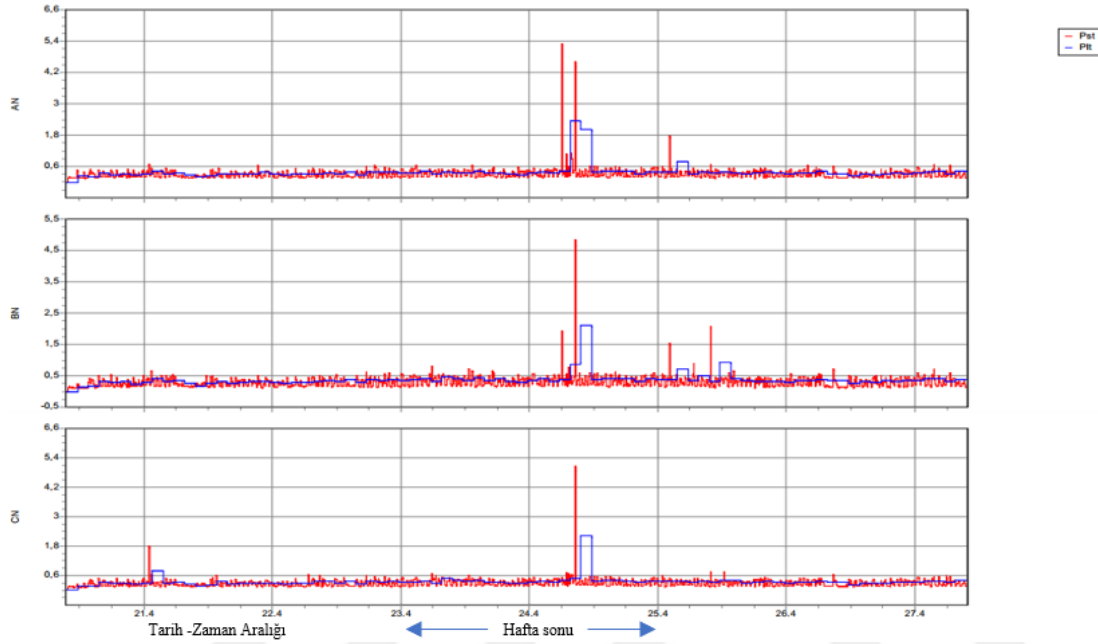


Şekil 5.72. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait aktif ve reaktif enerji tüketim çizelgesi

Enerji tüketiminin her bir faza ait ve toplam tüketimlerini bir haftalık periyot boyunca Şekil 5.72’de gösterilmiştir. Aktif ve yeniden etkin enerji (reaktif enerji) tüketimlerinin oransal değerlendirmesi sonucu EPDK’nın belirlemiş olduğu reaktif enerji tüketim oranları kapasitif/reaktif için %15, endüktif/reaktif için %20 dir. Şekil 5.67’de reaktif güç istatistik grafiğinde bina yük tipi kapasitif/reaktif özellikte olduğu ve yasal sınır değerini aştığı anlaşılmaktadır. Reaktif enerji tüketiminin aktif enerji tüketimine oranı yüzdesel olarak hesaplanmış (reaktif/aktif enerji x100) ve % 48,38 aktif güce göre reaktif enerji tüketimi olmuştur. Bina elektrik aboneliğinin bireysel olduğu varsayılırsa faturada reaktif enerji bedeli yansıtılacak olup reaktif enerji birim fiyatı 0,04\$ olarak baz alındığında aylık reaktif enerji bedeli: (4 hafta*1,496 kWh*0,04\$) = 239,36\$ olarak faturaya etki edecektir. Bina kompanzasyonun kapasitif/reaktif enerjiyi sönmöleyecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca bu grafik binanın enerji tüketimine göre güç faktörünün istenilen değerlerden uzak olduğunu da teyit etmektedir.

5.4.8. Yabancı diller yüksekokulu titreşim durum analizi

Binanın titreşim durumu iki aşamalı olarak kısa süreli şiddet Pst 10 dk üzerinden ve uzun süreli şiddet Plt iki saat üzerinden hesaplanmış ve ölçümler bir haftalık periyotta ölçülmüştür.

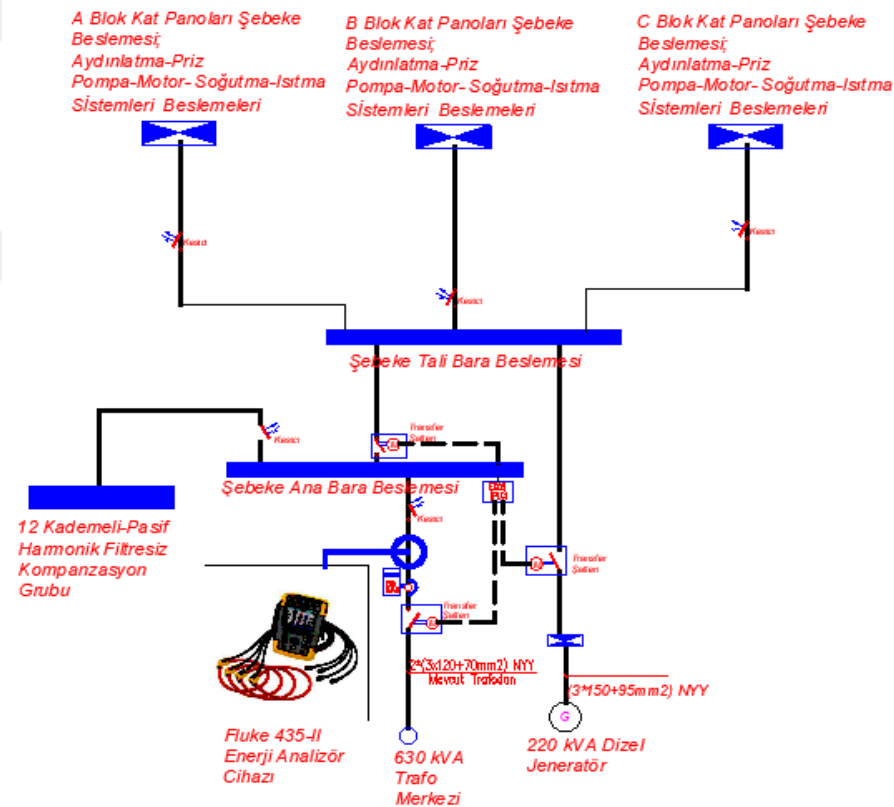


Şekil 5.73. Yabancı diller yüksekokulu binasına ait fliker (Pst, Plt) zaman çizelgesi

Binanın enerji kalitesini etkileyen faktörlerden fliker Şekil 5.73'te gösterilmiştir. Pst: kısa süreli titreşim kırmızı, Plt: uzun süreli titreşim mavi renk ile belirtilmiş ve bir haftalık zaman çizelgesinde gösterilmiştir. Ortalama olarak A, B ve C fazlarında Pst değeri sırasıyla 0,31, 0,30, 0,29 değerlerinde ölçülmüş, Plt değeri ise sırasıyla 0,38, 0,37, 0,35 değerinde ölçülmüştür. Fazlara ait fliker durumu incelendiğinde uyumluluk sınır seviyesinin (Pst:0,8-Plt:1) altında seyrettiği görülmektedir. Fliker değerlerinde ara ara kısa süreli aşırı yükselmelerde görülmüş fakat ortalama olarak fliker değerleri, standart seviyelerde olmasından dolayı binalarda kullanılan aydınlatma armatürleri, insanların sağlıklı bir ortamda baş ağrısı vb. sağlık sorunları oluşturmada çalışmasını sağlayacaktır.

5.5. Termal Sağlık Bilimleri Yüksekokulu Elektrik Enerji Ölçümü ve Analizi

Yalova Üniversitesi Termal Sağlık Bilimleri Yüksekokulu binası elektrik enerjisi orta gerilim aboneliği üzerinden 630 kVA trafodan sağlamaktadır. Binanın ana giriş enerji barasından 09.06.2022-16.06.2022 tarihleri arasında Fluke 435-II enerji analizör cihazıyla bir haftalık ölçüm yapılmıştır. Binaya ait ikincil enerji kaynağı ve elektriksel yüklere ait bilgiler şu şekildedir; 220 kVA gücünde dizel jeneratör, soğutma sistemine ait duvar tipi split klimalar mekanik balastlı floresan armatürler, endüstriyel yer tipi doğalgaz kazanı ile sirkülasyon pompa-motorları, çevre aydınlatmada led aydınlatma, bilgisayarlar, yazıcılar, içecek ve yiyecek otomat cihazları asansörler ve diğer elektrikli yükler bulunmaktadır. Yerleşke binalarında kesintisiz güç kaynağı bulunmamaktadır.



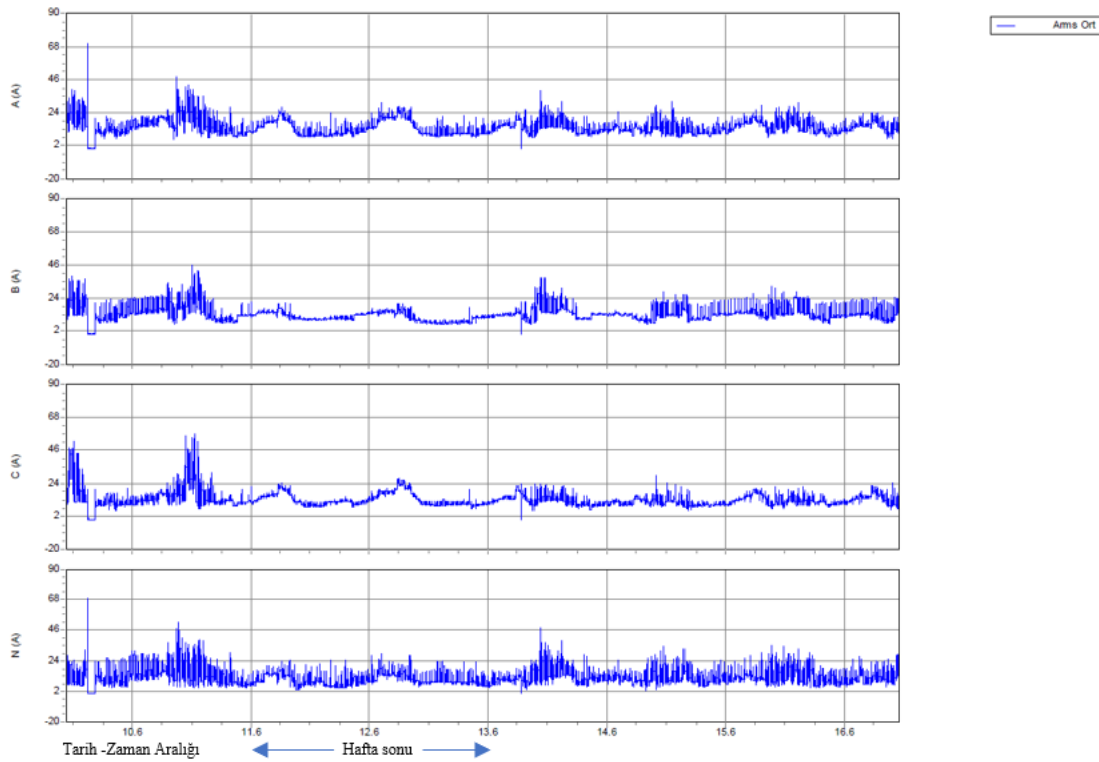
Şekil 5.74. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait tek hat şeması ve enerji kalitesi ölçüm noktası

Bina ana pano ölçüm noktası ve yük durumu tek hat şeması üzerinde Şekil 5.74’te gösterilmektedir. Binaya ait akım, gerilim, aktif güç, reaktif güç, güç faktörü, akım ve gerilim harmoniklerinden 3-5-7’nci harmonik mertebeler ile toplam harmonik

bozunumu, dengesizlik, enerji kaybı, enerji tüketimi ve fliker açısından Pst ve Plt değerlerinin istatistik değerleri üzerinden zaman çizelgesi grafiğinde gösterimi ile kabul görülen değerlere göre kıyaslanması ve analizi yapılmıştır.

5.5.1. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu akım değerlerinin analizi

Binanın enerji kalitesi ölçümleri için, binanın tükettiği elektrik yüklerinin çektiği rms akım değerlerinin zamana bağlı değişiminin analiz edilmesi gerekmektedir.

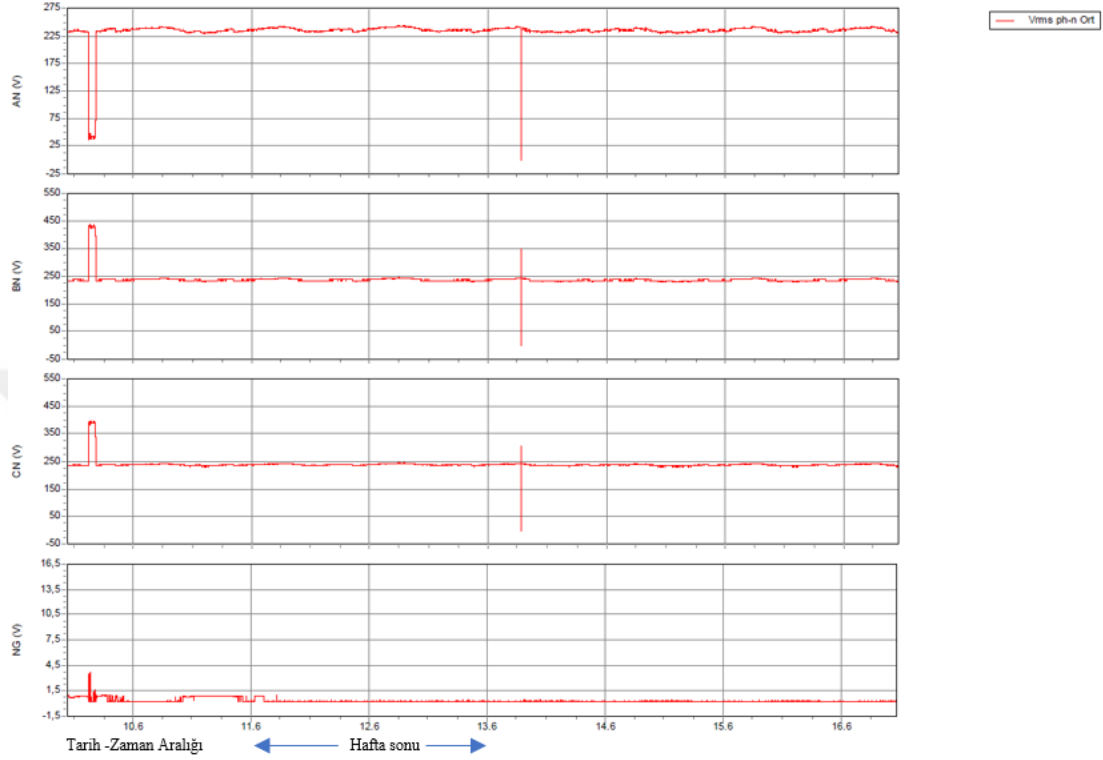


Şekil 5.75. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği

Binanın A-B-C fazları ve nötr akımına ait değerlerinin zaman çizelgesi şekil 5.75'te gösterilmiştir. Fazlara ait akım değerleri incelendiğinde mesai saatleri içerisinde elektrik yük kullanımının artmasıyla akım değerlerinde artış yaşanmış, mesai saati dışında elektrik yük kullanımının azalmasıyla akım değerlerinde azalış yaşandığı görülmektedir. Ayrıca ölçümler esnasında bir defa enerji kesintisi bir defa da A fazında kesinti yaşanmıştır. Nötr hattı akım verileri incelendiğinde akım dengesizliğinden dolayı nötr hattından ortalama 11,70 amper akım geçişi görülmektedir.

5.5.2. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu gerilim değerlerinin analizi

Binanın enerji kalitesi olęmleri için, her bir fazdaki gerilim rms değerlerinin, zaman içinde olęlen akım değerleriyle ilişkisi yorumlanarak analiz edilmesi gerekmektedir.



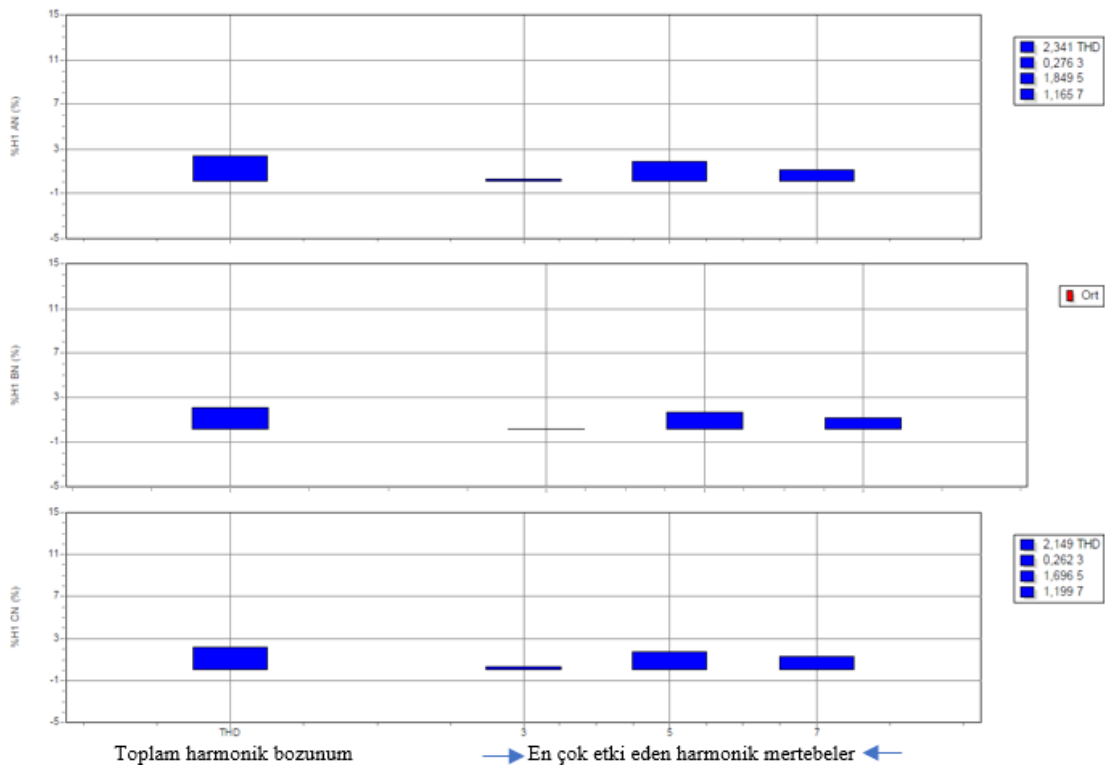
şekil 5.76. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait gerilimin  faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği

Binaya ait enerji kalite analizi için A-B-C fazları ve nötr-toprak arasındaki gerilim değerlerinin zaman izelgesi şekil 5.76’da gösterilmiştir. Fazlara ait ortalama en yüksek gerilim değerleri sırasıyla 244, 245 ve 246 volt olarak olęlmřtr. Ortalama gerilim değerleri ise sırasıyla 234, 236 ve 237 volt aralığındadır. Mesai saatleri içerisinde elektrik yük kullanımının artmasıyla gerilim değerlerinde 5-10 volt değerinde düşüşler yaşanmış, mesai saat dışında kalan zaman dilimlerinde elektrik yük kullanımının azalmasıyla gerilim değerlerinde tekrardan artış yaşanmıştır. Olęm esnasında bir defa enerji kesintisi bir defa da sadece A fazında kesinti yaşanmış B ve C fazlarında yüksek gerilim değerleri görülmüştür. Akımda yaşanan artış anında fazlara ait gerilim değerleri istenilen değerlerin üzerinde seyretmiştir. Gerilim değerlerinin yaklaşık olarak 10 volt düşürülmesi için trafo kademe ayarının bir seviye yükseltilmesi gerekmektedir. Nötr-toprak arası gerilim değeri incelendiğinde yk kullanımına bağlı olarak en yüksek 3,7 volt, ortalama nötr-toprak gerilimi ise 0,3 volt

olarak ölçülmüştür. Nötr-toprak arası ortalama gerilim değeri, kabul görülen standart sınır değerin ($NG \leq 3$ volt) altında olup binanın işletme ve koruma topraklaması iyi durumdadır.

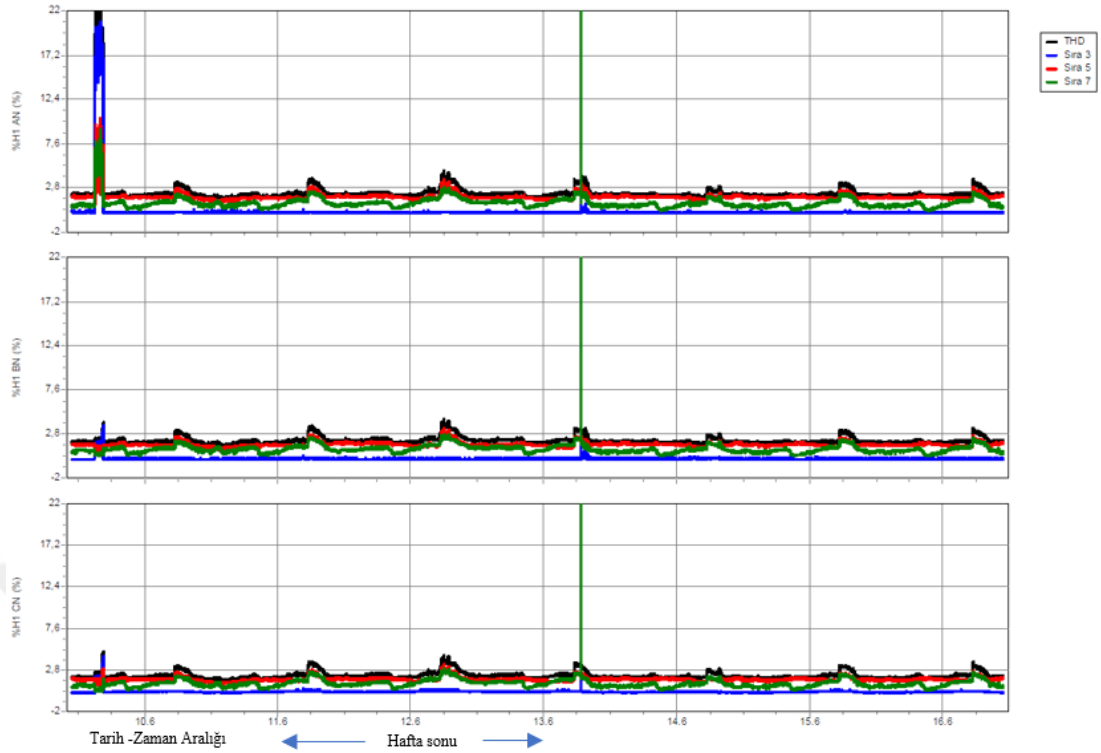
5.5.3. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu gerilim harmonik analizi

Binanın enerji kalitesi ölçümleri için, her bir fazdaki toplam harmonik değerlerinin, 3-5-7'nci derecelerdeki histogram ve zamana bağlı değişim grafikleri üzerinde analizi yapılarak gerilim harmonik durumunun tespiti yapılmıştır.



Şekil 5.77. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait gerilim harmoniklerinin histogram grafiği

Binanın gerilim harmonik ölçümlerini gösteren histogram grafiği Şekil 5.77’de sunulmuştur. Ortalama toplam gerilim harmonik değerlerinin her bir faz için kabul edilen standart sınır değerlerin ($THD_v \leq 5\%$) altında olduğu görülmektedir. A fazı için ortalama gerilim harmonik değeri %2,34, B fazı için ortalama gerilim harmonik değeri %2,11 ve C fazı için ise ortalama toplam gerilim harmonik değeri %2,14 olarak belirlenmiştir.

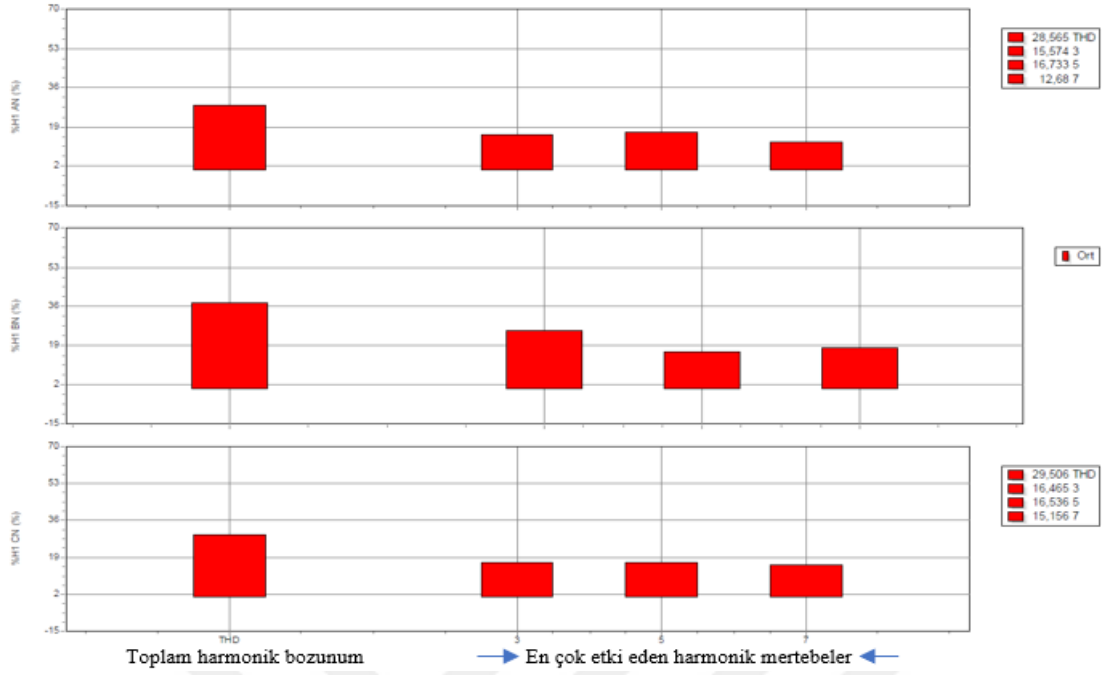


Şekil 5.78. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait her bir fazın gerilim harmoniği zaman çizelgesi

Şekil 5.78'de gösterilen ölçüm sonuçlarına göre, zamana bağlı olarak 3., 5. ve 7. mertebe toplam gerilim harmonikleri incelenmiştir. Toplam gerilim harmonik bozunum seviyesi her bir faz için kabul görülen seviyenin ($THD_v \geq \%5$) altında olduğu görülmüştür. Hafta içi ve hafta sonu saat 06:30 civarında ısıtma sistemine ait yer tipi kazan ve sirkülasyon pompa-motorlarının devreye girmesiyle gerilim harmoniğinin biraz arttığı mesai saati içerisinde yük kullanımıyla beraber harmoniklerde düşüş yaşandığı görülmektedir. Gerilim harmonik mertebeleri incelendiğinde 5. ve 7. harmonik mertebenin toplam gerilim harmonik değerini daha çok artırdığı gözlemlenmiştir. Binanın enerji kalitesi açısından gerilim harmoniklerinin ideal seviyelerde olduğu görülmektedir.

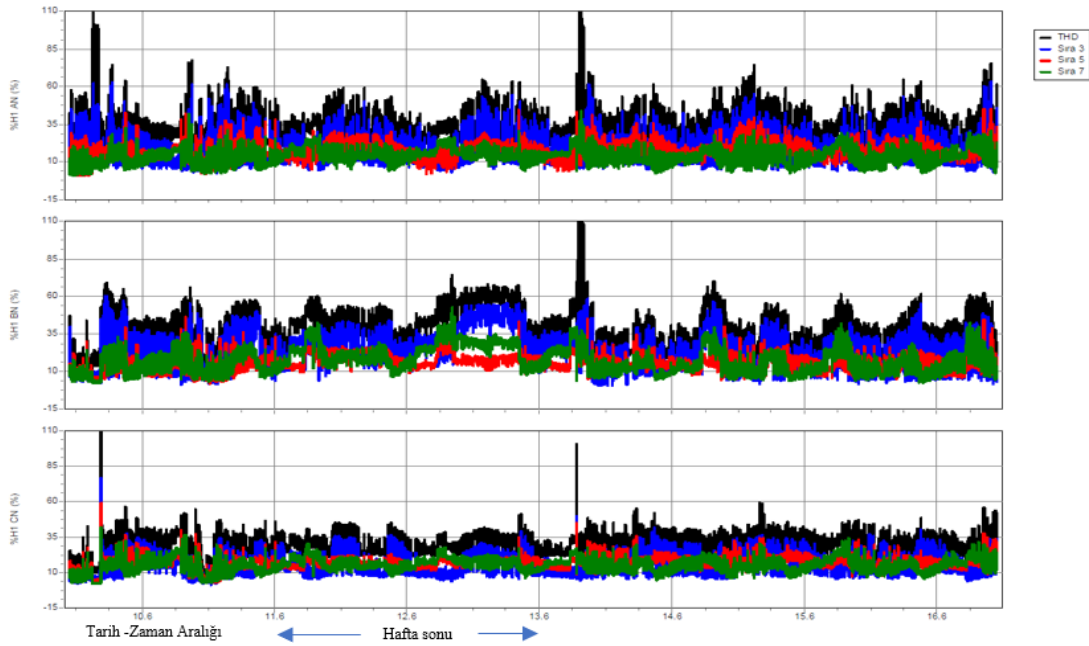
5.5.4. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu akım harmonik analizi

Binaya ait akımın harmonik değerleri ölçülmüş ve akım harmoniğine ait bileşenlerin istatistiksel verileri kullanılarak, en yüksek ve en düşük değerlerin hangi zaman aralıklarında yaşandığı belirlenmiştir ve standart değerlerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.79. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait akım harmoniklerinin histogram grafiği

Binanın akım harmonik değerlerinin histogram görünümü Şekil 5.79’da gösterilmiştir. Toplam akım harmonik ortalama değerleri incelendiğinde A, B ve C fazında harmonik seviyenin kabul görülen sınır değerinin üzerinde olduğu görülmüş ve akım harmoniğinin enerji kalitesi açısından tehlike arz ettiği düşünülmektedir.

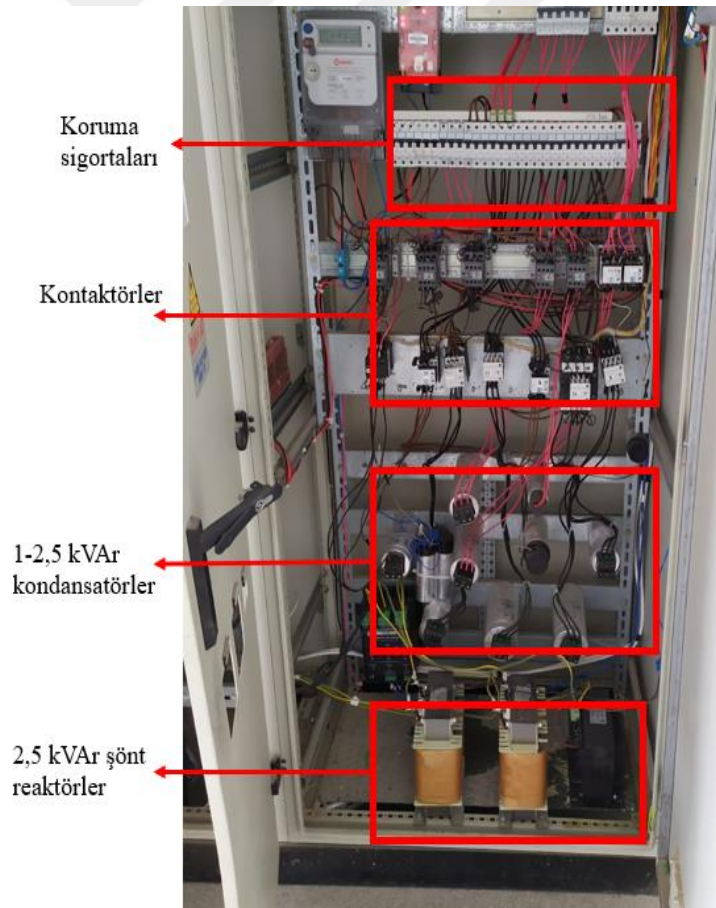


Şekil 5.80. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait her bir fazın akım harmoniği zaman çizelgesi

Binaya ait akım harmonik değerlerinin zaman çizelgesi gösterimi Şekil 5.81'de yer almaktadır. Bir haftalık ölçüm periyodu boyunca toplam akım harmoniği hafta içi ve hafta sonunda A, B ve C fazlarında kabul görülen akım harmonik değerlerinin ($THDa \leq 20$) üzerinde seyretmiş, Harmonikleri en çok 3., 5. ve 7. mertbe seviyeler tetiklemektedir. Binanın kompanzasyon panosunda, pasif harmonik filtre mevcut değildir. Akım harmonik bozunumu tehlike arz etmekte olup pasif harmonik filtrelerin kondansatör gruplarına seri bağlı olarak ilave edilmesi ayrıca mevcut kondansatör gruplarının devreye girmesi sağlanarak enerji kalitesi ve verimliliğinin iyileştirilmesi amaçlanmalıdır.

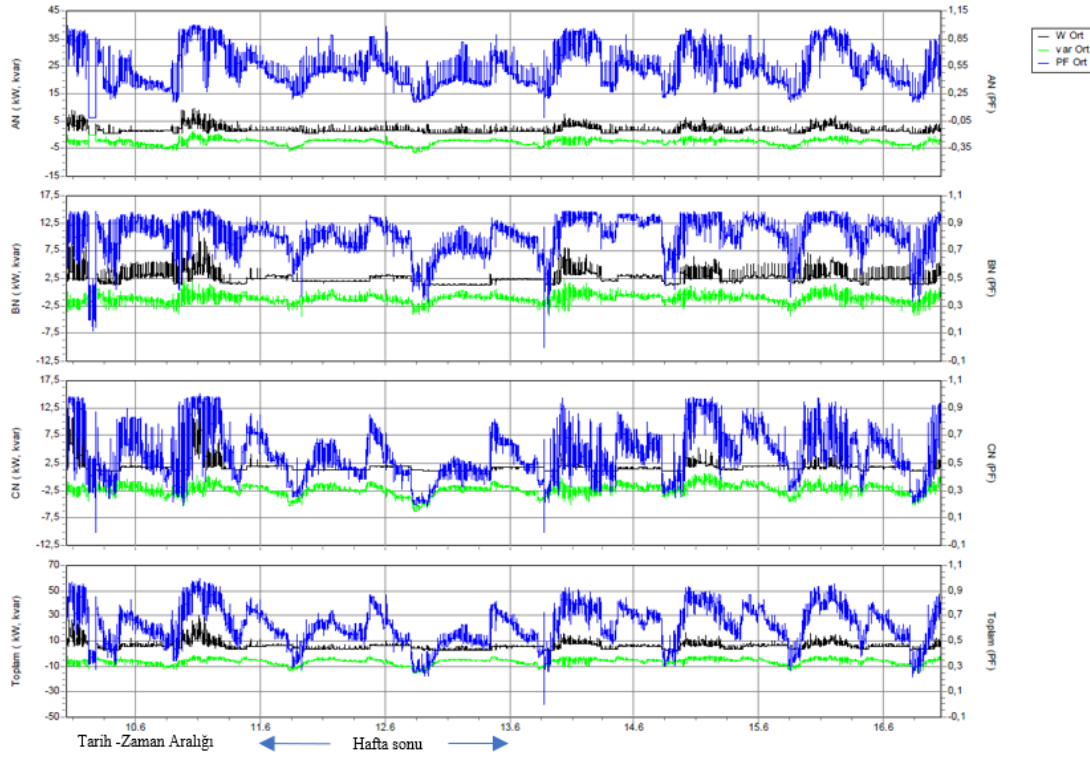
5.5.5. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu güç ve kompanzasyon durum analizi

Binanın kompanzasyon panosunda koruma amaçlı sigortalar, kontaktör grupları, 12 kademeli kondansatör ve sonradan eklenen şönt reaktörler mevcuttur.



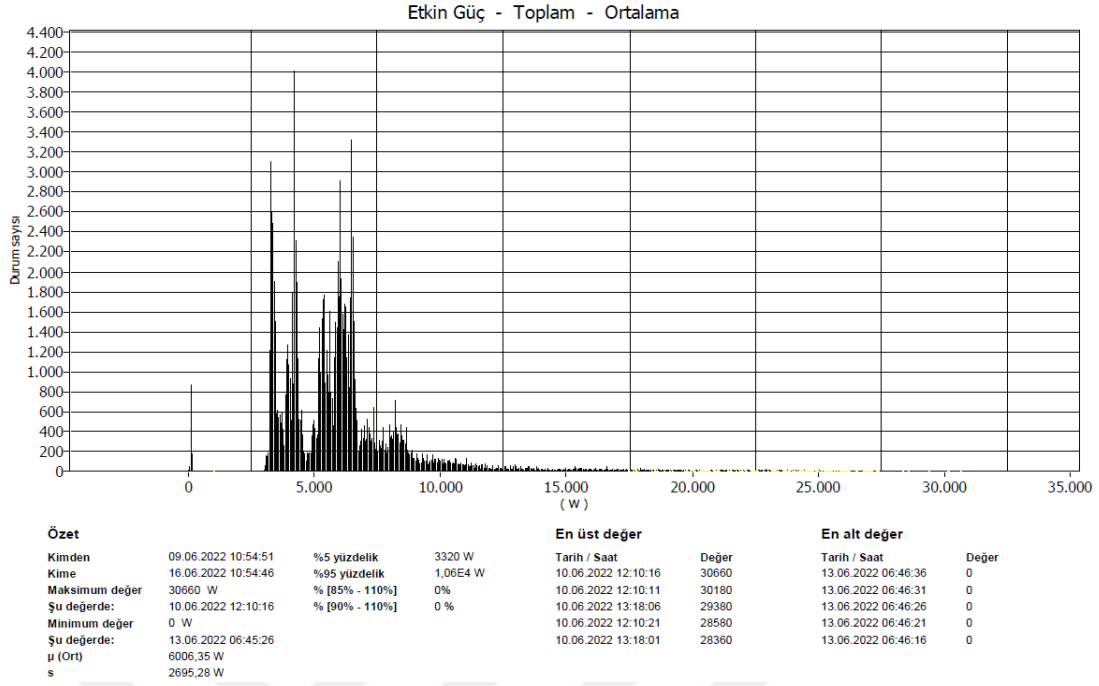
Şekil 5.81. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait kompanzasyon panosu

Kompanzasyon panosu 12 kademeli olarak tasarlanmış ve Şekil 5.81’de gösterilmiştir. Kondansatörler üç fazlı bağlantılıdır. Kondansatör güçleri düşük kapasiteli seçilmiş ve binanın reaktif gücü ağırlıklı olarak kapasitif özellikte olduğundan kompanzasyon panosuna üç adet şönt reaktör eklenmiştir.



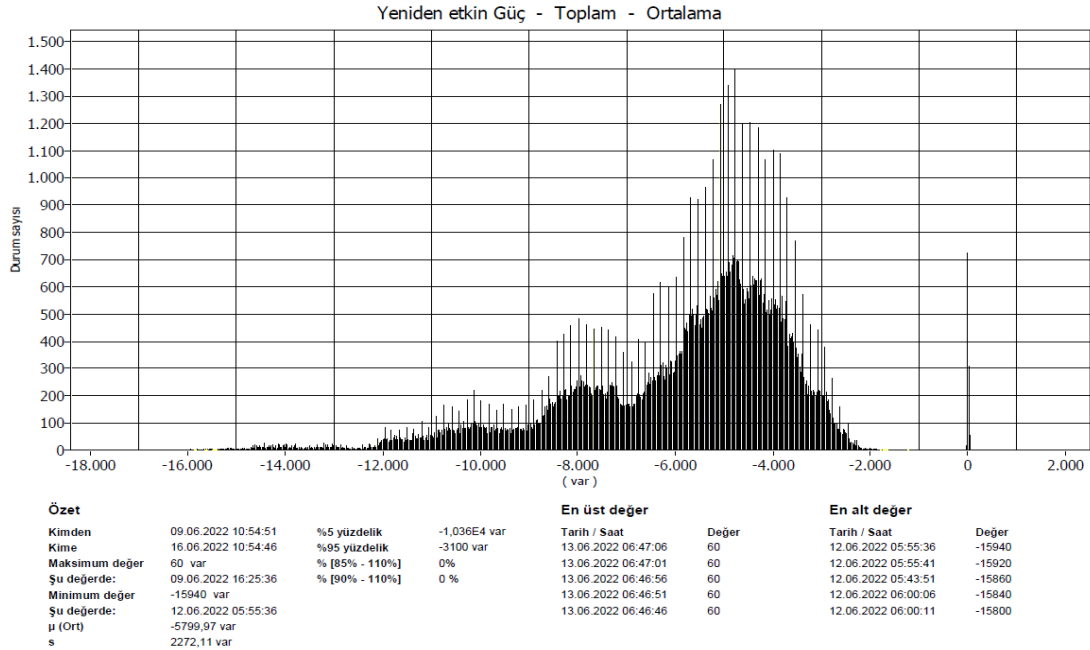
Şekil 5.82. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait aktif, reaktif güç ve güç faktörü zaman çizelgesi grafiği

Binanın aktif, reaktif güç ve güç faktörü değerlerine ait zaman çizelgesi Şekil 5.82’de gösterilmiştir. Mesai saatlerinde etkin güç kullanımının artmasıyla ortalama olarak reaktif güç için A, B ve C fazlarında endüktif özellikli yüklerin devreye girmesiyle endüktif /reaktif güçte artış gözlemlenmiş, mesai saati dışında kalan zaman dilimlerinde ise hem kapasitif hem de endüktif karakteristikli yüklerin devreye girdiği görülmüştür. Güç faktörü açısından toplam değere bakıldığında mesai saati zaman dilimlerinde etkin güç kullanımı endüktif karakteristik özellik göstermesinden dolayı güç faktörünün standart değere yaklaştığı fakat ideal seviyeye ulaşmadığı görülmüştür. Mesai saatleri dışında kalan zaman dilimlerinde güç faktörü değeri standart sınır değerinin çok altında kalmıştır.



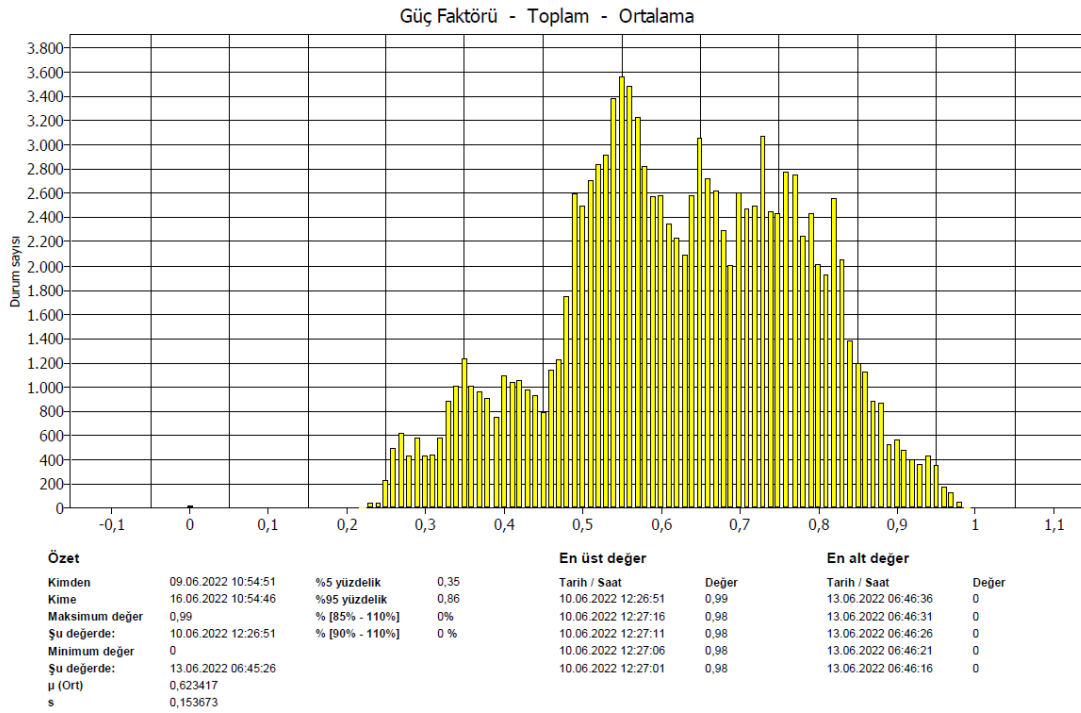
Şekil 5.83. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait etkin güç istatistik grafiğı

Binanın bir haftalık etkin güç ortalama kullanımı Şekil 5.83'te gösterilmiştir. İstatistik verilere bakıldığında binada anlık en üst etkin güç değeri 30.660 kW, ortalama etkin güç ise 6 kW olarak ölçölmüştür.



Şekil 5.84. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait reaktif güç istatistik grafiğı

Reaktif enerji tüketim istatistik grafiği Şekil 5.84'te gösterilmiştir. Binanın reaktif yük karakteristiği ortalama olarak kapasitif/reaktif özellikte olup -5.799 kVAr güçte olduğu görülmüştür. Binada kapasitif özellik gösteren başlıca yükler; bilgisayarlar, inverter, yer altı kabloları, split klimalar ve yapısında kondansatör bulunan diğer cihazlar, endüktif özellik gösteren başlıca yükler ise şönt reaktörler, sirkülasyon pompa-motorları, mekanik balastlı floresan armatürler ve yapısında bobin bulunan diğer cihazlar gösterilebilir.



Şekil 5.85. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait güç faktörü istatistik grafiği

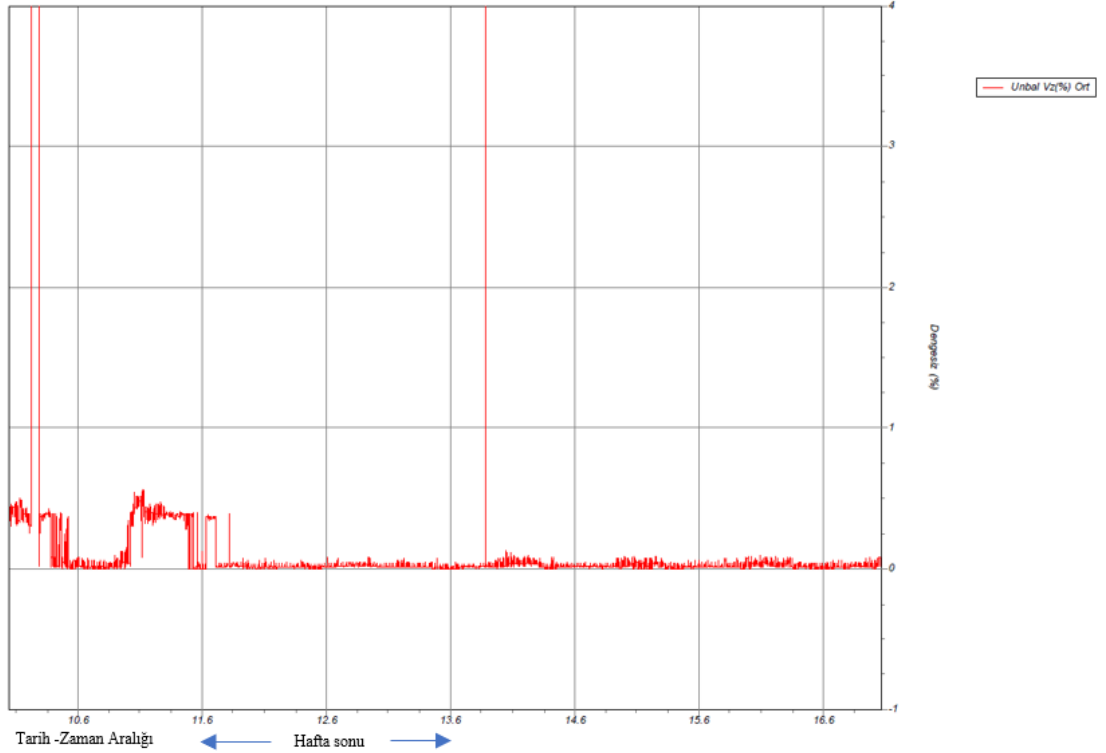
Binaya ait kompanzasyon panosunda kondansatör grupları Şekil 5.81'de gösterilmiş ve binanın reaktif yük profili Şekil 5.84'te gösterilen grafikte ortalama olarak kapasitif yük ağırlıkta olduğu belirtilmiştir. Güç faktörü açısından bakıldığında Şekil 5.85'te gösterilen güç faktörü grafiğinde ortalama güç faktörü 0,62 civarında olup standart değerlerin çok altında kalmış ve enerji kalitesi açısından olumsuz bir durum teşkil etmiştir. Güç faktörünü standart kabul edilen (0,95-1) değer aralığına ulaştırabilmek için mesai saati dışında kalan zamanlarda kapasitif yük profilinin endüktif yük profiline geçişin sağlanması için sisteme tek fazlı ve üç fazlı şönt reaktörlerin ilave edilmesi gerekmekte ve tek fazlı kondansatör bloklarının da ilave edilerek kondansatör gruplarının devreye girmesi sağlanarak kompanze işleminin yapılması ve güç

faktörünün iyileştirilerek enerji kalitesi ve verimliliğine katkı sağlaması amaçlanmalıdır.

5.5.6. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu gerilim ve akım dengesizlik durum analizi

Enerji kalitesini etkileyen dengesizlik bileşeni gerilim ve akım dengesizliği olarak ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen veriler kullanılarak zamana bağlı değişimleri grafiklerle gösterilerek istatistiksel analizleri yapılmıştır. Her iki durum içinde farklı parametreler ortaya konmuş ve yorumlar yapılmıştır.

Gerilim dengesizliği Vz (%): Binanın gerilim dengesizliği hem zaman değişimi grafiği ile hem de istatistiksel grafik verileri kullanılarak analizi yapılmıştır.

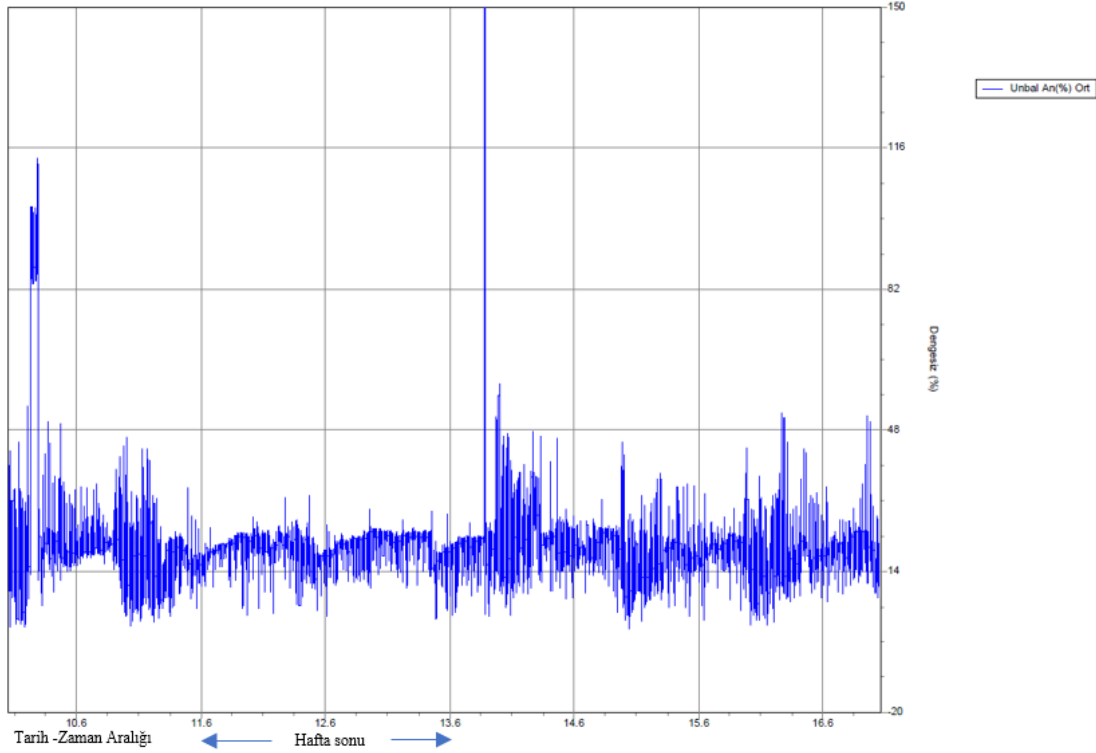


Şekil 5.86. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait zamana bağlı gerilim dengesizliği (%Vz)

Zamana bağlı gerilim dengesizliği grafiği Şekil 5.86'da gösterilmiştir. Fazlara ait gerilim dengesizliği mesai saatlerinde ve mesai saati dışında kalan zamanlarda ortalama olarak istatistiksel verilerde %3 değerinde olduğu görülmüş bunun sebebi olarak da enerji kesintisinden ve tek faz enerji kesintisinden dolayı yüksek gerilim dengesizliği yaşanmıştır. Gerilim dengesizliği eşik değeri %2 olup bu değeri aşan

gerilim dengesizlikleri yaşanmıştır. Enerji kalitesi ve verimliliği açısından gerilim dengesizliğinin önlenmesi için enerji kesintilerinin azaltılması yönünde tedbirler alınmalıdır.

Akım dengesizliği An (%): Binaın akım dengesizliği hem zaman değışimi grafiği ile hem de istatistiksel grafik verileri kullanılarak analizi yapılmıştır.



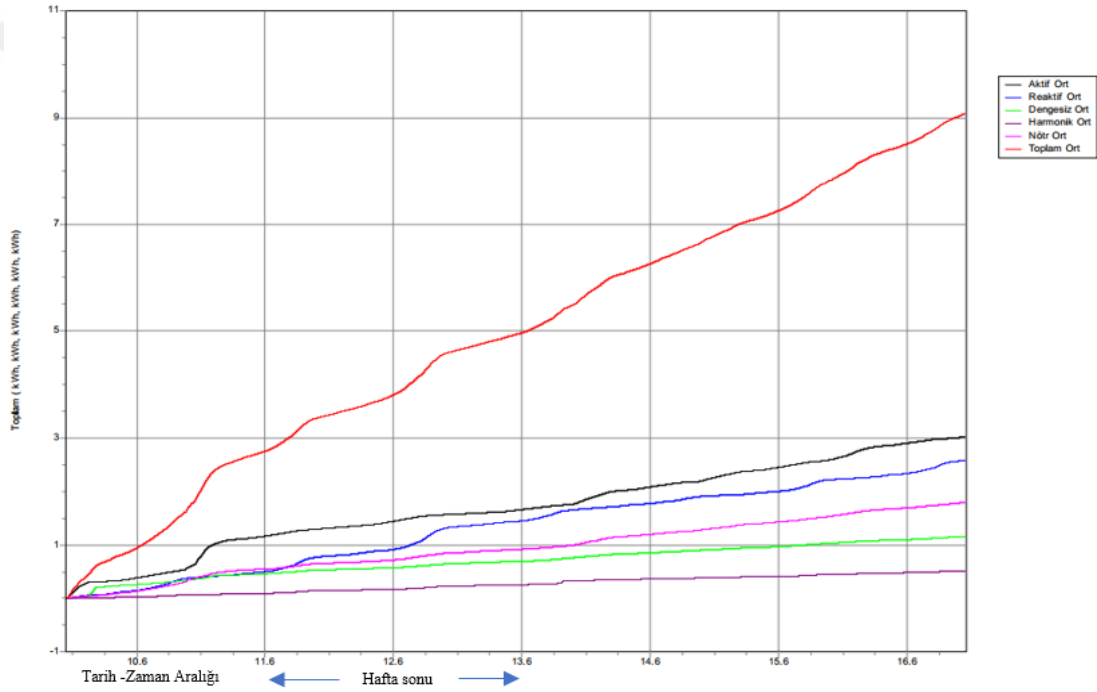
Şekil 5.87. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait zamana bağlı akım dengesizliği %An

Akım dengesizliğine ait zaman çizelgesi Şekil 5.87'de gösterilmiştir. Fazlara ait akım dengesizliği ortalama olarak sınır değerin üzerinde seyretmiştir. Ayrıca yük kullanımının artmasıyla tek fazlı ve dengesiz yük kullanımının da arttığı akım dengesizliğinde daha fazla artış yaşandığı gözlemlenmiştir. Akım dengesizliğine ait ortalama değeri %19,88 olarak ölçülmüş ve kabul görülen standart değerin üzerinde olduğu ve enerji kalitesi ve verimliliği açısından sorun teşkil ettiği görülmektedir. Binaın yük cetveli yenilenerek aydınlatma, priz, motor güçleri ve eşzamanlılık durumlarına göre fazlara dengeli dağıtılarak yapılmalıdır. Sonradan ilave edilecek yüklerin doğru boyutlandırılmış yükleme cetveline göre yapılması akım dengesizliği için önem arz edecektir.

5.5.7. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu enerji kaybı ve enerji tüketim durum analizi

Toplam enerji kayıpları beş farklı bileşen olarak incelenmiştir. Ayrıca, binanın enerji tüketim durumu hakkında bilgi edinmek için aktif enerji ve reaktif enerji tüketimini gösteren bir grafik kullanılmış ve bir haftalık tüketimin aktif-reaktif oranı da analiz edilmiştir.

Enerji kaybı: Binanın elektrik enerjine ait enerji kaybı ölçümü yapılarak grafik üzerinde gösterimi yapılmış ve toplam enerji kaybı verileri işlenmiştir. Kayıp enerjinin en çok hangi bileşende olduğu tespit edilerek çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

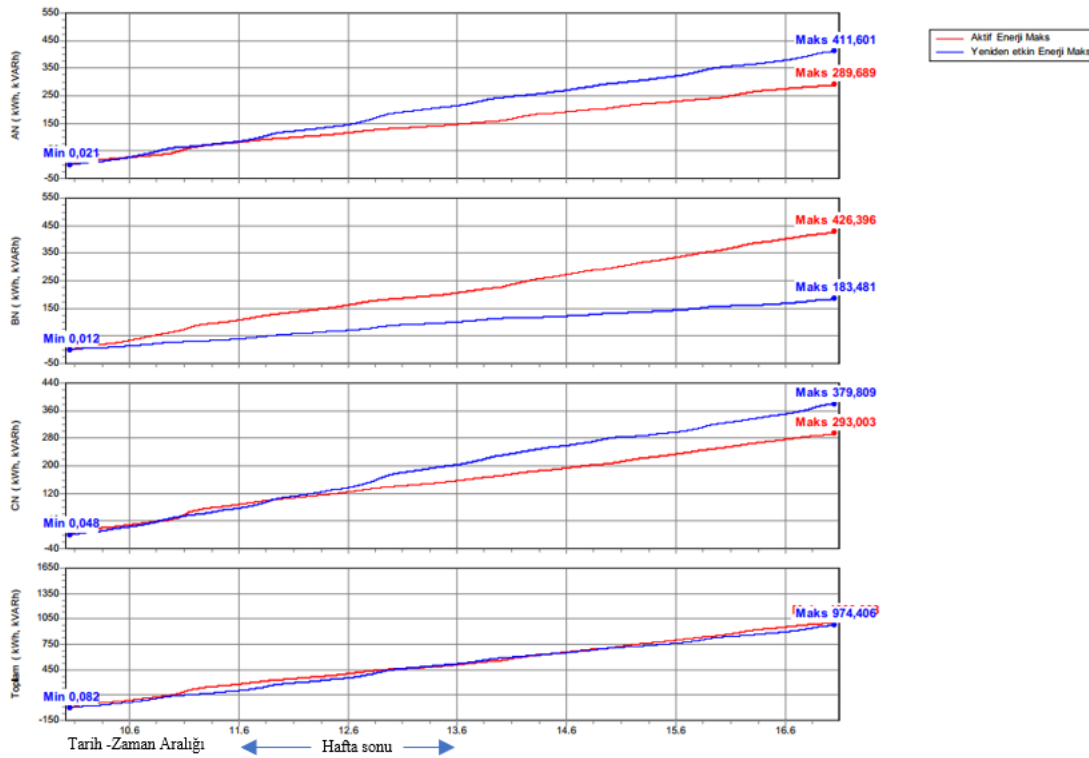


Şekil 5.88. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait enerji kaybı zaman çizelgesi grafiği

Enerji kayıplarını oluşturan bileşenler zamana bağlı olarak Şekil 5.88’de gösterilmiştir. Binanın enerji kaybına neden olan en önemli etken aktif güç kullanımına bağlı olup siyah renk ile gösterilmiştir. Yük kullanımına bağlı olarak hafta sonu enerji kayıpları yatay pozisyonda ilerlemiş hafta içi mesai saati içerisinde dikey, mesai saati dışındaki zamanlarda ise yatay pozisyonda ilerlemiştir. Haftalık olarak toplam enerji kaybı 9,15 kWh olup aktif enerji kaybı ortalama 3 kWh olarak hesaplanmıştır. Diğer kayıp enerji bileşen toplamı ise 6,15 kWh ile sırasıyla reaktif, nötr, dengersiz ve harmonik enerji kayıpları olarak ölçülmüştür.

Toplam enerji kaybı maliyeti için elektrik enerjisinin birim fiyat bedeli 0,17\$ olarak baz alınmış ve yıl bazında binaya ait ortalama toplam enerji kaybı: (56 hafta*9,15kWh*0,17\$) = 87,10\$ olarak hesap edilmiştir.

Aktif ve reaktif enerji tüketimi: Aktif ve reaktif enerji tüketimlerinin haftalık verileri, reaktif enerjinin aktif enerjiye oranı ile kompanzasyon sınır değerlerinin ortaya çıkmasını ve güç faktörü durumu hakkında bilgi sahibi olmayı sağlamakta buna bağlı olarak da çözüm önerilerinin sunulmasını sağlayacaktır.



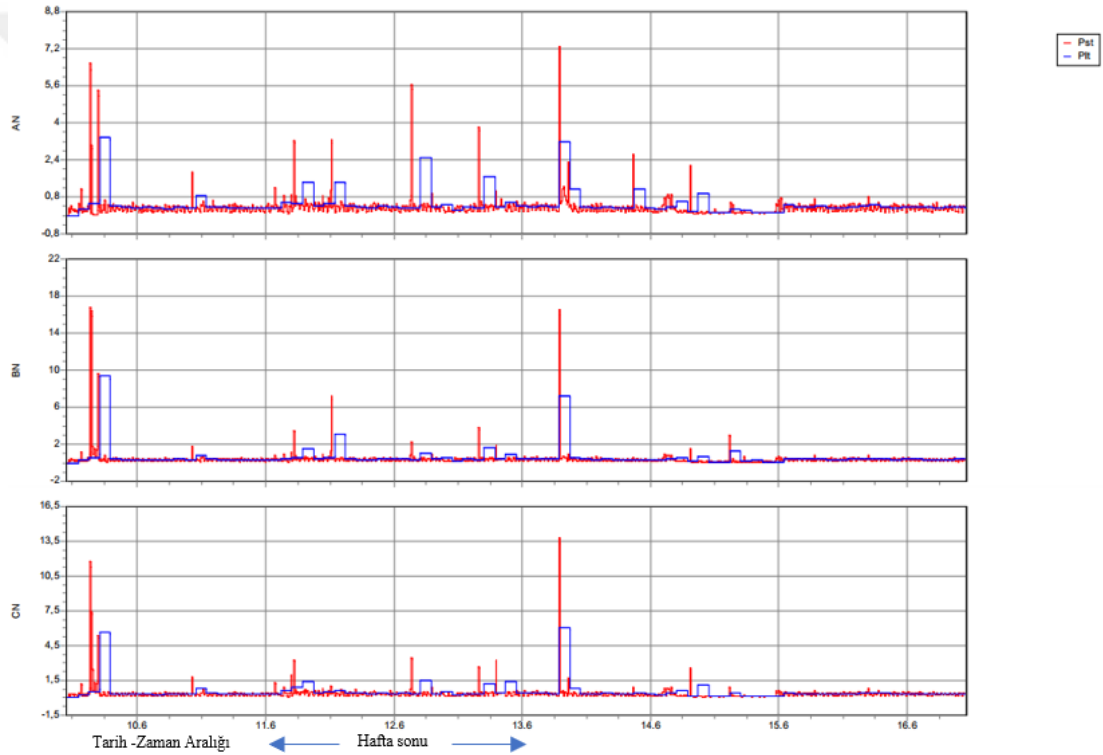
Şekil 5.89. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait aktif ve reaktif enerji tüketim çizelgesi

Enerji tüketiminin her bir faza ait ve toplam tüketimlerini bir haftalık periyot boyunca Şekil 5.89’da gösterilmiştir. Aktif ve yeniden etkin enerji (reaktif enerji) tüketimlerinin oransal değerlendirmesi sonucu EPDK’nın belirlemiş olduğu reaktif enerji tüketim oranları kapasitif/reaktif için %15, endüktif/reaktif için %20 dir. Şekil 5.84’te reaktif güç istatistik grafiğinde bina yük tipi kapasitif/reaktif özellikte olduğu ve yasal sınır değerin aşıldığı anlaşılmaktadır. Reaktif enerji tüketiminin aktif enerji tüketimine oranı yüzdesel olarak hesaplanmış (reaktif/aktif enerji x100) ve % 96,62 aktif güce göre reaktif enerji tüketimi olmuştur. Bina elektrik aboneliği bireysel olduğundan faturada reaktif enerji bedeli yansımaları kaçınılmazdır. Reaktif enerji birim

fiyatı 0,04\$ olarak baz alındığında aylık reaktif enerji bedeli: (4 hafta*974 kWh*0,04\$) = 155,84\$ olarak faturaya etki edecektir. Bina kompanzasyonun kapasitif/reaktif enerjiyi sönmöleyecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca bu grafik binanın enerji tüketimine göre güç faktörünün istenilen değerlerden uzak olduğunu da teyit etmektedir.

5.5.8. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binası titreşim durum analizi

Binanın titreşim durumu iki aşamalı olarak kısa süreli şiddet Pst 10 dk üzerinden ve uzun süreli şiddet Plt iki saat üzerinden hesaplanmış ve ölçümler bir haftalık periyotta ölçülmüştür.



Şekil 5.90. Termal sağlık bilimleri yüksekokulu binasına ait fliker (Pst, Plt) zaman çizelgesi

Binanın enerji kalitesini etkileyen faktörlerden fliker Şekil 5.90’da gösterilmiştir. Pst: kısa süreli titreşim kırmızı, Plt: uzun süreli titreşim mavi renk ile belirtilmiş ve bir haftalık zaman çizelgesinde gösterilmiştir. Ortalama olarak A, B ve C fazlarında Pst değeri sırasıyla 0,34, 0,39, 0,36 değerlerinde ölçülmüş, Plt değeri ise sırasıyla 0,51, 0,64, 0,54 değerinde ölçülmüştür. Fazlara ait fliker durumu incelendiğinde uyumluluk sınır seviyesinin altında seyrettiği görülmektedir. Fliker değerlerinde bazı zaman

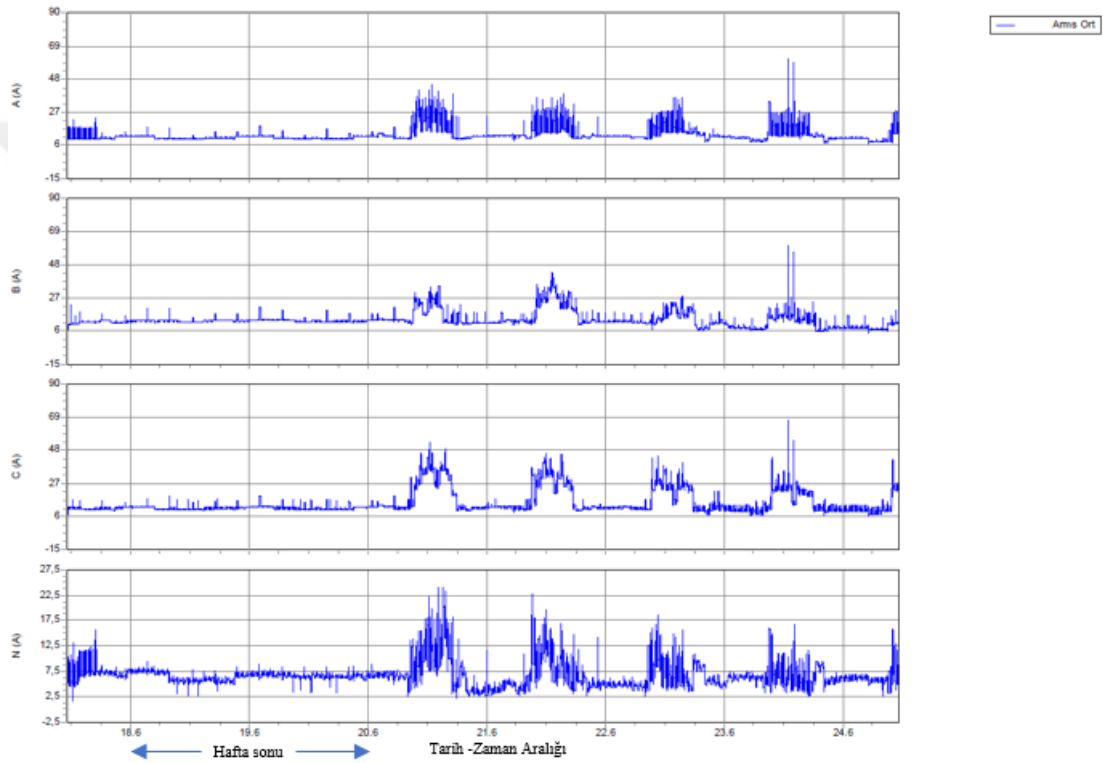
5.6. Çınarcık Meslek Yüksekokulu Elektrik Enerji Ölçümü ve Analizi

Bina ana pano ölçüm noktası ve yük durumu tek hat şeması üzerinde Şekil 5.91’de gösterilmektedir. Binaya ait akım, gerilim, aktif güç, reaktif güç, güç faktörü, akım ve

gerilim harmoniklerinden 3-5-7'nci harmonik mertebeler ile toplam harmonik bozunumu, dengesizlik, enerji kaybı, enerji tüketimi ve fliker açısından Pst ve Plt değerlerinin istatistik değerleri üzerinden zaman çizelgesi grafiğinde gösterimi ile kabul görülen değerlere göre kıyaslanması ve analizi yapılmıştır.

5.6.1. Çınarcık meslek yüksekokulu binası akım değerlerinin analizi

Binanın enerji kalitesi ölçümleri için, binanın tükettiği elektrik yüklerinin çektiği rms akım değerlerinin zamana bağlı değişiminin analiz edilmesi gerekmektedir.

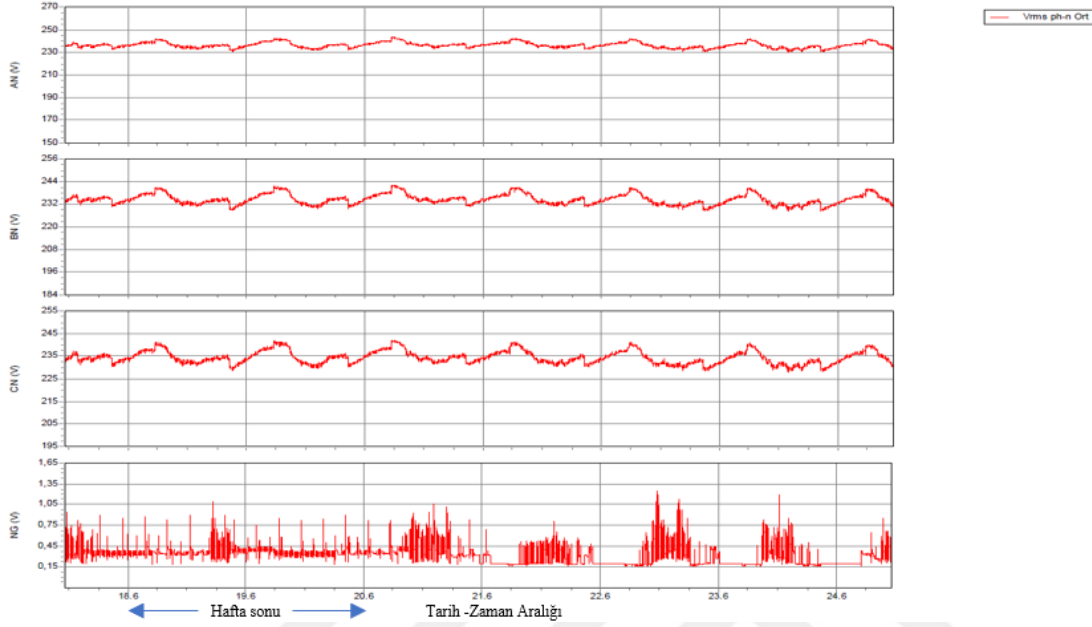


Şekil 5.92. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği

Binanın A-B-C fazları ve nötr akımına ait değerlerinin zaman çizelgesi şekil 5.92’de gösterilmiştir. Fazlara ait akım değerleri incelendiğinde mesai saatleri içerisinde elektrik yük kullanımının artmasıyla akım değerlerinde artış yaşanmış, mesai saati dışında elektrik yük kullanımının azalmasıyla akım değerlerinde azalış yaşandığı görülmektedir. Ayrıca ölçümler esnasında bir defa enerji kesintisi yaşanmıştır. Nötr hattı akım verileri incelendiğinde akım dengesizliğinden dolayı nötr hattından ortalama 6,56 amper akım geçişi görülmektedir.

5.6.2. Çınarcık meslek yüksekokulu binası gerilim değerlerinin analizi

Binanın enerji kalitesi ölçümleri için, her bir fazdaki gerilim rms değerlerinin, zaman içinde ölçülen akım değerleriyle ilişkisi yorumlanarak analiz edilmesi gerekmektedir.

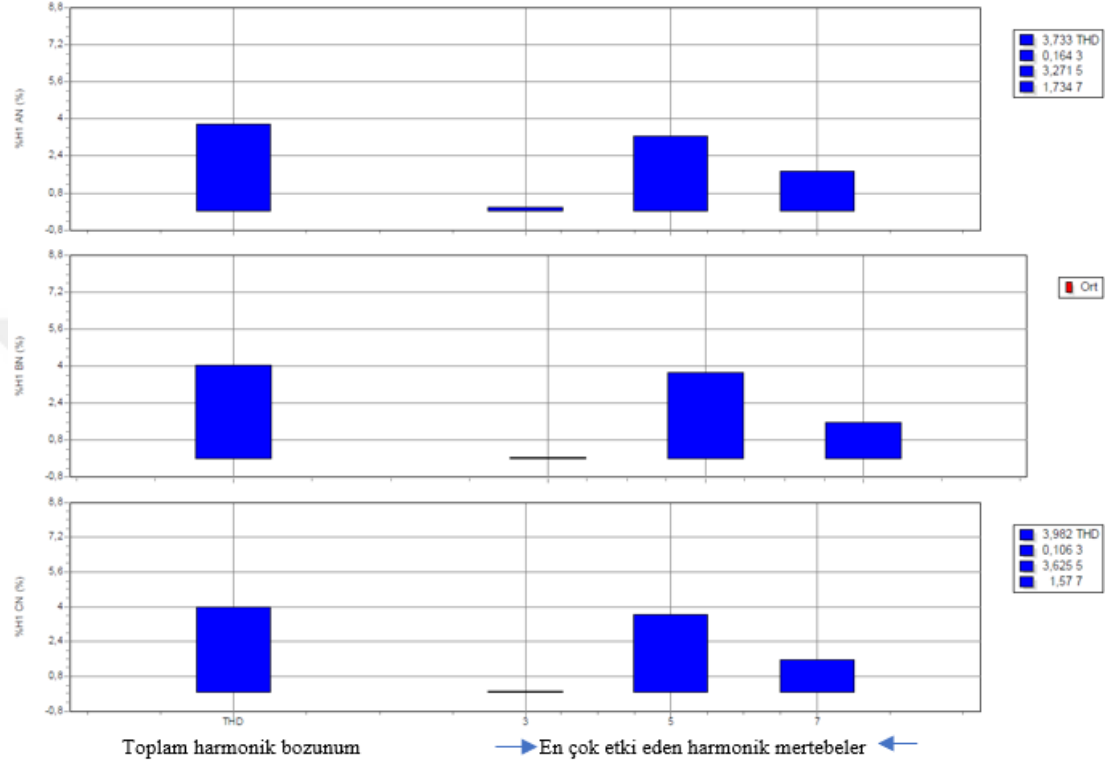


Şekil 5.93. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait gerilimin üç faz ve nötr hattının zamana bağlı değişim grafiği

Binaya ait enerji kalite analizi için A-B-C fazları ve nötr-toprak arasındaki gerilim değerlerinin zaman çizelgesi şekil 5.93'te gösterilmiştir. Fazlara ait ortalama en yüksek gerilim değerleri sırasıyla 243, 241,9 ve 242,5 volt olarak ölçülmüştür. Ortalama gerilim değerleri ise sırasıyla 236, 234 ve 234,5 volt aralığındadır. Mesai saatleri içerisinde elektrik yük kullanımının artmasıyla gerilim değerlerinde 8-10 volt değerinde düşüşler yaşanmış, mesai saat dışında kalan zaman dilimlerinde elektrik yük kullanımının azalmasıyla gerilim değerlerinde tekrardan artış yaşanmıştır. Akımda yaşanan artış anında, fazlara ait gerilim değerleri istenilen değer olup yük kullanımının azalmasıyla akımda yaşanan düşüş sonrası gerilim değerleri istenilen seviyenin üzerine çıkmıştır. Gerilim değerlerinin düşürülmesi için trafo merkezinden kademe yükseltilmesi yapılması gerekmektedir. Nötr-toprak arası gerilim değeri incelendiğinde yük kullanımına bağlı olarak en yüksek 1,24 volt, ortalama nötr-toprak gerilimi ise 0,31 volt olarak ölçülmüştür. Nötr-toprak arası ortalama gerilim değeri, kabul görülen standart sınır değer (NG≤3 volt) altında olup binanın işletme ve koruma topraklaması iyi durumdadır.

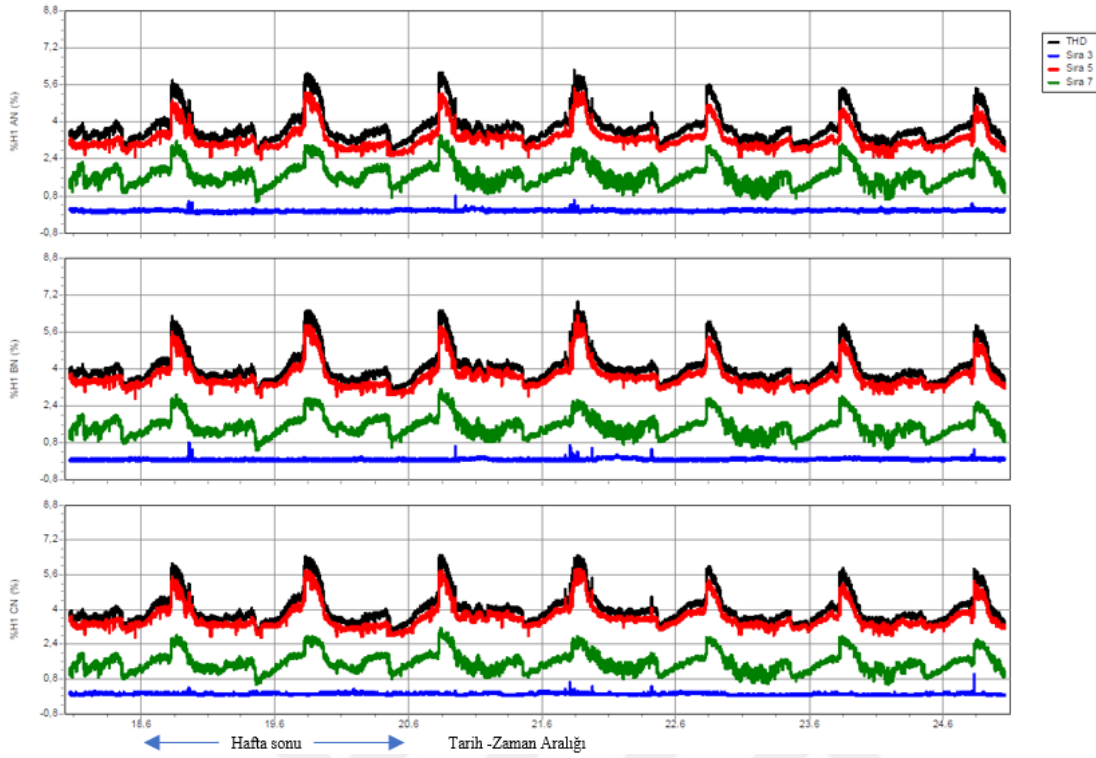
5.6.3. Çınarcık meslek yüksekokulu binası gerilim harmonik analizi

Binanın enerji kalitesi ölçümleri için, her bir fazdaki toplam harmonik değerlerinin, 3-5-7'nci derecelerdeki histogram ve zamana bağlı değişim grafikleri üzerinde analizi yapılarak gerilim harmonik durumunun tespiti yapılmıştır.



Şekil 5.94. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait gerilim harmoniklerinin histogram grafiği

Binanın gerilim harmonik ölçümlerini gösteren histogram grafiği Şekil 5.94'te sunulmuştur. Ortalama toplam gerilim harmonik değerlerinin her bir faz için kabul edilen standart sınır değerlerin ($THD_v \leq 5\%$) altında olduğu görülmektedir. A fazı için ortalama gerilim harmonik değeri %3,73 B fazı için ortalama gerilim harmonik değeri %4,03 ve C fazı için ise ortalama toplam gerilim harmonik değeri %3,98 olarak belirlenmiştir.

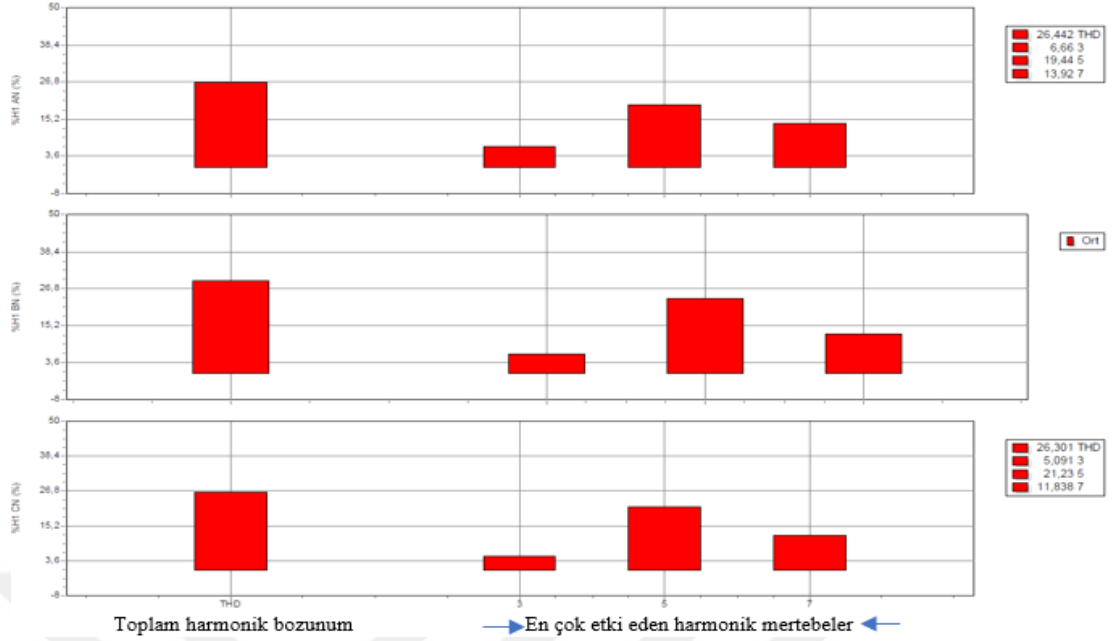


Şekil 5.95. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait her bir fazın gerilim harmoniği zaman çizelgesi

Şekil 5.95'te gösterilen ölçüm sonuçlarına göre, zamana bağlı olarak 3., 5. ve 7. mertebe toplam gerilim harmonikleri incelenmiştir. Toplam ortalama gerilim harmonik bozunum seviyesi her bir faz için kabul görülen seviyenin ($THD_v \geq 5\%$) altında olduğu görülmüştür. Hafta içi ve hafta sonu saat 06:00 civarında ısıtma sistemine ait yer tipi kazan ve sirkülasyon pompa-motorlarının devreye girmesiyle gerilim harmoniğinin arttığı mesai saati içerisinde yük kullanımıyla beraber gerilim harmoniklerinde düşüş yaşandığı görülmektedir. Gerilim harmonik mertebeleri incelendiğinde 5. harmonik mertebenin gerilim harmonik değerini daha çok artırdığı gözlemlenmiştir. Binanın enerji kalitesi açısından gerilim harmoniklerinin ortalama değeri ideal seviyelerde olduğu görülmekte fakat ani gerilim harmoniklerinin yükselmesi anında alıcılara zarar verebileceği dolayısıyla gerilim harmoniklerinin sönümlenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

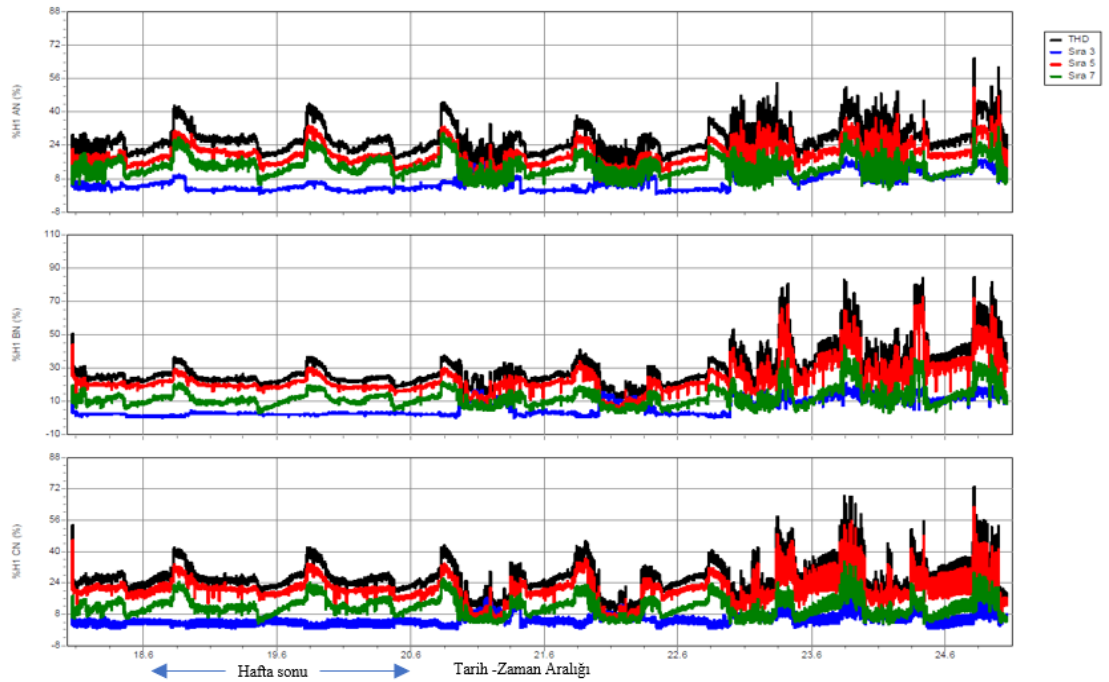
5.6.4. Çınarcık meslek yüksekokulu binası akım harmonik analizi

Binaya ait akımın harmonik değerleri ölçülmüş ve akım harmoniğine ait bileşenlerin istatistiksel verileri kullanılarak, en yüksek ve en düşük değerlerin hangi zaman aralıklarında yaşandığı belirlenmiştir ve standart değerlerle karşılaştırılmıştır.



Şekil 5.96. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait akım harmoniklerinin histogram grafiği

Binanın akım harmonik değerlerinin histogram görünümü Şekil 5.96’da gösterilmiştir. Toplam akım harmonik ortalama değerleri incelendiğinde A, B ve C fazında harmonik seviyenin kabul görülen sınır değerinin üzerinde olduğu görülmüş ve akım harmoniğinin enerji kalitesi açısından tehlike arz ettiği düşünülmektedir.

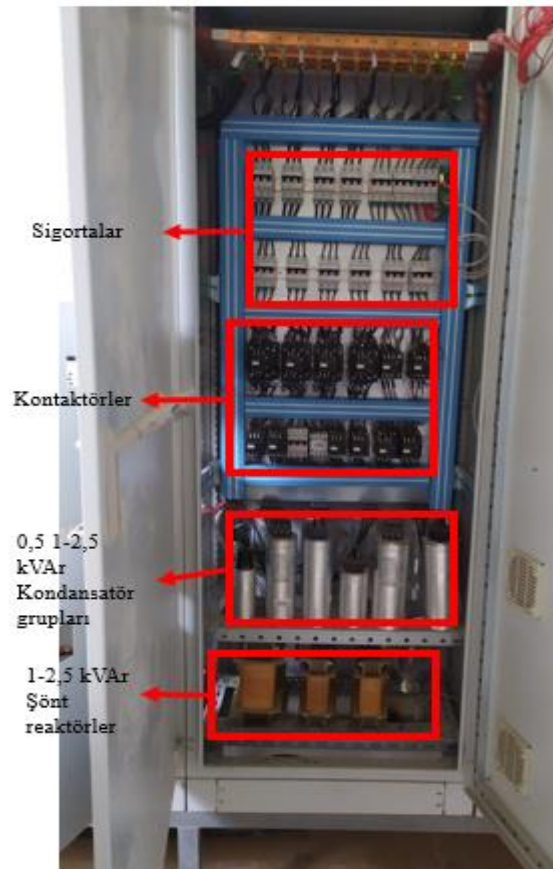


Şekil 5.97. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait her bir fazın akım harmoniği zaman çizelgesi

Binaya ait akım harmonik değerlerinin zaman çizelgesi gösterimi Şekil 5.97'de yer almaktadır. Bir haftalık ölçüm periyodu boyunca toplam akım harmoniği hafta içi ve hafta sonunda A, B ve C fazlarında kabul görülen akım harmonik değerlerinin ($THD_a \leq 20$) üzerinde seyretmiş, Akım harmoniklerini en çok 3., 5. ve 7. mertebe seviyeler tetiklemektedir. Binanın kompanzasyon panosunda, pasif harmonik filtre mevcut değildir. Akım harmonik bozunumu tehlike arz etmekte olup pasif harmonik filtrelerin kondansatör gruplarına seri bağlı olarak ilave edilmesi ayrıca mevcut kondansatör gruplarının devreye girmesi sağlanarak enerji kalitesi ve verimliliğinin iyileştirilmesi amaçlanmalıdır.

5.6.5. Çınarcık meslek yüksekokulu binası güç ve kompanzasyon durum analizi

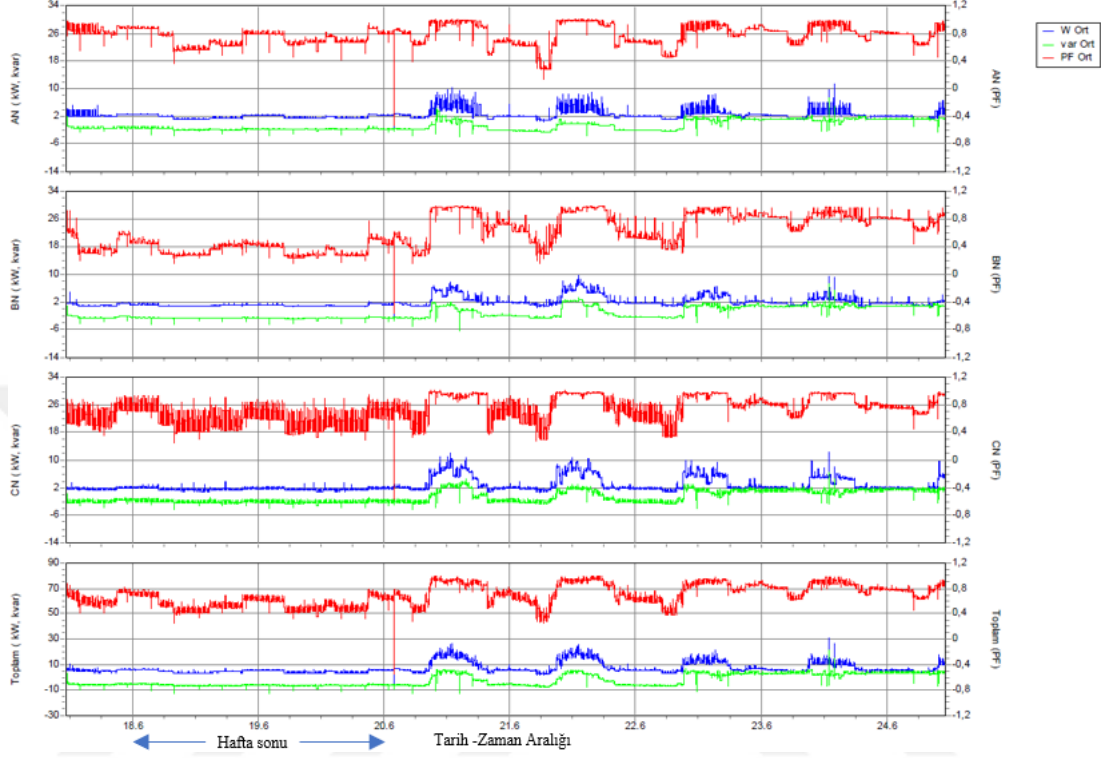
Binanın kompanzasyon panosunda koruma amaçlı sigortalar, kontaktör grupları, 12 kademeli kondansatör ve sonradan eklenen şönt reaktörler mevcuttur.



Şekil 5.98. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait kompanzasyon panosu

Kompanzasyon panosu 12 kademeli olarak tasarlanmış ve Şekil 5.98'de gösterilmiştir. Kondansatörler üç ve tek fazlı bağlantılıdır. Kondansatör güçleri düşük kapasiteli

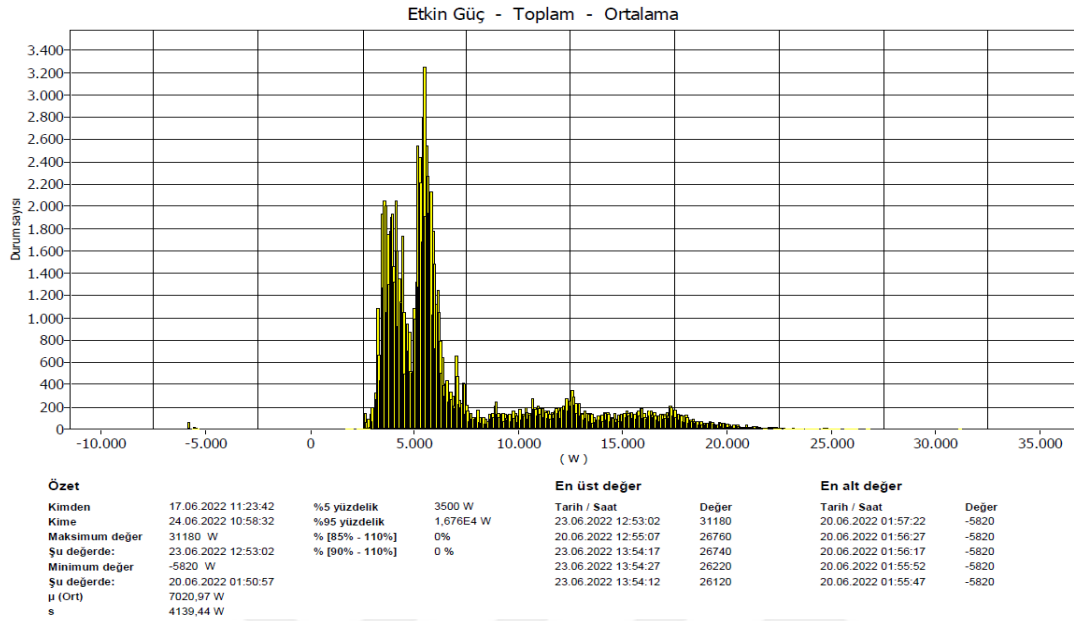
seçilmiş ve binanın reaktif gücü ağırlıklı olarak kapasitif özellikte olduğundan kompanzasyon panosunun çoğu zaman devreye girmediği ve güç faktörünün ideal seviyelerde tutulmadığı Şekil 5.99’da güç faktörü grafiğinden anlaşılmaktadır.



Şekil 5.99. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait aktif, reaktif güç ve güç faktörü zaman çizelgesi grafiği

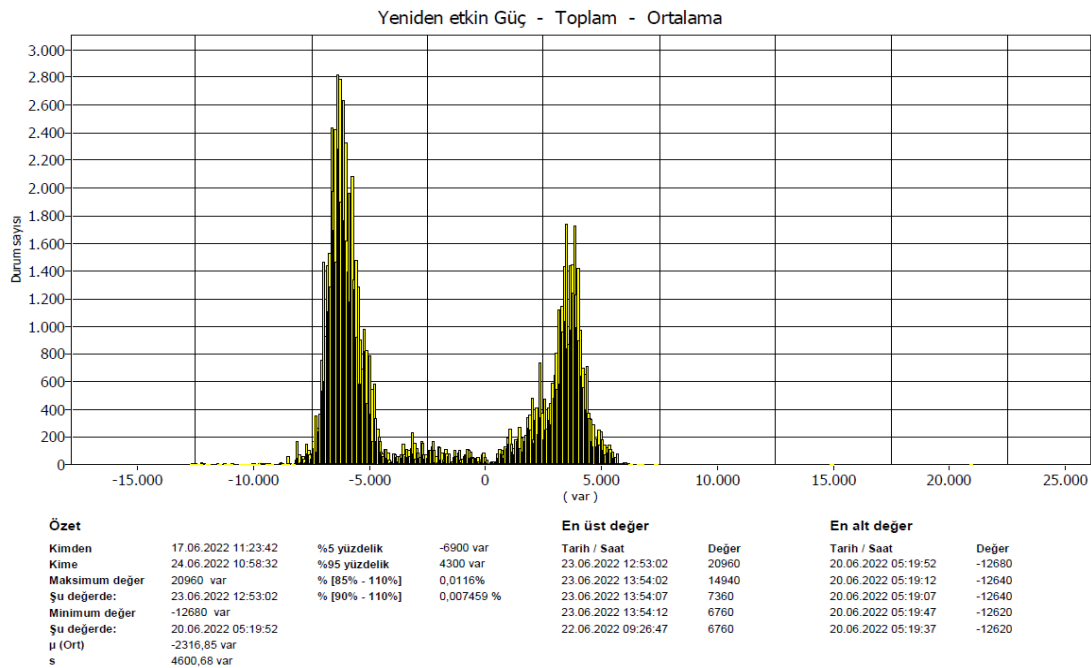
Binanın aktif, reaktif güç ve güç faktörü değerlerine ait zaman çizelgesi Şekil 5.99’da gösterilmiştir. Mesai saatlerinde etkin güç kullanımının artmasıyla ortalama olarak reaktif güç için A, B ve C fazlarında endüktif özellikli yüklerin devreye girmesiyle endüktif/reaktif güçte artış gözlemlenmiştir, mesai saati dışında kalan zaman dilimlerinde ise hem kapasitif hem de endüktif/reaktif karakteristikli yüklerin devreye girdiği görülmüştür. Güç faktörü kırmızı renk ile belirtilmiş mesai saati zaman dilimlerinde etkin güç kullanımı endüktif karakteristik özellik göstermesinden dolayı güç faktörünün standart değere yakın olduğu fakat ideal seviyeye ulaşmadığı görülmüştür. Mesai saatleri dışında kalan zaman dilimlerinde güç faktörü değeri standart sınır değerinin altında kalmıştır. Kompanzasyon panosunda şönt reaktörler devre dışı bırakılarak ölçümler gerçekleştirilmiş fakat güç faktörünün bozulmasıyla binadaki teknik personel tarafından 22.06.2022 tarihinden itibaren şönt reaktörler

devreye alınmış olup mesai saatleri dışında güç faktöründe düzelme olduğu ortaya çıkmıştır.



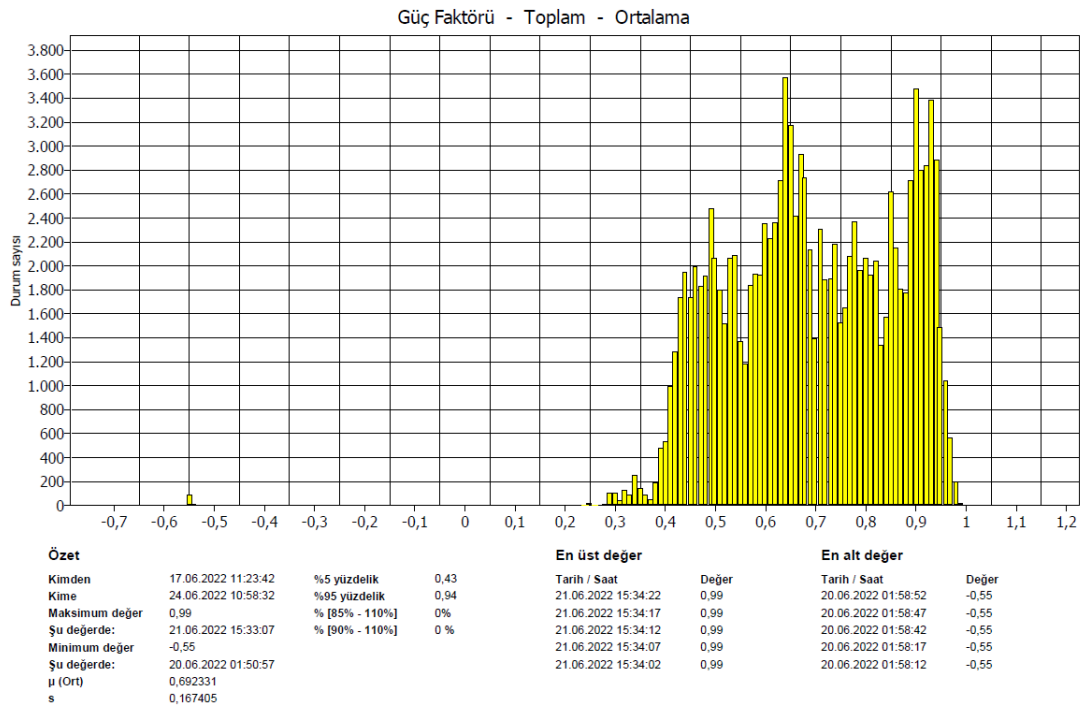
Şekil 5.100. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait etkin güç istatistik grafiği

Binanın bir haftalık etkin güç ortalama kullanımı Şekil 5.100’de gösterilmiştir. İstatistik verilere bakıldığında binada anlık en üst etkin güç değeri 31.180 kW, ortalama etkin güç ise 7.020 kW olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.101. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait reaktif güç istatistik grafiği

Reaktif enerji tüketim istatistik grafiği Şekil 5.101’de gösterilmiştir. Binanın reaktif yük karakteristiği ortalama olarak kapasitif/reaktif özellikte olup-2.3 kVAr güçte olduğu görülmüştür. Binada kapasitif özellik gösteren başlıca yükler; Kesintisiz Güç Kaynağı, Bilgisayarlar, VRF klimalar, LED projektörler ve yapısında kondansatör bulunan diğer cihazlar, endüktif özellik gösteren başlıca yükler ise şönt reaktörler, sirkülasyon pompa-motorları, mekanik balastlı floresan armatürler ve yapısında bobin bulunan diğer cihazlar gösterilebilir.



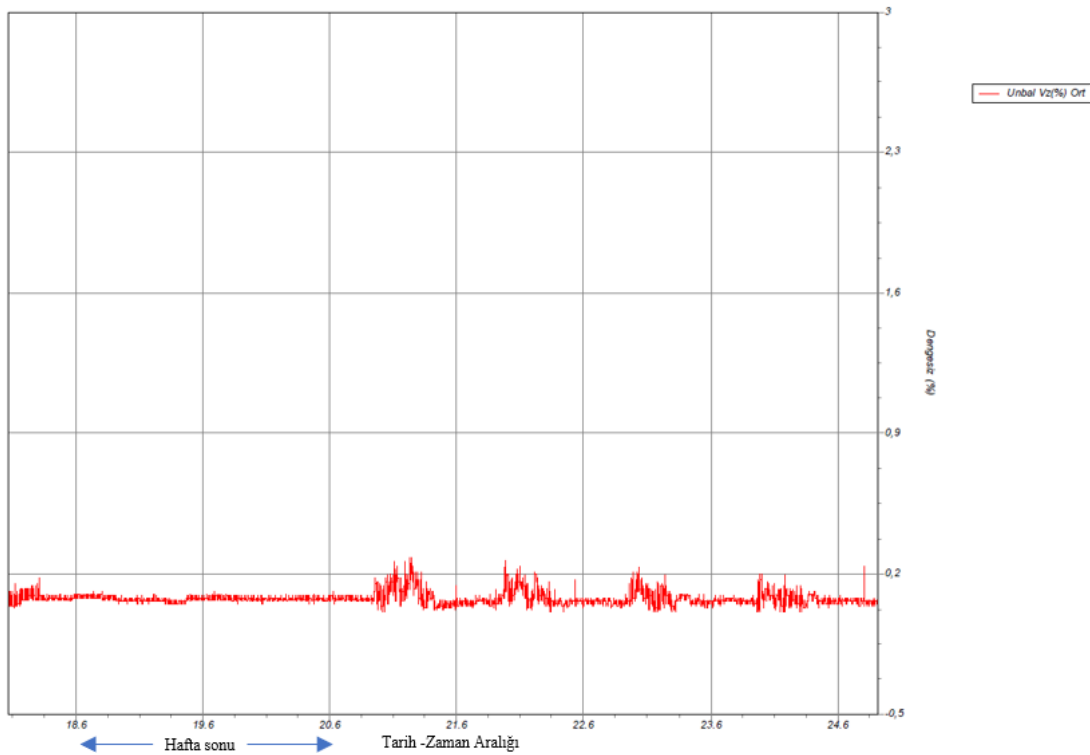
Şekil 5.102. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait güç faktörü istatistik grafiği

Binaya ait kompanzasyon panosunda kondansatör grupları Şekil 5.98’de gösterilmiş ve binanın reaktif yük profili Şekil 5.101’de gösterilen grafikte ortalama olarak kapasitif yük ağırlıkta olduğu belirtilmiştir. Güç faktörü açısından bakıldığında Şekil 5.102’de gösterilen güç faktörü grafiğinde ortalama güç faktörü 0,69 civarında olup standart değerinin altında kalmış ve enerji kalitesi açısından olumsuz bir durum teşkil etmiştir. Güç faktörünü standart kabul edilen (0,95-1) değer aralığına ulaştırabilmek için mesai saati dışında kalan zamanlarda kapasitif yük profilinin endüktif yük profiline geçişin sağlanması için sisteme tek fazlı ve üç fazlı şönt reaktörlerin ilave edilmesi gerekmekte ve kondansatör gruplarının devreye girmesi sağlanarak kompanze işleminin yapılması ve güç faktörünün iyileştirilerek enerji kalitesi ve verimliliğine katkı sağlaması amaçlanmalıdır.

5.6.6. Çınarcık meslek yüksekokulu binası gerilim ve akım dengesizlik durum analizi

Enerji kalitesini etkileyen dengesizlik bileşeni gerilim ve akım dengesizliği olarak ayrı ayrı incelenmiş ve elde edilen veriler kullanılarak zamana bağlı değişimleri grafiklerle gösterilerek istatistiksel analizleri yapılmıştır. Her iki durum içinde farklı parametreler ortaya konmuş ve yorumlar yapılmıştır.

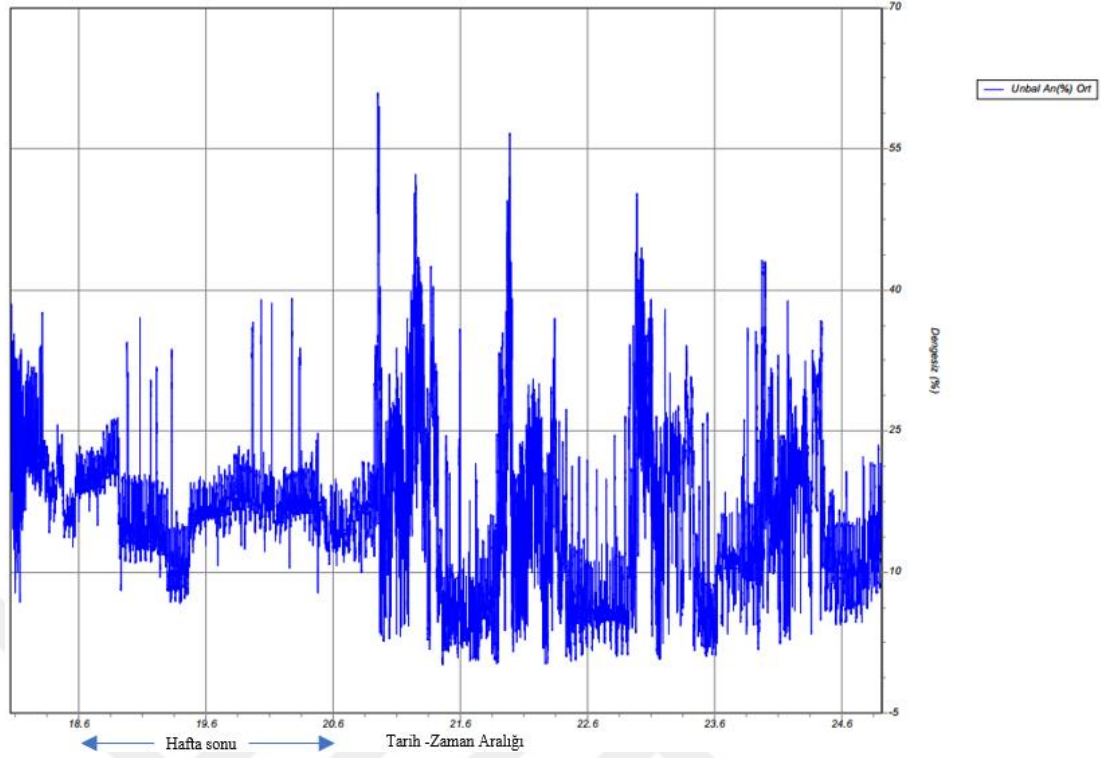
Gerilim dengesizliği V_z (%): Binanın gerilim dengesizliği hem zaman değişimi grafiği ile hem de istatistiksel grafik verileri kullanılarak analizi yapılmıştır.



Şekil 5.103. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait zamana bağlı gerilim dengesizliği (% V_z)

Zamana bağlı gerilim dengesizliği grafiği Şekil 5.103'te gösterilmiştir. Fazlara ait gerilim dengesizliği mesai saatlerinde ve mesai saati dışında kalan zamanlarda ortalama %1 değerinde seyretmiştir. Gerilim dengesizliği eşik değeri %2 olup bu değere yakın gerilim dengesizlikleri yaşanmış, enerji kalitesi ve verimliliği açısından gerilim dengesizliğinin önlenmesi için tedbirler alınmalıdır.

Akım dengesizliği A_n (%): Binanın akım dengesizliği hem zaman değişimi grafiği ile hem de istatistiksel grafik verileri kullanılarak analizi yapılmıştır.



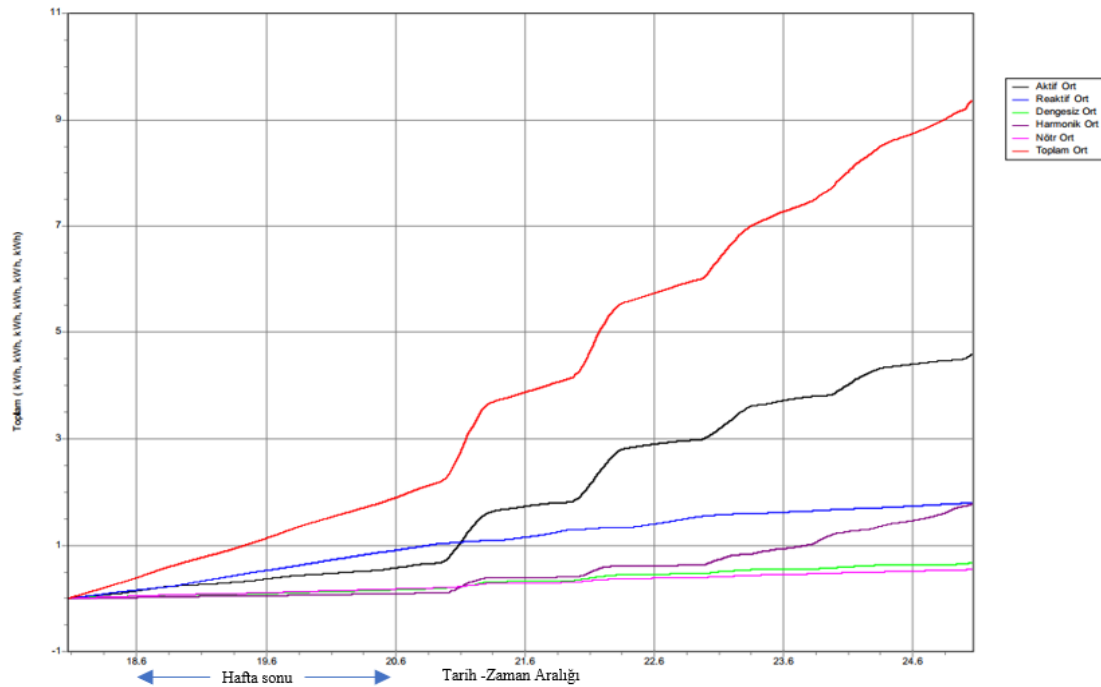
Şekil 5.104. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait zamana bağlı akım dengesizliği %An

Akım dengesizliğine ait zaman çizelgesi Şekil 5.104'te gösterilmiştir. Fazlara ait akım dengesizliği ortalama olarak sınır değerinin üzerinde seyretmiştir. Mesai saatlerinde yük kullanımının artmasıyla akım dengesizliğinde artış gözlemlenmiş olup kullanılan cihazların tek fazlı ve faz dağılımının eşit dağıtılmadığı sonucunu ortaya çıkarmıştır. Ayrıca yük kullanımının azalması sonucu akım dengesizliğinde de azalma görülmüştür. Akım dengesizliğine ait ortalama değer %15,7 olarak ölçülmüş ve kabul görülen standart değerinin üzerinde olduğu ve enerji kalitesi ve verimliliği açısından sorun teşkil ettiği görülmektedir. Binanın yük cetveli yenilenerek aydınlatma, priz, motor güçleri ve eşzamanlılık durumlarına göre fazlara dengeli dağıtılarak yapılmalıdır. Sonradan ilave edilecek yüklerin doğru boyutlandırılmış yükleme cetveline göre yapılması akım dengesizliği için önem arz edecektir.

5.6.7. Çınarcık meslek yüksekokulu binası enerji kaybı ve enerji tüketim durum analizi

Toplam enerji kayıpları beş farklı bileşen olarak incelenmiştir. Ayrıca, binanın enerji tüketim durumu hakkında bilgi edinmek için aktif enerji ve reaktif enerji tüketimini gösteren bir grafik kullanılmış ve bir haftalık tüketimin aktif-reaktif oranı da analiz edilmiştir.

Enerji kaybı: Binanın elektrik enerjine ait enerji kaybı ölçümü yapılarak grafik üzerinde gösterimi yapılmış ve toplam enerji kaybı verileri işlenmiştir. Kayıp enerjinin en çok hangi bileşende olduğu tespit edilerek çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

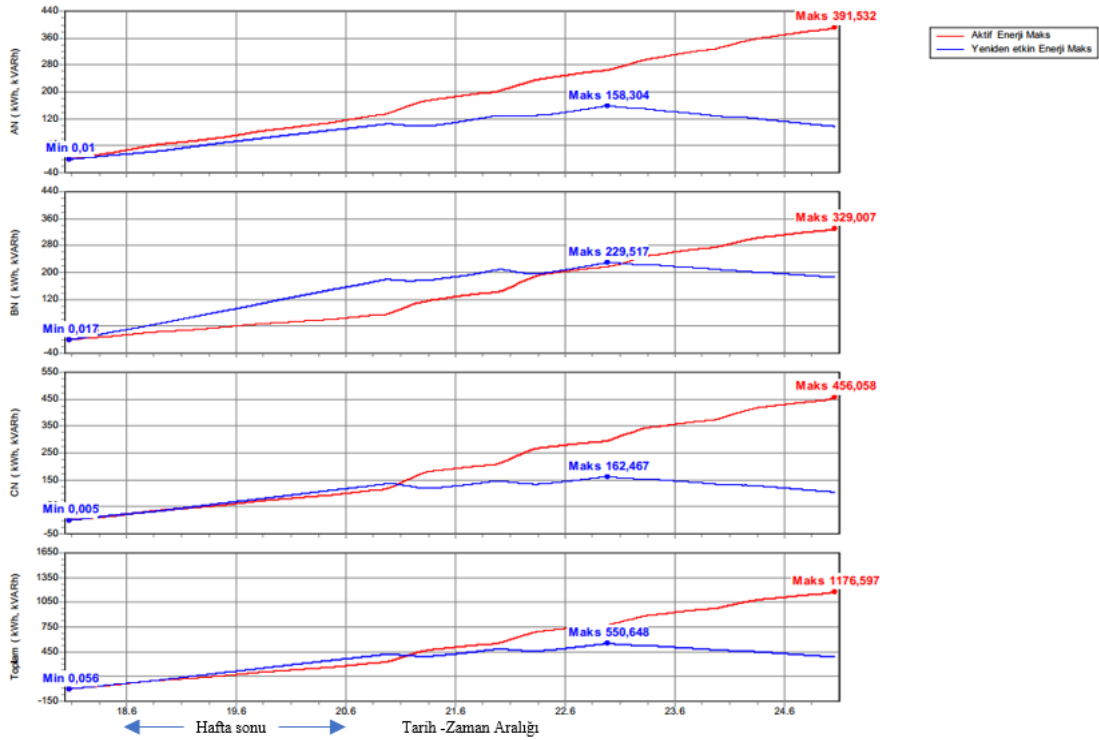


Şekil 5.105. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait enerji kaybı zaman çizelgesi grafiği

Enerji kayıplarını oluşturan bileşenler zamana bağlı olarak Şekil 5.105'te gösterilmiştir. Binanın enerji kaybına neden olan en önemli etken aktif güç kullanımına bağlı olup siyah renk ile gösterilmiştir. Yük kullanımına bağlı olarak hafta sonu enerji kayıpları yatay pozisyonda ilerlemiş hafta içi mesai saati içerisinde dikey, mesai saati dışındaki zamanlarda ise yatay pozisyonda ilerlemiştir. Haftalık olarak toplam enerji kaybı 9,5 kWh olup aktif enerji kaybı ortalama 4,5 kWh olarak hesaplanmıştır. Diğer kayıp enerji bileşen toplamı ise 5 kWh ile sırasıyla reaktif, harmonik, dengesizlik ve nötr enerji kayıpları olarak ölçülmüştür. Ölçüm zamanında

personel ve öğrenci sayısının az olması ve hava şartları itibarıyla hem ısıtma sistemi hem de soğutma sisteminin kapalı olmasından dolayı ölçümler enerji kaybı açısından net bir durum tespiti sağlamamakta fakat yük kullanımının artmasıyla doğru orantılı olarak enerji kaybı da artacağı düşünülmektedir. Toplam enerji kaybı maliyeti için elektrik enerjisinin birim fiyat bedeli 0,17\$ olarak baz alınmış ve yıl bazında binaya ait ortalama toplam enerji kaybı: $(56 \text{ hafta} \times 9.5 \text{ kWh} \times 0,17\$) = 90,44\$$ olarak hesap edilmiştir.

Aktif ve reaktif enerji tüketimi: Aktif ve reaktif enerji tüketimlerinin haftalık verileri, reaktif enerjinin aktif enerjiye oranı ile kompanzasyon sınır değerlerinin ortaya çıkmasını ve güç faktörü durumu hakkında bilgi sahibi olmayı sağlamakta buna bağlı olarak da çözüm önerilerinin sunulmasını sağlayacaktır.



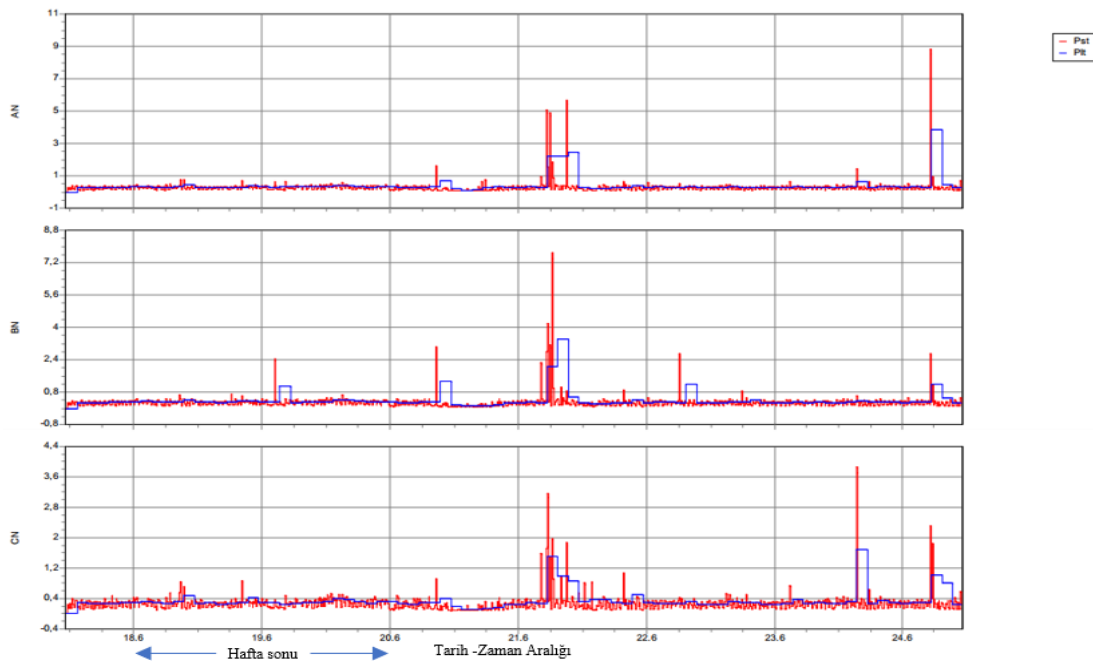
Şekil 5.106. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait aktif ve reaktif enerji tüketim çizelgesi

Enerji tüketiminin her bir faza ait ve toplam tüketimlerini bir haftalık periyot boyunca Şekil 5.106'da gösterilmiştir. Reaktif enerji ile aktif enerji tüketimi paralel seyretmiş bina kompanzasyon panosuna sonradan ilave edilen şönt reaktörlerin ölçümlerde devreden çıkarılmasına rağmen binadaki teknik personelin 22.06.2022 tarihinde güç faktöründe bozulma olduğunu tespit etmesiyle şönt reaktörleri devreye almış ve reaktif

enerjide düşüş gözlemlenmiştir. Reaktif enerji kapasitif görünümünden endüktif görünüme geçiş sağlamıştır. Aktif ve yeniden etkin enerji (reaktif enerji) tüketimlerinin oransal değerlendirmesi sonucu EPDK'nın belirlemiş olduğu reaktif enerji tüketim oranları kapasitif/reaktif için %15, endüktif/reaktif için %20 dir. Şekil 5.101'de reaktif güç istatistik grafiğinde bina yük tipi kapasitif/reaktif özellikte olduğu ve yasal sınır değerini aştığı anlaşılmaktadır. Reaktif enerji tüketiminin aktif enerji tüketimine oranı yüzdesel olarak hesaplanmış (reaktif/aktif enerji x100) ve % 36,8 aktif güce göre reaktif enerji tüketimi olmuştur. Bina elektrik aboneliği bireysel olduğundan faturada reaktif enerji bedeli yansıtılacak olup reaktif enerji birim fiyatı 0,04\$ olarak baz alındığında aylık reaktif enerji bedeli: (4 hafta*430 kWh*0,04\$) = 68,80\$ olarak faturaya etki edecektir. Bina kompanzasyonun kapasitif/reaktif enerjiyi sönmüleyecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca bu grafik binanın enerji tüketimine göre güç faktörünün istenilen değerlerden uzak olduğunu da teyit etmektedir.

5.6.8. Çınarcık meslek yüksekokulu binası titreşim durum analizi

Binanın titreşim durumu iki aşamalı olarak kısa süreli şiddet Pst 10 dk üzerinden ve uzun süreli şiddet Plt iki saat üzerinden hesaplanmış ve ölçümler bir haftalık periyotta ölçülmüştür.



Şekil 5.107. Çınarcık meslek yüksekokulu binasına ait fliker (Pst, Plt) zaman çizelgesi

Binanın enerji kalitesini etkileyen faktörlerden fliker Şekil 5.107’de gösterilmiştir. Pst: kısa süreli titreme kırmızı, Plt: uzun süreli titreme mavi renk ile belirtilmiş ve bir haftalık zaman çizelgesinde gösterilmiştir. Ortalama olarak A, B ve C fazlarında Pst değeri sırasıyla 0,28, 0,29, 0,27 değerlerinde ölçülmüş, Plt değeri ise sırasıyla 0,41, 0,39, 0,34 değerinde ölçülmüştür. Fazlara ait fliker durumu incelendiğinde uyumluluk sınır seviyesinin altında seyrettiği görülmektedir. Fliker değerlerinde bazı zaman periyotlarında kısa süreli aşırı yükselmeler görülmüş fakat ortalama olarak fliker değerleri standart seviyelerde olmasından dolayı binalarda kullanılan aydınlatma armatürleri, insanların sağlıklı bir ortamda baş ağrısı vb. sağlık sorunları oluşturmada çalışmasını sağlayacaktır.





6. SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Bu çalışmada, Yalova Üniversitesi merkez yerleşkesi ve bağlı birimlerinin enerji kalitesi ölçümleri yapılarak analiz edilmiştir. Toplamda 13 eğitim binası ve bir idari binanın enerji panolarında 25.03.2022-07.07.2022 tarihleri arasında ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu ölçüm verilerinin temel alınmasıyla, Yalova Üniversitesi ve bağlı birimlerine ait binaların enerji kalitesi değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Binaların şebeke yapısı sürekli olarak değişim gösterdiği için, yüklerin ve çeşitlerinin artmasıyla elektrik enerji kalitesi sorunları ortaya çıkmaktadır. Bu sorunlar, telafi edilemeyecek bir seviyeye ulaşmadan önce, doğru çözümlerin tasarlanması ve sunulması büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda binaların enerji kalite ölçümleri yapılmış ve analizleri değerlendirilerek çözüm önerilerinde bulunulmuştur.

Yapılan analizler sonucunda yük kullanımına bağlı olarak gerilim değerleri açısından bakıldığında tüm binalarda 08:00-17:30 zaman aralıklarında yük kullanımının yüksek olmasından dolayı çekilen akım değerindeki artışın gerilim değerlerinde az da olsa düşüşe neden olduğu gözlenmiş, mesai saati dışında kalan zamanlarda yük kullanımının azalması sonucu akım değerlerinde azalış yaşanmış ve gerilim değerlerinde 5-8 volt civarında artış yaşanmış, fakat gerilim değerleri arasındaki voltaj seviyesinin sınır değerlerinin altında ve üstüne seyretnmediği dolayısıyla da enerji kalitesine engel teşkil etmediği görülmüştür. Fazlar arası gerilim değerlerinde anormal bir durum olmasa da nötr ve toprak arası gerilim değerleri açısından bakıldığında Mühendislik fakültesinde ve Rektörlük binasında yük kullanımının yoğun olduğu özellikle ısıtma sistemlerinde kullanılan VRF klima ünitelerinin devrede olduğu zamanlarda ortalama olarak sınır değer seviyesinde seyretnmiş, Yabancı Diller Yüksek Okulu binasında nötr-toprak arasına kablo ile köprüleme yapıldığından (sıfırlama) ideal durumlarda olması gereken nötr ve toprak arası gerilim değeri ölçülmüştür. Armutlu Meslek Yüksek Okulu binasında nötr ve toprak arası ortalama gerilim değeri sınır değerin çok üzerinde seyretnmiş, binaya ait topraklama sisteminin kontrol edilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Güç ve güç faktörü açısından bakıldığında binaların güç tüketimleri mesai saatleri içerisinde aktif güç kullanımı artış gösterdiğinde reaktif gücün bazı binalarda kapasitif özellikten endüktif özelliğe doğru geçtiği bazı binalarda ise endüktif yükten kapasitif

yüke doğru geçtiği görülmüştür. Binalarda reaktif yük karakteristiğinin değişkenlik göstermesinin temel sebepleri alıcı tiplerinin farkından kaynaklanmaktadır. Eski binalarda; Armutlu MYO, Çınarcık MYO, Termal Sağlık Bilimleri, Yalova MYO, İnsan Toplum Bilimleri Fakültesi, Kütüphane-Mühendislik Ek bina, Merkezi Araştırma Laboratuvarı'nda aydınlatma armatürleri mekanik balastlı floresan tip, sirkülasyon pompaları sürücüsüz, olarak tasarlanmıştır. Yeni binalarda (İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Mühendislik Fakültesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Rektörlük, İslami İlimler Fakültesi, Hukuk Fakültesi ve Yabancı Diller Yüksek Okulu binalarının aydınlatma armatürleri elektronik balastlı floresan tip veya elektronik sürücülü led panel armatürler tercih edilmiş ve sirkülasyon pompaları sürücülü olarak tasarlanmıştır. Yük tiplerinin değişkenlik göstermesi reaktif güç tüketimini direk etkilemiştir. Reaktif güç tüketimine bağlı olarak bina kompanzasyon panoları bu durumdan olumsuz etkilendiği görülmüştür. Ölçüm yapılan binalarda kompanzasyon panolarının hepsi endüktif özellikte yük tipine göre tasarlanmış ve panolarda sadece kondansatör grupları tasarlanmıştır. Yeni binalarda led panel aydınlatma armatürlerinin etkisi, sirkülasyon pompa -motor güçlerinin enerji verimliliğinden dolayı sürücülü ve düşük güçte olmasından ötürü kompanzasyon panolarının hiç devreye girmediği tespit edilmiştir. Eski binaların birçoğunda ise yük tipi her ne kadar endüktif özellikte de olsa kompanzasyon panolarında bulunan kondansatör güçlerinin yüksek kapasiteli olması, üç fazlı bağlantı gruplu olmasından dolayı devreye girmediği görülmüştür. Mühendislik fakültesi ve Kütüphane-Mühendislik Ek binaları haricinde diğer tüm binalarda güç faktörü değerleri standart değerlerin altında seyrettiği tespit edilmiştir. Aşırı reaktif güç çekiminin enerji kalitesi ve verimliliği açısından sorun teşkil ettiği bilinmektedir. Bina kompanzasyon panolarının bina yük karakteristiğine göre tekrardan tasarlanması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Özellikle kapasitif yüklerin sönmelenmesi için ilave şönt reaktörlerin güç değerlerine uygun olarak tasarlanması, mevcut kondansatör gruplarının güç durumunun tespitinin yapılarak gereksiz güçteki kondansatör bloklarının kaldırılarak yerlerine ideal güçte kondansatör bloklarının eklenmesi ve tek fazlı kondansatörlerin mevcut panoya ilave edilerek reaktif güç tüketiminin enerji verimliliğine ve kalitesine olan olumsuz etkilerinin azaltılması amaçlanmalıdır. Binalarda kapasitif/reaktif özellikte güç çekimine sebebiyet veren bir diğer cihaz ise kesintisiz güç kaynaklarıdır. Bu kapsamda Merkezi Araştırma Laboratuvar binasında enerji kalitesi güç ölçümleri sonucunda reaktif güçte bariz bir

atış olduğu tespit edilmiş, güç faktöründe ise sınır değerin çok altında (0,30-0,40) bir değer görülmüştür. Güç faktöründe görülen bu değer, enerji verimliliği açısından enerji kayıplarına yol açtığı ve enerji kalitesini düşürdüğü tespit edilmiştir. Yapı bloğunda kondansatör grupları bulunan kesintisiz güç kaynakları her ne kadar çıkış güç faktörleri 0,90-0,95 değerlerinde olsa da cihaza bağlı yük kullanımı %30'un altına düştüğünde çıkış güç faktörü değeri standart kabul görülen değerin altına düşmektedir. Laboratuvarında bulunan 220 kVA kesintisiz güç kaynağının çıkış güç kullanımı %2 seviyelerinde olduğundan güç faktörü bu durumdan olumsuz etkilenmiştir.

Harmonikler açısından bakıldığında gerilim harmonikleri tüm binalarda daha çok hafta içi mesai saatlerinin başlangıç zamanlarında sınır değeri ($THD_v \leq 5$) aştığı görülmüştür. Hafta sonu zamanlarda ise ısıtma sisteminin çalışmadığı binalarda sirkülasyon pompaları devreye girmediği için gerilim harmonikleri sınır değer seviyesinin altında seyrettiği gözlemlenmiş, ısıtma sisteminin hafta sonu da çalıştığı binalarda sirkülasyon pompalarının devreye girmesinden dolayı gerilim harmonik değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Gerilim harmoniğinin enerji kalitesi açısından değerlendirilmesi için en yüksek harmonik seviyeden yorumlanması gerektiğinden gerilim harmoniklerinin sönümlenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Gerilim harmoniklerinin sönümlenmesi için aktif filtre veya pasif filtre uygulamalarının yapılması gereklidir. Bazı binaların mevcut kompanzasyon panolarında pasif harmonik filtre uygulaması olmasına rağmen (Mühendislik, İslami İlimler, Spor Bilimleri, Rektörlük) gerilim harmoniklerinin sönümlenmediği de görülmüştür. Bunun sebebi olarak binaların reaktif güç karakteristiği kapasitif özellikte olmasından dolayı kondansatör bloklarının devreye girmemesi bu nedenle de pasif harmonik filtrelerin de devreye girmemesinden dolayı gerilim harmonikleri sönümlenememiştir. Binaların ortalama gerilim harmonik değerlerine bakıldığında özetle; sınır değeri aşan gerilim harmonikler Mühendislik Fakültesi ve İslami İlimler Fakültesi binalarında aşılmış olduğu görülmüştür. Merkezi Araştırma Laboratuvarı, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Rektörlük ve Çınarcık MYO binalarında ortalama gerilim harmonik değeri sınır değer aralığında olduğu tespit edilmiştir. Gerilim harmoniklerinin normal değerlerde olduğu binalar; Hukuk Fakültesi, Yabancı Diller Yüksek Okulu, Termal Sağlık Bilimleri Fakültesi, Safran MYO, İnsan Toplum Bilimleri Fakültesi, Spor Bilimleri, Armutlu MYO, Kütüphane-Mühendislik Ek binalarıdır. Bu binalarda gerilim harmonikleri enerji kalitesi açısından olumsuzluk

teşkil etmemekte ve cihazlarda kalıcı hasarın oluşması söz konusu olmayacağı düşünülmektedir.

Gerilim harmonikleri, binalarda yaygın olarak kullanılan sirkülasyon pompa-motorlarına, güç kaynaklarına, elektronik balastlara, elektronik kartlara ve diğer elektrikli cihazlarda arızalara neden olabilmektedir. Başlıca bu arızalar; bobin yapılı cihazlarda gürültü, ısınma, güç kaybına neden olurken, güç kaynakları, elektronik kartlar gibi yarı iletken teknolojiye sahip diğer cihazlarda elektro manyetik uyumluluk sorunlarına neden olup cihazların işlevselliğini olumsuz etkileyebilmektedir.

Akım harmonik değerinin hafta içi ve hafta sonu zaman dilimlerinde kabul edilen sınır değeri ($THD_a \leq 20$) Kütüphane-Mühendislik Ek binası hariç tüm ölçüm yapılan binalarda aştığı tespit edilmiştir. Akım harmoniğinin önemli bir sorun teşkil ettiği ve enerji kalitesini olumsuz etkilediği düşünülmektedir. Akım ve gerilim harmonik oluşumuna en fazla 3., 5., ve 7. mertebe harmoniklerin etki ettiği görülmektedir. Özellikle 5. mertebe harmonik değerleri tüm binalarda yüksek seviyelerde ölçülmüş buna neden olarak tüm binalarda kullanılmakta olan ısıtma sistemlerinde kullanılan sirkülasyon pompa-motorları ve hidrofor pompa-motorlarından kanyaklı olduğu düşünülmektedir.

Gerilim dengesizliğinin enerji kalitesine etkisi için yapılan analiz sonuçlarına bakıldığında Yalova Meslek Yüksek Okul binasının gerilim dengesizliği sınır değerine ($V_z \leq \%2$) yakın olduğu görülmüştür. Diğer binaların gerilim dengesizliği analiz sonuçları incelendiğinde ortalama olarak ideal seviyelerde olduğu tespit edilmiş ve herhangi bir enerji kalitesi problemlerine yol açmadığı sonucu ortaya çıkmıştır. Gerilim dengesizliği en çok mesai saati içerisinde yük kullanımının arttığı zamanlarda artış gösterdiği, hafta sonu ve mesai saati dışında kalan zaman dilimlerinde gerilim dengesizliğinin en düşük seviyelerde seyrettiği görülmektedir. Her bir faz için en yüksek gerilim değeri ile en düşük gerilim değeri arasındaki fark, ortalama gerilim değerine bölünerek yüzde olarak ifade edilir. Yüzde olarak ortaya çıkan bu değer gerilim dengesizlik faktörünün hesaplanmasını sağlar ve gerilim dengesizliğinin ölçüm sonucunu gösterir. Simetrik bileşenler yöntemiyle hesaplanan enerji kalitesine etki eden gerilim dengesizliği sonucunda Yalova MYO binasında mesai saatleri içerisinde yük kullanımının arttığı en tepe noktalarda gerilim dengesizliğine ait değerlerin kabul görülen sınır değere yaklaştığı görülmüştür.

Akım dengesizliği analizi sonucunda, ise akım dengesizliğinin mesai saatlerinde üç fazlı cihazların devreye girmesinden kaynaklı olarak dengesizlik değeri azalsa da sistemde tek fazlı olarak çalışan cihazların fazlara dengeli olarak dağıtılmaması sonucu ölçümü yapılan tüm binalarda akım dengesizliğinin enerji kalitesini olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Hukuk Fakültesi ve Rektörlük binalarında tek fazlı dengesiz yüklerin etkisinin az olması ve dengeli üç fazlı yüklerin (hidrofor motorları, Vrf klima santralleri, asansörler) devreye girmesiyle akım dengesizliği değerinin standart sınır değerin ($\%An \leq 10$) altına düştüğü ve bu düşüşün üç fazlı alıcıların çekilen ortalama akımın artmasına bağlı olduğu düşünülmektedir. Bu iki binada ortalama olarak akım dengesizliği standart sınır değer eşiğinde olduğu tespit edilmiştir. Diğer binalarda akım dengesizlikleri ortalama olarak sınır değerin üzerinde olup enerji kalitesine olumsuz etki ettiği ve enerji kayıplarına neden olduğu görülmüştür. Mesai saatleri içerisinde yük kullanımının artması sonucu fazlara ait akım değerinde artış yaşandığı için dengesizlik etkisi azalmakta ve gerilim değerlerinde anormal bir durum oluşmadığı tespit edilmiştir.

Enerji kaybı analizinde her bir binanın haftalık toplam kayıp enerjisi kWh olarak belirtilmiş ve hesaplama tablosunda sunulmuştur. Enerji kayıplarının büyük bir kısmı aktif enerji kullanımından kaynaklanmaktadır. Aktif enerji kullanımı sırasında kablo üzerinde oluşan direnç kayıplarının enerji analizör cihazında otomatik olarak %3 kayıp oranı kabul edilerek hesaplanmıştır. Enerji kayıpları her bir binada farklılık gösterse de genel anlamda en fazla kayıp enerji bileşenleri sırasıyla; aktif, reaktif, dengesizlik, harmonik ve nötr bileşenleri üzerinde oluşan kayıplardan oluşmaktadır. Fakat Merkezi Araştırma Laboratuvarı binasında enerji kayıpları açısından anormal bir durum söz konusu olup aktif enerji kaybından daha çok reaktif enerji kaybı olduğu tespit edilmiştir. Reaktif enerji kaybını binada bulunan 200 kVA kesintisiz güç kaynağı cihazı tarafından olduğu ayrıca tespit edilmiştir. Binaların kompanzasyon sistemlerinin reaktif yük karakteristiğine uygun olarak tasarımı yapılmadığından dolayı reaktif enerji kayıplarında ciddi anlamda kayıp enerji olduğu gözlemlenmiştir. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Rektörlük, Hukuk Fakültesi, Çınarcık MYO ve Armutlu MYO binalarında harmoniklerden dolayı enerji kayıplarının etkisinde oldukça fazla olduğu görülmüştür. Ölçümlerin yapılma zamanında bazı binalarda yük kullanımının az olmasında dolayı kayıp enerji maliyetlerinin düşük olduğu görülmüş fakat enerji kaybı grafiğinde yük kullanımının artmasıyla enerji kayıplarının da

artacağı anlaşılmaktadır. Maliyet açısından ortalama bir enerji kaybı hesaplanamasa da enerji kaybı grafiklerinden binalarda harcanan enerjinin hangi enerji kayıp bileşenleri tarafından hangi oranda harcandığı hakkında bilgi verdiği sonucu çıkarılmaktadır. Bu tez kapsamında ölçümler 2022 yılında yapılmış olup dünyada ciddi anlamda etkisini gösteren enerji krizi, enerji birim fiyatlarında artışa neden olmuş ve enerjinin önemini bir kez daha ortaya çıkarmıştır. Enerji maliyetlerinin her geçen zaman arttığı varsayılırsa yıl bazında enerji kaybindan dolayı üniversite binalarında ciddi bir kayıp enerji maliyeti oluşmaktadır.

Binaların enerji kalitesi analizi yapılırken daha çok harmonikler, güç faktörü, dengesizlikler üzerine durulsa da enerji kalitesi yönünden fliker etkisinin önemi oldukça fazladır. Her ne kadar yönetmeliklerde basitleştirilse de fliker etkisinin uzun süreli ve sık tekrarlanan durumlarda insanlarda baş ağrısı, baş dönmesi, migrenin tetiklenmesi, mide bulantısı ve epilepsi hastalıklarına neden olabilen bir etki yaratabilmektedir. Bu nedenle, fliker etkisinin doğrudan insan fizyolojisi üzerinde olumsuz etkisi olmasından dolayı diğer enerji kalitesi parametrelerinden daha fazla öneme sahip olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple fliker etkisi sisteme, işletmeye veya cihazlara olumsuz etkileri olan diğer enerji kalitesi parametrelerinden enerji kalitesi analizinde önemli bir teşkil etmektedir. Üniversite binalarında yapılan ölçüm sonuçları fliker değerleri açısından analiz edildiğinde kısa dönem (Pst) ve uzun dönem (Plt) uyumluluk seviyelerinin enerji kalitesi açısından uygun olduğu görülmüştür. Bazı binalarda enerji kesintilerinden dolayı zamana bağlı değişim grafiğinde, fliker değerlerinde zirve yaptığı zamanlar gözlemlenmiştir. Bir haftalık ölçüm periyotlarında binalarda ortalama fliker değerleri, standart kabul görülen sınır değerleri aşmadığı ve insan sağlığına olumsuz etkisinin olmadığı sonucu ortaya çıkmıştır.

6.2.Öneriler

Yalova Üniversitesi idari ve eğitim binalarının elektrik enerjisi kalitesi analizleri sonucunda binalarda enerji kalitesinin artırılmasına yönelik önerilerde bulunulmuştur. Binaların enerji kalitesi bileşenlerine ait sorunlara ayrı ayrı çözüm önerileri sunulurken enerji kalitesinin artırılması amaçlanmıştır.

Akım ve gerilim değerlerinin analizinde nötr hatları üzerinden akan akım değerlerinin mesai saatlerinde yük kullanımına bağlı olarak artış gösterdiği diğer zamanlarda ise azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Yük kullanımı artış gösterdiğinde nötr barası üzerinde akım değerinin artması, sistemde tek fazlı alıcıların fazla olduğunu ve dengesiz bir yük profiline sahip olduğunu göstermektedir. Ayrıca elektrik tesisat kurulumu yapılırken proje üzerinde dengeli bir şekilde dağılım söz konusu olsa da montaj ekibinin yeterince denetlenmemesi ve en önemlisi sonradan eklenen cihazların faz ayrımı yapılmadan en yakın hatta bağlanması sonucu dengesizlik miktarları günden güne artış gösterecek ve nötr barası üzerinden akım geçişi yaşanarak kayıplara neden olacaktır. Binalarda nötr hattından akan akımın azaltılabilmesi için tek fazlı alıcıların fazlara dengeli bir şekilde bağlantılarının yapılması gerekmektedir. Nötr hattı kablolarının kesiti ilgili yönetmelik hesaplamalarına uygun kesitte kullanılmış olup dengeli yük sisteminin tasarlanması gerekmektedir.

Nötr ve toprak arası gerilim değerlerinin bazı binalarda kabul görülen sınır değerinin üstünde olduğu tespit edilmiş olup bu değerinin düşürülmesi için; topraklama sistemine ait toprak elektrotlarının uzak mesafeli olarak çakılması, işletme topraklamasının iyileştirilmesi, fazlar arası akım dengesizliklerin önlenmesi, nötr hattı üzerinden geçen harmonik akımların gerilime sebebiyet vermesinden dolayı harmoniklerin sönmülmesi sağlanarak nötr-toprak arası gerilim değerinin kabul görülen sınır değerinin altına çekilmesi sağlanmalıdır.

Aktif, reaktif ve güç faktörü analizi sonucunda binaların reaktif güç tüketimleri normal değerlerin üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Aktif ve reaktif güç kullanımına bağlı olarak güç faktörü değeri, çoğu binada kabul görülen sınır değerinin altında kalmış ve enerji kalitesi ve verimliliği açısından sorun teşkil ettiği tespit edilmiştir. Bazı binalarda reaktif yük karakteristiği kapasitif/reaktif özellikte, bazı binalarda ise endüktif/reaktif özellikte olduğundan kompanzasyon panolarının işlevselliği doğru tasarlanamamıştır. Genel olarak kompanzasyon panoları endüktif yükü kompanze

etmek için kapasitif yük ilave edilerek tasarlandığından çoğu binada devreye girmemektedir. Ayrıca kompanzasyon panolarının içerisinde bulunan kondansatör bloklarının güç kapasiteleri büyük güçte seçildiğinden reaktif yükü endüktif/reaktif özellikte olan binaların kompanzasyon panolarının da işlevsel olmadığı görülmüş ve güç faktöründe iyileştirme yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Güç faktörünün düzeltilmesi için kompanzasyon panolarına, ölçümlerin istatistiksel verilerinden faydalanarak ideal güçlerde tek fazlı ve üç fazlı şönt reaktörlerin endüktif yük sürücüsü ile reaktif güç kontrol rölesine tanıtılarak kompanzasyon panolarına montajının yapılması gerekmektedir. Ayrıca kompanzasyon panosundaki üç fazlı kondansatör bloklarının güç kapasitelerinin de ölçüm sonuçlarına göre ihtiyaç duyulan kapasitif değerin üstünde olanların demontajlarının yapılması, ihtiyaç duyulan kapasitede yeni kondansatör bloklarının montajının yapılması sağlanmalıdır. Ayrıca fazlar arasında güç faktörü değerindeki farklılıklar için tek fazlı kondansatör bloklarının montajının yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır. Merkezi Araştırma Laboratuvarı binasında reaktif güç çekiminin aktif güç çekiminden fazla olduğu sonucu ortaya çıkmış çekilen reaktif gücü sistemde bağlı olan 200 kVA gücünde kesintisiz güç kaynağından dolayı sisteme verildiği tespit edilmiştir. Cihazın kapasitesinin yüksek olması, kullanım yükünün ölçüm boyunca %3 seviyesini geçmemesinden dolayı cihaz sistemden reaktif güç çekmiştir. Reaktif güç binanın kompanzasyon panosunda şönt reaktör olmamasından dolayı kompanze edilmediği ve merkez yerleşkede de bulunan trafo köşklerindeki şönt reaktörler ile kompanze edildiği de görülmüştür. Laboratuvar binası için 200 kVA gücünde kesintisiz güç kaynağının hem enerji kalitesi hem de enerji verimliliği açısından daha düşük kapasitedeki güç kaynağı ile değişiminin yapılması gerekliliği ortaya çıkmıştır.

Akım ve gerilim harmonik analiz sonucunda ölçüm değerlerinin akım harmoniği açısından Kütüphane-Mühendislik ek binası hariç tüm binalarda enerji kalitesine olumsuz etki edeceği düşünülmektedir. Gerilim harmonikleri İslami İlimler ve Mühendislik Fakültesi binasında tehlike arz edecek seviyede olduğu, Merkezi Araştırma Laboratuvarı, Rektörlük, Çınarcık MYO, İktisadi ve İdari Bilimler Fakülte binalarında standart sınır değeri aştığı zamanlarda tehlike arz edeceği düşünülmektedir. Binalarda harmoniklerin oluşturacağı başlıca hasarlar; transformatörün, iletkenlerin ve motorların aşırı ısınmasına, devre kesicilerin (sigorta, termik manyetik şalter, kaçak akım rölesi) ansızın açmasına, yarı iletken teknolojisine

sahip cihazların kullanım ömürlerinin azalması ve arızalanmasına, kompanzasyon panosunda bulunan kondansatörlerin aşırı gerilime maruz kalacağından dolayı delinmesi gibi çeşitli sorunlara sebebiyet verecektir. Sonuç olarak harmoniklerin sönümlenmesi için aktif harmonik filtre veya pasif harmonik filtre uygulamalarının yapılması gerekmektedir. Aktif harmonik filtre uygulamasının yüksek maliyeti sebebiyle yapılması mümkün olmaması durumunda pasif harmonik filtre uygulamasının, binaların yük profilinde ani yük değişimlerinin yaşanmadığı da düşünülürse daha uygun bir çözüm olacağı düşünülmektedir. Mevcut kompanzasyon panolarında yer alan kondansatörlere seri bağlı pasif filtre sisteminin Rektörlük, Mühendislik, İslami İlimler ve Spor Bilimleri Fakültesi binalarında olduğu diğer binalarda olmadığı görülmüştür. Fakat pasif harmonik filtre sistemi olan binalarda reaktif güç çekimi daha çok kapasitif yük profilinde olduğundan kondansatörlere seri bağlı pasif filtreler devreye girmediği için filtreleme işlevi görmediği tespit edilmiştir. Kompanzasyon panolarına reaktif güç ölçüm sonuçları dikkate alınarak şönt reaktör montajlarının yapılarak endüktif özellikli yük profiline geçişin sağlanması ve mevcut kondansatör blokları ile pasif harmonik filtrelerin kapasitelerinin düşürülerek kompanzasyon panolarının devreye alınması gerekmektedir. Diğer binalarda reaktif güç kullanımı dikkate alınarak yük tipinin endüktif ve kapasitif özelliğine göre kompanzasyon panolarının düzenlenerek mevcut kondansatör güçlerinin ve onlara seri bağlanacak pasif harmonik filtrelerin ölçüm verileri dikkate alınarak güçlerinin belirlenmesi ve sisteme bağlantısının yapılması gerekmektedir.

Gerilim dengesizliğinin enerji kalitesine etkisi için yapılan analiz sonuçlarına bakıldığında Yalova MYO binasının sınır değere yaklaştığı diğer binalarda ise gerilim dengesizliği, sınır değerinin altında olduğu görülmüştür. Gerilim dengesizliğini azaltmanın en temel yolu akım dengesizliğini önlemekle olur. Akım dengesizliği Rektörlük ve Hukuk Fakültesi dışında kalan tüm binalarda standart sınır değeri aştığı görülmektedir. Akım dengesizliğinden dolayı nötr üzerinden akım geçişi olacak ve nötr iletkenlerinde ısınma ile enerji kayıplarına yol açacaktır. Akım dengesizliğinin önlenmesi için dengeli yük sisteminin oluşturulması özellikle de tek fazlı alıcıların sisteme dengeli bir şekilde dağıtılması gerekmektedir.

Enerji kaybı ölçüm sonuçlarına göre binaların haftalık toplam enerji kaybı 1.462,45kWh olup aktif enerji kaybı 1.165,10 kWh, reaktif, harmonik, nötr ve

dengelesizlikten dolayı oluşan enerji kaybı 297,35 kWh olarak hesap edilmiştir. Enerjinin değeri ve verimliliğinin her geçen zaman önem kazandığı ve enerji fiyatlarının da sürekli arttığı bu dönemde binadaki enerji kayıpları da göz önüne alındığında ciddi bir kayıp enerjinin ortaya çıktığı görülmektedir. Yıl bazında enerji kaybı maliyeti: 56 hafta boyunca haftalık 1.462,45 kWh'lik kayıp enerji ve enerjinin birim fiyatı 0,17\$ baz alındığında 14.174,38\$'lık kayıp enerji maliyeti hesap edilmiştir. Binalarda enerji kalitesinin iyileştirilmesiyle enerji kayıplarının da önüne geçilerek enerji verimliliği ve tasarrufu sağlanmış olacaktır.

Enerji kalitesine titreşim (flikler) açısından incelendiğinde flikler değerleri, tüm binalarda standart değerin altında olduğu görülmüş ve binalarda çalışan personel ile öğrencilerin flikler faktörü sonucu aydınlatma armatürlerde oluşturduğu rahatsızlıktan etkilenmeden sağlıklı bir ortamda (baş ağrısı, baş dönmesi, migrenin tetiklenmesi, mide bulantısı vb.) sağlık sorunları oluşturmada çalışabilmelerini sağlayacak seviyede olduğu tespit edilmiştir. Fakat ölçüm periyodu bir haftalık verilerden oluştuğu için flikler değerlerinin belirli periyotlarla farklı zamanlarda ölçülmesi daha sağlıklı sonuçlar sunacaktır.

Yapılan güç analiz ölçümleri, güç kalitesi ölçme yönetmelikleri ve ölçme standartlarına göre analiz sonuçları değerlendirilmiştir. Yalova Üniversitesine ait idari ve eğitim binalarının enerji kalitesi analiz sonuçları akım, gerilim, güç faktörü oranı, reaktif enerji oranı, akım ve gerilim harmoniği, akım ve gerilim dengesizliği, flikler ve enerji kaybı maliyetine ait faktörler enerji kalite analizleri güç kalite yönetmelikleri ve ölçme standartlarına göre tablo halinde sunulmuştur.

Tablo 6.1. Yalova Üniversitesi enerji kalitesi ölçüm sonuçları

Güç Kalitesi Yönetmelikleri ve Ölçüm Standartlarına Göre Binaların Enerji Kalitesi Durum Analizi												
Enerji Analiz Ölçümü Yapılan Binalar	Güç Kalitesi Yönetmelikleri ve Ölçüm Standartlarına Göre Binaların Enerji Kalitesi Durum Analizi											
	Akım Durumu	Gerilim Durumu	Güç Faktörü Oranı (%)	Reaktif Enerji Ort. Yük Karakteristiği	Endüktif (%20) Kapasitif (%15) Yasal Sınır Durumu	Akım Har. Durumu	Gerilim Harmonik Durumu	Güç Faktörü Durumu	Akım Dengesizlik	Gerilim Dengesizlik	Flikler	Enerji Kaybı Maliyeti (\$)
Mühendislik Fakültesi	Uygun	Uygun	0,96	Endüktif	Normal	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun	Uygun Değil	Uygun	Uygun	2.470,44
Merkezi Arş. Lab.	Uygun	Uygun	0,43	Kapasitif	Sınır Değer Üstünde	Uygun Değil	Sınır Değerde	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun	Uygun	840,61
İktisadi ve İdari Bilimler	Uygun	Uygun	0,91	Endüktif	Normal	Uygun Değil	Sınır Değerde	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun	Uygun	1.599,23
Rektörlük	Uygun	Uygun	0,9	Kapasitif	Normal	Uygun Değil	Sınır Değerde	Sınır Değerde	Sınır Değerde	Uygun	Uygun	6.590,76
İslami İlimler Fakültesi	Uygun	Uygun	0,76	Kapasitif	Sınır Değer Üstünde	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun	Uygun	1.142,40
Hukuk Fakültesi	Uygun	Uygun	0,85	Endüktif	Sınır Değer Üstünde	Uygun Değil	Uygun	Uygun Değil	Sınır Değerde	Uygun	Uygun	600,92
Yabancı Diller Y.O	Uygun	Uygun	0,8	Kapasitif	Sınır Değer Üstünde	Uygun Değil	Uygun	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun	Uygun	409,36
Kütüphane-Müh. Ek Bina	Uygun	Uygun Değil	0,95	Kapasitif	Normal	Uygun	Uygun	Uygun	Uygun Değil	Uygun	Uygun	106,61
Spor Bil. Fak.	Uygun	Uygun	0,85	Kapasitif	Sınır Değer Üstünde	Uygun Değil	Uygun	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun	Uygun	18,41
Yalova MYO	Uygun	Uygun	0,88	Endüktif	Normal	Uygun Değil	Uygun	Uygun Değil	Uygun Değil	Sınır Değerde	Uygun	106,61
İnsan ve Top Bilimleri	Uygun	Uygun	0,81	Endüktif	Normal	Uygun Değil	Uygun	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun	Uygun	25,20
Termal Sağlık Bil. Fak.	Uygun	Uygun	0,62	Kapasitif	Sınır Değer Üstünde	Uygun Değil	Uygun	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun	Uygun	87,10
Çınarcık MYO	Uygun	Uygun	0,69	Kapasitif	Sınır Değer Üstünde	Uygun Değil	Sınır Değerde	Uygun Değil	Uygun Değil	Uygun	Uygun	90,44
Armutlu MYO	Uygun	Uygun	0,9	Endüktif	Normal	Uygun Değil	Uygun	Sınır Değerde	Uygun Değil	Uygun	Uygun	38,76
											Toplam	14.126,85

Yalova Üniversitesine ait idari ve eğitim binalarının enerji kalitesi analiz sonuçları Tablo 6.1’de gösterilmiştir. Enerji kalitesi durum analiz tablosuna bakıldığında binaların enerji kalite analizinde akım verilerine göre gerilim değerlerinin standart seviyelerde olduğu ve gerilim düşümünün yaşanmadığı gözlemlenmiştir. Güç faktörü açısından bakıldığında binaların çoğunda standart değerlere ulaşamadığı ve kompanzasyon sistemlerinin, binaların yük profiline göre elverişli olmadığı tespit edilmiştir. Binalarda reaktif enerji yük profilinde farklılıklar görülmüş ve binaların ortalama reaktif enerji bileşeni olan endüktif ve kapasitif özellikler yasal sınır değerlere göre belirtilmiştir. Akım ve gerilim harmoniklerinin her bir bina için durumu özetlenmiş, akım harmoniklerinin binalarda güç kalitesini olumsuz etkilediği görülmüştür. Akım dengesizliğinin çoğu binada enerji kalitesi açısından sorun teşkil ettiği tespit edilmiştir. Fliker açısından tüm binalarda ölçüm değerleri ideal seviyelerde olduğu ve fliker etkisinin aydınlatma armatürleri vasıtasıyla binalarda bulunan insanlarda sağlık sorunlarına yol açmayacağı sonucu ortaya çıkmıştır. Enerji kaybı maliyeti her bir bina için yıl bazında ortalama olarak belirtilmiş ve kWh enerji bedeli dolar cinsinden hesaplanmıştır.

Bu çalışma kamu idari ve eğitim binalarında enerji kalitesi sorunlarını ortaya çıkarmak, enerji kalitesinden kaynaklı kayıpları azaltmak, verimliliği arttırmak ve cihazlarda bakım-onarım maliyetlerini düşürmek için ölçme yönetmelik ve kalite standartlarına uyulması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Standartlara uyulması, hem binaların enerji kalitesi sorunlarını azaltacak hem de enerji tasarrufu sağlayarak sürdürülebilir bir geleceğe katkıda bulunacaktır.

KAYNAKLAR

- Abb, (1 Nisan 2019). Technical Application Papers. <https://library.e.abb.com/public/4704e67320c08992c1257870002e4700/1SDC007107G0202.pdf>.
- Abdel Aleem, S. H. E., Balci, M. E., & Sakar, S. (2015). Effective utilization of cables and transformers using passive filters for non-linear loads. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 71, 344–350. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2015.02.036>
- Alkan, Ö. (2017) *Elektrik enerji kalitesi bakımından bir sağlık tesisinin incelenmesi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Atasal, M. (2000). *Güç Kalitesi ve Fliker* [Yayınlanmış yüksek lisans tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Aydın, U. (2007). *Kampüs tipi yerleşim birimlerinde kompanzasyon ve harmonik açısından güç analizleri* (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
- Bilge, M. (2008). *Güç sistemlerinde harmoniklerin pasif filtrelerle eliminasyonu* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Brantsæter, H., Kocewiak, Ł., Årdal, A. R., & Tedeschi, E. (2015). Passive filter design and offshore wind turbine modelling for system level harmonic studies. *Energy Procedia*, 80, 401-410.
- Broshi, A. (2007, October). Monitoring power quality beyond EN 50160 and IEC 61000-4-30. In *2007 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation* (pp. 1-6). IEEE.
- Cengiz, M. S., & Rüstemli, S. (2016). Passive filter solutions and simulation performance in industrial plants. *Bitlis Eren University Journal of Science and Technology*, 6(1), 39-43.
- Demirkol, Ö. (2006). *Harmonik içeren ve dengesiz şebekelerde ölçme ve kompanzasyon* (Doctoral dissertation, Sakarya Üniversitesi (Turkey)).
- Efe, S. B. (2015, June). Harmonic filter application for an industrial installation. In *2015 13th International Conference on Engineering of Modern Electric Systems (EMES)* (pp. 1-4). Ieee.
- Efe, S. B. (2016). Endüstriyel Tesisler için Aktif ve Pasif Harmonik Filtre Uygulaması. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(1).
- Filiz, C. (2006). Güç Sistemlerine Harmonikler ve Filtrelerin İncelenmesi, Kırıkkale Üniversitesi. *Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale, 146s*.
- Fluke 434-II/435-II/437-II (6 Ocak 2012). Üç Fazlı Enerji ve Güç Kalitesi Analizörü Kullanım Kılavuzu. https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/434_435_umeng0300.pdf.

- Gazete, R. (2006). Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmelik.
- IEEE Standards Association. (2009). IEEE Std 1159-2009. Recommended practice for monitoring electric power quality. *IEEE Power and Energy Society*.
- İşcan, S., & İNCE, K. (2015). Enerji Kalitesinin Standartlar ve Yönetmelikler Çerçevesinde Değerlendirilmesi. *Basılmamış, no. May*.
- Kakilli, A., Tunçalp, K., & Sucu, M. (2008). Harmoniklerin Reaktif Güç Kompanzasyon Sistemlerine Etkilerinin incelenmesi ve Simülasyonu. *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 20(1), 109-115.
- Keçecioğlu, Ö. F., Tekin, M., Gani, A., Sarı, M., & Şekkeli, M. (2015). Endüstriyel Isı Santrallerinde Enerji Kalitesi Ölçümü ve Değerlendirilmesi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Örneği. *VI. Enerji Verimliliği, Kalitesi Sempozyumu ve Sergisi Bildirileri*.
- Kocatepe, C., Uzunoğlu, M., Yumurtacı, R., Karakaş, A., & Arıkan, O. (2003). Elektrik tesislerinde harmonikler. *Birsen Yayınevi, İstanbul*, 1-1.
- Kürker, F. (2022). Lineer olmayan yüklerin sebep olduğu harmoniklerin ve fazlar arası güç dengesizliğinin nötr akımına etkisi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 12(3), 1456-1467.
- Langella, R., Testa, A., & Alii, E. (2014). IEEE recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems. In *IEEE Recommended Practice*. IEEE.
- Masetti, C. (2010, September). Revision of European Standard EN 50160 on power quality: Reasons and solutions. In *Proceedings of 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power-ICHQP 2010* (pp. 1-7). IEEE.
- Naci, O. B. U. T., & Tür, M. R. (2021). Measurement and Evaluation of Power Quality Parameters Batman Province Application. *International Journal of Energy and Smart Grid*, 6(1-2), 37-45 35
- PowerLog (2 Şubat 2010). PC Application Software Kullanım Kılavuzu. https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/PL46_readme.pdf.
- Rüstemli, S., Cengiz, M. S., ve Dinçer, F. (2013). Elektrik Tesislerinde Harmoniklerin Aktif Filtre Kullanılarak Yok Edilmesi ve Simülasyonu. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 2(1), 30-38.
- Sankaran, C. (2017). *Power quality*. CRC press.
- Sarı, M. (2017). *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Aşar Kampüsünün Enerji Kalitesinin İncelenmesi* [Yayınlanmış yüksek lisans tezi] Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi.

Tabak, B., & Yalçın, M. (2004). Elektrik Güç Sistemlerinde Enerji Kalitesi. *Sakarya University Journal of Science*, 8(1), 52-54.

Tekin, M. (2016). *Bir Kampüs Alanının Güç Kalitesi Analizi: Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Yerleşkesi Örneği*. 4. Uluslararası Mühendislik ve Bilimde Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu (ISITES2016) 3-5 Kasım 2016, Alanya/Antalya, Türkiye.

Tunçalp, K., & Mehmet, S. U. C. U. (2006). Elektrik enerji sistemlerinde oluşan harmoniklerin filtrelenmesinde pasif filtre ve filtreli kompanzasyonun kullanımı ve simülasyon örnekleri. *Politeknik Dergisi*, 9(4), 263-271.

Uçar, M., & Özdemir, E. (2013). İdeal Olmayan Şebeke Gerilimi ve Dengesiz Yük Şartlarında 3-Fazlı 4-Telli Paralel Aktif Güç Filtresi Denetimi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 20(3).

Yılmaz, M. (2006). *Elektrik Sistemi Tasarımında Harmoniklerin Giderilmesi İçin Bir Analiz*. <https://polen.itu.edu.tr/bitstream/11527/1181/1/4504.pdf>



ÖZGEÇMİŞ

İlk ve orta öğrenimini Konya’da tamamladı. 2006 yılında girdiği Konya Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler MYO Elektrik Bölümünden 2008 yılında mezun oldu. 2010 yılında başladığı Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliğinden 2013 yılında mezun oldu. Yalova Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans öğrencisi olarak eğitime devam etmektedir.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYIN VE ESERLER

[1] ASLAN, İsmail, and Sunay TÜRKOĞAN. "Bir Kamu Eğitim Binasının Enerji Kalitesinin ve Verimliliğinin Analizi ile Geliştirilmesine Yönelik Öneriler." *International Conference on Engineering, Natural and Social Sciences*. Vol. 1. 2023.