

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



**MUNZUR ÜNİVERSİTESİ HİZMET BİNALARININ GÜÇ KALİTESİ
YÖNÜNDEN İNCELENMESİ**

Gürkan TAM

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Bilgin ZENGİN

TUNCELİ – 2023

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**MUNZUR ÜNİVERSİTESİ HİZMET BİNALARININ GÜÇ KALİTESİ
YÖNÜNDEN İNCELENMESİ**

Gürkan TAM
(220033111)

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Bilgin ZENGİN

TUNCELİ – 2023

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**MUNZUR ÜNİVERSİTESİ HİZMET BİNALARININ GÜÇ KALİTESİ
YÖNÜNDEN İNCELENMESİ**

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

Bu tez 23/06/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza:.....

Doç. Dr. Özal YILDIRIM
(Munzur Üniversitesi)

BAŞKAN

İmza:.....

Dr. Öğr. Üyesi Bilgin
ZENGİN
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

İmza:.....

Doç. Dr. Düzgün AKMAZ
(Munzur Üniversitesi)

ÜYE

Bu tez, Enstitümüz Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda hazırlanmıştır.

Doç. Dr. Murat KORUNUR
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

NOT: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı “Fikir ve Sanat Eserleri Kanunu” ndaki hükümlere tabidir.

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi ve hiçbir şekilde “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Gürkan TAM

Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Bilgin ZENGİN

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimim süresince bilgi ve deneyimlerini hiçbir zaman benden esirgemeyen, her türlü yardım ve özveriye gösteren danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Bilgin ZENGİN'e, tez çalışmasına yapmış olduğu değerli yorumları, görüşleri ve katkılarından dolayı Prof. Dr. Sabit MENTEŞE hocamıza, güç kalitesi analizörünün kullanımı ve bağlantısı konusunda yardımlarından dolayı Munzur Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığında Elektrik-Elektronik Mühendisi olarak görev yapan Ali Haydar SEÇGİN'e, yaşamımın ve öğrenim hayatımın tüm aşamalarında her türlü maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen çok değerli aileme teşekkür ederim.

Gürkan TAM
TUNCELİ-2023



İÇİNDEKİLER

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	I
TEŞEKKÜR	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİLLER LİSTESİ	V
TABLolar LİSTESİ	XI
ÇİZELGELER LİSTESİ	XII
SEMBOLLER LİSTESİ	XIII
KISALTMALAR LİSTESİ	XIV
ÖZET	XV
ABSTRACT	XVI
1.GİRİŞ.....	1
1.1.Kuramsal Çerçeve.....	2
1.1.1. Güç kalitesi ve problemleri.....	2
1.1.1.1. Gerilim düşmesi.....	3
1.1.1.2. Gerilim yükselmesi.....	4
1.1.1.3. Gerilim dengesizliği	4
1.1.1.4. Frekans sapması.....	5
1.1.1.5. Dalga şekli bozuklukları.....	6
1.1.1.6. Fliker şiddeti	6
1.1.1.7. Transientler.....	7
1.2. Reaktif Güç Sistemi.....	7
1.3. Güç Kompanzasyonu.....	9
1.3.1. Bireysel kompanzasyon sistemi.....	9
1.3.2. Grup kompanzasyon sistemi.....	10
1.3.3. Merkezi kompanzasyon sistemi.....	11
1.3.4. Reaktif güç kompanzasyonunun yararları	11
1.3.5. Reaktif güç hesabı	12
1.3.5.1. Aktif gücün sabit olması durumu	12
1.3.5.2. k faktörü vasıtasıyla güç faktörünün yükseltilmesi	14
1.4. Harmonikler.....	14
1.4.1. Harmonik kaynaklar	16
1.4.2. Akım harmonikleri ile gerilim harmonikleri arasındaki ilişki.....	17
1.4.3. Harmonik büyüklükler.....	17
1.4.3.1. Toplam harmonik distorsiyonu (THD).....	17
1.4.3.2. Toplam talep bozulması.....	18
1.4.3.3. Harmonik faktörü (HF).....	18
1.4.4. Harmonik filtreler	19
1.4.4.1. Aktif filtre	20
1.4.4.2. Pasif filtre	20
1.5. Reaktif Güç Sınır Değerleri.....	20
1.6. Harmonik ve Gerilim Kalitesi Standartları.....	21
1.6.1. IEEE 519-2022 standardı.....	21
1.6.2. EN 50160 avrupa güç kalitesi standardı	22
1.7. Literatür Taraması	23
2. MATERYAL VE METOT	28
2.1. Verilerin Toplanması.....	28
3. BULGULAR VE TARTIŞMA	34

3.1. Güç Kalitesi Ölçümleri ve Sonuçları.....	34
3.1.1. Gerilim kalitesi	34
3.1.1.1. Gerilim etkin değerindeki değişimler	34
3.1.1.1.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası	35
3.1.1.1.2. İdari birimler hizmet binası	38
3.1.1.1.3. Isı merkezi hizmet binası.....	41
3.1.1.2. Besleme gerilimi dengesizliğindeki değişimler.....	45
3.1.1.2.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası	45
3.1.1.2.2. İdari birimler hizmet binası	48
3.1.1.2.3. Isı merkezi hizmet binası.....	51
3.1.1.3. Frekans değerindeki değişimler.....	54
3.1.1.3.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası	54
3.1.1.3.2. İdari birimler hizmet binası	57
3.1.1.3.3. Isı merkezi hizmet binası.....	60
3.1.1.4. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi.....	63
3.1.1.4.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası	64
3.1.1.4.2. İdari birimler hizmet binası	67
3.1.1.4.3. Isı merkezi hizmet binası.....	70
3.1.1.5. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri.....	74
3.1.1.5.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası	74
3.1.1.5.2. İdari birimler hizmet binası	79
3.1.1.5.3. Isı merkezi hizmet binası.....	84
3.1.2. Akım kalitesi	89
3.1.2.1. Akımın etkin değerindeki değişimler	89
3.1.2.1.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası	89
3.1.2.1.2. İdari birimler hizmet binası	93
3.1.2.1.3. Isı merkezi hizmet binası.....	96
3.1.2.2. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi	99
3.1.2.2.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası	100
3.1.2.2.2. İdari birimler hizmet binası	103
3.1.2.2.3. Isı merkezi hizmet binası.....	106
3.1.2.3. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri.....	110
3.1.2.3.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası	110
3.1.2.3.2. İdari birimler hizmet binası	115
3.1.2.3.3. Isı merkezi hizmet binası.....	120
3.1.3. Güç kalitesi	125
3.1.3.1. Aktif gücün etkin değerindeki değişimler	125
3.1.3.1.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası	125
3.1.3.1.2. İdari birimler hizmet binası	129
3.1.3.1.3. Isı merkezi hizmet binası.....	133
3.1.3.2. Güç faktörü değerindeki değişimler	137
3.1.3.2.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası	137
3.1.3.2.2. İdari birimler hizmet binası	141
3.1.3.2.3. Isı merkezi hizmet binası.....	145
3.1.3.2.4. Merkezi kompanzasyon sistemi.....	148
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	152
5. KAYNAKLAR.....	155
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1. Gerilim düşmesi için sinyal örneği	3
Şekil 1.2. Gerilim yükselmesi için sinyal örneği.....	4
Şekil 1.3. Dalga şekli bozukluğu.....	6
Şekil 1.4. Güç üçgeni	8
Şekil 1.5. Bireysel kompanzasyon sistemi	10
Şekil 1.6. Grup kompanzasyon sistemi	10
Şekil 1.7. Merkezi kompanzasyon sistemi	11
Şekil 1.8. Aktif gücün sabit olma durumu	12
Şekil 1.9.a. Doğrusal yük dalga formu.....	15
Şekil 1.9.b. Doğrusal olmayan yük dalga formu.....	15
Şekil 1.10. Harmonik içeren sistemin dalga formu	15
Şekil 1.11. Pasif ve aktif filtre şematik gösterimi	19
Şekil 2.1. Munzur Üniversitesi enerji dağıtım hattı	30
Şekil 2.2. Hioki 3196 güç kalitesi analizörü.	31
Şekil 2.3.a. Akım klampı	31
Şekil 2.3.b. Gerilim ve nötr prob klipsi.....	31
Şekil 2.4.a. Bağlantı şeması	32
Şekil 2.4.b. Ana giriş panosuna bağlantı.....	32
Şekil 2.5. Bilgisayara aktarılan verilerden herhangi birinin Hioki 9624-50 PQA–Hiview Pro programı ekranındaki görüntüsü	33
Şekil 3.1. Ar-Ge laboratuvarı gerilim etkin değerinin değişimi (1. gün)	35
Şekil 3.2. Ar-Ge laboratuvarı gerilim etkin değerinin değişimi (2. gün)	35
Şekil 3.3. Ar-Ge laboratuvarı gerilim etkin değerinin değişimi (3. gün)	36
Şekil 3.4. Ar-Ge laboratuvarı gerilim etkin değerinin değişimi (4. gün)	36
Şekil 3.5. Ar-Ge laboratuvarı gerilim etkin değerinin değişimi (5. gün)	36
Şekil 3.6. Ar-Ge laboratuvarı gerilim etkin değerinin değişimi (6. gün)	37
Şekil 3.7. Ar-Ge laboratuvarı gerilim etkin değerinin değişimi (7. gün)	37
Şekil 3.8. Ar-Ge laboratuvarı gerilim etkin değerinin 7 günlük değişimi	37
Şekil 3.9. İdari birimler gerilim etkin değerinin değişimi (1. gün)	38
Şekil 3.10. İdari birimler gerilim etkin değerinin değişimi (2. gün)	39
Şekil 3.11. İdari birimler gerilim etkin değerinin değişimi (3. gün)	39
Şekil 3.12. İdari birimler gerilim etkin değerinin değişimi (4. gün)	39
Şekil 3.13. İdari birimler gerilim etkin değerinin değişimi (5. gün)	40
Şekil 3.14. İdari birimler gerilim etkin değerinin değişimi (6. gün)	40
Şekil 3.15. İdari birimler gerilim etkin değerinin değişimi (7. gün)	40
Şekil 3.16. İdari birimler gerilim etkin değerinin 7 günlük değişimi.....	41
Şekil 3.17. Isı merkezi gerilim etkin değerinin değişimi (1. gün).....	42
Şekil 3.18. Isı merkezi gerilim etkin değerinin değişimi (2. gün).....	42
Şekil 3.19. Isı merkezi gerilim etkin değerinin değişimi (3. gün).....	42
Şekil 3.20. Isı merkezi gerilim etkin değerinin değişimi (4. gün).....	43
Şekil 3.21. Isı merkezi gerilim etkin değerinin değişimi (5. gün).....	43
Şekil 3.22. Isı merkezi gerilim etkin değerinin değişimi (6. gün).....	43
Şekil 3.23. Isı merkezi gerilim etkin değerinin değişimi (7. gün).....	44
Şekil 3.24. Isı merkezi gerilim etkin değerinin 7 günlük değişimi	44
Şekil 3.25. Ar-Ge laboratuvarı gerilim dengesizliği değerinin değişimi (1. gün).....	45
Şekil 3.26. Ar-Ge laboratuvarı gerilim dengesizliği değerinin değişimi (2. gün).....	46
Şekil 3.27. Ar-Ge laboratuvarı gerilim dengesizliği değerinin değişimi (3. gün).....	46

Şekil 3.28. Ar-Ge laboratuvarı gerilim dengesizliği değerinin değişimi (4. gün).....	46
Şekil 3.29. Ar-Ge laboratuvarı gerilim dengesizliği değerinin değişimi (5. gün).....	47
Şekil 3.30. Ar-Ge laboratuvarı gerilim dengesizliği değerinin değişimi (6. gün).....	47
Şekil 3.31. Ar-Ge laboratuvarı gerilim dengesizliği değerinin değişimi (7. gün).....	47
Şekil 3.32. Ar-Ge laboratuvarı gerilim dengesizliği değerinin 7 günlük değişimi	48
Şekil 3.33. İdari birimler gerilim dengesizliği değerinin değişimi (1. gün)	48
Şekil 3.34. İdari birimler gerilim dengesizliği değerinin değişimi (2. gün).....	49
Şekil 3.35. İdari birimler gerilim dengesizliği değerinin değişimi (3. gün).....	49
Şekil 3.36. İdari birimler gerilim dengesizliği değerinin değişimi (4. gün).....	49
Şekil 3.37. İdari birimler gerilim dengesizliği değerinin değişimi (5. gün).....	50
Şekil 3.38. İdari birimler gerilim dengesizliği değerinin değişimi (6. gün).....	50
Şekil 3.39. İdari birimler gerilim dengesizliği değerinin değişimi (7. gün).....	50
Şekil 3.40. İdari birimler gerilim dengesizliği değerinin 7 günlük değişimi	51
Şekil 3.41. Isı merkezi gerilim dengesizliği değerinin değişimi (1. gün)	51
Şekil 3.42. Isı merkezi gerilim dengesizliği değerinin değişimi (2. gün)	52
Şekil 3.43. Isı merkezi gerilim dengesizliği değerinin değişimi (3. gün)	52
Şekil 3.44. Isı merkezi gerilim dengesizliği değerinin değişimi (4. gün)	52
Şekil 3.45. Isı merkezi gerilim dengesizliği değerinin değişimi (5. gün)	53
Şekil 3.46. Isı merkezi gerilim dengesizliği değerinin değişimi (6. gün)	53
Şekil 3.47. Isı merkezi gerilim dengesizliği değerinin değişimi (7. gün)	53
Şekil 3.48. Isı merkezi gerilim dengesizliği değerinin 7 günlük değişimi	54
Şekil 3.49. Ar-Ge laboratuvarı frekans değerinin değişimi (1. gün).....	55
Şekil 3.50. Ar-Ge laboratuvarı frekans değerinin değişimi (2. gün).....	55
Şekil 3.51. Ar-Ge laboratuvarı frekans değerinin değişimi (3. gün).....	55
Şekil 3.52. Ar-Ge laboratuvarı frekans değerinin değişimi (4. gün).....	56
Şekil 3.53. Ar-Ge laboratuvarı frekans değerinin değişimi (5. gün).....	56
Şekil 3.54. Ar-Ge laboratuvarı frekans değerinin değişimi (6. gün).....	56
Şekil 3.55. Ar-Ge laboratuvarı frekans değerinin değişimi (7. gün).....	57
Şekil 3.56. Ar-Ge laboratuvarı frekans değerinin 7 günlük değişimi	57
Şekil 3.57. İdari birimler frekans değerinin değişimi (1. gün).....	58
Şekil 3.58. İdari birimler frekans değerinin değişimi (2. gün).....	58
Şekil 3.59. İdari birimler frekans değerinin değişimi (3. gün).....	58
Şekil 3.60. İdari birimler frekans değerinin değişimi (4. gün).....	59
Şekil 3.61. İdari birimler frekans değerinin değişimi (5. gün).....	59
Şekil 3.62. İdari birimler frekans değerinin değişimi (6. gün).....	59
Şekil 3.63. İdari birimler frekans değerinin değişimi (7. gün).....	60
Şekil 3.64. İdari birimler frekans değerinin 7 günlük değişimi.....	60
Şekil 3.65. Isı merkezi frekans değerinin değişimi (1. gün)	61
Şekil 3.66. Isı merkezi frekans değerinin değişimi (2. gün)	61
Şekil 3.67. Isı merkezi frekans değerinin değişimi (3. gün)	61
Şekil 3.68. Isı merkezi frekans değerinin değişimi (4. gün)	62
Şekil 3.69. Isı merkezi frekans değerinin değişimi (5. gün)	62
Şekil 3.70. Isı merkezi frekans değerinin değişimi (6. gün)	62
Şekil 3.71. Isı merkezi frekans değerinin değişimi (7. gün)	63
Şekil 3.72. Isı merkezi frekans değerinin 7 günlük değişimi	63
Şekil 3.73. Ar-Ge laboratuvarı THD_V değişimi (1. gün)	64
Şekil 3.74. Ar-Ge laboratuvarı THD_V değişimi (2. gün)	64
Şekil 3.75. Ar-Ge laboratuvarı THD_V değişimi (3. gün)	65
Şekil 3.76. Ar-Ge laboratuvarı THD_V değişimi (4. gün)	65

Şekil 3.77. Ar-Ge laboratuvarı THD _V değişimi (5. gün)	65
Şekil 3.78. Ar-Ge laboratuvarı THD _V değişimi (6. gün)	66
Şekil 3.79. Ar-Ge laboratuvarı THD _V değişimi (7. gün)	66
Şekil 3.80. Ar-Ge laboratuvarı THD _V 7 günlük değişimi	66
Şekil 3.81. İdari birimler THD _V değişimi (1. gün)	67
Şekil 3.82. İdari birimler THD _V değişimi (2. gün)	68
Şekil 3.83. İdari birimler THD _V değişimi (3. gün)	68
Şekil 3.84. İdari birimler THD _V değişimi (4. gün)	68
Şekil 3.85. İdari birimler THD _V değişimi (5. gün)	69
Şekil 3.86. İdari birimler THD _V değişimi (6. gün)	69
Şekil 3.87. İdari birimler THD _V değişimi (7. gün)	69
Şekil 3.88. İdari birimler THD _V 7 günlük değişimi	70
Şekil 3.89. Isı merkezi THD _V değişimi (1. gün)	71
Şekil 3.90. Isı merkezi THD _V değişimi (2. gün)	71
Şekil 3.91. Isı merkezi THD _V değişimi (3. gün)	71
Şekil 3.92. Isı merkezi THD _V değişimi (4. gün)	72
Şekil 3.93. Isı merkezi THD _V değişimi (5. gün)	72
Şekil 3.94. Isı merkezi THD _V değişimi (6. gün)	72
Şekil 3.95. Isı merkezi THD _V değişimi (7. gün)	73
Şekil 3.96. Isı merkezi THD _V 7 günlük değişimi	73
Şekil 3.97. Ar-Ge laboratuvarı gerilim harmonik derecelerinin ort. değeri (1. gün)	74
Şekil 3.98. Ar-Ge laboratuvarı gerilim harmonik derecelerinin ort. değeri (2. gün)	75
Şekil 3.99. Ar-Ge laboratuvarı gerilim harmonik derecelerinin ort. değeri (3. gün)	75
Şekil 3.100. Ar-Ge laboratuvarı gerilim harmonik derecelerinin ort. değeri (4. gün)	75
Şekil 3.101. Ar-Ge laboratuvarı gerilim harmonik derecelerinin ort. değeri (5. gün)	76
Şekil 3.102. Ar-Ge laboratuvarı gerilim harmonik derecelerinin ort. değeri (6. gün)	76
Şekil 3.103. Ar-Ge laboratuvarı gerilim harmonik derecelerinin ort. değeri (7. gün)	76
Şekil 3.104. Ar-Ge laboratuvarı gerilim harmonik derecelerinin 7 günlük ort. değeri	77
Şekil 3.105. İdari birimler gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (1. gün)	79
Şekil 3.106. İdari birimler gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (2. gün)	80
Şekil 3.107. İdari birimler gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (3. gün)	80
Şekil 3.108. İdari birimler gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (4. gün)	80
Şekil 3.109. İdari birimler gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (5. gün)	81
Şekil 3.110. İdari birimler gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (6. gün)	81
Şekil 3.111. İdari birimler gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (7. gün)	81
Şekil 3.112. İdari birimler gerilim harmonik derecelerinin 7 günlük ortalama değeri	82
Şekil 3.113. Isı merkezi gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (1. gün)	84
Şekil 3.114. Isı merkezi gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (2. gün)	85
Şekil 3.115. Isı merkezi gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (3. gün)	85
Şekil 3.116. Isı merkezi gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (4. gün)	85
Şekil 3.117. Isı merkezi gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (5. gün)	86
Şekil 3.118. Isı merkezi gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (6. gün)	86
Şekil 3.119. Isı merkezi gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (7. gün)	86
Şekil 3.120. Isı merkezi gerilim harmonik derecelerinin 7 günlük ortalama değeri	87
Şekil 3.121. Ar-Ge laboratuvarı akımın etkin değerinin değişimi (1. gün)	90
Şekil 3.122. Ar-Ge laboratuvarı akımın etkin değerinin değişimi (2. gün)	90
Şekil 3.123. Ar-Ge laboratuvarı akımın etkin değerinin değişimi (3. gün)	90
Şekil 3.124. Ar-Ge laboratuvarı akımın etkin değerinin değişimi (4. gün)	91
Şekil 3.125. Ar-Ge laboratuvarı akımın etkin değerinin değişimi (5. gün)	91

Şekil 3.126. Ar-Ge laboratuvarı akımının etkin değerinin değişimi (6. gün).....	91
Şekil 3.127. Ar-Ge laboratuvarı akımının etkin değerinin değişimi (7. gün).....	92
Şekil 3.128. Ar-Ge laboratuvarı akımının etkin değerinin 7 günlük değişimi	92
Şekil 3.129. İdari birimler akımının etkin değerinin değişimi (1. gün).....	93
Şekil 3.130. İdari birimler akımının etkin değerinin değişimi (2. gün).....	93
Şekil 3.131. İdari birimler akımının etkin değerinin değişimi (3. gün).....	94
Şekil 3.132. İdari birimler akımının etkin değerinin değişimi (4. gün).....	94
Şekil 3.133. İdari birimler akımının etkin değerinin değişimi (5. gün).....	94
Şekil 3.134. İdari birimler akımının etkin değerinin değişimi (6. gün).....	95
Şekil 3.135. İdari birimler akımının etkin değerinin değişimi (7. gün).....	95
Şekil 3.136. İdari birimler akımının etkin değerinin 7 günlük değişimi	95
Şekil 3.137. Isı merkezi akımının etkin değerinin değişimi (1. gün)	96
Şekil 3.138. Isı merkezi akımının etkin değerinin değişimi (2. gün)	97
Şekil 3.139. Isı merkezi akımının etkin değerinin değişimi (3. gün)	97
Şekil 3.140. Isı merkezi akımının etkin değerinin değişimi (4. gün)	97
Şekil 3.141. Isı merkezi akımının etkin değerinin değişimi (5. gün)	98
Şekil 3.142. Isı merkezi akımının etkin değerinin değişimi (6. gün)	98
Şekil 3.143. Isı merkezi akımının etkin değerinin değişimi (7. gün)	98
Şekil 3.144. Isı merkezi akımının etkin değerinin 7 günlük değişimi.....	99
Şekil 3.145. Ar-Ge laboratuvarı THD_I değişimi (1. gün)	100
Şekil 3.146. Ar-Ge laboratuvarı THD_I değişimi (2. gün)	100
Şekil 3.147. Ar-Ge laboratuvarı THD_I değişimi (3. gün)	101
Şekil 3.148. Ar-Ge laboratuvarı THD_I değişimi (4. gün)	101
Şekil 3.149. Ar-Ge laboratuvarı THD_I değişimi (5. gün)	101
Şekil 3.150. Ar-Ge laboratuvarı THD_I değişimi (6. gün)	102
Şekil 3.151. Ar-Ge laboratuvarı THD_I değişimi (7. gün)	102
Şekil 3.152. Ar-Ge laboratuvarı THD_I 7 günlük değişimi.....	102
Şekil 3.153. İdari birimler THD_I değişimi (1. gün).....	103
Şekil 3.154. İdari birimler THD_I değişimi (2. gün).....	104
Şekil 3.155. İdari birimler THD_I değişimi (3. gün).....	104
Şekil 3.156. İdari birimler THD_I değişimi (4. gün).....	104
Şekil 3.157. İdari birimler THD_I değişimi (5. gün).....	105
Şekil 3.158. İdari birimler THD_I değişimi (6. gün).....	105
Şekil 3.159. İdari birimler THD_I değişimi (7. gün).....	105
Şekil 3.160. İdari birimler THD_I 7 günlük değişimi	106
Şekil 3.161. Isı merkezi THD_I değişimi (1. gün)	107
Şekil 3.162. Isı merkezi THD_I değişimi (2. gün)	107
Şekil 3.163. Isı merkezi THD_I değişimi (3. gün)	107
Şekil 3.164. Isı merkezi THD_I değişimi (4. gün)	108
Şekil 3.165. Isı merkezi THD_I değişimi (5. gün)	108
Şekil 3.166. Isı merkezi THD_I değişimi (6. gün)	108
Şekil 3.167. Isı merkezi THD_I değişimi (7. gün)	109
Şekil 3.168. Isı merkezi THD_I 7 günlük değişimi.....	109
Şekil 3.169. Ar-Ge laboratuvarı akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (1. gün) .	110
Şekil 3.170. Ar-Ge laboratuvarı akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (2. gün) .	111
Şekil 3.171. Ar-Ge laboratuvarı akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (3. gün) .	111
Şekil 3.172. Ar-Ge laboratuvarı akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (4. gün) .	111
Şekil 3.173. Ar-Ge laboratuvarı akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (5. gün) .	112
Şekil 3.174. Ar-Ge laboratuvarı akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (6. gün) .	112

Şekil 3.175. Ar-Ge laboratuvarı akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (7. gün) .	112
Şekil 3.176. Ar-Ge laboratuvarı akım harmonik derecelerinin 7 günlük ort. değeri	113
Şekil 3.177. İdari birimler akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (1. gün)	115
Şekil 3.178. İdari birimler akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (2. gün)	116
Şekil 3.179. İdari birimler akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (3. gün)	116
Şekil 3.180. İdari birimler akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (4. gün)	116
Şekil 3.181. İdari birimler akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (5. gün)	117
Şekil 3.182. İdari birimler akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (6. gün)	117
Şekil 3.183. İdari birimler akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (7. gün)	117
Şekil 3.184. İdari birimler akım harmonik derecelerinin 7 günlük ortalama değeri	118
Şekil 3.185. Isı merkezi akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (1. gün).....	120
Şekil 3.186. Isı merkezi akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (2. gün).....	121
Şekil 3.187. Isı merkezi akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (3. gün).....	121
Şekil 3.188. Isı merkezi akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (4. gün).....	121
Şekil 3.189. Isı merkezi akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (5. gün).....	122
Şekil 3.190. Isı merkezi akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (6. gün).....	122
Şekil 3.191. Isı merkezi akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (7. gün).....	122
Şekil 3.192. Isı merkezi akım harmonik derecelerinin 7 günlük ortalama değeri.....	123
Şekil 3.193. Ar-Ge laboratuvarı aktif gücün etkin değerinin değişimi (1. gün).....	126
Şekil 3.194. Ar-Ge laboratuvarı aktif gücün etkin değerinin değişimi (2. gün).....	126
Şekil 3.195. Ar-Ge laboratuvarı aktif gücün etkin değerinin değişimi (3. gün).....	127
Şekil 3.196. Ar-Ge laboratuvarı aktif gücün etkin değerinin değişimi (4. gün).....	127
Şekil 3.197. Ar-Ge laboratuvarı aktif gücün etkin değerinin değişimi (5. gün).....	127
Şekil 3.198. Ar-Ge laboratuvarı aktif gücün etkin değerinin değişimi (6. gün).....	128
Şekil 3.199. Ar-Ge laboratuvarı aktif gücün etkin değerinin değişimi (7. gün).....	128
Şekil 3.200. Ar-Ge laboratuvarı aktif gücün etkin değerinin 7 günlük değişimi	128
Şekil 3.201. İdari birimler aktif gücün etkin değerinin değişimi (1. gün).....	130
Şekil 3.202. İdari birimler aktif gücün etkin değerinin değişimi (2. gün).....	130
Şekil 3.203. İdari birimler aktif gücün etkin değerinin değişimi (3. gün).....	131
Şekil 3.204. İdari birimler aktif gücün etkin değerinin değişimi (4. gün).....	131
Şekil 3.205. İdari birimler aktif gücün etkin değerinin değişimi (5. gün).....	131
Şekil 3.206. İdari birimler aktif gücün etkin değerinin değişimi (6. gün)	132
Şekil 3.207. İdari birimler aktif gücün etkin değerinin değişimi (7. gün).....	132
Şekil 3.208. İdari birimler aktif gücün etkin değerinin 7 günlük değişimi	132
Şekil 3.209. Isı merkezi aktif gücün etkin değerinin değişimi (1. gün)	134
Şekil 3.210. Isı merkezi aktif gücün etkin değerinin değişimi (2. gün)	134
Şekil 3.211. Isı merkezi aktif gücün etkin değerinin değişimi (3. gün)	134
Şekil 3.212. Isı merkezi aktif gücün etkin değerinin değişimi (4. gün)	135
Şekil 3.213. Isı merkezi aktif gücün etkin değerinin değişimi (5. gün)	135
Şekil 3.214. Isı merkezi aktif gücün etkin değerinin değişimi (6. gün)	135
Şekil 3.215. Isı merkezi aktif gücün etkin değerinin değişimi (7. gün)	136
Şekil 3.216. Isı merkezi aktif gücün etkin değerinin 7 günlük değişimi.....	136
Şekil 3.217. Ar-Ge laboratuvarı güç faktörü değerinin değişimi (1. gün)	138
Şekil 3.218. Ar-Ge laboratuvarı güç faktörü değerinin değişimi (2. gün)	138
Şekil 3.219. Ar-Ge laboratuvarı güç faktörü değerinin değişimi (3. gün)	139
Şekil 3.220. Ar-Ge laboratuvarı güç faktörü değerinin değişimi (4. gün)	139
Şekil 3.221. Ar-Ge laboratuvarı güç faktörü değerinin değişimi (5. gün)	139
Şekil 3.222. Ar-Ge laboratuvarı güç faktörü değerinin değişimi (6. gün)	140
Şekil 3.223. Ar-Ge laboratuvarı güç faktörü değerinin değişimi (7. gün)	140

Şekil 3.224. Ar-Ge laboratuvarı güç faktörü değerinin 7 günlük değişimi.....	140
Şekil 3.225. İdari birimler güç faktörü değerinin değişimi (1. gün)	142
Şekil 3.226. İdari birimler güç faktörü değerinin değişimi (2. gün)	142
Şekil 3.227. İdari birimler güç faktörü değerinin değişimi (3. gün)	143
Şekil 3.228. İdari birimler güç faktörü değerinin değişimi (4. gün)	143
Şekil 3.229. İdari birimler güç faktörü değerinin değişimi (5. gün)	143
Şekil 3.230. İdari birimler güç faktörü değerinin değişimi (6. gün)	144
Şekil 3.231. İdari birimler güç faktörü değerinin değişimi (7. gün)	144
Şekil 3.232. İdari birimler güç faktörü değerinin 7 günlük değişimi.....	144
Şekil 3.233. İS1 merkezi güç faktörü değerinin değişimi (1. gün)	145
Şekil 3.234. İS1 merkezi güç faktörü değerinin değişimi (2. gün)	146
Şekil 3.235. İS1 merkezi güç faktörü değerinin değişimi (3. gün)	146
Şekil 3.236. İS1 merkezi güç faktörü değerinin değişimi (4. gün)	146
Şekil 3.237. İS1 merkezi güç faktörü değerinin değişimi (5. gün)	147
Şekil 3.238. İS1 merkezi güç faktörü değerinin değişimi (6. gün).....	147
Şekil 3.239. İS1 merkezi güç faktörü değerinin değişimi (7. gün).....	147
Şekil 3.240. İS1 merkezi güç faktörü değerinin 7 günlük değişimi.....	148
Şekil 3.241. Merkezi kompanzasyon sistemi güç faktörü değerinin 7 günlük değişimi...	149
Şekil 3.242. Merkezi kompanzasyon sistemi reaktif güç / aktif güç değerinin 7 günlük değişimi	149

TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 1.1. Harmonik dereceler ve frekansları	16
Tablo 1.2. Gerilim için harmonik sınır değerleri	21
Tablo 1.3. Akım için harmonik sınır değerleri	22
Tablo 1.4. EN 50160 standardına göre gerilim karakteristiği ile ilgili tanımlar	23
Tablo 2.1. Ölçümü yapılacak hizmet binalarının seçimi	29
Tablo 2.2. Hizmet binalarının teçhizatlarının güç ve kapasiteleri	29
Tablo 3.1. Hizmet binaları için gerilim dengesizliği ve frekans parametrelerinin min., mak. ve ort. değeri	150
Tablo 3.2. Her bir faz için hizmet binalarının güç kalitesi parametrelerinin min., mak. ve ort. değeri	151



ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 1.1. İstenilen $\cos \Phi$ değeri için k faktörü değerleri	14
--	----



SEMBOLLER LİSTESİ

S	: Görünür güç
P	: Aktif güç
Q	: Reaktif güç
R	: Direnç
L	: Bobin
C	: Kondansatör
f	: Frekans
V	: Gerilim
I	: Akım



KISALTMALAR LİSTESİ

EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğru Akım
IEEE	: The Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
AG	: Alçak Gerilim
OG	: Orta Gerilim
Hz	: Hertz
kV	: Kilovolt
kW	: Kilowatt
THD	: Toplam Harmonik Distorsiyon
THDV	: Gerilim İçin Toplam Harmonik Distorsiyonu
THDI	: Akım İçin Toplam Harmonik Distorsiyonu
TTB	: Toplam Talep Bozulumu
PF	: Power Factor (Güç Çarpanı)
HF	: Harmonik Faktör

ÖZET

Bu tez çalışmasında, Munzur Üniversitesi Kampüs alanında bulunan hizmet binaları güç kalitesi yönünden incelenmiştir. Çalışma kapsamında Munzur Üniversitesi kampüsünde bulunan hizmet binalarından kesintisiz güç kaynağı ve kompanzasyon sistemi bulunduran bir hizmet binası, yalnızca kompanzasyon sistemi bulunduran bir hizmet binası ve hem kesintisiz güç kaynağı hem de kompanzasyon sistemi bulundurmayan bir hizmet binası olmak üzere toplamda 3 hizmet binası seçilmiştir. Seçilen hizmet binalarının dağıtım panosuna Hioki 3196 güç kalitesi analizörü bağlanarak hizmet binalarına ait akım, gerilim, güç, frekans, güç faktörü, gerilim dengesizliği, akım ve gerilim harmonikleri ölçülmüş ve alınan veriler bilgisayar ortamına aktarılarak grafiklere dönüştürülmüştür. Gerilim kalitesi EN 50160 Avrupa Güç Kalite Standardına göre, kompanzasyon sistemi ve güç faktörü Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu tarafından belirlenen standartlara göre, akım ve gerilim harmonikleri ise IEEE 519-2022 Standardı kapsamında incelenmiştir. İncelenen hizmet binaları için elde edilen sonuçlar, seçilen hizmet binalarının tamamı için güç kalitesi parametrelerinden sadece akım harmoniği problemleri olduğunu göstermiş ve bu problemlerin giderilmesiyle ilgili çözüm önerileri tezde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Munzur Üniversitesi, akım, gerilim, güç, güç kalitesi, harmonikler

ABSTRACT

Investigation of Munzur University Service Buildings in terms of the Power Quality

In this thesis, service buildings in Munzur University campus area were investigated in terms of power quality. Three different service buildings were selected among the service buildings in the campus area within the scope of our investigation: the first one contains an uninterruptible power supply as well as compensation system, the second one contains only a compensation system, finally the third one is a service building without both an uninterruptible power supply and compensation system. Connecting the Hioki 3196 power quality analyzer to the distribution board of the selected service buildings, we first measured the corresponding current, voltage, power, frequency, power factor, voltage imbalance, current as well as voltage harmonics of the structures and then the data collected were transferred into a computer environment to convert them into graphical forms. The voltage quality was examined according to the European Power Quality Standard EN 50160, the compensation system and power factor were examined according to the standards determined by the Energy Market Regulatory Board and the current and voltage harmonics were examined within the scope of the Standard IEEE 519-2022. The data obtained for the power quality parameters for the examined service buildings showed that all of the selected structures only contain current harmonic problems. Suggestions for solutions to the related problems are presented in the thesis.

Keywords: Munzur University, current, voltage, power, power quality, harmonics

1. GİRİŞ

İnsanların günlük yaşamlarında ihtiyacı olduğu en önemli kaynaklardan biri elektrik enerjisidir. Teknolojinin gün geçtikçe ilerlemesiyle elektrik enerjisi hayatımızın olmazsa olmazı haline gelmiştir ve nüfusun artması, sanayinin gelişmesi, teknolojik cihazların gün içinde yaygın olarak kullanılması elektrik enerjisine olan talebi arttırmıştır.

Elektrik enerjisinin üretiminden, elektriği kullanan tüketiciye ulaşmasına kadar geçen süreç sırasıyla üretim, iletim ve dağıtım olmak üzere 3 aşamada gerçekleşmektedir. Hidroelektrik, güneş, rüzgar, doğalgaz ve diğer kaynaklardan enerji üretme süreci üretim aşamasını, üretilen elektrik enerjisinin, üretim santrallerinden dağıtım hatlarına sağlanması süreci iletim aşamasını ve son olarak elektrik enerjisinin son kullanıcıya ulaştırılması süreci ise dağıtım aşamasını ifade eder.

Üretilen elektrik enerjisinin son kullanıcıya ulaştırılmasında dikkat edilecek en önemli nokta üretilen enerjinin en az kayıpla, güvenli ve kaliteli şekilde dağıtımının sağlanmasıdır. Ancak üretilen elektrik enerjisinin karakteristiği ile son kullanıcıya dağıtılan elektrik enerjisi karakteristiği arasında, elektrik enerjisine olan talebin artması, elektrik enerjisine olan talepteki artışa rağmen elektrik üretim, iletim ve dağıtım altyapısının aynı hızla gelişmemesi, gelişen teknolojiyle birlikte mikroişlemci ve yarı iletken tabanlı yüklerin kullanımının yük karakteristiklerinin değişimine yol açması, değişken üretim karakteristiğine sahip güneş, rüzgar gibi yenilenebilir enerji üretim sistemlerinin elektrik şebekelerine nüfuz etmesi, elektrik enerjisinin üretiminden dağıtımına kadar kullanılan kablonun uzunluğu, kesit alanı ve malzemenin direnci ile şebekede kullanılan trafo merkezleri, dağıtım merkezleri, dağıtım transformatörleri, orta ve alçak gerilim hatlarının kullanılması gibi nedenlerden dolayı farklılıklar meydana gelebilmektedir (URL-1).

Elektrik enerjisinin karakteristiğinde değişimlerin ortaya çıkması nedeniyle güç kalitesi kavramı önem kazanmaktadır. Güç kalitesi denilince akla ilk olarak gerilim kalitesi gelmesine rağmen, daha kapsamlı ifade edilirse; elektrik güç kalitesi, son kullanıcı yüklerinin veya elektrik şebekesine bağlı ekipmanlarının önemli bir performans ve ömür kaybı yaşamadan, istenilen şekilde çalışmasını sağlayan bir dizi elektrikselsel parametreler ve limitler olarak tanımlanmaktadır (URL-1). Elektrik güç kalitesi, elektrik enerjisinin devamlılığının sağlanması, akım ve gerilim dalgalarının sinüs formunda olması, güç çarpanı diye bilinen $\cos \Phi$ değerinin 1'e yakın olması, frekansın sınır değerleri arasında kalması (Türkiye için frekans değeri 50 Hz'dir), gerilim dengesizliğinin belirlenen değeri

aşmaması, harmonikler v.b. ifadeleri kapsamaktadır. Bu bağlamda yapılan tez çalışması ile bir kamu üniversitesi olan Munzur Üniversitesi hizmet binalarının elektrik güç kalitesi yönünden durumu uluslararası standartlar ve yönetmelikler çerçevesinde belirlenmeye çalışılmıştır.

1.1. Kuramsal Çerçeve

Araştırmanın bu kısmında kuramsal çerçeveye yer verilmiştir.

1.1.1. Güç kalitesi ve problemleri

Elektrik enerjisinde güç kalitesinin önemi üzerine yapılan çalışmaların son yıllarda artış göstermesi, güç kalitesi kavramına ilişkin tanımların da artışına yol açmıştır. Özellikle üretici ve tüketici yönüyle yapılan tanımlar dikkat çekmektedir (Ekinci, 2021).

Bu tanımlardan bir tanesi üretici ve tüketici olarak iki bakış açısı üzerinden yapılan değerlendirmedir. Tüketici için güç kalitesi, şebekeye bağlanan teçhizatların sorunsuz çalışması şeklinde tanımlanırken, üretici açısından güç kalitesi, elektrik enerjisinin güvenilir şekilde tüketiciye ulaştırılması şeklinde tanımlanmıştır. Nitekim Ekinci (2021) güç kalitesini, sistemin davranışlarının farklı yönlerini değerlendirirken, temel işlevinin son tüketiciye kesintisiz, sabit şebeke frekansında ve sinüzoidal dalga formunda bir enerjinin sağlanması şeklinde tanımlamıştır. Karadeniz (2022) güç kalitesini benzer şekilde, elektrikle çalışan teçhizatların şebekeden aldığı elektrik enerjisini sağlıklı ve verimli şekilde kullanabilme imkanı şeklinde ifade etmiştir. Diğer bir ifadeyle elektrik enerjisi boyutunda güç kalitesi, elektrik enerjisinin üretiminden son tüketiciye ulaşma aşamasına kadar geçen süreçte enerjinin sürekli olması, gerilim ve akımın dalga formunun sinüzoidal olması, gerilim genliğinin ve frekansın olabildiğince belirlenen sınır değerlerinde tutulması elektrik enerjisinin sağlıklı ve verimli şekilde tüketilebilmesi için gerekli temel özelliklerdir. Güç sisteminde belirtilen şartların yerine getirilememesi durumunda o sistemde güç kalitesi sorunları ortaya çıkar. Güç kalitesi sorunları elektrik enerjisi ile çalışan teçhizatların veriminin düşmesine, hatalı çalışmasına veya arızalanmasına sebep olur (Karadeniz, 2022). Bu durum ise teçhizatların kısa ömürlü olmaları yanında nitelik bakımından düşük nitelikli bir enerji kullanımı söz konusu olarak maliyetleri yükseltir (Latran ve Teke, 2014).

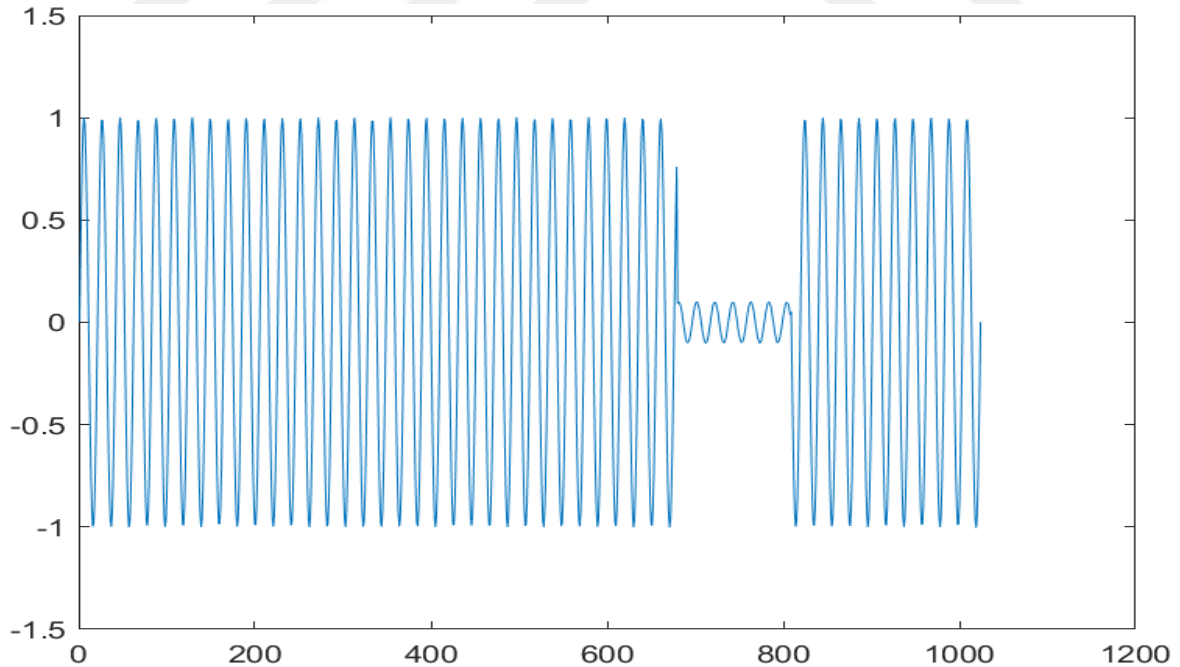
Elektrik güç kalitesi için genel bir tanım verilmek istenirse, sürekli bir enerjinin sağlanması, sağlanan enerjinin sabit değerli olması, dalga formunda değişikliğin olmaması ve elektrik enerjisini kullanan teçhizatlara zarar vermemesi şeklinde ifade edilebilir.

1.1.1.1. Gerilim düşmesi

Sistemdeki hatalardan kaynaklı ya da güçlü elektrik makinelerinin devreye girmesiyle gerilim değerinin %10 ile %90 değerleri arasında bir değere gelmesi olayına gerilim düşmesi denmektedir (El-Arini ve ark., 2006).

Gerilim düşmesinin büyüklüğü arızanın oluşum uzaklığına, şebekenin empedansına, arızanın olduğu yerdeki gerilim seviyesine, arıza anındaki sistemdeki teçhizatlara, güç sistemine kurulu kompanzasyon sisteminden kaynaklı gerilim iyileştirmesi gibi birçok faktöre bağlıdır. Gerilim düşmesinin süresi, dönen yüklerin dinamiği, sistem empedansı ve arıza giderme süresi tarafından belirlenir (Sivaraman ve Sharmeela, 2021).

Şekil 1.1’de gerilim düşmesi için sinyal örneği verilmiştir.

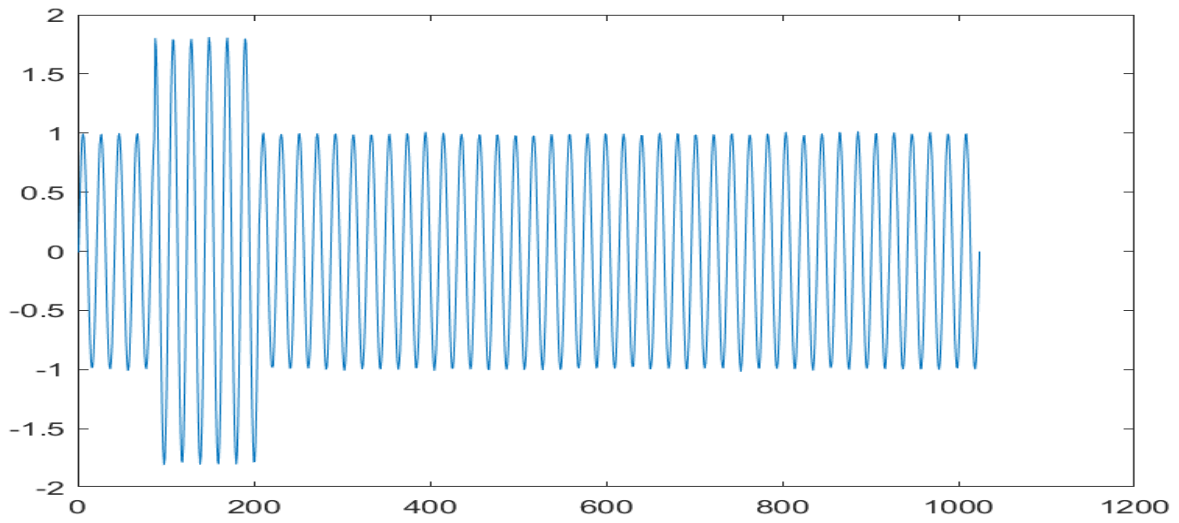


Şekil 1.1. Gerilim düşmesi için sinyal örneği (Yeşilyurt, 2021).

1.1.1.2. Gerilim yükselmesi

Sistemdeki arızalardan dolayı gerilimin tepe değerinin %110 ile %180 değerleri arasında bir değere yükselmesi olayına gerilim yükselmesi denmektedir. Gerilim yükselmesi, büyük yüklerin sistemde devre dışı bırakılması ve/veya kapasitörlerin enerjilendirilmesinden kaynaklı olabilmektedir. Gerilimin yükselmesiyle sistemde bırakacağı etki yükselmenin büyüklüğü ve oluşma süresine bağlıdır (Edomah, 2009).

Şekil 1.2’de gerilim yükselmesi için sinyal örneği verilmiştir.



Şekil 1.2. Gerilim yükselmesi için sinyal örneği (Yeşilyurt, 2021).

1.1.1.3. Gerilim dengesizliği

Üç fazlı güç sistemlerinde üretilen gerilimin dalga formu sinüzoidaldır, her fazın gerilim seviyeleri birbirine eşittir ve her faz arasında 120°'lik bir faz farkı vardır. Ancak çeşitli sebeplerden dolayı şebekede oluşan bozulmalar sonucunda fazların gerilim seviyelerinin ve fazlar arasındaki açının 120° olmaması durumunda güç sisteminde gerilim dengesizliği olarak adlandırılan güç kalitesi problemleri meydana gelebilmektedir (Jouanne ve Banerjee, 2001).

Üç fazlı şebekede gerilim dengesizliği hesabı için simetri bileşenleri kullanılır. Faz gerilimlerinin efektif değerlerinin eşit olmaması ve simetri bileşenleri içerdiğinden, gerilim dengesizliğinin derecesi negatif sıralı bileşen (V_-) ile pozitif sıralı bileşenin (V_+) oranı olarak verilir.

$$\% \text{ Gerilim Dengesizliği} = \frac{|V_-|}{|V_+|} \times 100 \quad (1.1)$$

Üç fazlı şebekede gerilim dengesizliği hesabı için yaklaşık hesap formülü de kullanılabilir. Faz gerilimi V_i , üç fazın ortalama değeri V_{ort} olmak üzere;

$$\% \text{ Gerilim Dengesizliği} = \frac{V_i - V_{ort}}{V_{ort}} \times 100 \quad (1.2)$$

TS EN 50160 standardının AG beslenme karakteristikleri başlığının beslenme gerilimi dengesizliği alt başlığında normal çalışma şartlarında bir hafta boyunca 10'ar dakikalık ölçüm aralığındaki gerilim dengesizlik değeri maksimum %2 olması gerektiği belirtilmiştir.

1.1.1.4. Frekans sapması

Güç sistemlerinde anlık frekans değeri, temel frekans değerinden sapma miktarına frekans sapması denilmektedir. Güç sisteminin frekansı üzerinde gerilim sapmasına benzer şekilde enerji üretimi-yük dengesi etkilidir. Elektrik üretimi ile yük dengesinin sabit kalmamasından dolayı sistemin frekansı azda olsa değişmektedir (Bollen, 2000).

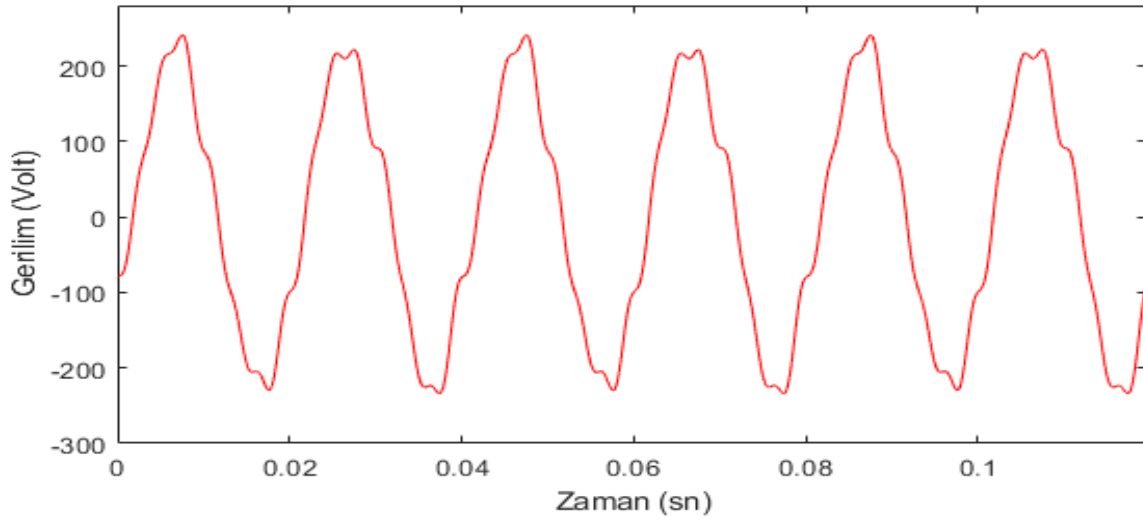
Anlık frekans f , anma frekansı f_r olmak üzere frekans sapması Denklem (1.3)'te gösterilmiştir (Elbasuony ve ark., 2018).

$$\% FS = \frac{|f - f_r|}{f} \times 100 \quad (1.3)$$

TS EN 50160 standardının Alçak Gerilim (AG) beslenme karakteristikleri başlığının frekans alt başlığında beslenme geriliminin anma frekansının 50 Hz olması ve normal çalışma şartlarında 10 saniye boyunca ölçülen temel frekansın ortalama değeri, enterkonnekte sisteme senkron bağlantılı sistemler için, bir yılın %95'inde gerilimin anma frekansının %1 eksiği veya %1 fazlası (49,5 Hz....50,5 Hz) olacak şekilde sınır değerleri arasında kalması gerektiği belirtilmiştir.

1.1.1.5. Dalga şekli bozuklukları

Dalga şekli bozukluğu, temel frekanstaki gerilim ve akımın tam sinüzoidal formdan uzaklaşması veya dalga formu üzerinde istenmeyen bozulmaların oluşmasıdır. Dalga formunun sinüzoidal formdan uzaklaşmasının nedeni nonlineer yüklerin çektiği akımın tam sinüzoidal formda olmamasından kaynaklanmaktadır. Teknolojinin gelişmesi ile modern ve hassas teçhizatların kullanımının artmasından dolayı dalga formunda yaşanan bozulmalar sistemin tümüne dolaylı yansımıştır. Şekil 1.3'te gerilim dalga şekli bozukluğuna ait bir örnek verilmiştir (Yurduseven, 2020).



Şekil 1.3. Dalga şekli bozukluğu (Yurduseven, 2020).

1.1.1.6. Fliker şiddeti

Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliğine göre fliker şiddeti, “yükteki dalgalanmadan dolayı aydınlatma armatürlerinde gözle görülebilecek kırışıma yol açan 50 Hz altındaki gerilim salınımları” şeklinde tanımlanmıştır.

Fliker şiddeti, gözle hissedilebilir olması nedeniyle diğer güç kalitesi olaylarından ayrılır. Fliker şiddetinin gözle hissedilebilir olması günlük yaşantıda insanları olumsuz etkileyerek performans düşüklüğüne, beden gücüyle çalışanların dikkatlerinin dağılmasına ve iş kazalarının meydana gelmesine sebep olabilir (Atasal, 2000).

1.1.1.7. Transientler

Gerilim seviyesinde milisaniye (ms) gibi kısa bir zaman diliminde gerçekleşen, fakat şiddeti olarak oldukça yüksek ve çok hızlı değişimlerdir. Transientler genellikle yıldırımdan, sisteme bağlı büyük yüklerden veya reaktif güç talebi fazla olan yüklerden kaynaklanmaktadır (Shin ve ark., 2006).

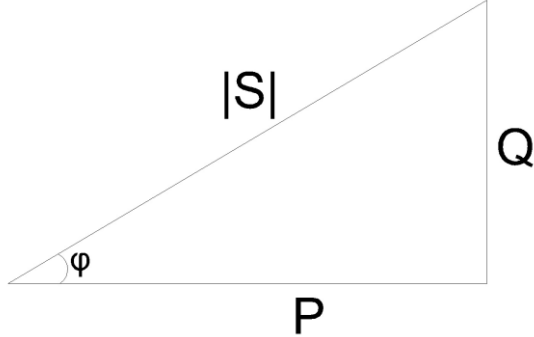
1.2. Reaktif Güç Sistemi

Elektriksel güç sistemlerinin lineer olma durumundan bağımsız olarak akım ve gerilim dalga formu arasında her zaman bir bağlantı vardır. Akım ve gerilim dalga formu arasındaki bağlantı, sisteme bağlı yükün durumuna göre değişiklik gösterir. Yüklerin durumuna göre akım ile gerilim arasındaki ilişki şöyledir. Akım ile gerilim arasında faz farkı yoksa yük devresi rezistif, gerilim akımdan önde ise yük devresi endüktif, akım gerilimden önde ise yük devresi kapasitiftir. Akım ile gerilim arasında açı farkının durumuna göre elektrik güç sisteminin yük durumunu anlamak oldukça basittir. Belirlenen açı farkına göre yükün sistemden çektiği aktif, reaktif ve görünür güçlerin hesaplanması mümkündür (Türkeri, 2018).

Herhangi elektriksel güç sisteminin gerilimi ile akımı arasında kalan açığa faz açısı denir ve Φ ile gösterilir. Faz açısının 0° olduğu sistemler rezistif veya ohmik şeklinde adlandırılır. Akım dalga formunun gerilim dalga formundan 90° geri de olduğu sistemler saf endüktif şeklinde adlandırılır. Sistemde hem direnç hem de endüktans bulunması durumu elektriksel olarak R-L karakterli olup, faz açısı 0° ile 90° arasındadır. Akım dalga formunun gerilim dalga formundan 90° ileride olduğu sistemler saf kapasitif diye adlandırılır. Sistemde hem direnç hem de kapasitans bulunması durumu elektriksel olarak R-C karakterli olup, faz açısı 0° ile 90° arasındadır. Akım ile gerilim arasında kalan açının kosinüsüne ($\cos \Phi$) güç faktörü (PF) denir (Şenol, 2019).

Elektrik enerjisi ile çalışan bir teçhizatın birim zamanda harcadığı enerji miktarına elektriksel güç denir. Alternatif akım ile çalışan sistemlerde aktif güç (P) ve reaktif güç (Q) olmak üzere iki farklı elektriksel güç olduğu için, alternatif akımda elektriksel güç görünür güç (S) ile ifade edilir. Elektrik kaynağından çekilen aktif ve reaktif gücün Şekil 1.4'te görüldüğü vektörel bileşkeleri görünür gücü verir. Aktif güç rezistif özelliğe sahip yükler olup, yapılan iş karşılığında tüketilen güçtür. Reaktif güç ise fiziksel olarak görülen bir iş

yapılmadan tüketilen güçtür. Reaktif güç, endüktif yüklü sistemlerde manyetik alanı oluşturarak devrenin uyarılmasını sağlar (Atay, 2022).



Şekil 1.4. Güç üçgeni (Atay, 2022).

Şekil 1.4'teki güç üçgeni incelendiğinde görünür güç, aktif gücün karesi ile reaktif gücün karesinin toplamalarının karekökü olarak ifade edilir. Görünür gücün birimi VA (volt-amper)'dir.

$$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (1.4)$$

Alternatif akımda güç denilince, akla yapılan iş karşılığında tüketilen ve faydalı güç olarak bilinen aktif güç gelir. Aktif güç, akım, gerilim ve akım ile gerilim arasındaki açının kosinüsü ile çarpımına eşit olup, birimi watt'tır.

$$P = V \cdot I \cdot \cos \Phi \quad (1.5)$$

Reaktif güç, kondansatör ve bobin içeren devrelerde meydana gelen faz farkından oluşan, tüketiciye kadar ulaşıp kullanılmadan sisteme iade edilen, yararlı olmayan güç olarak da bilinen mecburi güç bileşenidir. Reaktif güç, akım, gerilim ve akım ile gerilimin arasındaki açının sinüsü ile çarpımına eşit olup, birimi VAR (volt-amper-reaktif)'dir.

$$Q = V \cdot I \cdot \sin \Phi \quad (1.6)$$

1.3. Güç Kompanzasyonu

Günlük yaşamımızda elektrik enerjisinin kullanımının artmasıyla oluşan elektrik enerjisi ihtiyacı, insanların yeni enerji kaynakları oluşturarak sisteme dahil etmesinin yanında, mevcut olan enerji kaynaklarının da verimli şekilde kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Enerjinin verimli kullanılmasının yöntemlerinden biri de belli bir gücün üstünde olan yerler için yapılması zorunlu olan güç kompanzasyonlarının yapılmasıdır. Güç kompanzasyonları sisteme verilen veya sistemden çekilen reaktif güçten dolayı trafo, jeneratör ve hatların kapasitesinin artması, hat kayıpları ile gerilim düşümlerinin azalması gibi avantajlar sağlar (İlgin, 2019).

Elektrik enerjisinin üretim aşamasından tüketiciye ulaşana kadar geçen süreçte genelde alternatif akım kullanılır. Alternatif akım aktif ve reaktif akım olmak üzere ikiye ayrılır. Aktif güç aktif akım ile, reaktif güç reaktif akım ile orantılıdır. Örnek olarak aktif akım bir motorun milini döndüren aktif güç ile orantılı iken motor sargılarında manyetik alan oluşmasını sağlayan reaktif güçtür. Reaktif güç sıfırlanırsa indüksiyon prensibine göre çalışan cihazlar, indüklenme olmayacağı için çalışmayacaktır. Kompanzasyon sisteminin amacı indüklemeyi sağlayan reaktif gücü yönetmelik ve standartlarda belirtilen sınır değerlerde tutup, hem reaktif gücün sisteme olan olumsuzluklarını olabildiğince minimize etmek, hem de tüketiciyi fatura maliyetinden kurtarmaktır (Özdemir, 2011).

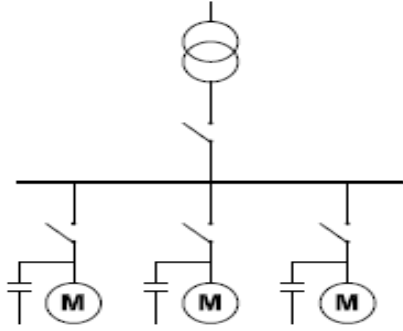
Kompanzasyon sisteminin verimli bir şekilde çalıştığını gösteren parametre güç faktörü olarak kullanılan $\cos \Phi$ değeridir. Güç faktörünün değeri 0 ile 1 arasında değişmektedir. Güç faktörünün değeri 1'e ne kadar yakınsa elektrik enerjisi o kadar verimli bir şekilde kullanılır.

Bireysel, grup ve merkezi kompanzasyon sistemi olmak üzere üç çeşit kompanzasyon sistemi vardır.

1.3.1. Bireysel kompanzasyon sistemi

Sanayi ve üretim tesisleri başta olmak üzere kullanım amacına göre farklı elektrik teçhizatları kullanılmaktadır. Sanayi ve üretim sektöründe, devreye girip çıkan ve büyük güç tüketen tekil teçhizatlar bulunması durumunda bireysel kompanzasyon sistemi uygulanmaktadır. Şekil 1.5'te tek hat şeması verilen bireysel kompanzasyon sisteminin yapıma mantığı endüktif yük çeken her bir teçhizatın (motor, trafo, balast vb.) ihtiyaç

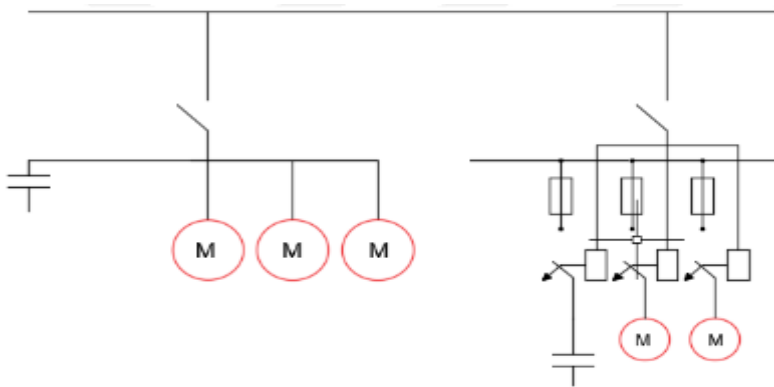
duyduğu reaktif gücü karşılayacak büyüklükte bir kondansatör teçhizatın şebeke bağlantısına montajlanıp, sisteme dahil ederek cihazla birlikte devreye girip çıkmasını sağlamaktır. Böylelikle tüm elektrik sistemine kompanzasyon sistemi kurmaktansa, sorunu reaktif güç kaynağında çözmek ideal bir yaklaşım olup, en etkili kompanzasyon yöntemidir (Olçay, 2018).



Şekil 1.5. Bireysel kompanzasyon sistemi (Aydın, 2015)

1.3.2. Grup kompanzasyon sistemi

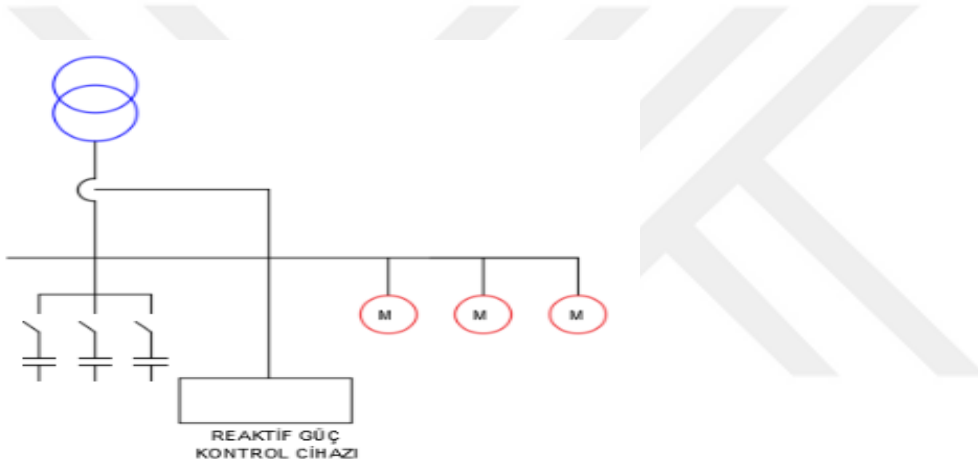
Birçok endüktif tüketici bulunduran bir tesiste, her tüketiciye ayrı ayrı kondansatör sistemi yapılmaktansa, tüm tüketicilerin ortak bir kompanzasyon tesisi tarafından kontrol edilmesine Grup Kompanzasyon Sistemi denilmektedir. Şekil 1.6’da tek hat şeması verilen bu kompanzasyon sistemi, bireysel kompanzasyon sistemi ile aynı mantıkta olup, birden fazla tüketiciye uygulanması ile farklılık gösterir. Böyle tesislerde yapılacak doğru hesaplar ve tespitler, daha pratik ve ekonomik bir çözüm sağlayacaktır (Olçay, 2018).



Şekil 1.6. Grup kompanzasyon sistemi (Bilki, 2008)

1.3.3. Merkezi kompanzasyon sistemi

Tek hat şeması Şekil 1.7’de verilen merkezi kompanzasyon sistemi, grup kompanzasyon sisteminin daha geniş ve kapsamlı halidir. Merkezi kompanzasyon sistemi farklı güç ve özellikteki yüklerin tek bir merkezden kontrolünün yapıldığı sistemdir. Sistemin kontrol ettiği yükler farklı zamanlarda devreye girip çıktığı için otomatik ayar düzeneği olan reaktif güç kontrol rölesine ihtiyaç vardır. Devrede olan yüklerin ihtiyacı olan reaktif güçlerin değişimine göre devreye alınması gereken kompanzatörlerin otomatik olarak ayarlanması sağlanır. Merkezi kompanzasyon sistemi diğer iki kompanzasyon sistemine göre daha gelişmiş bir sistemdir (Bayram, M. 2000).



Şekil 1.7. Merkezi kompanzasyon sistemi (Bilki, 2008).

1.3.4. Reaktif güç kompanzasyonunun yararları

Reaktif güç tüketen sistemlere kurulacak kompanzasyon sistemi ile hem şebeke açısından hem de tüketici açısından avantajlar sağlamaktadır. Bu avantajlar;

- Güç kalitesi parametrelerinden biri olan güç faktörü artacağı için sistemin güç kalitesi artmış olur.
- Güç kalitesi arttığı için meydana gelebilecek arıza riski azalır.
- İşletme maliyeti azalır.
- Güç faktörü arttıkça sisteme verilen reaktif güç azalacağından daha fazla aktif enerjinin üretimi, iletimi ve dağıtımı sağlanmış olur.

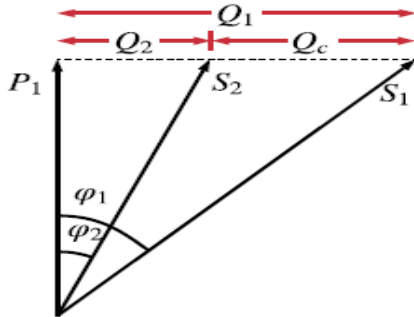
- Reaktif güç azaldıkça sisteme olan yüklenme azalacağından gerilim düşümü azalmış olur.
- Isı kayıpları azalmış olur.
- Gerilim dengesizliği azalır.
- Uluslararası standartlar ve dağıtım şirketlerinin belirlediği reaktif tüketim sınırı aşılmadığı için tüketilen elektrik enerjisinin faturalanmasında ek bir ödeme engellenmiş olur (Doğruyol, 2020).

1.3.5. Reaktif güç hesabı

Bir yüke kompanzasyon sistemi kurulurken, yapılacak reaktif güç hesabına göre sistem tasarımı yapılır.

1.3.5.1. Aktif gücün sabit olması durumu

Şekil 1.8’de aktif gücün her iki durumda da sabit kaldığı, görünür gücün azaltılmasıyla yapılan reaktif güç hesabı verilmiştir. İlk durumda $\cos \Phi_1$ güç katsayısı altında çekilen görünür gücün S_1 ’e, aktif gücün P_1 ’e, reaktif gücün Q_1 ’e eşit olduğu görülmektedir. İkinci durumda görünür güç ile aktif güç arasındaki açı azalmış ve aktif gücün sabit kalması koşulu ile $\cos \Phi_2$ güç katsayısı altında çekilen görünür güç S_2 ’ye, reaktif güç Q_2 ’ye eşit olmuştur. İkinci durumda S_2 görünür güç vektörünün, sabit P_1 aktif güç vektörüne yaklaşarak güç faktörünün arttığı, aktif ve reaktif güçlerin vektörel toplamının görünür gücü vermesi eşitliği kullanılarak reaktif gücünde azaldığı ve bu azalan miktar ihtiyaç olan reaktif güce eşittir (Atmaca, 2020).



Şekil 1.8. Aktif gücün sabit olma durumu (Atmaca, 2020).

Şekil 1.8'e göre ilk durumdaki reaktif güç, aktif güç ile ilk durumdaki faz açısının (Φ_1) tanjantıyla çarpımına eşittir.

$$Q_1 = P_1 \cdot \tan \Phi_1 \quad (1.7)$$

Şekil 1.8'e göre ikinci durumdaki reaktif güç, aktif güç ile ikinci durumdaki faz açısının (Φ_2) tanjantıyla çarpımına eşittir.

$$Q_2 = P_1 \cdot \tan \Phi_2 \quad (1.8)$$

Böylece ihtiyaç olan reaktif güç miktarı ilk durumdaki reaktif güç ile ikinci durumdaki reaktif güç arasındaki farka eşittir.

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P_1 (\tan \Phi_1 - \tan \Phi_2) \quad (1.9)$$

Burada Φ_1 ve Φ_2 değerleri;

$$\tan \Phi = \sqrt{\frac{1 - \cos^2 \Phi}{\cos^2 \Phi}} \quad (1.10)$$

bağlantısıyla hesaplanır. Denklem (1.9)'da ki tanjantların farkı;

$$\tan \Phi_1 - \tan \Phi_2 = k \quad (1.11)$$

ile ifade edilirse ve Denklem (1.9)'da yerine yazılırsa;

$$Q_c = k \cdot P_1 \quad (1.12)$$

eşitliği elde edilir (Atmaca, 2020).

1.3.5.2. k faktörü vasıtasıyla güç faktörünün yükseltilmesi

Çizelge 1.1'i kullanarak herhangi bir hesap yapmadan Denklem (1.12)'yi kullanarak gerekli olan reaktif güç gereksinimi hesaplanmış olur. Çizelge 1.1'de ilk durumda olan güç katsayısı $\cos \Phi_1$ değerini, yükseltmek istediğimiz güç katsayısı $\cos \Phi_2$ 'ye getirdiğimizde kW başına ihtiyaç olan k katsayısı bulunmuş olur. Örnek vermek gerekirse güç faktörünü 0,68'den 0,99'a yükseltmek istediğimizde k katsayısı 0,94 olmaktadır. Tesis gücü 500 kW ise ihtiyaç olan kondansatör gücü 470 kVAR olur (Atmaca, 2020).

Çizelge 1.1. İstenilen $\cos \Phi$ değeri için k faktörü değerleri (Atmaca, 2020).

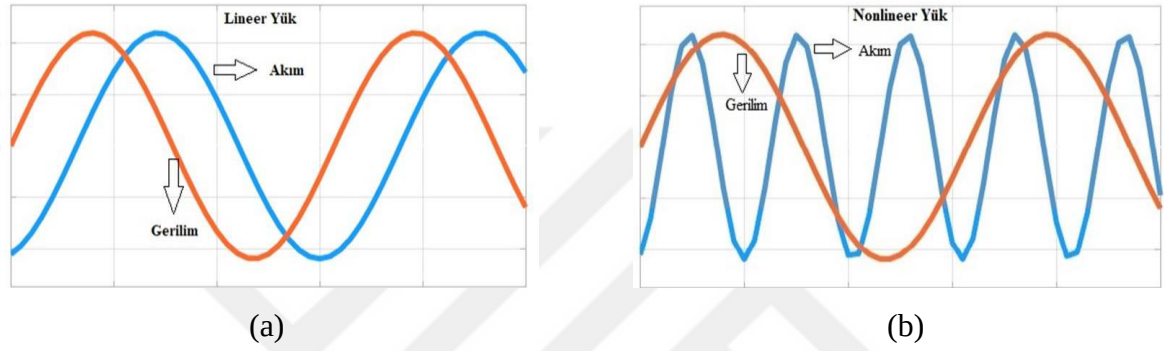
	Cosp2	0.70	0.75	0.80	0.82	0.84	0.85	0.86	0.87	0.88	0.90	0.92	0.94	0.95	0.96	0.97	0.98	0.99
	tgφ2	(1.02)	(0.88)	(0.75)	(0.70)	(0.64)	(0.62)	(0.59)	(0.57)	(0.53)	(0.48)	(0.43)	(0.36)	(0.33)	(0.29)	(0.25)	(0.20)	(0.14)
Cosp1	tgφ1																	
0.44	2.04	1.02	1.15	1.28	1.33	1.39	1.41	1.44	1.46	1.50	1.55	1.60	1.67	1.70	1.74	1.78	1.84	1.90
0.45	1.96	0.96	1.10	1.23	1.28	1.34	1.36	1.39	1.41	1.45	1.50	1.55	1.62	1.65	1.69	1.73	1.78	1.84
0.50	1.73	0.71	0.85	0.98	1.03	1.09	1.11	1.14	1.16	1.20	1.25	1.30	1.37	1.40	1.44	1.48	1.53	1.59
0.52	1.64	0.62	0.76	0.89	0.94	1.00	1.02	1.05	1.07	1.11	1.16	1.21	1.28	1.31	1.35	1.39	1.44	1.50
0.54	1.56	0.54	0.68	0.81	0.86	0.92	0.94	0.97	0.99	1.03	1.08	1.13	1.20	1.23	1.27	1.31	1.36	1.42
0.56	1.48	0.46	0.60	0.73	0.78	0.84	0.86	0.89	0.91	0.95	1.00	1.05	1.12	1.15	1.19	1.23	1.28	1.34
0.58	1.41	0.39	0.53	0.66	0.71	0.77	0.79	0.82	0.84	0.88	0.93	0.98	1.05	1.08	1.12	1.16	1.20	1.26
0.60	1.33	0.33	0.45	0.58	0.63	0.69	0.71	0.74	0.76	0.80	0.85	0.90	0.97	1.00	1.04	1.08	1.13	1.19
0.62	1.27	0.25	0.39	0.52	0.57	0.63	0.65	0.68	0.70	0.74	0.79	0.84	0.91	0.94	0.98	1.02	1.06	1.12
0.64	1.20	0.18	0.32	0.45	0.50	0.56	0.58	0.61	0.63	0.67	0.72	0.77	0.84	0.87	0.91	0.95	1.00	1.06
0.66	1.14	0.12	0.26	0.39	0.44	0.50	0.52	0.55	0.57	0.61	0.66	0.71	0.78	0.81	0.85	0.89	0.94	1.00
0.68	1.08	0.06	0.20	0.33	0.38	0.44	0.46	0.49	0.51	0.55	0.60	0.65	0.72	0.75	0.79	0.83	0.88	0.94
0.70	1.02		0.14	0.27	0.32	0.38	0.40	0.43	0.45	0.49	0.54	0.59	0.66	0.69	0.73	0.77	0.82	0.88
0.72	0.96		0.06	0.21	0.26	0.32	0.34	0.37	0.39	0.43	0.48	0.53	0.60	0.63	0.67	0.71	0.76	0.82
0.74	0.91		0.03	0.16	0.21	0.27	0.29	0.32	0.34	0.38	0.43	0.48	0.55	0.58	0.62	0.66	0.71	0.77
0.76	0.86			0.11	0.16	0.22	0.24	0.27	0.29	0.33	0.38	0.43	0.50	0.53	0.57	0.61	0.65	0.71
0.78	0.80			0.05	0.10	0.16	0.18	0.21	0.23	0.27	0.32	0.37	0.44	0.47	0.51	0.55	0.60	0.66
0.80	0.75				0.05	0.11	0.13	0.16	0.18	0.22	0.27	0.32	0.39	0.42	0.46	0.50	0.55	0.61
0.82	0.70					0.06	0.08	0.11	0.13	0.17	0.22	0.27	0.34	0.37	0.41	0.45	0.49	0.56
0.84	0.65						0.03	0.06	0.08	0.12	0.17	0.22	0.29	0.32	0.36	0.40	0.44	0.50
0.86	0.59								0.02	0.06	0.11	0.16	0.23	0.26	0.30	0.34	0.39	0.45
0.88	0.54										0.06	0.11	0.18	0.21	0.25	0.29	0.34	0.40
0.90	0.48											0.06	0.12	0.15	0.19	0.23	0.28	0.34
0.92	0.43												0.07	0.10	0.14	0.18	0.22	0.28
0.94	0.36													0.03	0.07	0.11	0.16	0.22

1.4. Harmonikler

İdeal bir dağıtım sisteminde yük tarafından son tüketiciye sabit frekansta sabit bir gerilimin sağlanması gerekmektedir. Sistemde kullanılan yüklere göre şebekeden çekilen akımın veya okunan gerilimin dalga formuna bakılırsa saf sinüzoidal dalga olarak karşımıza çıkmayacaktır. Sinüzoidal dalga formunda meydana gelen bu saptmaların nedeni

olarak güç kalitesi problemlerinden biri olan harmonikler gösterilebilir. Farklı frekans değerinde akımlar üreten anahtarlama güç kaynakları ile gerilim çökmelerine neden olan elektrik motorları ve ark fırınları da sinüzoidal dalga formunun bozulmasına sebep olmaktadır (Bütün, 2021).

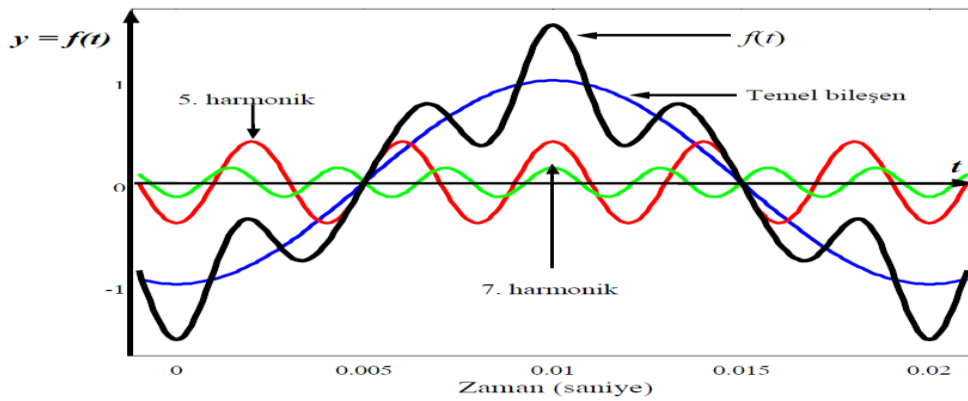
Güç sistemlerinde akım ile gerilim arasında düzensiz bir ilişki bulunan yüklere doğrusal olmayan yük denilmektedir. Gerilim ve akım dalga formları sinüzoidal değildir. Sinüzoidal olmayan bu terimler harmonik olarak isimlendirilir (Eroğlu, 2009).



Şekil 1.9. a) Doğrusal yük dalga formu b) Doğrusal olmayan yük dalga formu (Gök, 2023).

Güç sistemlerinde gerilim toleransının EN 50160 Avrupa güç standartlarına göre (-%10 +%10) değerler aralığında, sinüzoidal dalga formuna en yakın şekilde ve sabit ana şebeke frekansında olması cihazların sağlıklı ve verimli şekilde çalışması için gerekli şartlardandır. Ancak harmonikli yükler, ana şebeke frekansının katları şeklinde dalga formları oluşturmaktadır.

Şekil 1.10'da harmonik içeren sistemin dalga formu verilmiştir.



Şekil 1.10. Harmonik içeren sistemin dalga formu (Acarkan, 2006).

Çoğu zaman elektriksel yüklerin dalga formlarının pozitif ve negatif alternansta simetrik özelliklerinden dolayı, temel frekansın çift katlarındaki harmonik bileşenler çok düşük değerler alırlar ve ihmal edilirler (Şerbetçi, 2019). Tablo 1.1'deki sistemde oluşan harmoniklerin frekansları, temel frekans olan 50 Hz'in harmonik derecesi ile çarpımına eşittir.

Tablo 1.1. Harmonik dereceler ve frekansları

Harmonik Derece	Frekans (Hz)
Temel Frekans	50
3.	150
5.	250
7.	350
9.	450
11.	550
13.	650
15.	750
....	
n.	50 x n

1.4.1. Harmonik kaynaklar

Güç sistemlerinde harmoniklerin olumsuz etkilerini minimize etmek için öncelikle akım gerilim dengesizliği olan ve harmonik üreten teçhizatların bilinmesi oldukça önemlidir. Harmonik akım üreten teçhizatlara birkaç örnek vermek gerekirse;

- Kesintisiz güç kaynakları
- Kaynak makineleri, döner rotorlu makineler
- Motor hız kontrol düzenleri
- Rüzgar ve güneş enerjisi konvertörlerinin dağıtım sistemine bağlanması
- Bilgisayarlar
- Flüoresan lambalar ve elektronik balastlar
- Güç elektroniği elemanları (Gök, 2023).

1.4.2. Akım harmonikleri ile gerilim harmonikleri arasındaki ilişki

Güç sistemlerinde oluşan harmonikler akım harmonikleri şeklinde oluşur ve sistemde meydana gelen olumsuzlukların çoğu akım harmoniklerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle güç sisteminde harmonik denilince akla akım harmonikleri gelmektedir. Gerilimde oluşan harmonik bileşenler ise harmonik içeren akımın, yüksek bir empedans yolunda veya rezonans devresinde akması ile dolaylı şekilde oluşmaktadır. Güç sistemi önemli miktarda harmonik akımı taşısa bile sistem sorunsuz çalışabilir. Bir sorunun ortaya çıkması için harmonik bileşen içeren akımın yüksek bir empedans yolunda veya iletim devrelerinde akması gerekir. Güç sistemlerinde harmonik bileşen içeren bir akım sadece o harmonik akımı üreten yükü etkilerken, gerilim harmoniği sistemdeki tüm yüklere etki eder. Gerilim harmoniğinin nedeni sistem empedansından akan harmonik bileşen içeren akım olduğundan, gerilim harmoniklerini önlemenin yolu akım harmoniklerini olabildiğince uzak tutmaktır (Chapman, 2001).

Kısacası gerilim harmoniği sistemin tümünü etkiler ve şebeke kaynaklıdır. Akım harmoniği ise sadece harmoniği üreten yükü etkiler ve yük kaynaklıdır.

1.4.3. Harmonik büyüklükler

Harmonik büyüklükler olarak hesaplanan değerler sistemin güç kalitesinin göstergesidir. Hesaplanan değerler ne kadar düşük çıkarsa sistemin akım ve gerilim dalga formları sinüzoidale o kadar yakın formda olacaktır. Harmoniklerin değerlerinin 0'a eşit olması durumu, güç sisteminin harmoniksiz ve saf sinüzoidal dalga formunda olduğunu göstermektedir (Tekev, 2021).

1.4.3.1. Toplam harmonik distorsiyonu (THD)

Harmonik bileşen içeren bir sistemde, temel frekans dışındaki tüm harmonik bileşenlerin genliklerinin karelerinin toplamının, temel frekansın genliğinin karesine oranının karekökü olarak ifade edilir ve yüzdesel olarak hesaplanır (Öztura, 2015).

Akım ve gerilim için toplam harmonik distorsiyonu (THD) hesabı aşağıdaki eşitliklerle ifade edilir.

$$THD_V = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}{V_1^2}} \quad (1.13)$$

$$THD_I = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}{I_1^2}} \quad (1.14)$$

Türkiye’de Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK), akım ve gerilim için toplam harmonik bozulmasının 50. harmoniğe kadar olan harmonik derecelerini dikkate almaktadır (Mutlu, 2018).

Tam sinüzoidal dalga formu için THD değeri sıfıra eşit olmalıdır.

1.4.3.2. Toplam talep bozulması

I_L yük akımı olmak üzere, bir yıllık süre zarfında şebekeden çekilen maksimum akımların ortalamasını ifade eder. Toplam talep bozulması, akım harmoniklerinin karelerinin toplamının, yük akımının (I_L) maksimum değerinin karesine oranının karekökü olarak hesaplanır. Dalga şeklinin bozulmasının yüzdelik ifadesidir (Arıkan, 2019).

$$TTB = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}{I_L^2}} \quad (1.15)$$

1.4.3.3. Harmonik faktörü (HF)

Toplam harmonik bozulmayı meydana getiren her bir harmonik bileşenlerin seviyesini belirlemede kullanılmaktadır (Bozdağ, 2022).

$$HF_V = \frac{V_n}{V_1} \quad (1.16)$$

V_n : n. harmonik gerilimine ait efektif değeri,

V_1 : geriliminin temel bileşenin efektif değerini göstermektedir.

$$HF_I = \frac{I_n}{I_1} \quad (1.17)$$

I_n : n. harmonik akımına ait efektif değeri,

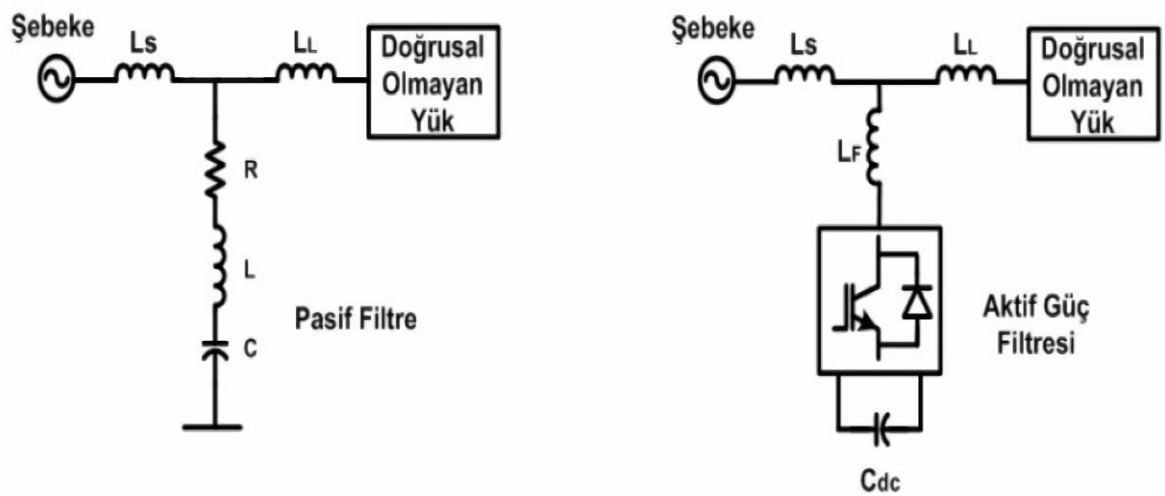
I_1 : akımın temel bileşenin efektif değerini göstermektedir.

1.4.4. Harmonik filtreler

Güç sistemlerinde elektrik enerjisi ile çalışan teçhizatların, harmonik üretmeyenlerin veya benzer özellikteki teçhizatlara göre daha az harmonik üretenlerin tercih edilmesi gerekmektedir. Böylelikle oluşan harmonikleri minimize etmek için ayrıca filtre kullanımına gerek kalmayacaktır. Ancak yine de harmonik problemlerin olduğu durumlar vardır. Böyle durumlarda harmoniklerin zararlı etkisinin önlenmesi ve yönetmeliklerin belirlediği sınır değerlere uyumluluk için harmonik filtreler kullanılmaktadır (Şerbetçi ve ark., 2018).

Harmonik filtrelerin görevi temel frekansın tam katlarında oluşan harmonik derecelerindeki akım ve gerilimlerin etkisini azaltmak veya yok etmektir. Genelde harmonik filtreler sistemdeki en etkin harmonik dereceyi yok etmek için tasarlanırlar. Sisteme etkisi az olan harmonik bileşenler için bu etkiyi zayıflatıcı filtreler kullanılabilir. Çalışma prensibine göre aktif ve pasif filtre olmak üzere iki çeşit harmonik filtre çeşidi bulunmaktadır (Dugan ve ark., 1996).

Şekil 1.11’de pasif ve aktif filtrenin şematik gösterimi verilmiştir.



Şekil 1.11. Pasif ve aktif filtre şematik gösterimi (Palta, 2015).

1.4.4.1. Aktif filtre

Aktif filtreler şebekedeki harmonikleri devamlı ölçerek, ölçtüğü harmonik değere ters yönde harmonik üretip, harmoniklerin giderilmesini sağlar (Koçak, 2018).

Doğrusal olmayan yükler tarafından üretilen akım harmoniklerini veya doğrusal üreticiler tarafından üretilen gerilim harmoniklerini ortadan kaldırmak için, güç elektroniği elemanlarını harmonikli yük akımına veya kaynak gerilimine, 180 derece ters fazda ve eşit büyüklükte harmonik akım ve gerilim üretip sisteme bağlayan elemanlardır. Pasif filtreden farklı olarak transistör ve yarı iletken devre elemanları kullanılır. Birden fazla harmonik frekansa etki ederek enerji kalitesini düzenler. Harmonik akım ile reaktif güç ve nötr akım kompanzasyonu içinde kullanılmaktadır. Pasif filtrelere göre maliyetleri yüksektir. Aktif güç filtrelerinin filtreleme yaptığı frekans aralığı geniş olduğu için sistemde yapılan değişikliklerde bile etkili harmonik kompanzasyonu yapmaya devam eder (Arslan, 2022).

1.4.4.2. Pasif filtre

Pasif filtreler temel frekansın tam katları olan harmonik bileşenleri yok etmek için tasarlanan, omik direnç (R), endüktans (L) ve kapasitans (C) gibi pasif devre elemanları bulunan harmonik filtre çeşididir. Pasif filtre tasarlanırken sistemde bulunan harmonik bileşenin frekansında sistemi rezonansa getirecek endüktans ve kapasitans değerleri dikkate alınır. Ancak elimine edilecek her harmonik frekans için, rezonans durumunu sağlayan ayrı bir filtre tasarlanması gerekecektir (Orucu, 2020).

1.5. Reaktif Güç Sınır Değerleri

EPDK tarafından kabul edilen “Dağıtım lisansı sahibi tüzel kişilerin ve görevli tedarik şirketlerinin tarife uygulamalarına ilişkin usul ve esaslar” kararının ikinci kısım, ikinci bölümünün, reaktif enerji tarifi başlığında yer alan reaktif enerji tarifesinin uygulaması 13. Maddenin 3. bendinde “Kurulu gücü 50 kVA ve üstünde olan kullanıcılar, tüketime esas ve/veya üretime esas aktif enerji miktarının %20’sini aşan şekilde reaktif enerji tüketmeleri veya tüketime esas aktif enerji miktarının %15’ini aşan şekilde sisteme reaktif enerji vermeleri halinde, reaktif enerji bedeli ödemekle yükümlüdür.” ifadesi yer almaktadır (URL-2). Şekil 1.8’e göre endüktif ve kapasitif yükler için güç faktörü (PF);

$$PF = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} \quad (1.18)$$

$$PF_{endüktif} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (0,2P)^2}} \quad (1.19)$$

$$PF_{endüktif} \cong 0,9806 \quad (1.20)$$

$$PF_{kapasitif} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + (0,15P)^2}} \quad (1.21)$$

$$PF_{kapasitif} \cong 0,9889 \quad (1.22)$$

şeklinde belirlenmiştir.

1.6. Harmonik ve Gerilim Kalitesi Standartları

Elektrik enerjisinin üretim aşamasından tüketiciye dağıtılması sürecinde sağlıklı ve verimli kullanımının sağlanması için bazı kalite standartları belirlenmiştir.

1.6.1. IEEE 519-2022 standardı

Harmonik bileşen içeren sistemlerin güç kalitesi için akım ve gerilim için harmonik sınır değerleri belirlenmiştir. IEEE 519-2022 standardına göre gerilim için harmonik sınır değerleri Tablo 1.2’de verilmiştir.

Tablo 1.2. Gerilim için harmonik sınır değerleri

Bara Gerilimi (V)	Bireysel Harmonik (%)	Toplam Harmonik Bozulma THD_V (%)
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5	8
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3	5
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1,5	2,5
$161 \text{ kV} < V$	1	1,5

IEEE 519-2022 standardına göre akım için harmonik sınır değerleri Tablo 1.3'te verilmiştir.

Tablo 1.3. Akım için harmonik sınır değerleri

I_{sc}/I_L	$2 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	THD_I
< 20	4	2	1,5	0,6	0,3	5
$20 < 50$	7	3,5	2,5	1	0,5	8
$50 < 100$	10	4,5	4	1,5	0,7	12
$100 < 1000$	12	5,5	5	2	1	15
> 1000	15	7	6	2,5	1,4	20

I_{sc} = maksimum kısa devre akımı

I_L = maksimum talep yük akımı

h = harmonik derece

Bu standarda göre çift harmoniklerin sınır değeri kendinden sonraki tek harmonikler için belirlenen sınır değerinin maksimum %25'i olacak şekilde sınırlandırılmıştır.

1.6.2. EN 50160 avrupa güç kalitesi standardı

Bu standart Türkiye'de ve birçok ülkede kullanılan ve güç kalitesi alanıyla ilgili hazırlanan ulusal yönetmeliklerin temelini oluşturan standarttır. Alçak gerilim ve orta gerilim dağıtım sistemlerinin ortak bağlantı noktalarında normal işletme şartlarında gerilim parametreleri ve bu parametreler için verilen sapma oranları hakkında bilgiler vermektedir. Standartta, alçak gerilim için herhangi iki faz arasında ölçülen gerilimin etkin değerinin 1000 voltu geçmemesi, orta gerilim içinse 1000 volt ile 35000 volt arasında olması gerektiği belirtilmiştir (Yıldırım, 2015).

EN 50160 standardı, tüketicilerin dağıtım sisteminden kaynaklı meydana gelebilecek zararlardan korunmak için teknik ve ekonomik açıdan uygulanabilir sınırları tanımlamaktadır. Bu standartta yer alan güç kalitesi parametreleri için tavsiye edilen sınır değerleri ve bu parametrelerin ölçüm aralığı belirtilmiştir. Tablo 1.4'te AG ve OG dağıtım sistemlerinin besleme geriliminin karakteristiği ve ölçüm aralıkları ile sınırlar ve izleme aralıkları verilmiştir (Markiewicz ve Klajn, 2004).

Tablo 1.4. EN 50160 standardına göre dağıtım sistemleri için gerilim karakteristiği ile ilgili tanımlar

Parametre	Ölçüm Aralığı	Sınırlar ve İzleme Aralığı
Güç frekansı değişimi	10 s.	AG, OG: 10 sn üzerinde ölçülen temel ortalamalar +/- %1 (49,5 - 50,5 Hz) haftanın % 99,5'i için
Gerilim büyüklüğü	10 dk'lık ortalama	AG, OG: 10 dakikalık rms ortalama değeri +/- %10 haftanın %95'i
Gerilim çukuru	10 dk'lık ortalama	Süre < 1 sn, dip < %60 Yüklerin devreye girmesinden kaynaklanan çukurlar için AG: %10-50, OG: %10-15
Kısa süreli kesintiler	10 dk'lık ortalama	AG, OG: 3 dakikaya kadar süren %70'inin süresi < 1 sn olmak üzere yılda birkaç yüz
Uzun süreli kesintiler	10 dk'lık ortalama	AG, OG: 3 dakikadan uzun süren Yıllık 10-50 arasında
Geçici gerilimler		AG: Genellikle < 6 kV OG: Tanımlanmamış
Gerilim dengesizliği	10 dk'lık ortalama	AG, OG: %2'ye kadar haftanın %95'i için

1.7. Literatür Taraması

Elektrik sistemlerinde harmonik olayların incelendiği tezde güç kalitesi problemlerinden olan harmoniklerin tanımı yapılmış, ortaya nasıl çıktığı ve sisteme verdiği zararlar araştırılmış, tesislerde harmonik sınır değerleri üzerine tartışılmış, sınır değerini aşan harmonik değerleri azaltma ve ortadan kaldırma yöntemi anlatılmıştır. Son olarak seri ve paralel pasif filtre tasarımı yapılarak sistemin verdiği tepki MATLAB programı üzerinde simüle edilmiştir. 220 volt 50 Hz şebeke frekansına 120 volt 100 Hz'lik bir dalga maruz bırakılarak etkileri gözlenmiştir. Yapılan ölçümlerde sinüzoidal sinyalin bozulduğu görülmüştür. Bozulan sinyali sinüzoidal yapmak için şebekeye ve yüke seri L-C devresi tasarlanmıştır. L-C devresinin harmonik gerilim kaynağına büyük empedans göstererek bozulan gerilim sinyalinin 220 volt 50 Hz'lik şekline yaklaştığı görülmüştür (Gök, 2023).

Cam sanayi tesisinde ve modern bir un üretim tesisinde harmoniklerin güç faktörüne etkisinin incelendiği tezde, her iki tesis için elde edilen veriler IEEE 519-2014 harmonik standartları ile karşılaştırılmış ve her iki tesis içinde %THDI değerinin standardın üzerinde olduğu görülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda alınan verilere göre

%THDI değeriyle güç faktörü değeri arasında ters orantı olduğu görülmüştür. Diğer bir ifade ile %THDI değeri arttıkça güç faktörü değerinin azaldığı, güç faktörünün azalmasına bağlı olarak da elektrik enerjisi veriminin de önemli ölçüde bir düşüş olacağı düşünülmektedir (Kürker, 2022).

Rüzgar ve güneş hibrit güç üretim sisteminin şebekeye entegre edilerek güç kalitesi kontrolünün incelenmesi yapılan tez çalışmasında şebekeye bağlı hibrit elektrik üretim santraline ait güç kalitesi, bulanık mantık ve klasik denetleyici yöntemleri kullanılarak üretim santralinin modellenmesi ve analizi yapılmıştır. Güç kalitesi parametreleri incelenmiştir. Oluşturulan rüzgar ve güneş hibrit güç üretim sistemine yük ve kesici bağlanarak üretilen gerilim ile şebeke arasında bağlantı sağlanmıştır. Gerilim değerleri üzerinde de belli sabitlemeler olmuş, kullanılan konvertörlerin sebep olduğu harmonikler için FFT analizi yapılmıştır. Harmonik filtre tasarımı yapılarak konvertörlerin sebep olduğu harmonikler uluslararası standartlarda belirlenen makul seviyelere indirilmiştir (Habibi, 2022).

Reaktif gücün ve harmoniklerin enerji verimliliği üzerindeki etkileri üzerine yapılan tez çalışmasında doğrusal olmayan yüklerin sisteme bağlanması ile oluşan gerilim ve akım dalga biçimlerindeki bozulmaları, oluşan güç kalitesi problemlerini, cezai durumlar gibi istenmeyen sonuçlarını minimize etmek ve belirlenen uluslararası standartlara göre sağlamak için çeşitli bölgelerde analizör yardımıyla ölçümler yapılmış, harmoniklerin oluşturduğu olumsuzluklar belirlenmiş ve uygun filtreleme sunulmuştur. Yapılan incelemeler sonucunda aktif filtrenin devrede olması ile harmonikler süzülerek sınır değerlerin altında bir değere ulaşılabilmiştir. Verim açısından harmonik filtrelemenin %10, aktif filtrelemenin %90 seviyelerinde çalışabildiği, tepki süresinin de kısa bir sürede gerçekleştiği görülmüştür. Maliyet yönünden kıyaslandığında ise aktif filtre maliyetinin pasif harmonik filtrelere göre daha pahalı olduğu görülmüştür. Ciddi yük değişimlerinin olmadığı ve pasif filtrenin yeterli olduğu durumlarda pasif harmonik filtreleme yöntemi tavsiye edilmiştir (İlgın, 2019).

Bir sağlık kuruluşu olan Düzce Üniversitesi Araştırma ve Uygulama Hastanesi enerji tesisinde iki hafta süresince yapılan ölçümlerden elde edilen verilerin incelendiği tezde, akım harmoniklerinin IEEE standardına göre yüksek çıktığı ve %9,56 seviyesinde olduğu görülmüştür. Harmonik değerinin yüksek olmasından kaynaklanan olumsuz etkiler düşünüldüğünde, hastane harmonik oluşmasına neden olabilecek kaynaklar barındırdığından harmonik seviyesinin azaltılabilmesi için çözüm önerisi olarak uygun

filtre tasarımına gidilmesi önerilmiştir. Enerji sistemi MATLAB programında modellenmiş, harmonik kaynaklar sisteme dahil edilmiş ve sistem için tek ayarlı pasif filtre tasarımı yapılmıştır. Hastane elektrik şebekesi incelendiğinde binada güç elektroniği devresinin olması, yarı iletken anahtarlama elemanlarının harmonik etkilerinin fazla olduğu, balastlı flüoresan lambalar ve manyetik endüksiyon prensibiyle çalışan elektrik makinelerinin harmonik oluşumunda önemli bir faktör olduğunun görüldüğü belirtilmiştir. Yapılan çalışma ile harmonik etkileri en aza indirerek, geçici durum arızaları minimize edilip, sistem kararlılığının artırılmasıyla enerji kalitesinin üst seviyelere çıkarıldığı belirtilmiştir (Alkan ve ark. 2019).

Elazığ Belediyesine ait %100 elektrikli otobüslerin şarj istasyonlarının enerji kalitesi yönünden incelenmesi yapılmıştır. Akım, gerilim, güç, güç faktörü ve harmonikler gibi parametrelerin incelenmesi yapılmış ve çözüm önerileri verilmiştir. Şarj istasyonları incelendiğinde güç grafiğinin akım ile paralel şekilde olduğu, akım ve gerilim harmonikleri incelendiğinde ise bazı harmoniklerin sınır değerine ulaştığı, bazı harmoniklerin ise sınır değerini aştığı görülmüştür. Akım ve gerilim harmonikleri karakteristiklerinin benzerlik gösterdiği görülmüştür. Akım harmoniklerin, harmonik seviyelerinden 3. harmonik seviyesi hariç diğer harmonik seviyelerinin sınır değerinin altında olduğu görülmüş, 3. akım harmoniğinin sınır değerini aştığı bunun sonucunda da gerilim harmoniğinin 3. harmoniğininde sınırı aştığı anlaşılmıştır. Anahtarlama güç kaynaklarının kullanılması, otobüs bataryaları dolduran AC-DC dönüştürücü şarj ünitelerinin de 3. akım harmoniğin sebebi olarak gösterilmiştir. Genel anlamda sınır değerini aşan 3. harmoniğin değerinin düşürülmesi için nötr iletkeninin topraklanması, nötr iletkenine harmonik filtrenin takılması veya nötr iletkenin kesitinin artırılması önerilmiştir (Ak, 2019).

Yalova Üniversitesi Merkez kampüsünde elektrik enerjisinin güç kalitesine etki eden harmoniklerin incelenmesi yapılmıştır. Bu çalışmada kampüs alanındaki hizmet binalarının dağıtım noktalarına güç kalitesi parametrelerini ölçmek için güç kalitesi analizörü bağlanmıştır. Bağlanan güç kalitesi analizörü ile güç kalitesi parametrelerinden akım, gerilim, güç ve frekans gibi parametrelerle birlikte oluşan güç kalitesini etkileyen olaylar da ölçülmüş, alınan veriler bilgisayar ortamına aktararak değerlendirmeler yapılmıştır. Değerlendirme sonucunda Uluslararası IEC 519-1992 standardı doğrultusunda THDV gerilim harmoniğinin %3 sınır değerinin altında olduğu gözlemlenmesine rağmen THDI akım harmoniği için belirlenen %5 sınır değerini aştığı gözlemlenmiştir. Harmonik

sınır değerinin aşmasının nedeni olarak seçilen trafo güçlerinin bina beslemelerine göre yüksek güçte seçilmesi ve yüklenme oranının düşük olması sebebiyle yüksek değerde harmoniklerin oluştuğu, yüksek harmoniklerin teçhizat ve kondansatörlere zamanla zarar vereceği belirtilmiştir. Harmonik seviyesinin düşürölmesi için harmonik üreten cihazların tasarımının harmonik vermeyecek şekilde tasarlanması veya söz konusu cihazların sisteme harmonik vermeyecek şekilde filtreli imal edilmesi veya her harmonik seviyesi için ayrı ayrı aktif veya pasif filtre kullanılması önerilmiştir (Güven ve Yörökeren, 2019).

Yenilenebilir enerji sistemleri üzerinde yapılan harmonik analizi çalışmasında denetim sisteminin cevabının gecikmesi, bozuk ve harmonikli enerji üretimi gibi sorunların nasıl giderilebileceği önerilmiştir. Güneş enerjisi sistemi ile elektrik enerjisi üretilmiş, şebeke gerilimine cevap süresi minimize edilmiştir. Üretilen enerji filtreler yardımıyla harmonik seviyeleri düşürölerek kabul edilebilir seviyelere gelmiştir. Harmonik seviyesini düşürmek için LC filtre ile birlikte 4 adet harmonik filtre kullanılarak en verimli filtre bulunmaya çalışılmıştır. Her bir filtre için THD değerleri alınmış, en ideal filtre kararlaştırılmıştır. Sonuç olarak en iyi sonucu kesir dereceli PID denetleyici vermiştir (Tüfekçi, 2018).

Siirt Üniversitesi Kezer Kampüsü alanındaki elektrik dağıtım sisteminde meydana gelen güç kalitesi problemleri enerji analizörü yardımıyla izlenmiş ve elde edilen veriler yorumlanmıştır. Kampüs alanında yer alan dağıtım sisteminde trafonun sekonder tarafına bağlanan güç kalitesi analizörü ile akım, gerilim, güç ve frekans büyüklükleri ölçölmüş, meydana gelen güç kalitesi olayları ve bu olayların nedenleri hakkında araştırmalar yapılmıştır. Üniversitenin enerji dağıtım sisteminin havai hat olması nedeniyle yer altı şebekelerine göre mevsim şartlarından olumsuz etkilendiği için arıza sayısının fazla olduğu görölümüştür. Gerilim çökmeleri için yer altı şebekelerin tercih edilmesi önerilmiştir. Gerilim sıçramalarının sabah saatlerinde yükün az olduğu zamanlarda olduğu görölümüştür, çözüm olarak da yer altı şebekesi ve teçhizatları koruma amaçlı donanım kurulması önerilmiştir. Gerilim kesintilerinin nedeninin güç kalitesi olayları olduğu görölümüştür ve çözüm olarak söz konusu güç kalitesi problemlerinin giderilmesi önerilmiştir. Oluşan harmoniklerin bilgisayar, UPS, şarj cihazları, motor hız sürücölüleri gibi doğrusal olmayan yüklerden ileri geldiği görölümüştür. Genel çözümler olarak kaynak odaklı temel harmonik filtre, oluşan güç kalitesi problemleri için dağıtım şebekesinin yer altı hattına dönüştürölmesi, oluşan akım ve gerilim harmonikleri için her faz için ayrı ayrı harmonik filtre tasarımı önerilmiştir (Beğde, 2017).

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüsü'nün enerji kalitesinin incelendiği tezde belirlenen 5 hizmet binasını (İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ziraat Fakültesi, Orman Fakültesi, Isı Merkezi ve Rektörlük Binası) besleyen trafoların alçak gerilim tarafından ölçüm yapılarak, belirlenen hizmet binaları akım, gerilim, harmonik, kırpışma (flicker) yönünden analiz edilmiştir. Hizmet binalarının gerilim ve akım etkin değerlerinin güç kalitesi standartlarında belirlenen sınır değerlerine uygun olduğu görülmüştür. Harmonikler yönünden incelendiğinde, gerilim harmoniğinin %5 sınır değerini geçmediği ve toplam harmonik bozulmanın da bu değerin altında ve iyi sayılabilecek düzeyde olduğu belirtilmiştir. Akım için toplam harmonik değerleri incelendiğinde ölçüm yapılan hizmet binalarının belirlenen sınır değerini aştığı, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi için değerin %4 ile %38 arasında olduğu görülmüştür. Ziraat fakültesi için 3. ve 5. harmoniklerin baskın karakter olduğu, Rektörlük ve Orman Fakültesi ölçümlerinde genel olarak 5. harmoniğin baskın olduğu, Isı Merkezi ölçümlerinde ise 5. ve 7. harmoniğin yanında 11. ve 13. harmoniklerinde belirginleştiği görülmüştür. Ölçüm yapılan noktaların harmonik derecelерinden 5. ve 7. harmoniğin baskın olduğu ve bu harmonikler için pasif filtre kullanımı, kompanzasyon sisteminin hem kapasitif yük hem de endüktif yük şeklinde harmonik filtre yönünden değerlendirilip yapılması ve doğrusal olmayan yük olarak bilinen trafoların bakımlarının düzenli yapılması önerilmiştir (Sarı, 2017).

Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi ana giriş panosuna güç kalitesi ölçüm analizörü konularak güç kalitesi verileri kaydedilmiş ve veri madenciliği yöntemleri ile verilerin incelemesi yapılmıştır. 12 haftalık 10'ar dakikalık aralıklarla alınan ölçümler sonucunda oluşan veriler, hafta içi ve hafta sonu şeklinde iki gruba ayrılmış, her harmonik derece ayrı ayrı incelenmiş, uluslararası IEC 519-1992'ye göre değerlendirmeler yapılmıştır. Yapılan değerlendirmeye göre akım harmoniği için belirlenen %5 sınırı değerinin aşıldığı, gün içindeki kullanıma göre harmonik değerlerinin mesai saatlerinde ve mesai saatleri dışında farklı değerde olduğu, hafta içi ve hafta sonu ölçülen harmonik değerlerinin birbirinden farklılıklar gösterdiği, haftalık harmonik değerlerin %42'ye kadar çıktığı, kısa bir süreliğine de olsa %55 seviyesinin de görüldüğü olmuştur. Elde edilen harmonik verileri sınıflandırılmış, harmonik izleme sınıfı önerilmiştir. Önerilen akıllı harmonik izleme sisteminin kullanılarak harmonik değişimlerin standartlara göre rahat, hızlı, güvenilir şekilde izlenebilmesi ve bu sistemle harmonik eliminasyonu konusunda da önemli bilgilerin elde edilebileceği söylenmiştir (Tümen, 2013).

2. MATERYAL VE METOT

Bu araştırmada, Munzur Üniversitesi'nin seçilen (Ar-Ge Laboratuvarı, İdari Birimler ve Isı Merkezi) üç hizmet binasının elektrik güç kalitesi, uluslararası standartlar kapsamında Hioki 3196 güç kalitesi ölçüm aracı kullanılarak tespit edilmeye çalışılmıştır. Seçilen üç hizmet binası için bir hafta boyunca her gün 10'ar dakikalık aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Üzerinde çalışma yapılan üç hizmet binasına ilişkin ayırt edici bilgiler Tablo 2.1'de verilmiştir.

Munzur Üniversitesi'nin seçilen üç hizmet binasının güç kalitesi yönünden incelenmesinin amaçlandığı bu tez çalışmasında doğrudan ölçüm metodu kullanılmıştır. Doğrudan ölçme, diğer adıyla temel ölçme "Ölçülecek özelliklerin, araya başka bir değişken girmeden doğrudan doğruya gözlenmesi sonucu yapılan ölçme türüne "doğrudan (temel) ölçme" denir. Doğrudan ölçmelerde ölçülecek özellikle, bu özelliği ölçmek için kullanılacak aracın özelliği aynıdır." (URL-3).

2.1. Verilerin Toplanması

Bu tezde Munzur Üniversitesi kampüs alanında bulunan üç adet hizmet binasının elektrik güç kalitesini tespit amacıyla hizmet binaların enerji akışı, yedi gün boyunca uluslararası standartlarda (URL-4) belirtildiği gibi 10'ar dakika aralıklarla ölçümler yapılmış, yapılan ölçümlerde veriler kaydedilerek incelenmiş ve güç kalitesi parametreleri referans alınarak analizleri yapılmıştır. İncelemesi yapılan üç adet binanın seçiminde Tablo 2.1 verilen kompanzasyon sistemi ve kesintisiz güç kaynağı varlığı/yokluğu dikkate alınmıştır.

Ölçümlerin tüm hizmet binalarında değil de seçilen üç hizmet binasında yapılmasının temel nedeni çeşitlilik durumunun üç türde oluşudur. Bunlar sırasıyla; 1) Hem kompanzasyon sistemi hem de kesintisiz güç kaynağı bulunduran binalar 2) Sadece kompanzasyon sistemi bulunduran binalar 3) Kompanzasyon sistemi ve kesintisiz güç kaynağı bulundurmayan binalar. Görüldüğü üzere örneklem maksimum çeşitlilik esasına göre belirlenmiş ve evreni temsil etme gücü yüksek düzeyde sağlanmıştır.

Tablo 2.1. Ölçümü yapılacak hizmet binalarının seçim kriterleri

Hizmet Binaları	Kompanzasyon Sistemi	Kesintisiz Güç Kaynağı
Isı Merkezi	Yok	Yok
İdari Bina	Var	Yok
Ar-Ge Laboratuvarı	Var	Var

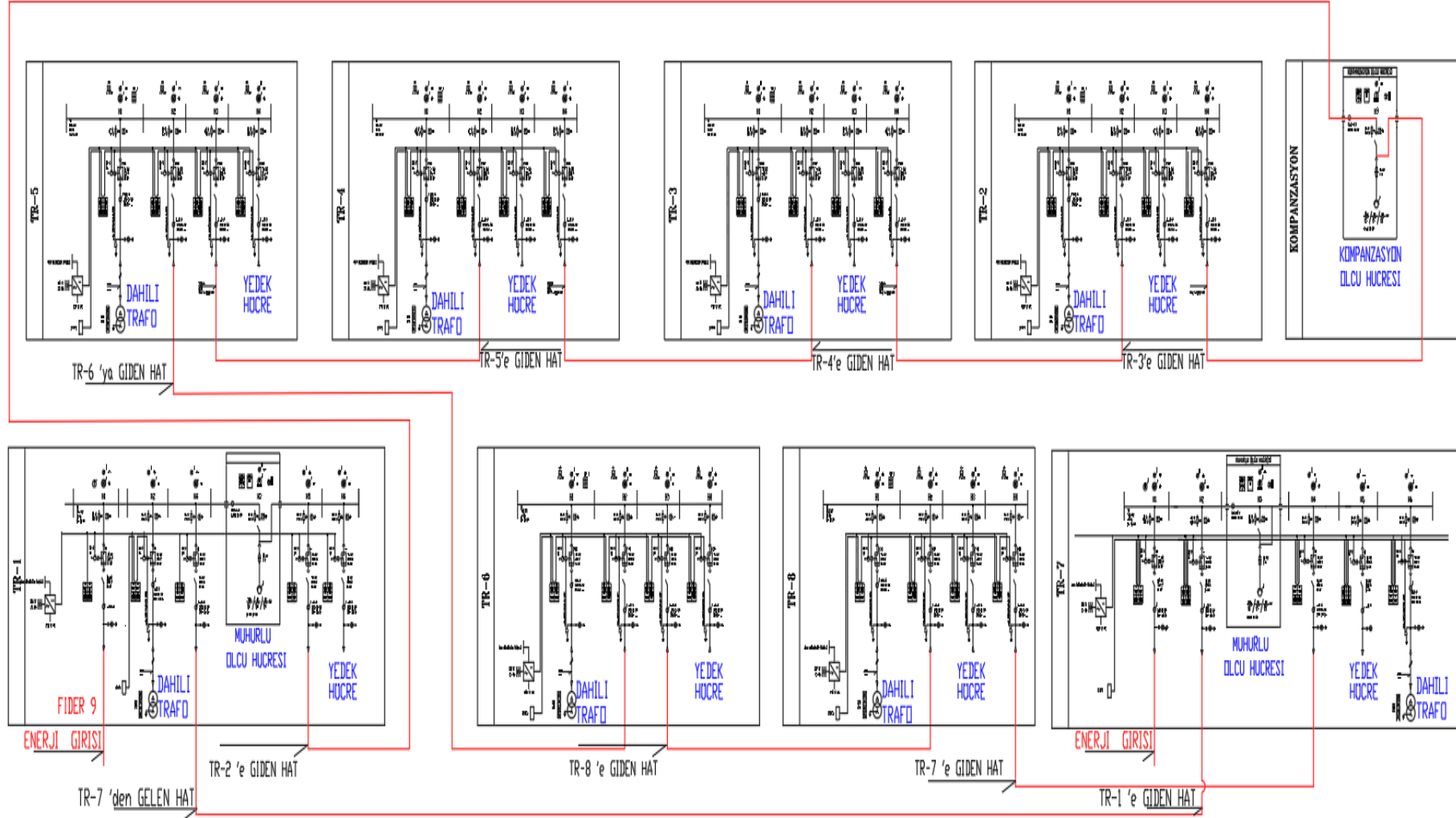
Munzur Üniversitesi Kampüsü'nün yer altı ve havai hat şeklinde 2 adet farklı besleme hattı ve 2 adet ölçü hücresi bulunmakta olup, enerji dağıtım hattı şeması Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Birinci ölçü hücresi 1 no'lu trafodan sonra ölçüm yapmaktadır (1 no'lu trafodan lojman binaları beslenmekte olup, sayaçlar bina girişlerinde bulunmaktadır). İkinci ölçü hücresi 7 no'lu trafoya bağlı olup, arıza durumunda ring sisteminin devreye alınmasıyla ölçüm yapmaktadır. Trafolar arası OG enerji kablusunun (XLPE) kapasitif yükünün kompanze edilebilmesi için birinci ölçü hücresinden sonra OG'den ölçüm yapıp, kademeleri AG'de devreye alan kompanzasyon sistemi kurulmuştur.

Kampüs alanında 3 adet 1600 kVA, 1 adet 1000 kVA, 2 adet 800 kVA, 1 adet 630 kVA, 1 adet 500 kVA olmak üzere toplamda 8 adet trafo, birbirlerine ring sistemi ile bağlıdır. Kampüs alanının beslemesi 34,5 kV gerilim ile yapılmakta olup, hizmet binaları kendilerine ait trafolar ile 34,5/400 volt gerilim seviyesine dönüştürülerek beslemesi yapılmaktadır. Kampüs alanında bulunan her bina elektrik kesintilerinden etkilenmemesi için dizel jeneratör ile beslenmektedir. Tez çalışması için seçtiğimiz hizmet binalarından Ar-Ge Laboratuvarı hizmet binasında 1600 kVA trafo, 1600 kVA jeneratör ve 60 kVA kesintisiz güç kaynağı, İdari Birimler hizmet binasında 1600 kVA trafo, 1600 kVA jeneratör, Isı Merkezi hizmet binasında 1000 kVA trafo ve 1000 kVA jeneratör bulunmaktadır. Ar-Ge Laboratuvarı ve İdari Birimler hizmet binasında 18 kademeli kompanzasyon sistemi mevcuttur. İncelenen hizmet binalarının trafoların güçleri, jeneratör güçleri, kompanzasyon ve kesintisiz güç kaynağının kapasiteleri Tablo 2.2'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Hizmet binaları teçhizatlarının güç ve kapasite değerleri

Hizmet Binası	Trafo Gücü	Jeneratör Gücü	Kompanzasyon Kapasitesi	Kesintisiz Güç Kaynağı Kapasitesi
Isı Merkezi	1000 kVA	1000 kVA	Yok	Yok
İdari Bilimler	1600 kVA	1600 kVA	200 kVA	Yok
Ar-ge Laboratuvarı	1600 kVA	1600 kVA	400 kVA	60 kVA

OG TEK HAT ŞEMASI



Şekil 2.1. Munzur Üniversitesi enerji dağıtım hattı

Munzur Üniversitesi Kampüs alanında bulunan ve yapılan bu tez çalışmasında seçilen üç hizmet binasının güç kalitesi incelemesi ve analizi için Şekil 2.2’de gösterilen Hioki 3196 Güç Kalitesi Analizörü kullanılmıştır. Cihaz ile hizmet binalarının akım, gerilim, gerilim dengesizliği, frekans, akım ve gerilim için harmonik değerler, aktif güç, güç faktörü v.b. veriler elde edilmiştir. Cihaz, her faz barasına bağlanan 3 adet timsah ağızlı gerilim prob klipsinden, 3 adet 1000 ampere kadar ölçüm yapabilen akım klamplarından ve nötr bağlantısı içinde 1 adet timsah ağızlı nötr prob klipsinden meydana gelmekte olup, akım klampı ile gerilim ve nötr prob klipsi Şekil 2.3’te gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Hioki 3196 güç kalitesi analizörü



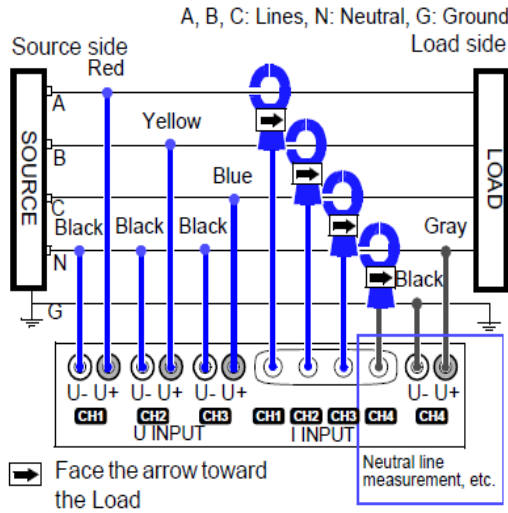
(a)



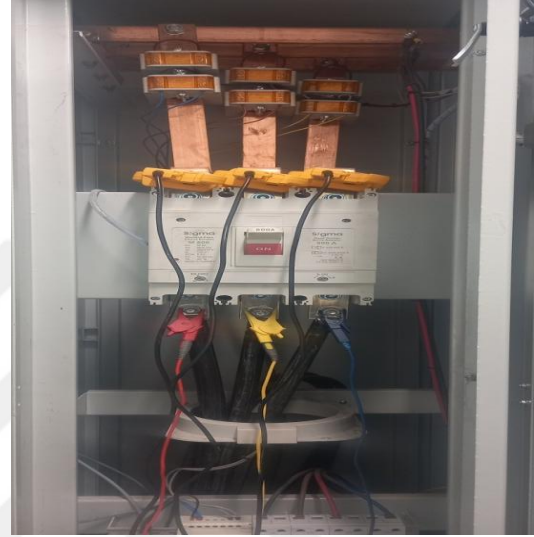
(b)

Şekil 2.3. a) Akım klampı b) Gerilim ve nötr prob klipsi

Hioki 3196 Güç Kalitesi Analizörü ölçüm yapılacak binaların elektrik ana giriş panosuna Şekil 2.4.a’da gösterildiği gibi, 3 fazın her birine faz problarını, her faza ait nötrleri birbirlerine bağlayarak 1 adet nötr probunu ve 3 fazın her birine akım klemplarını bağlayarak akım, gerilim, gerilim dengesizliği, frekans, akım ve gerilim için harmonik değerler, aktif güç ve güç faktörü verileri alınmıştır.



(a)



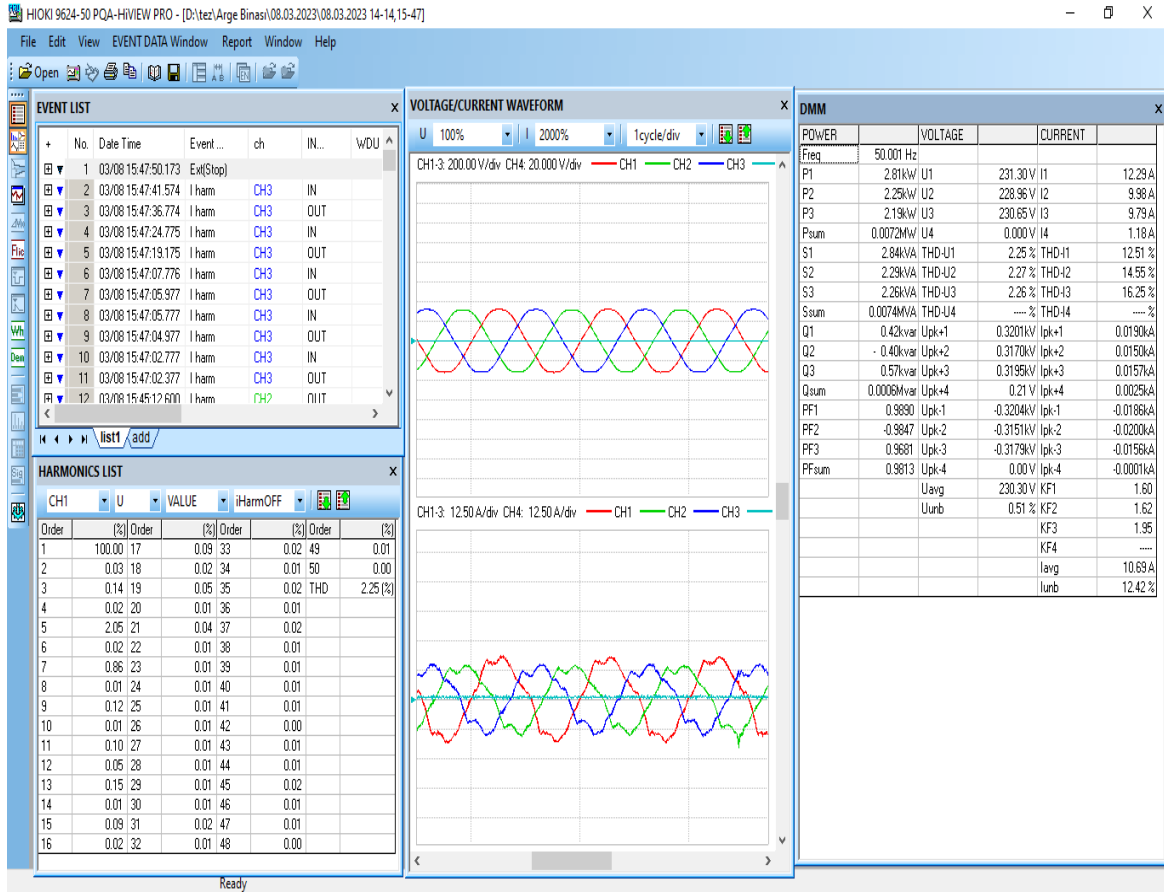
(b)

Şekil 2.4. a) Bağlantı şeması b) Ana giriş panosuna bağlantı

Hioki 3196 Güç Kalitesi Analizörü ile veri kaydına geçilmeden önce yapılması gereken bağlantı, ayar ve kontroller sırasıyla aşağıda belirtildiği şekilde yapılır.

- 1) Hioki 3196 Güç Kalitesi Analizöründe faz ve akım sıraları dikkate alınarak bina enerji ana giriş panosuna bağlanır (Şekil 2.4.b).
- 2) Akım klemplarını baraya takarken klempların akım yönlerine dikkat edilir.
- 3) Bağlantılar yapıldıktan sonra cihazda gerilim, akım değerleri kontrol edilerek, veri okumasının yapılıp yapılmadığına bakılır.
- 4) Hioki 3196 Güç Kalitesi Analizörünün tarih ve saat ayarları yapılır.
- 5) Hizmet binalarının güç kalitesi yönünden incelenmesinde gerekli olan veriler cihazda ayarlanır.
- 6) Cihazın dahili ve harici hafızası formatlanarak kayıt edilecek veriler için gerekli veri kapasitesi açılır.
- 7) Uluslararası standartlara göre kayıt aralığı 10 dakika olarak ayarlanır.

- 8) Gerekli ayarlamalar yapıldıktan sonra kayıt işlemine geçmek için start/stop butonuna basılır ve kayıt işlemi kontrol edilir.
- 9) Cihazın veri kaydı binary ve text formatında 2 şekilde ayarlanabilmektedir. Text formatında kayıta sadece 14 veri kaydedilip hafızayı doldurduğu için, tez çalışmasında binary formatındaki kayıt tercih edilmiştir.
- 10) Cihaza kaydedilen veriler depolanmak istendiğinde start/stop düğmesi ile kayıt durdurulur, veri aktarım kablosuyla bilgisayara veriler aktarılır.
- 11) Binary formatında kaydedilen veriler Hioki 3196 Güç Kalitesi Analizörünün yazılımı Hioki 9624-50 PQA–Hiview Pro programında grafiğe ve sayısal verilere dönüştürülür (Şekil 2.5).
- 12) Kaydedilen veriler alındıktan sonra yeni kayda geçmeden önce dahili ve harici karttaki veriler formatlanır ve tekrardan kayıt işlemine geçilir.



Şekil 2.5. Bilgisayara aktarılan verilerden herhangi birinin Hioki 9624-50 PQA–Hiview Pro programı ekranındaki görüntüsü

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Güç Kalitesi Ölçümleri ve Sonuçları

Ölçüm noktalarından alınan veriler grafik ve tablo haline dönüştürölüp, ilgili standartlara göre belirlenen sınır değerlerine göre yorumlanması bu kısımda gerçekleştirilmiştir. Ölçüm sonuçları gerilim, akım ve güç olmak üzere 3 kategori de inceleneyecektir. Gerilim ölçümleri; her bir faz için gerilimin etkin değeriindeki değışimleri, frekanstaki değışimleri, gerilim dengesizliğı, gerilim için toplam harmonik bozulmanın değışimleri ve gerilim harmonik derecelerini içermektedir. Akım ölçümleri; her bir faz için akımın etkin değeriindeki değışimleri, akım için toplam harmonik bozulmanın değışimleri ve akım harmonik derecelerini içermektedir. Güç ölçümleri ise; her bir faz için aktif güç ve güç faktörü değeriindeki değışimleri içermektedir.

3.1.1. Gerilim kalitesi

Belirlenen hizmet binaları gerilim kalitesi yönünden incelenirken her bir faz için gerilimin etkin değeriindeki değışimler, frekans değışimleri, gerilim dengesizliğı, gerilim için toplam harmonik bozulmanın değışimleri ve gerilim harmonik derecelerini içermektedir.

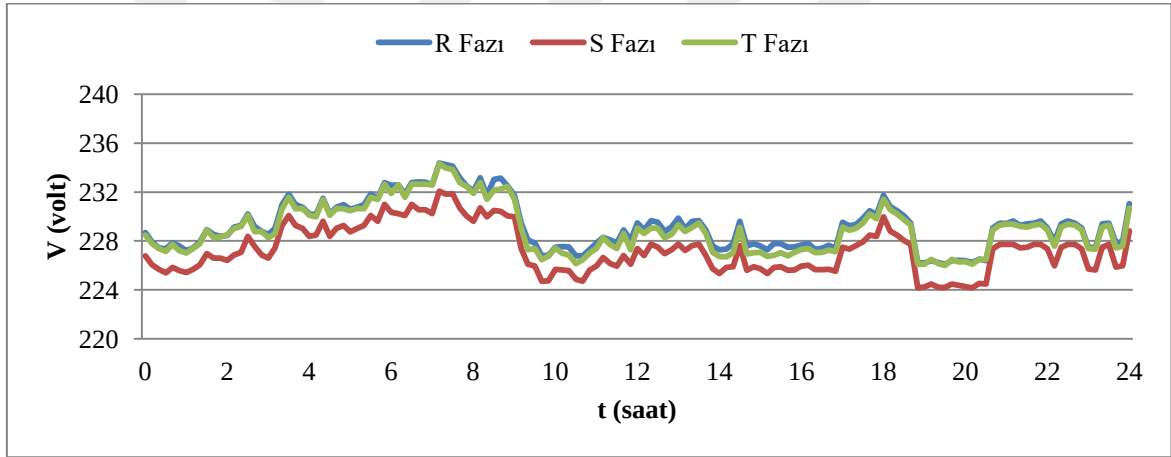
3.1.1.1. Gerilim etkin değeriindeki değışimler

TS EN 50160 standardının AG Besleme Karakteristiğı bölümünün Besleme Gerilimi başlığında “Kesintili periyotlar dışında, normal çalışma şartları altında, besleme gerilimi değışimlerinin anma gerilimi U_n ’nin $\pm \% 10$ ’unu aşmaması esastır.” ifadesi ve “Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliğı” 58. Maddesinin 4. bölümü Gerilim Düşümü başlığı altında “Alçak gerilim tesislerinde gerilim düşümü $\%5$ ’i aşmamalıdır. Kendi transformatörü bulunan tesislerde, transformatörlerin AG çıkışından itibaren gerilim düşümü bakımından en kritik durumda olan tüketiciye kadar olan toplam gerilim düşümü aydınlatma tesislerinde $\%6,5$, motor yüklerinde $\%8$ ’i aşmamalıdır. Ring olması halinde yüksek gerilim için yukarıdaki açıklamalar aynen geçerlidir.” ifadesi yer almaktadır. AG seviyesinde 4 telli 3 fazlı sistemler için faz-nötr arası ve 3 telli 3 fazlı sistemler için faz-faz

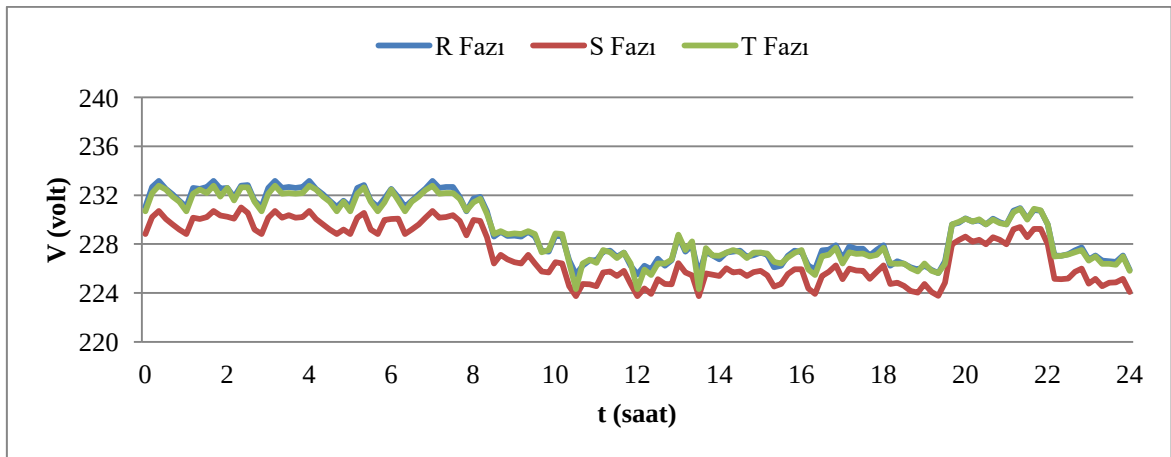
arası standart anma gerilimi 230 volt AC'dir. İlgili yönetmelik ve standartta belirtilen sınırlar içerisinde, 220-240 volt nominal çalışma gerilimi dikkate alınarak ölçüm noktasının her bir fazına ait gerilimin etkin değeri 1 hafta boyunca her gün 10'ar dakikalık ölçümler alınarak elde edilen veriler yorumlanmıştır. Grafiğe dönüştürülen verilerde 1. gün haftanın ilk günü olan pazartesiye 7. gün ise haftanın son günü olan pazarı ifade etmektedir.

3.1.1.1.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası

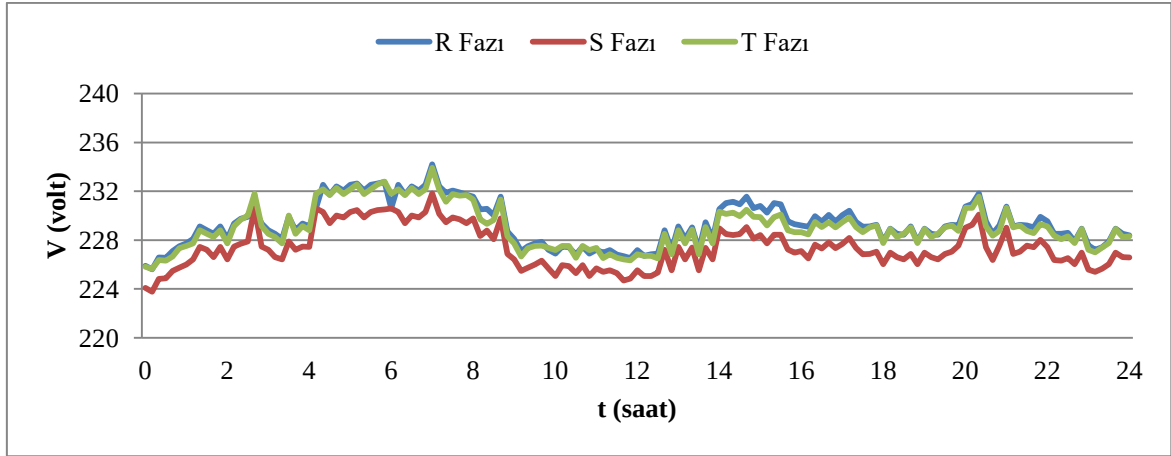
Şekil 3.1-3.7 arasında her güne ait gerilim etkin değerinin değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.8'de ise 7 günlük gerilim etkin değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



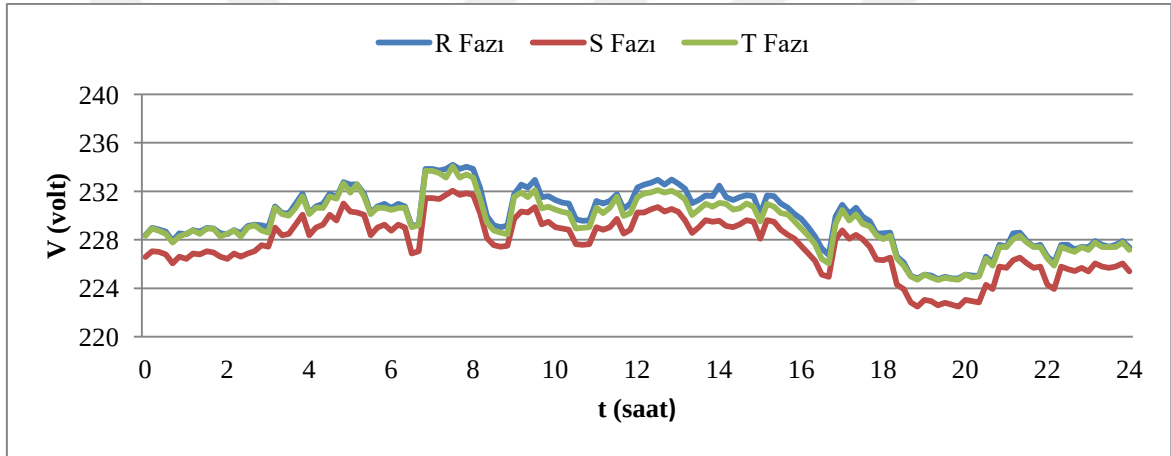
Şekil 3.1. Gerilim etkin değerinin değişimi (1. gün)



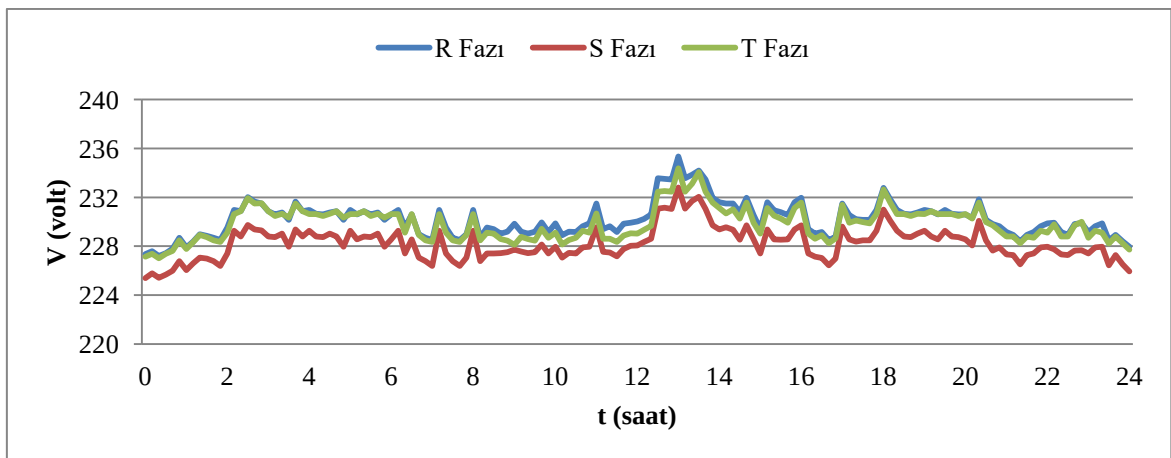
Şekil 3.2. Gerilim etkin değerinin değişimi (2. gün)



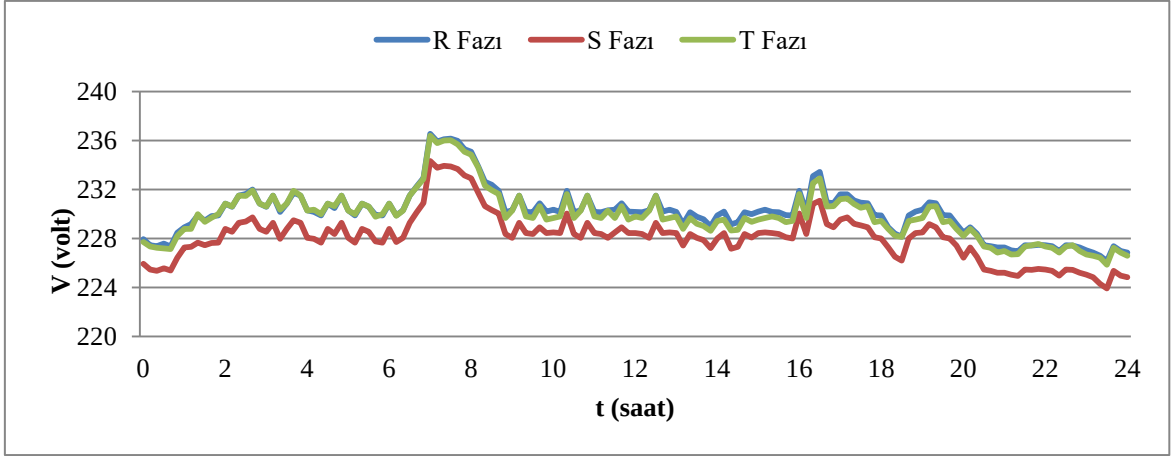
Şekil 3.3. Gerilim etkin değerinin değişimi (3. gün)



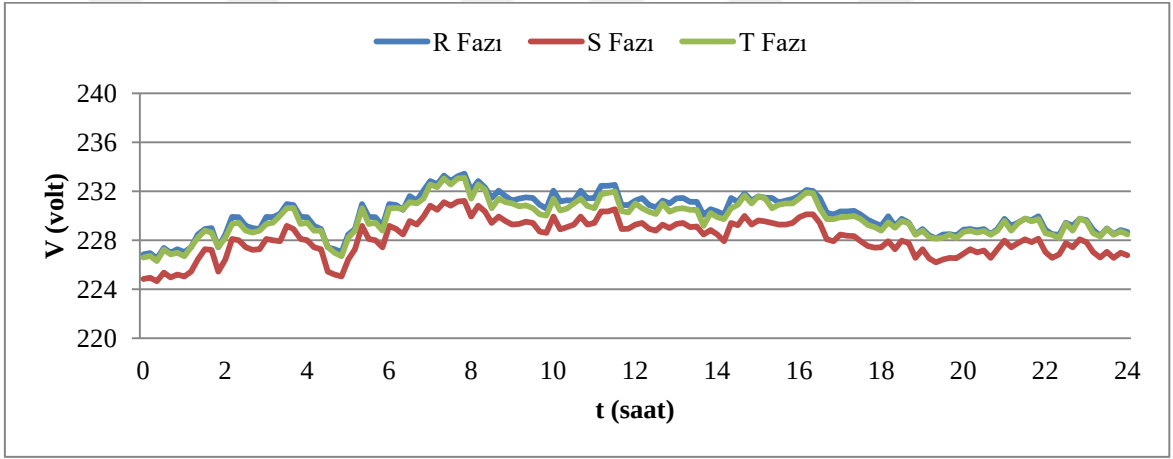
Şekil 3.4. Gerilim etkin değerinin değişimi (4. gün)



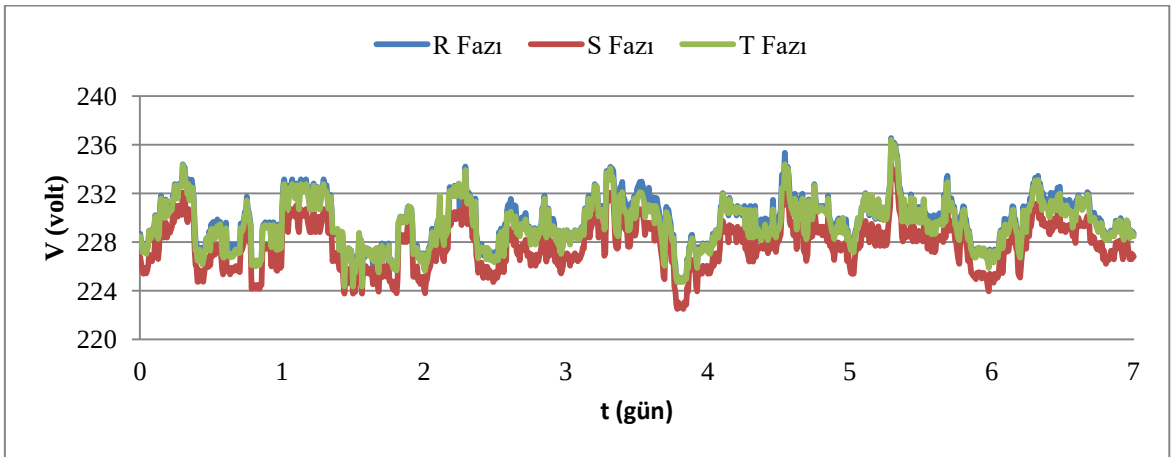
Şekil 3.5. Gerilim etkin değerinin değişimi (5. gün)



Şekil 3.6. Gerilim etkin değerinin değişimi (6. gün)



Şekil 3.7. Gerilim etkin değerinin değişimi (7. gün)



Şekil 3.8. Gerilim etkin değerinin 7 günlük değişimi

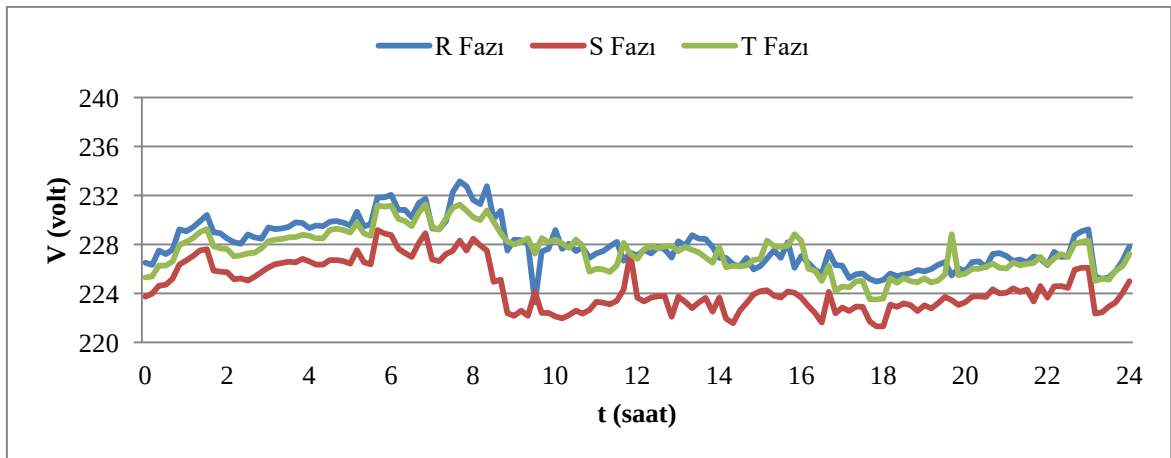
Şekil 3.1-3.7 grafikleri incelendiğinde R ve T fazlarının karakteristik olarak birbirine benzerlik gösterdiği ve etkin değerlerinin yaklaşık olarak birbirine eşit, S fazının ise karakteristik olarak diğer 2 faz ile benzer olduğu fakat etkin değerinin ise R ve T fazlarından 2 volt kadar daha düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 3.8'e göre, Ar-Ge Laboratuvarı ölçüm noktasına ait 7 gün boyunca 10'ar dakika aralıklarla 3 faza ait gerilimin etkin değerleri incelendiğinde, ölçüm süresi boyunca R fazında ölçülen gerilimin minimum değeri 4. gün saat 19:20'de ölçülmüş, değeri 224,76 volt, maksimum değeri 6. gün saat 07:00'da ölçülmüş, değeri 236,55 volt, 7 günün ortalama değeri 228,35 volt; S fazında ölçülen gerilimin minimum değeri 4. gün saat 19:50'de ölçülmüş, değeri 222,49 volt, maksimum değeri 6. gün saat 07:00'da ölçülmüş, değeri 234,32 volt, 7 günün ortalama değeri 227,75 volt; T fazında ölçülen gerilimin minimum değeri 2. gün saat 13:30'da ölçülmüş, değeri 224,32 volt, maksimum değeri 6. gün saat 07:00'da ölçülmüş, değeri 236,39 volt, 7 günün ortalama değeri 229,42 volt'tur.

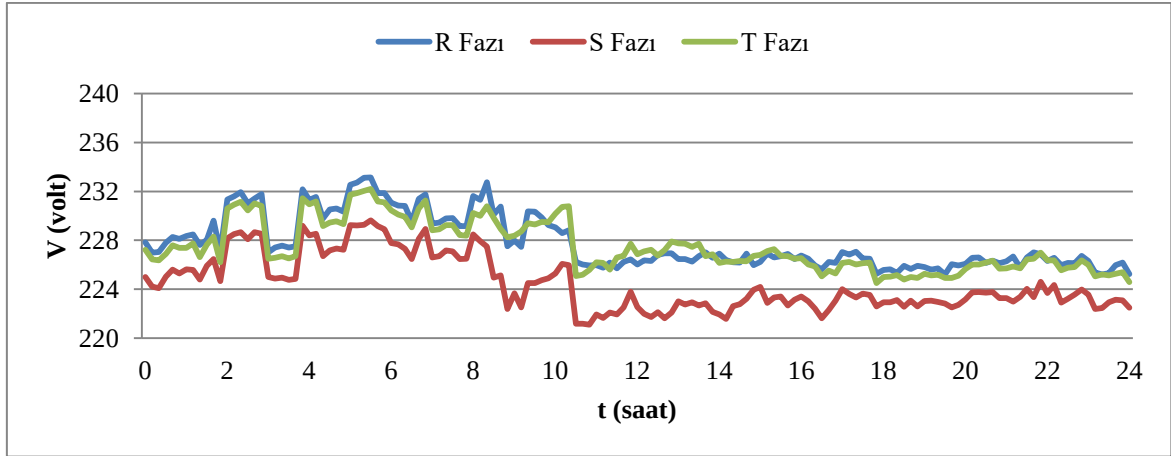
Her faz için ölçülen gerilimlerin etkin değerinin TS EN 50160 standardında belirtilen sınır değerleri arasında kaldığı görülmüştür (TS EN 50160 standardı: 207-253 volt).

3.1.1.1.2. İdari birimler hizmet binası

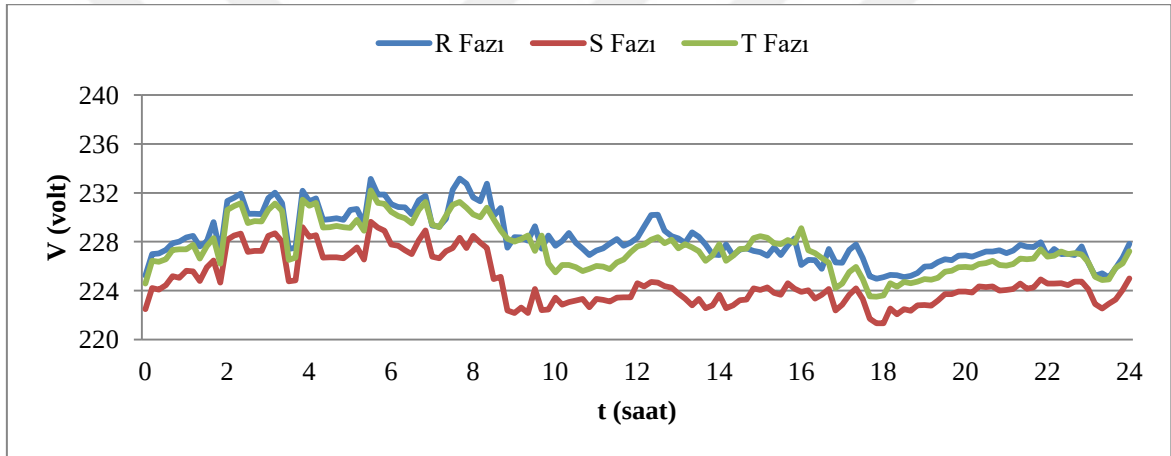
Şekil 3.9-3.15 arasında her güne ait gerilim etkin değerinin değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.16'de ise 7 günlük gerilim etkin değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



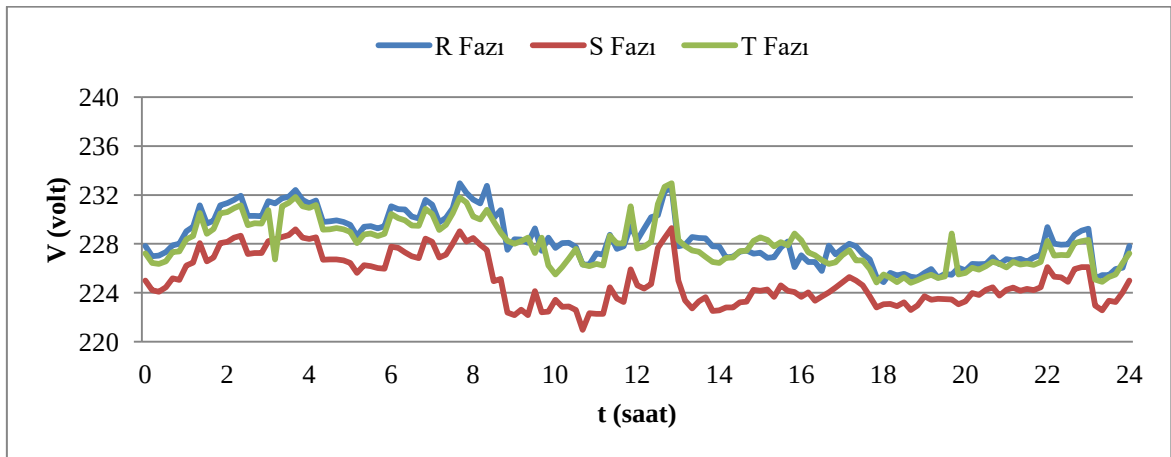
Şekil 3.9. Gerilim etkin değerinin değişimi (1. gün)



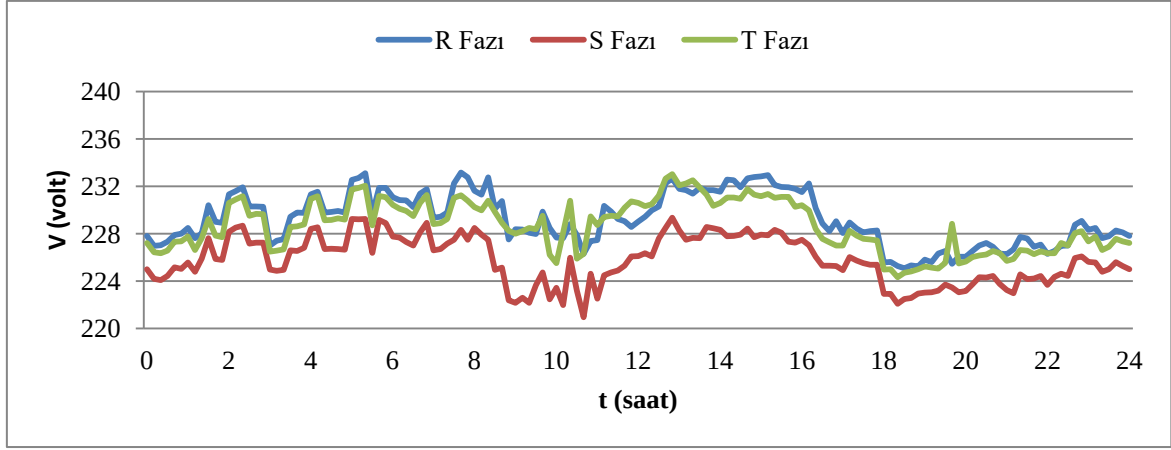
Şekil 3.10. Gerilim etkin değerinin değişimi (2. gün)



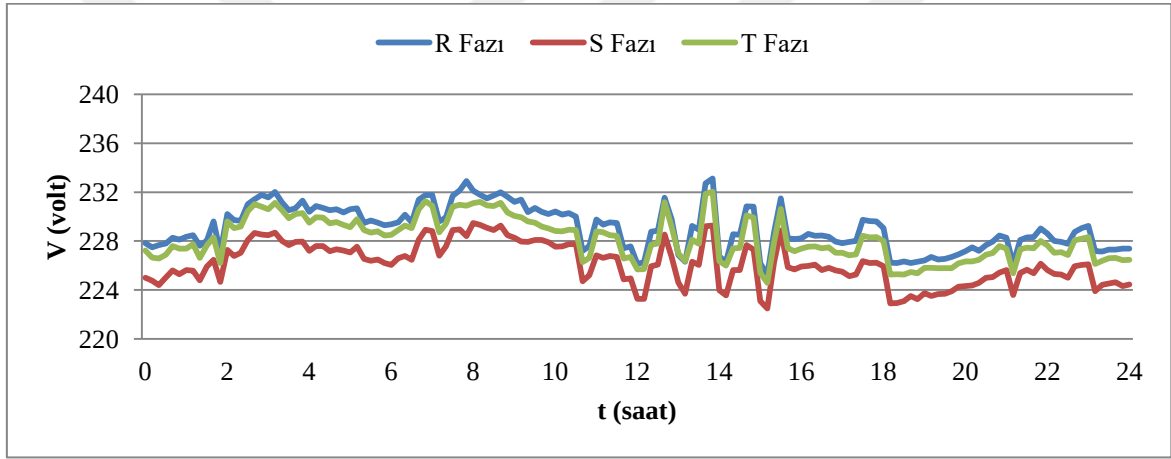
Şekil 3.11. Gerilim etkin değerinin değişimi (3. gün)



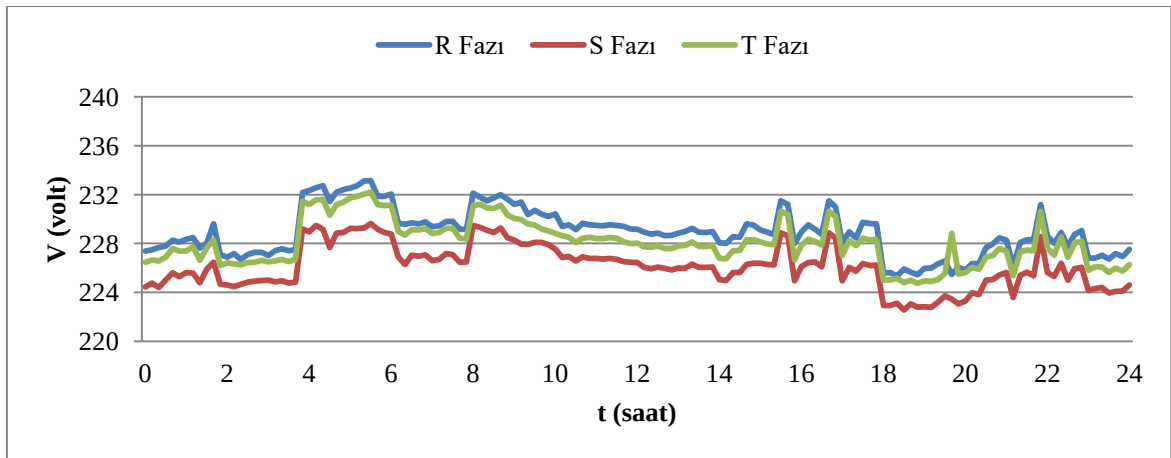
Şekil 3.12. Gerilim etkin değerinin değişimi (4. gün)



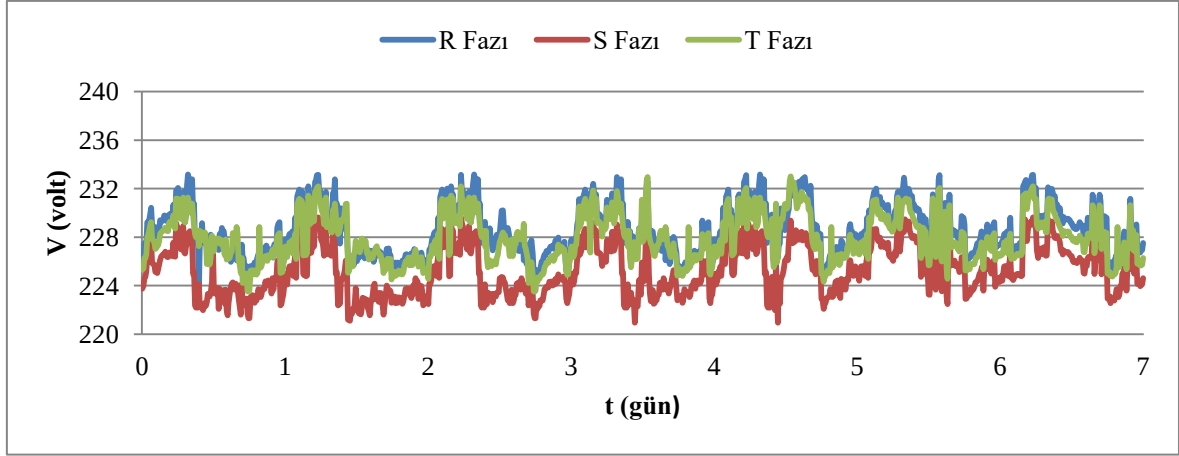
Şekil 3.13. Gerilim etkin değerinin değişimi (5. gün)



Şekil 3.14. Gerilim etkin değerinin değişimi (6. gün)



Şekil 3.15. Gerilim etkin değerinin değişimi (7. gün)



Şekil 3.16. Gerilim etkin değerinin 7 günlük değişimi

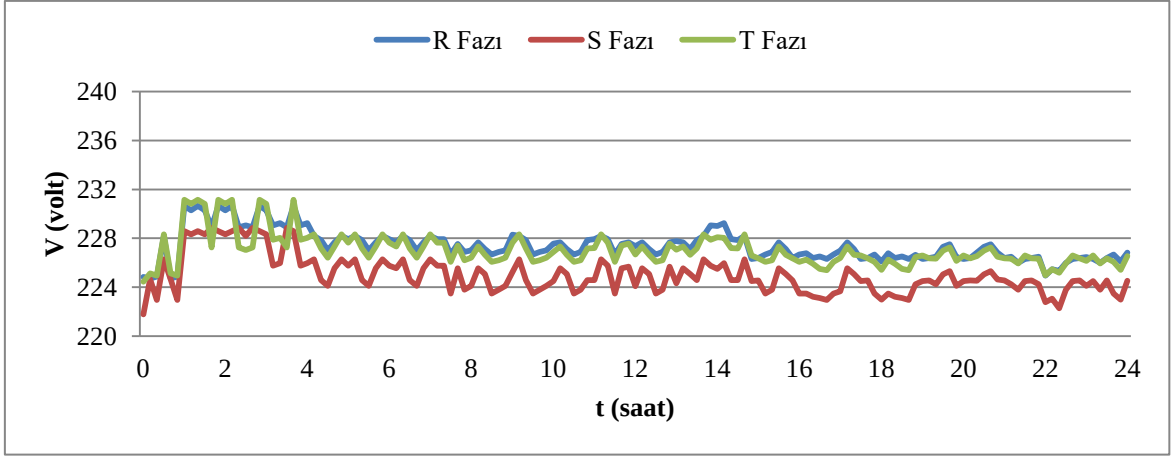
Şekil 3.9-3.15 grafikleri incelendiğinde R ve T fazlarının karakteristik olarak birbirine benzerlik gösterdiği ve etkin değerlerinin yaklaşık olarak birbirine eşit, S fazının ise karakteristik olarak diğer 2 faz ile benzer olduğu fakat etkin değerinin ise R ve T fazlarından 2,5 volt kadar daha düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 3.16'ya göre, İdari Bina ölçüm noktasına ait 7 gün boyunca 10'ar dakika aralıklarla 3 faza ait gerilimin etkin değerleri incelendiğinde, ölçüm süresi boyunca R fazında ölçülen gerilimin minimum değeri 1. gün saat 09:30'da ölçülmüş, değeri 223,27 volt, maksimum değeri 1. gün saat 07:40'da ölçülmüş, değeri 233,16 volt, 7 günün ortalama değeri 228,53 volt; S fazında ölçülen gerilimin minimum değeri 4. gün saat 10:40'ta ölçülmüş, değeri 220,96 volt, maksimum değeri 2. gün saat 05:30'da ölçülmüş, değeri 229,63 volt, 7 günün ortalama değeri 225,28 volt; T fazında ölçülen gerilimin minimum değeri 1. gün saat 17:50'de ölçülmüş, değeri 223,52 volt, maksimum değeri 5. gün saat 12:50'de ölçülmüş, değeri 233,02 volt, 7 günün ortalama değeri 227,9 volt'tur.

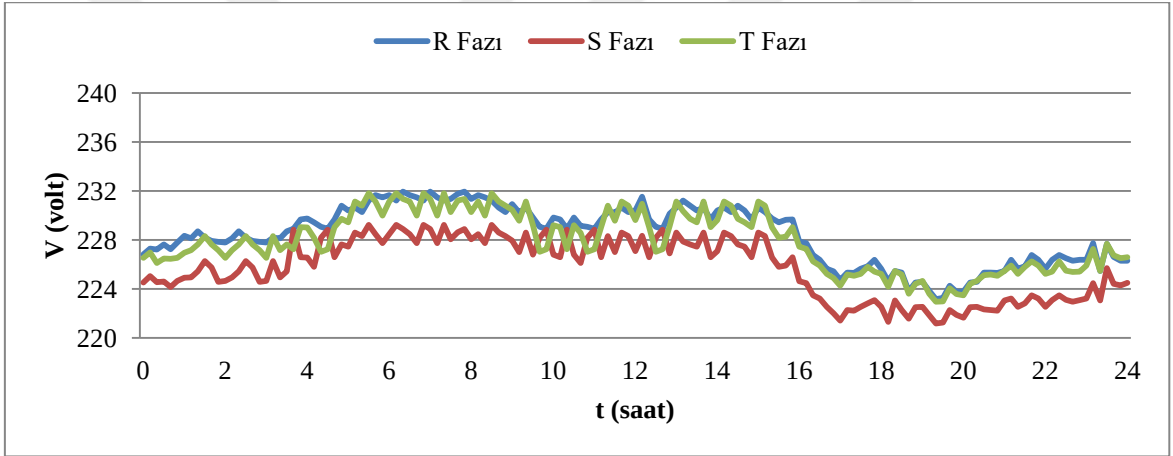
Her faz için ölçülen gerilimlerin etkin değerinin TS EN 50160 standardında belirtilen sınır değerleri arasında kaldığı görülmüştür (TS EN 50160 standardı: 207-253 volt).

3.1.1.1.3. Isı merkezi hizmet binası

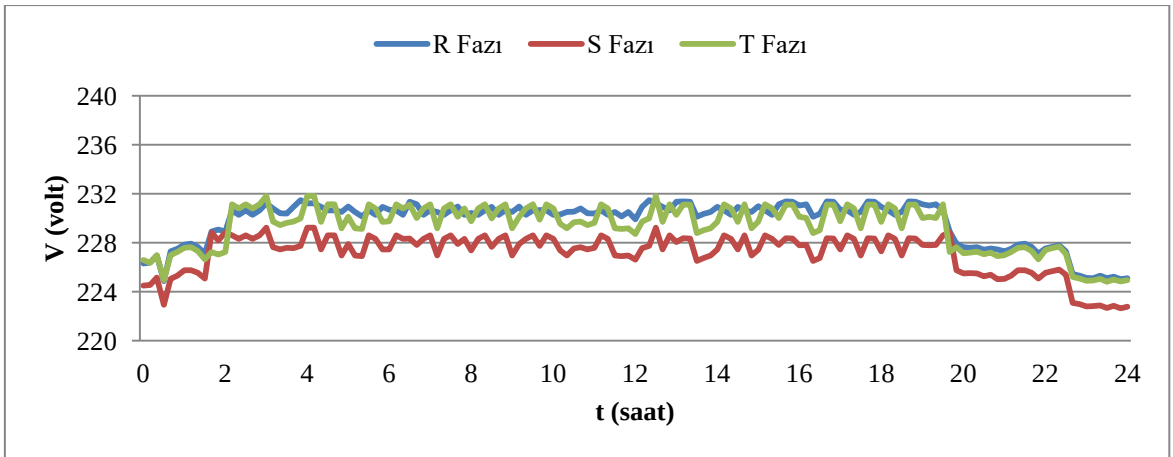
Şekil 3.17-3.23 arasında her güne ait gerilim etkin değerinin değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.24'te ise 7 günlük gerilim etkin değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



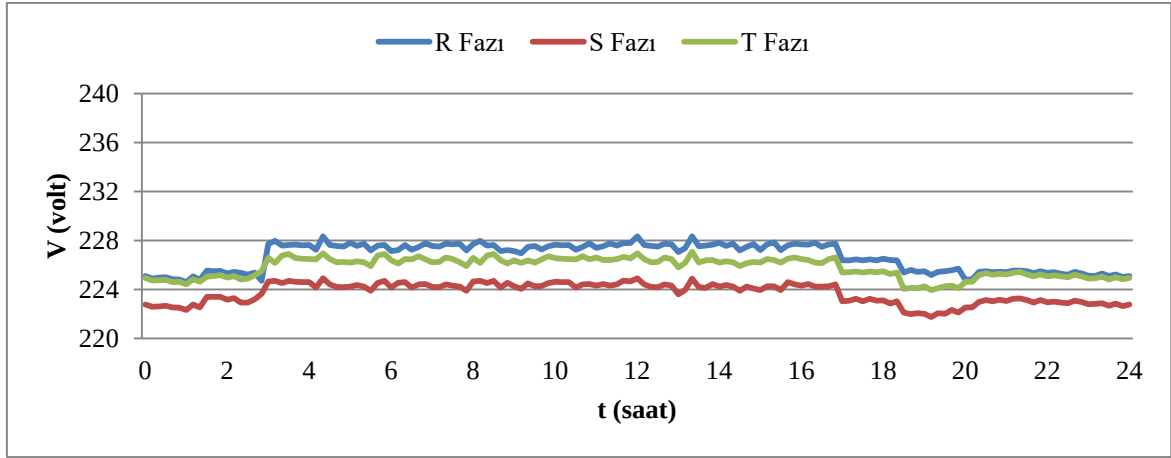
Şekil 3.17. Gerilim etkin değerinin değişimi (1. gün)



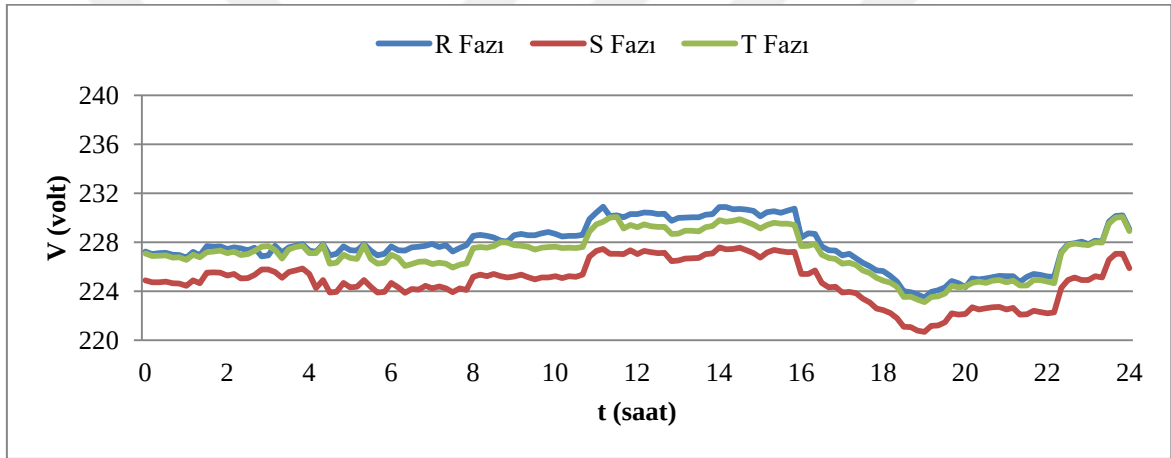
Şekil 3.18. Gerilim etkin değerinin değişimi (2. gün)



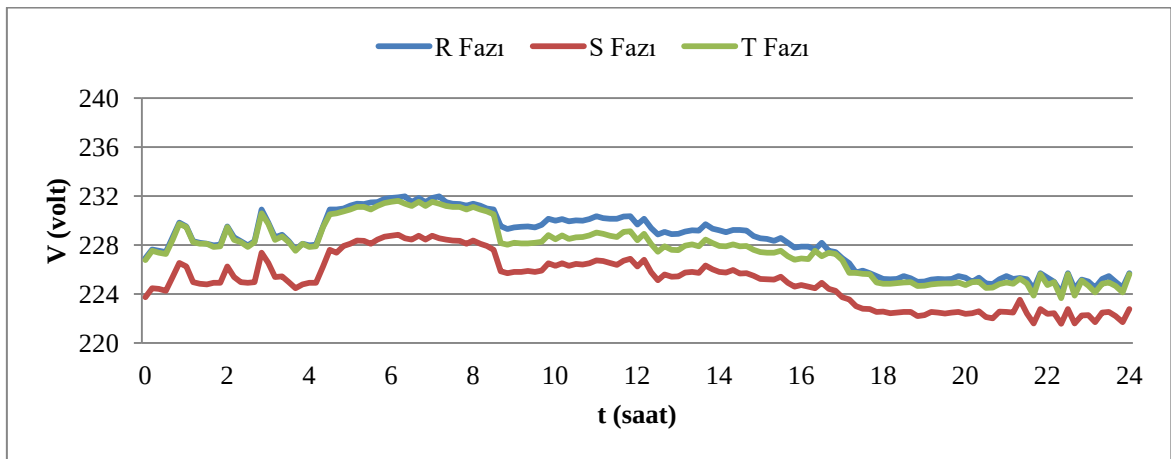
Şekil 3.19. Gerilim etkin değerinin değişimi (3. gün)



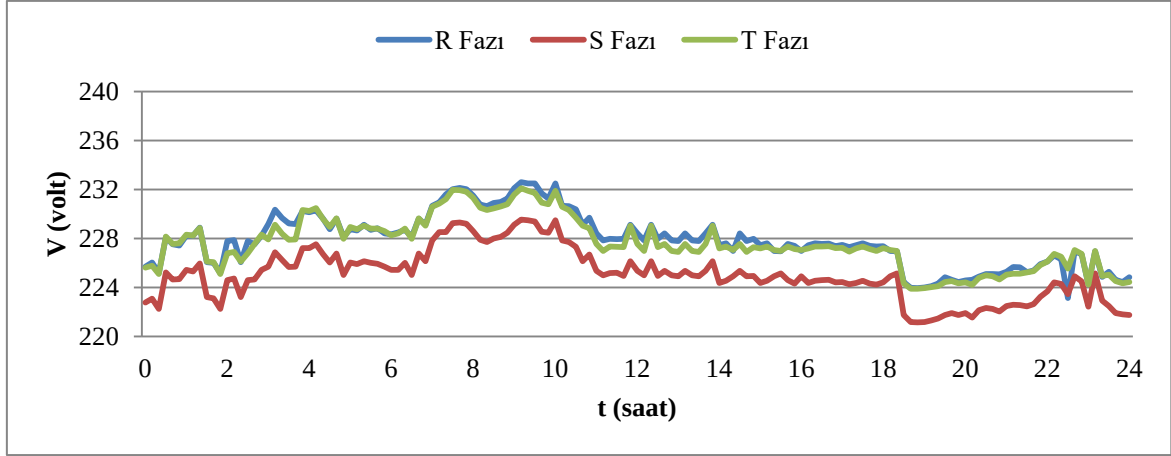
Şekil 3.20. Gerilim etkin değerinin değişimi (4. gün)



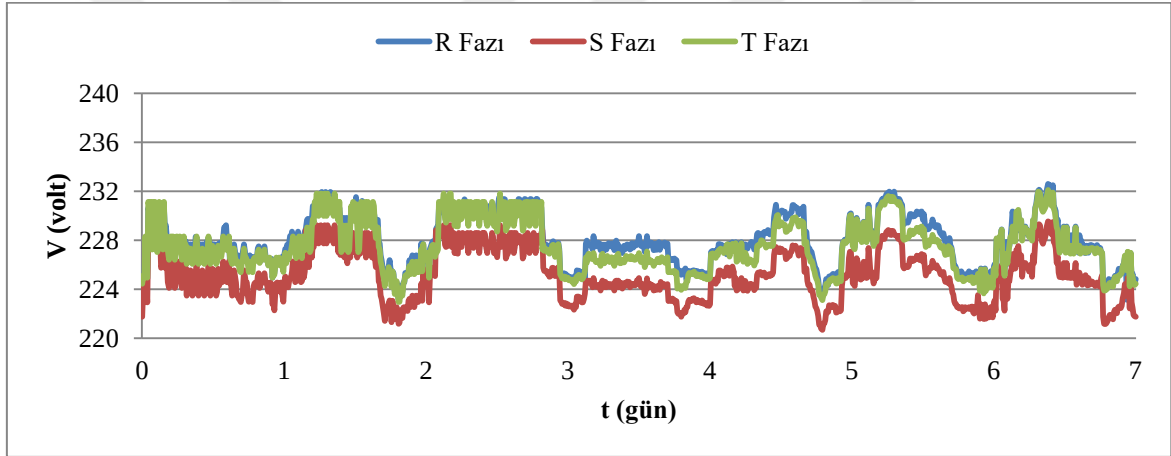
Şekil 3.21. Gerilim etkin değerinin değişimi (5. gün)



Şekil 3.22. Gerilim etkin değerinin değişimi (6. gün)



Şekil 3.23. Gerilim etkin değerinin değişimi (7. gün)



Şekil 3.24. Gerilim etkin değerinin 7 günlük değişimi

Şekil 3.17-3.23 grafikleri incelendiğinde R ve T fazlarının karakteristik olarak birbirine benzerlik gösterdiği ve etkin değerlerinin yaklaşık olarak birbirine eşit, S fazının ise karakteristik olarak diğer 2 faz ile benzer olduğu fakat etkin değerinin ise R ve T fazlarından 2,5 volt kadar daha düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 3.24'e göre, Isı Merkezi ölçüm noktasına ait 7 gün boyunca 10'ar dakika aralıklarla 3 faza ait gerilimin etkin değerleri incelendiğinde, ölçüm süresi boyunca R fazında ölçülen gerilimin minimum değeri 2. gün saat 19:20'de ölçülmüş, değeri 223,15 volt, maksimum değeri 7. gün saat 07:00'da ölçülmüş, değeri 232,6 volt, 7 günün ortalama değeri 228,03 volt; S fazında ölçülen gerilimin minimum değeri 5. gün saat 19:00'da ölçülmüş, değeri 220,69 volt, maksimum değeri 7. gün saat 09:10'da ölçülmüş, değeri 229,55 volt, 7 günün ortalama değeri 225,24 volt; T fazında ölçülen gerilimin minimum

değeri 5. gün saat 19:00'da ölçülmüş, değeri 222,97 volt, maksimum değeri 7. gün saat 09.10'da ölçülmüş, değeri 232,10 volt, 7 günün ortalama değeri 227,5 volt'tur.

Her faz için ölçülen gerilimlerin etkin değerinin TS EN 50160 standardında belirtilen sınır değerleri arasında kaldığı görülmüştür (TS EN 50160 standardı: 207-253 volt).

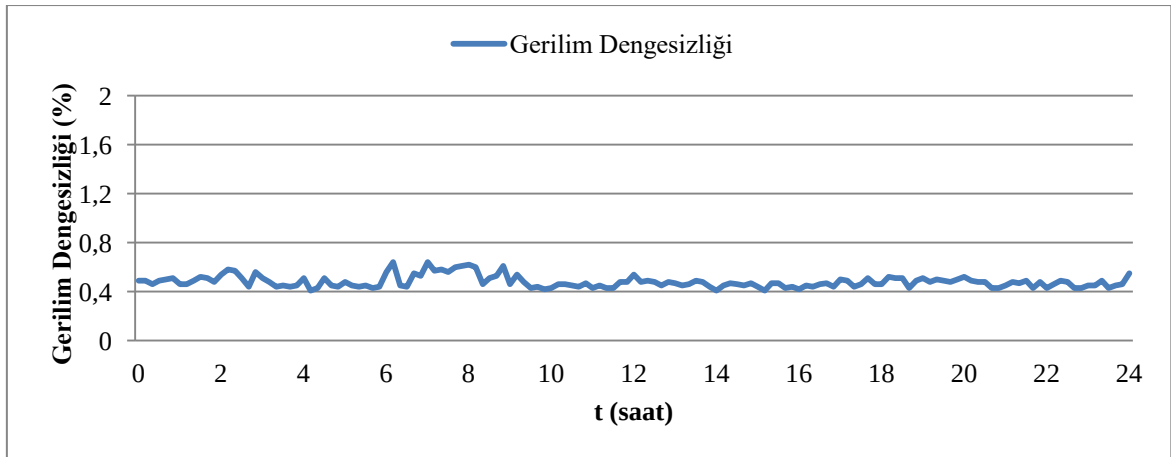
3.1.1.2. Besleme gerilimi dengesizliğindeki değişimler

TS EN 50160 standardının AG Besleme Karakteristiği bölümünün Besleme Gerilimi Dengesizliği başlığında “Normal çalışma şartları altında, bir haftalık her bir periyot boyunca besleme geriliminin negatif faz sıralı bileşeninin (temel) 10 dakikalık ortalama etkin değerlerinin %95'i, pozitif faz sıralı bileşeninin (temel) % 0 ila %2 aralığında olmalıdır.” ifadesi yer almaktadır.

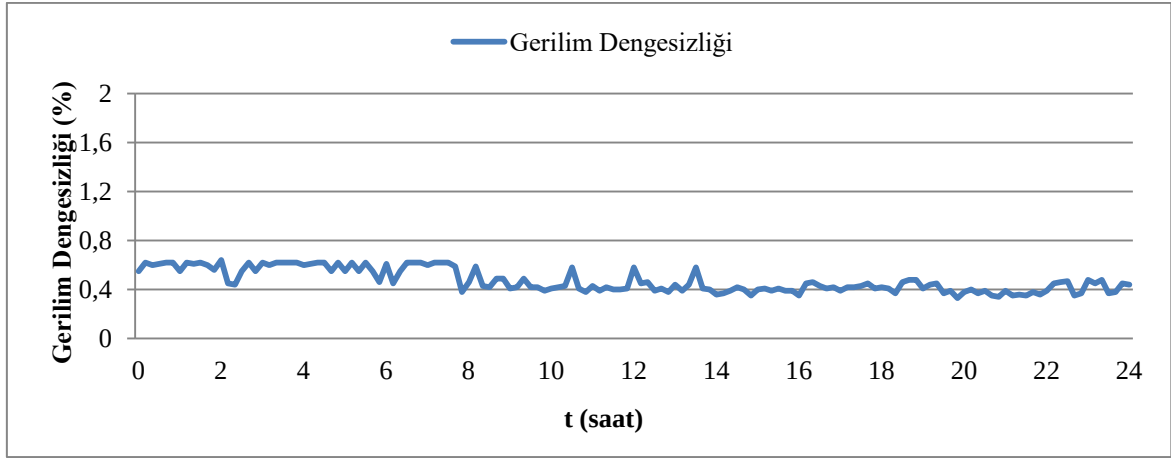
Hizmet binaları ölçüm noktalarından alınan verilerle oluşturulan grafikler pozitif faz sıralı bileşeninin sınır değerleri aralığına göre oluşturulmuştur.

3.1.1.2.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası

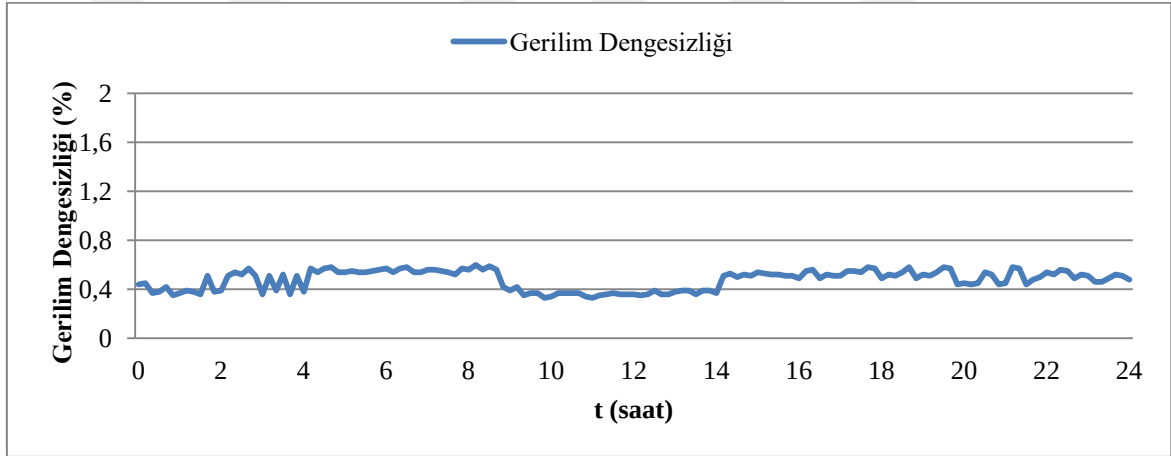
Şekil 3.25-3.31 arasında her güne ait gerilim dengesizliği değerinin değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.32'de ise 7 günlük gerilim dengesizliği değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



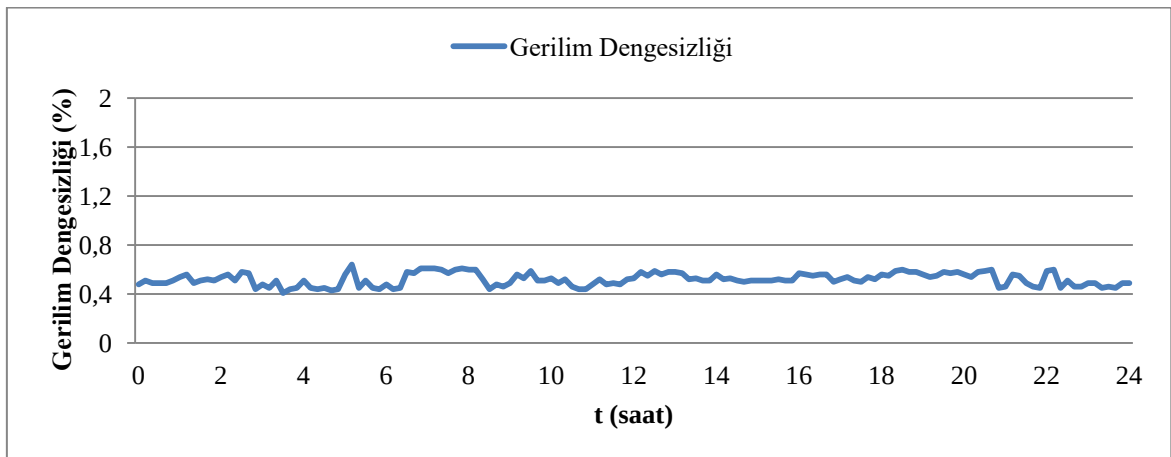
Şekil 3.25. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (1. gün)



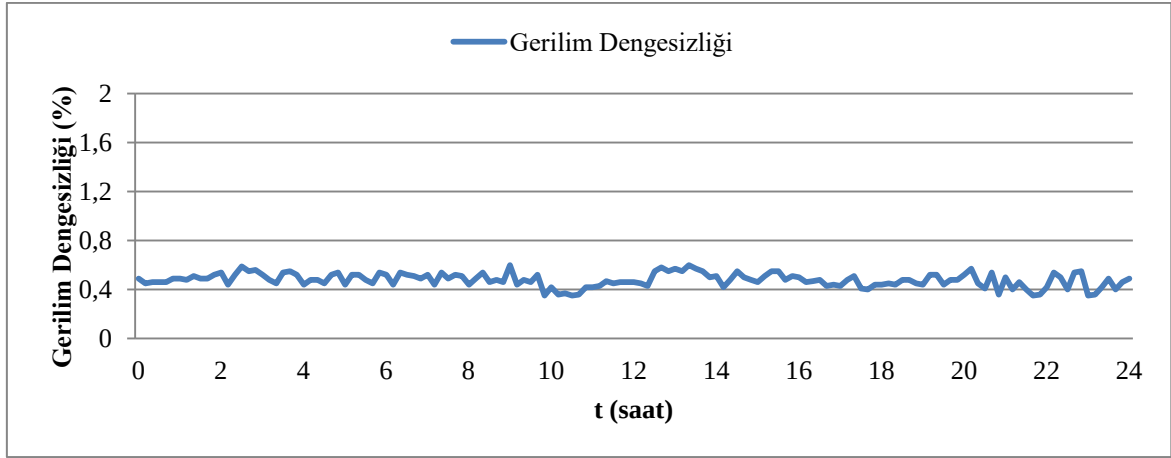
Şekil 3.26. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (2. gün)



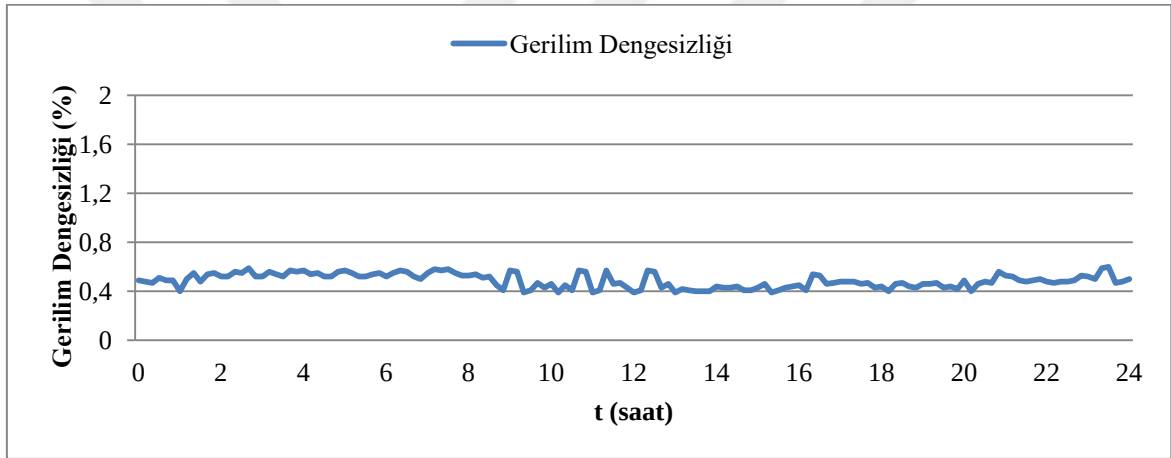
Şekil 3.27. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (3. gün)



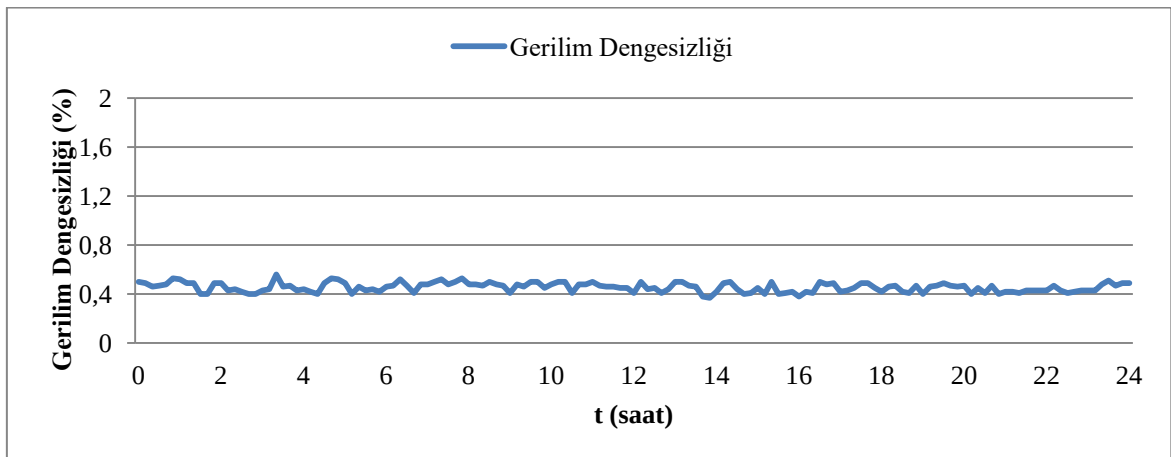
Şekil 3.28. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (4. gün)



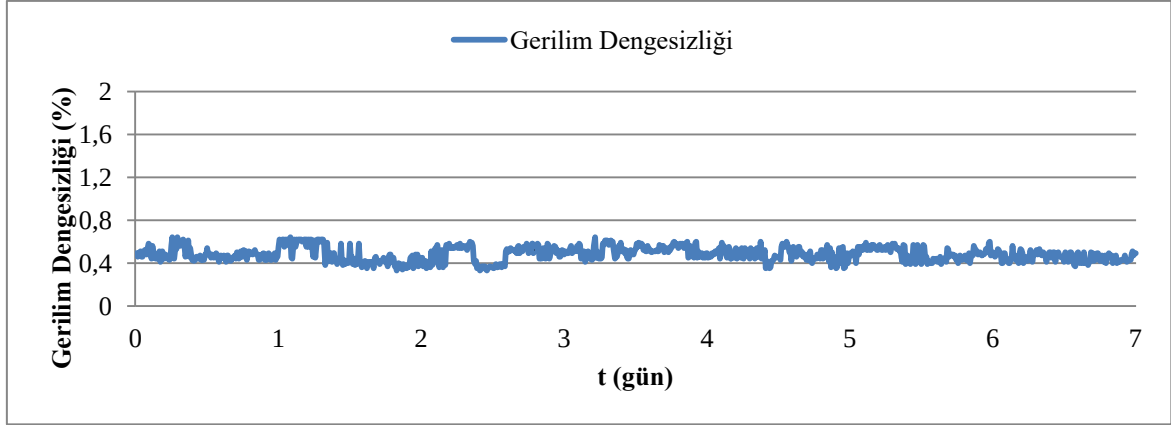
Şekil 3.29. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (5. gün)



Şekil 3.30. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (6. gün)



Şekil 3.31. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (7. gün)



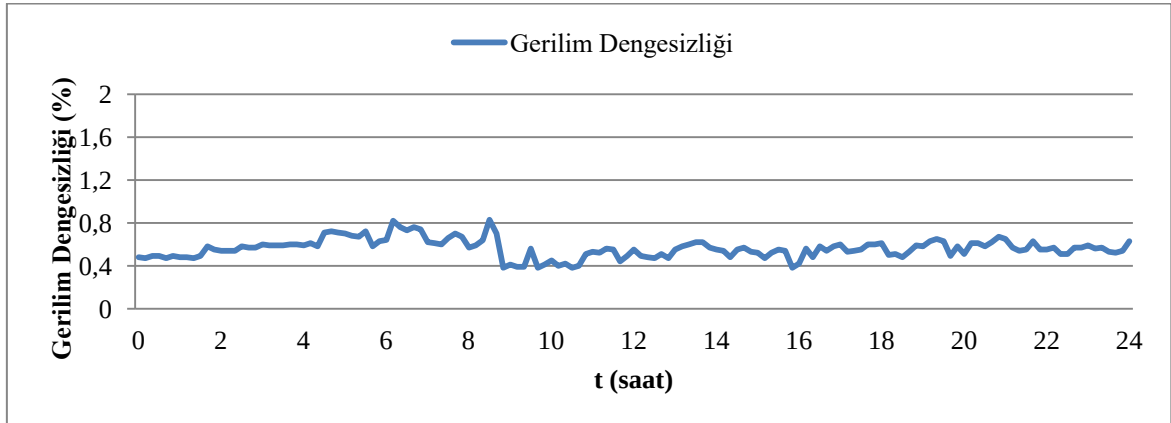
Şekil 3.32. Gerilim dengesizliği değerinin 7 günlük değişimi

Ar-Ge Laboratuvarı hizmet binasında 7 gün boyunca 10’ar dakikalık aralıklarla alınan verilerde gerilim dengesizliğinin minimum değeri 3. gün saat 09:50’de ölçülmüş, değeri %0,33, maksimum değeri 4. gün 05:10’da ölçülmüş, değeri %0,64, 7 günlük ortalama değerinin %0,48 olduğu görülmüştür.

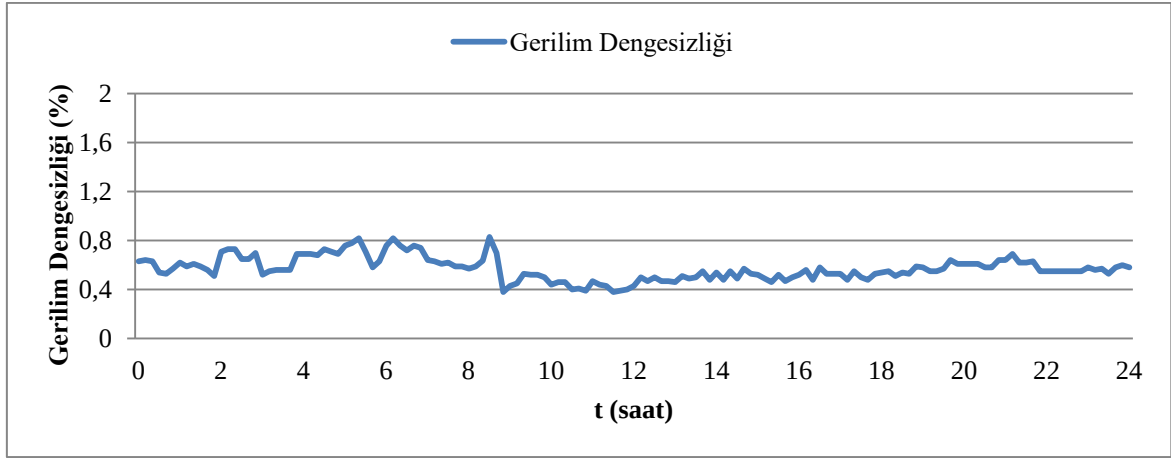
TS EN 50160 standardına göre Ar-Ge Laboratuvarı için gerilim dengesizliği değerlerinin standartta belirtilen %2 sınır değerini aşmadığı görülmüştür.

3.1.1.2.2. İdari birimler hizmet binası

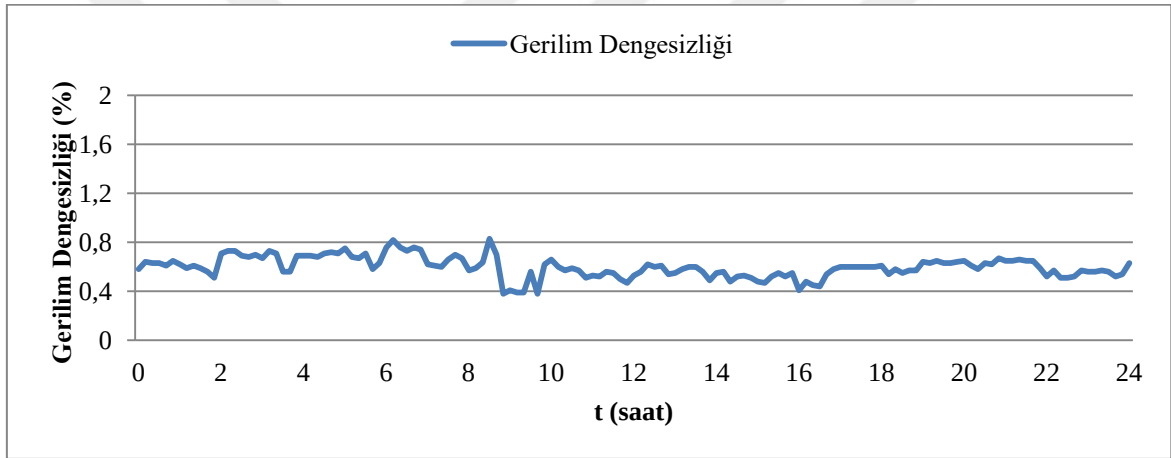
Şekil 3.33-3.39 arasında her güne ait gerilim dengesizliği değerinin değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.40’da ise 7 günlük gerilim dengesizliği değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



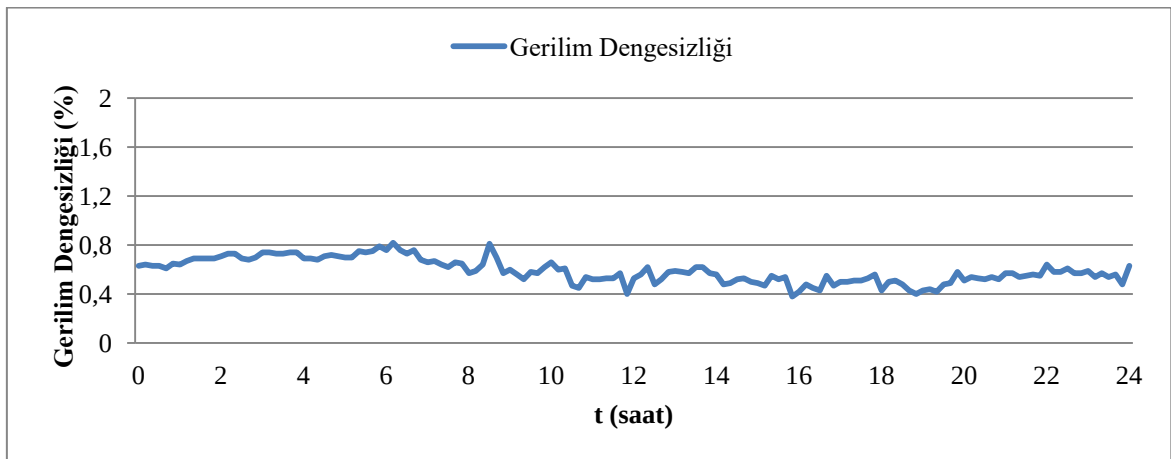
Şekil 3.33. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (1. gün)



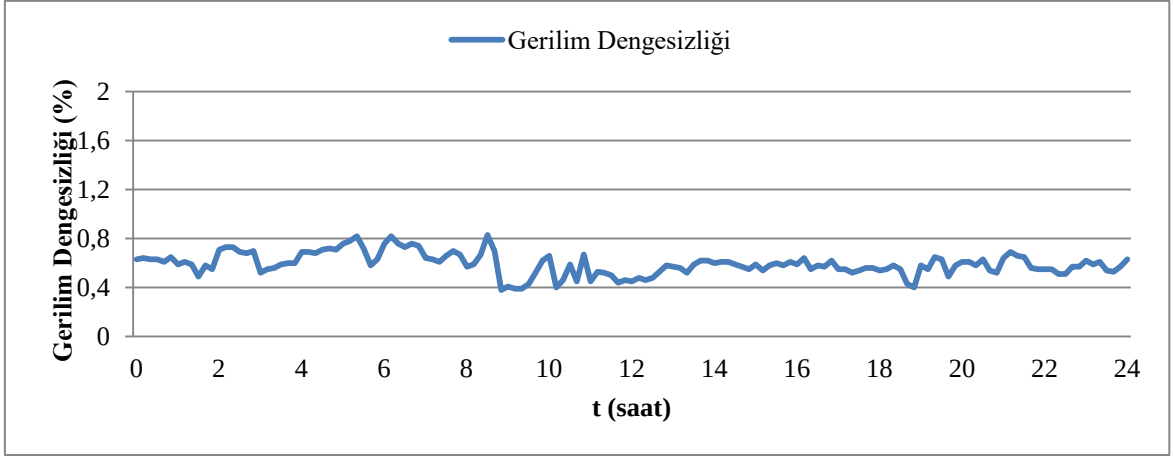
Şekil 3.34. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (2. gün)



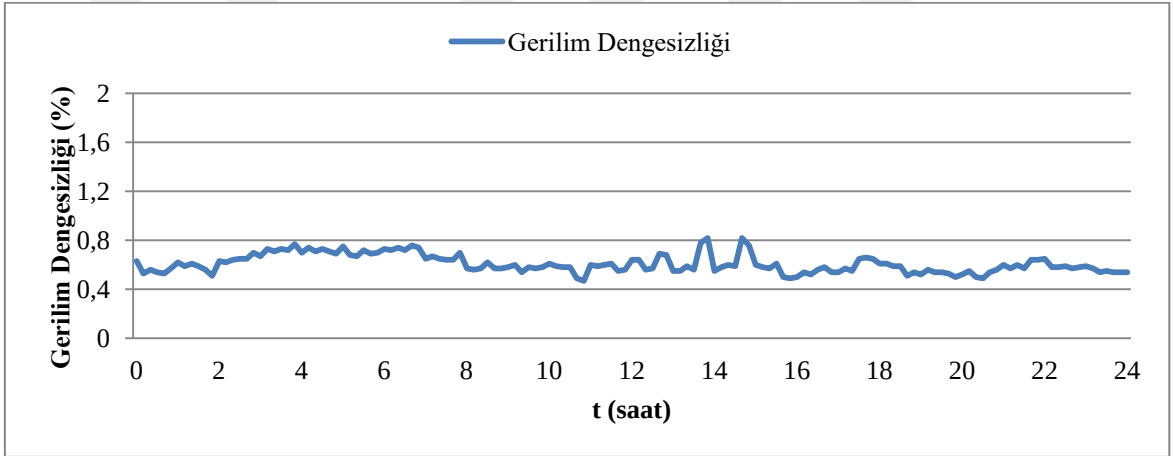
Şekil 3.35. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (3. gün)



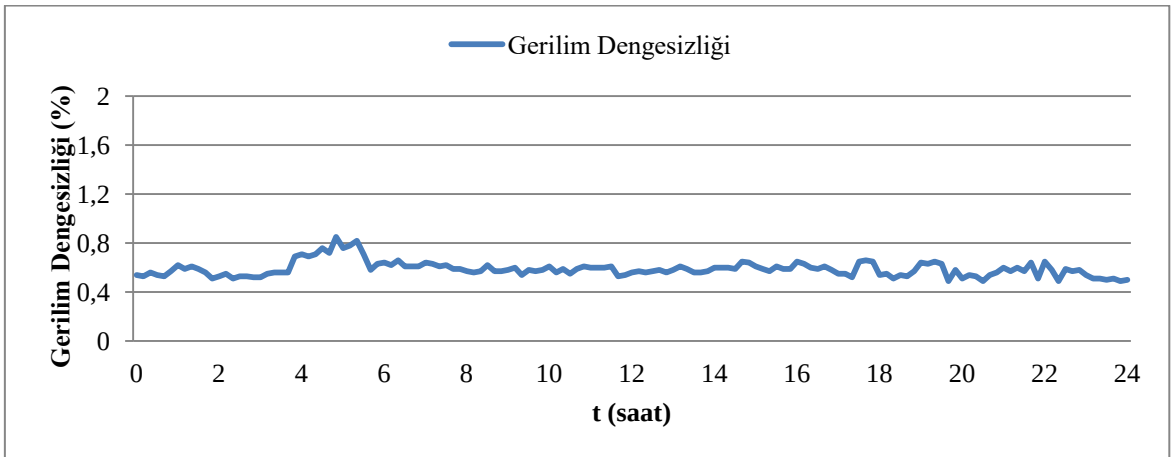
Şekil 3.36. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (4. gün)



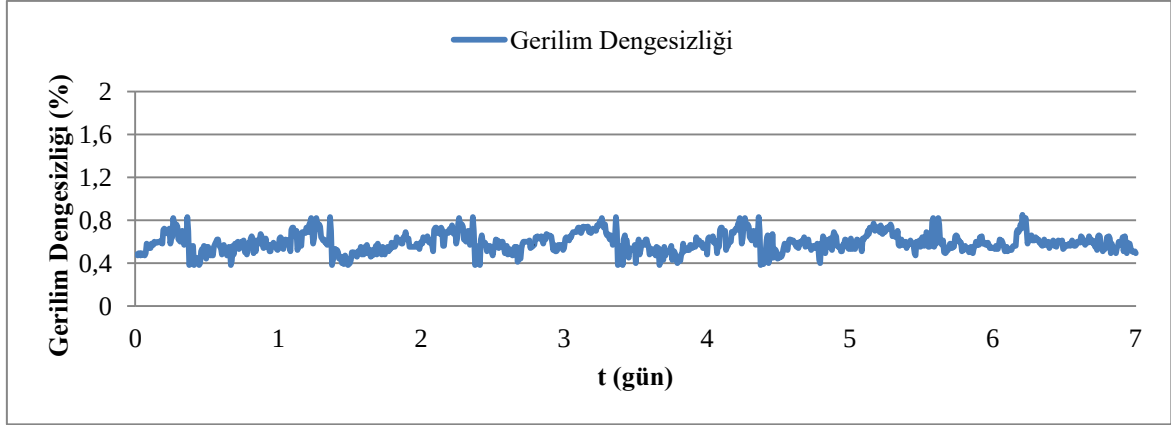
Şekil 3.37. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (5. gün)



Şekil 3.38. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (6. gün)



Şekil 3.39. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (7. gün)



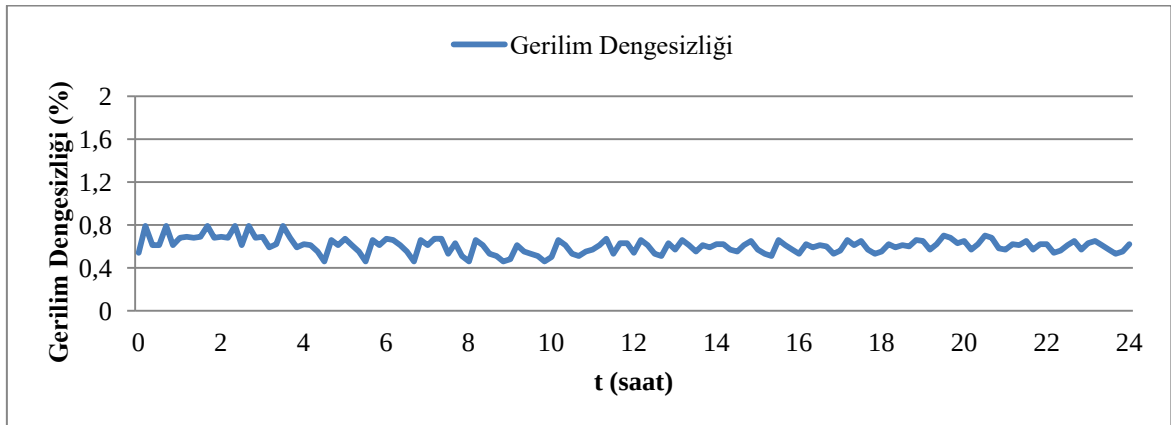
Şekil 3.40. Gerilim dengesizliği değerinin 7 günlük değişimi

İdari Birimler hizmet binasında 7 gün boyunca 10’ar dakikalık aralıklarla alınan verilerde gerilim dengesizliğinin minimum değeri 1. gün saat 08:50’de ölçülmüş, değeri %0,38, maksimum değeri 7. gün saat 04:50’de ölçülmüş, değeri %0,85, 7 günlük ortalama değerinin %0,59 olduğu görülmüştür.

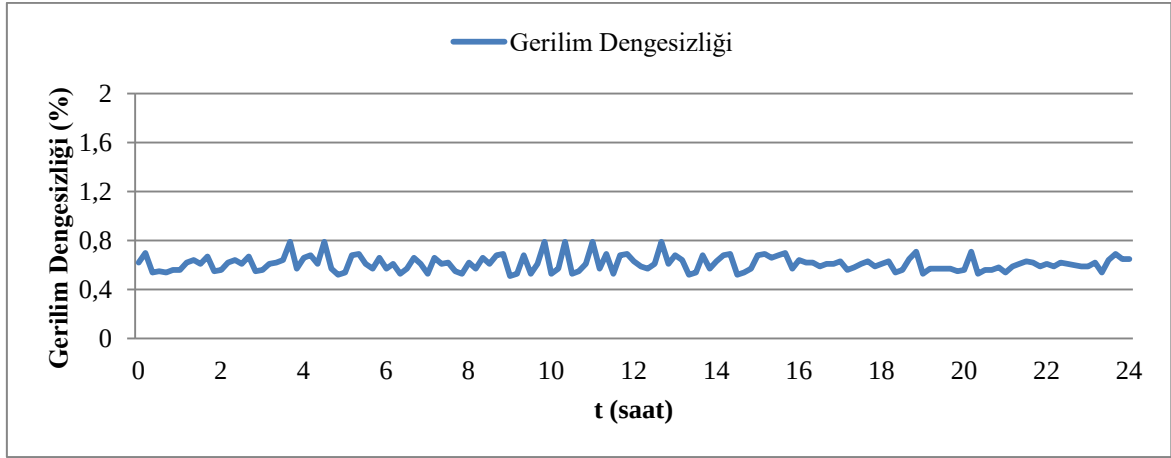
TS EN 50160 standardına göre İdari Birimler Hizmet binası için gerilim dengesizliği değerlerinin standartta belirtilen %2 sınır değerini aşmadığı görülmüştür.

3.1.1.2.3. Isı merkezi hizmet binası

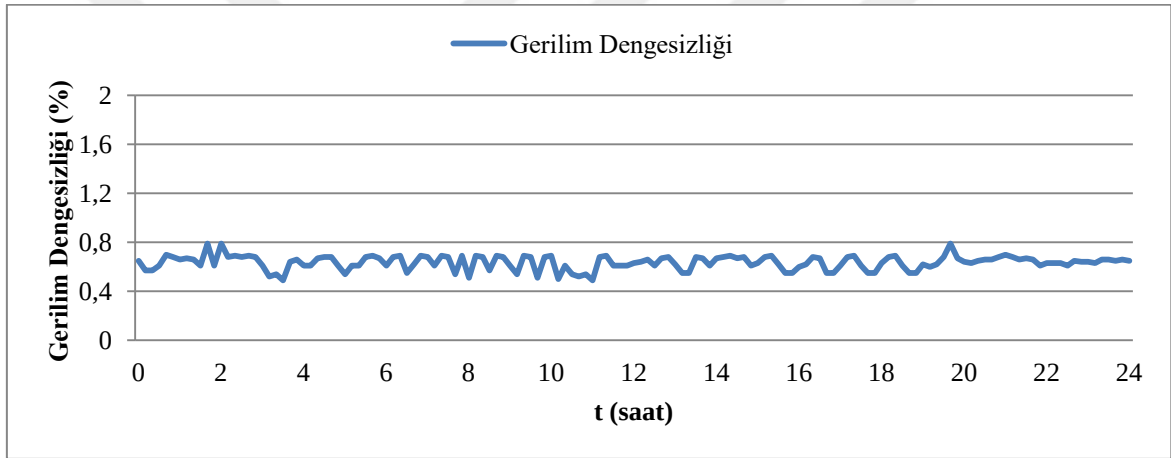
Şekil 3.41-3.47 arasında her güne ait gerilim dengesizliği değerinin değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.48’de ise 7 günlük gerilim dengesizliği değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



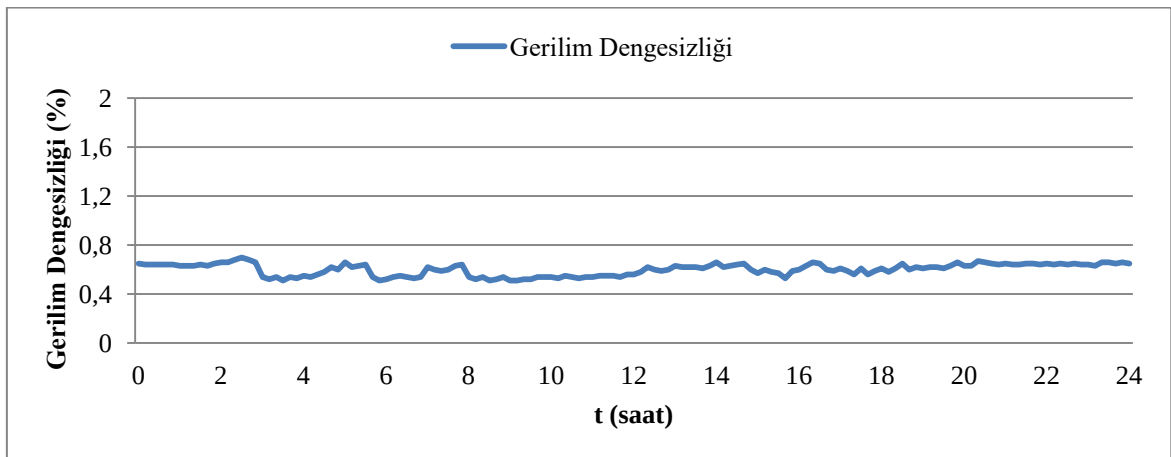
Şekil 3.41. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (1. gün)



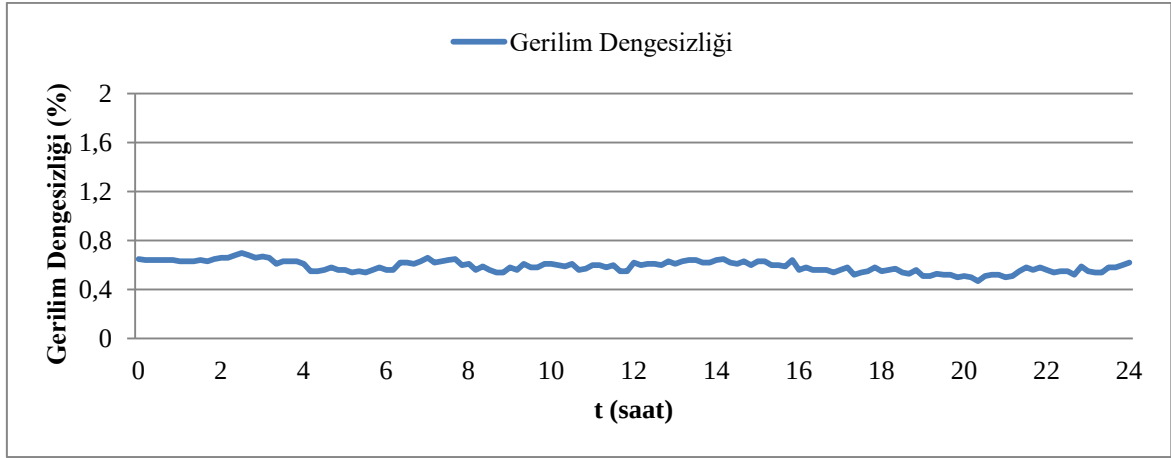
Şekil 3.42. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (2. gün)



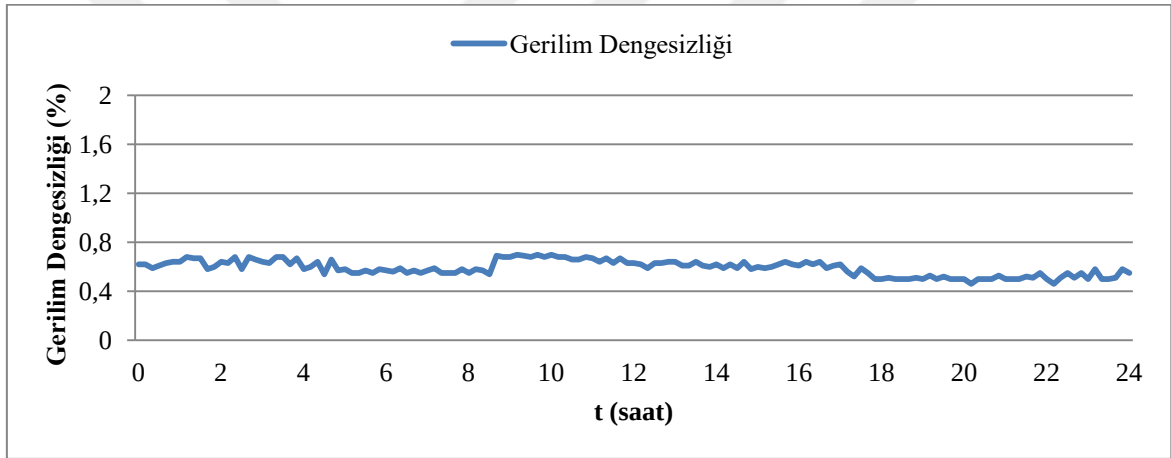
Şekil 3.43. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (3. gün)



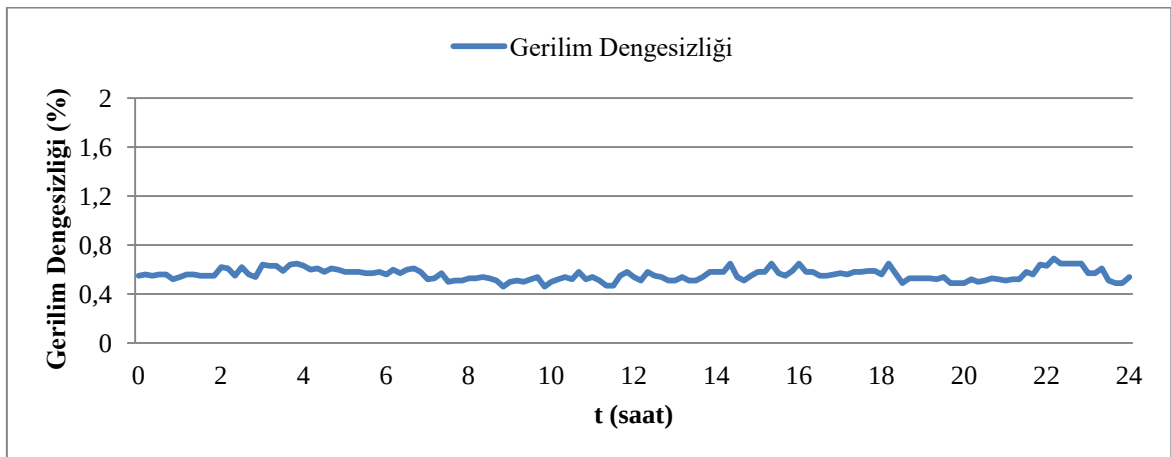
Şekil 3.44. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (4. gün)



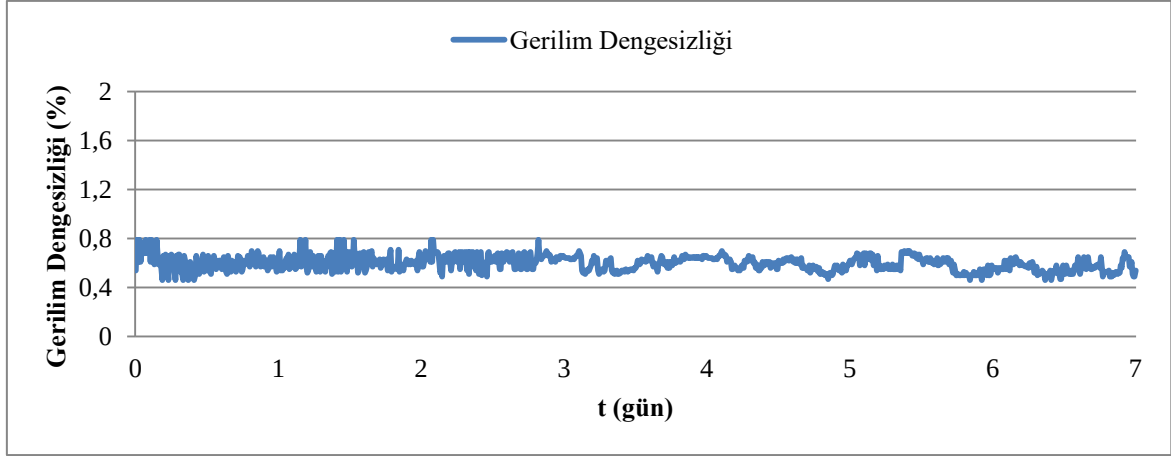
Şekil 3.45. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (5. gün)



Şekil 3.46. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (6. gün)



Şekil 3.47. Gerilim dengesizliği değerinin değişimi (7. gün)



Şekil 3.48. Gerilim dengesizliği değerinin 7 günlük değişimi

Isı Merkezi Hizmet Binasında 7 gün boyunca 10’ar dakikalık aralıklarla alınan verilerde gerilim dengesizliğinin minimum değeri 1. gün saat 04:30’da ölçülmüş, değeri %0,46, maksimum değeri 2. gün saat 03.40’ta ölçülmüş, değeri %0,79, 7 günlük ortalama değerinin %0,60 olduğu görülmüştür.

TS EN 50160 standardına göre Isı Merkezi için gerilim dengesizliği değerlerinin standartta belirtilen %2 sınır değerini aşmadığı görülmüştür.

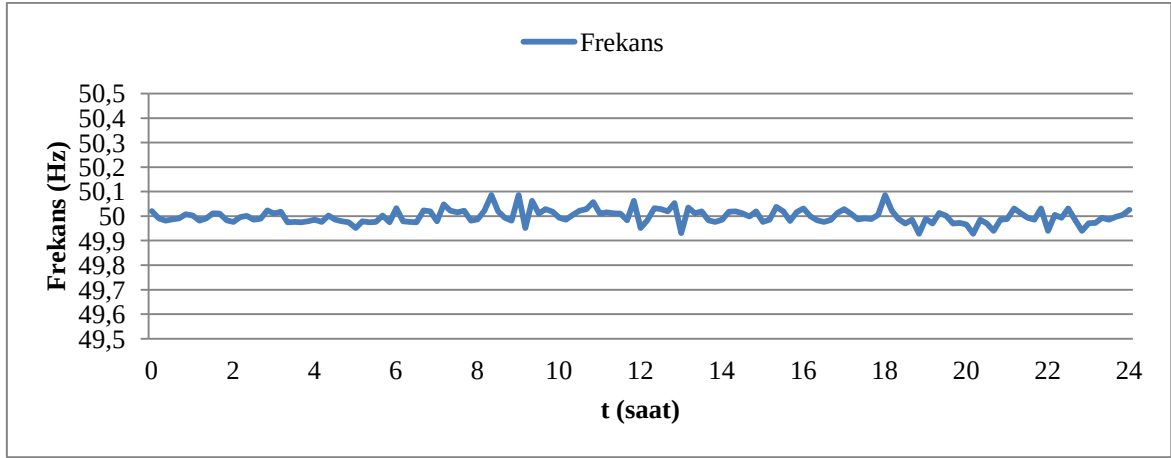
3.1.1.3. Frekans değerindeki değişimler

TS EN 50160 standardının AG besleme karakteristikleri bölümünün frekans başlığı altında “Besleme geriliminin anma frekansı 50 Hz olması gerektiği, ölçümü yapılan temel frekansın ortalama değerinin enterkonnekte sisteme senkron bağlantılı sistemler için bir haftanın %99,5’i boyunca 50 Hz değerinin $\pm$ % 1 (49,5 Hz....50,5 Hz) olması gerektiği belirtilmiştir.

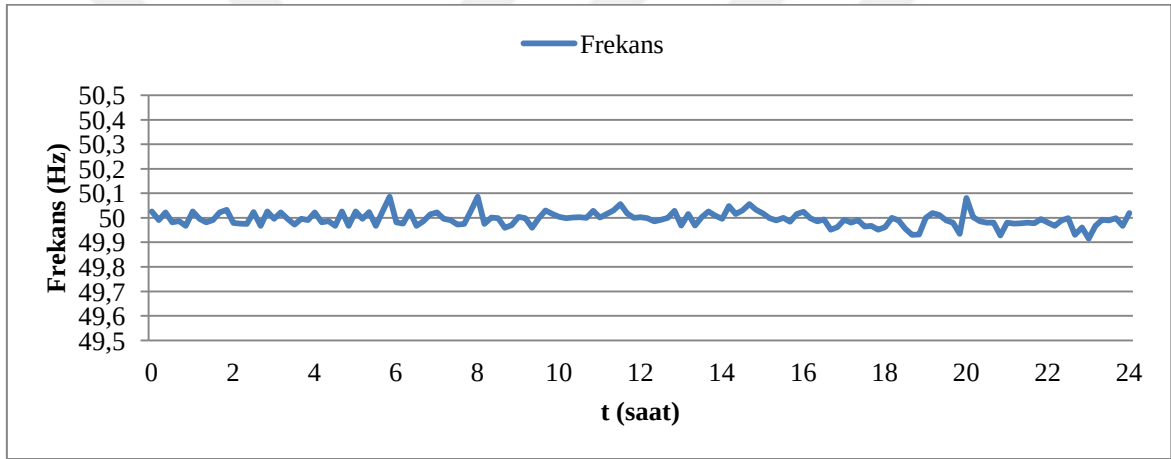
Hizmet binaları ölçüm noktalarından alınan verilerle oluşturulan grafikler TS EN 50160 standardında belirtilen sınır değerlerine göre oluşturulmuştur.

3.1.1.3.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası

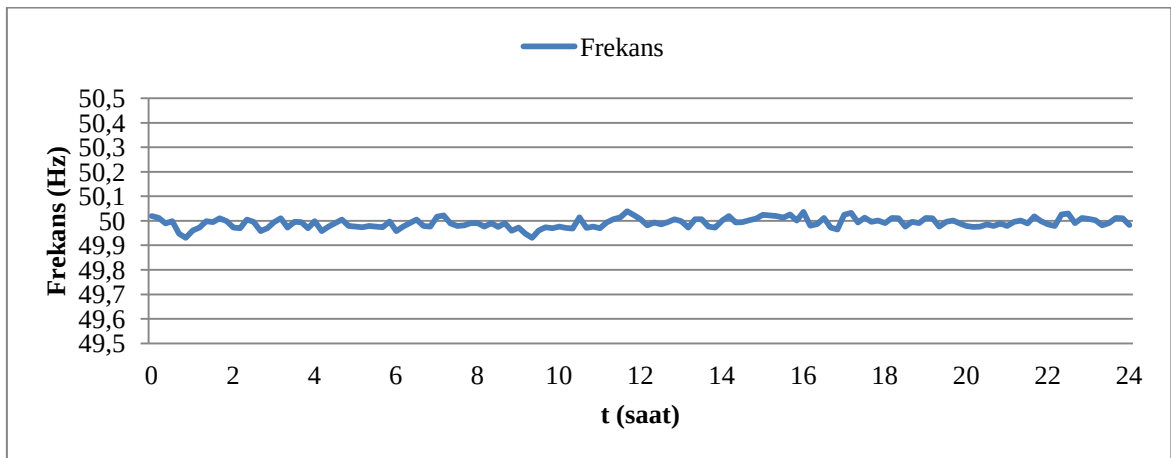
Şekil 3.49-3.55 arasında her güne ait frekans değerinin değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.56’da ise 7 günlük frekans değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



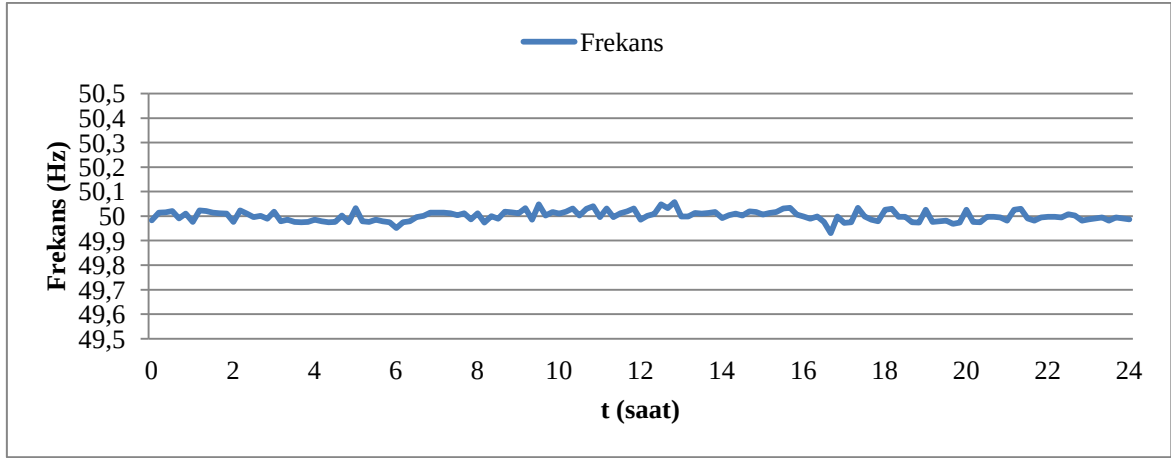
Şekil 3.49. Frekans değerinin değişimi (1. gün)



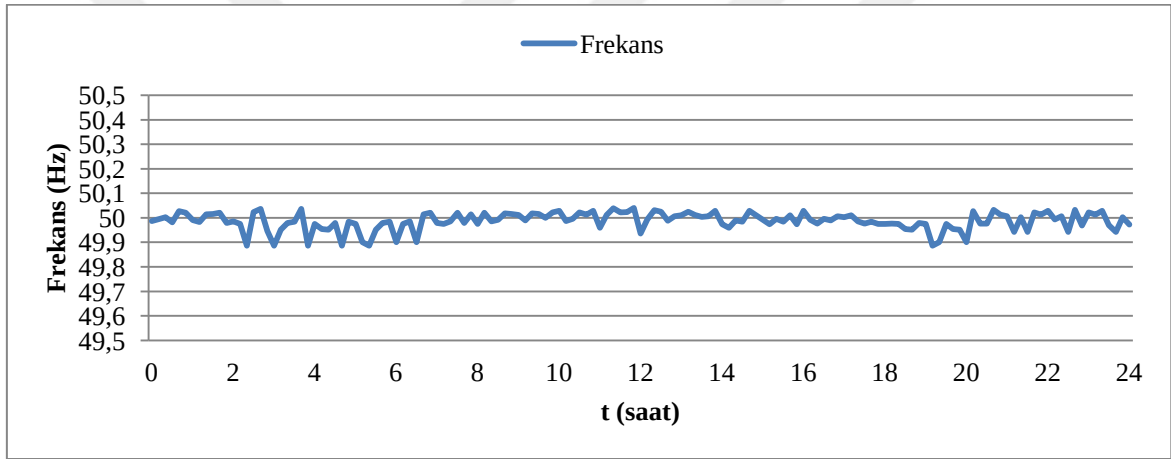
Şekil 3.50. Frekans değerinin değişimi (2. gün)



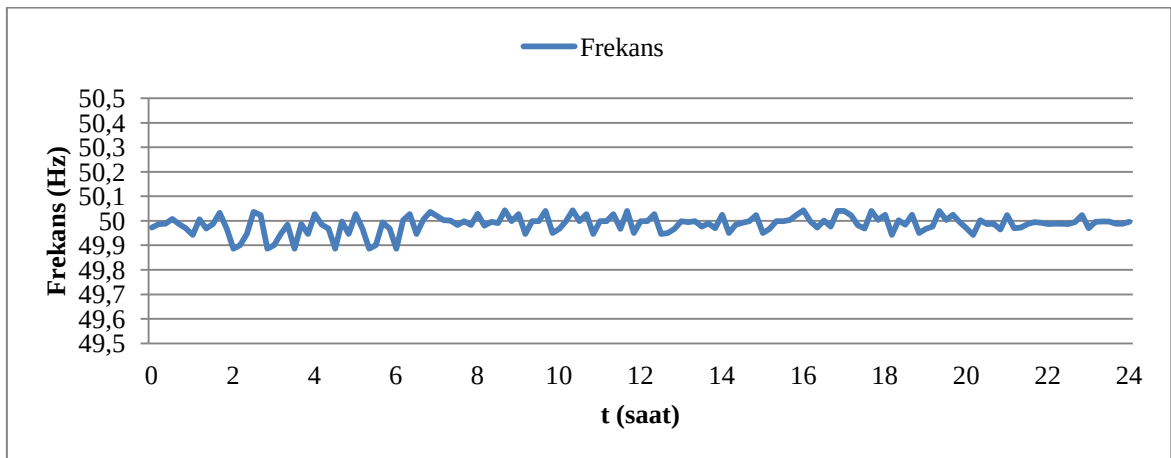
Şekil 3.51. Frekans değerinin değişimi (3. gün)



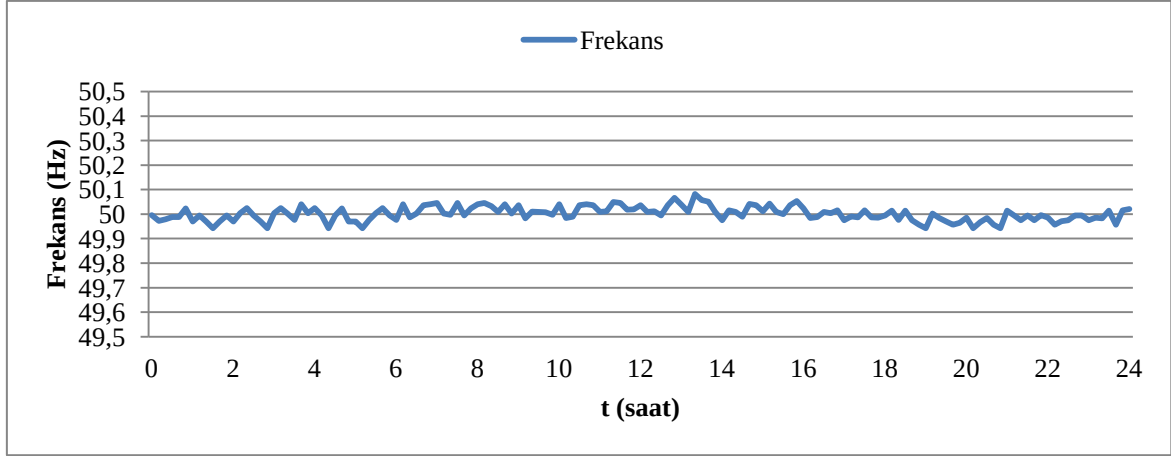
Şekil 3.52. Frekans değerinin değişimi (4. gün)



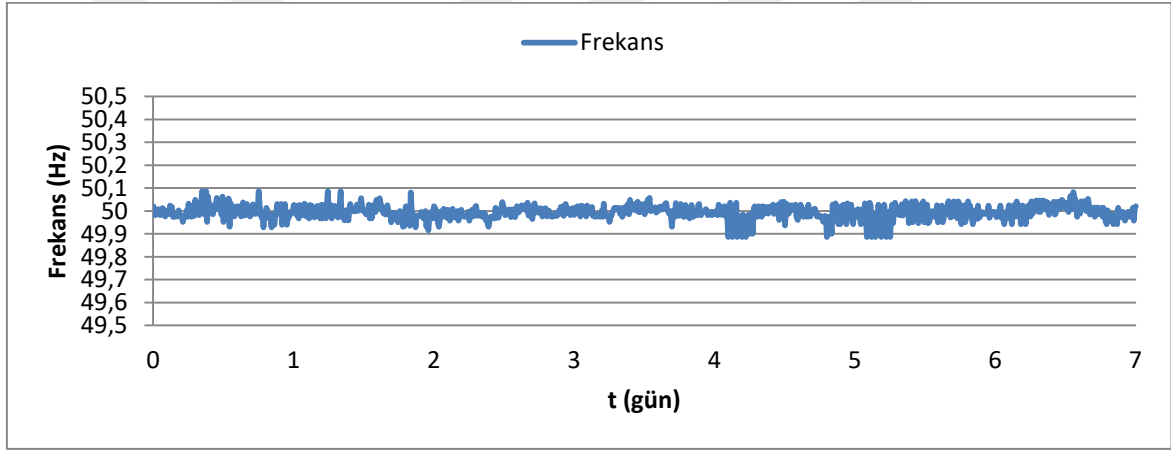
Şekil 3.53. Frekans değerinin değişimi (5. gün)



Şekil 3.54. Frekans değerinin değişimi (6. gün)



Şekil 3.55. Frekans değerinin değişimi (7. gün)



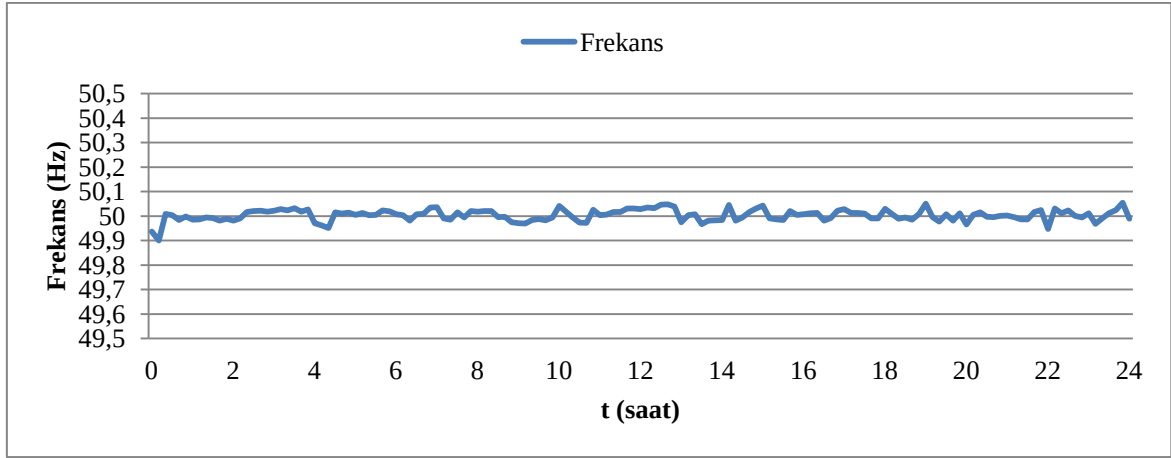
Şekil 3.56. Frekans değerinin 7 günlük değişimi

Şekil 3-56'a göre 7 günlük frekans değerinin değişimi incelendiğinde frekansın minimum değerinin 49,886 Hz, maksimum değerinin 50,086 Hz, 7 günlük ortalama değerinin 49,994 Hz olduğu görülmüştür.

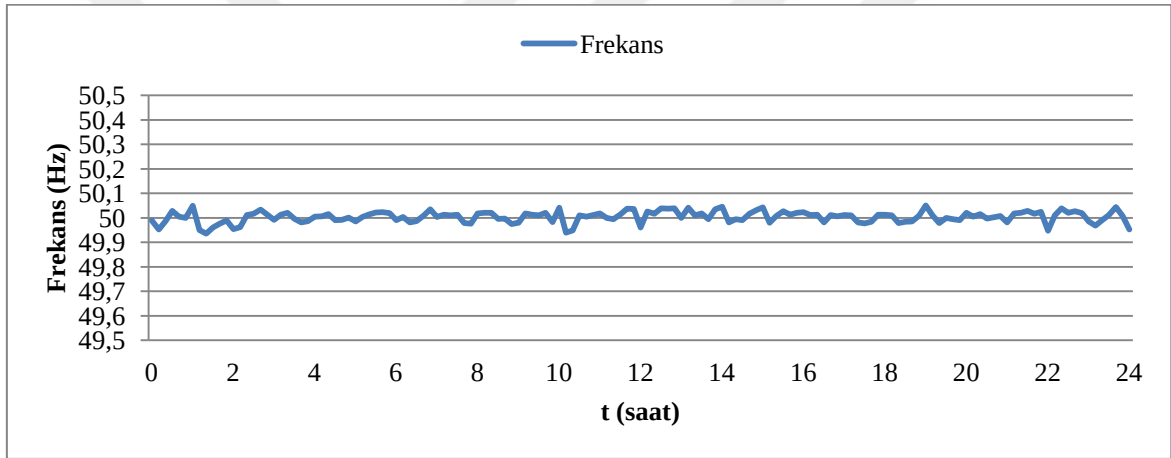
TS EN 50160 standardına göre Ar-Ge Laboratuvarı için frekans değerinin değişimi standartta belirlenen sınır değerleri aralığındadır.

3.1.1.3.2. İdari birimler hizmet binası

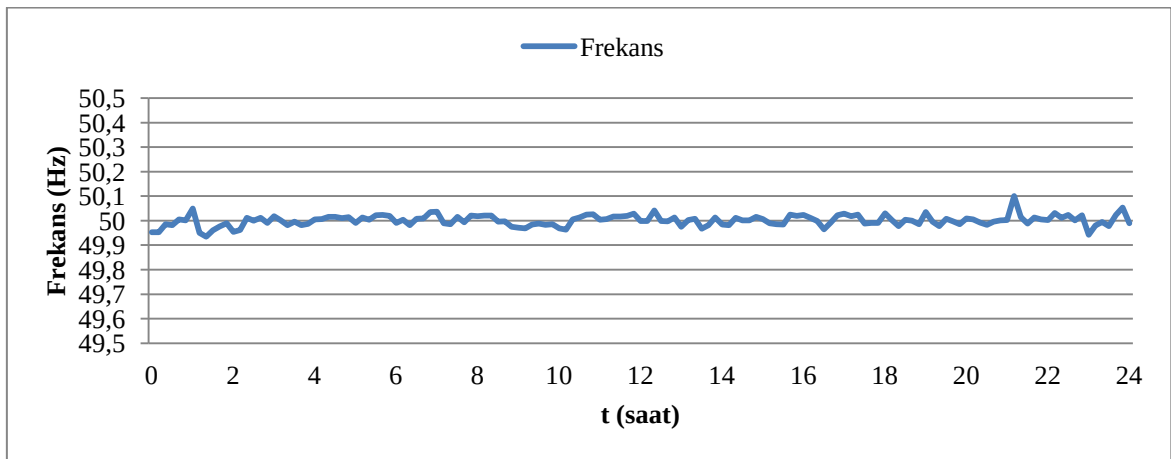
Şekil 3.57-3.63 arasında her güne ait frekans değerinin değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.64'de ise 7 günlük frekans değeri değişiminin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



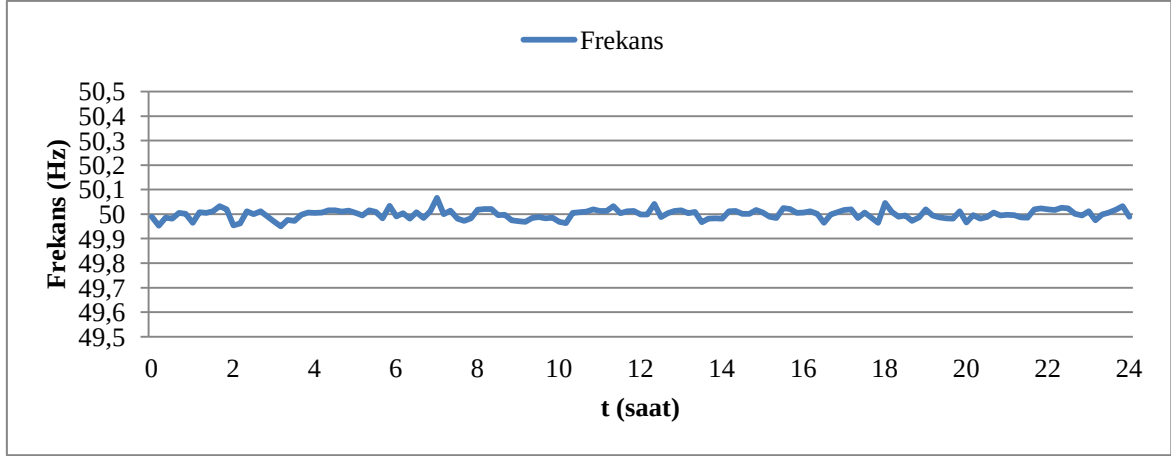
Şekil 3.57. Frekans değerinin değişimi (1. gün)



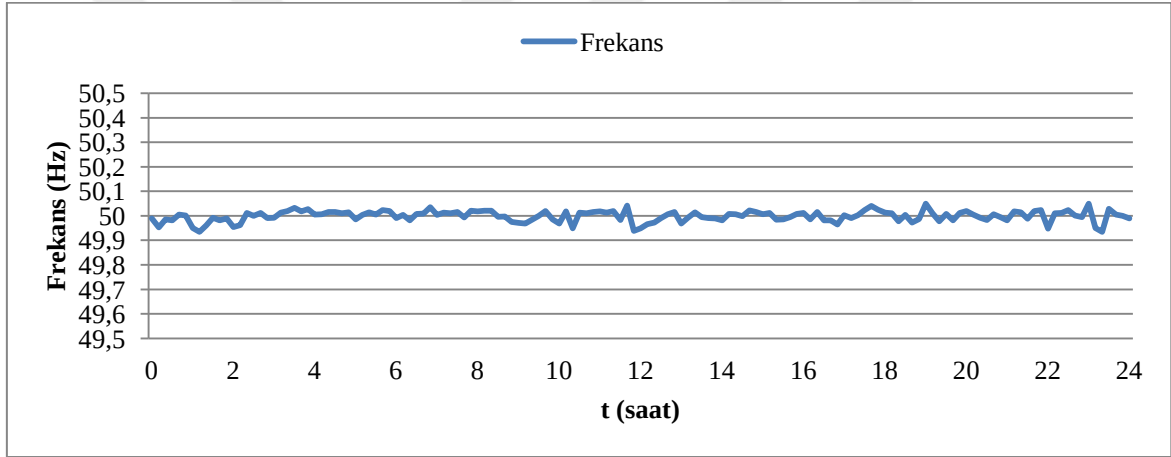
Şekil 3.58. Frekans değerinin değişimi (2. gün)



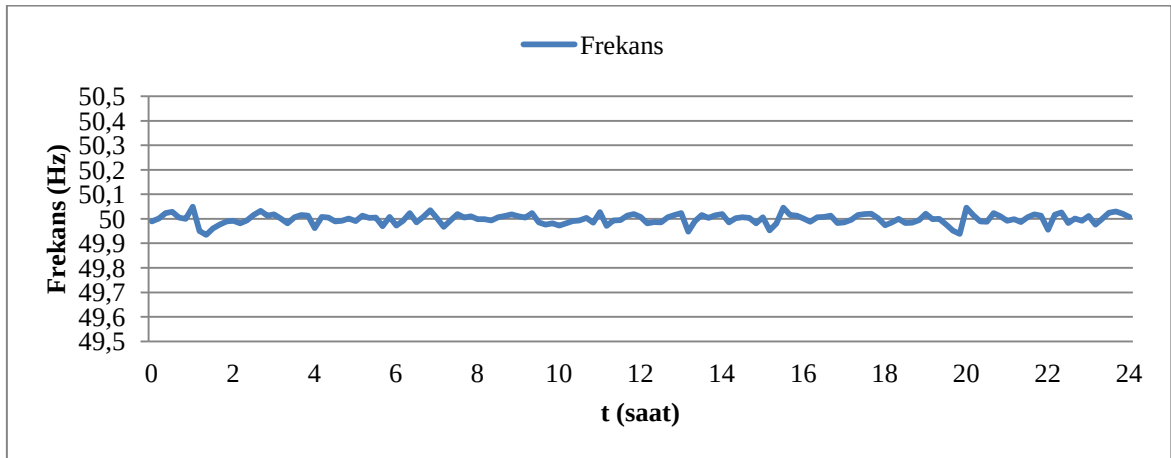
Şekil 3.59. Frekans değerinin değişimi (3. gün)



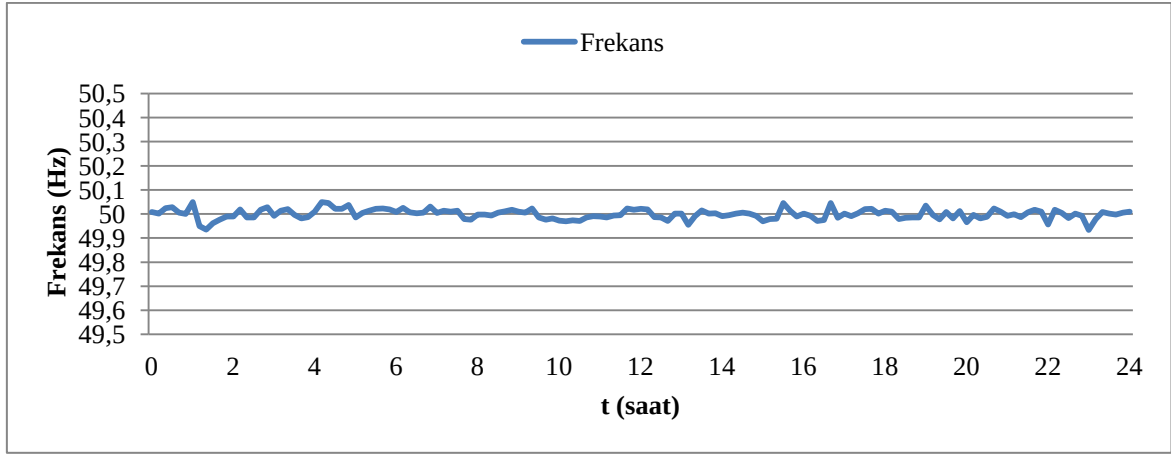
Şekil 3.60. Frekans değerinin değişimi (4. gün)



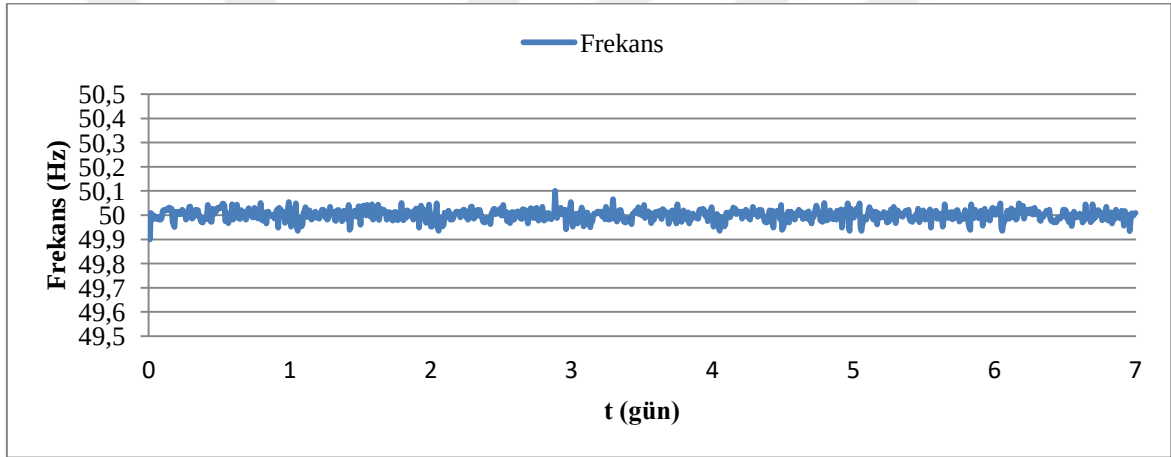
Şekil 3.61. Frekans değerinin değişimi (5. gün)



Şekil 3.62. Frekans değerinin değişimi (6. gün)



Şekil 3.63. Frekans değerinin değişimi (7. gün)



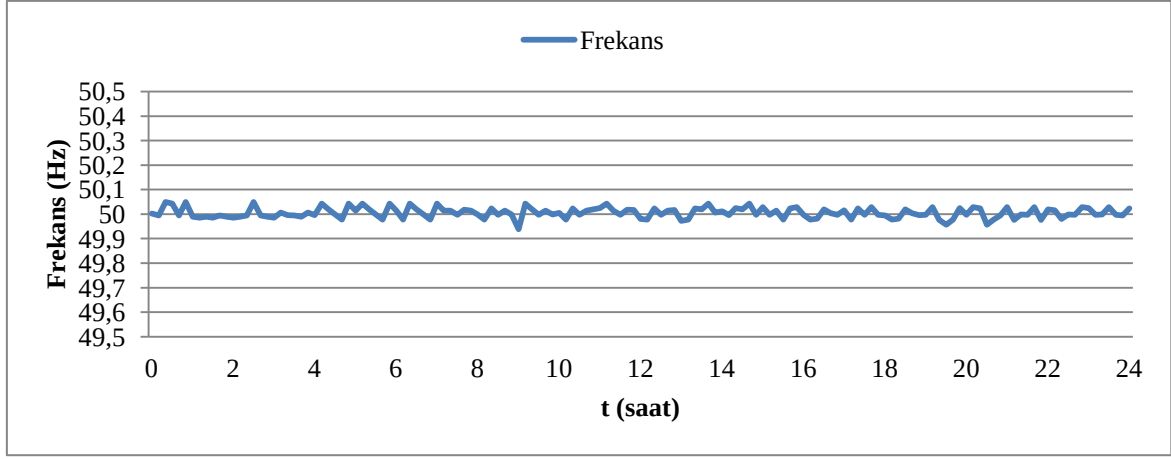
Şekil 3.64. Frekans değerinin 7 günlük değişimi

Şekil 3-64'e göre 7 günlük frekans değerinin değişimi incelendiğinde frekansın minimum değerinin 49,9 Hz, maksimum değerinin 50,1 Hz, 7 günlük ortalama değerinin 50,001 Hz olduğu görülmüştür.

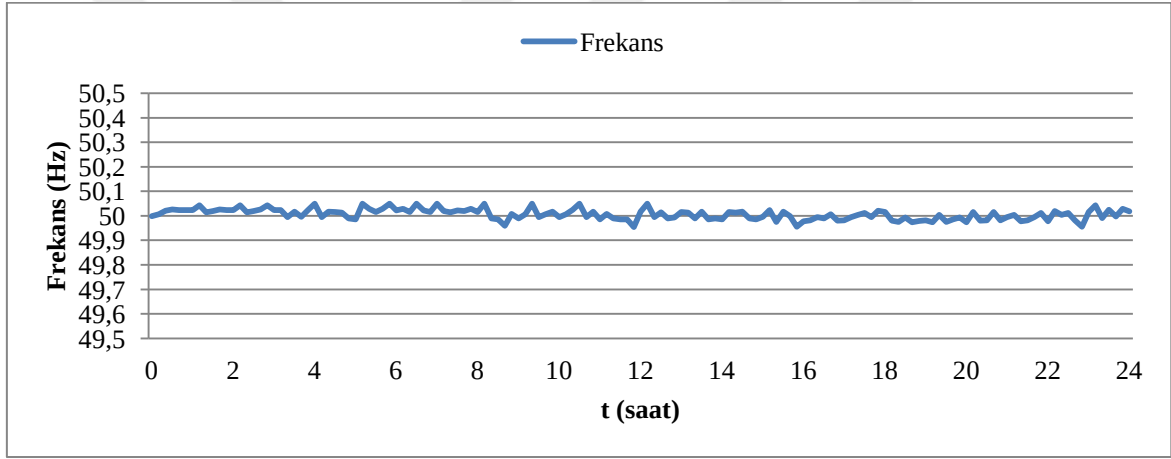
TS EN 50160 standardına göre İdari Birimler için frekans değerinin değişimi standartta belirlenen sınır değerleri aralığındadır.

3.1.1.3.2. Isı merkezi hizmet binası

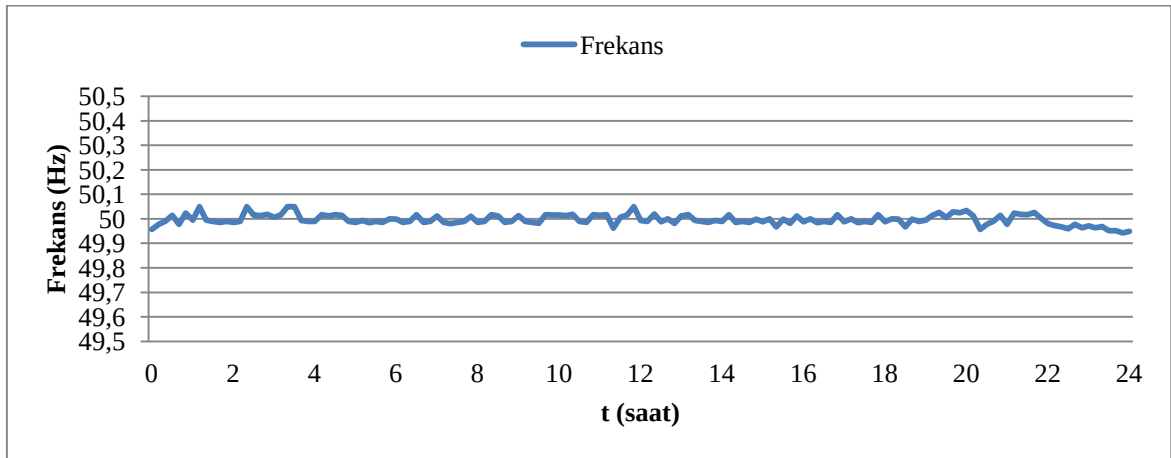
Şekil 3.65-3.71 arasında her güne ait frekans değerinin değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.72'de ise 7 günlük frekans değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



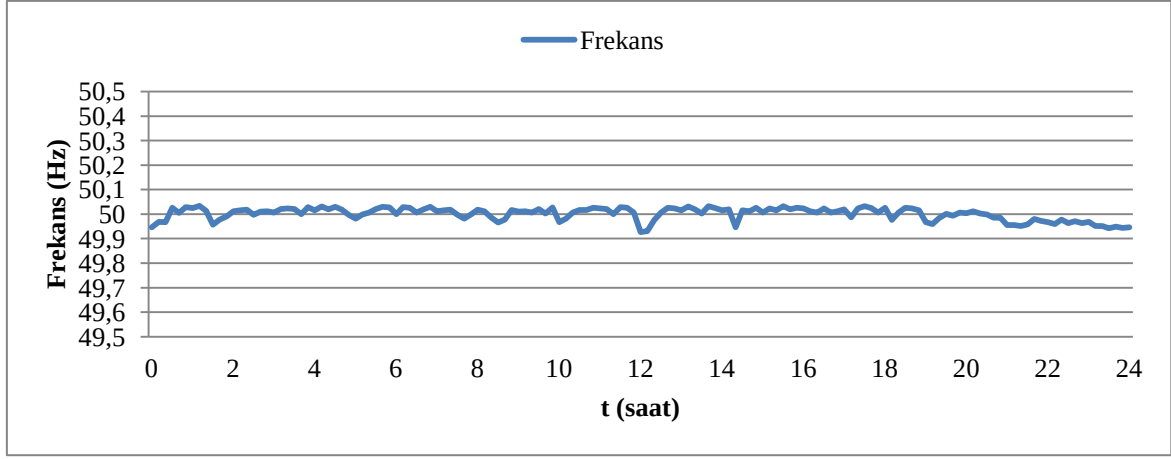
Şekil 3.65. Frekans değerinin değişimi (1. gün)



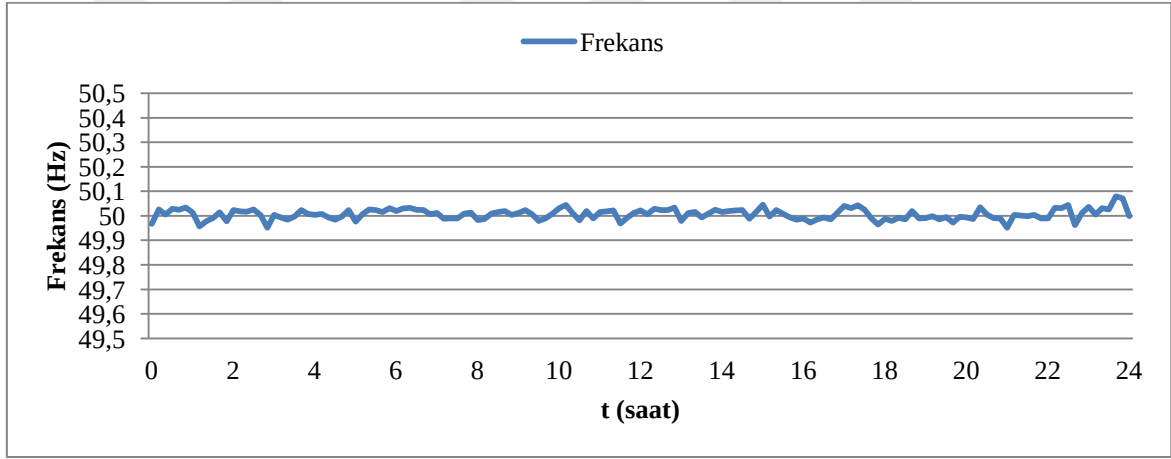
Şekil 3.66. Frekans değerinin değişimi (2. gün)



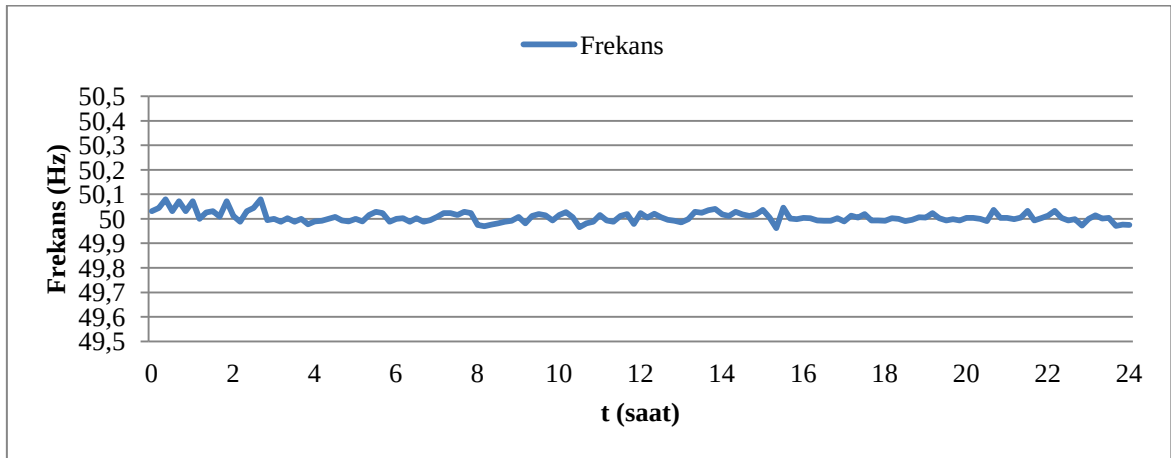
Şekil 3.67. Frekans değerinin değişimi (3. gün)



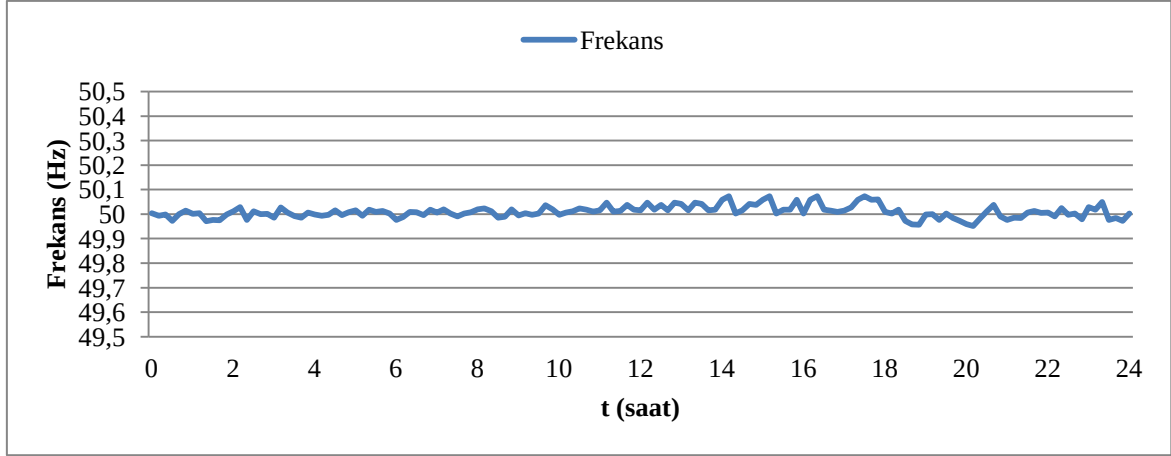
Şekil 3.68. Frekans değerinin değişimi (4. gün)



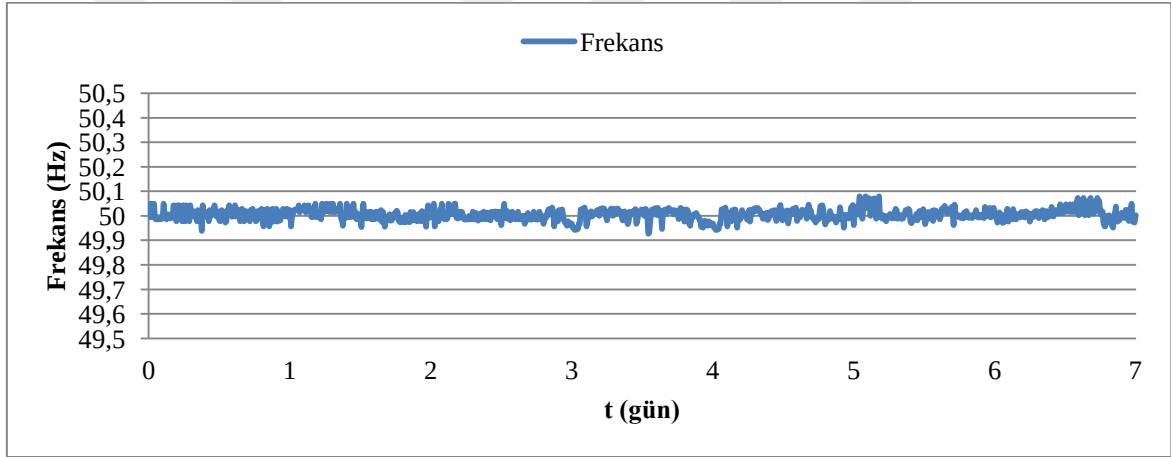
Şekil 3.69. Frekans değerinin değişimi (5. gün)



Şekil 3.70. Frekans değerinin değişimi (6. gün)



Şekil 3.71. Frekans değerinin değişimi (7. gün)



Şekil 3.72. Frekans değerinin 7 günlük değişimi

Şekil 3-72'e göre 7 günlük frekans değerinin değişimi incelendiğinde frekansın minimum değerinin 49,927 Hz, maksimum değerinin 50,079 Hz, 7 günlük ortalama değerinin 50,005 Hz olduğu görülmüştür.

TS EN 50160 standardına göre Isı Merkezi için frekans değerinin değişimi standartta belirlenen sınır değerleri aralığındadır.

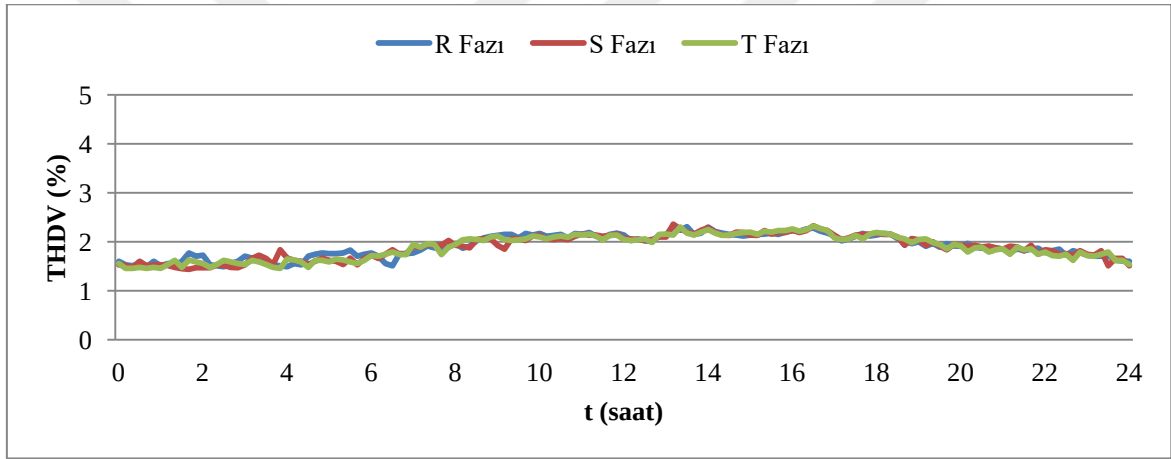
3.1.1.4. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi

Munzur Üniversitesi kampüs alanında belirlenen üç hizmet binasının güç kalitesi incelenirken güç kalitesi parametrelerinden olan gerilim için toplam harmonik bozulma ve

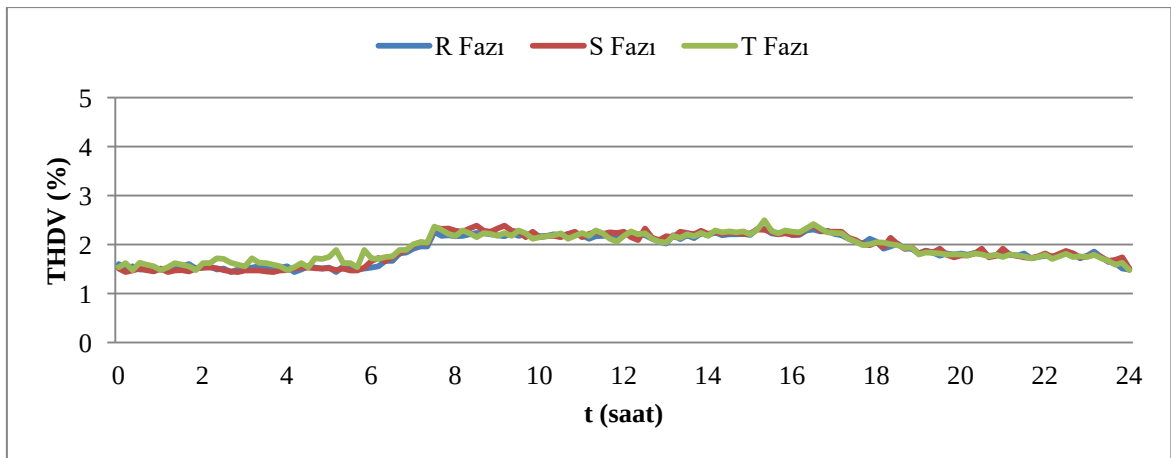
bireysel harmonik derecelerinin değerleri IEEE 519-2022 standardında belirtilen ve birinci bölümde açıklanan sınır değerlerine göre değerlendirilmiştir. IEEE 519-2022 standardına göre, bireysel her harmonik derecesi için toplam harmonik bozulmanın %5'i geçmemesi ve gerilim için toplam harmonik bozulmanın da %8'i geçmemesi gerekmektedir.

3.1.1.4.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası

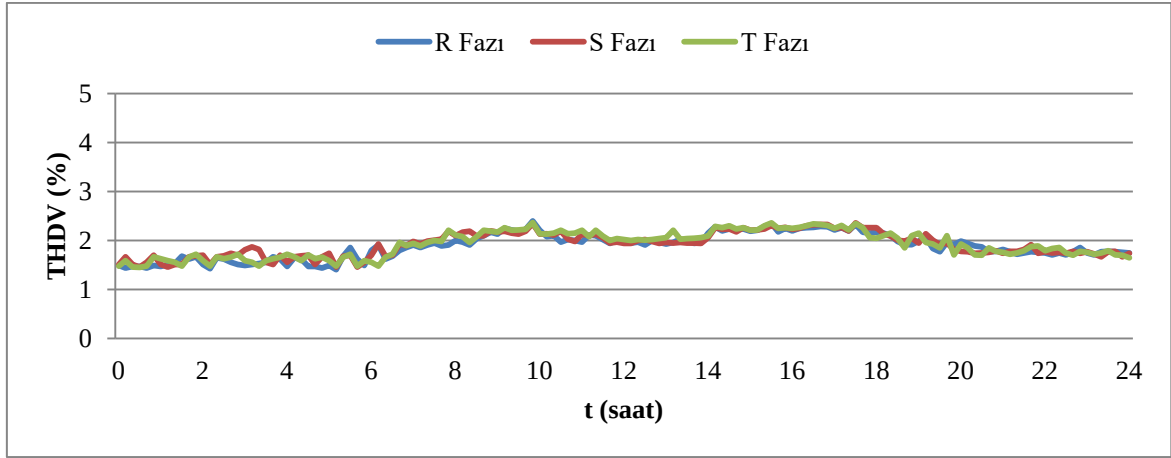
Şekil 3.73-3.79 arasında her güne ait gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.80'de ise 7 günlük gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişiminin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



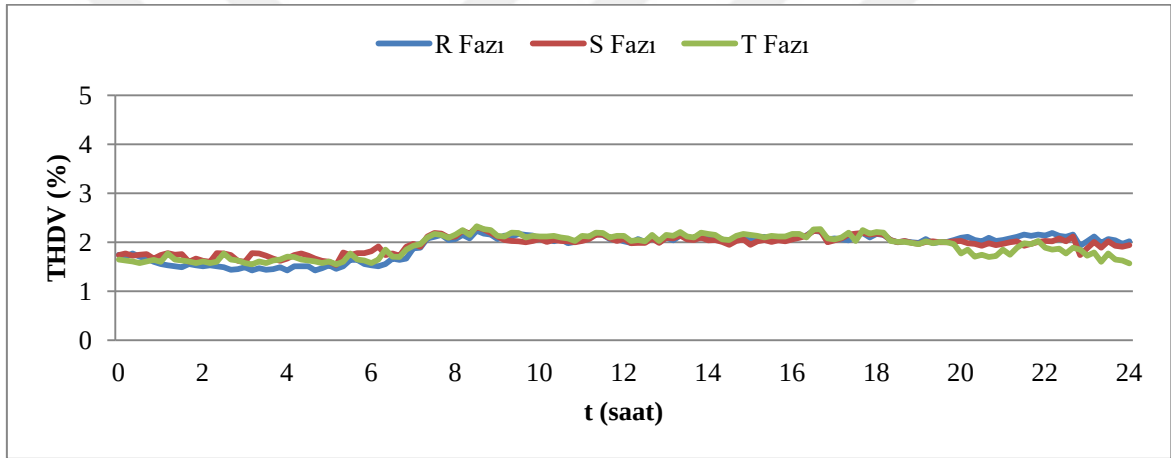
Şekil 3.73. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (1. gün)



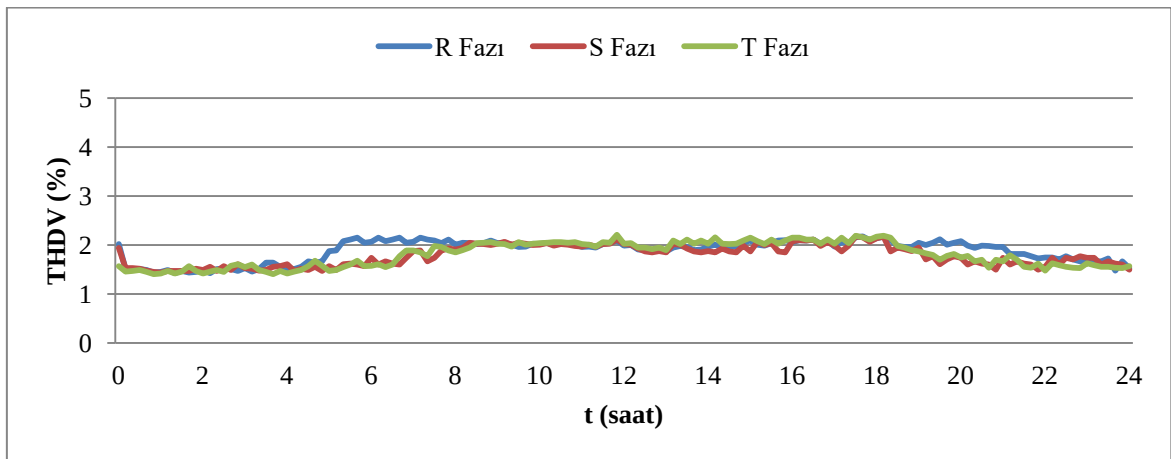
Şekil 3.74. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (2. gün)



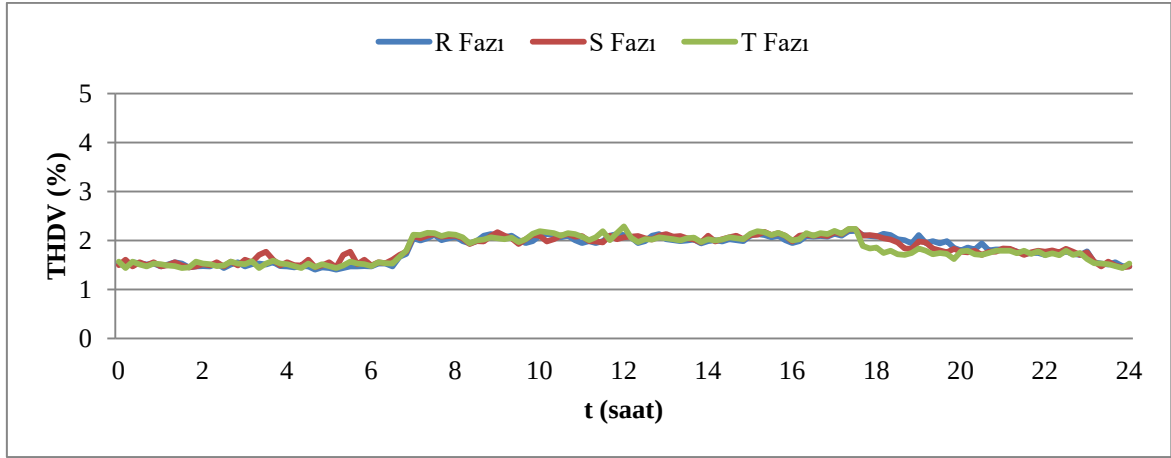
Şekil 3.75. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (3. gün)



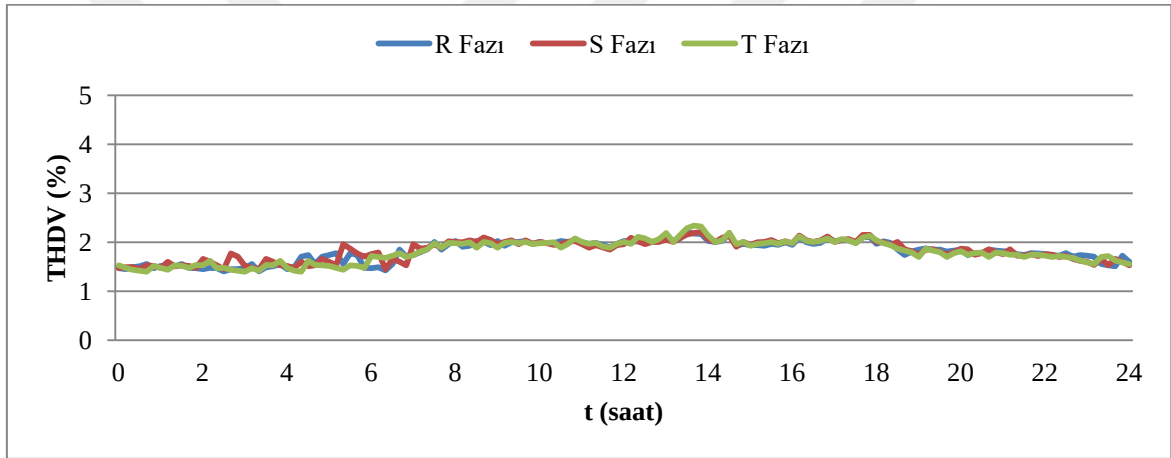
Şekil 3.76. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (4. gün)



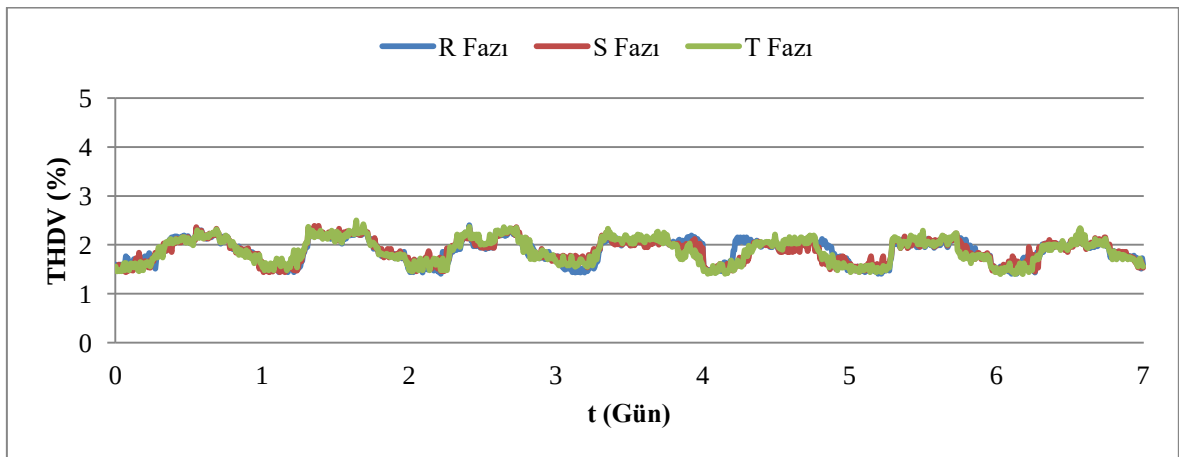
Şekil 3.77. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (5. gün)



Şekil 3.78. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (6. gün)



Şekil 3.79. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (7. gün)



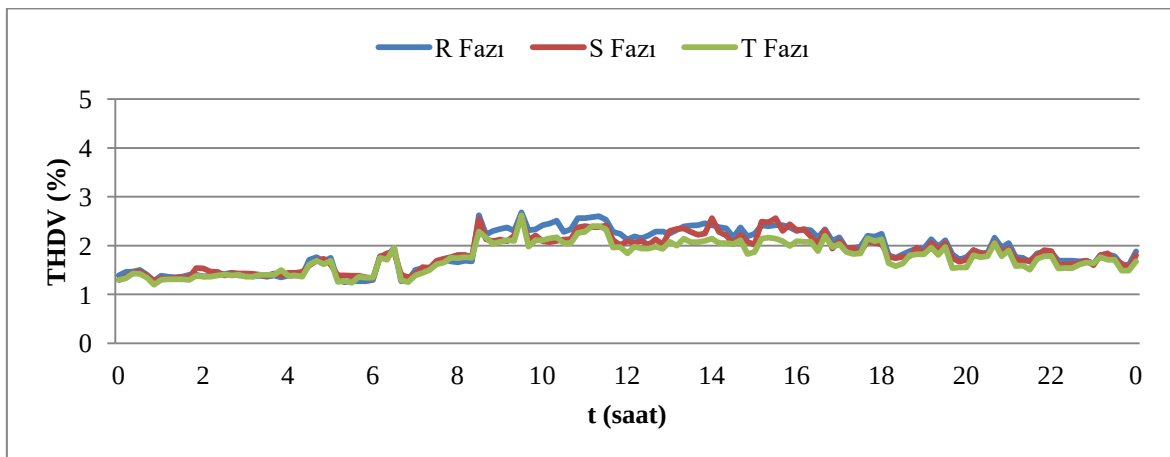
Şekil 3.80. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın 7 günlük değişimi

Ar-Ge Laboratuvarı hizmet binası için 7 günlük veriler ayrı ayrı incelendiğinde gerilim için toplam harmonik bozulmanın değerinin saat 00:00'dan sonra azalma eğiliminde olduğu, gün içinde elektrik enerjisinin tüketiminin artmaya başladığı mesai saatleri 08:00-17:00 arasında artış eğiliminde olduğu, saat 17:00'dan sonra giderek azalmaya başladığı görülmektedir. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın 7 günlük değerlerine bakıldığında, R fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın minimum değerinin %1,41, maksimum değerinin %2,4, ortalama değerinin %1,88, S fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın minimum değerinin %1,44, maksimum değerinin %2,39, ortalama değerinin %1,88, T fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın minimum değerinin %1,4, maksimum değerinin %2,5, ortalama değerinin %1,87 olduğu görülmüştür.

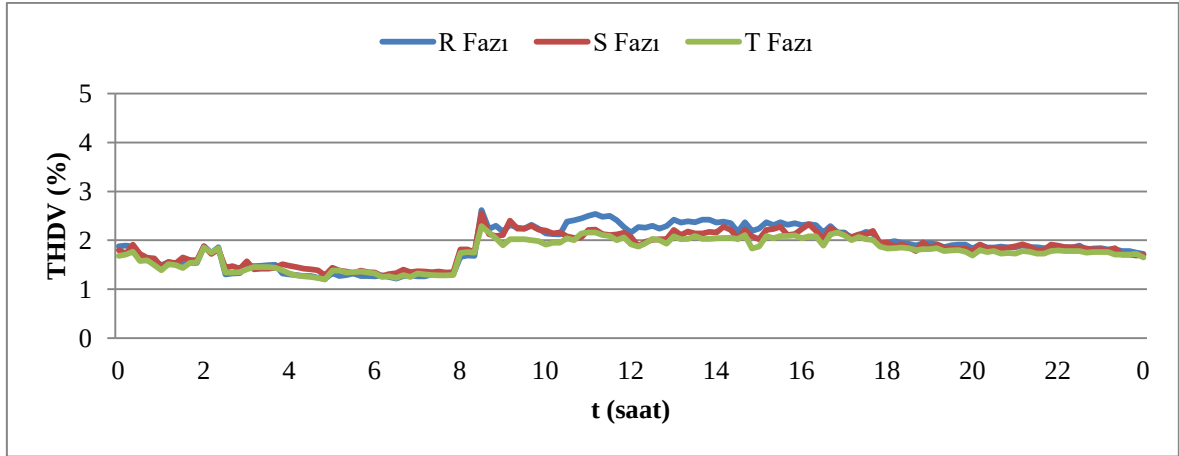
IEEE 519-2022 standardına göre her fazın gerilim için toplam harmonik bozulmanın değerleri sınır değeri altındadır (1 kV altındaki dağıtım sistemlerinde gerilim için toplam harmonik bozulmanın maksimum değeri %8'dir).

3.1.1.4.2. İdari birimler hizmet binası

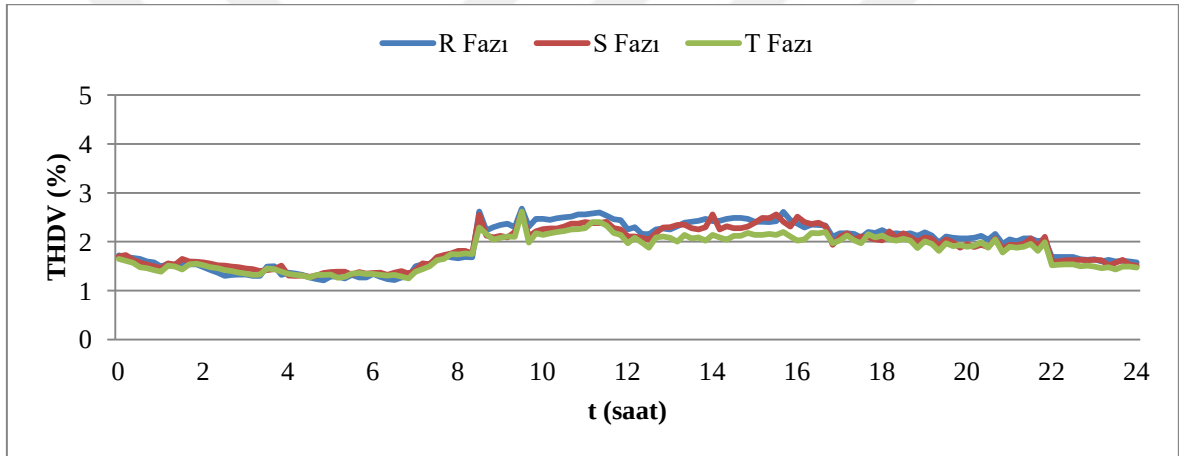
Şekil 3.81-3.87 arasında her güne ait gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.88'de ise 7 günlük gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişiminin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



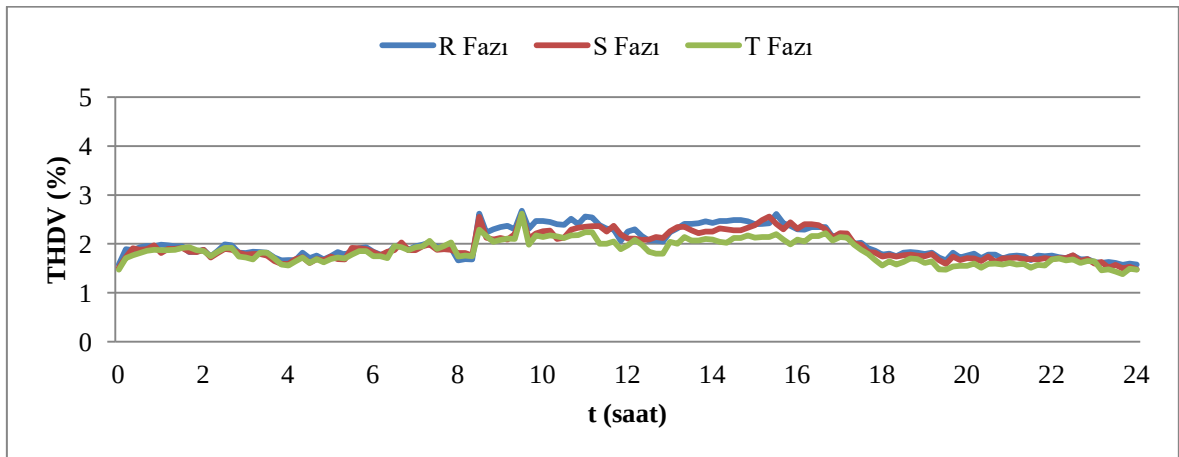
Şekil 3.81. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (1. gün)



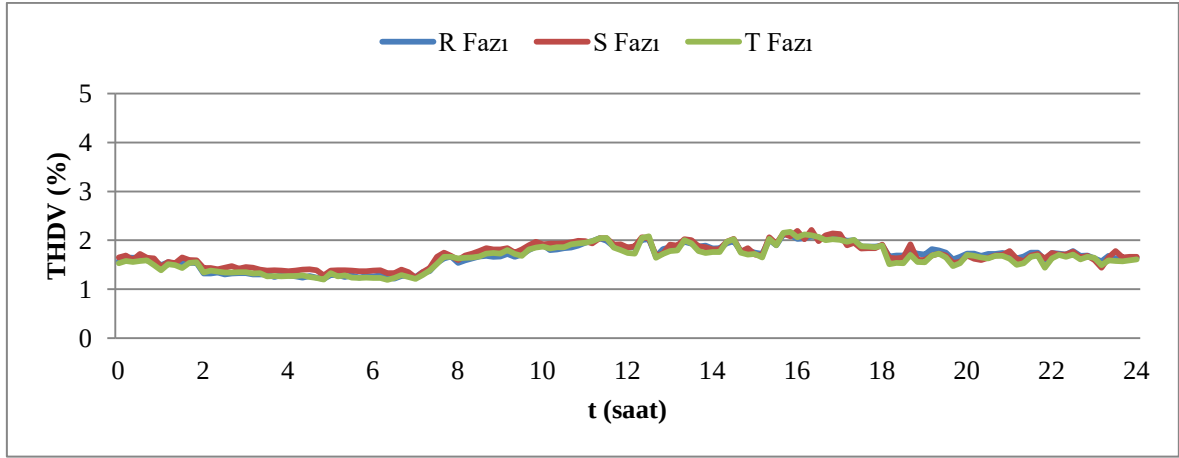
Şekil 3.82. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (2. gün)



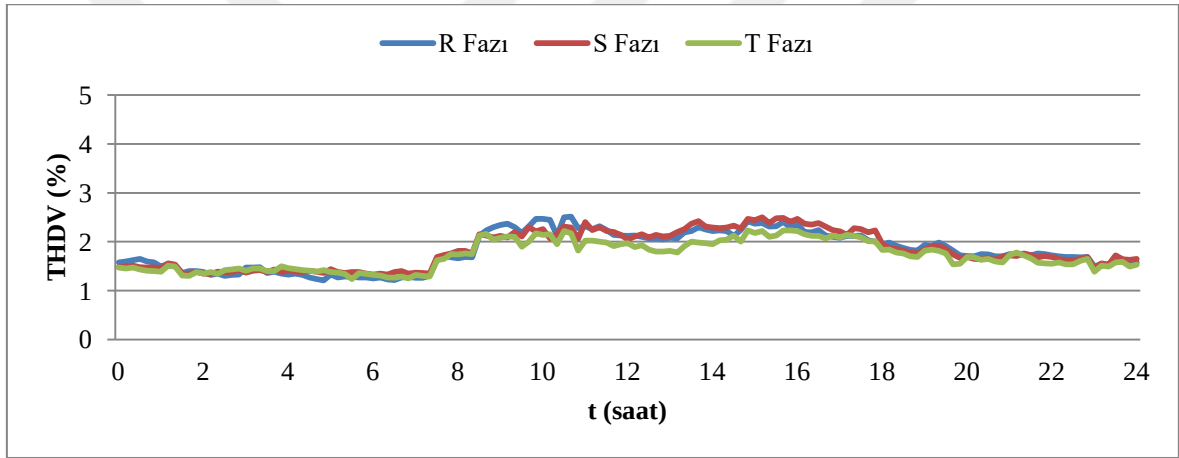
Şekil 3.83. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (3. gün)



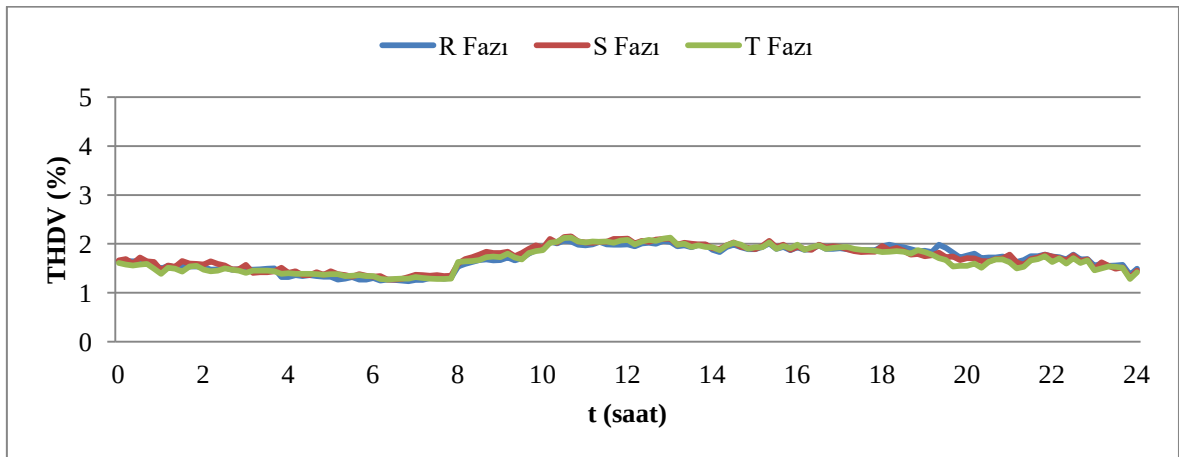
Şekil 3.84. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (4. gün)



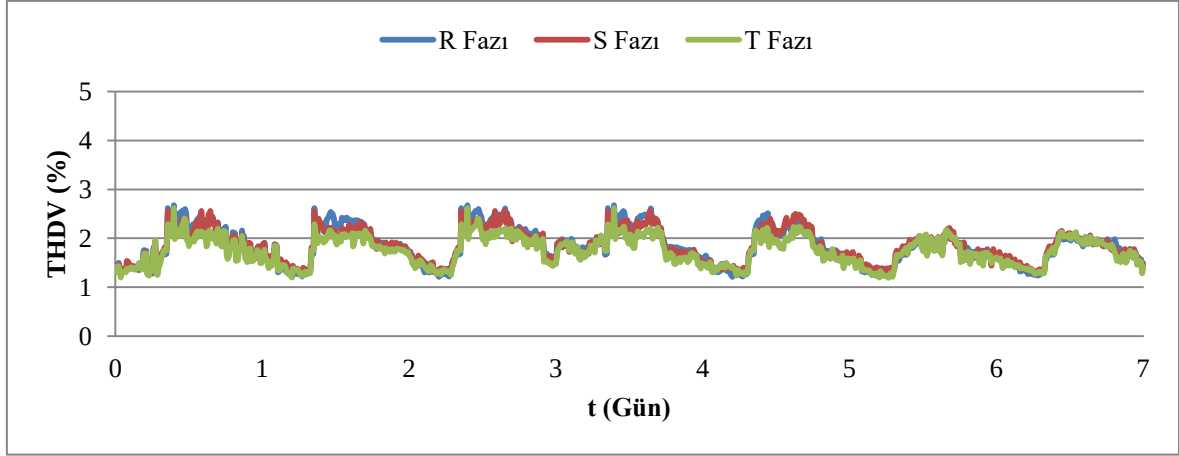
Şekil 3.85. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (5. gün)



Şekil 3.86. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (6. gün)



Şekil 3.87. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (7. gün)



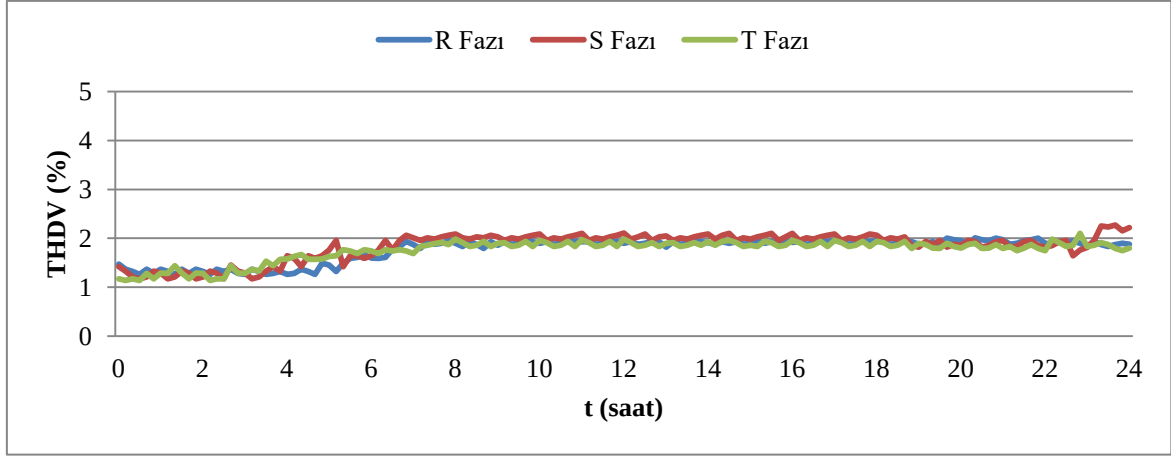
Şekil 3.88. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın 7 günlük değişimi

İdari Birimler hizmet binası için 7 günlük veriler ayrı ayrı incelendiğinde gerilim için toplam harmonik bozulmanın değerinin saat 00:00'dan sonra azalma eğiliminde olduğu, gün içinde elektrik enerjisinin tüketiminin artmaya başladığı mesai saatleri 08:00-17:00 arasında artış eğiliminde olduğu, saat 17:00'dan sonra giderek azalmaya başladığı görülmektedir. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın 7 günlük değerlerine bakıldığında, R fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın minimum değerinin %1,21, maksimum değerinin %2,68, ortalama değerinin %1,84, S fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın minimum değerinin %1,24, maksimum değerinin %2,6, ortalama değerinin %1,83, T fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın minimum değerinin %1,19, maksimum değerinin %2,62, ortalama değerinin %1,75 olduğu görülmüştür.

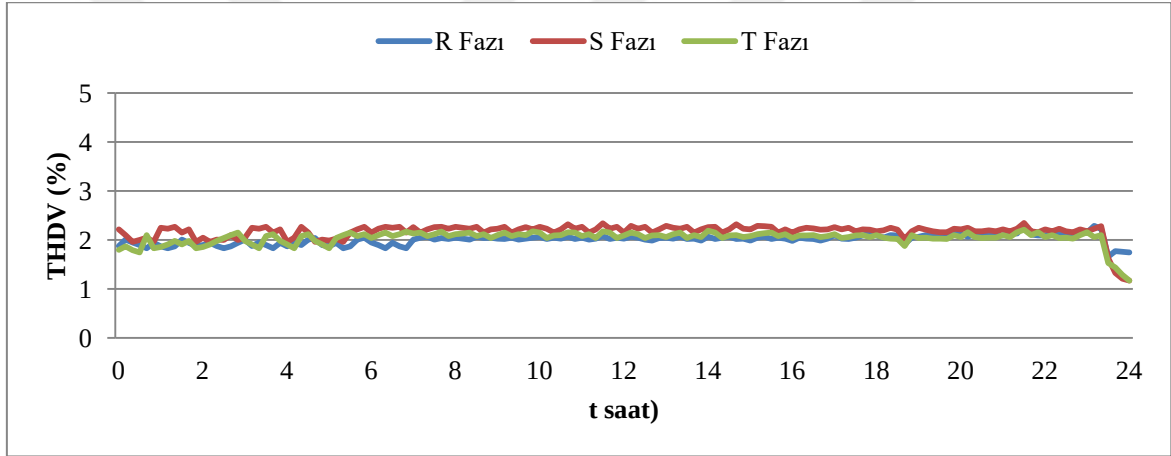
IEEE 519-2022 standardına göre her fazın gerilim için toplam harmonik bozulmanın değerleri sınır değeri altındadır (1 kV altındaki dağıtım sistemlerinde gerilim için toplam harmonik bozulmanın maksimum değeri %8'dir).

3.1.1.4.3. Isı merkezi hizmet binası

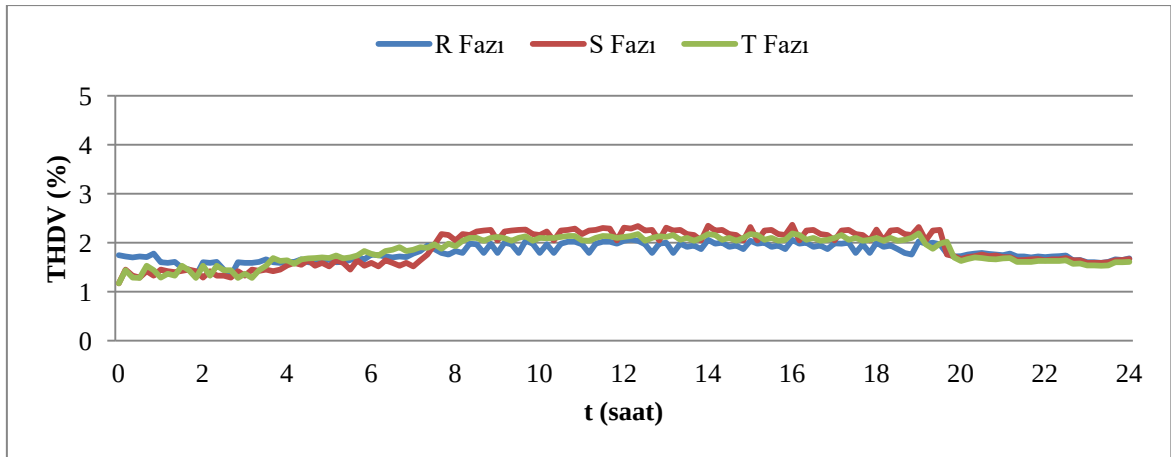
Şekil 3.89-3.95 arasında her güne ait gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.96'da ise 7 günlük gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişiminin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



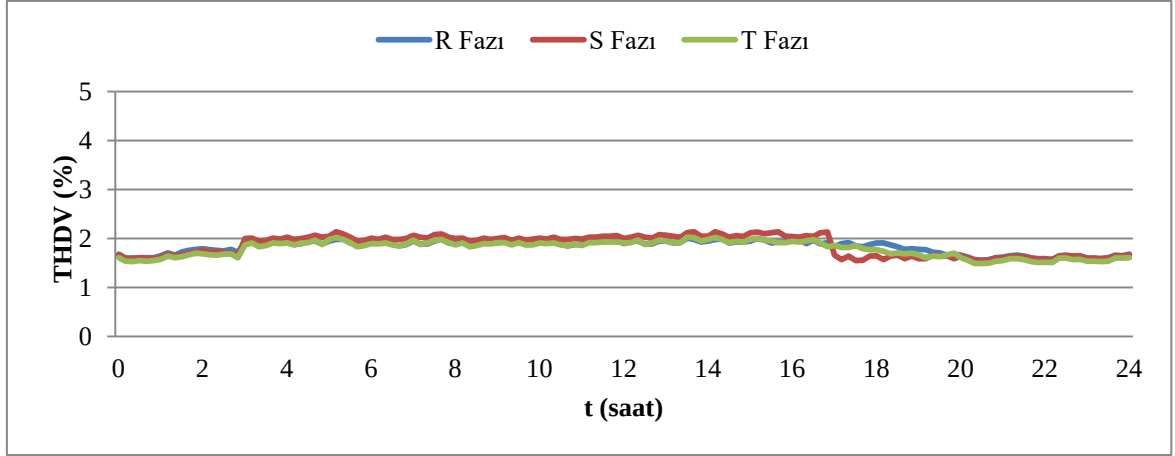
Şekil 3.89. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (1. gün)



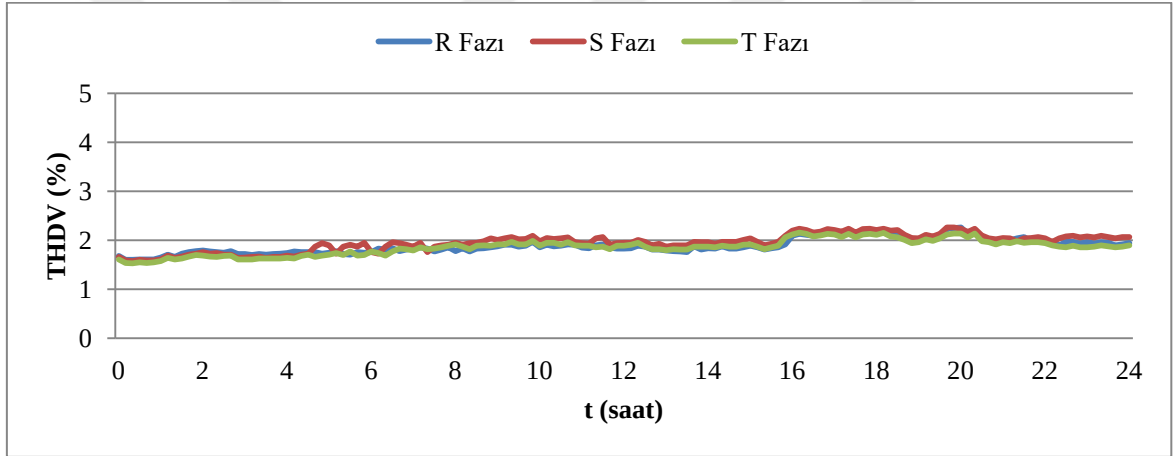
Şekil 3.90. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (2. gün)



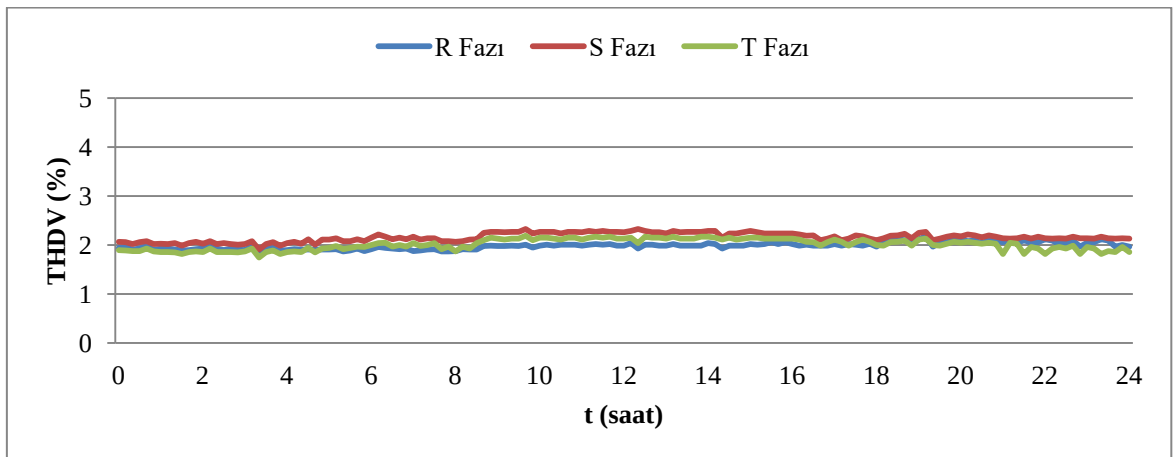
Şekil 3.91. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (3. gün)



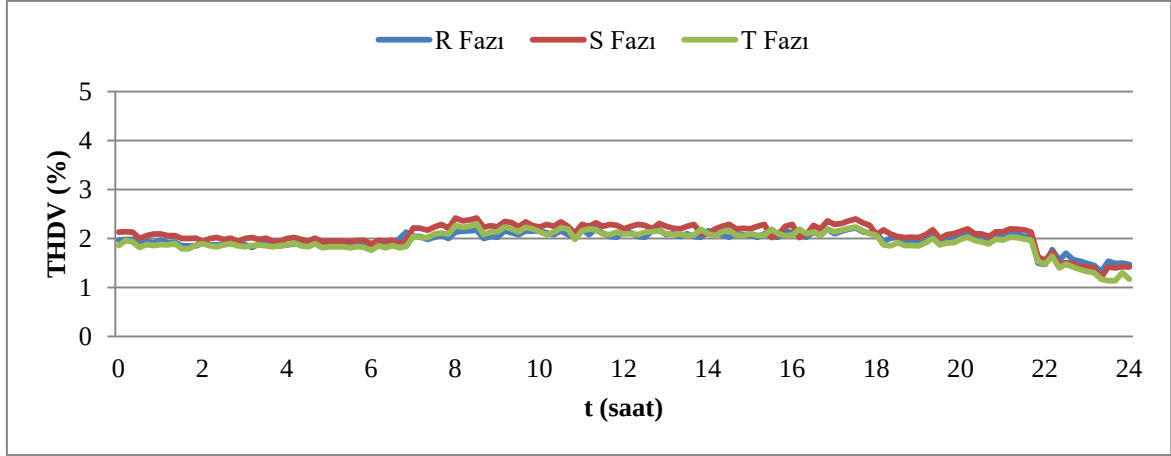
Şekil 3.92. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (4. gün)



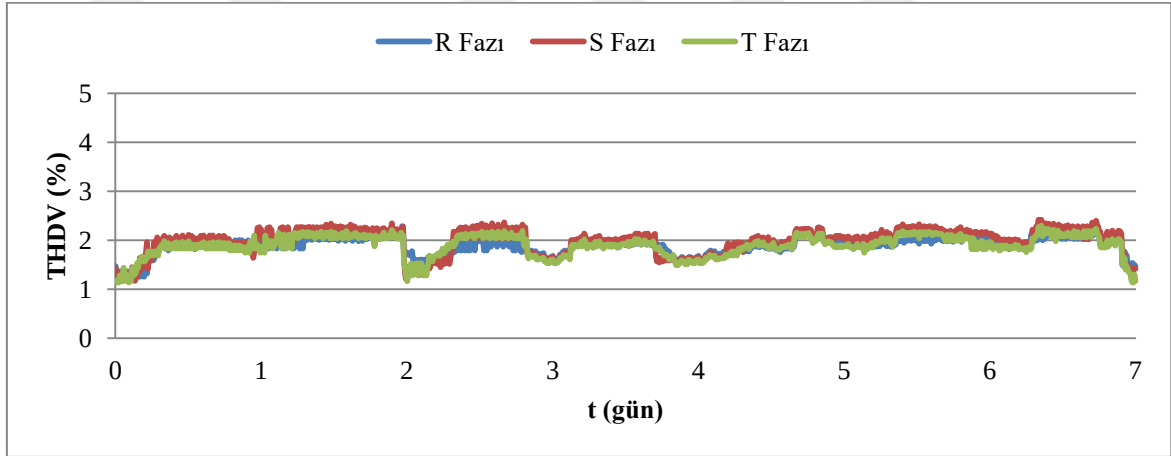
Şekil 3.93. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (5. gün)



Şekil 3.94. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (6. gün)



Şekil 3.95. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın değişimi (7. gün)



Şekil 3.96. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın 7 günlük değişimi

Isı Merkezi hizmet binası için 7 günlük veriler ayrı ayrı incelendiğinde gerilim için toplam harmonik bozulmanın değerinin hizmet binalarının ısınması için çalıştırılan pompaların devreye alındığı zaman aralığında artmaya başladığı, pompaların devreden çıktığı zaman aralığında ise azalma eğiliminde olduğu görülmektedir. Gerilim için toplam harmonik bozulmanın 7 günlük değerlerine bakıldığında, R fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın minimum değerinin %1,26, maksimum değerinin %2,29, ortalama değerinin %1,89, S fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın minimum değerinin %1,17, maksimum değerinin %2,42, ortalama değerinin %1,99, T fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın minimum değerinin %1,14, maksimum değerinin %2,3, ortalama değerinin %1,89 olduğu görülmüştür.

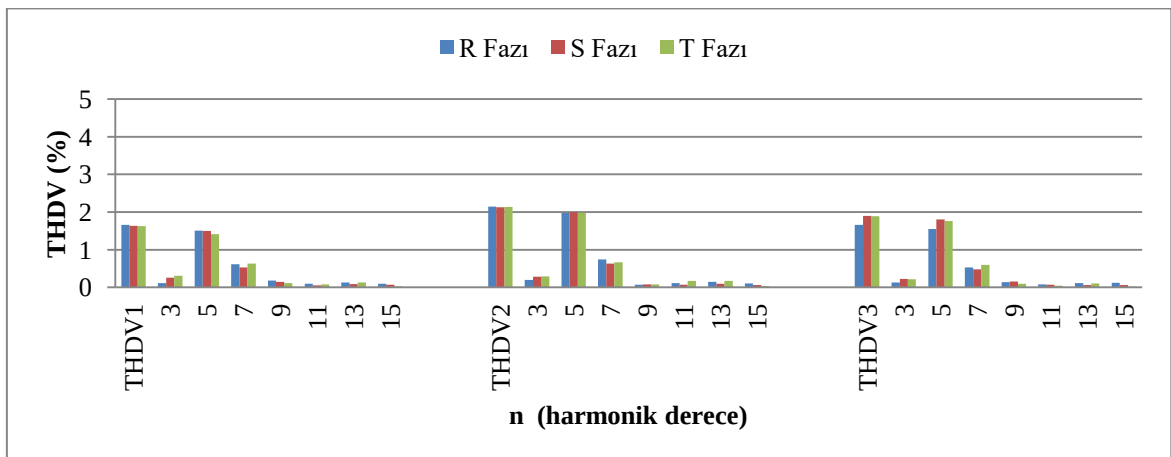
IEEE 519-2022 standardına göre her fazın gerilim için toplam harmonik bozulmanın değeri sınırı 8'dir (1 kV altındaki dağıtım sistemlerinde gerilim için toplam harmonik bozulmanın maksimum değeri %8'dir).

3.1.1.5. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri

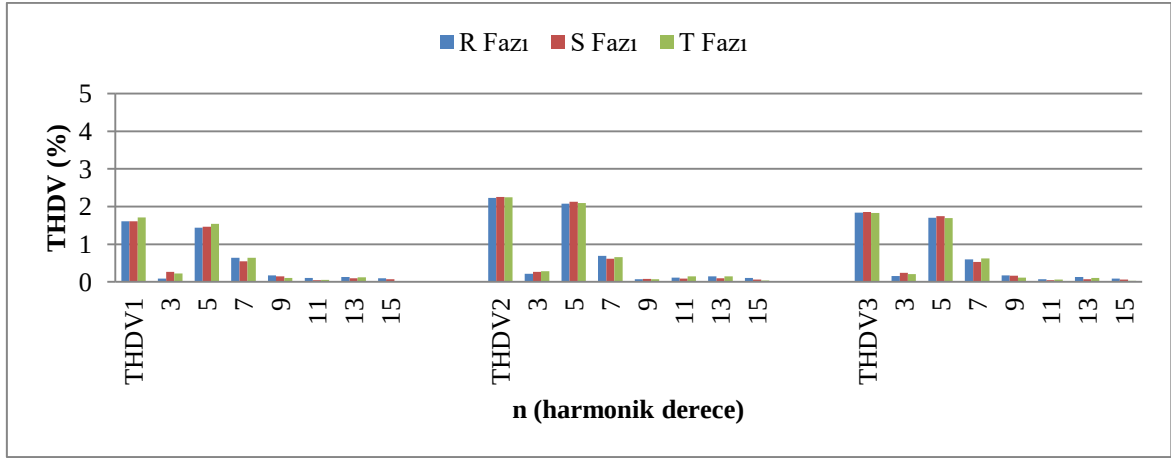
IEEE 519-2022 standardında, bireysel her harmonik derecesinin %5'i geçmeyecek şekilde olması gerektiği belirtilmiştir. Belirlenen üç hizmet binası için gerilim harmonik dereceleri 00:00-08:00, 08:00-17:00 ve 17:00-00:00 olacak şekilde 3 farklı saat diliminde incelenmiştir. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri grafiklerinde verilen ve THDV1 olarak işaretlenen bölge saat 00:00-08:00 aralığına, THDV2 olarak işaretlenen bölge saat 08:00-17:00 aralığına, THDV3 olarak işaretlenen bölge ise saat 17:00-24:00 aralığına karşılık gelmektedir.

3.1.1.5.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası

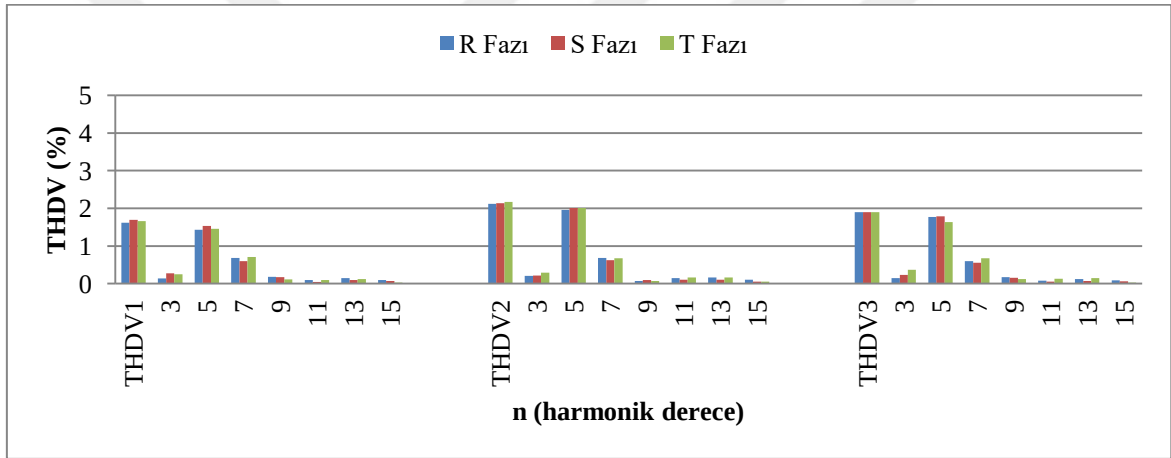
Şekil 3.97-3.103 arasında her güne ait gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri grafikleri yukarıda belirtilen 3 zaman aralığında verilmiştir. Şekil 3.104'de ise 7 günlük gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



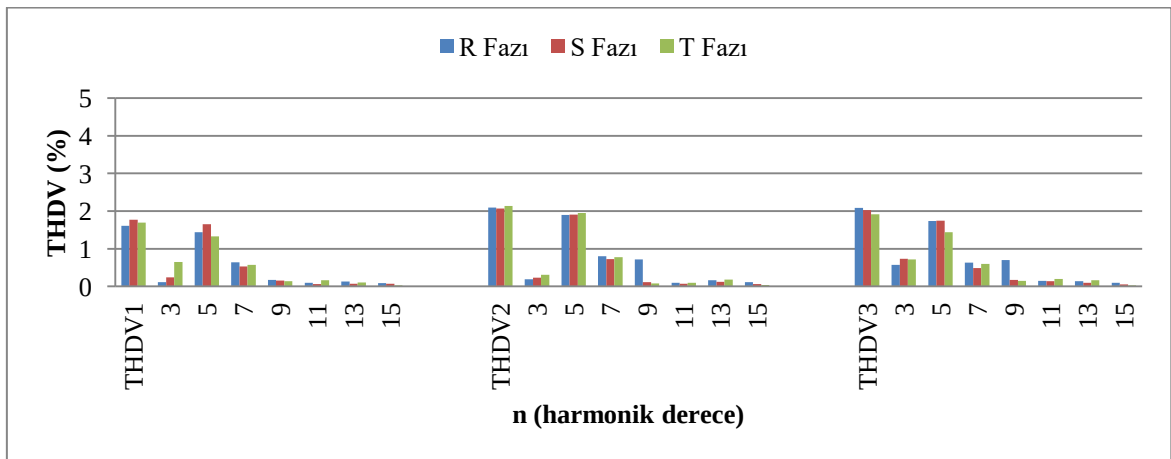
Şekil 3.97. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (1. gün)



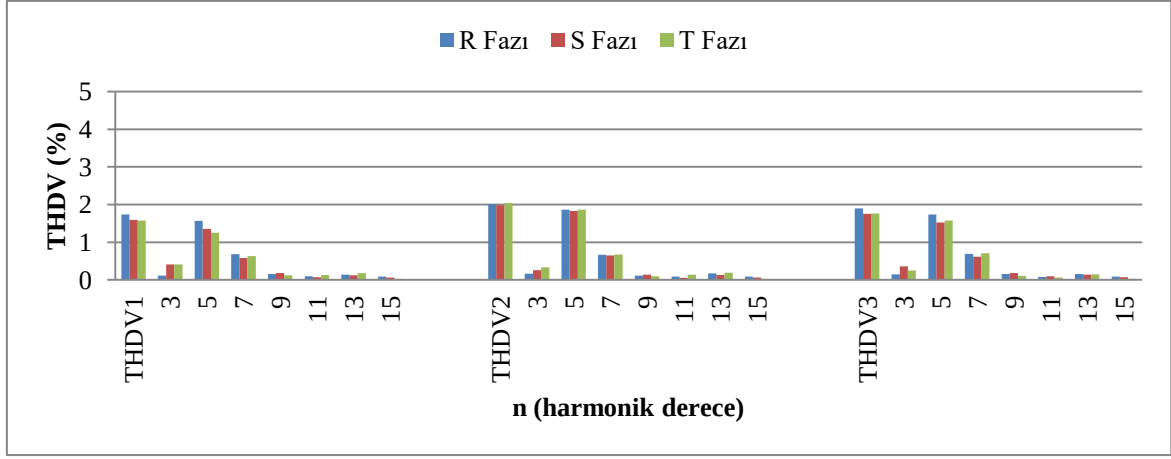
Şekil 3.98. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (2. gün)



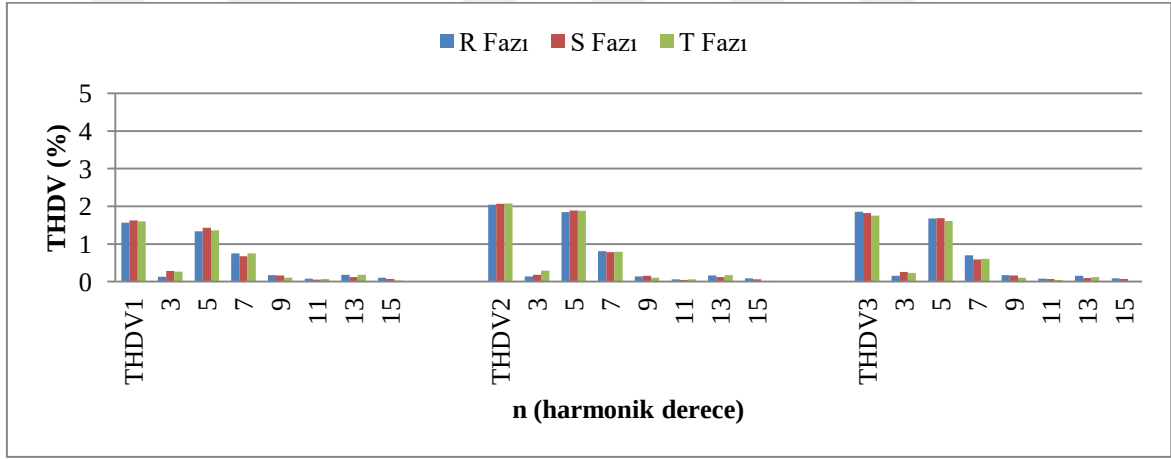
Şekil 3.99. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (3. gün)



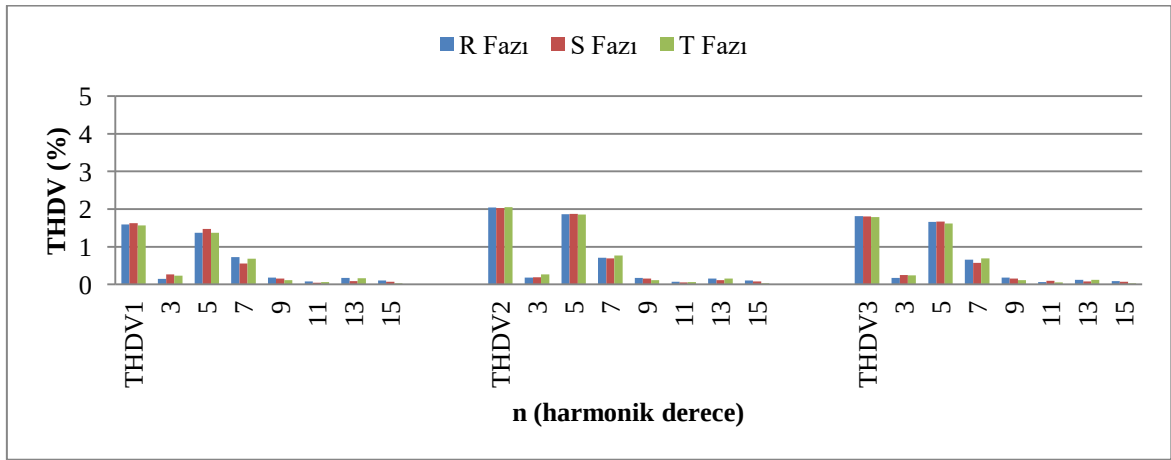
Şekil 3.100. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (4. gün)



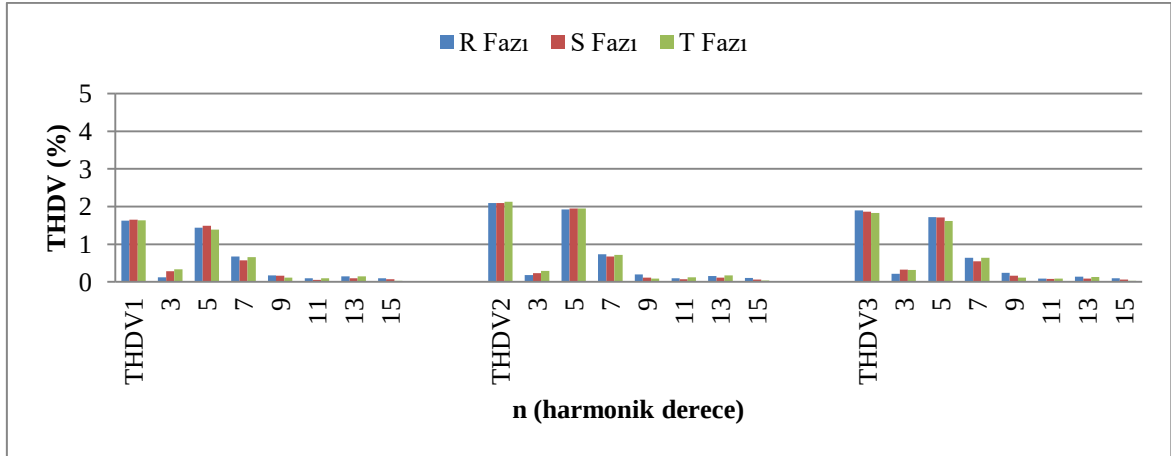
Şekil 3.101. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (5. gün)



Şekil 3.102. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (6. gün)



Şekil 3.103. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (7. gün)



Şekil 3.104. Gerilim harmonik derecelerinin 7 günlük ortalama değeri

Şekil 3.104'e göre 00:00-08:00 saatleri arasında R fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %1,63, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,12, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,44, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,67, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,17, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,09, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,15 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,09 olduğu, S fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %1,65, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,29, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,49, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,57, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,16, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,05, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,1 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,07 olduğu, T fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %1,63, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,33, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,39, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,66, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,11, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,09, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,14 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,03 olduğu görülmüştür. 08:00-17.00 saatleri arasında R fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %2,09, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,18, 5.

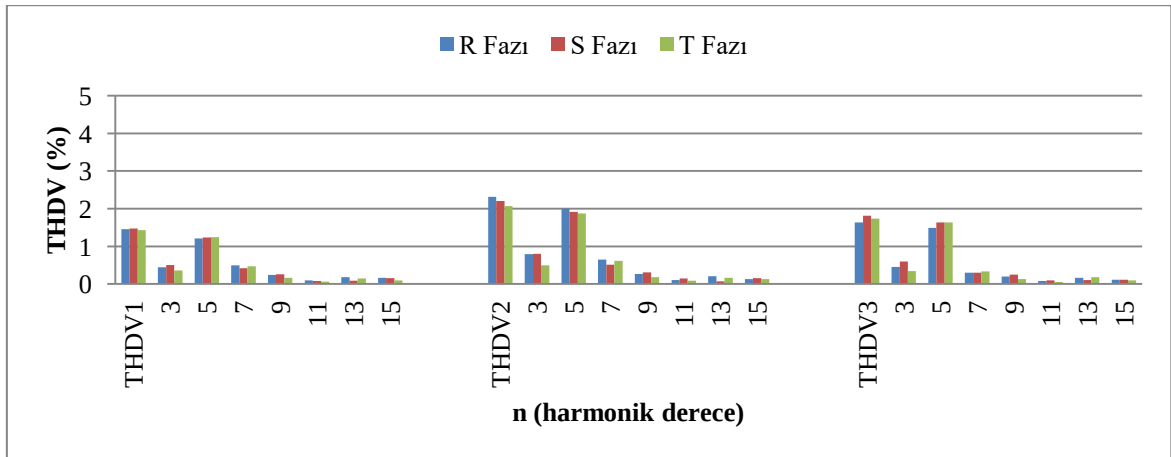
harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,92, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,73, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,19, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,1, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,16 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,1 olduğu, S fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %2,09, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,23, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,95, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,67, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,12, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,07, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,11 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,06 olduğu, T fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %2,12, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,29, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,95, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,71, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,09, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,12, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,17 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,03 olduğu görülmüştür. 17:00-24:00 saatleri arasında R fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %1,9, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,21, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,72, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,64, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,24, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,09, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,13 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,1 olduğu, S fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %1,86, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,33, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,71, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,55, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,16, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,08, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,09 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,06 olduğu, T fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %1,83, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,32, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama

değerinin %1,62, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,64, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,11, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,08, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,13 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,03 olduğu görülmüştür.

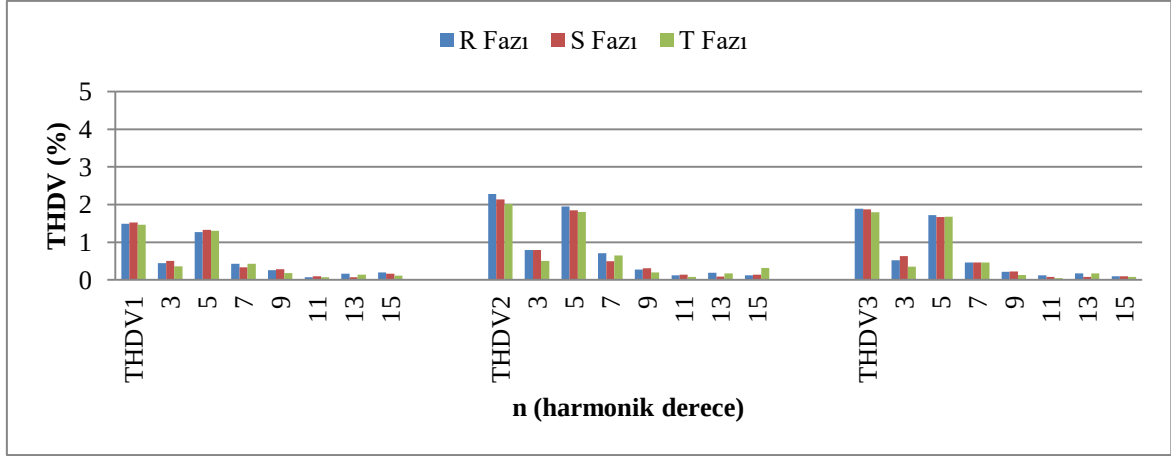
Her üç ölçüm aralığındaki harmonik derecelerinin ortalama değerleri incelendiğinde 5. ve 7. harmonik derecelerinin diğer harmonik derecelerine göre daha yüksek olduğu ancak üç ölçüm aralığındaki bireysel harmonik dereceleri için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin IEEE 519-2022 standardının üst sınırı olan %5'i geçmediği ve standartlar içinde kaldığı görülmüştür (IEEE 519-2022 standardına göre, bireysel her harmonik derecesi için toplam harmonik bozulmanın %5'i geçmeyecek şekilde olması gerektiği belirtilmiştir).

3.1.1.4.2. İdari birimler hizmet binası

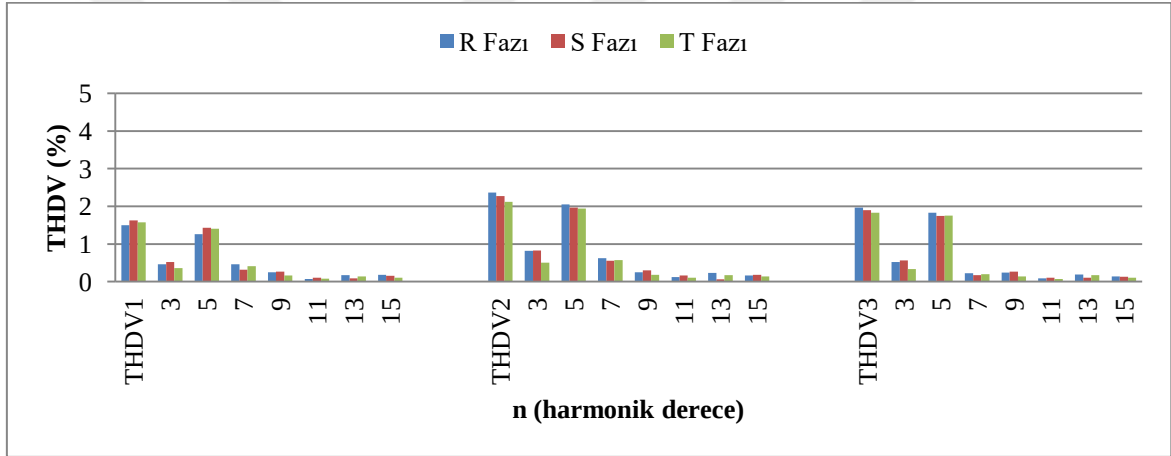
Şekil 3.105-3.111 arasında her güne ait gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri grafikleri yukarıda belirtilen 3 zaman aralığında verilmiştir. Şekil 3.112'de ise 7 günlük gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



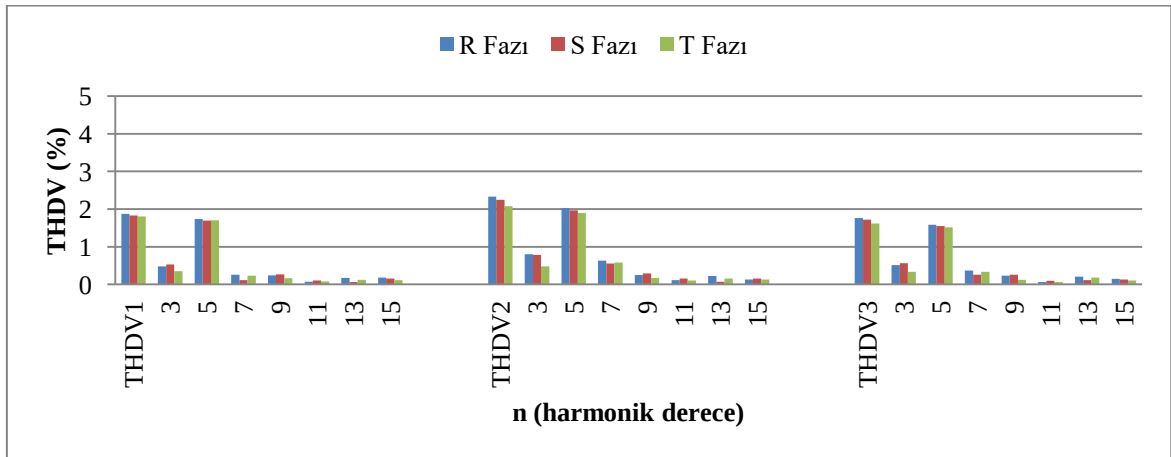
Şekil 3.105. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (1. gün)



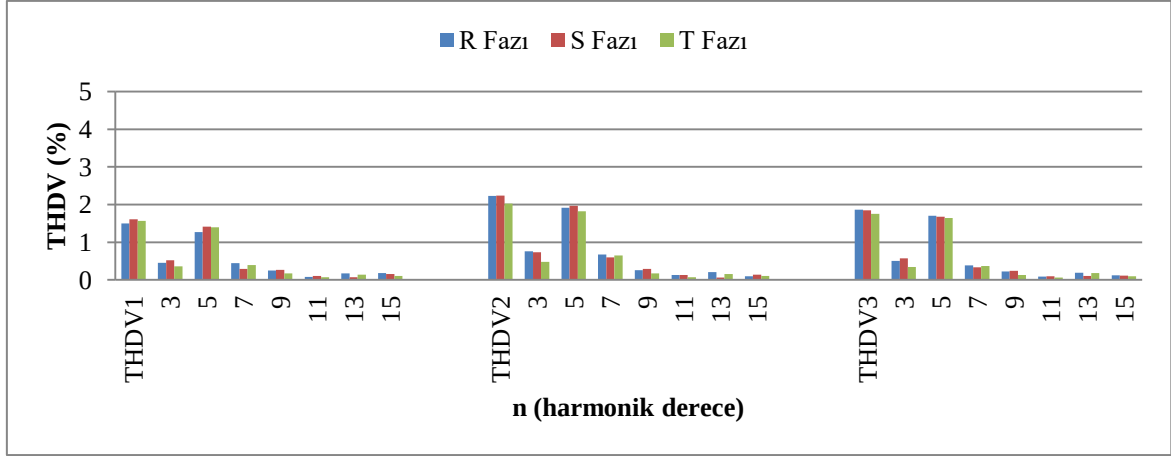
Şekil 3.106. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (2. gün)



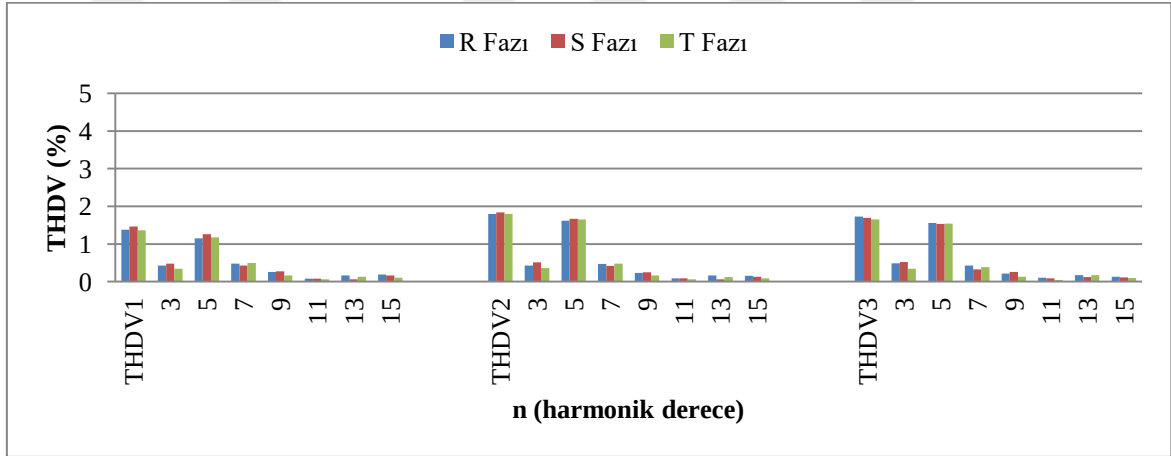
Şekil 3.107. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (3. gün)



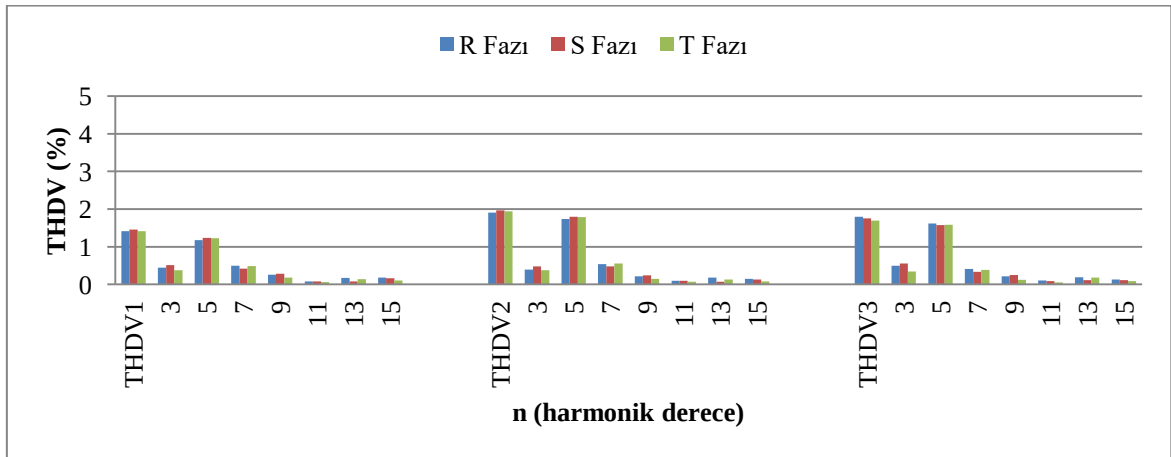
Şekil 3.108. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (4. gün)



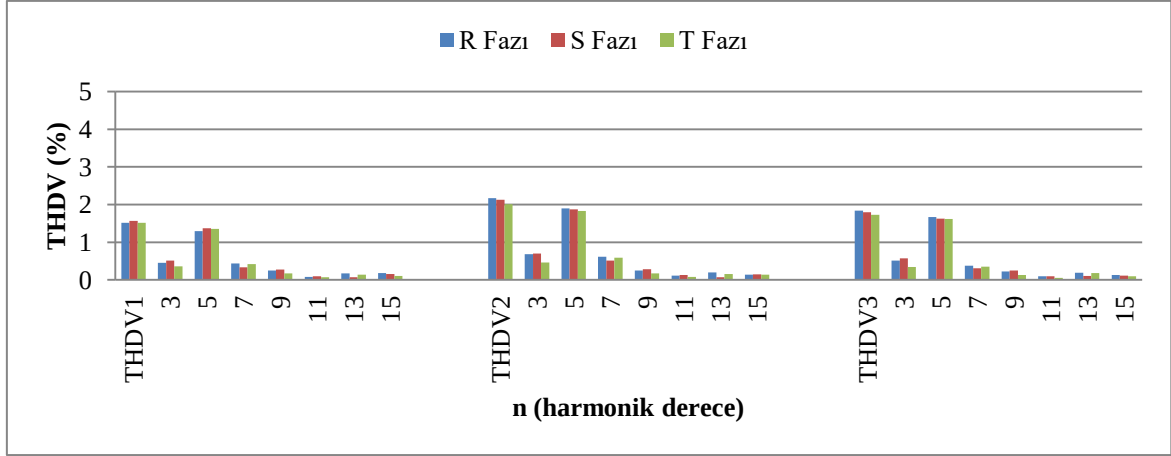
Şekil 3.109. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (5. gün)



Şekil 3.110. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (6. gün)



Şekil 3.111. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (7. gün)



Şekil 3.112. Gerilim harmonik derecelerinin 7 günlük ortalama değeri

Şekil 3.112'ye göre 00:00-08:00 saatleri arasında R fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %1,51, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,45, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,29, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,44, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,25, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,08, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,17 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,18 olduğu, S fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %1,57, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,51, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,37, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,33, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,27, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,09, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,07 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,16 olduğu, T fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %1,52, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,36, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,35, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,42, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,17, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,07, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,14 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,11 olduğu görülmüştür. 08:00-17.00 saatleri arasında R fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %2,17, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,68, 5.

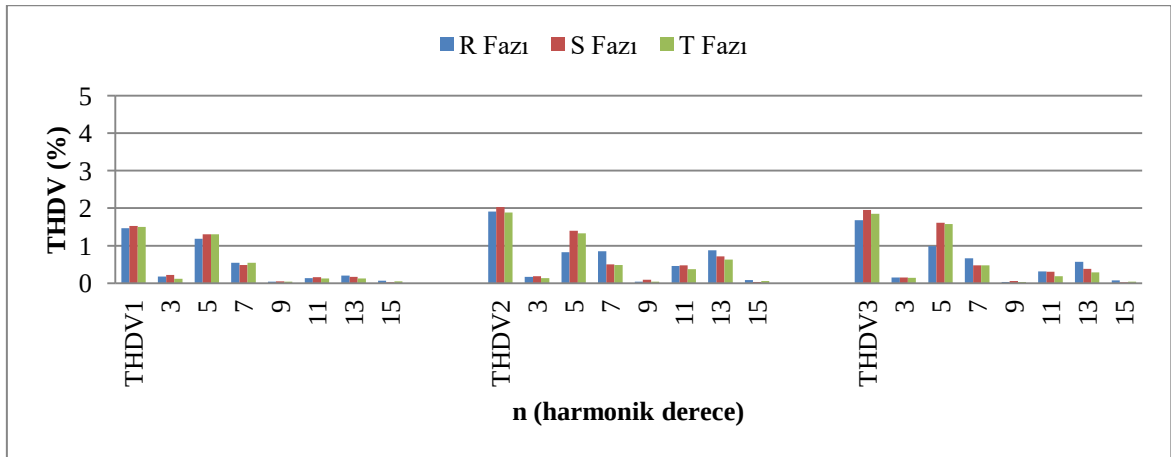
harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,9, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,61, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,25, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,11, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,2 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,14 olduğu, S fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %2,13, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,7, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,87, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,51, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,28, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,13, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,07 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,15 olduğu, T fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %2,01, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,46, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,83, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,58, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,17, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,08, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,15 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,14 olduğu görülmüştür. 17:00-24:00 saatleri arasında R fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %1,84, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,51, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,67, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,37, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,22, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,09, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,19 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,13 olduğu, S fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %1,80, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,57, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,62, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,31, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,25, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,09, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,10 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,12 olduğu, T fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %1,73, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,34, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama

değerinin %1,62, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,35, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,13, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,05, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,18 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,09 olduğu görülmüştür.

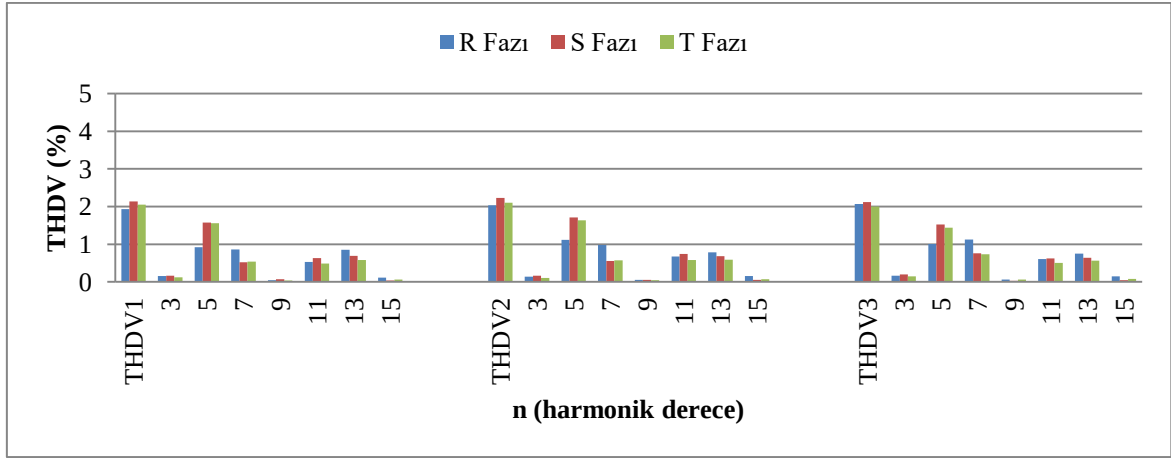
Her üç ölçüm aralığındaki harmonik derecelerinin ortalama değerleri incelendiğinde 3., 5. ve 7. harmonik derecelerinin diğer harmonik derecelere göre daha yüksek olduğu ancak üç ölçüm aralığındaki bireysel harmonik dereceleri için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin IEEE 519-2022 standardının üst sınırı olan %5'i geçmediği ve standartlar içinde kaldığı görülmüştür (IEEE 519-2022 standardına göre, bireysel her harmonik derecesi için toplam harmonik bozulmanın %5'i geçmeyecek şekilde olması gerektiği belirtilmiştir).

3.1.1.4.3. Isı merkezi hizmet binası

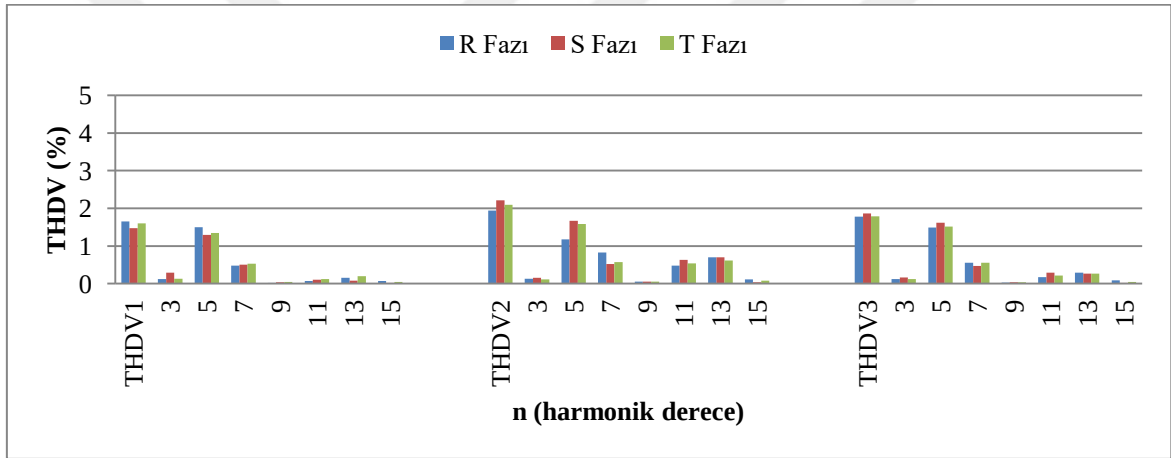
Şekil 3.113-3.119 arasında her güne ait gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri grafikleri yukarıda belirtilen 3 zaman aralığında verilmiştir. Şekil 3.120'de ise 7 günlük gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



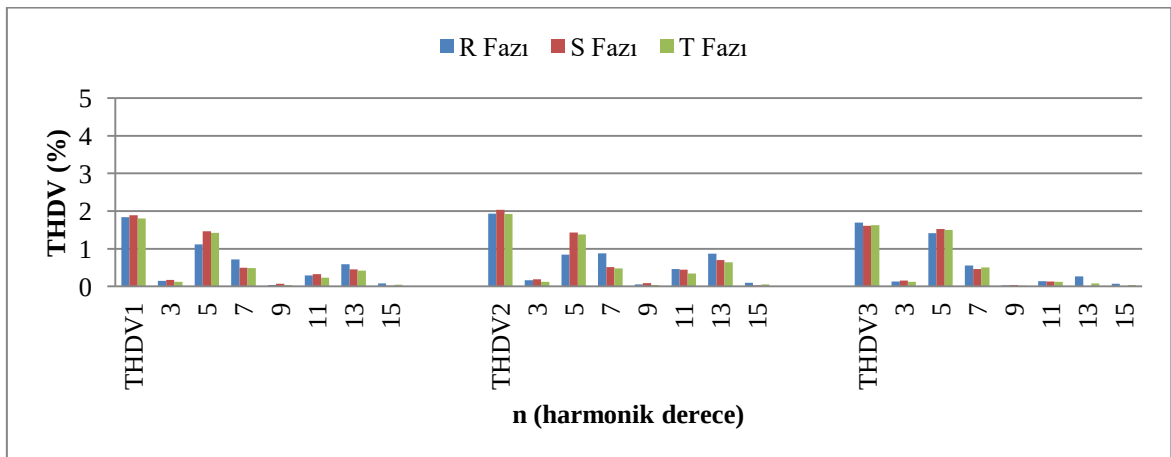
Şekil 3.113. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (1. gün)



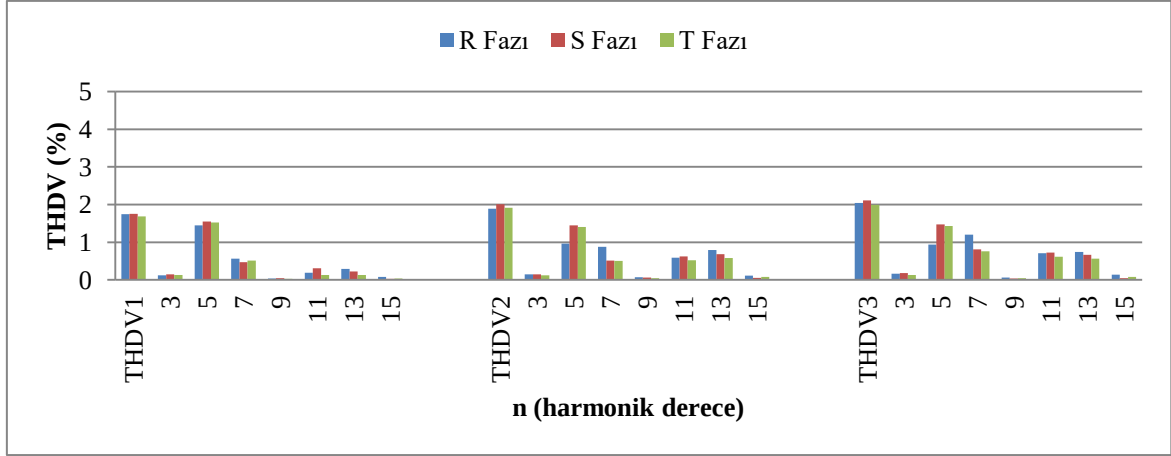
Şekil 3.114. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (2. gün)



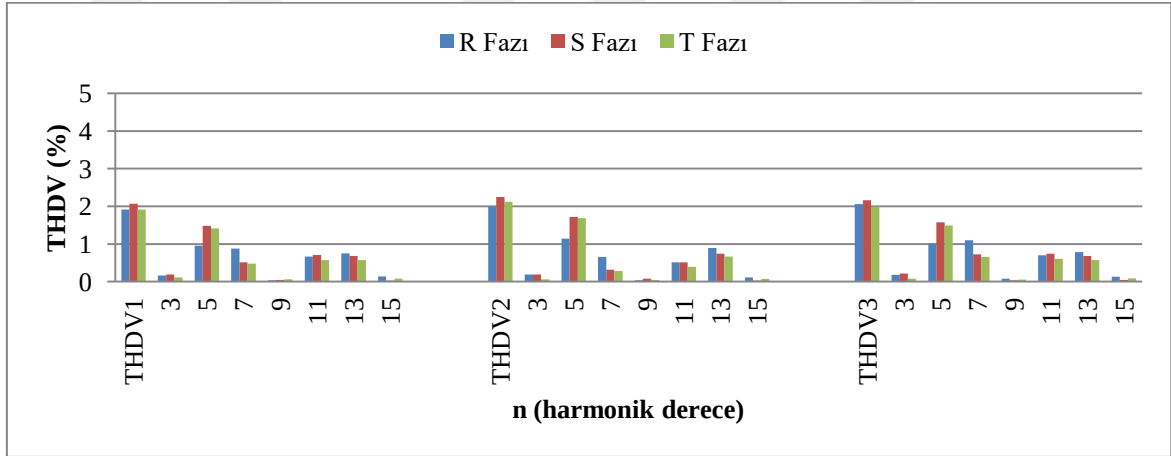
Şekil 3.115. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (3. gün)



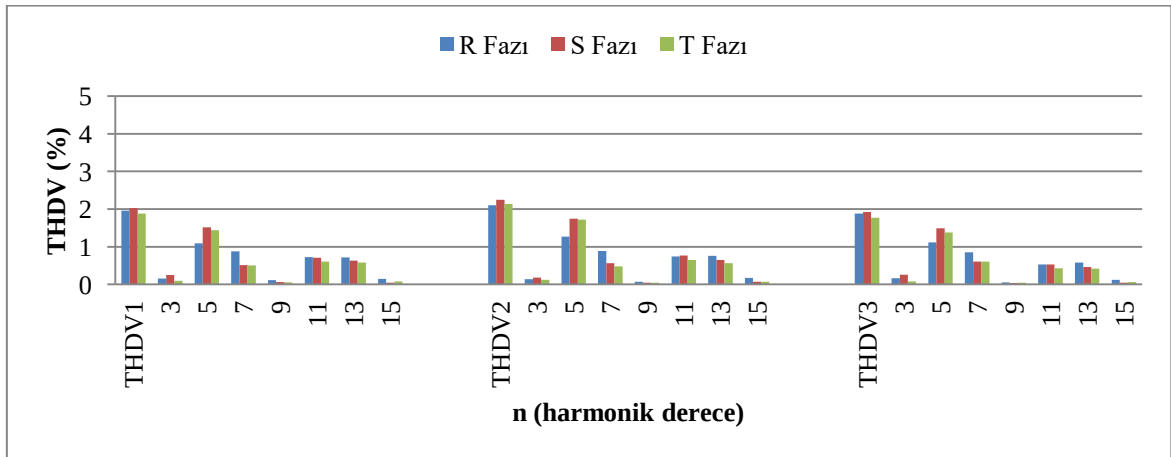
Şekil 3.116. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (4. gün)



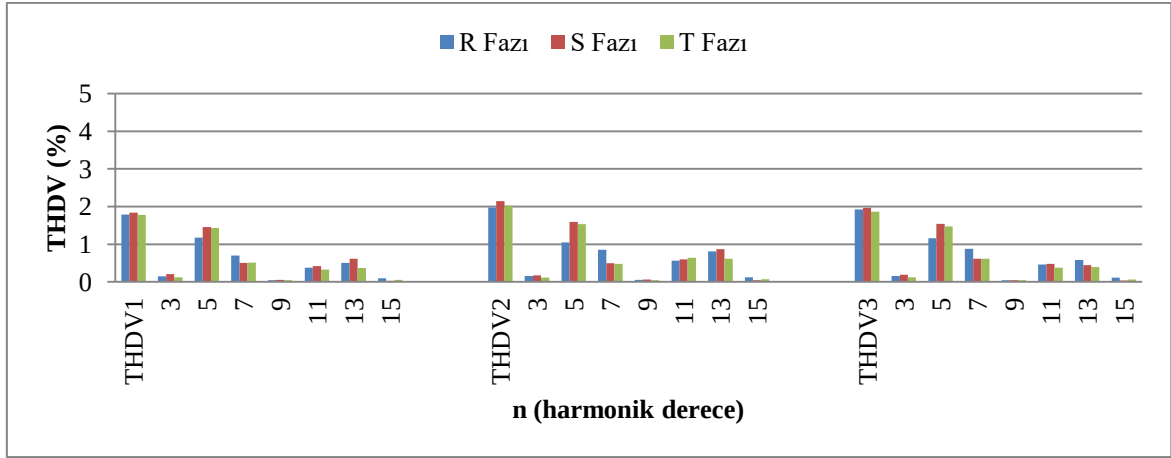
Şekil 3.117. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (5. gün)



Şekil 3.118. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (6. gün)



Şekil 3.119. Gerilim harmonik derecelerinin ortalama değeri (7. gün)



Şekil 3.120. Gerilim harmonik derecelerinin 7 günlük ortalama değeri

Şekil 3.120'e göre 00:00-08:00 saatleri arasında R fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %1,79, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,15, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,17, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,70, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,05, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,37, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,51 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,10 olduğu, S fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %1,84, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,20, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,42, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,51, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,04, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,32, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,37 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,06 olduğu, T fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %1,77, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,12, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,42, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,51, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,04, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,07, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,32 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,06 olduğu görülmüştür. 08:00-17.00 ölçüm aralığında R fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %1,97 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,15, 5.

harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,05, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,85, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,05, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,56, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,81 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,12 olduğu, S fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %2,14, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,17, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,59, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,50, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,07, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,60, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,69 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,04 olduğu, T fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %2,03, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,11, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,53, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,48, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,04, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,49, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,61 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,07 olduğu görülmüştür. 17:00-24:00 saatleri arasında R fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %1,92, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,16, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,16, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,88, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,05, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,46, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,58 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,11 olduğu, S fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %1,96, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,19, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,54, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,62, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,04, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,48, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,44 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,03 olduğu, T fazında gerilim için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %1,86, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %0,12, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama

değerinin %1,47, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,61, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,04, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,38, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,39 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,06 olduğu görülmüştür.

Her üç ölçüm aralığındaki harmonik derecelerinin ortalama değerleri incelendiğinde 5., 7., 11. ve 13. harmonik derecelerinin diğer harmonik derecelerine göre daha yüksek olduğu ancak üç ölçüm aralığındaki bireysel harmonik dereceleri için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin IEEE 519-2022 standardının üst sınırı olan %5'i geçmediği ve standartlar içinde kaldığı görülmüştür (IEEE 519-2022 standardına göre, bireysel her harmonik derecesi için toplam harmonik bozulmanın %5'i geçmeyecek şekilde olması gerektiği belirtilmiştir).

3.1.2. Akım kalitesi

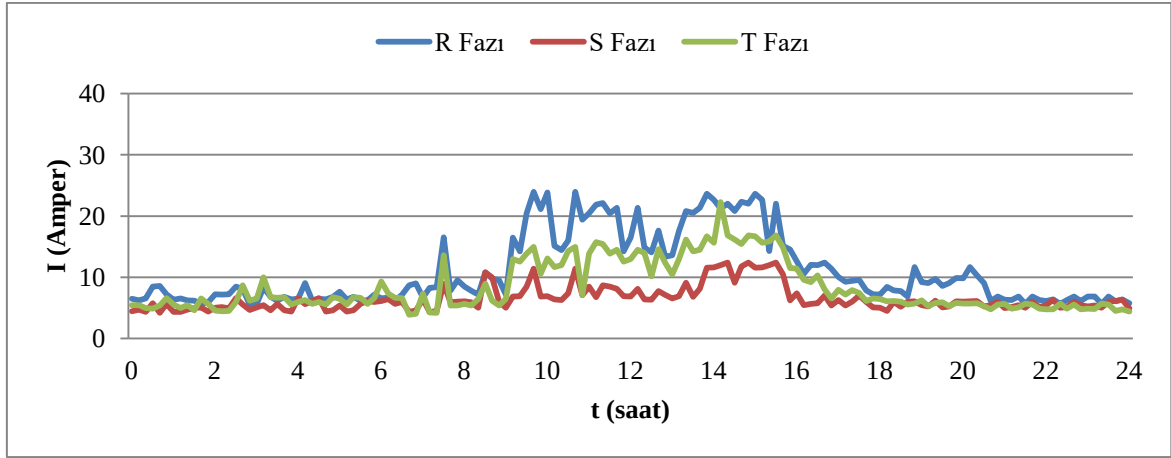
Belirlenen hizmet binaları akım kalitesi yönünden incelenirken her bir faz için akımın etkin değerindeki değişimleri, akım için toplam harmonik bozulmanın değişimleri ve akım harmonik derecelerinin ortalama değerleri incelenmiştir.

3.1.2.1. Akımın etkin değerindeki değişimler

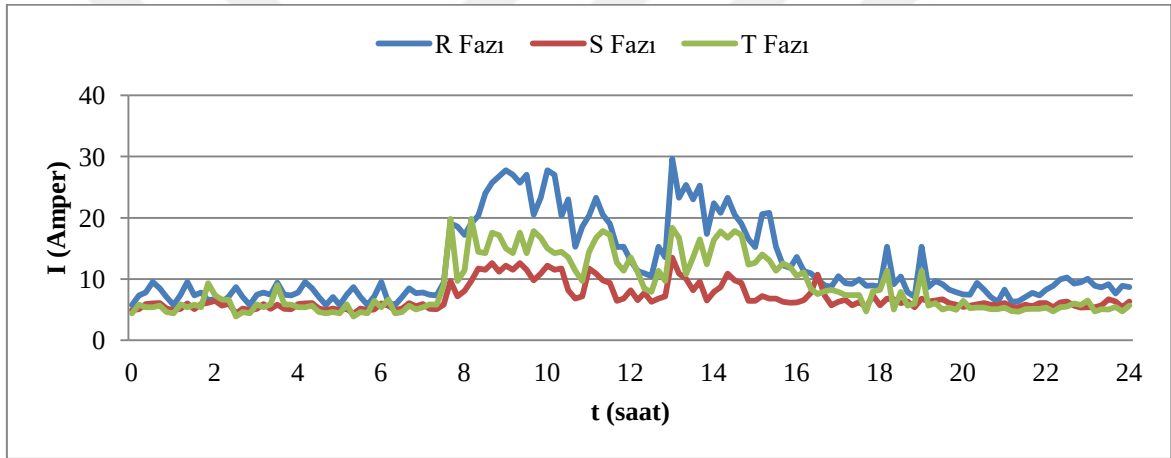
Akımın etkin değeri ile ilgili bir standart olmayıp, beslenen yükün büyüklüğüne bağlı olarak çekilen akımların ve toplam yükün her bir faza olabildiğince eşit bir şekilde dağıtılması sağlanarak, hem elektrik hattının ısınmasının, hem de gerilim düşümü ve gerilim dengesizliğinin önüne geçilmesi dolaylı olarak sağlanabilir.

3.1.2.1.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası

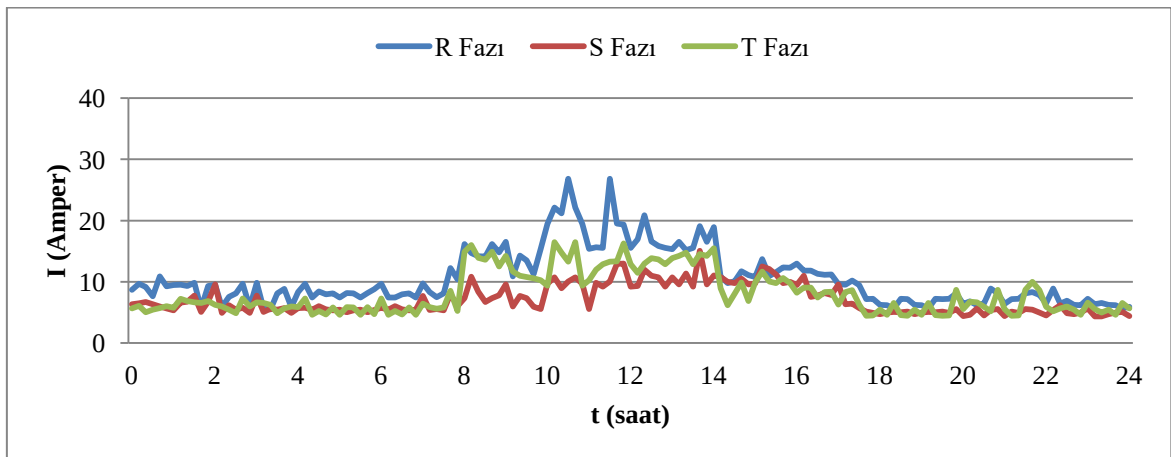
Şekil 3.121-3.127'de her güne ait akımın etkin değerinin değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.128'de ise 7 günlük akımın etkin değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



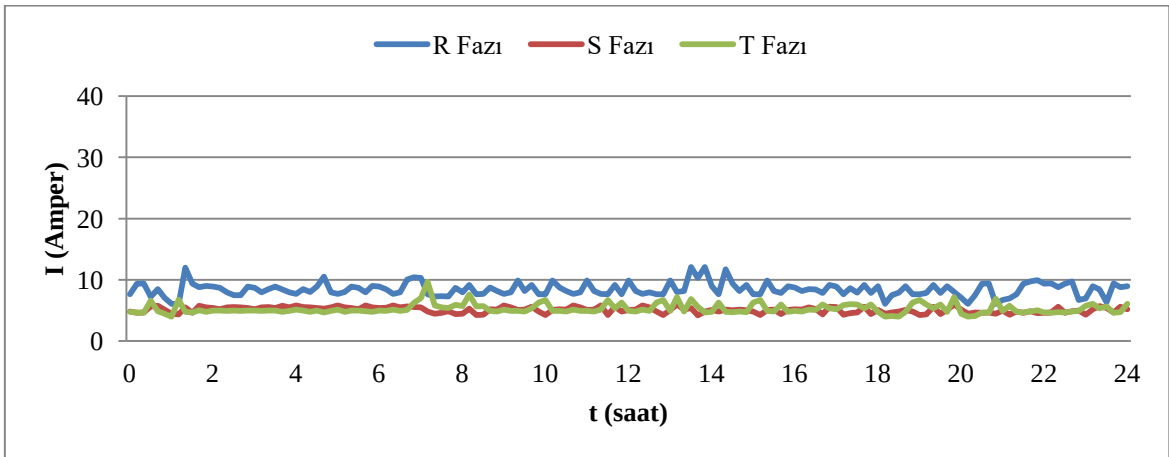
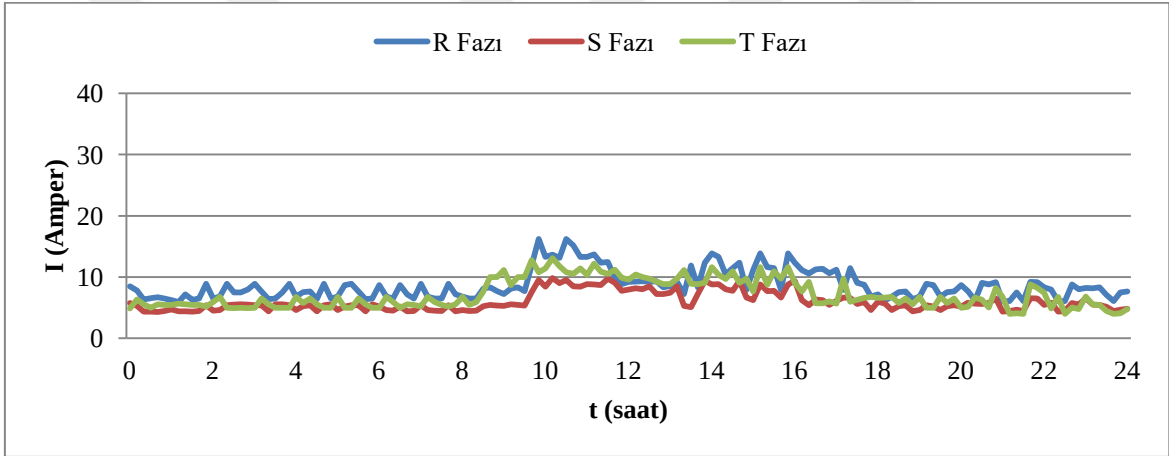
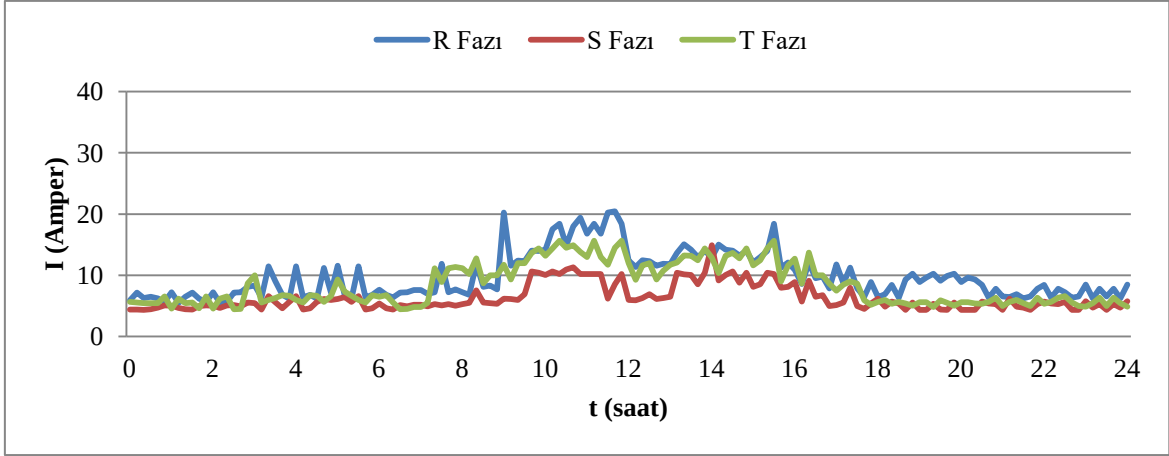
Şekil 3.121. Akımın etkin değerinin değişimi (1. gün)

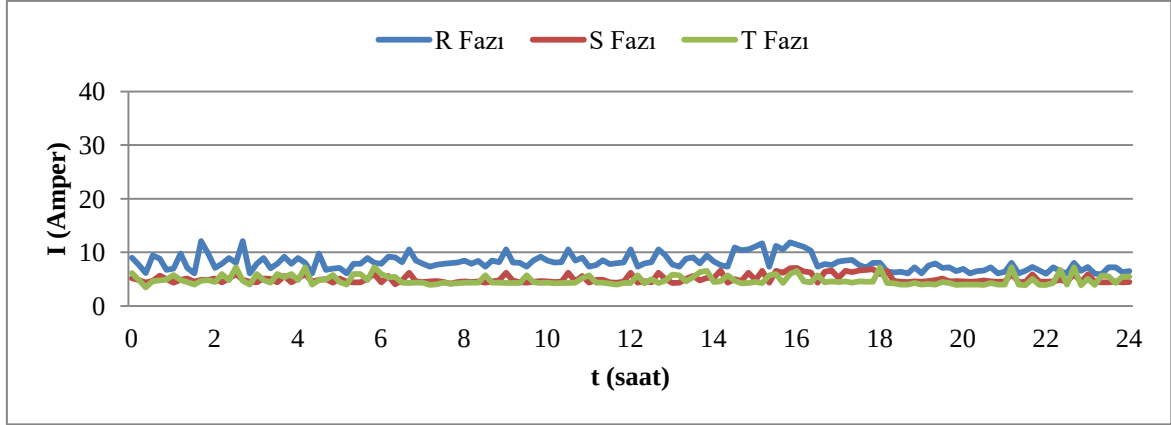


Şekil 3.122. Akımın etkin değerinin değişimi (2. gün)

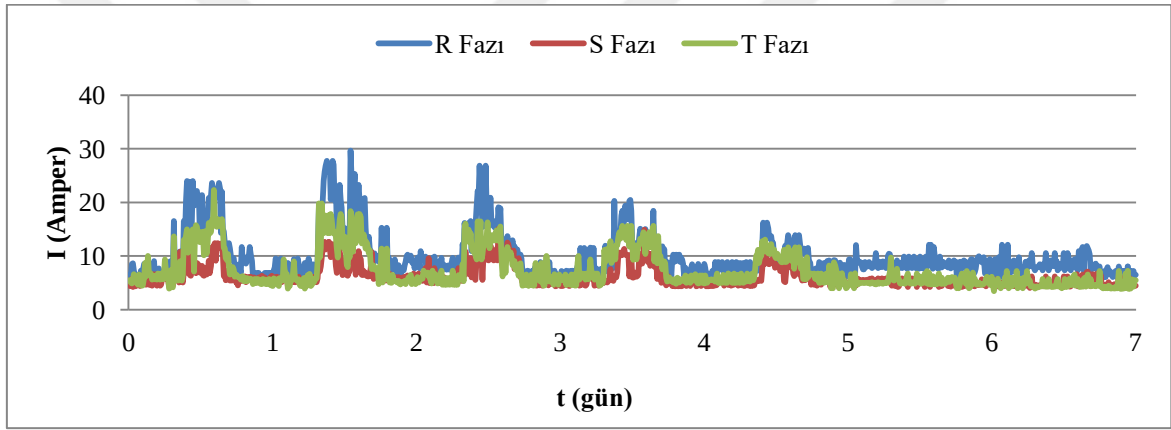


Şekil 3.123. Akımın etkin değerinin değişimi (3. gün)





Şekil 3.127. Akımın etkin değerinin değişimi (7. gün)



Şekil 3.128. Akımın etkin değerinin 7 günlük değişimi

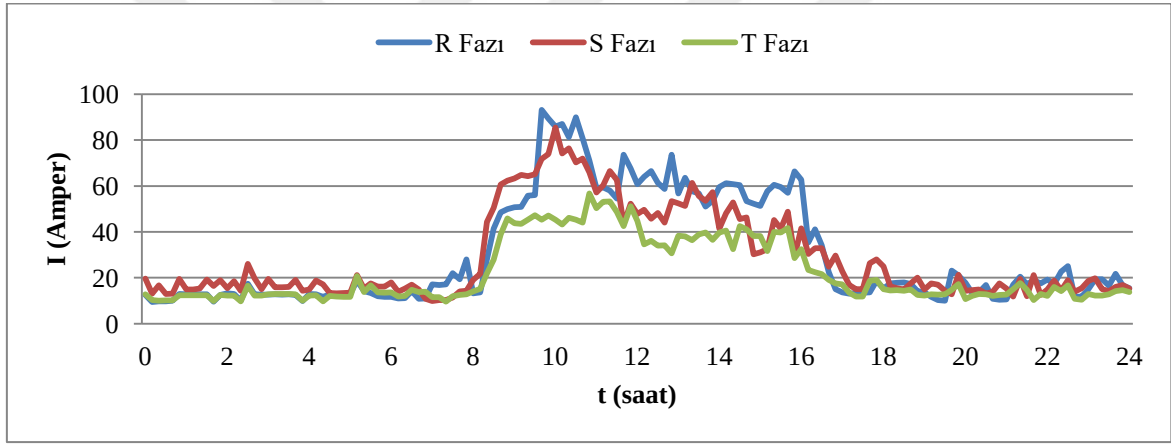
Şekil 3.121-3.125 grafiklerde akımın etkin değeri incelendiğinde, 00:00-08:00 ve 17:00-24:00 saatleri arasında her üç faz için faz akımlarının etkin değerinde çok fazla değişimin olmadığı, S ve T fazlarının etkin değerlerinin yaklaşık olarak birbirine eşit, R fazının ise diğer iki fazın etkin değerinden fazla olduğu, 08:00-17:00 saatleri arasında faz akımların etkin değerinin hafta içi mesai saatlerine denk geldiği için arttığı, bu saatler arasında da R fazının diğer iki faza göre yine fazla akım çektiği görülmektedir. Şekil 3.126 ve Şekil 3.127 grafiklerinde akımın etkin değeri incelendiğinde, her üç faz için faz akımlarının etkin değerinde gün içinde fazla değişimin olmadığı görülmüştür.

Şekil 3.128'e göre, Ar-Ge Laboratuvarı ölçüm noktası üç faza ait akımın etkin değerleri incelendiğinde, ölçüm süresi boyunca R fazında ölçülen akımın minimum etkin değerinin 5,5 Amper, maksimum etkin değerinin 29,68 Amper, 7 günün ortalama etkin değerinin 9,88 Amper; S fazında ölçülen akımın minimum etkin değerinin 4,05 Amper,

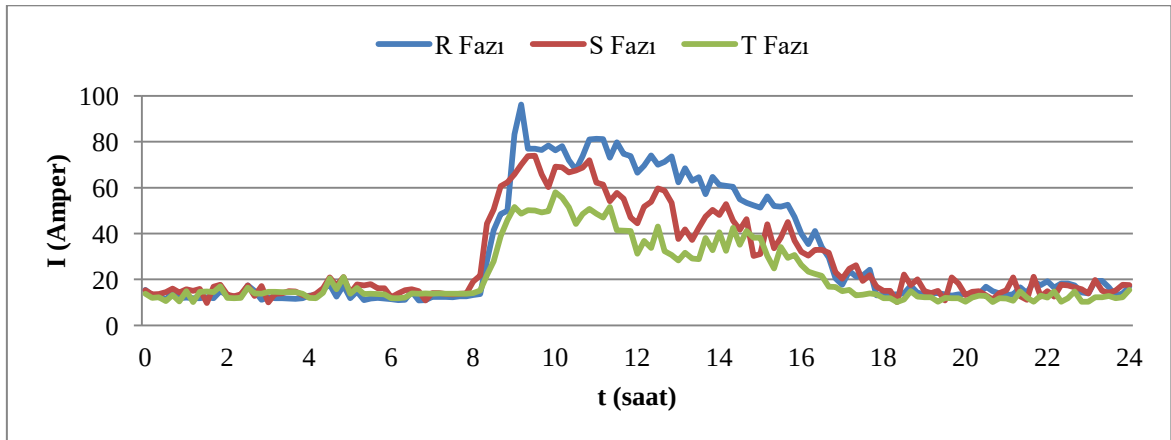
maksimum etkin değerin 15,08 Amper, 7 günün ortalama etkin değerin 6,14 Amper; T fazında ölçülen akımın minimum etkin değerin 3,43 Amper, maksimum etkin değerin 22,29 Amper, 7 günün ortalama etkin değerin 7,31 Amper olduğu ve her faz için ölçülen ortalama akımların hizmet binasının çekebileceği maksimum akım olan 1257,19 Amper değerin çok altında olduğu görülmektedir.

3.1.2.1.2. İdari birimler hizmet binası

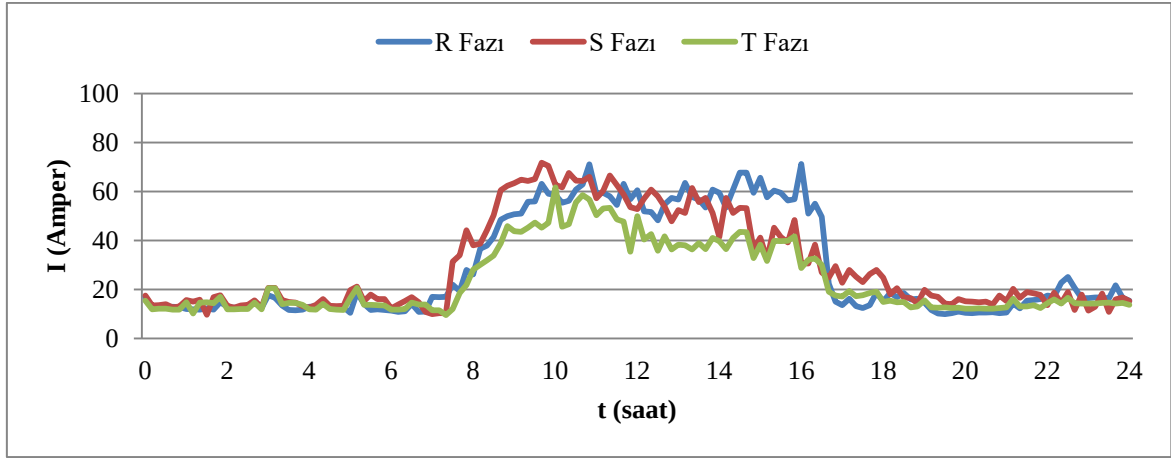
Şekil 3.129-3.135’de her güne ait akımın etkin değerin değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.136’da ise 7 günlük akımın etkin değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



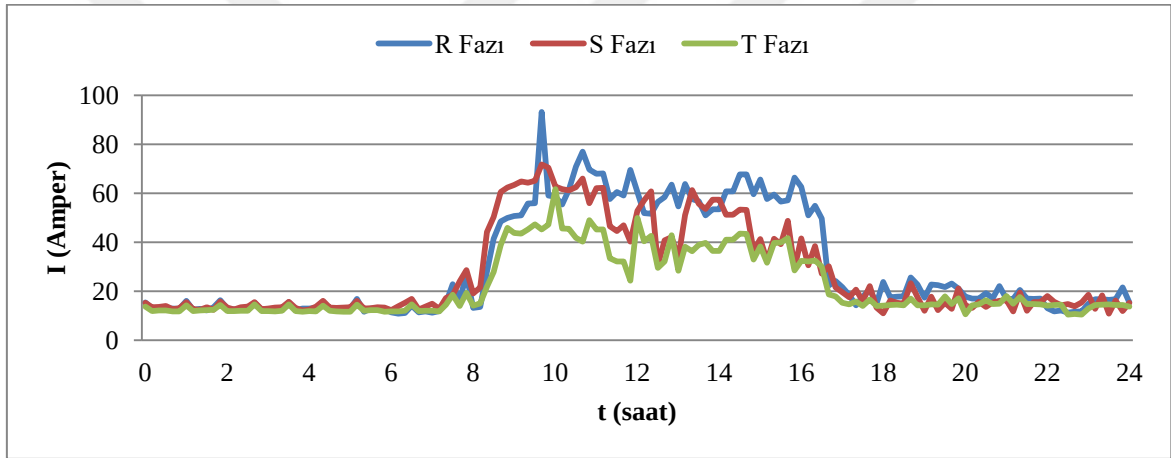
Şekil 3.129. Akımın etkin değerin değişimi (1. gün)



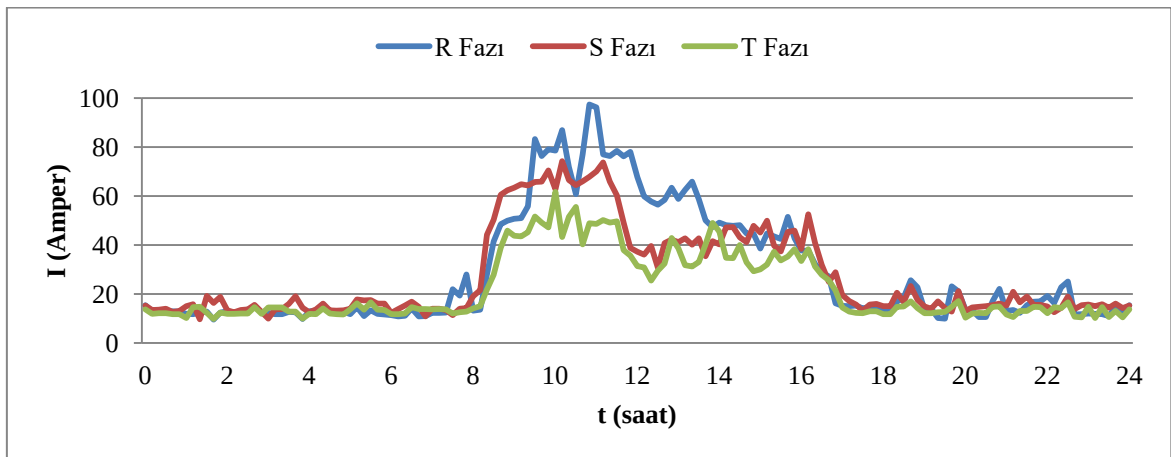
Şekil 3.130. Akımın etkin değerin değişimi (2. gün)



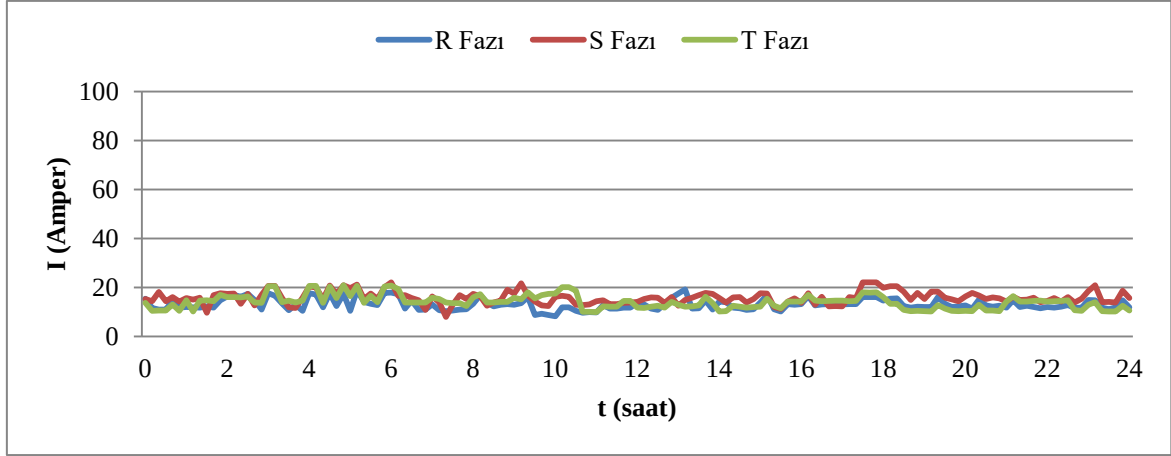
Şekil 3.131. Akımın etkin değerinin değişimi (3. gün)



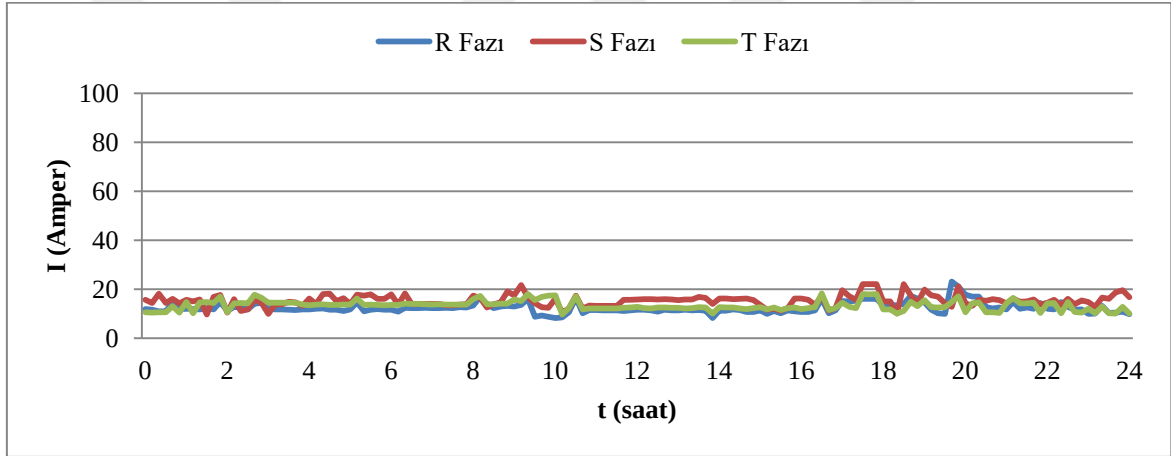
Şekil 3.132. Akımın etkin değerinin değişimi (4. gün)



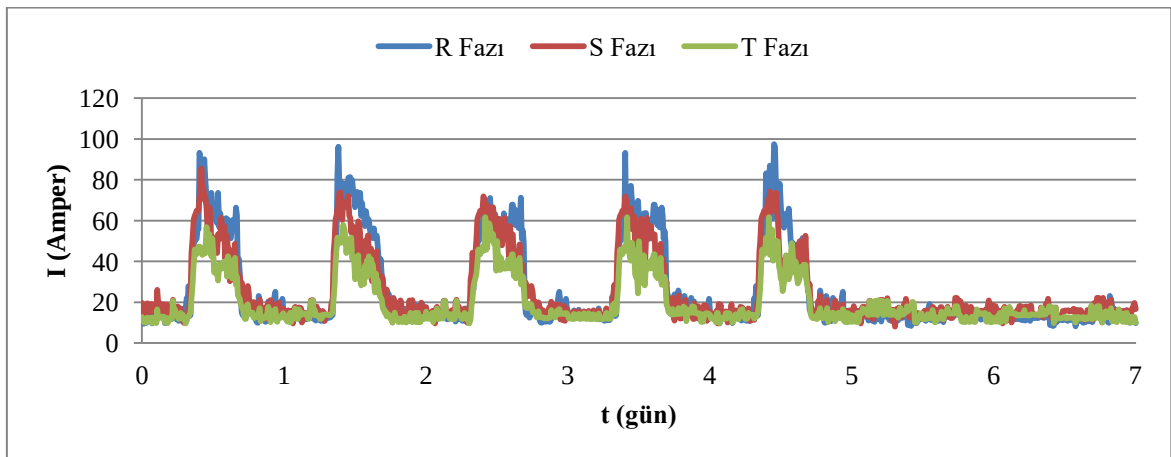
Şekil 3.133. Akımın etkin değerinin değişimi (5. gün)



Şekil 3.134. Akımın etkin değerinin değişimi (6. gün)



Şekil 3.135. Akımın etkin değerinin değişimi (7. gün)



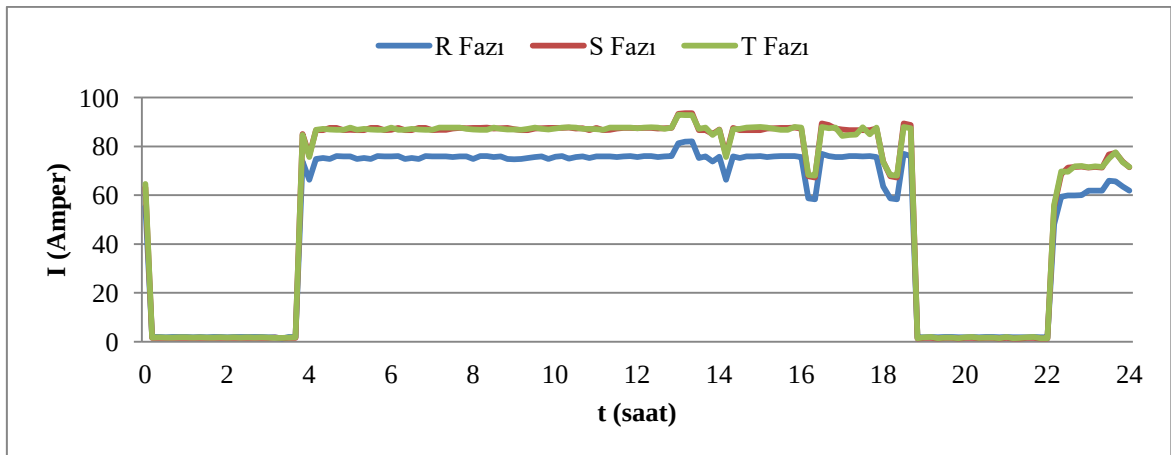
Şekil 3.136. Akımın etkin değerinin 7 günlük değişimi

Şekil 3.129-3.133 grafiklerde akımın etkin değeri incelendiğinde, 00:00-08:00 ve 17:00-24:00 saatleri arasında her üç faz için faz akımlarının etkin değerinde çok fazla değişimin olmadığı, her üç fazın etkin değerlerinin yaklaşık olarak birbirine eşit, 08:00-17:00 saatleri arasında faz akımların etkin değerinin hafta içi mesai saatlerine denk geldiği için arttığı, bu saatler arasında genelde R fazının diğer iki faza göre fazla akım çektiği görülmektedir. Şekil 3.134 ve Şekil 3.135 grafiklerine göre, her üç faz için faz akımlarının etkin değerinde gün içinde fazla değişimin olmadığı görülmüştür.

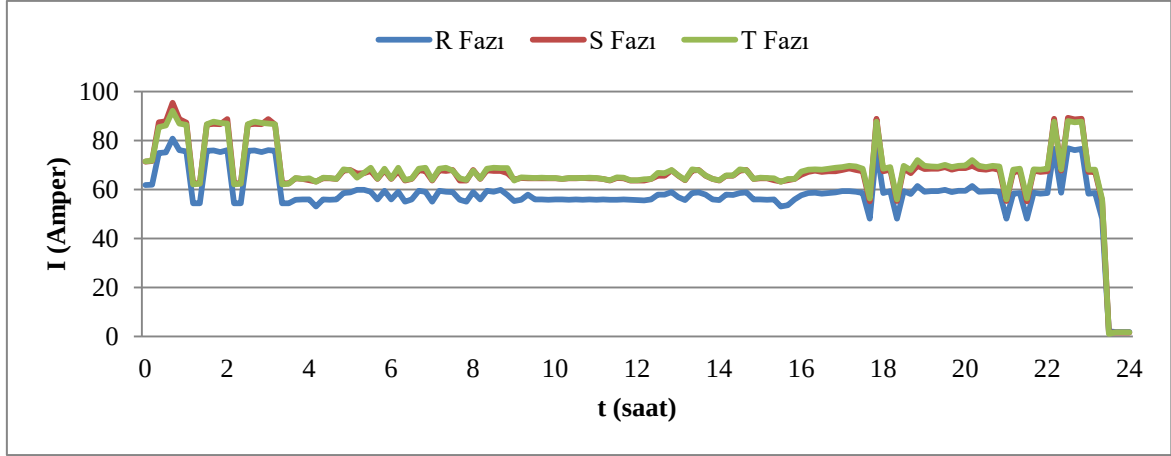
Şekil 3.136'ya göre, İdari Birimler ölçüm noktasına ait 7 gün boyunca 10'ar dakika aralıklarla üç faza ait akımın etkin değerleri incelendiğinde, ölçüm süresi boyunca R fazında ölçülen akımın minimum etkin değerinin 8,25 Amper, maksimum etkin değerinin 97,39 Amper, 7 günün ortalama etkin değerinin 25,36 Amper; S fazında ölçülen akımın minimum etkin değerinin 8,01 Amper, maksimum etkin değerinin 85,48 Amper, 7 günün ortalama etkin değerinin 24,93 Amper; T fazında ölçülen akımın minimum etkin değerinin 9,63 Amper, maksimum etkin değerinin 61,67 Amper, 7 günün ortalama etkin değerinin 20,10 Amper olduğu ve her faz için ölçülen ortalama akımların hizmet binasının çekebileceği maksimum akım olan 569,79 Amperin çok altında olduğu görülmektedir.

3.1.2.1.3. Isı merkezi hizmet binası

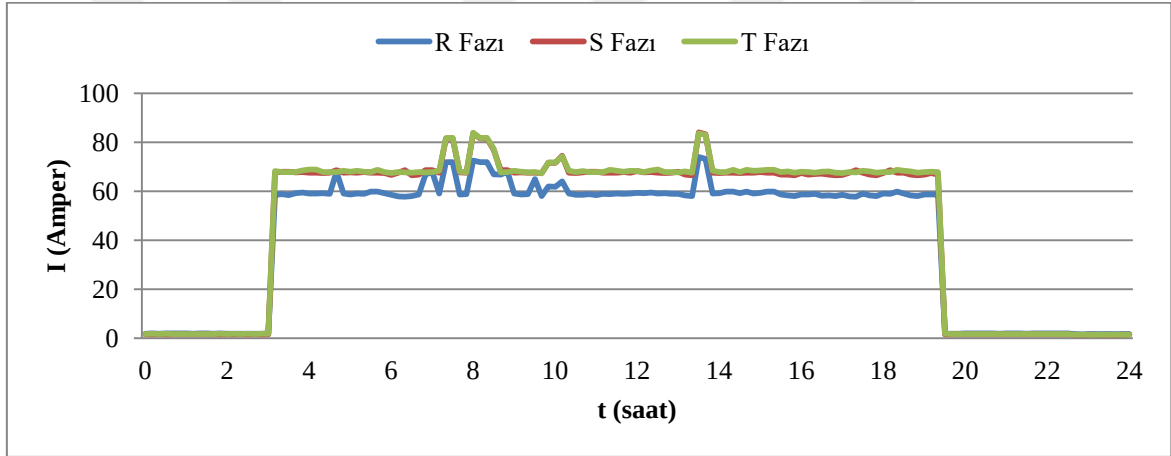
Şekil 3.137-3.143'de her güne ait akımın etkin değerinin değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.144'de ise 7 günlük akımın etkin değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



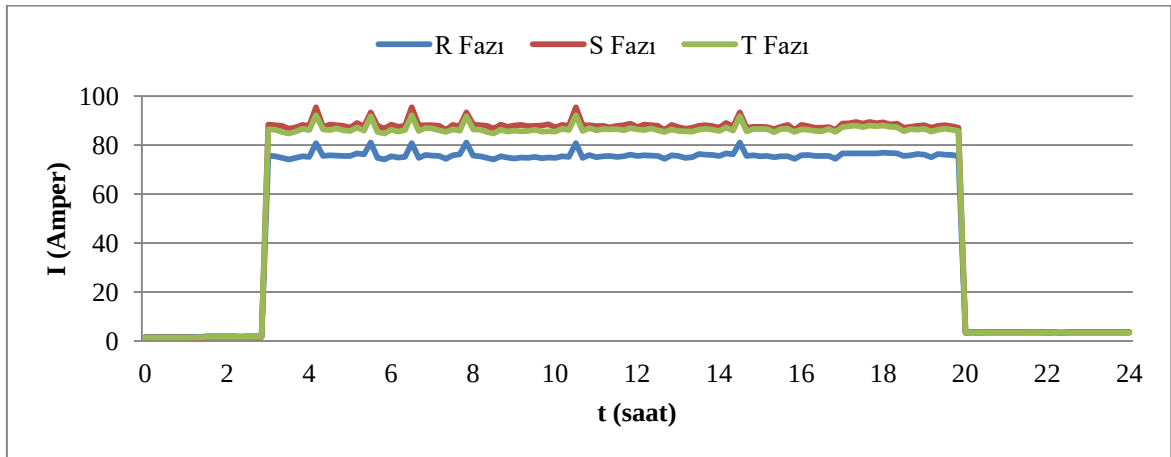
Şekil 3.137. Akımın etkin değerinin değişimi (1. gün)



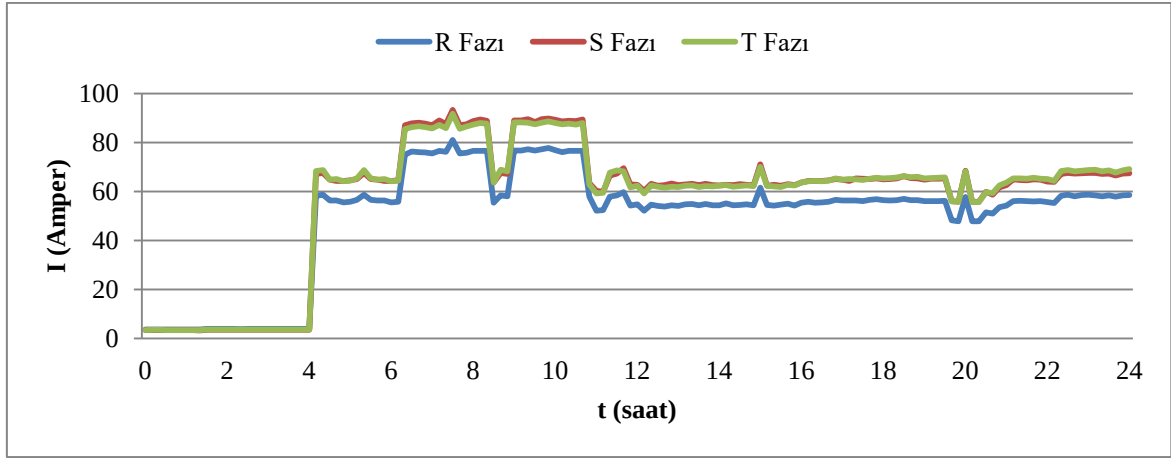
Şekil 3.138. Akımın etkin değerinin değişimi (2. gün)



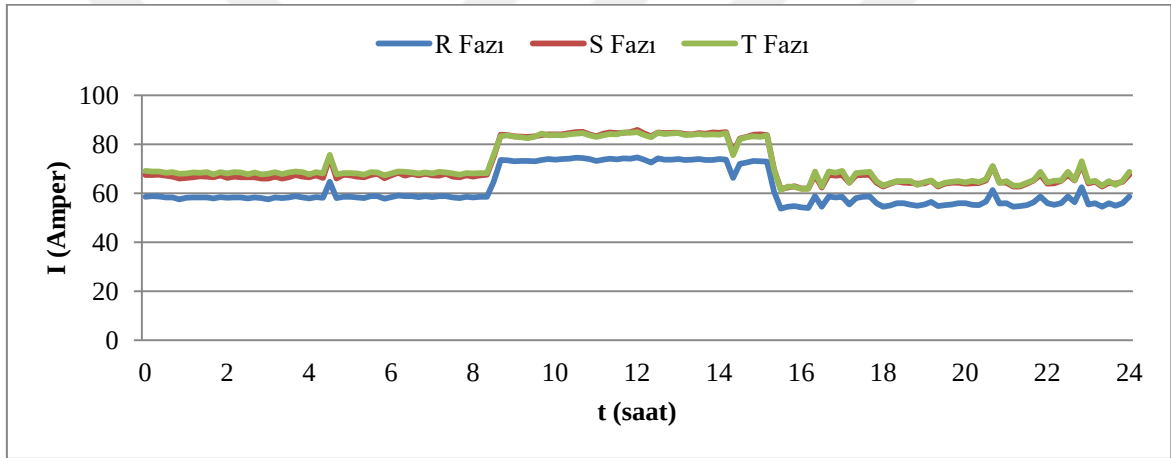
Şekil 3.139. Akımın etkin değerinin değişimi (3. gün)



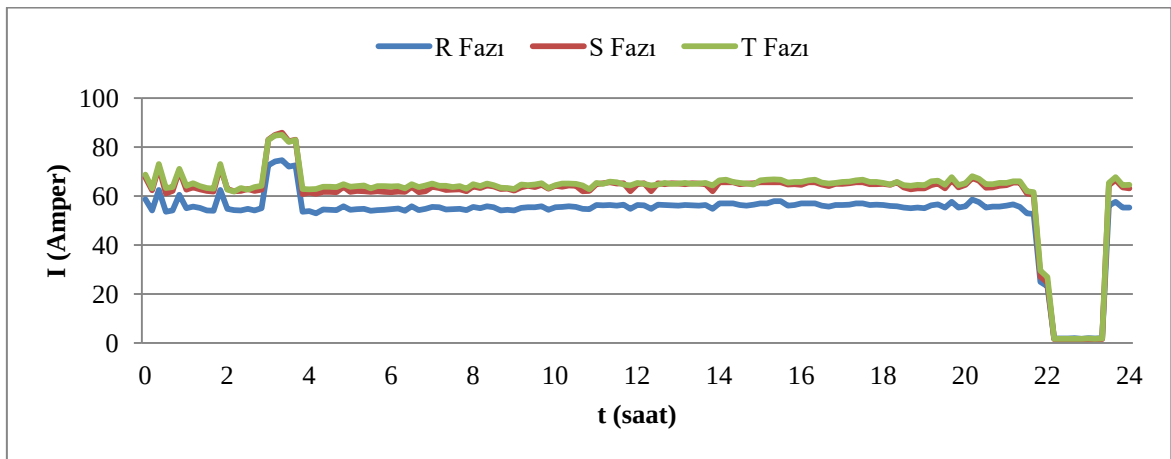
Şekil 3.140. Akımın etkin değerinin değişimi (4. gün)



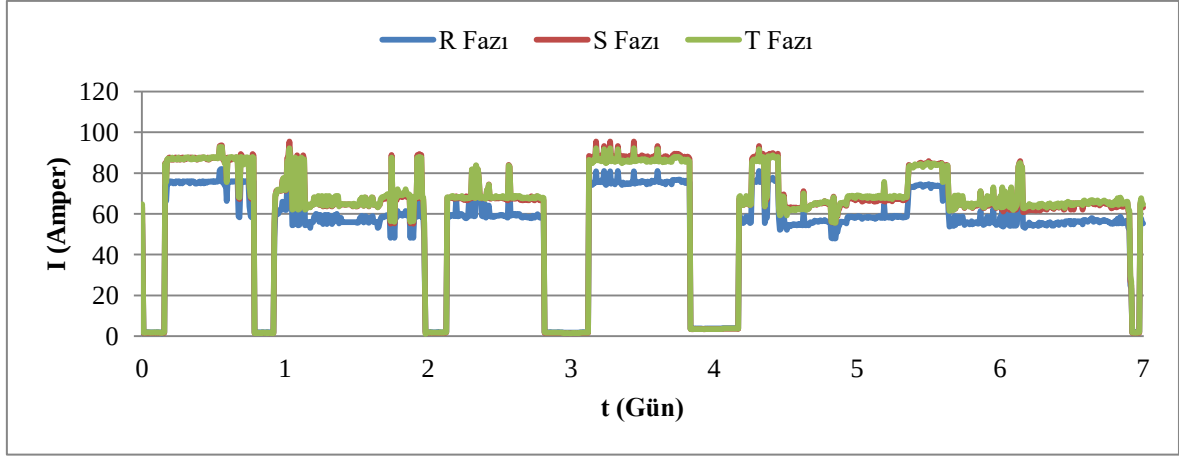
Şekil 3.141. Akımın etkin değerinin değişimi (5. gün)



Şekil 3.142. Akımın etkin değerinin değişimi (6. gün)



Şekil 3.143. Akımın etkin değerinin değişimi (7. gün)



Şekil 3.144. Akımın etkin değerinin 7 günlük değişimi

Şekil 3.137-3.144 grafiklerde akımın etkin değeri incelendiğinde, üç fazın karakteristik özelliklerinin aynı olduğu, S ve T fazlarının akımlarının etkin değerlerinin birbirlerine yakın olduğu, R fazının ise diğer iki fazın etkin değerlerinden biraz düşük olduğu görülmektedir. Şekil 3.144'e göre Munzur Üniversitesi kampüs alanındaki hizmet binalarının ısınması için çalıştırılan pompaların çalıştığı zaman diliminde çekilen akımın etkin değerinin maksimum seviyeye ulaştığı, ısıtma sisteminin kapatıldığı ve pompaların çalışmadığı zaman aralıklarında çukurlukların oluştuğu, çekilen akımın etkin değerinin minimum seviyelere düştüğü görülmektedir.

Şekil 3.144'e göre, Isı Merkezi ölçüm noktasına ait 7 gün boyunca 10'ar dakika aralıklarla üç faza ait akımın etkin değerleri incelendiğinde, ölçüm süresi boyunca R fazında ölçülen akımın minimum etkin değerinin 1,33 Amper, maksimum etkin değerinin 82 Amper, 7 günün ortalama etkin değerinin 53,16 Amper; S fazında ölçülen akımın minimum etkin değerinin 1,35 Amper, maksimum etkin değerinin 95,43 Amper, 7 günün ortalama etkin değerinin 61,08 Amper; T fazında ölçülen akımın minimum etkin değerinin 1,10 Amper, maksimum etkin değerinin 92,90 Amper, 7 günün ortalama etkin değerinin 61,20 Amper olduğu ve her faz için ölçülen ortalama akımların hizmet binalarının çekebileceği maksimum akım olan 638,34 Amperin çok altında olduğu görülmektedir.

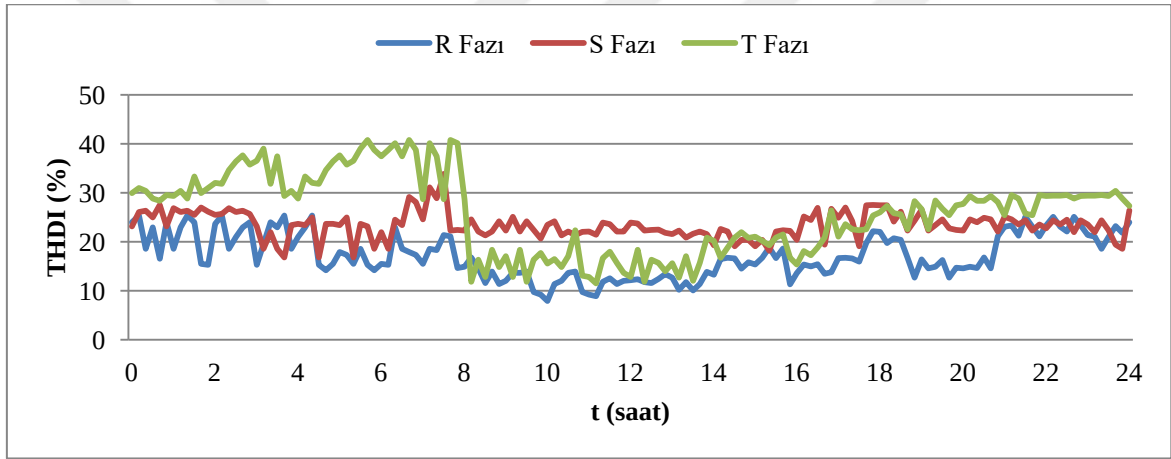
3.1.2.2. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi

Munzur Üniversitesi kampüs alanında belirlenen üç hizmet binasının güç kalitesi incelenirken güç kalitesi parametrelerinden biri olan akım için toplam harmonik

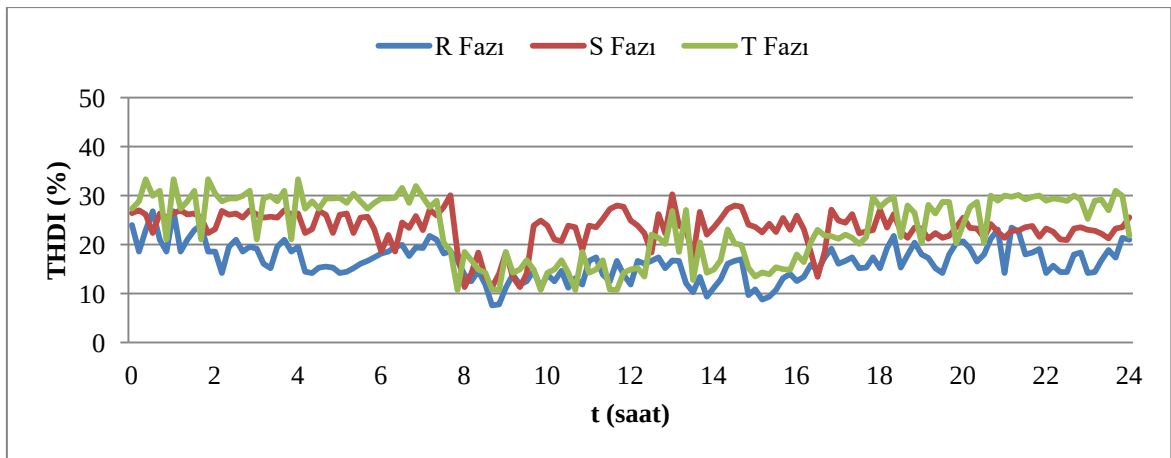
bozulmanın değeri ve akım harmonik derecelerinin ortalama değeri IEEE 519-2022 standardında belirtilen ve birinci bölümde açıklanan sınır değerlerine göre değerlendirilmiştir (IEEE 519-2022 standardına göre akım için toplam harmonik bozulmanın %20'yi geçmemesi gerekmektedir).

3.1.2.2.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası

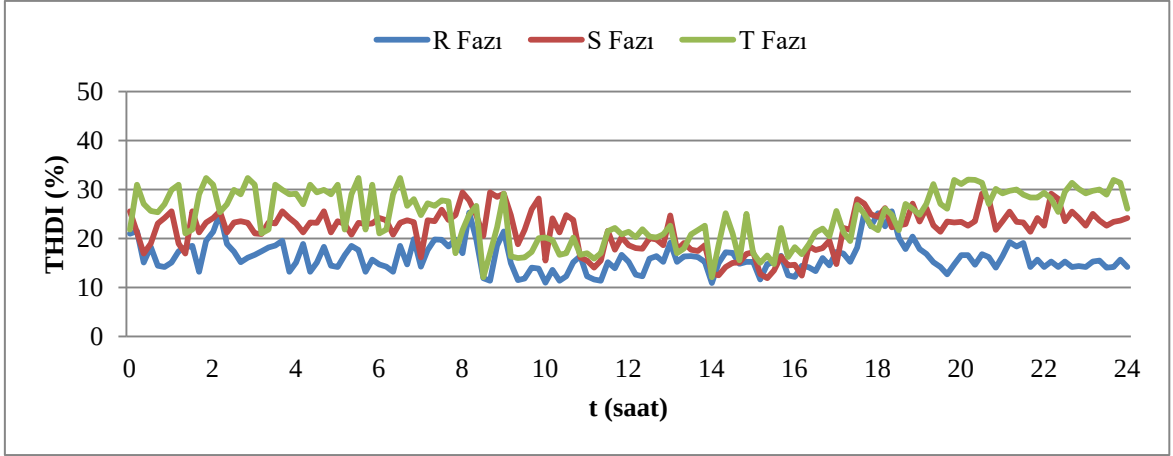
Şekil 3.121-3.127'de her güne ait akım için toplam harmonik bozulmanın değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.128'de ise 7 günlük akım için toplam harmonik bozulmanın ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



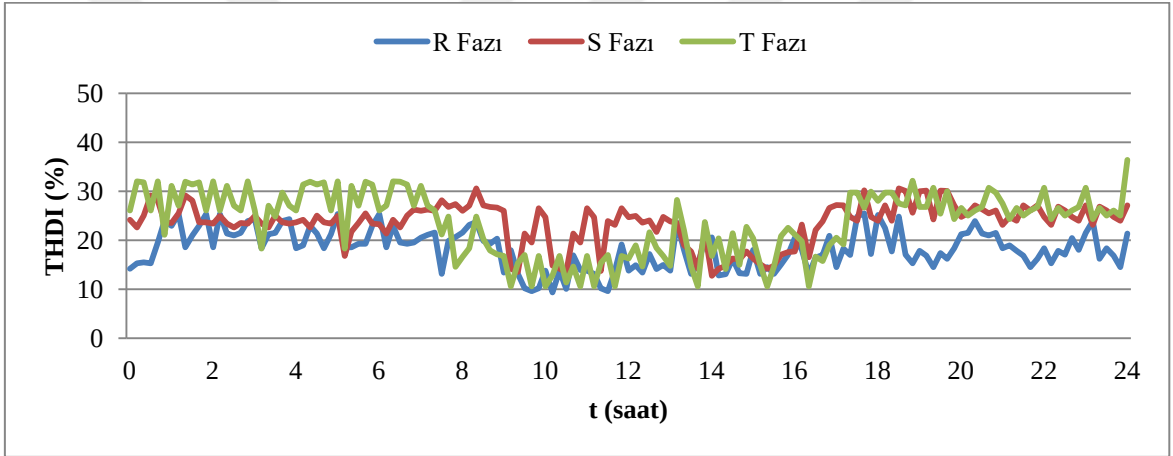
Şekil 3.145. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (1. gün)



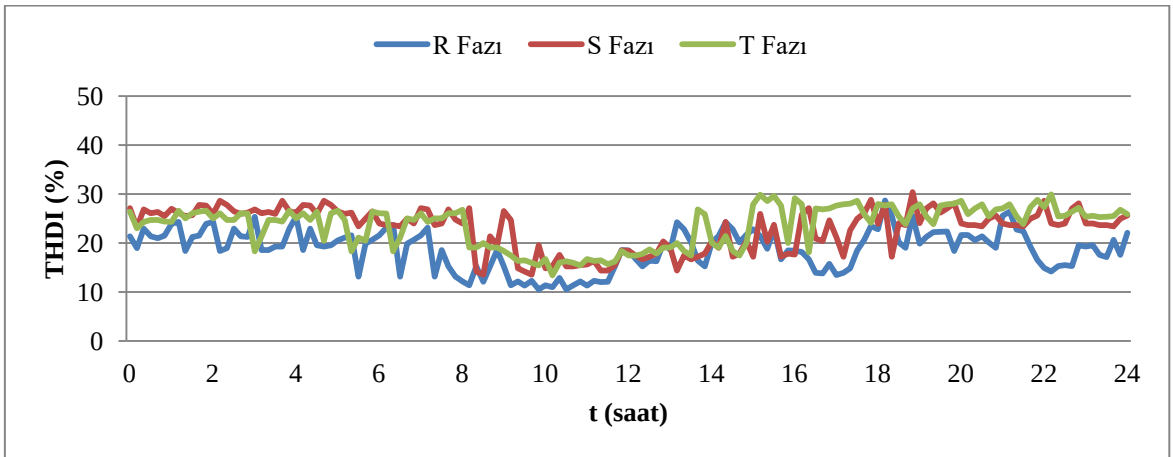
Şekil 3.146. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (2. gün)



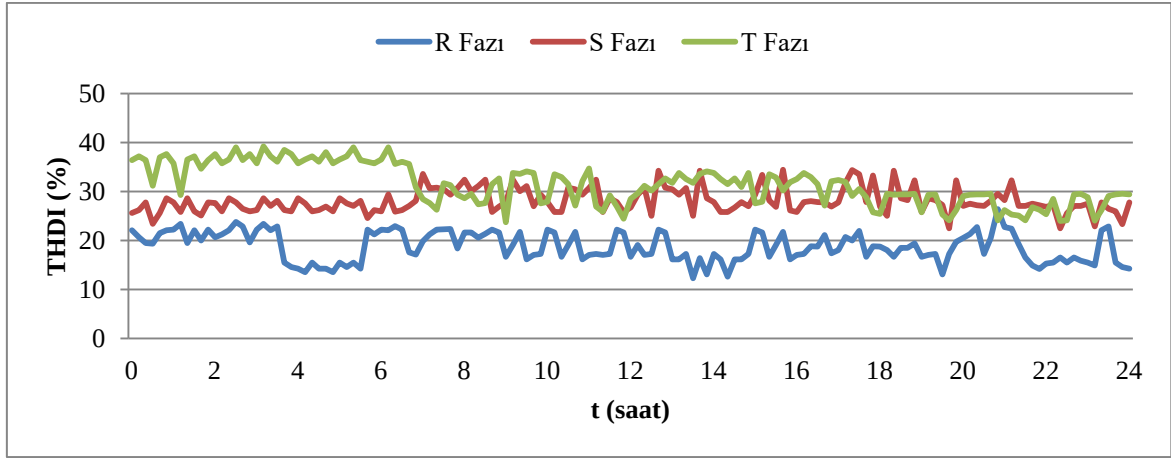
Şekil 3.147. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (3. gün)



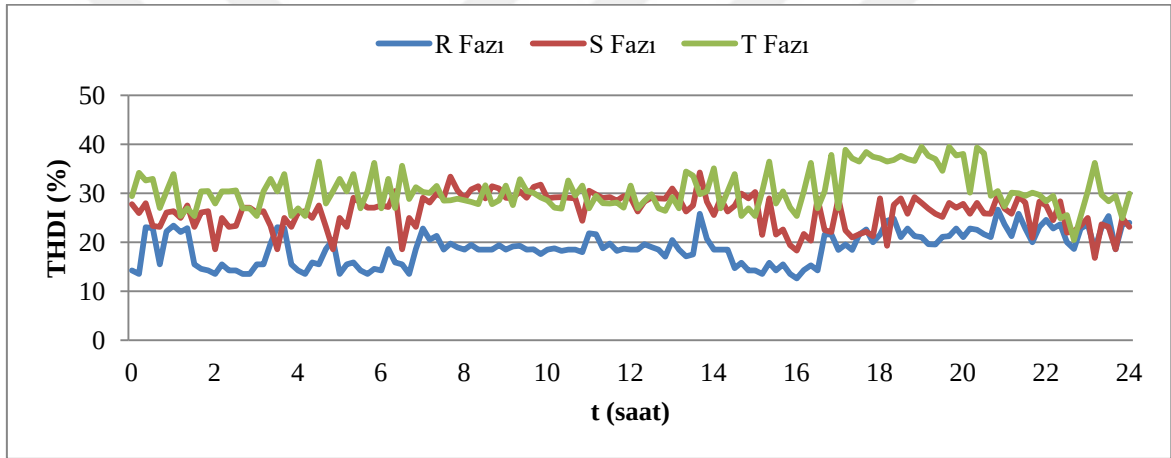
Şekil 3.148. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (4. gün)



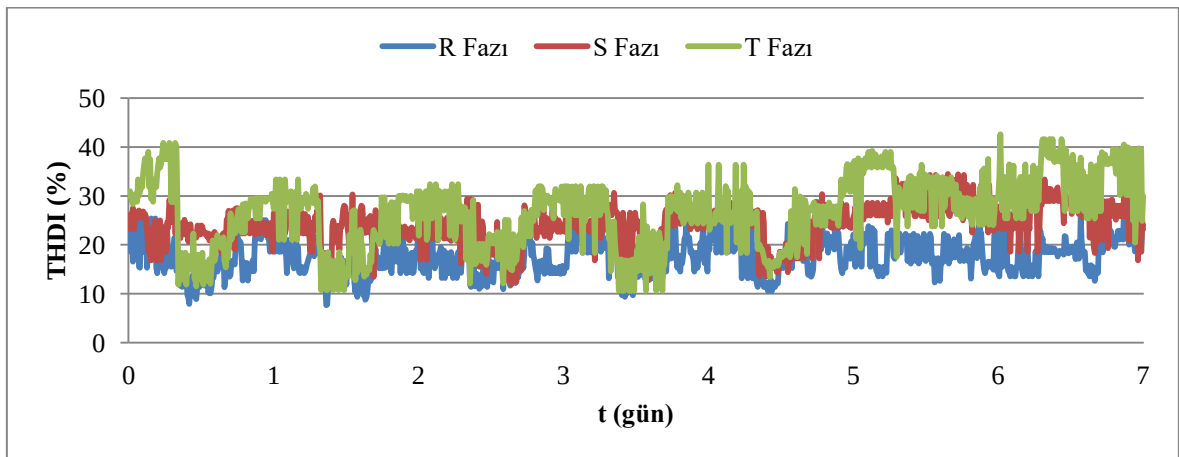
Şekil 3.149. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (5. gün)



Şekil 3.150. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (6. gün)



Şekil 3.151. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (7. gün)



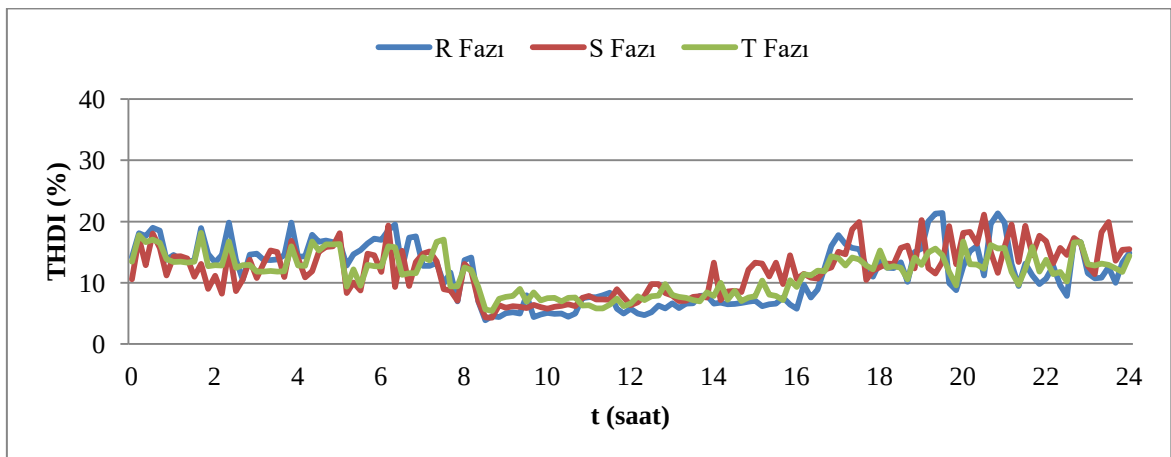
Şekil 3.152. Akım için toplam harmonik bozulmanın 7 günlük değişimi

Ar-Ge Laboratuvarı hizmet binası için 7 günlük veriler ayrı ayrı incelendiğinde akım için toplam harmonik bozulmanın mesai saatleriyle bir paralellik olduğu söylenir. Mesai saatlerini kapsayan 08:00-17:00 saatleri arasında akım için toplam harmonik bozulmanın her üç faz içinde azaldığı, mesai saatleri dışında ve hafta sonuna denk gelen günlerde ise arttığı görülmektedir. 7 günlük akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi incelendiğinde, R fazında akım için toplam harmonik bozulmanın değişiminin minimum değerinin %7,63, maksimum değerinin %28,73, ortalama değerinin %17,65, S fazında akım için toplam harmonik bozulmanın değişiminin minimum değerinin %11,35, maksimum değerinin %34,47, ortalama değerinin %24,21, T fazında akım için toplam harmonik bozulmanın değişiminin minimum değerinin %10,58, maksimum değerinin %42,61, ortalama değerinin %26,16 olduğu görülmüştür.

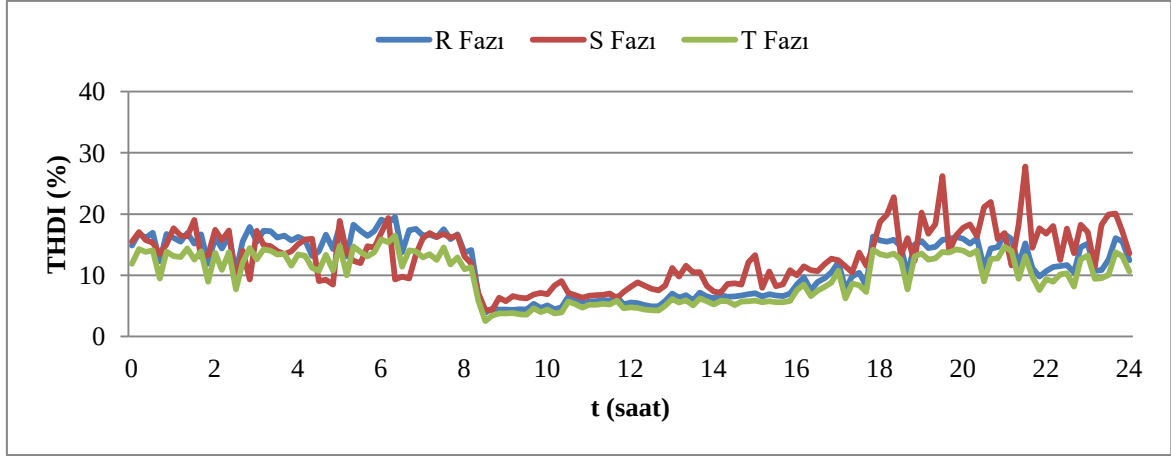
IEEE 519-2022 standardına göre her fazın akım için toplam harmonik bozulmanın değeri sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür (1 kV altındaki dağıtım sistemleri için toplam akım harmonik bozulmanın maksimum değeri %20'dir).

3.1.2.2.2. İdari birimler hizmet binası

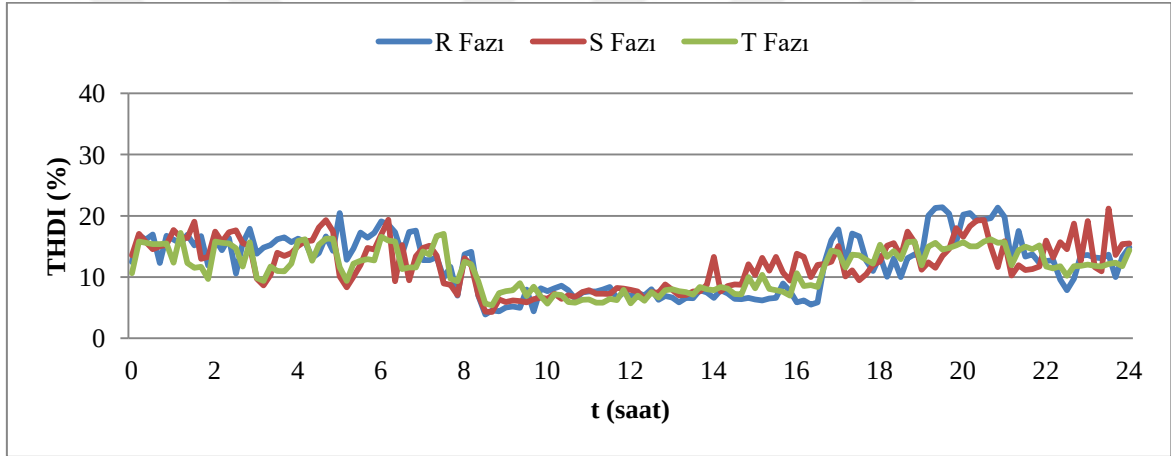
Şekil 3.153-3.159'da her güne ait akım için toplam harmonik bozulmanın değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.160'ta ise 7 günlük akım için toplam harmonik bozulmanın ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



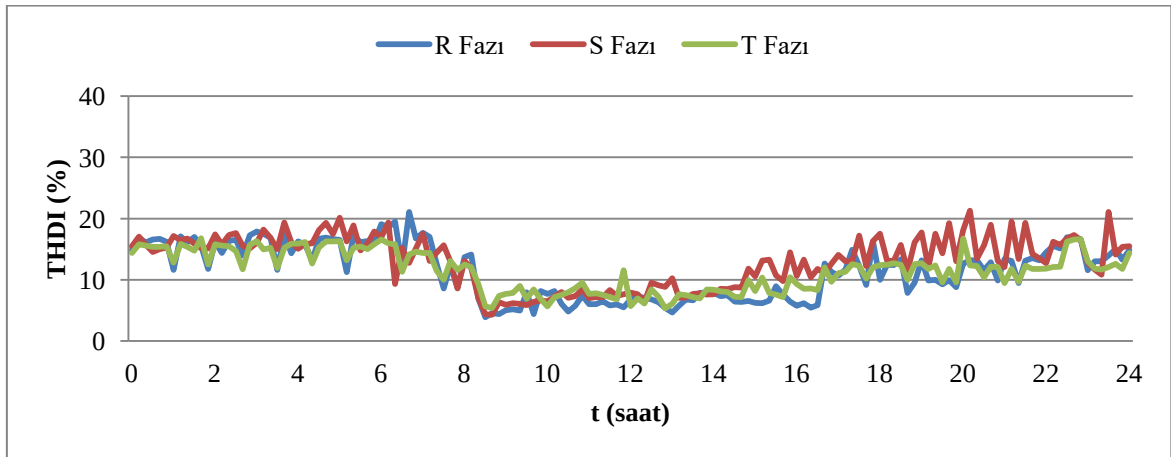
Şekil 3.153. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (1. gün)



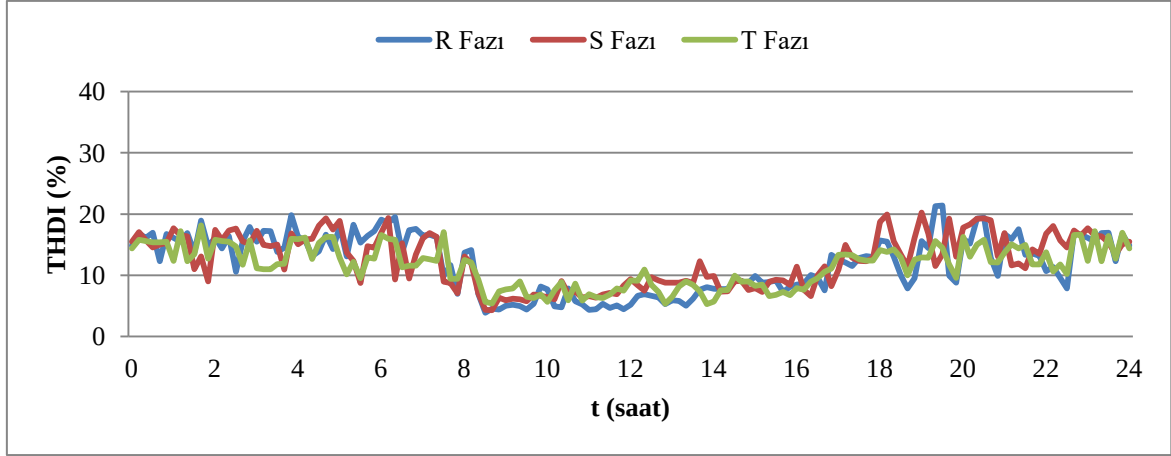
Şekil 3.154. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (2. gün)



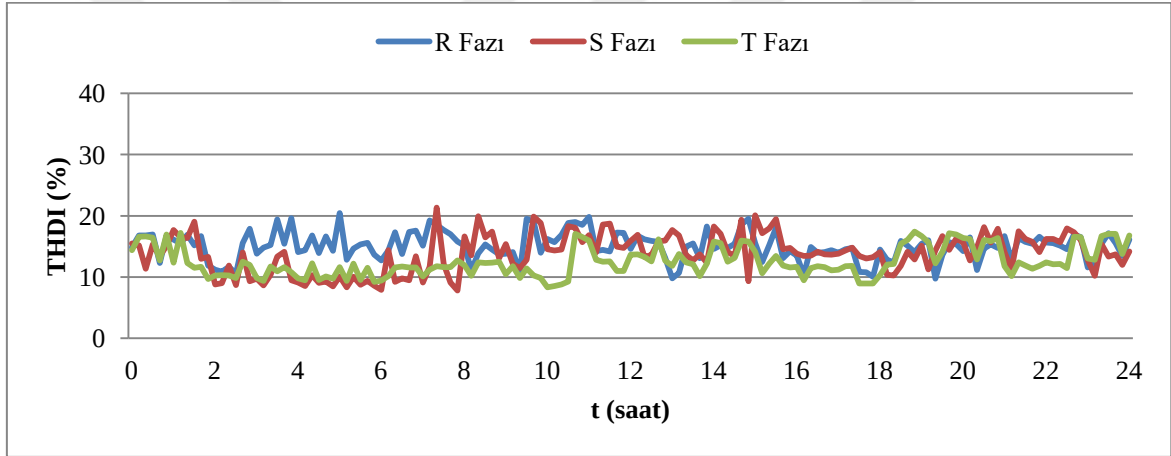
Şekil 3.155. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (3. gün)



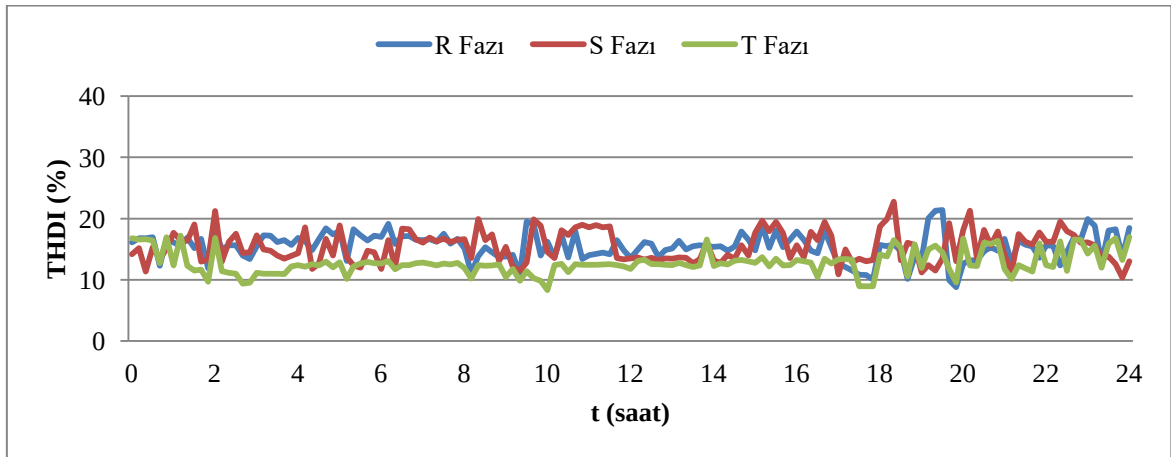
Şekil 3.156. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (4. gün)



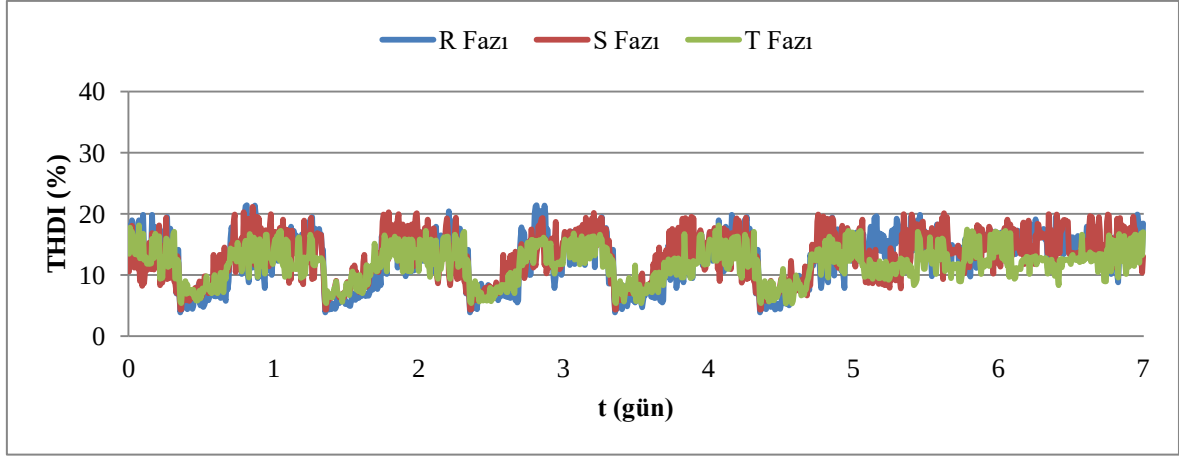
Şekil 3.157. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (5. gün)



Şekil 3.158. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (6. gün)



Şekil 3.159. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (7. gün)



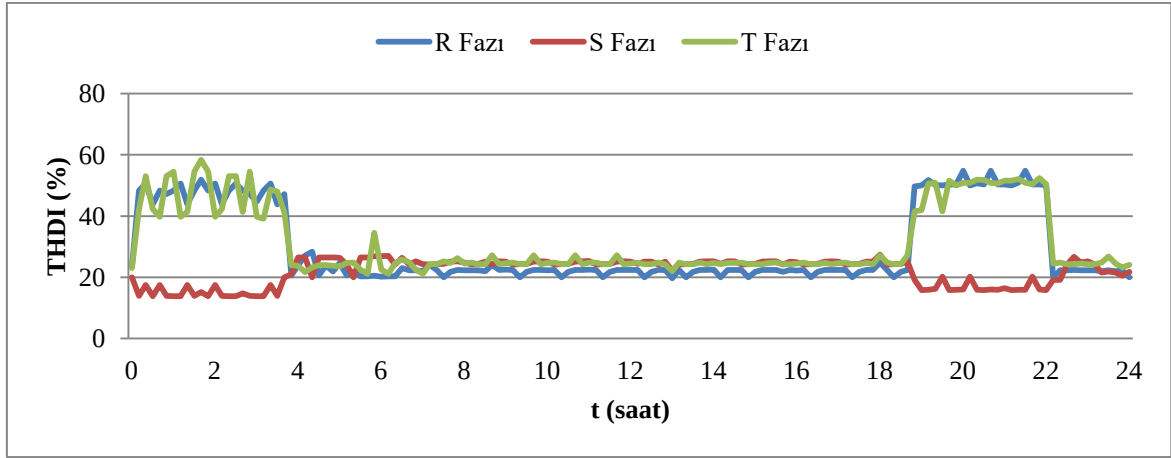
Şekil 3.160. Akım için toplam harmonik bozulmanın 7 günlük değişimi

İdari Birimler hizmet binası için 7 günlük veriler ayrı ayrı incelendiğinde akım için toplam harmonik bozulmanın mesai saatleriyle bir paralellik olduğu söylenir. Mesai saatlerini kapsayan 08:00-17:00 saatleri arasında akım için toplam harmonik bozulmanın her üç faz içinde azaldığı, mesai saatleri dışında ve hafta sonuna denk gelen günlerde ise arttığı görülmektedir. 7 günlük akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi incelendiğinde, R fazında akım için toplam harmonik bozulmanın değişiminin minimum değerinin %3,88, maksimum değerinin %21,41, ortalama değerinin %12,77, S fazında akım için toplam harmonik bozulmanın değişiminin minimum değerinin %4,33, maksimum değerinin %27,75, ortalama değerinin %13,11, T fazında akım için toplam harmonik bozulmanın değişiminin minimum değerinin %5,32, maksimum değerinin %18,14, ortalama değerinin %11,80 olduğu görülmüştür.

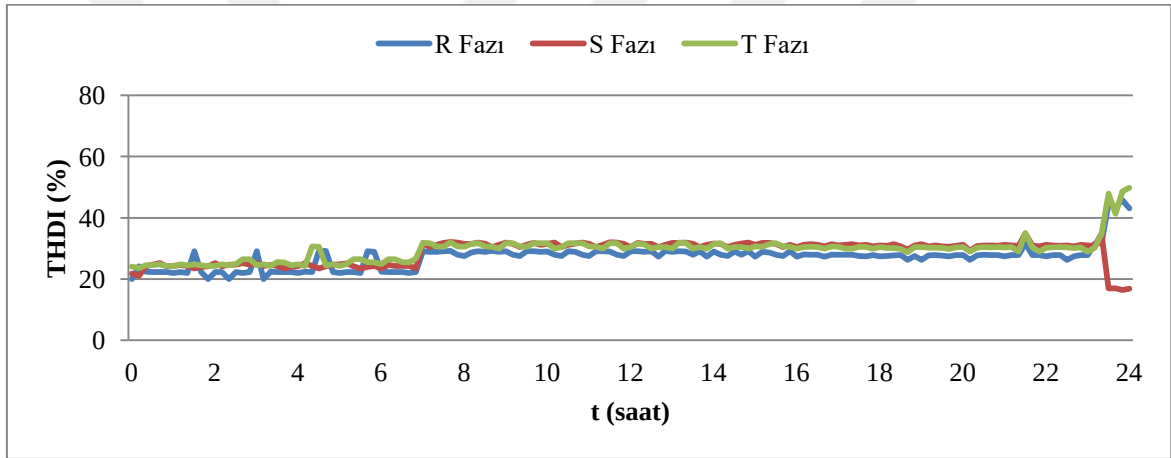
IEEE 519-2022 standardına göre her fazın akım için toplam harmonik bozulmanın değeri sınır değerinin altında olduğu görülmüştür (1 kV altındaki dağıtım sistemleri için toplam akım harmonik bozulmanın maksimum değeri %20'dir).

3.1.2.2.3. Isı merkezi hizmet binası

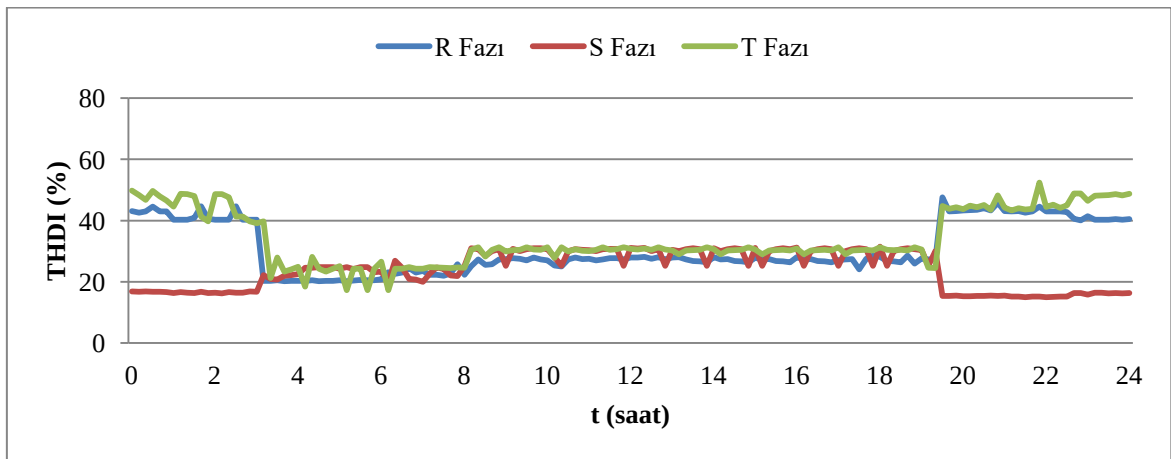
Şekil 3.161-3.167'de her güne ait akım için toplam harmonik bozulmanın değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.168'de ise 7 günlük akım için toplam harmonik bozulmanın ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



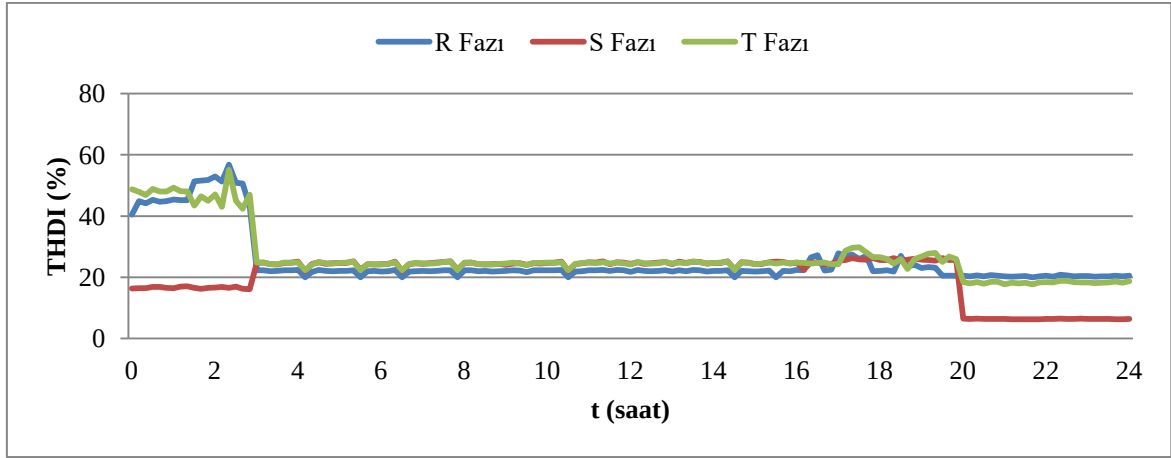
Şekil 3.161. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (1. gün)



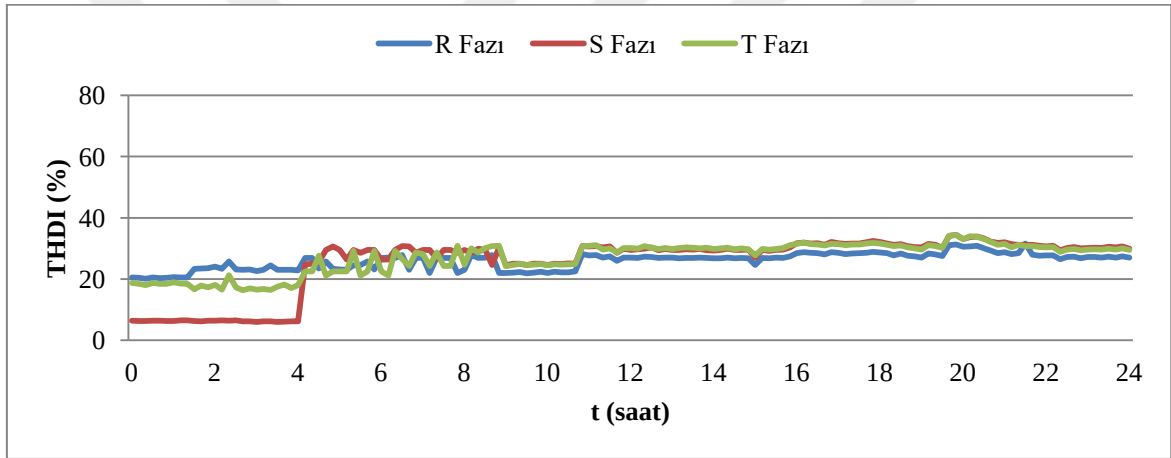
Şekil 3.162. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (2. gün)



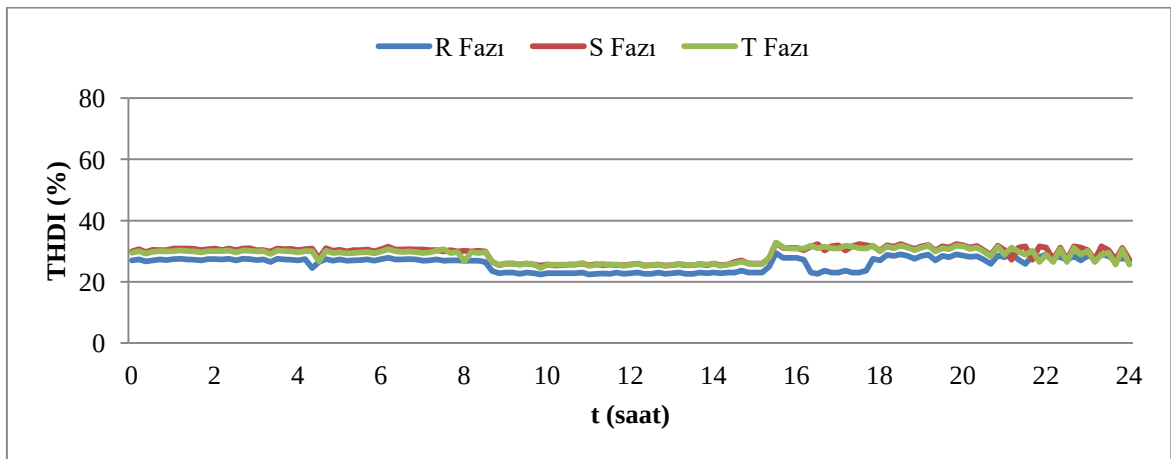
Şekil 3.163. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (3. gün)



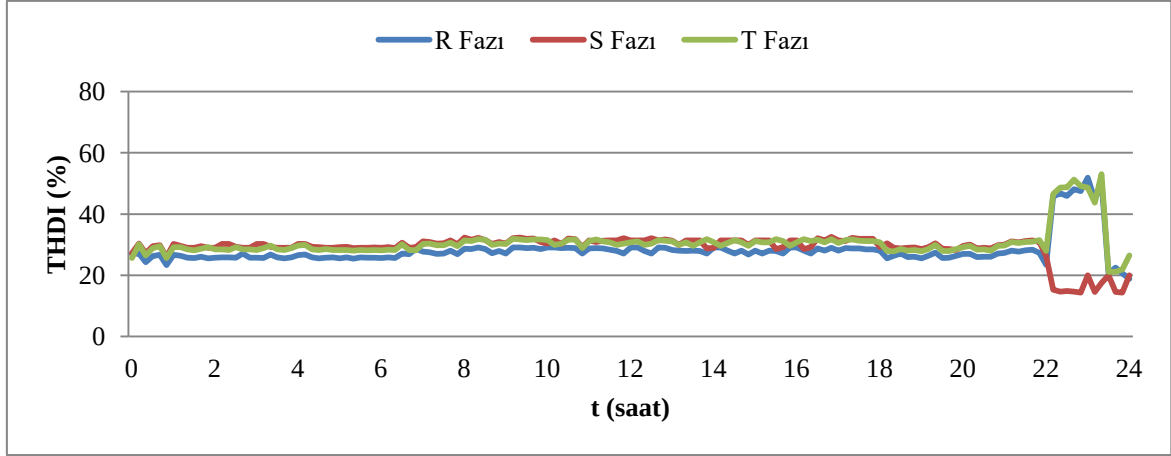
Şekil 3.164. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (4. gün)



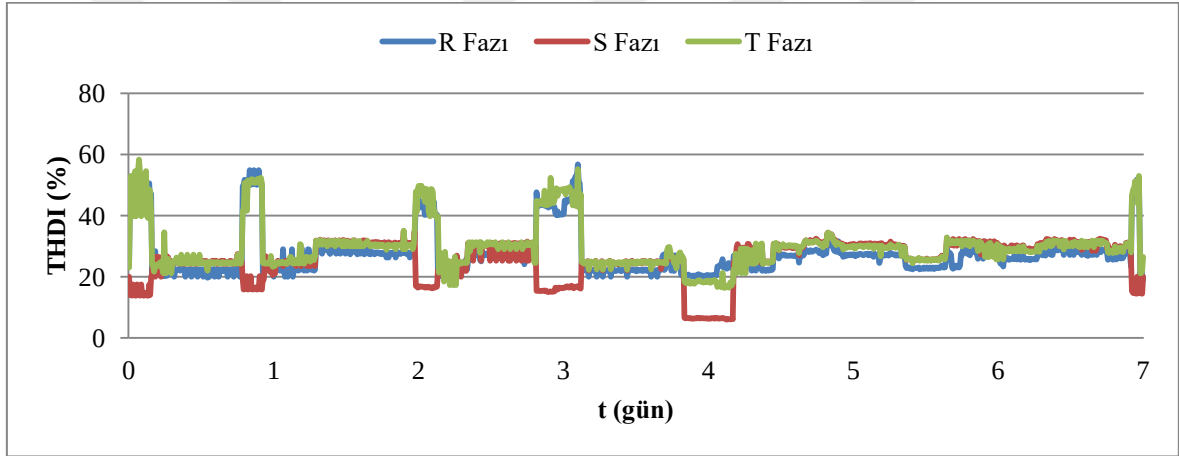
Şekil 3.165. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (5. gün)



Şekil 3.166. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (6. gün)



Şekil 3.167. Akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi (7. gün)



Şekil 3.168. Akım için toplam harmonik bozulmanın 7 günlük değişimi

Isı Merkezi hizmet binası için 7 günlük veriler ayrı ayrı incelendiğinde akım için toplam harmonik bozulmanın ısı merkezinde pompaların çalıştığı saatlerde her üç faz içinde eşit değerde olduğu, pompaların dinlendirildiği saatlerde ise R ve T fazlarının akım için toplam harmonik bozulmanın arttığı, S fazında ise akım için toplam harmonik bozulmanın azaldığı görülmektedir. 7 günlük akım için toplam harmonik bozulmanın değişimi incelendiğinde, R fazında akım için toplam harmonik bozulmanın değişiminin minimum değerinin %18,82, maksimum değerinin %56,76, ortalama değerinin %27,6, S fazında akım için toplam harmonik bozulmanın değişiminin minimum değerinin %6,02, maksimum değerinin %34,85, ortalama değerinin %25,63, T fazında akım için toplam harmonik bozulmanın değişiminin minimum değerinin %16,30, maksimum değerinin %58,32, ortalama değerinin %29,69 olduğu görülmüştür.

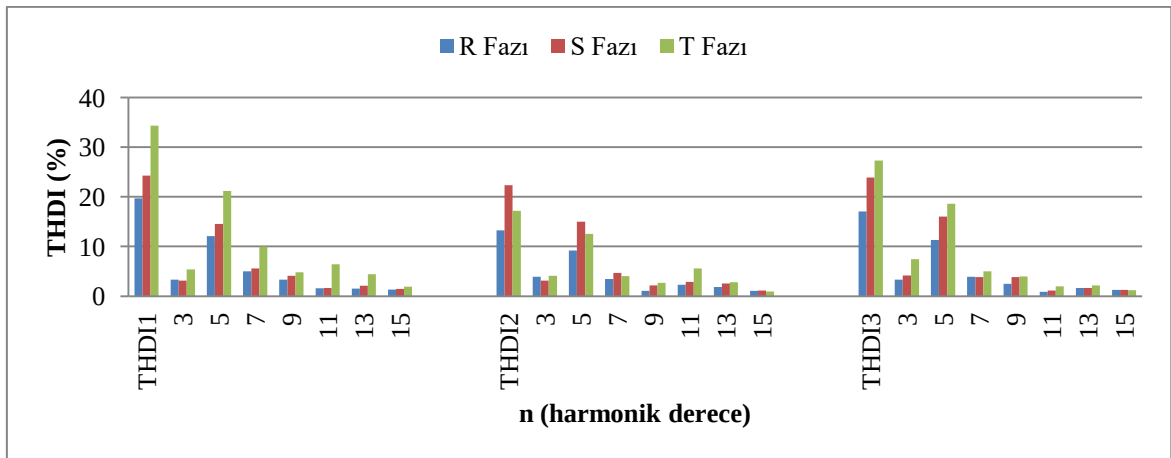
IEEE 519-2022 standardına göre her fazın akım için toplam harmonik bozulmanın değeri sınır değerinin üstünde olduğu görülmüştür (1 kV altındaki dağıtım sistemleri için toplam akım harmonik bozulmanın maksimum değeri %20'dir).

3.1.2.3. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri

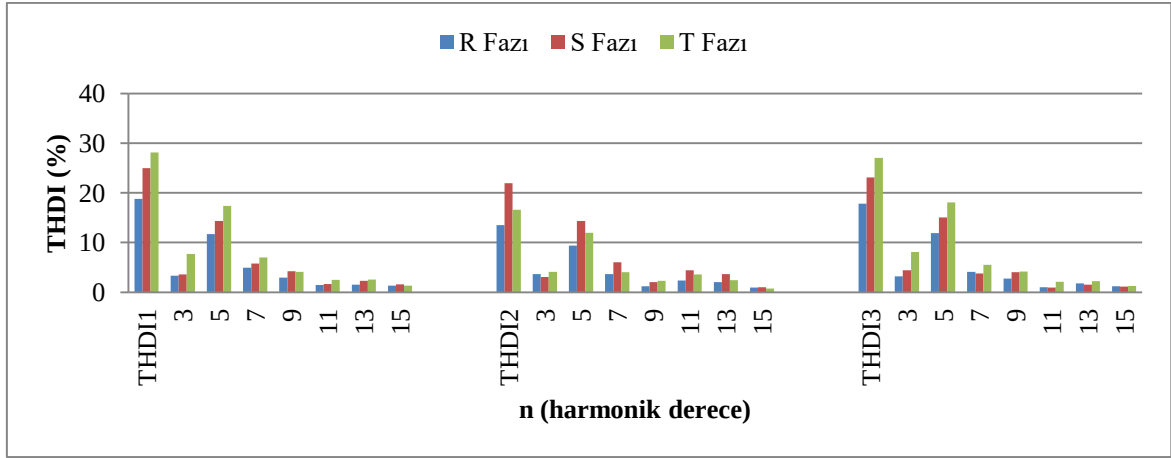
İncelenen hizmet binalarının 15. dereceye kadar olan akım harmonik dereceleri 00:00-08:00, 08:00-17:00 ve 17:00-24:00 şeklinde 3 farklı zaman aralığı için grafiğe dönüştürülmüştür. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri grafiklerinde verilen ve THDI1 olarak işaretlenen bölge saat 00:00-08:00 aralığına, THDI2 olarak işaretlenen bölge saat 08:00-17:00 aralığına, THDI3 olarak işaretlenen bölge ise saat 17:00-24:00 aralığına karşılık gelmektedir. IEEE 519-2022 standardında akım harmonik dereceleri için toplam harmonik bozulmanın sınır değerleri $2 \leq h < 11$ aralığı için maksimum %15, $11 \leq h < 17$ aralığı için maksimum %7 olarak belirlenen sınır değerleri ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

3.1.2.3.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası

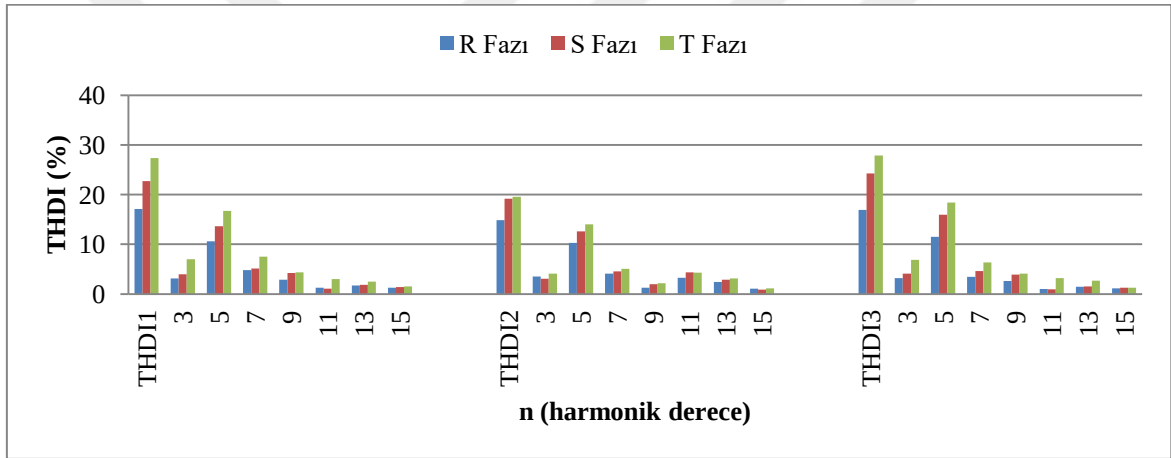
Şekil 3.169-3.175 arasında her güne ait akım harmonik derecelerinin ortalama değeri grafikleri yukarıda belirtilen 3 zaman aralığında verilmiştir. Şekil 3.176'da ise 7 günlük akım harmonik derecelerinin ortalama değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



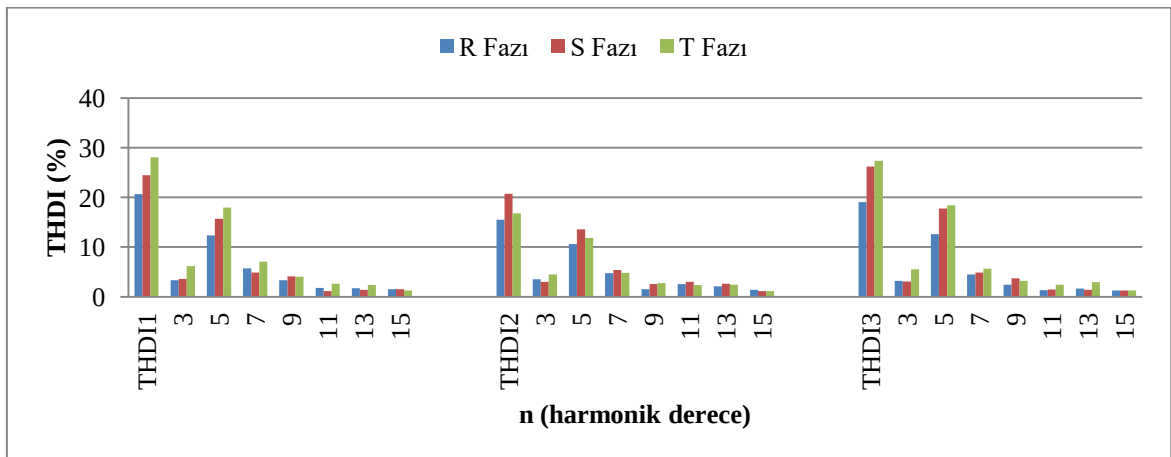
Şekil 3.169. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (1. gün)



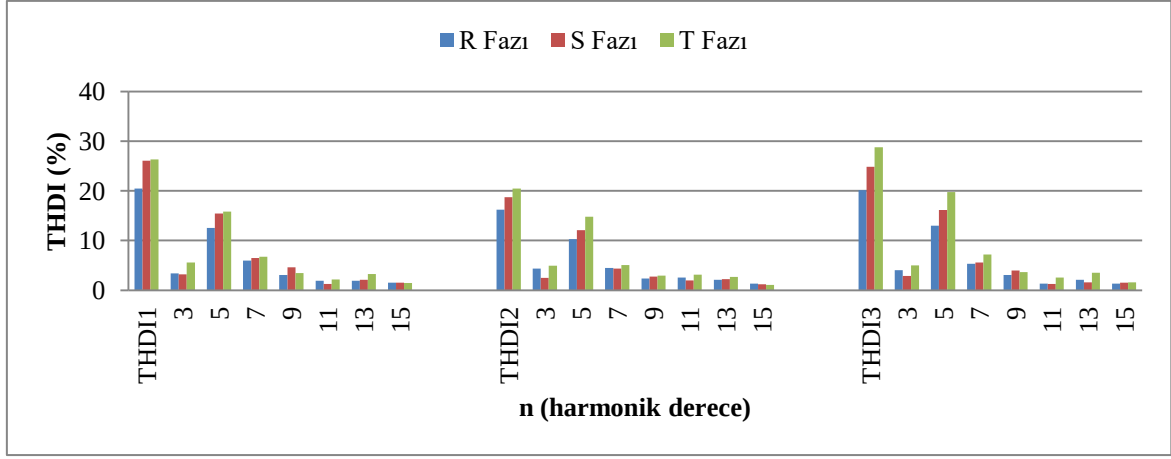
Şekil 3.170. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (2. gün)



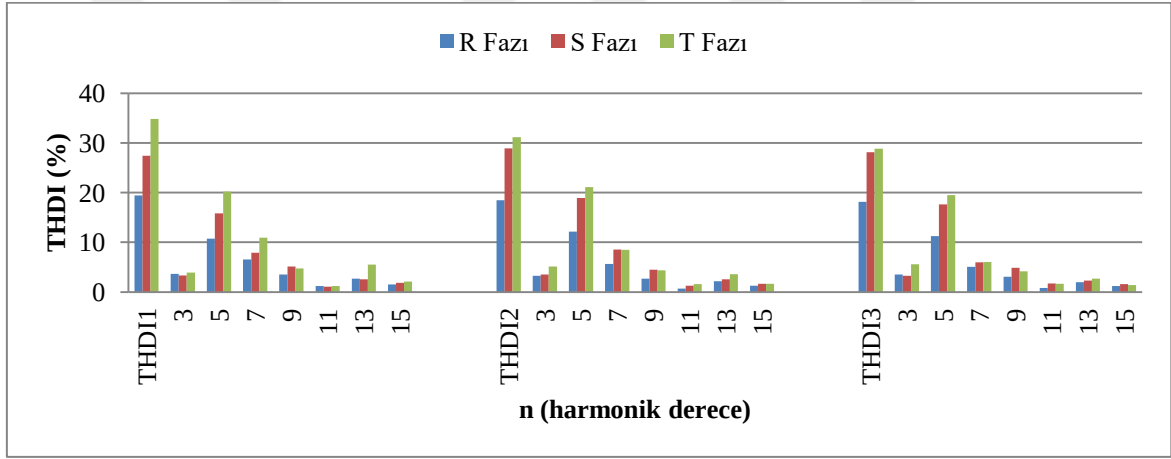
Şekil 3.171. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (3. gün)



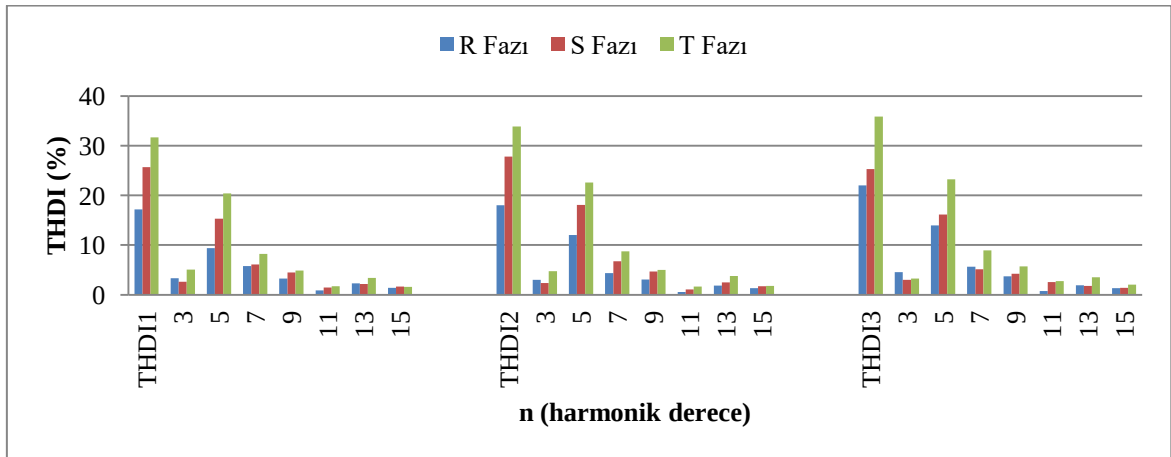
Şekil 3.172. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (4. gün)



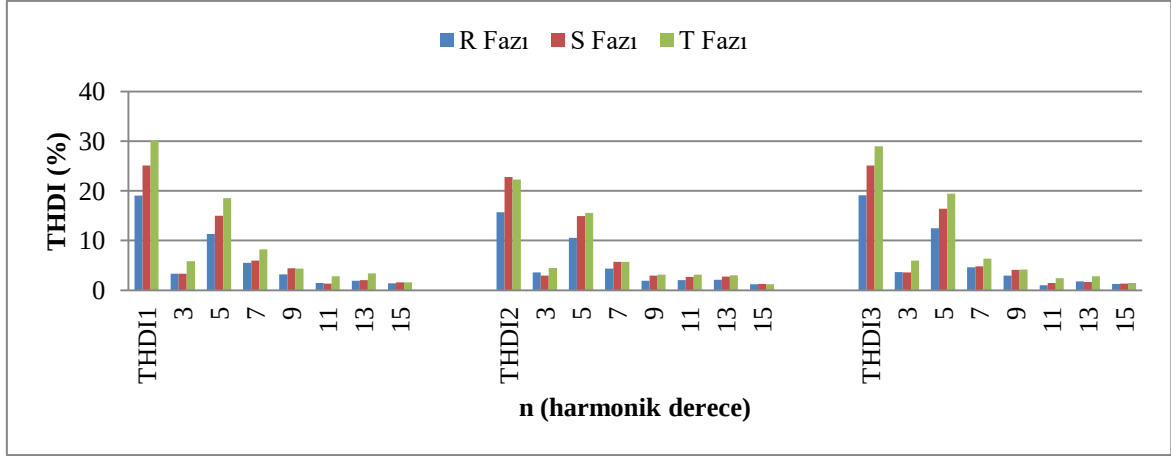
Şekil 3.173. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (5. gün)



Şekil 3.174. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (6. gün)



Şekil 3.175. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (7. gün)



Şekil 3.176. Akım harmonik derecelerinin 7 günlük ortalama değeri

Şekil 3.176'ya göre 00:00-08:00 saatleri arasında R fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %19,05, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,35, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %11,34, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %5,52, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,18, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,43, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,91 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,42 olduğu, S fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %25,09, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,34, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %14,98, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %5,99, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %4,41, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,32, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,05 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,57 olduğu, T fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %30,12, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %5,84, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %18,54, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %8,21, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %4,34, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,79, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,42 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,61 olduğu görülmüştür. 08:00-17.00 saatleri arasında R fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %15,69, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,61, 5.

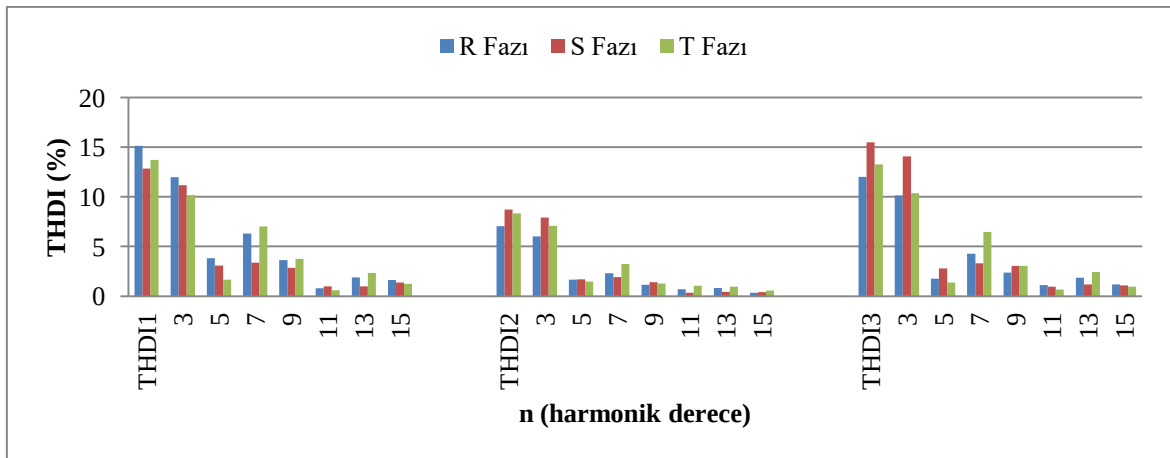
harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %10,56, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %4,35, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,87, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %2,03, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %2,08 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,20 olduğu, S fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %22,82, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %2,96, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %14,96, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %5,74, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %2,94, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %2,71, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %2,72 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,24 olduğu, T fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %22,25, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %4,51, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %15,55, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %5,74, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %3,16, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %3,16, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %2,97 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,20 olduğu görülmüştür. 17:00-24:00 saatleri arasında R fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %19,10, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %3,64, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %12,45, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %4,64, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %2,92, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,03, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,80 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,28 olduğu, S fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %25,10, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %3,56, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %16,40, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %4,82, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %4,08, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,43, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,68 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %1,35 olduğu, T fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değeri %29,01, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değeri %5,98, 5.

harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %19,44, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %6,39, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %4,13, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,39, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,83 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,43 olduğu görülmüştür.

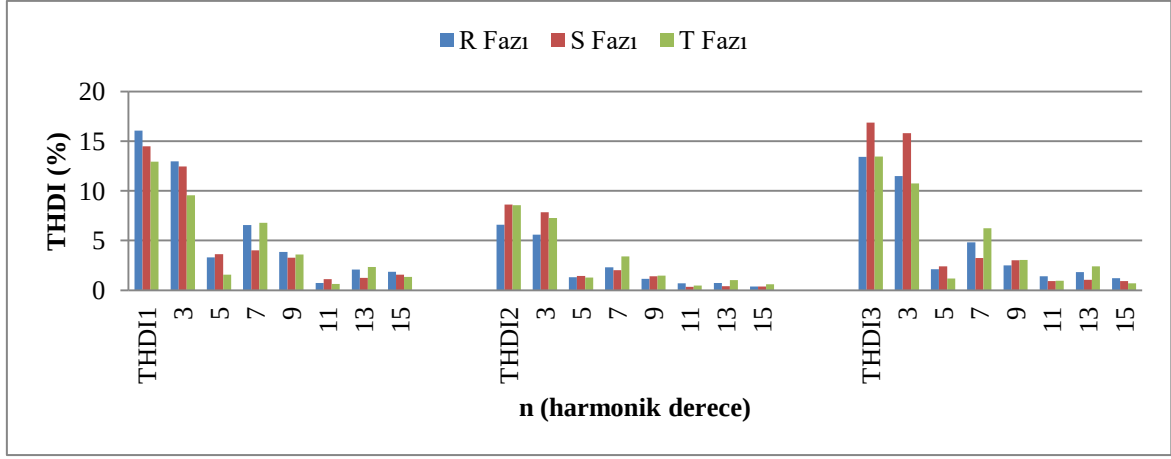
Şekil 3.176'ya göre tüm zaman aralıklarında harmonik derecelerinin 7 günlük ortalama değerleri incelendiğinde akım için toplam harmonik bozulmanın değerinin büyük çoğunluğunun 5. harmonik derecesinden kaynaklandığı, her faz için 5., 7. ve 9. harmonik derecelerinin diğer harmonik derecelere göre daha yüksek olduğu, özellikle 5. harmonik derecesinin toplam harmonik bozulma değerinin IEEE 519-2022 standardında belirlenen sınır değerini aştığı ve her faz için diğer bireysel harmonik derecelerindeki toplam harmonik bozulmanın IEEE 519-2022 standardına uygun olduğu görülmüştür (Standartta göre harmonik dereceleri $2 \leq h < 11$ aralığı için toplam harmonik bozulmanın maksimum değeri %15, harmonik dereceleri $11 \leq h < 17$ aralığı için toplam harmonik bozulmanın maksimum değeri %7'dir).

3.1.2.2.2. İdari birimler hizmet binası

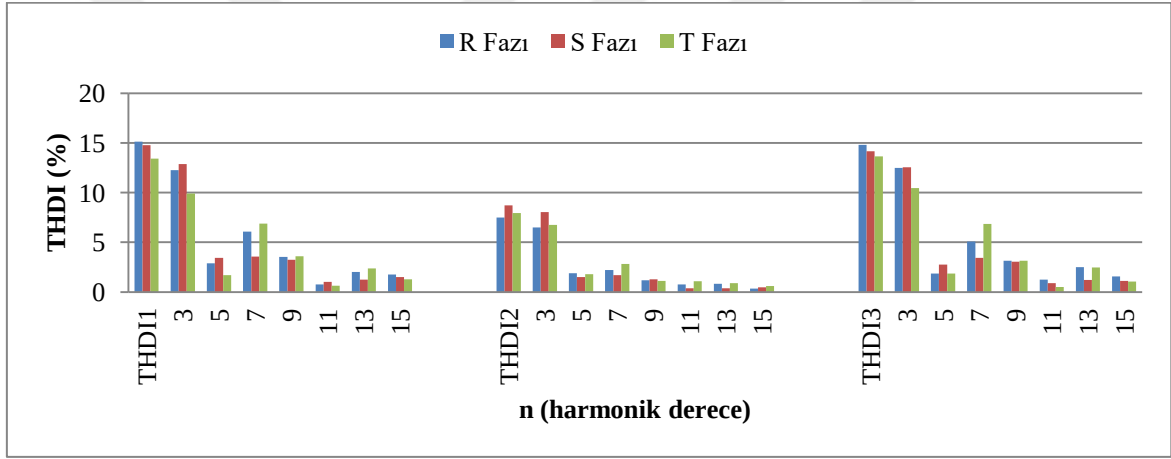
Şekil 3.177-3.183 arasında her güne ait akım harmonik derecelerinin ortalama değeri grafikleri yukarıda belirtilen 3 zaman aralığında verilmiştir. Şekil 3.184'de ise 7 günlük akım harmonik derecelerinin ortalama değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



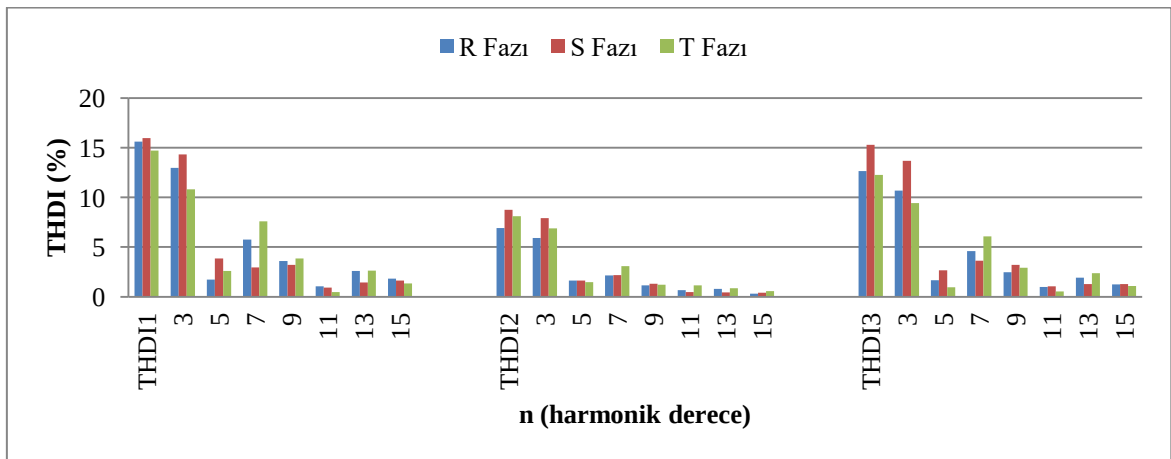
Şekil 3.177. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (1. gün)



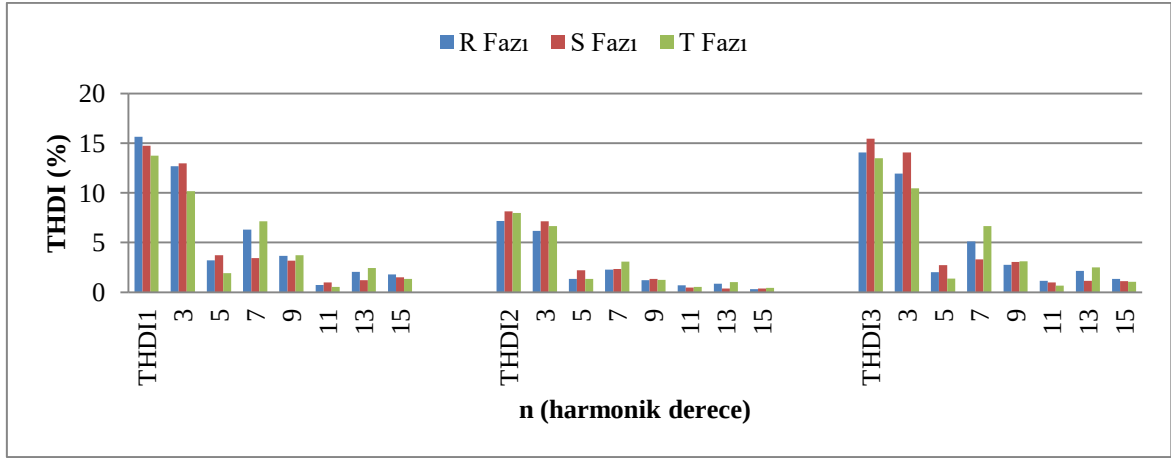
Şekil 3.178. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (2. gün)



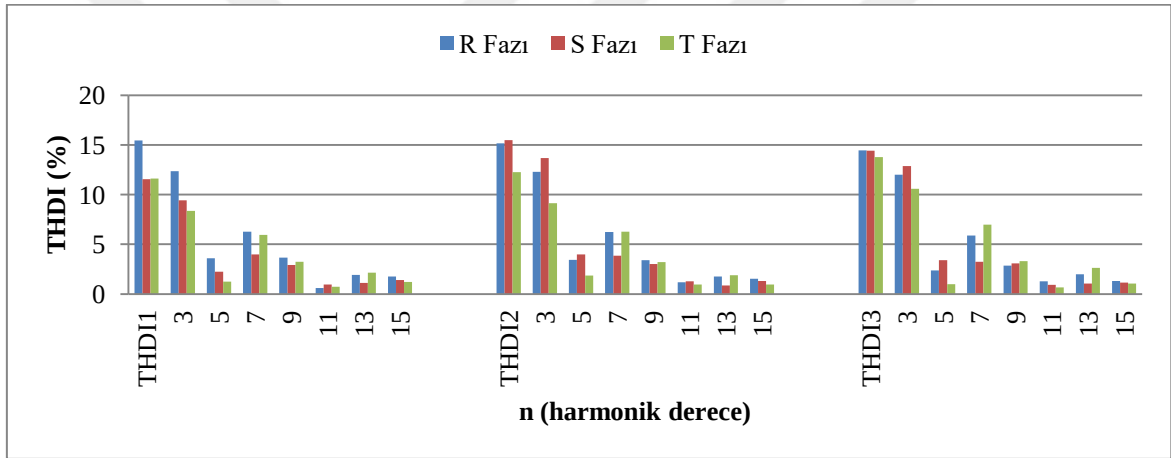
Şekil 3.179. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (3. gün)



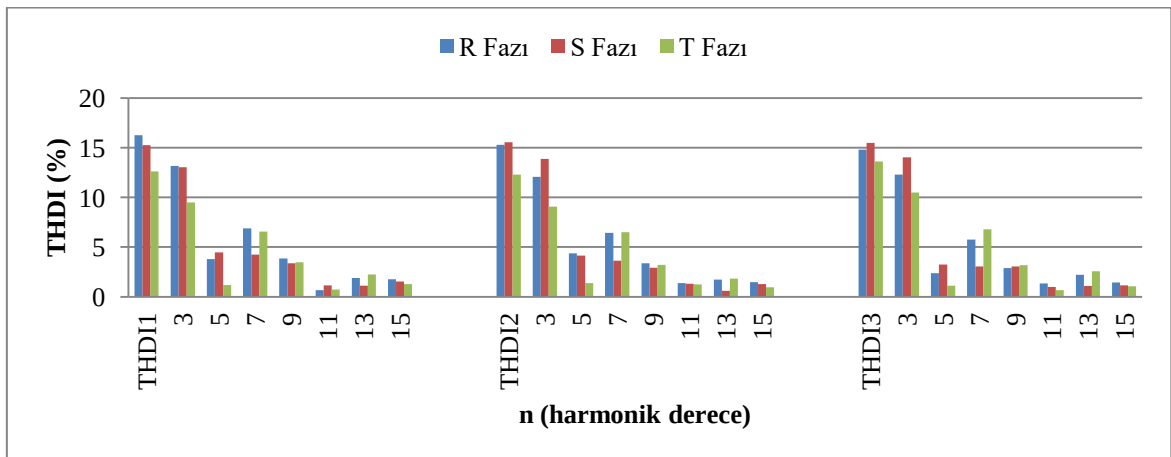
Şekil 3.180. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (4. gün)



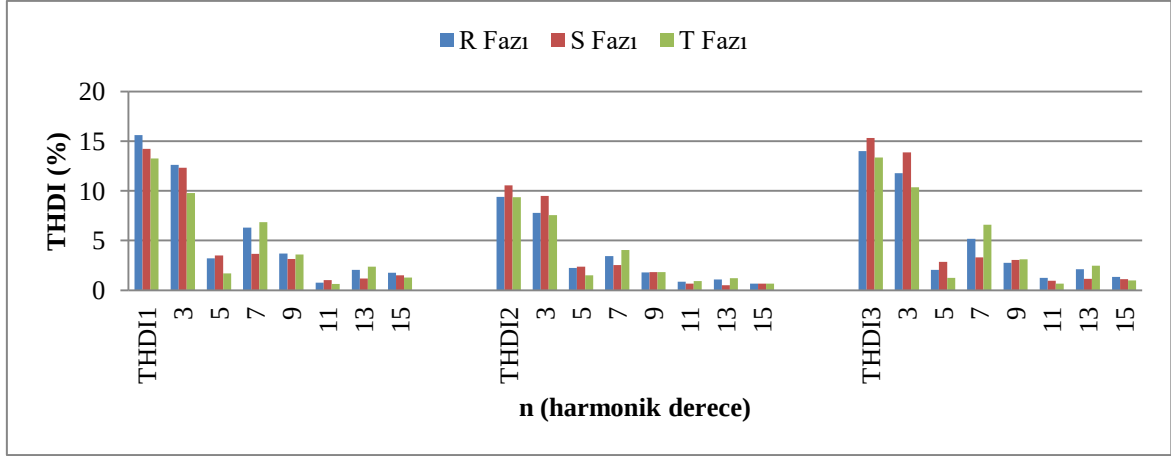
Şekil 3.181. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (5. gün)



Şekil 3.182. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (6. gün)



Şekil 3.183. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (7. gün)



Şekil 3.184. Akım harmonik derecelerinin 7 günlük ortalama değeri

Şekil 3.184'e göre 00:00-08:00 saatleri arasında R fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %15,62, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %12,63, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,20, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %6,31, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,68, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,75, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,06 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,77 olduğu, S fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %14,24, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %12,33, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,49, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,65, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,15, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,01, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,19 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,51 olduğu, T fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %13,26, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %9,78, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,70, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %6,85, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,60, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,62, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,36 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,29 olduğu görülmüştür. 08:00-17.00 saatleri arasında R fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %9,39, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama

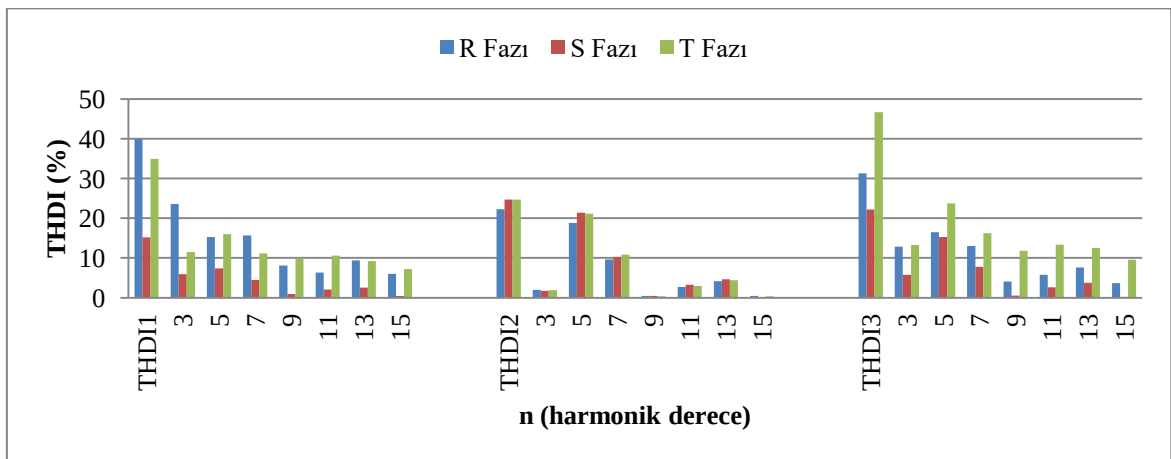
değerinin %7,8, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,23, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,42, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,80, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,87, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,07 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,67 olduğu, S fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %10,56, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %9,49, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,37, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,52, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,81, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,66, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,50 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,66 olduğu, T fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %9,36, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %7,55, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,51, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %4,05, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,83, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,93, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,21 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,67 olduğu görülmüştür. 17:00-24:00 saatleri arasında R fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %13,99, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %11,78, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,06, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %5,16, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,76, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,24, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,11 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,34 olduğu, S fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %15,31, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %13,88, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,85, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,32, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,06, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,96, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,13 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,12 olduğu, T fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %13,36, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %10,37, 5. harmonik

derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,25, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %6,58, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,11, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,66, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,48 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,99 olduğu görülmüştür.

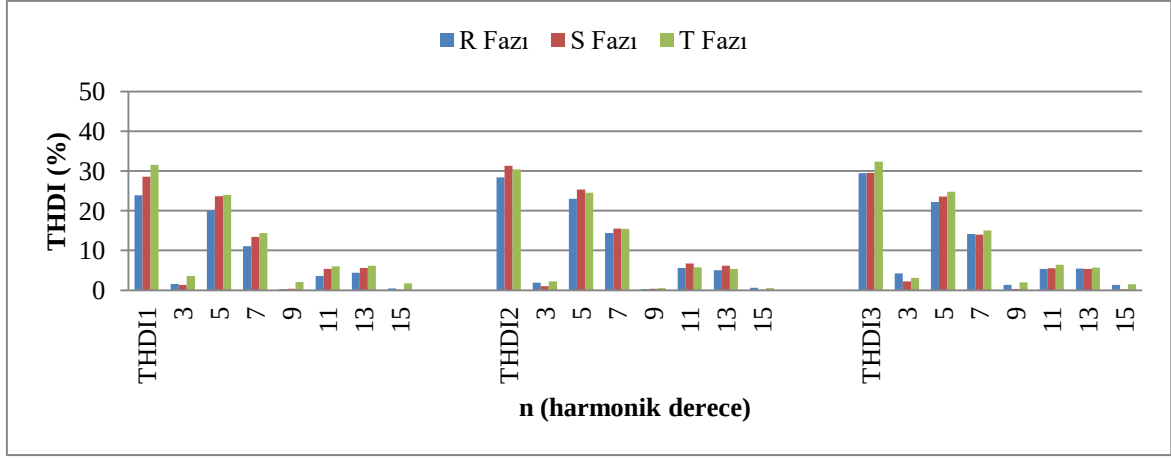
Şekil 3.184'e göre tüm zaman aralıklarında harmonik derecelerinin 7 günlük ortalama değerleri incelendiğinde akım için toplam harmonik bozulmanın değerinin büyük çoğunluğunun 3. harmonik derecesinden kaynaklandığı, her faz için 3. harmonik derecesinin diğer harmonik derecelere göre daha yüksek olduğu ve her faz için tüm bireysel harmonik derecelerindeki toplam harmonik bozulmanın IEEE 519-2022 standardına uygun olduğu görülmüştür (Standarda göre harmonik dereceleri $2 \leq h < 11$ aralığı için toplam harmonik bozulmanın maksimum değeri %15, harmonik dereceleri $11 \leq h < 17$ aralığı için toplam harmonik bozulmanın maksimum değeri %7'dir).

3.1.2.2.3. Isı merkezi hizmet binası

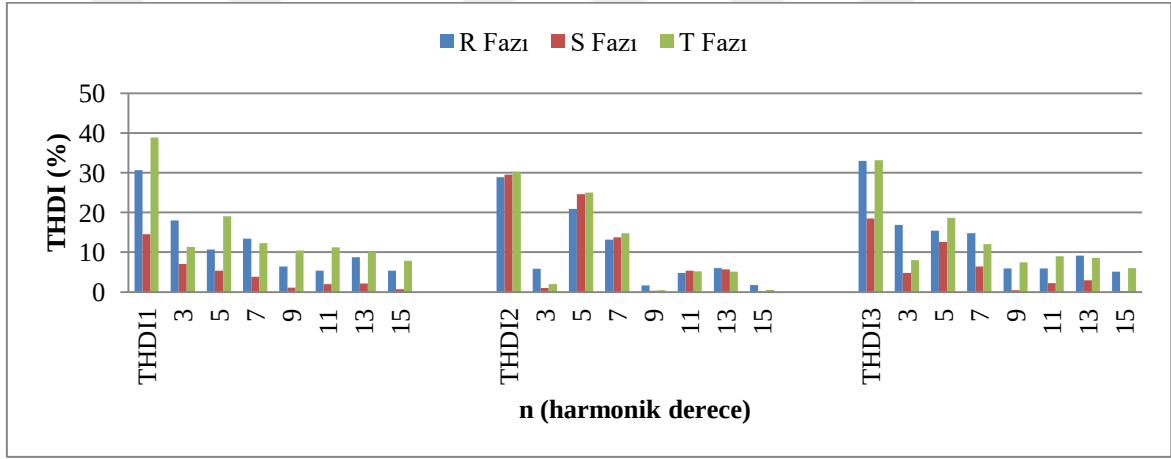
Şekil 3.185-3.191 arasında her güne ait akım harmonik derecelerinin ortalama değeri grafikleri yukarıda belirtilen 3 zaman aralığında verilmiştir. Şekil 3.192'de ise 7 günlük akım harmonik derecelerinin ortalama değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



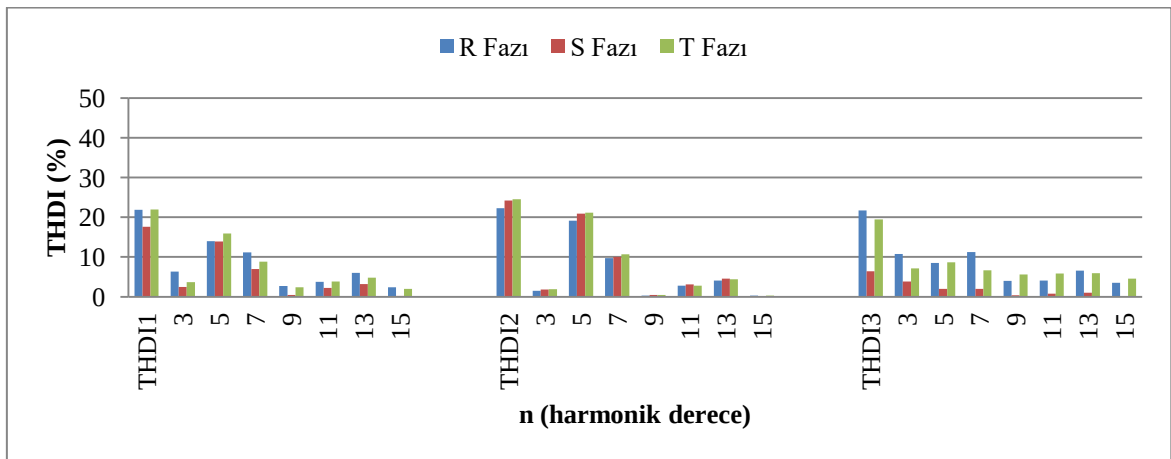
Şekil 3.185. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (1. gün)



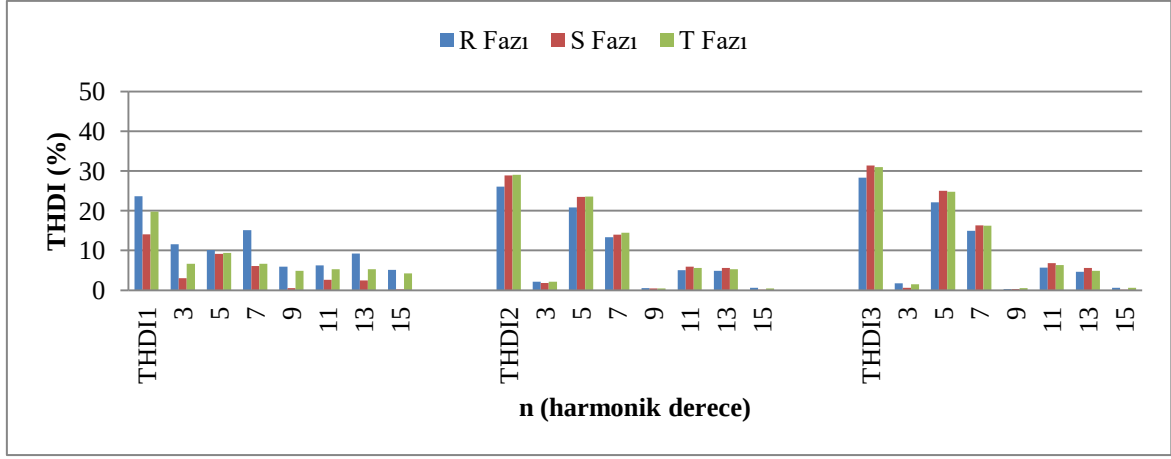
Şekil 3.186. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (2. gün)



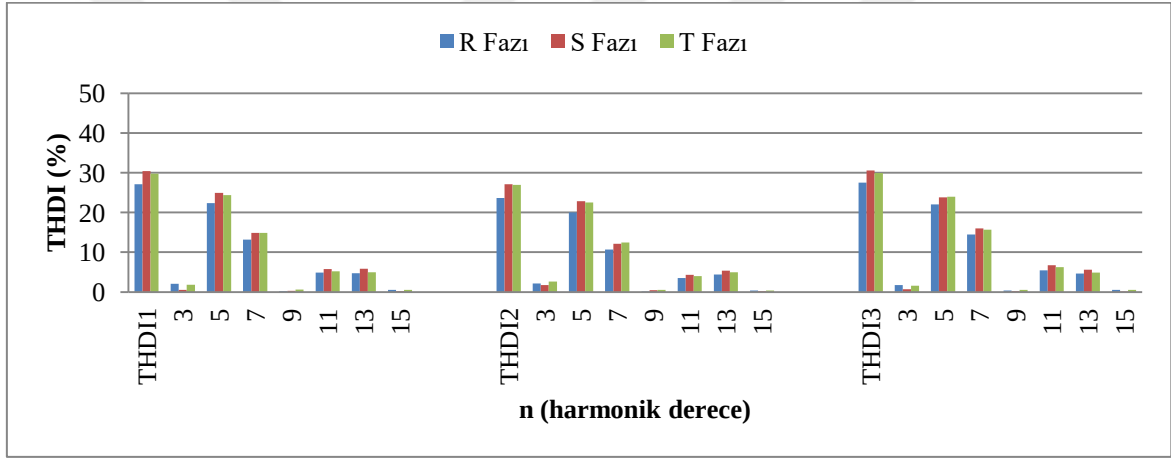
Şekil 3.187. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (3. gün)



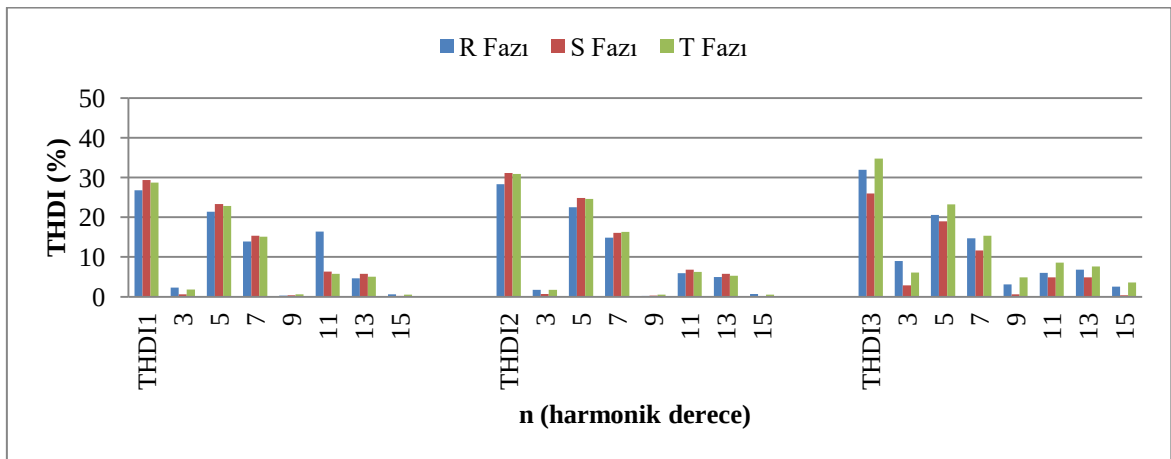
Şekil 3.188. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (4. gün)



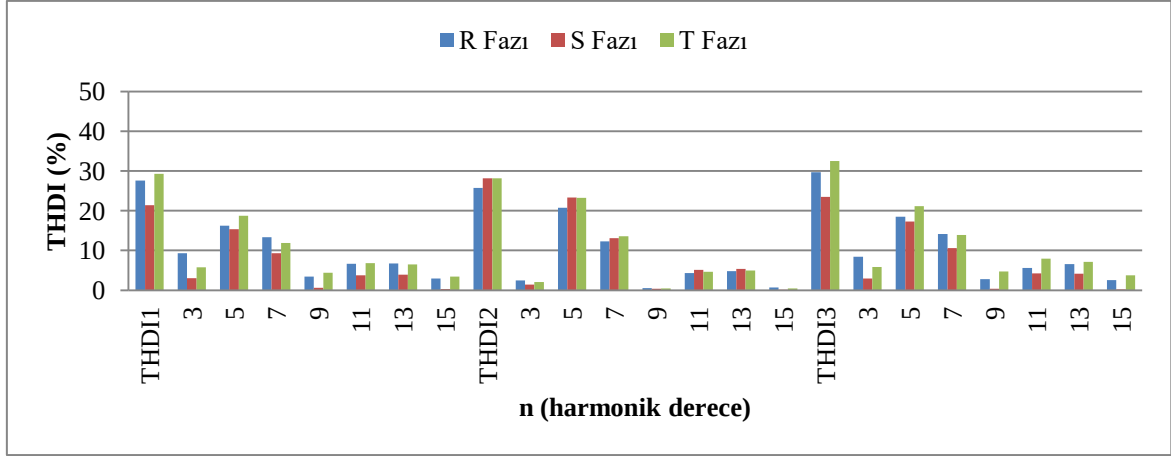
Şekil 3.189. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (5. gün)



Şekil 3.190. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (6. gün)



Şekil 3.191. Akım harmonik derecelerinin ortalama değeri (7. gün)



Şekil 3.192. Akım harmonik derecelerinin 7 günlük ortalama değeri

Şekil 3.192'ye göre 00:00-08:00 saatleri arasında R fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %27,63, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %9,31, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %16,22, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %13,32, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,42, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %6,63, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %6,72 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,93 olduğu, S fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %21,40, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,01, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %15,39, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %9,29, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,59, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,74, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,93 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,29 olduğu, T fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %29,30, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %5,75, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %18,74, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %11,86, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %4,39, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %6,84, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %6,48 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,43 olduğu görülmüştür. 08:00-17.00 saatleri arasında R fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %25,71, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama

değerinin %2,46, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %20,75, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %12,26, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,51, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %4,35, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %4,81 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,69 olduğu, S fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %28,13, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %1,41, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %23,35, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %13,11, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,40, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %5,09, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %5,41 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,43 olduğu, T fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %28,13, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,07, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %23,23, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %13,58, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,47, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %4,67, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %4,98 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,43 olduğu görülmüştür. 17:00-24:00 saatleri arasında R fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %29,68, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %8,43, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %18,53, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %14,17, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,81, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %5,60, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %6,57 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,55 olduğu, S fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %23,52, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %2,98, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %17,33, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %10,59, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,39, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %4,22, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %4,15 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %0,21 olduğu, T fazında akım için toplam harmonik bozulmanın ortalama değerinin %32,50, 3. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama

değerinin %5,83, 5. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %21,12, 7. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %13,90, 9. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %4,69, 11. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %7,96, 13. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %7,16 ve 15. harmonik derecesindeki bozulmanın ortalama değerinin %3,78 olduğu görülmüştür.

Şekil 3.192'ye göre tüm zaman aralıklarında harmonik derecelerinin 7 günlük ortalama değerleri incelendiğinde akım için toplam harmonik bozulmanın büyük çoğunluğunun 5. ve 7. harmonik derecesinden kaynaklandığı, 5., 7., 11. ve 13. harmonik derecelerinin diğer harmonik derecelerine göre daha yüksek değerde olduğu, sınır değerini aştığı ve her faz için diğer tüm bireysel harmonik derecelerindeki bozulmanın IEEE 519-2022 standardına uygun olduğu görülmüştür (Standarda göre harmonik dereceleri $2 \leq h < 11$ aralığı için toplam harmonik bozulmanın maksimum değeri %15, harmonik dereceleri $11 \leq h < 17$ aralığı için toplam harmonik bozulmanın maksimum değeri %7'dir).

3.1.3. Güç kalitesi

Belirlenen hizmet binaları güç kalitesi yönünden incelerken, her bir faz için aktif gücün etkin değerindeki değişimler ve güç faktörü (Ayrıca belirlenen hizmet binalarının güç kalitesi incelemesinin yanında Munzur Üniversitesi merkezi kompanzasyon sisteminin güç kalitesi incelemesi de yapılmıştır) incelenmiştir.

3.1.3.1. Aktif gücün etkin değerindeki değişimler

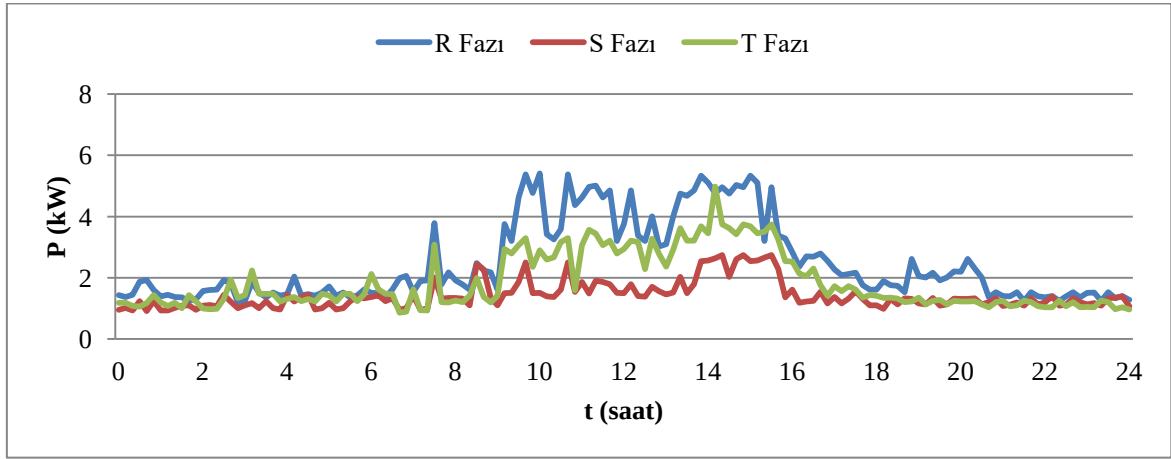
Aktif güç, kullanılan teçhizatların çektiği toplam akımın, gerilimin etkin değeri ve güç çarpanıyla orantılı olduğundan, Üniversite hizmet binalarının elektrik projeleri hazırlanırken yukarıda belirtilen üç faktöre göre maksimum güç hesabı yapılarak ana besleme kablosunun kesiti ve gerilim düşümü belirlenmiştir.

3.1.3.1.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası

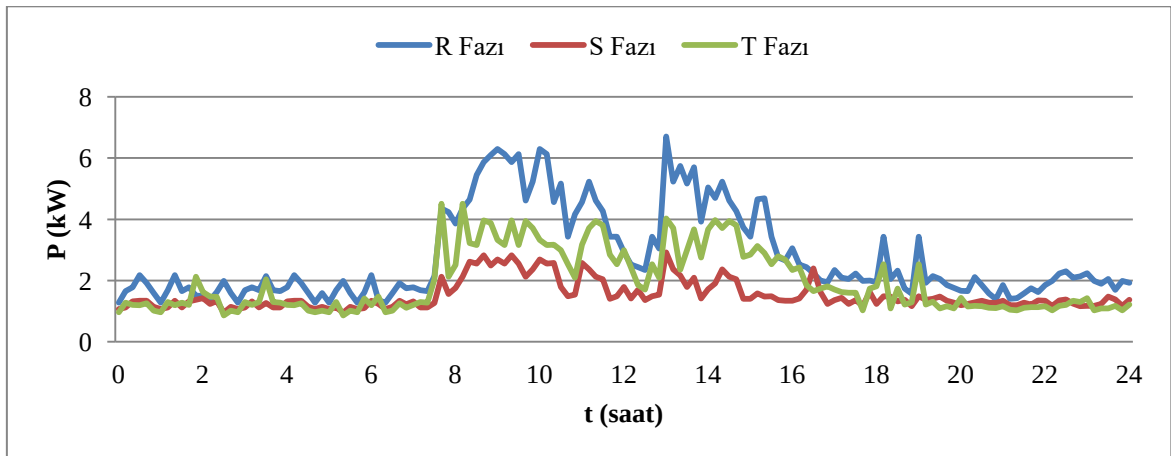
Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası uygulama projesi incelendiğinde kuvvetli akım hesap cetvelinde aydınlatma yükü 95,09 kW, priz yükü 98,4 kW ve mekanik yük 633,96

kW olarak hesaplanmış, kurulu güç toplam 827,46 kW alınmıştır. Ar-Ge laboratuvarı için eş zamanlılık faktörü 0,8 kabul edildiğinden, talep gücü 661,97 kW'a eşit olmaktadır. Trafodan ana bina giriş panosuna 4 adet (3 x 240 + 120) mm^2 NYY (alçak gerilim kablosu) kablo çekilmiş olup, yapılan hesaplara göre gerilim düşümünün % 0,85 olduğu görülmüştür. 7 gün boyunca 10'ar dakika aralıklarla alınan aktif güç verileri, talep gücünün 661,97 kW olduğu dikkate alınarak yorumlanacaktır.

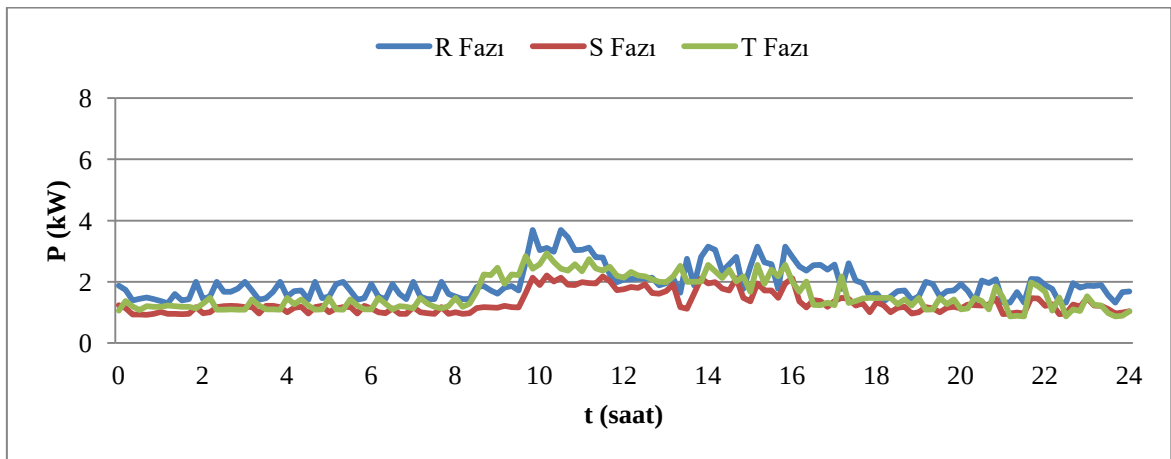
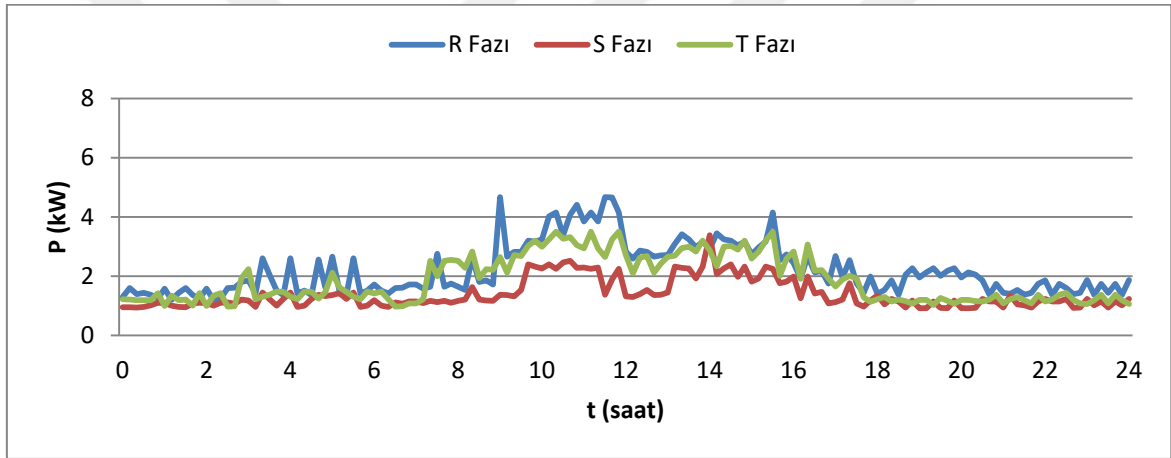
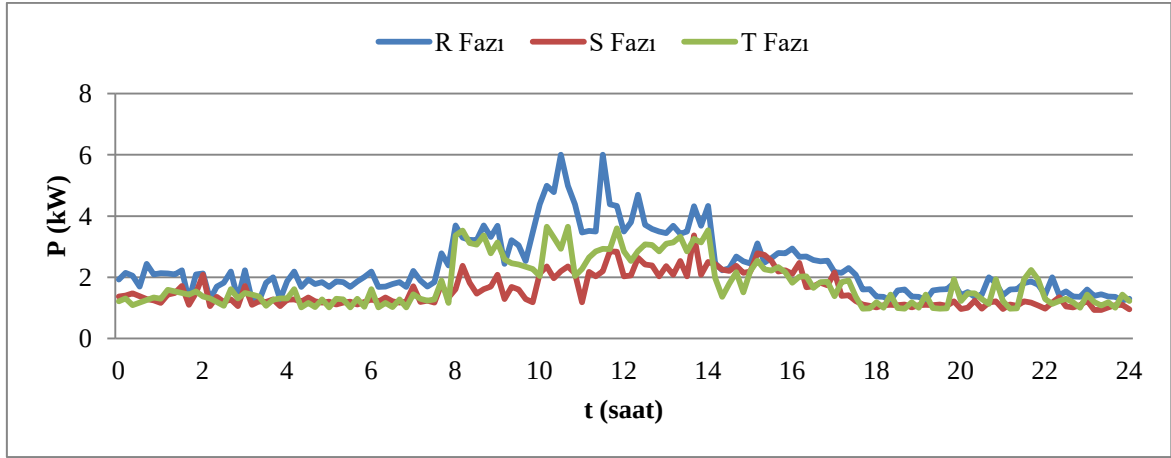
Şekil 3.193-3.199 arasında her güne ait aktif gücün etkin değerinin değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.200'de ise 7 günlük aktif gücün etkin değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.

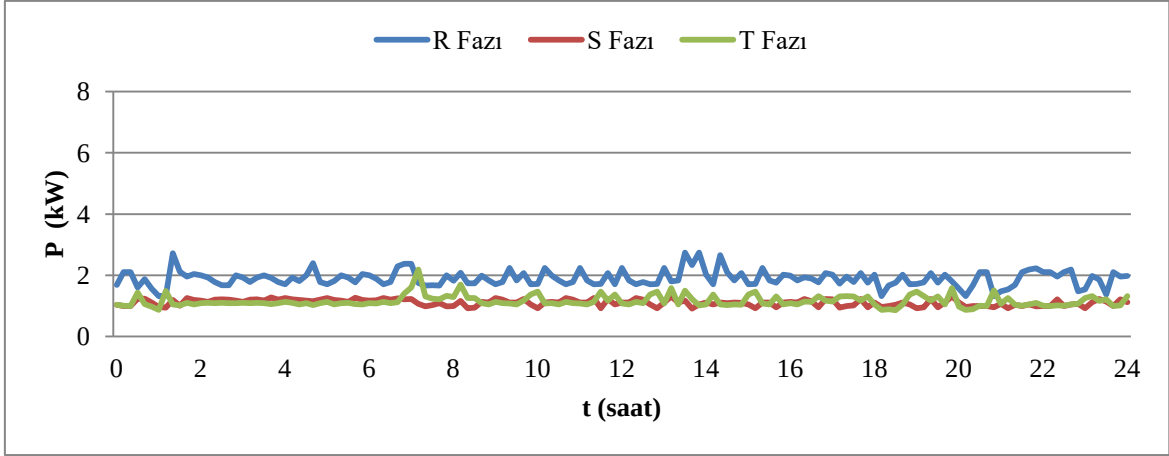


Şekil 3.193. Aktif gücün etkin değerinin değişimi (1. gün)

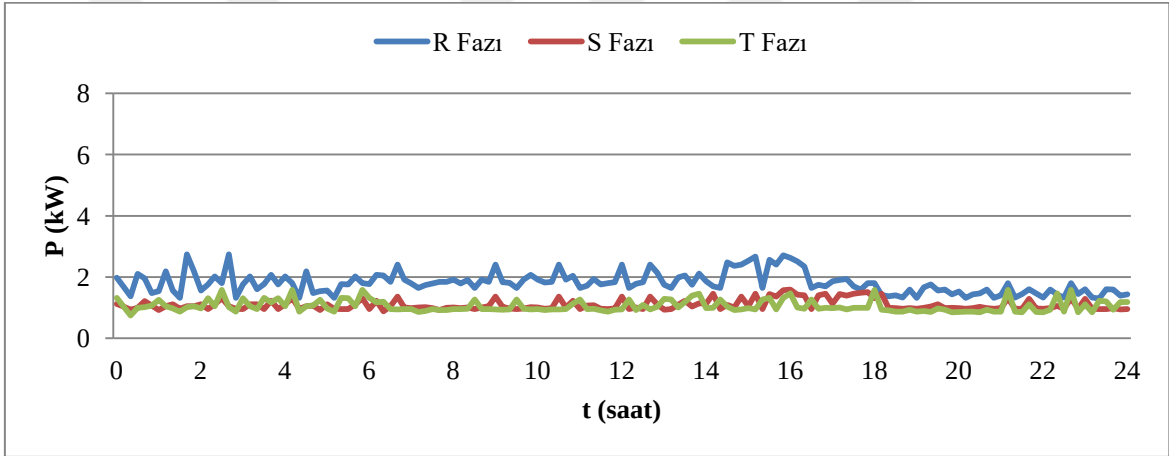


Şekil 3.194. Aktif gücün etkin değerinin değişimi (2. gün)

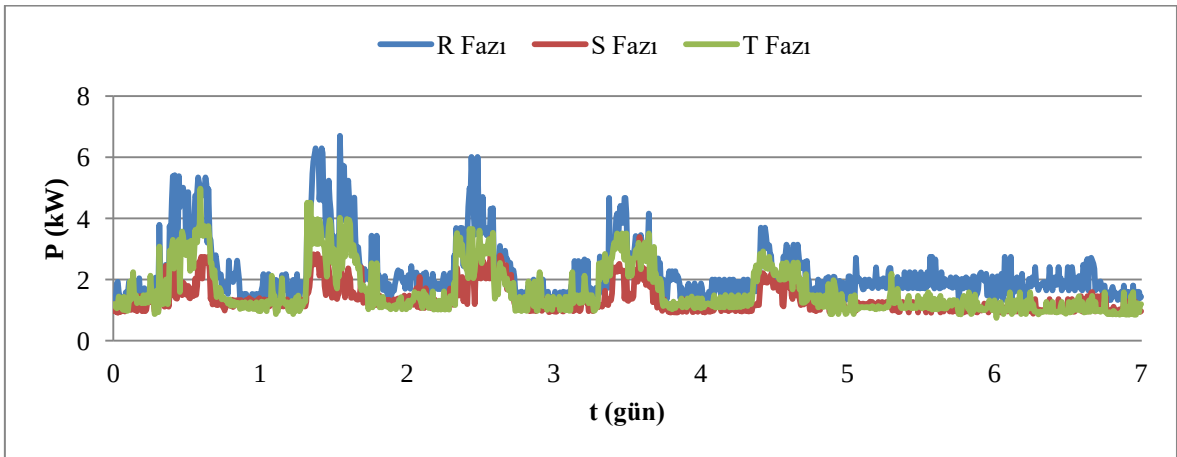




Şekil 3.198. Aktif gücün etkin değerinin değişimi (6. gün)



Şekil 3.199. Aktif gücün etkin değerinin değişimi (7. gün)



Şekil 3.200. Aktif gücün etkin değerinin 7 günlük değişimi

Şekil 3.193-3.197'e göre her bir fazın aktif gücün etkin değeri incelendiğinde, 00:00-08:00 ve 17:00-24:00 saatleri arasında her üç faz için aktif gücün etkin değerinde çok fazla değişimin olmadığı, S ve T fazlarının etkin değerlerinin yaklaşık olarak birbirine eşit, R fazının ise diğer iki fazın etkin değerinden fazla olduğu, hafta içi mesai saatleri aralığına denk gelen 08:00-17:00 saatleri arasında faz akımlarının etkin değerinin ve dolayısıyla aktif gücün etkin değerinin arttığı, bu saatler arasında da R fazının diğer iki faza göre yine fazla aktif güç çektiği görülmektedir. Hafta sonuna denk gelen Şekil 3.198 ve Şekil 3.199 grafiklerinde aktif gücün etkin değeri incelendiğinde, aktif güç tüketiminin hafta içi mesai saatleri dışındaki tüketimlere yaklaşık eşit olduğu, her üç faz için aktif gücün etkin değerinde gün içinde fazla değişimin olmadığı, hafta içinde olduğu gibi R fazının diğer iki faza göre daha fazla aktif güç tükettiği görülmüştür.

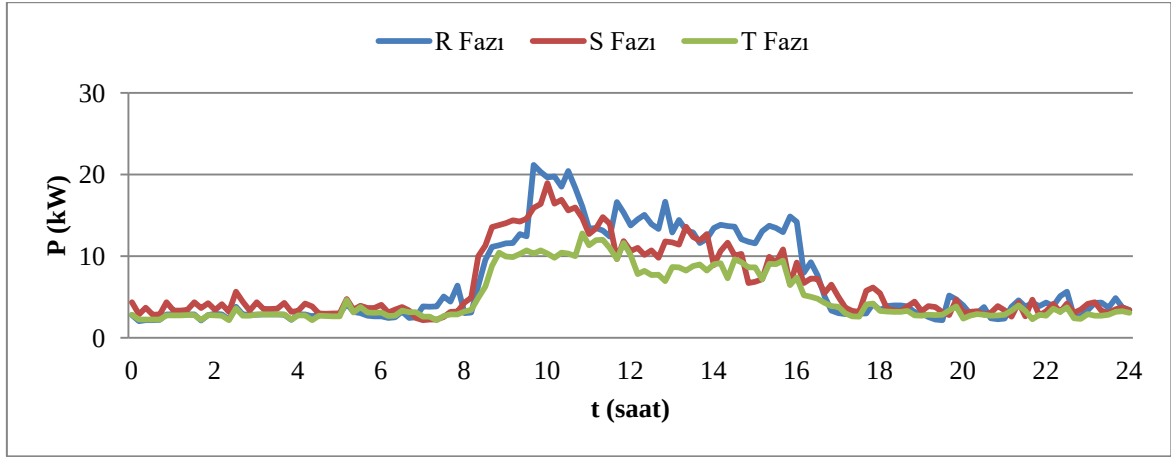
Şekil 3.200'e göre, Ar-Ge Laboratuvarı ölçüm noktasından alınan 7 gün boyunca 10'ar dakika aralıklarla üç faza ait aktif gücün etkin değerleri incelendiğinde, R fazında ölçülen aktif gücün minimum etkin değerinin 1,2 kW, maksimum etkin değerinin 6,7 kW, 7 günlük ortalama etkin değerinin ise 2,22 kW olduğu görülmüştür. S fazında ölçülen aktif gücün minimum etkin değerinin 0,88 kW, maksimum etkin değerinin 3,39 kW, 7 günlük ortalama etkin değerinin ise 1,35 kW olduğu görülmüştür. T fazında ölçülen aktif gücün minimum etkin değerinin 0,74 kW, maksimum etkin değerinin 4,98 kW, 7 günlük ortalama etkin değerinin ise 1,62 kW olduğu ve her faz için ölçülen ortalama aktif gücün Ar-Ge Laboratuvarı hizmet binasının çekebileceği maksimum aktif güç olan 661,97 kW değerinin çok altında olduğu görülmektedir.

3.1.3.1.2. İdari birimler hizmet binası

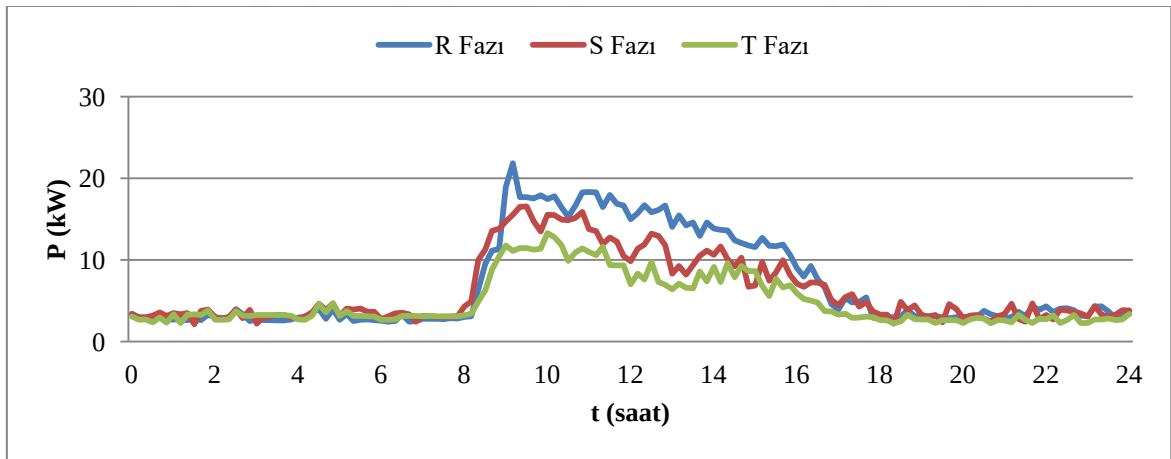
İdari Birimler hizmet binası uygulama projesi incelendiğinde kuvvetli akım hesap cetvelinde aydınlatma yük katsayısı 1 alınarak toplam aydınlatma gücü 59,15 kW, priz yük katsayısı ilk 8 kW'a kadar olan kısım için 1, 8 kW üstü için 0,5 alınarak toplam priz gücü 224,13 kW ve mekanik yük katsayısı 1 alınarak toplam mekanik gücü 91,58 kW olarak hesaplanarak, kurulu güç toplamı 374,86 kW olarak alınmıştır. Eş zamanlılık faktörü 0,8 kabul edildiğinden, talep gücü toplamı 299,89 kW eşit hesaplanmıştır. Trafodan ana bina giriş panosuna 2 adet $(3 \times 185 + 95) \text{ mm}^2$ NYY kablo çekilmiş olup, yapılan hesaplara göre gerilim düşümünün % 1 olduğu görülmüştür. 7 gün boyunca 10'ar dakika aralıklarla

alınan aktif güç verileri, talep gücünün 299,89 kW olduğu dikkate alınarak yorumlanacaktır.

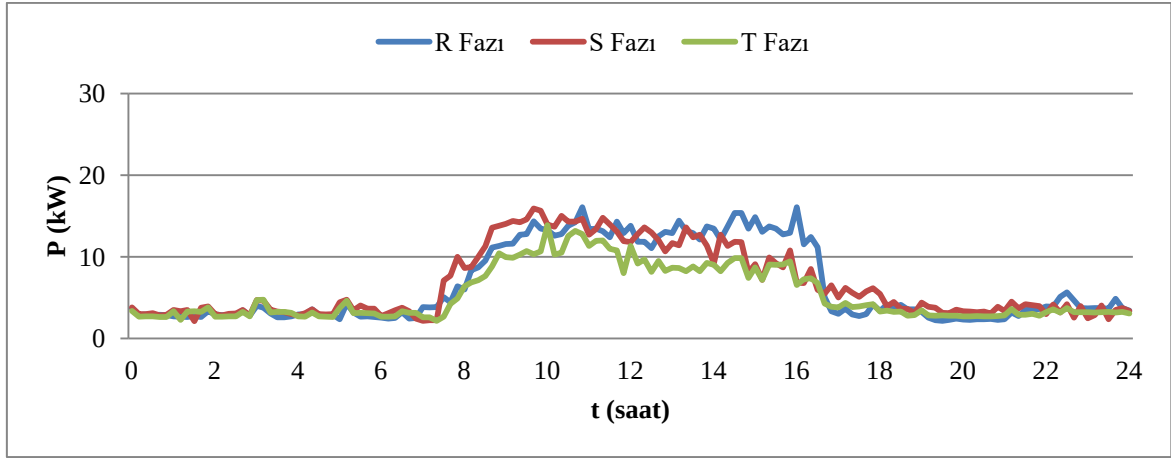
Şekil 3.201-3.207 arasında her güne ait aktif gücün etkin değerinin değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.208’de ise 7 günlük aktif gücün etkin değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



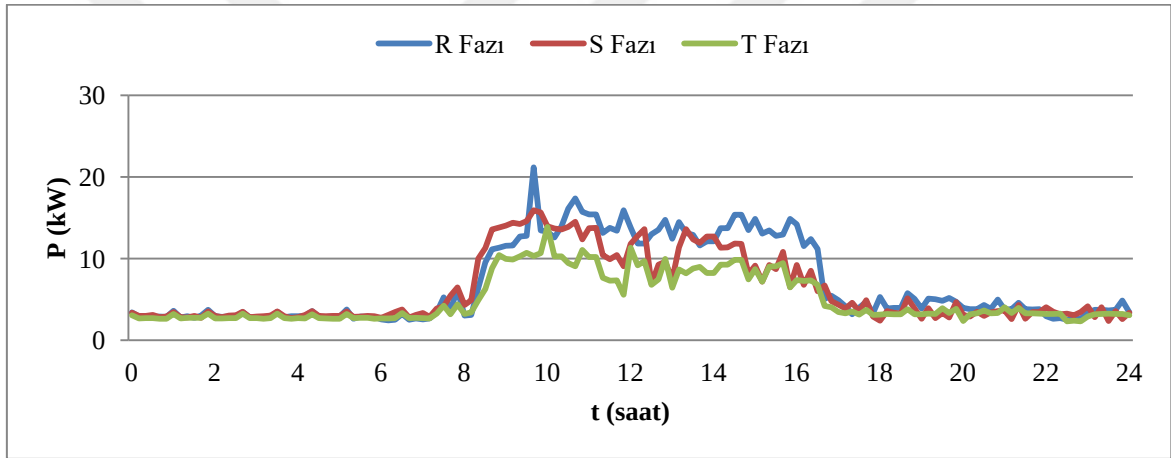
Şekil 3.201. Aktif gücün etkin değerinin değişimi (1. gün)



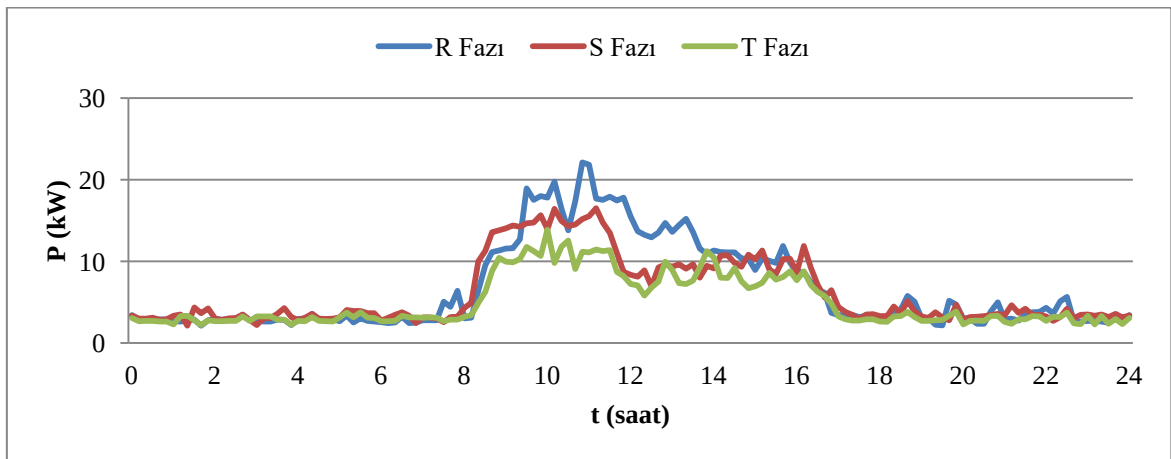
Şekil 3.202. Aktif gücün etkin değerinin değişimi (2. gün)



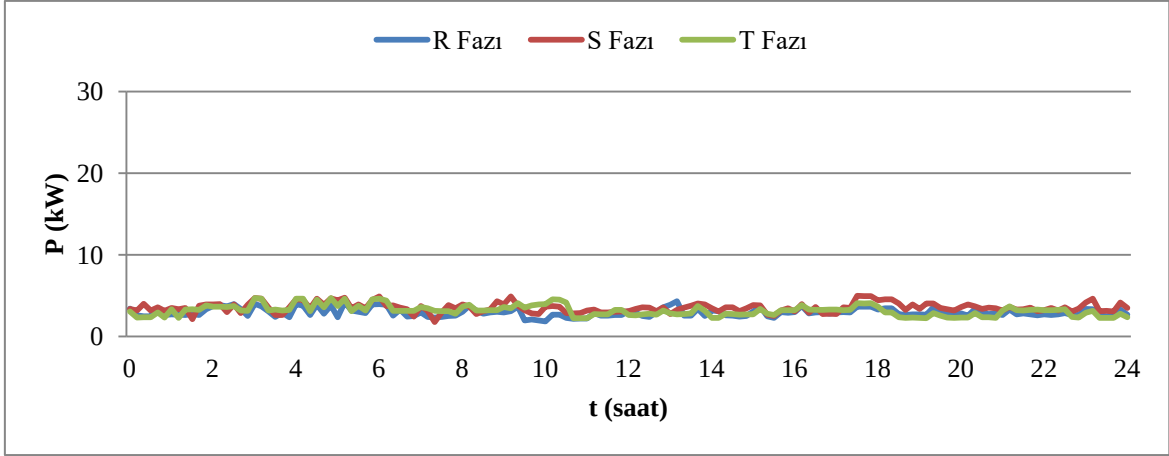
Şekil 3.203. Aktif gücün etkin değerinin değişimi (3. gün)



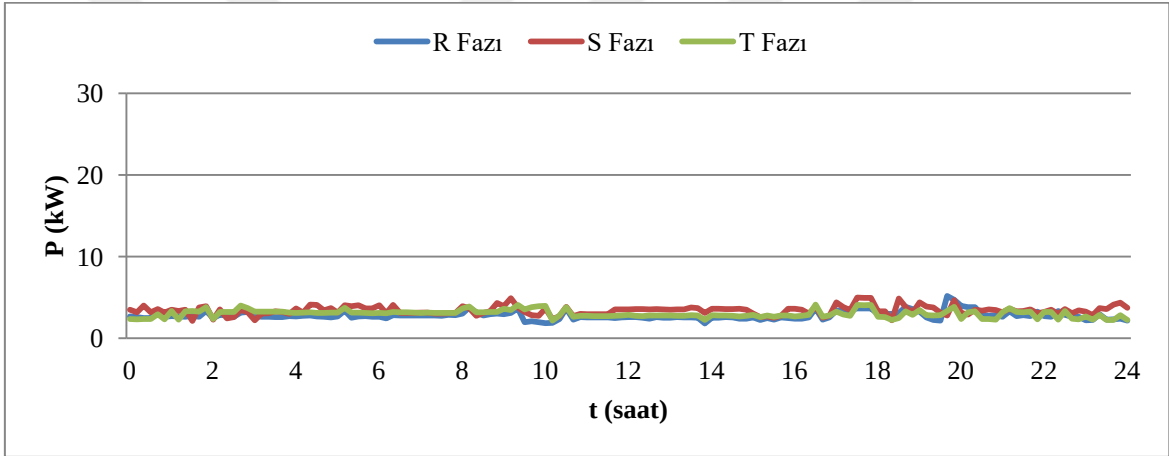
Şekil 3.204. Aktif gücün etkin değerinin değişimi (4. gün)



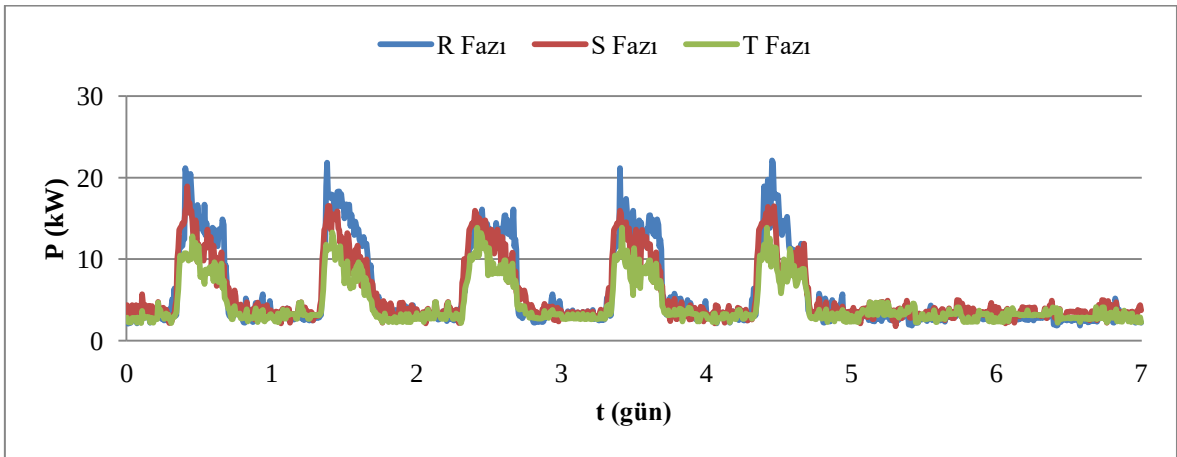
Şekil 3.205. Aktif gücün etkin değerinin değişimi (5. gün)



Şekil 3.206. Aktif gücün etkin değerinin değişimi (6. gün)



Şekil 3.207. Aktif gücün etkin değerinin değişimi (7. gün)



Şekil 3.208. Aktif gücün etkin değerinin 7 günlük değişimi

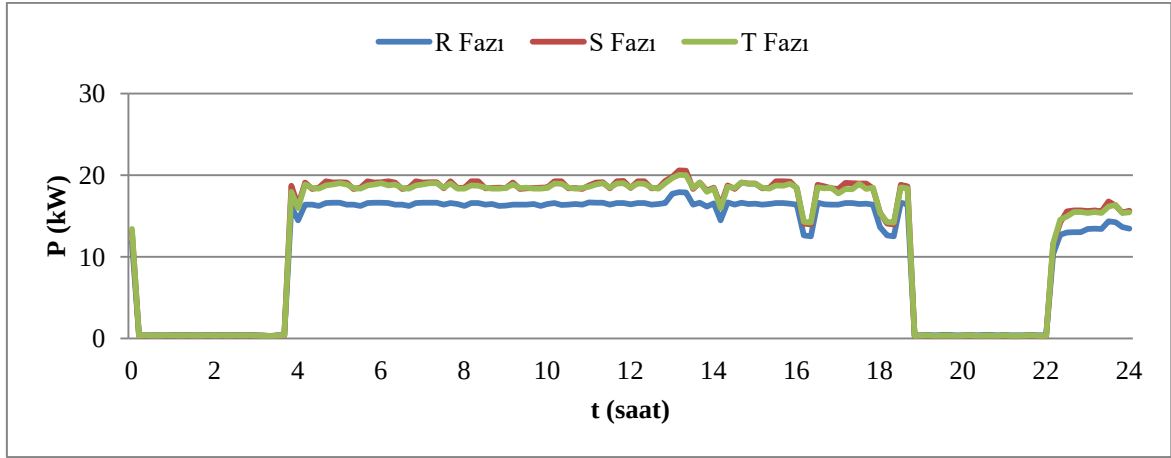
Şekil 3.201-3.205'e göre her bir fazın aktif gücün etkin değeri incelendiğinde, 00:00-08:00 ve 17:00-24:00 saatleri arasında her üç faz için aktif gücün etkin değerinde çok fazla değişimin olmadığı, her üç fazın aktif gücünün etkin değerinin birbirine eşit olduğu, hafta içi mesai saatleri aralığına denk gelen 08:00-17:00 zamanlarda faz akımlarının etkin değerinin ve dolayısıyla aktif gücün etkin değerinin arttığı, bu saatler arasında R fazının diğer iki faza göre fazla aktif güç çektiği görülmektedir. Hafta sonuna denk gelen Şekil 3.206 ve Şekil 3.207 grafiklerinde aktif gücün etkin değeri incelendiğinde, aktif güç tüketiminin hafta içi mesai saatleri dışındaki tüketimlere yaklaşık eşit olduğu, her üç faz için aktif gücün etkin değerinde gün içinde fazla değişimin olmadığı görülmüştür.

Şekil 3.208'e göre, İdari Birimler ölçüm noktasından alınan 7 gün 10'ar dakika aralıklarla üç faza ait aktif gücün etkin değerleri incelendiğinde, R fazında ölçülen aktif gücün minimum etkin değerinin 1,83 kW, maksimum etkin değerinin 22,11 kW, 7 günlük ortalama etkin değerinin ise 5,74 kW, S fazında ölçülen aktif gücün minimum etkin değerinin 1,77 kW, maksimum etkin değerinin 18,94 kW, 7 günlük ortalama etkin değerinin ise 5,55 kW, T fazında ölçülen aktif gücün minimum etkin değerinin 2,16 kW, maksimum etkin değerinin 13,88 kW, 7 günlük ortalama etkin değerinin ise 4,54 kW olduğu ve her faz için ölçülen ortalama aktif gücün İdari Birimler hizmet binasının çekebileceği maksimum aktif güç olan 299,89 kW değerinin çok altında olduğu görülmektedir.

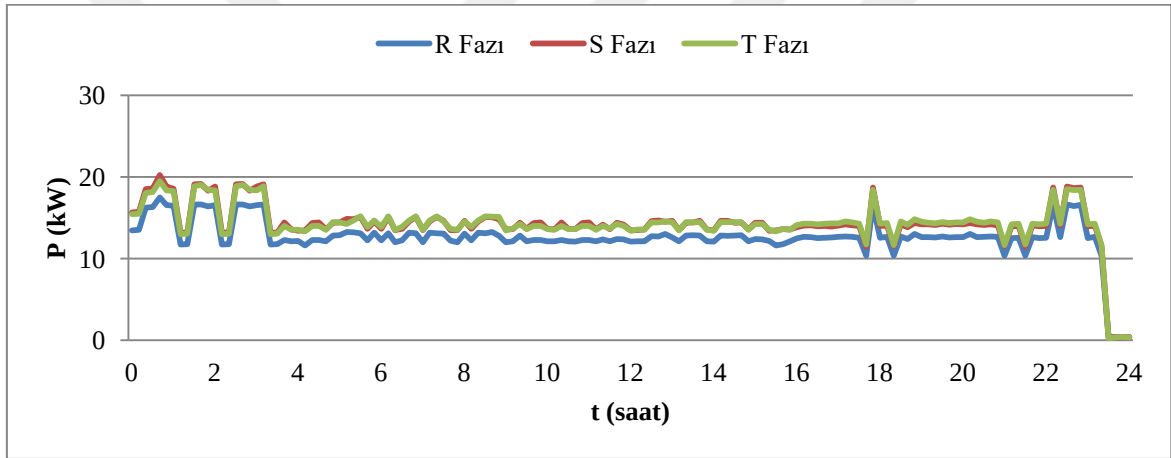
3.1.3.1.3. Isı merkezi hizmet binası

Isı Merkezi hizmet binası uygulama projesi incelendiğinde kuvvetli akım hesap cetvelinde aydınlatma ve priz yükü katsayısı 1 alınarak toplam aydınlatma ve priz gücü 31,93 kW, mekanik yükü katsayısı 1 alınarak toplam mekanik gücü 341,40 kW olarak hesaplanarak, kurulu güç toplam 373,33 kW olarak alınmıştır. Eş zamanlılık faktörü 0,9 kabul edildiğinden, talep gücü toplamı 335,97 kW eşit hesaplanmıştır. Trafodan ana bina giriş panosuna 4 adet (3 x 1 x 185) + 1 x 185 mm² NYY kablo çekilmiş olup, yapılan hesaplara göre gerilim düşümünün % 0,25 olduğu görülmüştür.

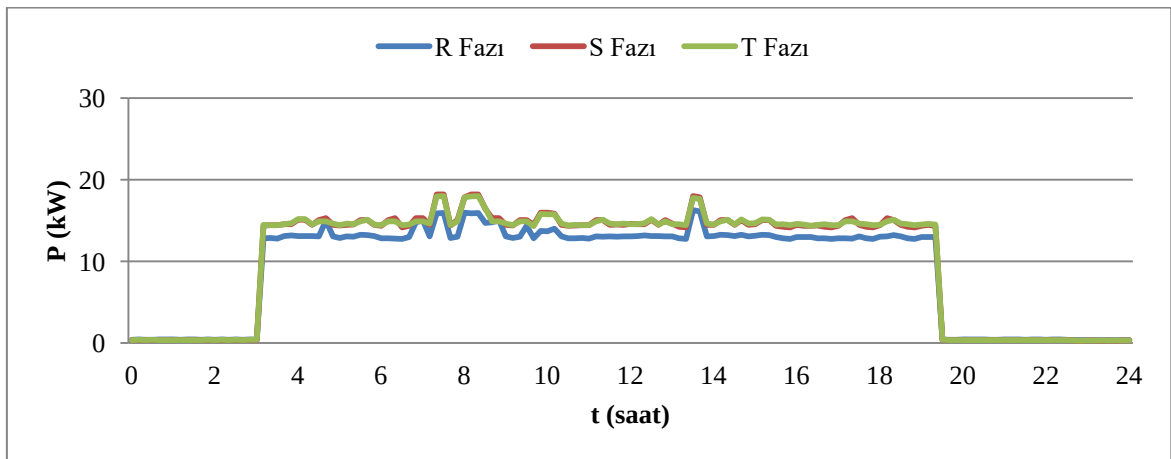
Şekil 3.201-3.207 arasında her güne ait aktif gücün etkin değerinin değişim grafikleri verilmiştir. Şekil 3.208'de ise 7 günlük aktif gücün etkin değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



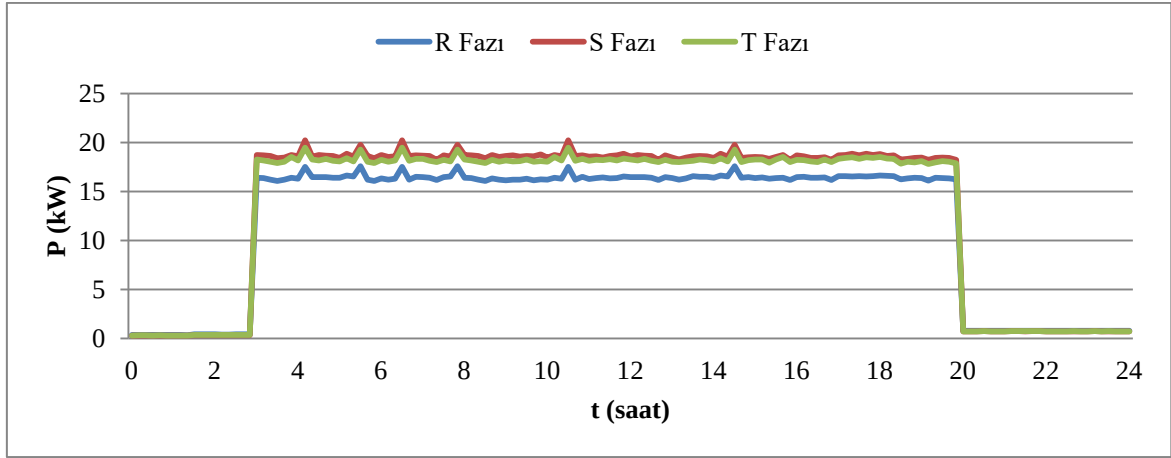
Şekil 3.209. Aktif gücün etkin değerinin değişimi (1. gün)



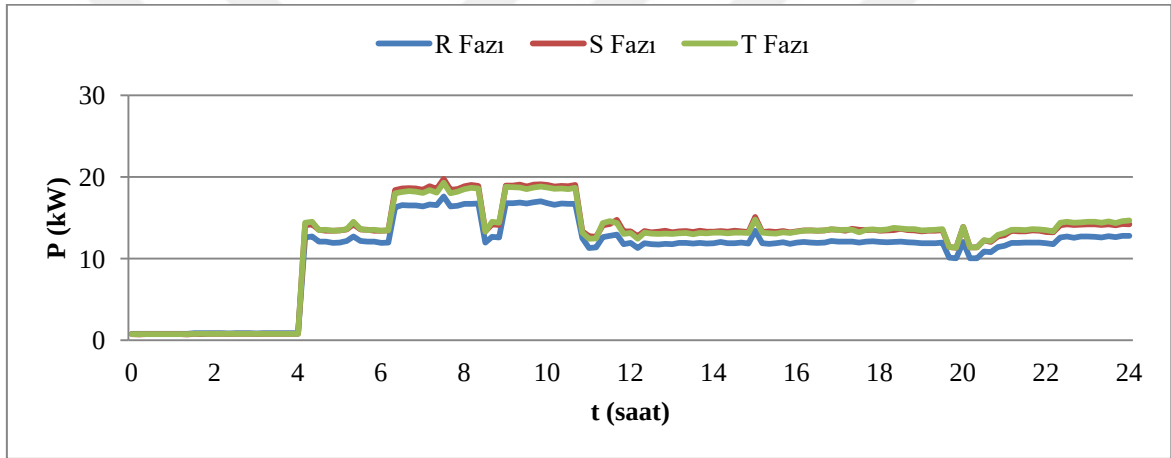
Şekil 3.210. Aktif gücün etkin değerinin değişimi (2. gün)



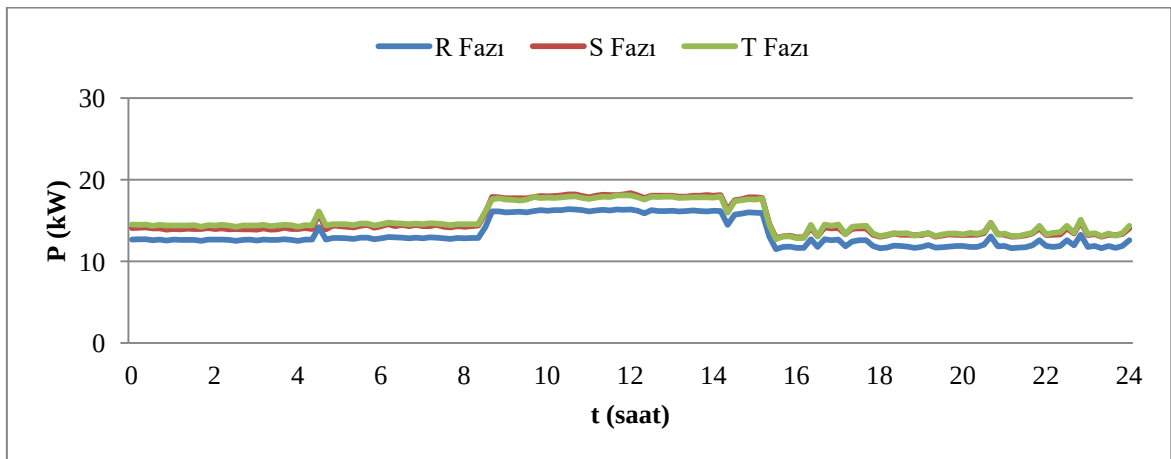
Şekil 3.211. Aktif gücün etkin değerinin değişimi (3. gün)



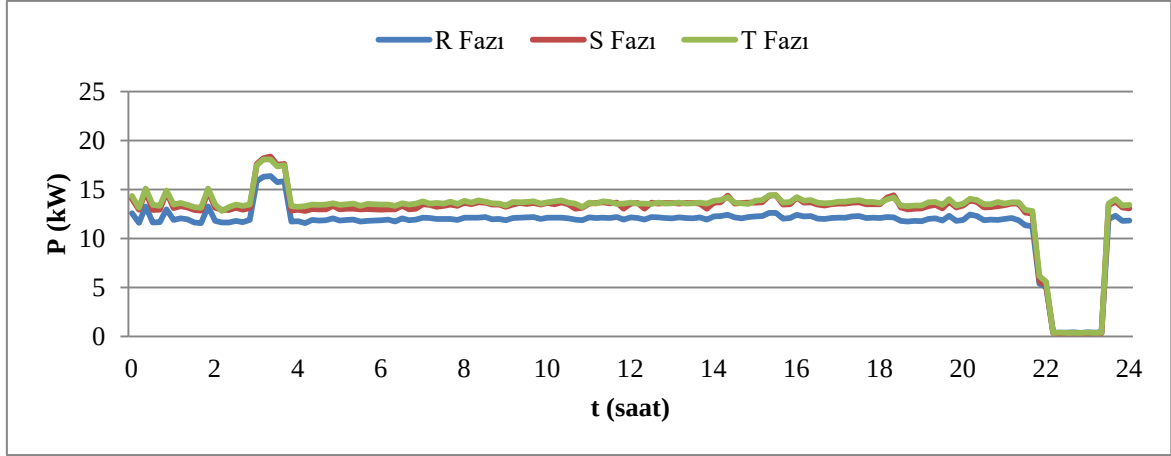
Şekil 3.212. Aktif gücün etkin değerinin değişimi (4. gün)



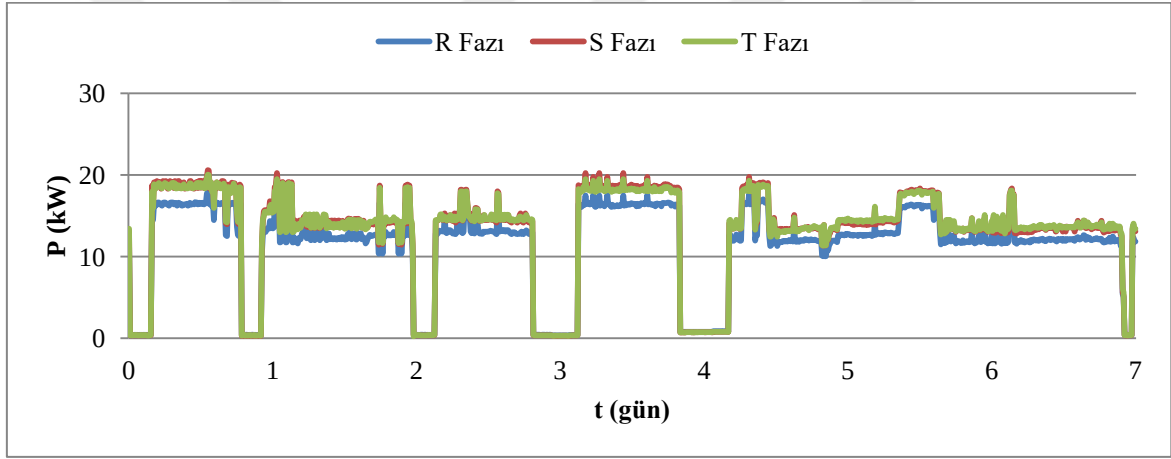
Şekil 3.213. Aktif gücün etkin değerinin değişimi (5. gün)



Şekil 3.214. Aktif gücün etkin değerinin değişimi (6. gün)



Şekil 3.215. Aktif gücün etkin değerinin değişimi (7. gün)



Şekil 3.216. Aktif gücün etkin değerinin 7 günlük değişimi

Şekil 3.209-3.216 grafiklerde her bir fazın aktif gücün etkin değeri incelendiğinde, hizmet binalarının ısıtılması için kullanılan binada çalıştırılan pompalar belli zamanlarda devre dışı bırakılarak dinlendirilmesinden dolayı çekilen aktif güçte pik ve dip olarak 2 farklı değer görülmektedir. Pompaların çalıştığı zaman aralığında çekilen aktif güç pik değer, pompaların devre dışı bırakılarak dinlendirildiği zaman aralığında ise dip değer görülmektedir. Kullanılan pompaların akım karakteristiklerinin benzerliğinden dolayı çekilen aktif gücün etkin değerinin de grafiğinin birbirine benzer ve R fazında çekilen aktif gücün diğer iki faza göre azda olsa düşük olduğu görülmektedir.

Şekil 3.216'ya göre, Isı Merkezi ölçüm noktasından alınan 7 gün boyunca 10'ar dakika aralıklarla üç faza ait aktif gücün etkin değerleri incelendiğinde, ölçüm süresi boyunca R fazında ölçülen aktif gücün minimum etkin değerinin 0,29 kW, maksimum

etkin değerinin 17,92 kW, 7 günlük ortalama etkin değerinin ise 11,55 kW; S fazında ölçülen aktif gücün minimum etkin değerinin 0,29 kW, maksimum etkin değerinin 20,59 kW, 7 günlük ortalama etkin değerinin ise 12,92 kW; T fazında ölçülen aktif gücün minimum etkin değerinin 0,24 kW, maksimum etkin değerinin 20,06 kW, 7 günlük ortalama etkin değerinin ise 12,96 kW olduğu ve her faz için ölçülen ortalama aktif gücün Isı Merkezi hizmet binasının çekebileceği maksimum aktif güç olan 335,97 kW değerinin çok altında olduğu görülmektedir.

3.1.3.2. Güç faktörü değerindeki değişimler

Munzur Üniversitesi kampüs alanında tüketilen tüm elektrik enerjisi tek bir sayaçtan fatura edilmekte olup, kampüs alanında orta gerilim tarafından ölçüm yapan merkezi kompanzasyon sistemi kurulmuş, merkezi kompanzasyon sisteminin yükünü olabildiğince azaltmak, sistemdeki şönt reaktörlerinin ısınmasını engellemek için her hizmet binasının enerji ana giriş panosuna entegre harici kompanzasyon sistemi bulunmaktadır.

Bölüm 1.6.'da Reaktif Güç Sınır Değerleri başlığında EPDK tarafından verilen karara göre reaktif güç faktörü yaklaşık 0,9889, kapasitif güç faktörü yaklaşık olarak 0,9806 olarak hesaplanmıştır. Munzur Üniversitesi merkezi kompanzasyon sisteminin güç faktörü ve reaktif güç/aktif güç oranı yukarıda belirtilen değere göre, hizmet binalarının güç faktörü ise 0,95-1 uygunluğu kapsamında değerlendirilecektir.

3.1.3.2.1. Ar-Ge laboratuvarı hizmet binası

Ar-Ge Laboratuvarı hizmet binası kompanzasyon projesi incelendiğinde talep gücünü 661,97 kW, ilk anda ki güç faktörü değeri 0,8 olarak kabul edilmiş ve bu değer 0,99'a yükseltecek şekilde hesap yapılmıştır. Çizelge 1.1'e göre k faktörü 0,61 olduğu için ihtiyaç duyulan reaktif güç Denklem (1.12)'ye göre;

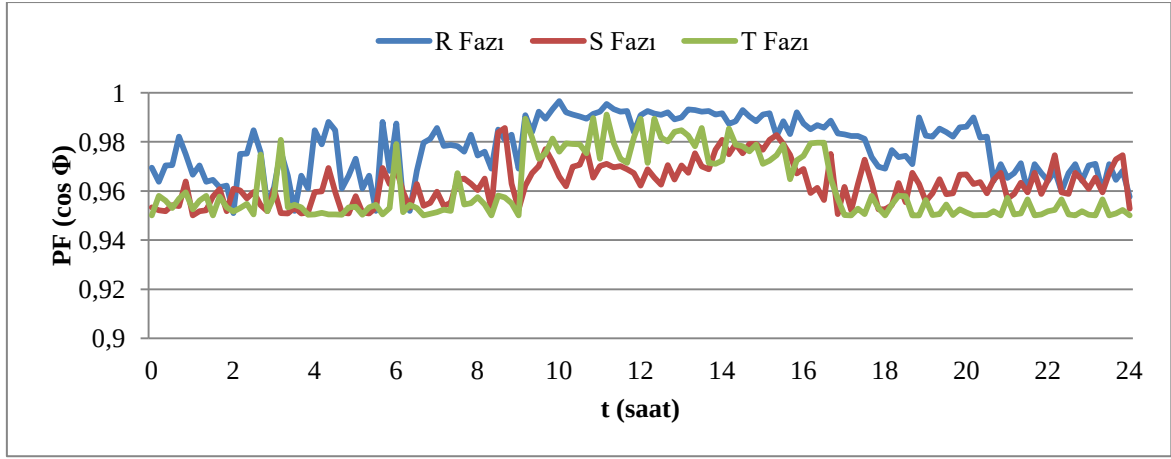
$$Q_c = k \cdot P_1 \quad (3.1)$$

$$Q_c = 0,61 \cdot 661,97 \quad (3.2)$$

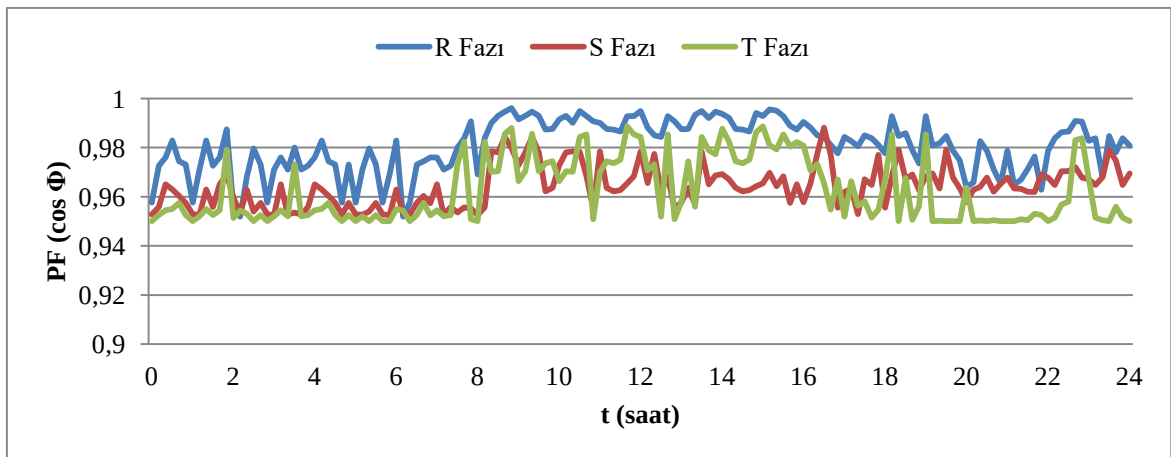
$$Q_c = 403,8 \text{ kVAR} \quad (3.3)$$

$\cos \Phi$ değerinin 0,8'den, 0,99'a yükseltecek kapasitif yük hesaplanarak 12 kademeli röle ile 2 adet 20 kVAR, 2 adet 30 kVAR, 2 adet 50 kVAR ve 2 adet 100 kVAR olmak üzere toplam 400 kVAR kondansatör devreye alınacak şekilde kompanzasyon sistemi kurulmuştur. Ancak bina kullanılmaya başlandıktan sonra yapılan gözlemlerde binanın endüktif yük yerine kapasitif yük çektiği görülmüştür. Bunun üzerine kondansatörler demonte edilerek yerine 20 kVA reaktör eklenmiştir.

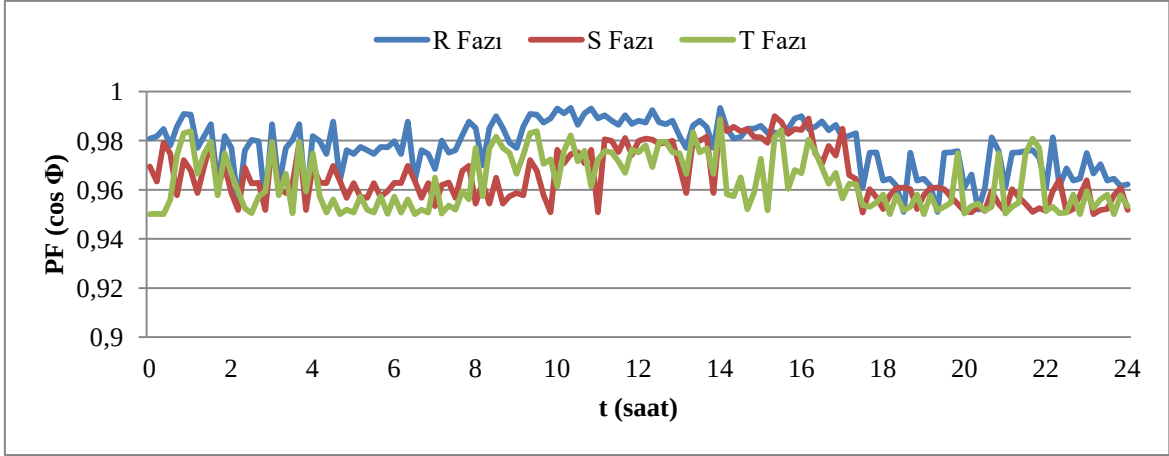
Şekil 3.217-3.223 her güne ait güç faktörü değerinin değişimi grafiği verilmiştir. Şekil 3.224'de ise 7 günlük güç faktörü değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



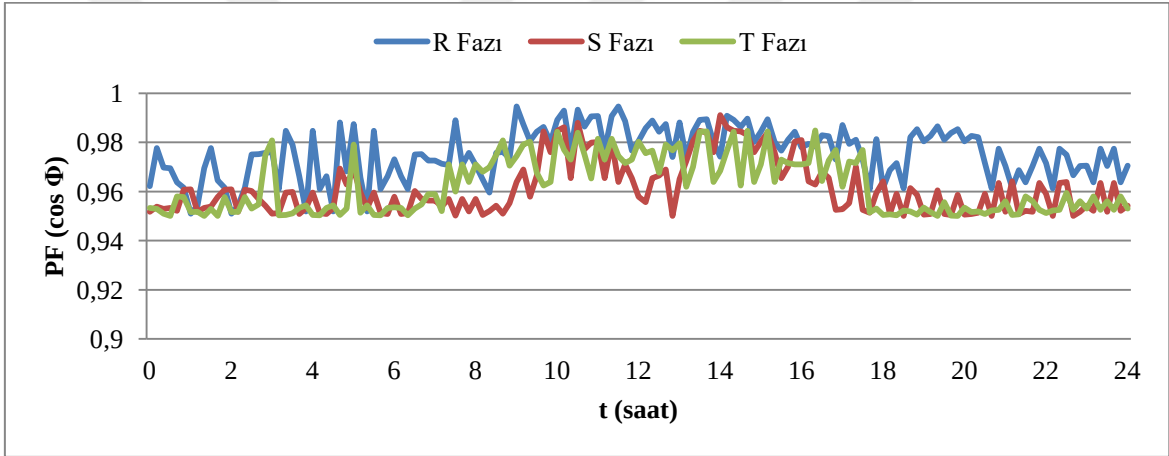
Şekil 3.217. Güç faktörü değerinin değişimi (1. gün)



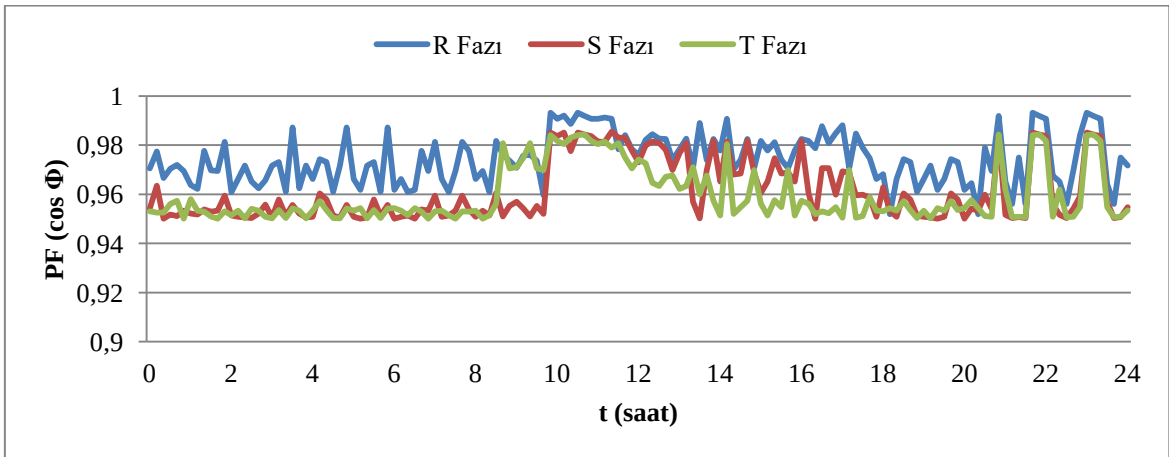
Şekil 3.218. Güç faktörü değerinin değişimi (2. gün)



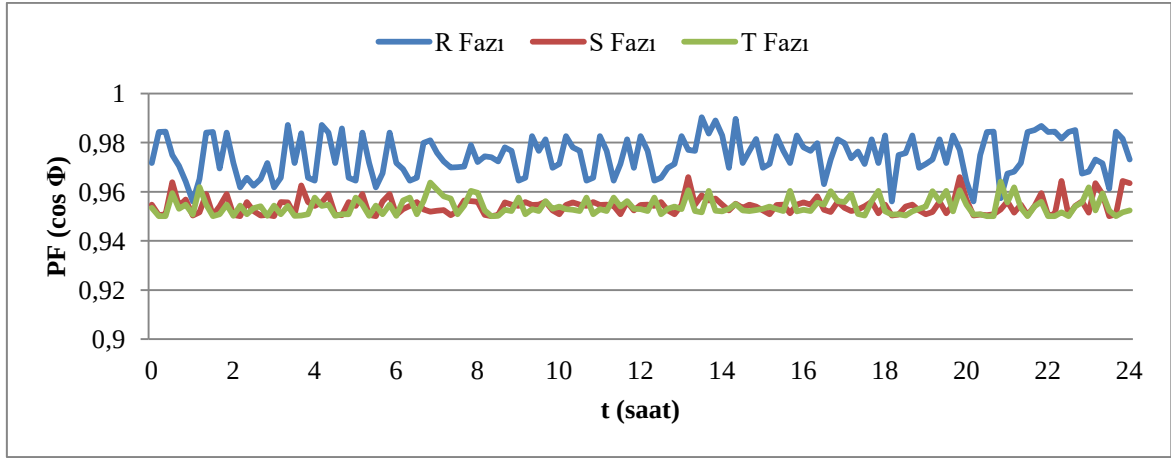
Şekil 3.219. Güç faktörü değerinin değişimi (3. gün)



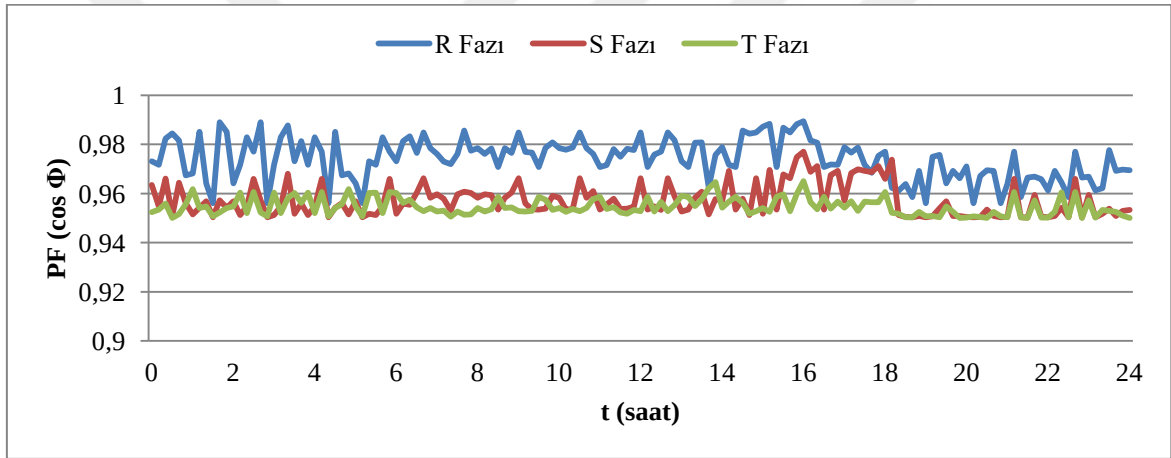
Şekil 3.220. Güç faktörü değerinin değişimi (4. gün)



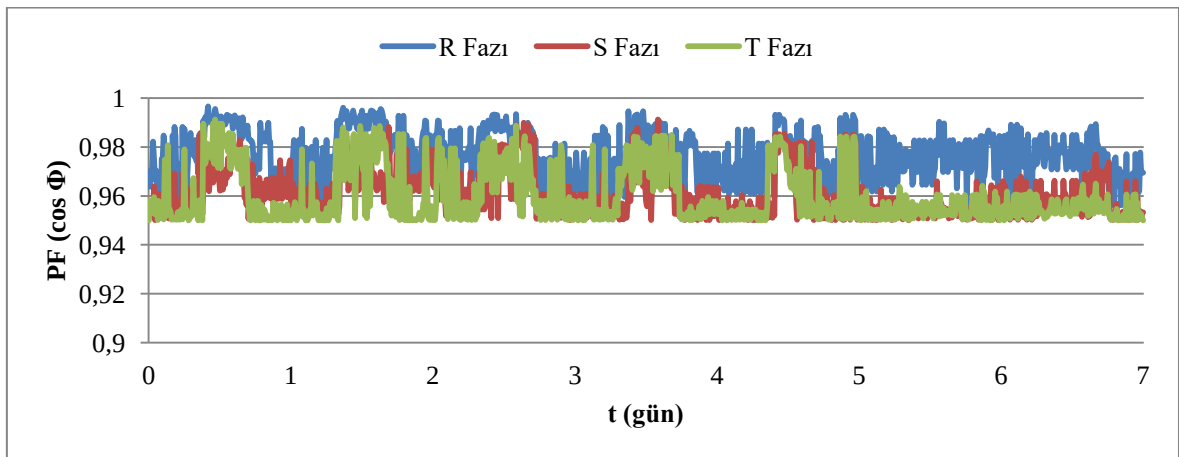
Şekil 3.221. Güç faktörü değerinin değişimi (5. gün)



Şekil 3.222. Güç faktörü değerinin değişimi (6. gün)



Şekil 3.223. Güç faktörü değerinin değişimi (7. gün)



Şekil 3.224. Güç faktörü değerinin 7 günlük değişimi

Şekil 3.217-3.221 grafiklerde her bir fazın güç faktörü değeri incelendiğinde, mesai saatlerinde elektrik tüketiminin artmasına paralel olarak güç faktörünün de artış gösterdiği, mesai saatleri dışında elektrik tüketiminin çok düşük seviyelere inmesi nedeniyle güç faktörü değerinin de azaldığı görülmektedir. Şekil 3.222-3.223 hafta sonuna denk gelen grafikler incelendiğinde elektrik tüketiminin arttığı zaman aralıklarında güç faktörü değerinin arttığı, elektrik tüketiminin azaldığı zaman aralığında ise güç faktörü değerinin azaldığı görülmektedir.

Şekil 3.224’de göre, Ar-Ge Laboratuvarı ölçüm noktasından alınan üç faza ait 7 günlük güç faktörü değerleri incelendiğinde, ölçüm süresi boyunca R fazında ölçülen güç faktörünün minimum değerinin 0,9507, maksimum değerinin 0,9966, 7 günlük ortalama değerinin 0,9765; S fazında ölçülen güç faktörünün minimum değerinin 0,9501, maksimum değerinin 0,9912, 7 günlük ortalama değerinin 0,9611; T fazında ölçülen güç faktörünün minimum değerinin 0,9504, maksimum değerinin 0,9913, 7 günlük ortalama değerinin 0,9597 olduğu ve her faz için ölçülen güç faktörünün şebekeden çekilen akım ile orantılı artış ve azalışların olduğu görülmektedir.

3.1.3.2.2. İdari birimler hizmet binası

İdari Birimler hizmet binası kompanzasyon projesi incelendiğinde talep gücünü 299,89 kW, ilk anda ki güç faktörü değeri 0,8 olarak kabul edilmiş ve bu değer 0,99’a yükseltecek şekilde hesap yapılmıştır. Çizelge 1.1’e göre k faktörü 0,61 olduğu için ihtiyaç duyulan reaktif güç Denklem (1.12)’ye göre;

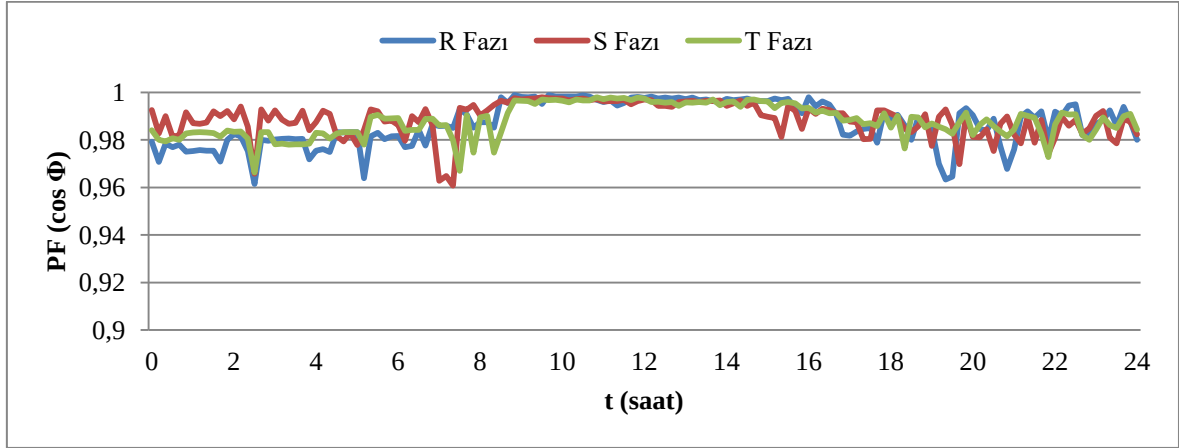
$$Q_c = k \cdot P_1 \quad (3.4)$$

$$Q_c = 0,61 \cdot 299,89 \quad (3.5)$$

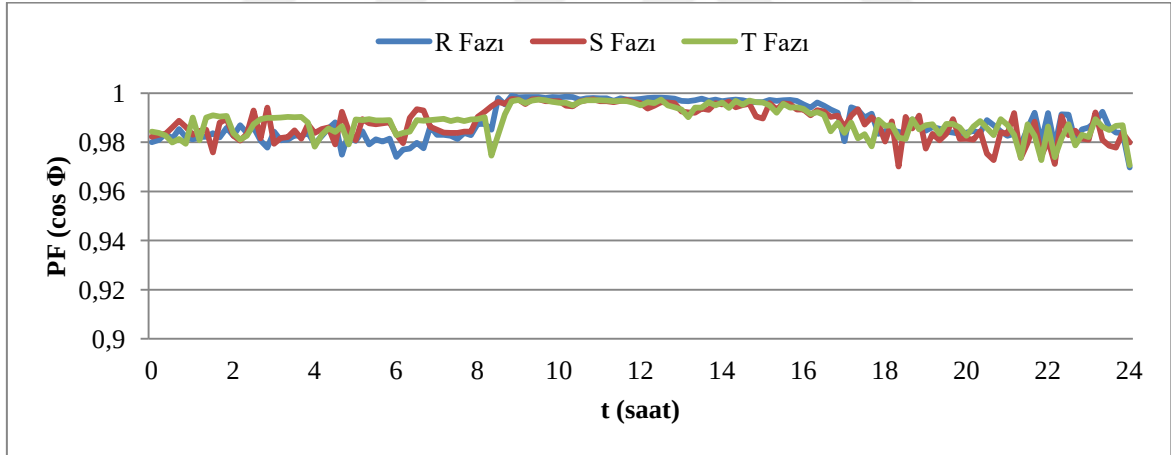
$$Q_c = 182,93 \text{ kVAR} \quad (3.6)$$

Cos Φ değerinin 0,8’den, 0,99’a yükseltecek kapasitif yük hesaplanarak 12 kademeli röle ile 8 adet 25 kVAR olmak üzere toplam 200 kVAR kondansatör devreye alınacak şekilde kompanzasyon sistemi kurulmuştur. Bina kullanılmaya başlandıktan sonra yapılan gözlemlerde binanın endüktif yük yerine kapasitif yük çektiği görülmüştür. Bunun üzerine kondansatörler demonte edilerek yerine 20 kVA reaktör eklenmiştir.

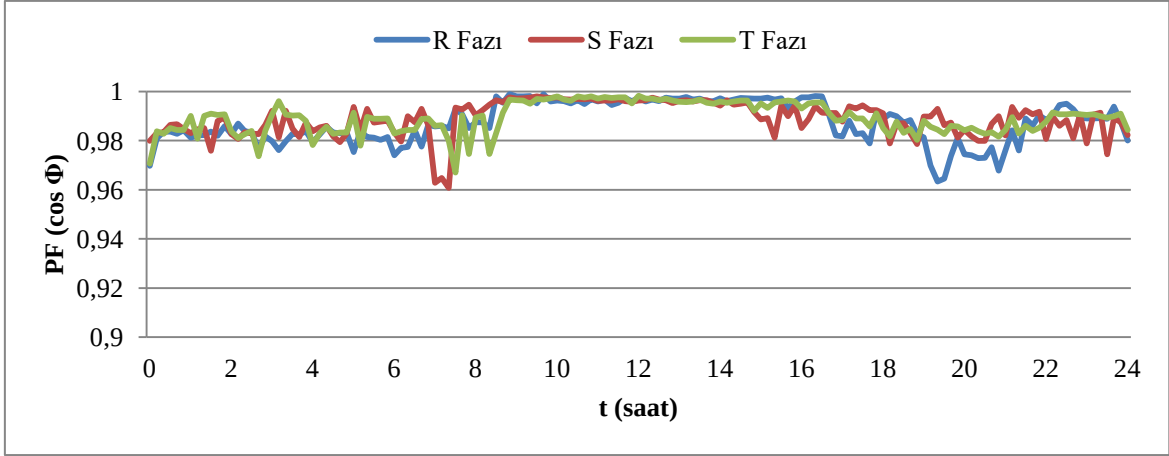
Şekil 3.225-3.231 her güne ait güç faktörü değerinin değişimi grafiği verilmiştir. Şekil 3.232’de ise 7 günlük güç faktörü değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



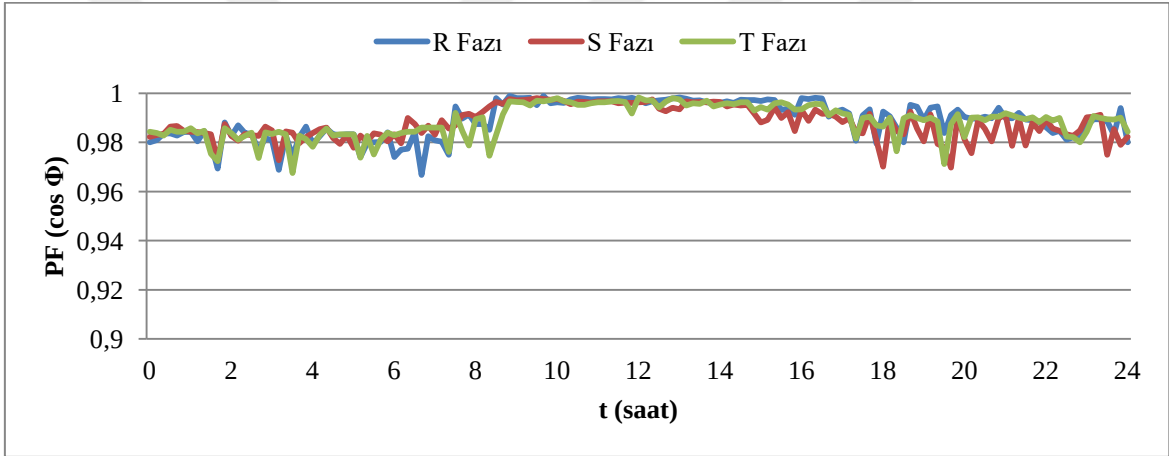
Şekil 3.225. Güç faktörü değerinin değişimi (1. gün)



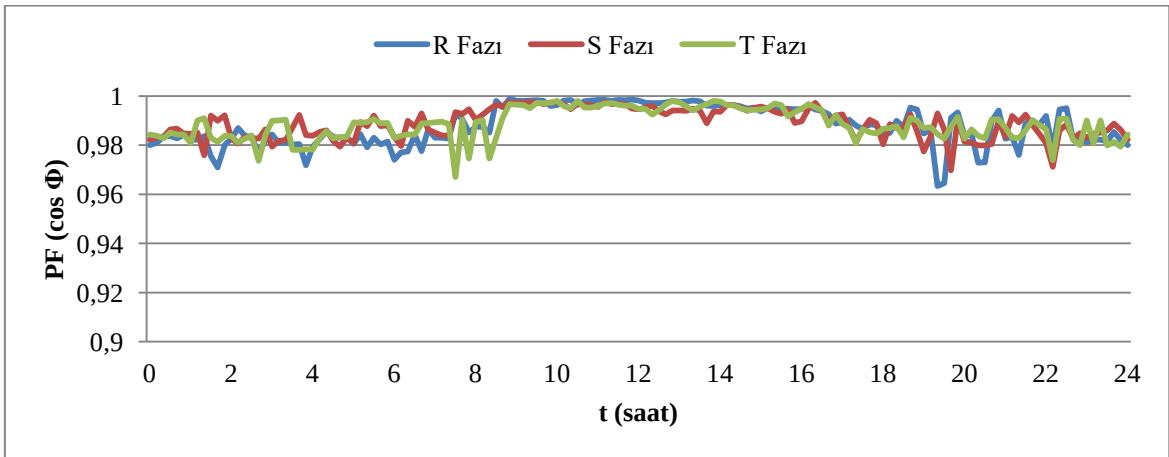
Şekil 3.226. Güç faktörü değerinin değişimi (2. gün)



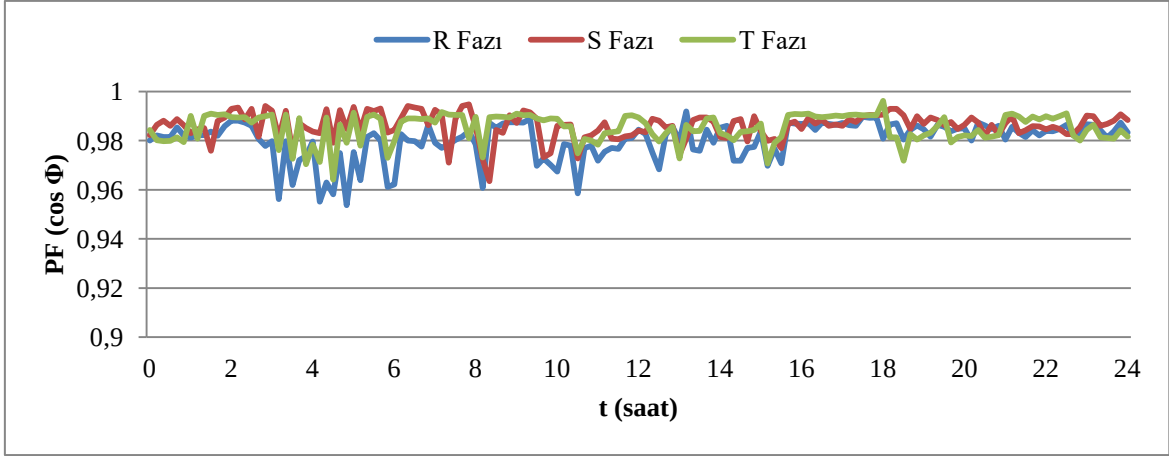
Şekil 3.227. Güç faktörü değerinin değişimi (3. gün)



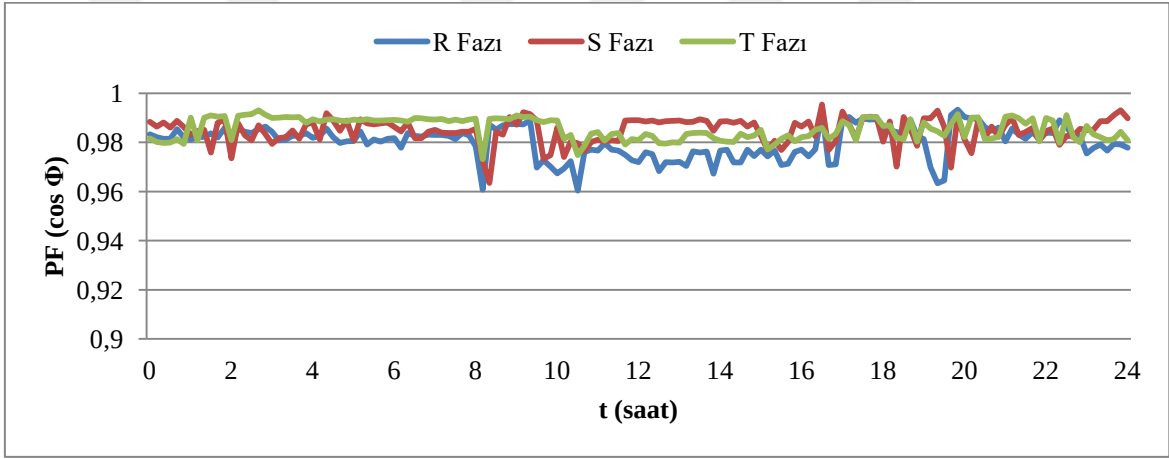
Şekil 3.228. Güç faktörü değerinin değişimi (4. gün)



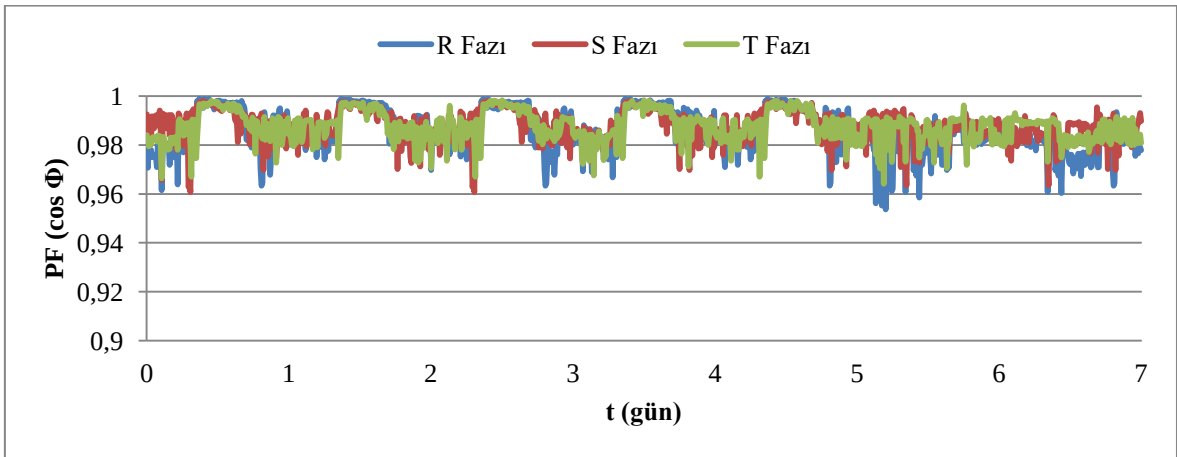
Şekil 3.229. Güç faktörü değerinin değişimi (5. gün)



Şekil 3.230. Güç faktörü değerinin değişimi (6. gün)



Şekil 3.231. Güç faktörü değerinin değişimi (7. gün)



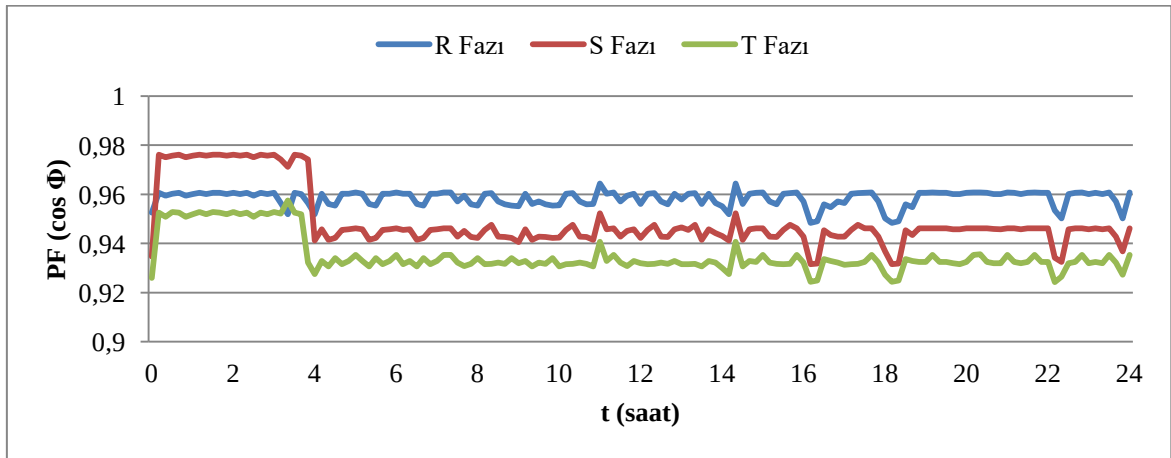
Şekil 3.232. Güç faktörü değerinin 7 günlük değişimi

Şekil 3.225-3.229 grafiklerinde her bir fazın güç faktörü değeri incelendiğinde, mesai saatlerinde elektrik tüketiminin artmasına paralel olarak güç faktörünün de artış gösterdiği, mesai saatleri dışında elektrik tüketiminin çok düşük seviyelere inmesi nedeniyle güç faktörü değerinin de azaldığı görülmektedir. Şekil 3.230-3.231 hafta sonuna denk gelen grafikler incelendiğinde elektrik tüketiminin arttığı zaman aralıklarında güç faktörü değerinin arttığı, elektrik tüketiminin azaldığı zaman aralığında ise güç faktörü değerinin azaldığı görülmektedir.

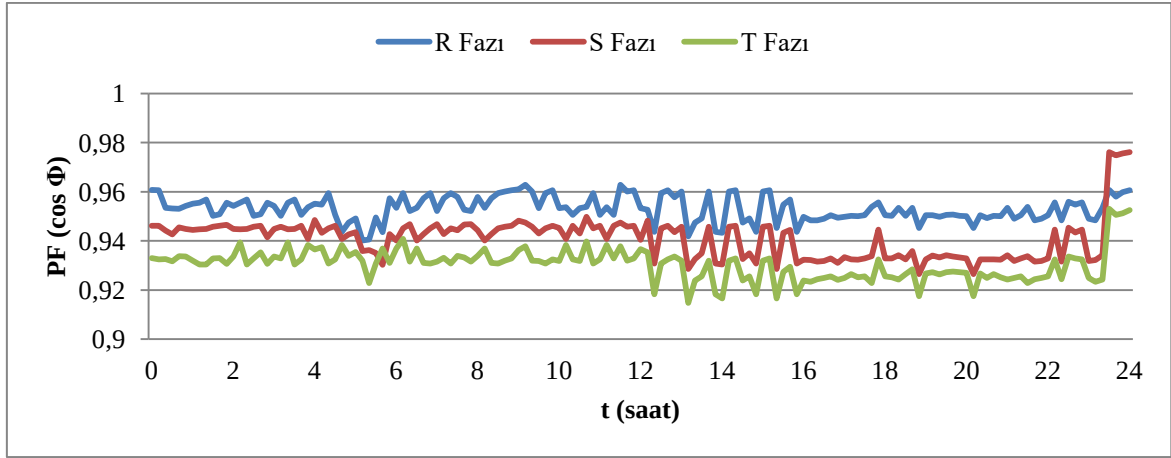
Şekil 3.232’de, İdari Bina ölçüm noktasından alınan üç faza ait 7 günlük güç faktörü değerleri incelendiğinde, ölçüm süresi boyunca R fazında ölçülen güç faktörünün minimum etkin değerinin 0,9537, maksimum değerinin 0,9989, 7 günün ortalama değerinin 0,9859; S fazında ölçülen güç faktörünün minimum değerinin 0,9608, maksimum değerinin 0,9980, 7 günün ortalama değerinin 0,9878; T fazında ölçülen güç faktörünün minimum değerinin 0,9642, maksimum değerinin 0,9983, 7 günün ortalama değerinin 0,9878 olduğu ve her faz için ölçülen güç faktörünün şebekeden çekilen akım ile orantılı artış ve azalışların olduğu görülmektedir.

3.1.3.2.3. Isı merkezi hizmet binası

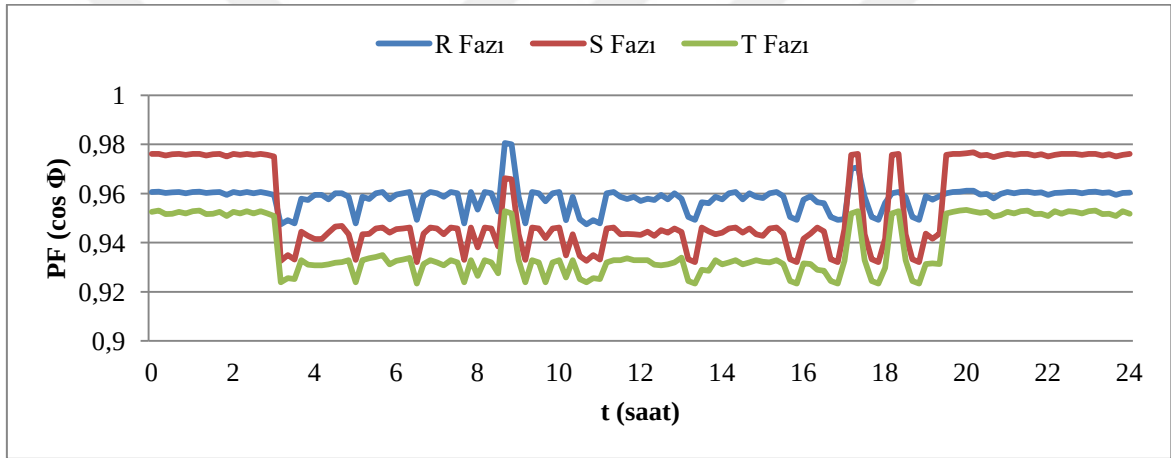
Şekil 3.233-3.239 her güne ait güç faktörü değerinin değişim grafiği verilmiştir. Şekil 3.240’da ise 7 günlük güç faktörü değeri ölçümlerinin tamamı tek grafik haline getirilmiş ve yorumlanmıştır.



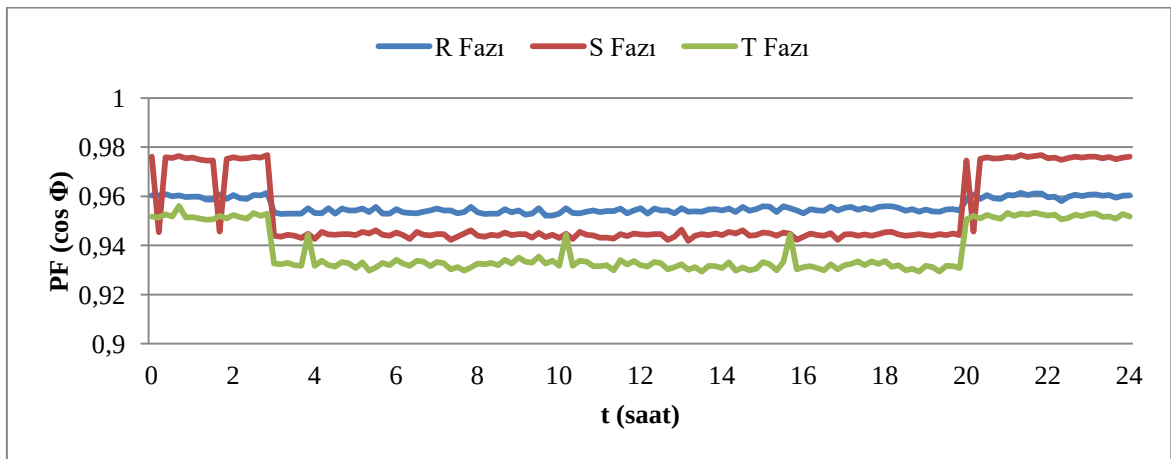
Şekil 3.233. Güç faktörü değerinin değişimi (1. gün)



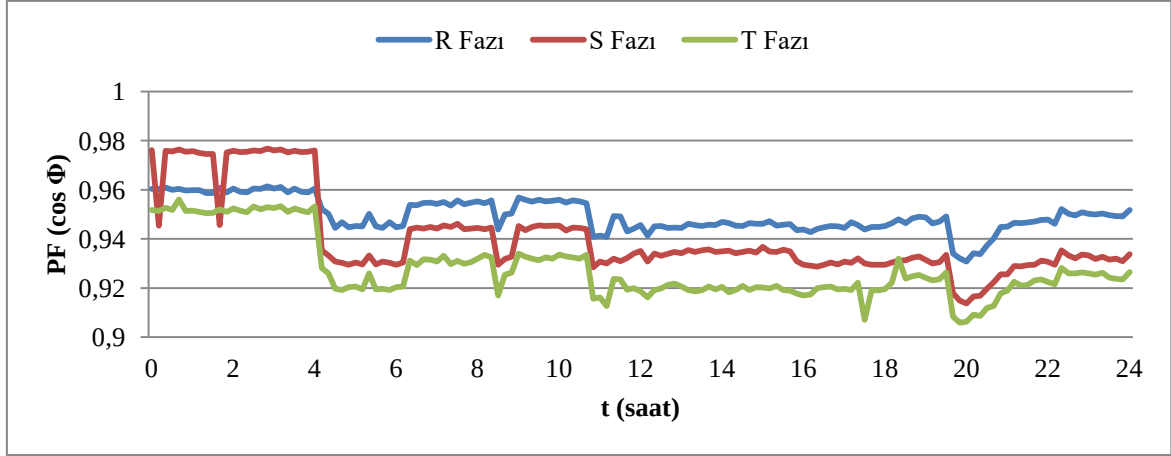
Şekil 3.234. Güç faktörü değerinin değişimi (2. gün)



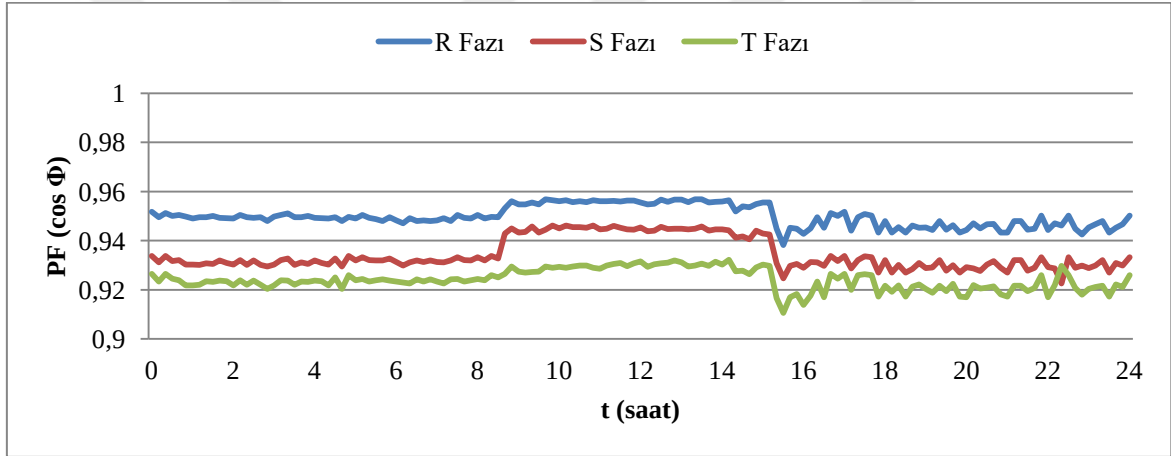
Şekil 3.235. Güç faktörü değerinin değişimi (3. gün)



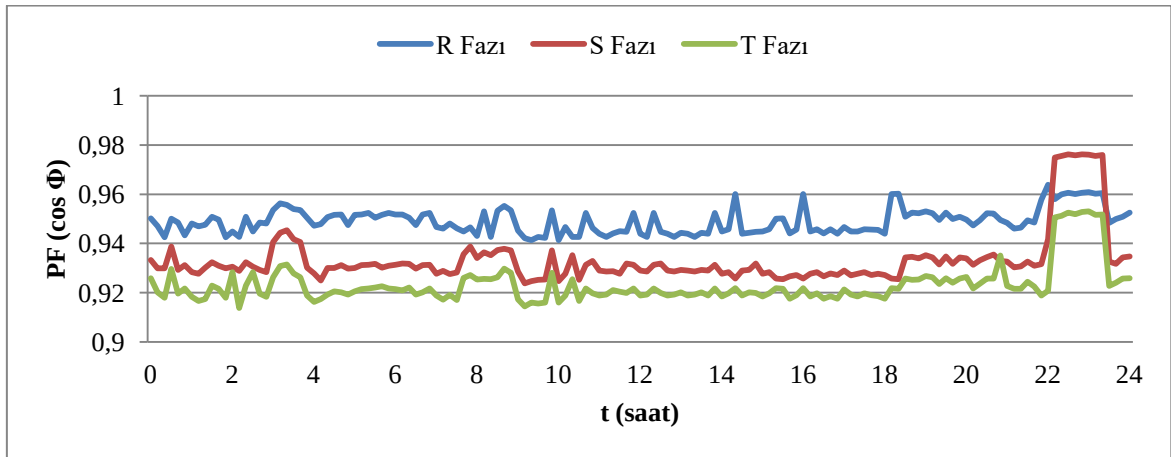
Şekil 3.236. Güç faktörü değerinin değişimi (4. gün)



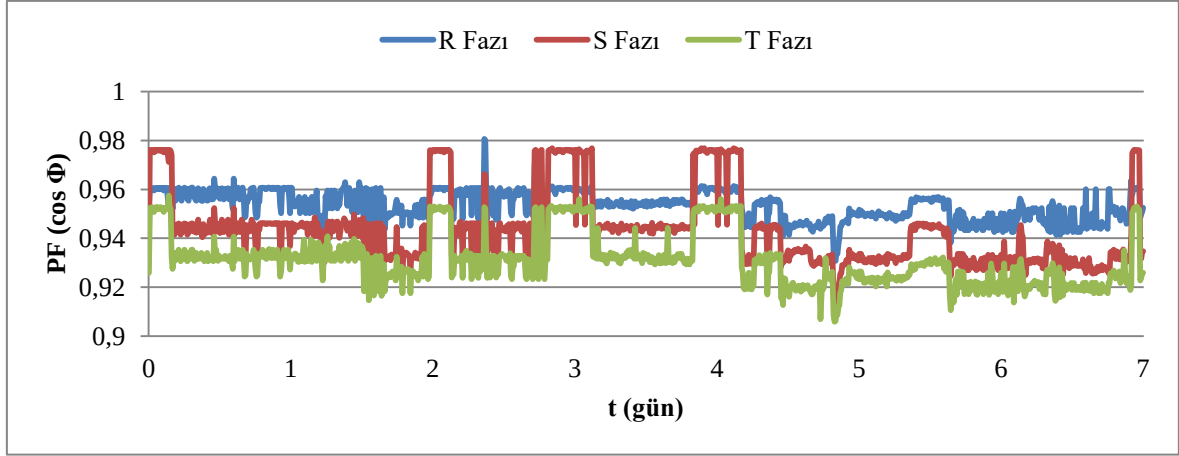
Şekil 3.237. Güç faktörü değerinin değişimi (5. gün)



Şekil 3.238. Güç faktörü değerinin değişimi (6. gün)



Şekil 3.239. Güç faktörü değerinin değişimi (7. gün)



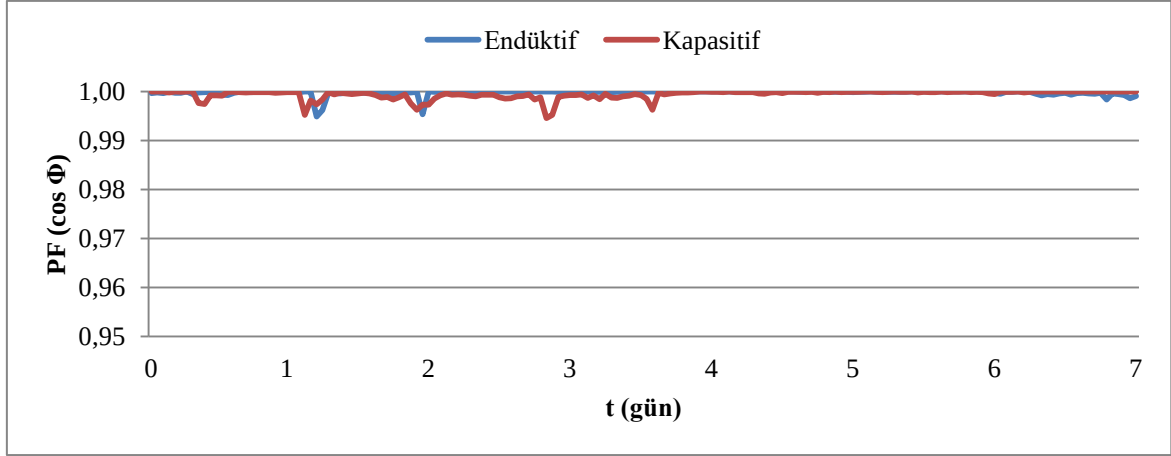
Şekil 3.240. Güç faktörü değerinin 7 günlük değişimi

Şekil 3.232'ye göre, Isı Merkezi ölçüm noktasından alınan üç faza ait 7 günlük güç faktörü değerleri incelendiğinde, ölçüm süresi boyunca R fazında ölçülen güç faktörünün minimum değerinin 0,9307, maksimum değerinin 0,9806, 7 günlük ortalama değerinin 0,9534; S fazında ölçülen güç faktörünün minimum değerinin 0,9137, maksimum değerinin 0,9768, 7 günlük ortalama değerinin 0,9435; T fazında ölçülen güç faktörünün minimum değerinin 0,9056, maksimum değerinin 0,9575, 7 günlük ortalama değerinin 0,9309 olduğu görülmektedir.

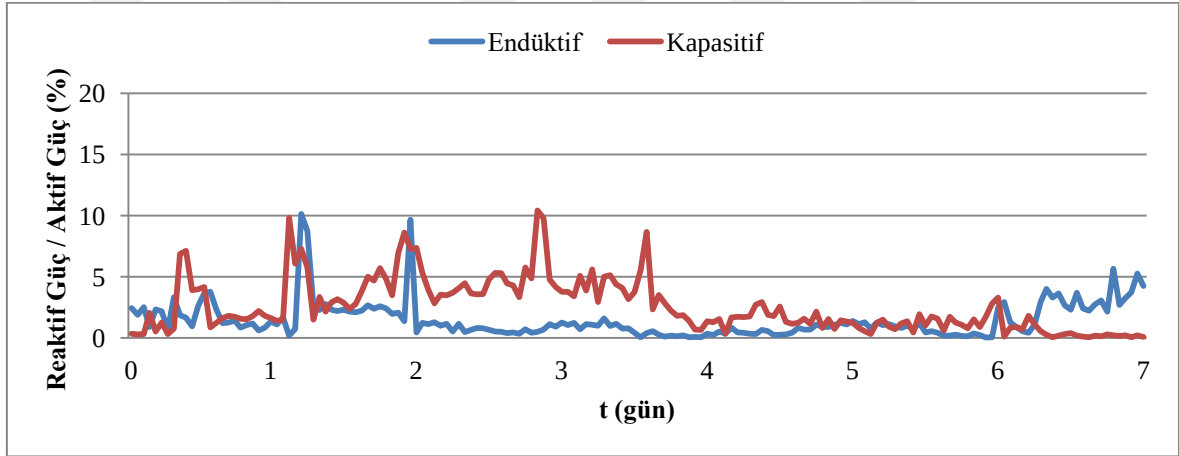
Isı merkezinde kompanzasyon sistemi olmadığından güç kalitesi analizöründen okunan güç faktörü değeri, teçhizatların aktif ve reaktif güçlerinin tüketimlerinin birleşimine eşittir. Isı merkezinde pompaların çalıştığı zaman aralığında güç faktörü 0,90 - 0,95 aralığında olurken, pompaların dinlendirildiği zaman aralığında güç faktörü değerinde artış gözlenmektedir.

3.1.3.2.4. Merkezi kompanzasyon sistemi

Munzur üniversitesi kampüs alanında bulunan trafolar arası OG enerji kablusunun (XLPE) kapasitif yükünün kompanse edilebilmesi için birinci ölçü hücresinden sonra OG'den ölçüm yapıp, kademeleri AG'de devreye alan ve toplam reaktif gücün kompanse edildiği merkezi kompanzasyon sistemi için 7 gün boyunca 1 saat aralıklarla alınan PF ($\cos \Phi$) güç faktörü verilerinden grafikleri oluşturulmuştur.



Şekil 3.241. Güç faktörü değerinin 7 günlük değişimi



Şekil 3.242. Reaktif güç / aktif güç değerinin 7 günlük değişimi

Şekil 3.241'e göre endüktif güç faktörünün minimum değerinin 0,9949117177, maksimum değerinin 0,9999999869, 7 günlük ortalama değerinin 0,9997777432, kapasitif güç faktörünün minimum değerinin 0,9946063689, maksimum değerinin 0,9999999083, 7 günlük ortalama değerinin 0,9994290801 olduğu görülmektedir. Şekil 3.242'e göre incelendiğinde endüktif gücün aktif güce oranının minimum %0,01616, maksimum değerinin %10,12658, 7 günlük ortalama değerinin %1,453349, kapasitif gücün aktif güce oranının minimum değerinin %0,042827, maksimum değerinin %10,42841, 7 günlük ortalama değerinin %2,582851 olduğu görülmektedir. Merkezi kompanzasyon sistemi için güç faktörü ile reaktif güç / aktif güç oranının standartlarda belirtilen sınır değerleri arasında olduğu görülmektedir (EPDK tarafından verilen karara göre kapasitif güç faktörü

yaklaşık 0,9889, endüktif güç faktörü yaklaşık olarak 0,9806, kapasitif gücün aktif güce oranı %20, endüktif gücün aktif güce oranının maksimum %15 olması gerekmektedir).

Tez çalışmasında incelenen Munzur Üniversitesi hizmet binaları için gerilim dengesizliği ve frekans parametrelerinin min, mak. ve ort. değerleri Tablo 3.1’de, her bir faz için güç kalitesi parametrelerinin min., mak., ve ort. değerleri Tablo 3.2’de gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Hizmet binaları için gerilim dengesizliği ve frekans parametrelerinin min, mak. ve ort. değerleri

Hizmet Binaları	Değer	Gerilim Dengesizliği (%)	Frekans
Ar-Ge Lab.	Min.	0,33	49,886
	Mak.	0,64	50,086
	Ort.	0,48	49,994
İdari Birimler	Min.	0,38	49,9
	Mak.	0,85	50,1
	Ort.	0,59	50,001
Isı Merkezi	Min.	0,46	49,927
	Mak.	0,79	50,079
	Ort.	0,6	50,005

Tablo 3.2. Her bir faz için hizmet binalarının güç kalitesi parametrelerinin min., mak. ve ort. değerleri

Hizmet Binaları	Faz Sırası	Değer	Gerilim (V)	THDV (%)	Akım (I)	THDI (%)	P (kW)	PF (cos Φ)
Ar-Ge Lab.	R Fazı	Min.	224,76	1,41	5,5	7,63	1,2	0,9507
		Mak.	236,55	2,4	29,68	28,73	6,7	0,9966
		Ort.	228,35	1,88	9,88	17,65	2,2	0,9765
	S Fazı	Min.	222,49	1,44	4,05	11,35	0,88	0,9501
		Mak.	234,32	2,39	15,08	34,47	3,39	0,9912
		Ort.	227,75	1,88	6,14	24,21	1,35	0,9611
	T Fazı	Min.	224,32	1,4	3,43	10,58	0,74	0,9504
		Mak.	236,39	2,5	22,29	42,61	4,98	0,9913
		Ort.	229,42	1,87	7,31	26,16	1,62	0,9597
İdari Birimler	R Fazı	Min.	223,27	1,21	8,25	3,88	1,83	0,9537
		Mak.	233,16	2,68	97,39	21,41	22,11	0,9989
		Ort.	228,53	1,84	25,36	12,77	5,74	0,9859
	S Fazı	Min.	220,96	1,24	8,01	4,33	1,77	0,9608
		Mak.	229,63	2,6	85,48	27,75	18,94	0,9980
		Ort.	225,28	1,83	24,93	13,11	5,55	0,9878
	T Fazı	Min.	223,52	1,19	9,63	5,32	2,16	0,9642
		Mak.	233,02	2,62	61,67	18,14	13,88	0,9983
		Ort.	227,9	1,75	20,1	11,80	4,54	0,9878
Isı Merkezi	R Fazı	Min.	223,15	1,26	1,33	18,82	0,29	0,9307
		Mak.	232,6	2,29	82	56,76	17,92	0,9806
		Ort.	228,03	1,89	53,16	27,6	11,55	0,9534
	S Fazı	Min.	220,69	1,17	1,35	6,02	0,29	0,9137
		Mak.	229,55	2,42	95,43	34,85	20,59	0,9768
		Ort.	225,24	1,99	61,08	25,63	12,92	0,9435
	T Fazı	Min.	222,97	1,14	1,1	16,30	0,24	0,9056
		Mak.	232,1	2,3	92,9	58,32	20,06	0,9575
		Ort.	227,5	1,89	61,2	29,69	12,96	0,9309

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında Munzur Üniversitesi kampüs alanındaki hizmet binalarının güç kalitesi yönünden incelenmesi, seçim şekli materyal ve yöntem kısmında belirtilen 3 hizmet binası için (Ar-Ge Laboratuvarı, İdari Birimler ve Isı Merkezi Binası) 7 gün boyunca 10'ar dakika aralıklarla Hioki 3196 Güç Kalitesi Analizörü cihazı ile ölçümler alınarak yapılmıştır. Kullanılan cihaz ile 3 hizmet binasının güç kalitesi parametreleri (gerilimin etkin değeri, gerilim dengesizliği, frekans, akımın etkin değeri, aktif güç, güç faktörü, gerilim ve akım harmonikleri) ölçülerek elde edilen veriler tablo ve grafikler haline getirilmiştir. Çalışmada elde edilen veriler; EN 50160 Avrupa Güç Kalitesi Standartları, IEEE 519-2022 standardına ve EPDK standartlarında belirtilen sınır değerlere göre karşılaştırılarak yorumlanmıştır.

Gerilim kalitesi parametrelerinin incelendiği üç hizmet binası için, gerilimin etkin değeri, frekans ve gerilim dengesizliği EN 50160 Avrupa güç kalitesi standartlarında belirtilen sınır değerleri arasında olduğu görülmüştür. Yıldız (2019) ve Sarı (2017) tezlerinin gerilim kalitesi parametreleri ile karşılaştırıldığında elde edilen sonuçların benzerlik gösterdiği görülmüştür.

Güç kalitesi parametrelerinin incelendiği merkezi kompanzasyon sistemi için, güç faktörü değeri EPDK tarafından belirlenen sınır değerinin altında olduğu görülmüştür. Munzur Üniversitesi kampüs alanının yük dağılımı incelendiğinde, trafolar arasında enerjinin dağıtımının 3,4 km XLPE kablo ile yapılması nedeniyle kapasitif yükün fazla olduğu görülmektedir. Hizmet binalarının ilk kompanzasyon projesi yapıldığında XLPE kablo kullanımından ileri gelen kapasitif yük dikkate alınmamış ve hizmet binalarında sadece kapasitif yük kompanzasyonu yapılmıştır. Hizmet binalarının kullanılmasıyla ortaya çıkan kapasitif yük sorununun giderilmesi için sonraki yıllarda sisteme reaktörler eklenerek çözülmüştür. Benzer kapasitif yük sorunlarının ele alındığı Yıldız (2019) çalışmasında Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Merkez Kampüsünde yaklaşık 5 km'lik OG hattının bulunmasından dolayı kapasitif yükün fazla olmasına rağmen endüktif kompanzasyon sistemi yapılması gerekirken sadece kapasitif kompanzasyon sisteminin tesis edildiğini belirtmiştir.

Hizmet binaları için toplam tüketilen güce bakıldığında, hizmet binalarından çekilen toplam gücün kampüs alanında kurulan toplam trafo güçlerine göre çok düşük olduğu görülmüştür. Bunun nedeni proje hazırlık aşamasında hizmet binalarının talep gücü

hesaplanırken eş zamanlılık faktörünün yüksek seçilmesidir. Yıldız (2019) ve Sarı (2017)'nin yaptıkları tez çalışmalarındaki tüketilen toplam elektrik enerjisinin Munzur Üniversitesi hizmet binalarının da olduğu gibi talep güce göre tüketim miktarının düşük olduğu görülmüştür. Bu durum ilk yatırım maliyetinin yüksek olmasına sebep olmaktadır. Proje aşamasında talep gücünün doğru hesaplanması ve ihtiyaca yönelik sistem tasarımının yapılması ekonomik ve teknik verimlilik anlamında yararlı olacaktır.

Akım ve gerilim için harmonik bozulmaların incelendiği üç hizmet binasında, gerilim için toplam harmonik bozulmanın elektrik tüketiminin arttığı saatlere denk gelen mesai saatlerinde arttığı, mesai saatleri dışında kalan zaman aralığında ise elektrik tüketiminin azalmasına paralel olarak azaldığı ve gerilim için toplam harmonik bozulmanın standartta belirtilen %8 sınır değerinin altında olduğu görülmüştür.

Akım harmoniklerine bakıldığında, her üç hizmet binası için çekilen akımın en büyük değerinin 97,39 Amper olduğu, İdari Birimler ve Ar-Ge Laboratuvarı hizmet binalarında akım için toplam harmonik bozulmanın mesai saatlerinde düştüğü, mesai saatleri dışında kalan zaman aralığında ise arttığı, Isı Merkezi hizmet binasına bakıldığında ise hizmet binalarının ısınması için çalıştırılan pompaların kullanım aralığında akım için toplam harmonik bozulmanın azaldığı görülmektedir. Munzur Üniversitesi kampüsünün güç hesapları yapılırken eş değeri katsayılarının yüksek seçilmesi ve dolayısıyla binaların besleme trafolarının gücünün çok yüksek değerde olması nedeniyle yüksüz durumda olan trafonun kayıplarının artmasına yol açmaktadır. Güven ve Yörükeren (2019) çalışmasında da belirttiği gibi trafoların boşa çalışma akımı, demir kayıplarına ait akım ile harmonik bileşenler içeren mıknatıslanma akımının toplamından oluştuğundan boşa çalışan trafo yüksüz olmasına rağmen mıknatıslanma akımı nedeniyle harmonik bileşen içeren akım üretmektedir. Tez çalışmasında incelenen hizmet binalarında mesai saatleri içinde teçhizat kullanımının artmasına bağlı olarak yükün artmasıyla ve trafoların yüklenmesiyle daha az harmonik bileşen ürettiği görülmüştür. Mıknatıslanma akımı harmonikleri günün erken saatlerinde sistemdeki yükün az olmasıyla gerilimin yükselmesi ve aşırı uyarmanın meydana gelmesiyle birlikte en yüksek seviyeye ulaşacağı beklenmektedir. Aşırı uyarımayla oluşan akım harmoniklerinde 3., 5., ve 7. harmonikler baskın olarak ortaya çıkmaktadır. Hizmet binalarının akım harmonik dereceleri incelendiğinde İdari Birimler hizmet binası için 3. harmonik derecesinin, Ar-Ge Laboratuvarı ve Isı Merkezi Hizmet Binası için ise 5. ve 7. harmonik derecelerinin yüksek olduğu görülmüştür. Standartta belirtilen sınır değerleri göz önünde bulundurulduğunda

akım için toplam harmonik bozulmanın sınır değerlerini aştığı görülmüş ve bu yüksek harmonik bozulmanın zamanla kondansatör patlamasına, elektronik kartların ve bilgisayar gibi cihazların arızalanmasına sebep olması beklenmektedir.

Munzur Üniversite kampüsünde yer alan hizmet binaları arasında seçilen üç hizmet binasının güç kalitesi yönünden birbiriyle karşılaştırılması yapıldığında akım için toplam harmonik bozulma değeri dışında kalan güç kalitesi parametrelerinden gerilimin etkin değeri, gerilim dengesizliği, frekans, gerilim için toplam harmonik bozulma ve gerilim harmonik dereceleri ilgili standartlarda belirlenen sınır değerlerde olduğu görülmüş ve üç hizmet binasının sonuçları birbiriyle benzerlik göstermiştir. Akım için toplam harmonik bozulma ve akım harmonik derecelerine bakıldığında, kompanzasyon sisteminin olduğu ve doğrusal olmayan yük olarak bilinen kesintisiz güç kaynağının olmadığı İdari Birimler hizmet binasının güç kalitesi standartlarına yakın olduğu ve güç kalitesi yönünden en verimli hizmet binası olduğu söylenebilir. Kesintisiz güç kaynağına sahip Ar-Ge Laboratuvarı hizmet binasında akım için toplam harmonik bozulmanın sınır değerini aştığı görülmüştür. Kesintisiz güç kaynağının elektrik kesintilerinde veri kaybının önüne geçmesi, ani gerilim yükselmelerini regüle etmesi gibi avantajlarından dolayı hizmet binalarında kullanılmasına ihtiyaç duyulduğundan harmonik probleminin meydana geldiği kaynağın çıkışına pasif filtre uygulanması harmoniklerin giderilmesi için gerekli olmaktadır. Hem kesintisiz güç kaynağı hem de kompanzasyon sistemi bulunmayan Isı Merkezi hizmet binası incelendiğinde ısınma için kullanılan teçhizatlardan kaynaklı akım için toplam harmonik bozulma değerinin sınır değerinin çok üstünde olduğu ve kompanzasyon sisteminin bulunmamasından dolayı da güç kalitesi yönden verimliliğinin düşük olduğu söylenebilir. Isınma için kullanılan teçhizatların çıkışına bireysel pasif filtre uygulaması yapılması önerilir.

5. KAYNAKLAR

- Acarkan, B.**, 2006. Ofis donanımının harmonik etkinliğinin kestirimi ve harmonik analizi, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ak, S.**, 2019. Elektrikli toplu taşıma araç istasyonlarının güç kalitesi yönünden incelenmesi: Elazığ Belediyesi örneği, *Yüksek Lisans Tezi*, Munzur Üniversitesi, Tunceli.
- Alkan, Ö., Tosun, S., Alkan, Ö.**, 2019. Enerji kalitesi açısından harmonikli bir sağlık tesisinin incelenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, c. 7, ss. 709-721.
- Arıkan, O.**, 2019. Güç kalitesi ve milli projesi: harmonikler. https://www.slideshare.net/ka_ka/teia-harmonikler-02112009, 02.02.2019.
- Arslan, F.**, 2022. Tünel otomasyon sistemlerinde harmonik kirlenmenin kompanzasyona etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Üniversitesi, İstanbul.
- Atasal, M.**, 2000. Güç kalitesi ve flikerler, İTÜ akademik açık arşiv, <http://hdl.handle.net/11527/10591>.
- Atay, S.**, 2022. Yapay zeka algoritmaları kullanarak kompanzasyon kapasitörleri için kalan faydalı ömür kestirimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Atmaca, H.**, 2020. Alçak gerilim tesislerinde reaktif güç kompanzasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Kırklareli Üniversitesi, Kırklareli.
- Aydın, O.**, 2015. Senkron motor ile güç katsayısı kontrolünde klasik sistemler ile uzman sistemlerin karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara, 138s.
- Bayram, M.**, 2000. Reaktif güç kompanzasyonu, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Beğde, S.**, 2017. Gerçek zamanlı izleme sistemleriyle bir elektrik dağıtım sisteminde güç kalitesi problemlerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Siirt Üniversitesi, Siirt.
- Bilki, F.**, 2008. Reaktif güç kompanzasyonu eğitim seti tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Bollen, M.H.**, 2000. Understanding power quality problems. In voltage sags and interruptions. IEEE press.
- Bozdağ, İ.**, 2022. Elektrik enerji sistemlerindeki güç kalitesi bozulmalarının akıllı yöntemler ile analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Bandırma On Yedi Eylül Üniversitesi, Balıkesir.
- Bütün, İ.M.**, 2021. Elektrik güç sistem harmoniklerinin yapay arı kolonisi algoritmasıyla kestirimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Başkent Üniversitesi, Ankara.

- Chapman, D.**, 2001. Güç kalitesi uygulama kılavuzu, copper development association, Sarkuysan Elektrolitik Bakır Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul.
- Dugan, R.C., Mcgranaghan, M.F., Beaty H.W., Santoso S.**, 1996. Electrical power systems quality 2nd ed., *McGraw-Hill Comp.*, New York, 59-71, 78, 260-71.
- Doğruyol, M.B.**, 2020. Endüstri 4.0 perspektifinde yapay sinir ağları kontrollü reaktif güç kompanzasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Edomah, N.**, 2009. Effects of voltage sags, swell and other disturbances on electrical equipment and their economic implications, *CIREN 2009 - 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution - Part 1, Prague, Czech Republic*, pp. 1-4, doi: 10.1049/cp.2009.0502.
- Ekinci, B.**, 2021. Güç kalitesi indisleri ile dağıtılmış üretim sistemlerinin değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- EI-Arini M. M., Youssef M.T., Hendawy H. H.**, 2006. Voltage sag analysis and its reduction to improve power system performance, 2006 *Eleventh International Middle East Power Systems Conference, El-Minia, Egypt*, pp. 87-92.
- Elbasuony, G.S., Aleem, S.H.A., Ibrahim, A.M., Sharaf, A.M.**, 2018. A unified index for power quality evaluation in distributed generation systems. *Energy*, 149, 607-622.
- Eroğlu, H.**, 2009. Bir dağıtım şebekesinin güç kalitesi ve harmonikler yönünden incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Konya.
- Gök, Ü.**, 2023. Elektrik sisteminde harmonik olayların analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, Karabük.
- Güven, A.F., Yörükeren, N.**, 2019. Yalova Üniversitesi merkez kampüsünde elektrik enerji kalitesini etkileyen harmoniklerin incelenmesi, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, c. 9(1), ss. 123-143.
- Habibi, S.**, 2022. Rüzgar ve güneş hibrit güç üretim sisteminin şebekeye entegre edilmesi ve güç kalitesi kontrolünün incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon.
- Ilgın, M.**, 2019. Reaktif gücün ve harmoniklerin enerji verimliliği üzerindeki etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Jouanne, A., Banerjee, B.**, 2001. Assessment of voltage unbalance, *IEEE Transactions On Power Delivery*, 16(4), 782-790.
- Karadeniz, M.**, 2022. Güç sistemlerinde sınırlı sayıda ölçüm cihazı kullanılarak güç kalitesi olaylarının izlenmesi ve yük modellemesi için yeni yaklaşımlar, *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi, Ankara.

- Koçak, Ç.,** 2018. Doğrusal olmayan yükleri besleyen rüzgar türbinlerinde harmoniklerin filtrelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli.
- Kürker, F.,** 2022. Doğrusal olmayan yük bulunan tesislerde güç faktörüne toplam harmonik bozulmanın etkisi, *Adıyaman Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c. 16, ss. 219-235.
- Latran, B.M., Teke, A.,** 2014. Güç kalitesi problemlerini düzelten dağıtım sistemine paralel bağlı evirici tabanlı kompanzatorlerin incelenmesi , *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.* Cilt 29, No 4, 793-805.
- Markiewicz, H., Klajn, A.,** 2004, Voltage disturbances standard EN 50160 - voltage characteristics in public distribution systems, *Leonardo Power Quality Initiative (LPQI)*.
- Mutlu, A.,** 2018. Güç kalitesi parametreleri kullanılarak otomatik anahtarlama sistemi ile şebeke seçimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Manisa.
- Olçay, K.,** 2018. Reaktif güç ve harmoniklerin enerji verimliliği ve kablo ömrüne etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
- Orucu, E.,** 2020. Endüstriyel tesislerde aktif harmonik filtre uygulaması ile elektrik güç kalitesinin düzenlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Pamukkale Üniversitesi, Denizli.
- Özdemir, M.,** 2011. Petrol sondajı tesislerinde klasik kompanzasyon sistemi yerine statik var kompanzasyon sisteminin uygulanması, *Yüksek Lisans Tezi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- Palta, O.,** 2015. Bir fazlı paralel aktif güç filtresi devrelerinin modellenmesi ve benzetimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Sarı, M.,** 2017. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Avşar Kampüsünün enerji kalitesinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.
- Shin, Y.J., Powers, E., Grady, M., Arapostathis, A.,** 2006. Power quality indices for transient disturbances, 2006 *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, Montreal, QC, Canada, pp. 1, doi: 10.1109/PES.2006.170886 6
- Sivaraman, P., Sharmeela, C.,** 2021. Power quality and its characteristics, *Power Quality in Modern Power Systems*, pp. 1–60.
- Şenol, Y.,** 2019. Güç faktörü düzeltme yöntemlerinin incelenmesi ve bir aktif güç faktörü düzeltme devresinin gerçekleştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Gelişim Üniversitesi, İstanbul.
- Şerbetçi, M.B.,** 2019. Harmonik problemleri olan tesislerde harmonik filtreli kompanzasyon sistemlerinin tasarımı ve analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

- Şerbetçi, M.B., Gökalp, E., Tercan, S.M.,** 2018. Harmonik içeren endüstriyel tesislerde düşük ayarlı pasif harmonik filtre tasarımı ve uygulaması, *International Eurasian Conference on Science, Engineering and Technology*, Ankara, 1034-1041.
- Tekev, S.,** 2021. Güç sistemlerinde harmoniklerin ve ara harmoniklerin bilgisayar destekli modellemesi ve simülasyonu, *Yüksek Lisans Tezi*, Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis.
- Tüfekçi, A.,** 2018. Yenilenebilir enerji sistemlerinde harmonik analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Giresun Üniversitesi, Giresun.
- Tümen, V.,** 2013. Veri madenciliği yöntemleri ile güç kalitesi verilerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Tunceli Üniversitesi, Tunceli.
- Türkeri, İ.H.,** 2018. Reaktif güç sistemlerinde harmonik etkilerin belirlenmesi ve analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Arel Üniversitesi, İstanbul.
- URL-1,** 2020. <https://www.endoks.com/2020/02/20/5-soruda-guc-kalitesi-nedir-nasil-iyilestirilir/>, Erişim tarihi: 20.04.2023.
- URL-2,** <https://www.epdk.gov.tr/Detay/Icerik/3-1994/dagitim-lisans-sahibi-tuzel-kisiler-ve-gorevli-t>, Erişim tarihi: 23.04.2023
- URL-3,** 2013. <https://kaanonaran.files.wordpress.com/2015/02/olcme-ve-degerlendirme-22-07-2013.pdf>, Erişim tarihi: 08.05.2023.
- URL-4,** <https://www.evm.ua/image/catalog/uslugi/standart-en-50160.pdf>, Erişim tarihi: 08.05.2023.
- Yeşilyurt, T.,** 2021. Yapay zeka yöntemleri kullanılarak elektrik tesislerinde güç kalitesi problemlerinin sınıflandırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, Konya Teknik Üniversitesi, Konya.
- Yıldırım, Ö.,** 2015. İnternet tabanlı güç kalitesi izleme sisteminin donanımsal ve yazılımsal olarak gerçekleştirilmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi, Elazığ.
- Yıldız, H.,** 2019. Baibü Merkez Kampüs elektrik enerji dağıtım sisteminin enerji verimliliği ve enerji kalitesi açısından incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu.
- Yurduseven, E.,** 2020. Güç kalitesi parametrelerinin IEC 61000-4-30 sınıf A standardına uygun şekilde ölçülmesi için algoritma geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

