

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**ELEKTRİKLİ TOPLU TAŞIMA ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ GÜÇ
KALİTESİ YÖNÜNDEN İNCELENMESİ: ELAZIĞ BELEDİYESİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Soner AK

Anabilim Dalı: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Bilgin ZENGİN
TUNCELİ – 2019

T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ TOPLU TAŞIMA ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ GÜÇ
KALİTESİ YÖNÜNDEN İNCELENMESİ: ELAZIĞ BELEDİYESİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Soner AK
(161103102)

Anabilim Dalı: Elektrik-Elektronik Mühendisliği

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Bilgin ZENGİN
TUNCELİ – 2019

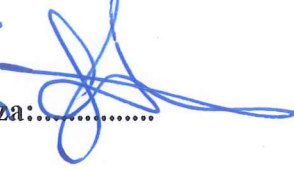
T.C.
MUNZUR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİKLİ TOPLU TAŞIMA ARAÇ ŞARJ İSTASYONLARININ GÜÇ
KALİTESİ YÖNÜNDEN İNCELENMESİ: ELAZIĞ BELEDİYESİ ÖRNEĞİ**

Soner AK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez 21/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından **oybirliği** ile kabul edilmiştir.

İmza:.....

İmza:.....

İmza:.....

Dr. Öğr. Üyesi Bilgin ZENGİN
(Munzur Üniversitesi)

Prof. Dr. Sinan AKPINAR
(Fırat Üniversitesi)

Dr. Öğr. Üyesi Özal YILDIRIM
(Munzur Üniversitesi)

DANIŞMAN

ÜYE

ÜYE

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

Prof. Dr. Numan YILDIRIM
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.

ÖZET

Bu tez çalışmasında, Elazığ Belediyesine ait %100 elektrikli otobüslerin şarj istasyonu güç kalitesi yönünden izlenmiştir. Güç kalitesi ile ilgili tanımlamalara yer verildikten sonra teorik bilgilere geçilmiştir. Daha sonra güç kalitesi bozulmalarının nedenleri verilmiş ve güç kalitesinin sağlanmadığı tesislerde meydana gelebilecek sıkıntılar verilmiştir. Güç kalitesini olumsuz etkileyen harmoniklere dair tanımlamalar, harmonik oluşum sebepleri, harmoniklerin sistemlere ve sistemlerdeki cihazlara genel etkileri verilmiştir. Uluslararası standartlar gereği akım ve gerilim harmoniklerinin olması gereken sınır değerler verilmiştir.

Sistemden alınan ölçümler sonucunda elde edilen veriler, tablolar ve grafikler haline dönüştürülmüştür. Oluşturulan grafikler sonucunda sistemin güç kalitesi ama özellikle harmonikler açısından durumu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Elazığ Belediyesi, Güç Kalitesi, Harmonikler

ABSTRACT

Power Quality Analyzing of Electric Public Transport Vehicles's Charge Stations: Example of Elazığ Municipality

In this thesis study, Elazığ Municipality of 100% chargeable electricity busses charging station was monitored aspect of power quality. After that with about power quality describing was passed on to theoretical knowledge. Afterwards gives the reasons of power quality distortions and that may occur problem don't provided power quality in electrical systems. Definitions of harmonics affecting that power quality to negatively effect to electrical systems of harmonics and harmonics causes were given in it. Current and voltage harmonics of limited values was given according to The International Electrotechnical Commission (IEC) standards. The graphs reveal the situation of system's power quality and especially aspect of harmonics.

Keywords: Elazığ Municipality, Power Quality, Harmonics

TEŞEKKÜRLER

Tezin hazırlanması sürecinde bana her türlü desteği veren tez danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Bilgin ZENGİN'e ve gerekli noktalarda bana ayrıca destek olan Sayın Dr. Öğr. Üyesi Özal YILDIRIM'a, Elazığ Belediye Başkanı Teknik Danışmanı Sayın Mehmet Ali ATALAR'a, beni yetiştiren ve ömrü hayatım boyunca maddi ve manevi destekleri yanımda olan anne ve babama, enerjisiyle dünyamı neşelendiren biricik, sevgili yeğenim Neva'ya çok teşekkür ederim. Ayrıca bana bu eşsiz vatan ve gökkubbe altında yaşama fırsatı veren Yüce Allah'a şükrederim. Bu topraklarda varlığımızı koruyup devam ettiren büyük Türkiye Cumhuriyeti Devletine ve bu kutlu devletin kurucusu Gazi Mustafa Kemal Atatürk'e sonsuz teşekkür ederim ve hayatım boyunca teşekkür borcum bilirim.

Soner AK

TUNCELİ-2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜRLER	III
İÇİNDEKİLER	IV
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VII
KISALTMALAR LİSTESİ	VIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Güç Kalitesi	3
1.1.1. Güç Kalitesi Tanımına Dair Bazı Yaklaşımlar	3
1.2. Gerilim Kalitesi Problemleri	5
1.2.1. Gerilim Düşmesi	5
1.2.2. Gerilim Kesintisi	6
1.2.3. Gerilim Yükselmesi	7
1.2.4. Fliker (Kırpışma)	8
1.2.4.1. Gerilimin Dalgalanmasının Nedenleri	9
1.2.4.2. Gerilimin Dalgalanmasının Etkileri	9
1.3. Harmonikler	10
1.3.1. Harmoniklerin Tanımı	10
1.3.2. Harmoniklerin Oluşmasına Neden Olan Etkenler	11
1.3.3. Akım Harmonikleri ile Gerilim Harmonikleri Arasındaki İlişki	12
1.3.3.1. Harmoniklerin Yapmış Olduğu Etkiler	12
1.3.3.1.1. Harmonik Akımlarının Neden Olduğu Problemler	12
1.3.3.1.2. Harmonik Gerilimlerinin Neden Olduğu Problemler	13
1.3.4. Harmonik Çeşitleri	13
1.3.4.1. Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD)	13
1.3.4.2. Toplam Talep Bozulması (TTD)	14
1.3.4.3. Tekil Harmonik Bozulma (HB)	14
1.3.4.4. Ara Harmonikler	15
1.3.5. Tepe Faktörü	15
1.3.6. K Faktörü	15
1.3.7. Harmonik Sınırlar	16
1.3.7.1. IEEE 519-1992 Standartı	16
1.4. Rms-Etkin Değer	18
1.4.1. Akım ve Gerilimin Etkin Değeri	18
1.5. Güç Çeşitleri	19
1.5.1. Görünür Güç (S)	19
1.5.2. Aktif Güç (P)	20
1.5.3. Reaktif Güç (Q)	21
1.5.3.1. Reaktif Gücün Bazı Özellikleri	22
1.5.3.2. Reaktif Güç Tüketicileri	22
1.5.4. Güç Faktörü	23
2. MATERYAL ve METOT	24
2.1. DeneySEL Ortam	24
2.2. Ölçüm Cihazı	25

2.3.	Deney Düzeneginin Şekli	26
3.	BULGULAR ve TARTIŞMA	28
3.1.	Gerilim ve Akım Etkin Değerleri (V_{rms} , I_{rms})	28
3.1.1.	Gerilimin Etkin Değeri (V_{rms}).....	28
3.1.2.	Akımın Etkin Değeri (I_{rms}).....	28
3.2.	Güç Ölçümleri	31
3.2.1.	Aktif Güç	31
3.2.2.	Reaktif Güç	31
3.3.	Güç Faktörü Ölçümü	31
3.4.	Harmonik Ölçümleri	36
3.4.1.	Akım Harmonikleri.....	36
3.4.2.	Gerilim Harmonikleri	42
4.	SONUÇ ve ÖNERİLER	46
	KAYNAKLAR	48
	ÖZGEÇMİŞ	52

SEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1.	Kısa süreli gerilim düşmesi grafiği (Apay, 2008).	6
Şekil 1.2.	Kısa süreli gerilim kesintisi grafiği (Apay, 2008).	7
Şekil 1.3.	Kısa süreli gerilim yükselmesi grafiği (Apay, 2008).	8
Şekil 1.4.	Frekansı 50 Hz Olan Bir Dalganın Harmoniklerinin Değişim diyagram	11
Şekil 1.5.	Endüktif Güç Üçgeni	19
Şekil 1.6.	1 Periyotluk Sinüsoidal Dalga	21
Şekil 2.1.	Şarj edilen bir otobüsün görüntüsü	24
Şekil 2.2.	Hioki 3196 güç kalitesi ölçüm cihazı	25
Şekil 2.3.	Akım klampı (a), sırasıyla gerilim kıskacı ve nötr kıskacı (b)	25
Şekil 2.4.	Akım klemplarının kablolarla bağlantısı	26
Şekil 2.5.	Üç faz gerilim baralarına kıskaç bağlantısı (a), nötr barasına kıskaç bağlantısı (b).....	27
Şekil 2.6.	Ölçüm cihazının sistemle entegrasyonu	27
Şekil 3.1.	Üç faz için gerilimin ortalama rms değerleri grafiği	29
Şekil 3.2.	Üç faz için akımın ortalama rms değerleri grafiği	30
Şekil 3.3.	Üç faz için aktif gücün ortalama değerleri grafiği	33
Şekil 3.4.	Üç faz için reaktif gücün ortalama değerleri grafiği.....	34
Şekil 3.5.	Üç faz için ortalama güç faktörü değerleri grafiği.....	35
Şekil 3.6.	Akım harmoniklerine dair ölçüm cihazı ekranının anlık görüntüsü	36
Şekil 3.7.	A Fazına ait akım harmonik yüzde değerlerinin 10 günlük dağılımı	39
Şekil 3.8.	A fazına ait ilgili harmoniklerin günlük ortalamalarının verilmesi	40
Şekil 3.9.	Üç faz için herhangi bir güne ait I_{THD} grafiği	41
Şekil 3.10.	Gerilim harmoniklerine dair ölçüm cihazı ekranının anlık görüntüsü	42
Şekil 3.11.	A fazına ait gerilim harmonik değerlerinin günlük ortalamalarının grafiği.....	43
Şekil 3.12.	Üç faz için gerilimin 3.harmonik değerlerinin her 10 dakikada alınmış verilerinin 10 günlük kümülatif grafiği	44
Şekil 3.13.	Üç faz için herhangi bir güne ait U_{THD} grafiği	45

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1. Temel frekansın tam kat değerleri.....	11
Tablo 1.2. IEEE 519-1992 Gerilim Harmonik Sınır Değerleri	17
Tablo 1.3. Gerilim Harmonikleri Sınır Değerleri	17
Tablo 1.4. Akım harmonikleri sınır değerleri.....	18
Tablo 3.1. A Fazına ait akım harmonikleri yüzde değerlerinin 10 günlük dağılımı	37



KISALTMALAR LİSTESİ

EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
Harm	: Harmonik Derece
IEC	: Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
IEEE	: Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
THD	: Total Harmonic Distortion
TTB	: Toplam Talep Bozulma
UL	: Underwriters Laboratories
TTB	: Tekil Harmonik Bozulma

1. GİRİŞ

Gelişen sanayi ve endüstride enerji tüketimi artmaktadır. Artan bu ihtiyaç çeşitli kaynaklar kullanılarak elektriğe dönüştürülmektedir.

Günümüzde yenilenebilir enerji üretim sistemlerine yönelim son derece fazladır. Ulaşımında fosil yakıtlar yerine çevreyi kirletmeyen yenilenebilir enerji sistemlerine bir örnek olan elektrikli araçların kullanılması son yıllarda hızlı bir artış göstermektedir.

Ülke nüfusunun %91'inin şehirlerde yaşadığı düşünülürse toplu taşımadaki fosil yakıtlardan çevreyi kirletmeyen atıksız elektrik kullanımına geçilmesi, gelecek nesillere temiz bir çevre bırakılmasına katkıda bulunacaktır. Ancak elektrikle çalışan bu araçların gün içinde seferlerini aksatmamasına, düzenli işlerliğini sağlayacak şarj istasyonlarını kurarken kaliteli enerjinin önemi ortaya çıkmaktadır. Gelişen bu teknolojilerle beraber elektrik enerjisine olan talep sürekli artmaktadır. Bu artış, güvenilir ve kaliteli elektrik enerjisinin önemini arttırmaktadır (Kocatepe ve ark., 2005).

Elektrik üretimi ne kadar önemliyse tüketicinin sistemini kaliteli enerjiyle beslemesi o kadar önem taşımaktadır. Çünkü sinüsoidal olmayan dalga formunda akımın ve gerilimin oluşturacağı temel frekansın tam katları şeklindeki frekanslar, bozucu etkiye sahiptirler ve bunlar akım ve gerilim harmonikleri olarak adlandırılırlar. Aynı şekilde elektrik tesisindeki nonlineer yükler sonucunda da bozucu etki olan harmonikler görülmektedir. Bu harmonikler sistemin tam kapasitede çalışmasına engel olmakta ve sistemde birçok probleme yol açmaktadır (Yıldırım, 2015).

Eskişehir ilinin şehir merkezi yeraltı besleme hatlarındaki güç kalitesi durumunu belirlemek amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında yer altındaki 6,3 kV'luk şehir besleme hatlarına 10N 1650 güç kalitesi analizörü bağlanarak veriler elde edilmiştir. Bu veriler kapsamında akımın ve gerilimin yüzde harmonik değerleri, gerilim düşme ve yükselmeleri, güç faktörü değişimleri incelenmiştir (Aykut, 2008).

Konya ilinde 2009 yılında organize sanayi bölgesindeki birçok fabrikanın aynı anda güç kalitesi yönünden incelenmesi tek fazlı güç kalitesi analizörü Analyst 2060 ve üç fazlı güç kalitesi ölçüm cihazı Rudolf Pak 5 ile yapılmıştır. Farklı manevra merkezlerinde, döküm fabrikasında, tekstil fabrikasında, gıda fabrikasında detaylı ölçümler yapılmıştır. Şebekedeki trafoların farklı bağlantı şekillerine göre harmonik analizleri yapılmıştır.

Fabrikaların devreye girip çıkmaları durumunda birbirlerini harmonikler yönünden etkiledikleri inceleme sonuçlarındandır (Eroğlu, 2009).

Bir taş kırma tesisi güç kalitesi seviyesinin ölçümü ve değerlendirilmesi yönünden incelenmiştir. Ölçümler tesisin 800 kVA'lık indirici trafosunun alçak gerilim baralarında yapılmıştır. Ölçümler Htitalia Skylab 9032 güç kalitesi analizörü ile yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucunda 5. harmonik akımı 3 nolu fazda %8,11 gibi bir değere ulaşmış bu da sınır değer olan %4'ün üzerinde çıkmıştır. Gerilimin 5. harmonik değeri %4,56 ve bu değer sınır değer olan %6'nın altında dolayısıyla gerilim harmonikleri sınır değerlerin altında çıkmıştır (Şekkeli ve Yılmaz, 2009).

Afyon Alkaloidleri Fabrikasında güç kalitesi analizi bakımından bir çalışma yapılmıştır. İlk etapta endüktif sınırların aşılması sebebiyle kompanzasyon sisteminin revizyonu yapılmış ve güç kontrol rölesi üst modelle değiştirilmiştir. Ölçümler Chauvin Arnoux marka C.A 8332B model güç kalitesi analizörüyle yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde Trafo-2'den beslenen hatlardaki gerilim harmoniklerinin %9,7 ile %14,1 arasında, akım harmoniklerinin %34,1 ile %45,2 aralığında değiştiği ve bu değerlerin sınır değerlerin çok üstünde olduğu görülmektedir (Tuğcu, 2013).

Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi dağıtım sistemi, veri madenciliği yöntemi kullanılarak sistemin güç kalitesi yönünden incelenmesi yapılmıştır. Alınan ölçümler hafta içi, hafta sonu, gece ve gündüz gibi farklı zaman dilimlerine ayrılarak elde edilen sonuçlarında harmonik akımlarının IEC 519-1992 standartına göre %5 olması gerekirken %10 ile %12 aralığında olduğu görülmektedir. Ayrıca çalışmadan elde edilen verilere göre 7. harmonik %11 ve 3. harmonik %10 olarak saptanmış ve bu değerler sınır değerlerin üzerinde çıkmıştır (Tümen, 2013).

Kahramanmaraş Göksu Edaş kök hücresinde güç kalitesi analizi yapılması amacıyla ölçümler alınmış. Bu ölçümlerin yapılabilmesi için PQA824 güç kalitesi analizörü kullanılmıştır. Kök hücresinde farklı noktalarda ayrı ayrı ölçümler alınıp akım, gerilim ve harmonik seviyeleri değerlendirilmiştir (Özalp, 2011).

Bu tez çalışmasında elektrikli toplu taşıma araçlarının şarj istasyonlarını besleyen şalt tesisinin güç kalitesi incelenecektir. Ele alınacak tesisin elektrik karakteristiğini ortaya koyacak olan ölçümler sonucunda alınacak verilerin analizi enerji kalitesinde oluşması muhtemel problemlere gerekli önlemlerin alınmasıyla; tesisteki çeşitli şalt malzemelerinin korunmasını ve dolayısıyla ülke ekonomisinin korunmasına, araçların bakım onarım

maliyetinin azaltılmasına ve ulaşımın kesintisiz devam etmesine, egzoz gazı sebebiyle şehirlerdeki hava kirliliğinin azalmasına katkıda bulunacaktır.

Bu kapsamda incelenen tesiste, yük olarak sadece şarj ünitelerini besleyen panoya kurulan Hioki marka 3196 model ölçüm cihazıyla sistem yükteyken şarj ünitelerinde bulunan güç elektroniği elemanlarının sebep olduğu akım harmonikleri, gerilim harmonikleri, akım rms değerleri, gerilim rms değerleri, akım ve gerilim için toplam harmonik değerleri, aktif güç, reaktif güç, görünür güç değerleri ve güç faktörü değerleri için alınan veriler değerlendirilip ilgili uluslararası standartlar kapsamında yorumlanacaktır.

1.1. Güç Kalitesi

1.1.1. Güç Kalitesi Tanımına Dair Bazı Yaklaşımlar

Elektrik enerjisinin üretimden tüketimine kadar olan tüm evrelerde (iletim ve dağıtım dahil) elektrik enerjisinin varlığının sürekliliği, frekansın ve gerilimlerin anma değerlerinde sabit ve gerilim/akım dalga şekillerinin saf sinüs dalga şekilleri olması güç kalitesi probleminin olmadığı durumun kabaca bir tanımıdır (URL-1, 2018). Güç kalitesinden kasıt genel manada gerilim kalitesidir.

Gerilimin frekansı, genliği, dalga şekli ve üç faz simetrisi açısından kabul edilebilir değişim sınırları içerisinde kesintisiz ve kaliteli bir şekilde karşılayabilme kapasitesidir (URL-2, 2018).

Güç kalitesi; frekans ve genlik olarak sabit, saf sinüsoidal şekilde bir uygulama gerilimi anlamına gelmektedir (URL-3, 2018). Bir elektrik tesisindeki akım ve gerilimin frekanslarının, genliklerinin ve dalga şekillerinin ortaya konulmasıdır. Güç kalitesi olaylarının orijini akım ve gerilimin dalga şekillerinin saf sinüs halinden uzaklaşmamasının istenmesi olarak görülebilir. Ayrıca frekans ve genlikte oluşan süreli ve süresiz değişimler güç kalitesi olarak da gösterilebilir (Şekkeli ve Yılmaz, 2009).

Gerilim, akım ve frekanstaki herhangi bir değişim ile tespit edilen problemin, kullanıcı sisteminde bir arıza veya istenmeyen bir çalışma şekli oluşturmamasıdır. Güç kalitesi genel manada gerilimle ilişkilendirilmekte, gerilimle alakalı olan; gerilim genliği düşmesi, gerilim genliği yükselmesi, fliker (gerilim kırışması), gerilim darbeleri, harmonikler gibi olaylar güç kalitesini etkilemektedir. Harmoniklerde ise gerilimdeki

harmoniklerin yanı sıra akımdaki harmoniklerinde var olması sebebiyle akım değerleri de gözönünde bulundurulmalıdır.

Saf sinüs formunda akım ve gerilim elde edebilmek amacıyla;

- Elektriğin kesintiler olmadan verilmesi
- Güç faktörünün 1'e yakınlığı,
- Faz gerilimlerinin dengeli olması,
- Frekans ve gerilim genliklerinin sabitliği,
- Harmonik miktarlarının ulusal ve uluslararası standartların belirlediği sınır

değerlerde tutulması sağlanmalıdır (Koyuncu, 2012).

Enerji kalitesinin belirlenmesinde akım, gerilim ve frekansın aşağıda sıralanmış parametrelerinin uluslararası standartlara uygun olup olmadığına bakılmaktadır. Bu parametreler aşağıda sıralandığı gibidir;

- ✓ Akım-Gerilim Harmonikleri
- ✓ Gerilim düşmesi ve yükselmesi (Sags & Swells)
- ✓ Transient
- ✓ Kırpışmalar (Flicker)
- ✓ Nötr-Toprak arası potansiyel farkı
- ✓ Fazlar arası akım ve gerilim dengesizliği
- ✓ Frekans değişimi
- ✓ K faktörü (Şahin ve ark., 2014).

Güç kalitesi problemlerini oluşturan sebepler;

- Büyük yüklerin devreye girmeleri ve çıkmaları.
- İletim hatlarında oluşan devre elemanları arızaları, iletim hattı kopmaları, iletim hattına isabet eden yıldırımlar
- Trafoların yanlış kademe ayarında çalıştırılması
- Şebekeden harmonikli akımın çekilmesine sebep olan nonlineer yükler.
- Şebekelerde meydana gelen kısadevrelerin otomatik sigortaların ani açmalara sebep olması (Mutlu, 2018).

Motorla çalışan sistemlerin hız kontrolleri yarı iletken parçalar bulunduran cihazlarla yapılır. Bu cihazlar yapısında bulunan yarı iletken devre elemanları sebebiyle harmonikleri oluştururlar. Cihazlar bozucu etki yaratmakla kalmayıp bu bozucu etkilerden en çok kendileri zarar görmektedir. Sistemden çekilen akım, sistemin empedansı ile

değişir, gerilimin genliği temel frekansta olduğu gibi sabit kalmaz ve saf sinüs dalga şeklinde olmayan gerilim oluşur (Mutlu, 2018).

Bir tesisatta yük olarak bilgisayar fazlaysa bu durumda sistemde 3., 5. ve 7. gerilim harmonikleri gözlenebilmektedir. Bunun sebebi ise bilgisayarı besleyen anahtarlanmış güç beslemeleridir. Bu güç beslemeleri birer alternatif akım veya doğru akım elektrik dönüştürücüsü olduklarından yani güç elektroniği elemanlarını içlerinde bulundurmalarından dolayı kaynaklanmaktadır (Mutlu, 2018).

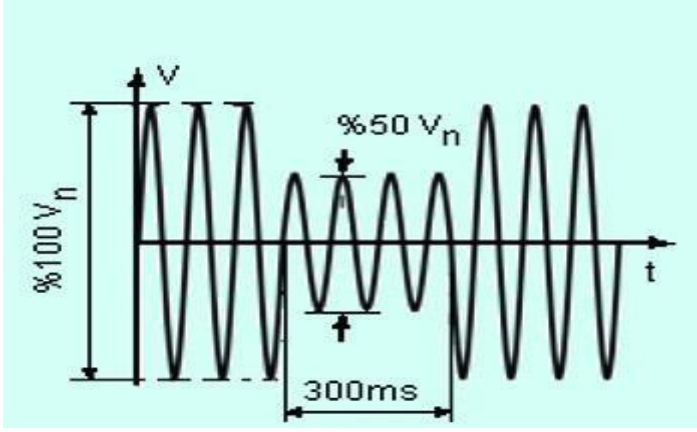
1.2. Gerilim Kalitesi Problemleri

İdeal bir alternatif akım güç sisteminde elektrik enerjisinin üretilmesi, iletilmesi ve dağıtılması belirli gerilim seviyelerinde, tek ve sabit frekansta yapılır. Bu durum akım ve gerilimin dalga şeklinin üretici tarafında tam bir sinüsoidal dalga formunda olduğunu gösterir. Bu tür sistemde gerilim ve akım tam bir sinüs şeklindedir. Ancak uygulamada bu şartları tamamıyla yerine getirmek olanak dahilinde değildir. Güç kalitesi akım ve gerilim dalga formunun frekansını, genliğini ve faz miktarını esas almaktadır (Tabak ve Yalçın, 2004).

1.2.1. Gerilim Düşmesi

Gerilimin efektif değerinin 0,5 periyot (10 ms) ile 1 dakika zaman aralığında normal şebeke frekansında 0,1 ile 0,9 arasına düşmesidir. Yani kararlı gerilimin kısa süreliğine düşmesine denmektedir. Yüzde 10-20 arasında olabilecek bu tür düşümlerin duyarlı yükler üzerinde küçük etkileri olabilir. Ancak bu düşüm değeri, yüzde 50'lerden büyükse, etkisi de çok ağır olacaktır (URL-4, 2018).

Gerilim düşmesine sebep olarak; kısa devre veya büyük yüklerin anahtarlanması (motor yol verme, vb.), şebeke yetersizliği, aşırı yükleme ve kısa devreler gösterilebilir (URL-5, 2018).



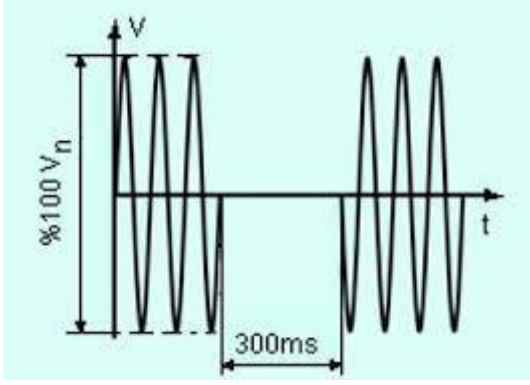
Şekil 1.1. Kısa süreli gerilim düşmesi grafiği (Apay, 2008).

Sonuç olarak; Prosesin kesilmesi veya kapanması, veri kaybı, yanlış veri, kontaktörlerin açılması, tahriklerin kilitlenmesi, motorların yavaşlaması veya durması, gaz deşarjlı ampullerin sönmesi gösterilebilir.

Çözüm önerisi olarak; UPS, gerçek zaman reaktif dengeleyici, dinamik elektronik gerilim regülatörü, yumuşak yol verme, seri elektronik güçlendirici, kısa devre gücünü artırma, koruyucu cihazların seçiciliğini değiştirme gösterilebilir.

1.2.2. Gerilim Kesintisi

En az yarım dalga boyu süresince gerilimin sıfır değerini alması olayına denir. Örneğin, 50 Hz frekanslı Türkiye dağıtım şebekesi için bir periyod 20 ms olduğuna göre 10 ms'den büyük kesintiler bu kapsama girmektedir. Gerilim kesintisi, besleme kaynağının terminallerindeki gerilimin sıfıra çok yakın olması durumudur. Gerilim kesintileri en çok tetiklemeli koruma cihazlarından kaynaklanır. Diğer başlıca sebepleri: herhangi bir hata olmaması durumunda koruma cihazlarının devreye girmesi, zarar görmüş iletkenler ve operatörlerin müdahalesidir. Gerilim kesintileri, genel olarak önceden ayarlanmış ve kaza durumları olarak ikiye ayrılabilir. Operatörler tarafından kontrol edilen önceden ayarlanmış kesintiler kullanıcılara tedbir alma imkânı tanır. IEC, 3 dakikadan fazla süren kesintileri uzun süreli kesinti, 3 dakikadan daha kısa süren kesintileri kısa süreli kesintiler olarak isimlendirmektedir. IEEE ise anlık, geçici ve sürekli kesintiler olarak sınıflandırmaktadır (Apay, 2008).



Şekil 1.2. Kısa süreli gerilim kesintisi grafiği (Apay, 2008).

Sebeup olarak; Kısa devre, yıldırım düşmesi, aşırı yük, bakım, doğal nedenlerle istem dışı açılma.

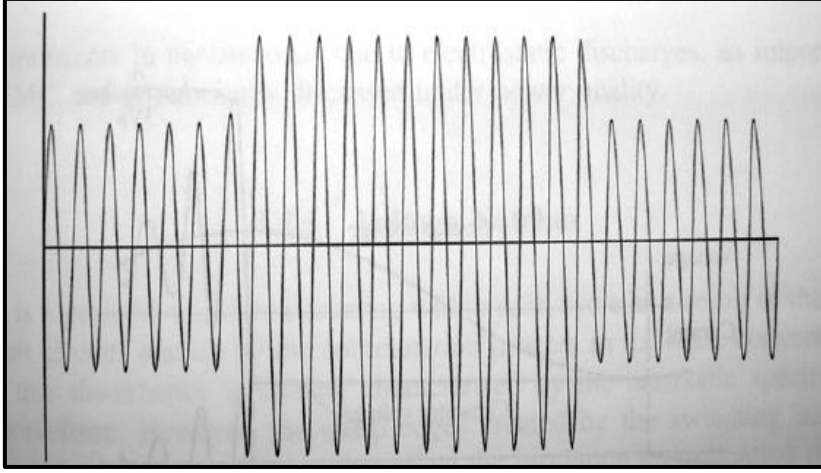
Sonuç olarak; Prosesin kesilmesi veya kapanması, veri kaybı, yanlış veri, kontaktörlerin açılması, tahriklerin kilitlenmesi, motorların yavaşlaması veya durması, gaz deşarjlı ampullerin sönmesi gösterilebilir.

Çözüm olarak; UPS, mekanik kaynak transferi, statik transfer anahtarı, sıfır zaman seti, şönt devre kesici, uzaktan kumanda (Erginöz ve Pehlivan, 2015).

1.2.3. Gerilim Yükselmesi

Gerilimin efektif değerinin 10 ms ile 1 dakika zaman aralığı normal şebeke frekansında 1,1-1,8 pu değerine çıkmasıdır. 3 fazlı sistemlerde meydana gelen kısa devreler, topraklama durumlarına bağlı olarak arızasız faz gerilimlerinin artmasına neden olmaktadır. Bu gerilim artışı şebeke türüne göre yüzde 30-70 arasında olabilir. Bu aşırı gerilimin süresi, sistem koruma durumuna bağlıdır ve yarım periyottan kısa sürede kesilebilir (URL-4, 2018).

Gerilim yükselmeleri gerilim düşmeleriyle aynı anda gerçekleşebilir. Bir gerilim yükselmesi, sistemdeki bir hat nötr hatasından kaynaklanan hatanın olmadığı hattaki ani gerilim artışlarıdır. Ayrıca şebekeden büyük çaplı bir yükü çıkarılması ya da büyük bir kapasitör ilave edilmesi de gerilim yükselmesine neden olabilir. Fakat bu tip olaylar gerilim büyüklüğünde daha uzun süreli değişiklikler meydana getirirler ve uzun süreli değişimler olarak sınıflandırılırlar.



Şekil 1.3. Kısa süreli gerilim yükselmesi grafiği (Apay, 2008).

Sebepler olarak; Bağlama donanımının ve kondansatörlerin çalışması, aydınlatma.

Sonuç olarak; Tahriklerin kilitlenmesi, istem dışı açılma, bağlama donanımının bozulması, yangın, çalışma kayıpları.

Çözüm olarak; Parafudr, yıldırım yönlendirici, ön ekleme rezistörü, şok bobinleri, statik otomatik dengeleyici.

1.2.4. Fliker (Kırpışma)

Fliker olayı, ışık uyarımları, ışığın parlaklığının zamana bağlı olarak ani bir biçimde artıp azalması gibi durumların neden olduğu görme hassasiyetindeki kararsızlık etkisi olarak nitelendirilebilir. Genel olarak evimizde kullandığımız aydınlatma elemanlarının parlaklıklarının, besleme gerilimindeki düşüm ve artımlara bağlı olarak değişmesi şeklinde karşımıza çıkabilir. Gerilimin periyodik olarak 6–7 tam dalga (8-9 Hz) süresince azalması yada artması olarak da adlandırılabilir. Bu gibi olayların oluşumunda rol oynayan en büyük etken ark fırınları gibi dalgalı aşırı yüke sahip sanayi tesisleridir (Apay, 2008).

İnsan gözü 8–20 Hz frekansına duyarlıdır ve bu frekans aralığındaki işaretlerden (kırpışmadan) rahatsız olmaktadır. Bu frekans aralığında insan gözünün kırpışmaya (fliker) en duyarlı olduğu frekans 8.8 Hz'dir. Bir dalganın frekansı 25 Hz den daha küçük frekanslara ayarlandığında bu dalga şeklinde gerilim kırpışmaları görülme olasılığı vardır. Bu değer (25 Hz) insan gözünün bir ampuldeki ışık şiddeti değişimini algılamaya başladığı

eşik değeridir. Frekans değeri daha da düştükçe gözün kırışmadan dolayı hissettiği rahatsızlık artar.

Fliker olayları gerilimin ani olarak düşüp yükselmesi sonucu oluşan semptomlardır. Bu ani düşümler ve yükselmeler elektrik enerjisinin üretilmesi, iletilmesi ve dağıtılması sırasında meydana gelen bozulmalardan kaynaklanmaktadır. Bu ani yükselmelerin ve düşümlerin en önemli sebebi şebekeye, aktif ve reaktif güç talebi çok ani değişen yüklerin bağlanmasıdır.

Fliker olaylarının iyi kavranabilmesi için bu olaylara sebebiyet veren ani gerilim düşüm ve yükselmelerinin nedenlerinin, etkilerinin ve ölçüm metodlarının incelenmesi gerekmektedir (Apak, 2008).

1.2.4.1. Gerilimin Dalgalanmasının Nedenleri

Ani gerilim değişimlerinin en önemli nedeni, enerji gereksinimi ani değişen yüklerin reaktif güç kısmının zamana bağlı olarak değişmesidir. Bu tip yüklere genel olarak, besleme kaynağına bağlantı noktasında, kısa devre kapasitesine göre güç değişim oranı yüksek olan yükler (ark fırınları, matkap gibi) örnek olarak gösterilebilir. Ayrıca indüksiyon motorlarının yol almasında, güç regülâtörlerinde, kaynak makinelerinde, kazanlarda, elektrikli testerelerde, asansör gibi cihazlarda kullanılan küçük güçlerde fliker olaylarına sebep olabilmektedir. Belli başlı diğer etkenler ise şunlardır: Kaynak empedansının endüktif kısmının değişmesine neden olabilen kapasitörlerin anahtarlanması, rüzgâr türbinleri gibi enerji kaynaklarının üretim kapasitelerinin değişmesi, düşük frekanslı harmoniklerin bozucu etkileridir (Apak, 2008).

1.2.4.2. Gerilimin Dalgalanmasının Etkileri

Güç sistemlerindeki ani gerilim artım ve düşümleri, büyük miktarda yatırımların yapıldığı üretim proseslerinin aksamaması gibi önemli etkilere neden olabilecek çok sayıda zararlı teknik arızalara neden olabilmektedirler. Fakat öte yandan, fliker olayının, üretim yapılan çevrenin ergonomisini etkilediği, çalışanlara aşırı yorgunluk hissi verdiği ve çalışanların konsantrasyon seviyelerini düşürdüğü için en önemli etkisi psikolojiktir (Apay, 2008).

1.3. Harmonikler

1.3.1. Harmoniklerin Tanımı

Harmonikler, şebeke frekansının tam katları frekanslara sahip sinüsoidal akım ve gerilimlerdir (Mack ve Santoso, 2001). Güç sistemlerindeki harmoniklerin büyüklüğü 1920’li yılların başlarında yalnızca trafolar, motorlar ve doğrultucular ile sınırlı olmasına karşın, gelişen teknolojiye paralel olarak, endüstride kullanılan güç elektroniği elemanlarının artmasıyla harmoniklerin büyüklüğünde de bir artış gözlemlenmiştir. Modern ve hassas yüklerin üretim süreçlerinde kullanılmasıyla, harmonikler daha ciddi bir problem ve bu alanda çalışmaların yoğunlaştığı önemli bir konu başlığı haline gelmiştir (Boyranoğlu ve ark., 2007).

İdeal güç sisteminde tüketiciye verilen gerilimin ve buna bağlı olarak da akımın mükemmel sinüs eğrisi formunda olması istenir (URL-4, 2018). Sinüs formunda ve sistem empedansı oranında genliğe sahip olması gereken bu akım dalga şeklinin kare olmasının nedeni içerdiği temel şebeke frekansı (50 Hz) dışında diğer sinüs formundaki akımlara harmonik denir. Harmonikler lineer olmayan yüklerin şebekeye bağlanması sonucu oluşurlar. Enerji dağıtım sistemlerinde sinüs formundaki bir gerilim kaynağı yarı iletken bir teknolojiye sahip bir sisteme uygulanırsa idealden uzaklaşmakta ve sinüs dalga şekli bozulmaktadır. Akım-gerilim karakteristiği doğrusal olmayan elemanlara nonlineer elemanlar denir. Harmonikli akım ve gerilimin güç sistemlerinde bulunması, sinüzoidal dalganın bozulması anlamına gelir. Bozulan dalgalar nonsinüzoidal dalga olarak adlandırılır (Eroğlu, 2009). Yarı iletken sistemin bozucu etkiye sahip yapısının vereceği cevap kare dalgadır. Harmonikler, şebekenin kendisi tarafından üretilmezler. Şebekeye bağlanan yükler tarafından üretilirler (Hatay, 2010).

Harmoniklerin frekansları;

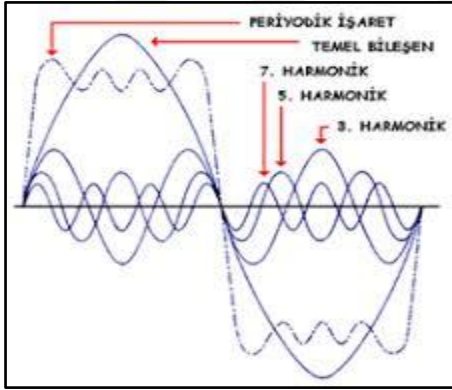
$$\text{Temel Frekans (50 Hz)} \times \text{Harmonik Derecesi}$$

olarak tanımlanır.

Tablo 1.1. Temel frekansın tam kat değerleri

Harmonik Derece	Frekans
1	50 Hz
3	150 Hz
5	250 Hz
7	350 Hz
9	450 Hz
11	550 Hz

Tablo 1.1’ de temel frekansın tam katları olan harmonik dereceler verilmiştir.



Şekil 1.4. Frekansı 50 Hz Olan Bir Dalganın Harmoniklerinin Değişim diyagramı (Efe, 2006).

1.3.2. Harmoniklerin Oluşmasına Neden Olan Etkenler

- ✓ Hız kontrol cihazları
- ✓ Bilgisayarlar
- ✓ Tristör kontrollü ekipmanlar
- ✓ Elektronik balastlı armatürler
- ✓ Transformatörler
- ✓ Motorlar
- ✓ Jeneratörler
- ✓ Elektrikli toplu taşıma sistemleri
- ✓ Kesintisiz güç kaynakları (UPS)
- ✓ Ark fırınları

- ✓ Kaynak makinaları
- ✓ Yüksek gerilim dc enerji iletimi
- ✓ Enerji tasarruflu lambalar
- ✓ Frekans dönüştürücüler
- ✓ Fotovoltaik sistemler
- ✓ Kontrollü güç kaynakları ve transformatörlerdir (Koyuncu, 2012).
- ✓ Kullanımı artan elektrikli araçların şarj edilmesini sağlayan cihazların oluşturduğu etkiler

1.3.3. Akım Harmonikleri ile Gerilim Harmonikleri Arasındaki İlişki

Harmonikler, akım harmonikleri şeklinde oluşur ve olumsuzlukların çoğu da bu akımların etkisi ile ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle enerji tesislerinde harmonikler söz konusu olduğunda akım harmonikleri anlaşılmaktadır (Chapman, 2001). Harmonik içeren bir akım, yüksek bir empedans yolunda veya rezonans devresinde akarsa, gerilimde harmonik bileşenler içermeye başlar. Bu dolaylı bir etkidir. Güç sistemi herhangi bir sorun oluşturmada önemli miktarda harmonik akımı taşıyabilir. Bir sorunun ortaya çıkması için harmonikli akımın yüksek bir empedans yolunda veya iletişim devrelerinde akması gerekir. Güç sisteminde gerilim, harmonik bileşenler içerdiğinden bundan tüm yükler etkilenir. Harmonik içeren bir akım ise sadece harmonik akımı üreten bir yüke etki edebilir. Gerilimdeki harmoniklerin nedeni sistem empedansında akan harmonikli bir akım olduğundan, gerilim harmoniklerini önlemenin yolu, harmonik akımlarının akışını kontrol ederek gerilim harmoniklerine neden olabilecekleri yerlerden uzak tutmaktır (Chapman, 2001).

1.3.3.1. Harmoniklerin Yapmış Olduğu Etkiler

1.3.3.1.1. Harmonik Akımlarının Neden Olduğu Problemler

- ✓ Nötrlerin aşırı yüklenmesi
- ✓ Transformatörlerin aşırı ısınması
- ✓ Devre kesicilerde istenilmeyen açılma
- ✓ Güç faktörü düzeltme kapasitelerinde(kondansatörlerde) aşırı gerilim

- ✓ Gerilim bozulması
- ✓ Sıfır kesme gürültüsü
- ✓ Ölçüm cihazlarının hatalı ölçüm yapması
- ✓ Kondansatörlerin ve ilgili techizatların ömrünün kısılması ve kayıpların artması (Hatay, 2010).
- ✓ Güç faktörü düşer.

1.3.3.1.2. Harmonik Gerilimlerinin Neden Olduğu Problemler

- ✓ Kondansatörlerde aşırı ısınma
- ✓ Trafo ve jeneratörlerde aşırı ısınma
- ✓ Motorlarda aşırı ısınma
- ✓ İzolasyon sistemlerinde yalıtkan stresinin artması ve rezonans oluşumu ve yüksek gerilim delinmesi (Şahin ve ark., 2014).
- ✓ Jeneratör ve şebeke geriliminin bozulması
- ✓ Gerilim düşümlerinde artmaların olması
- ✓ Elektrik cihazlarının ömürlerinde kısaltmaların olması (Gökozan, 2011).

1.3.4. Harmonik Çeşitleri

1.3.4.1. Toplam Harmonik Distorsiyonu (THD)

Bir dalga formu içerisinde yer alan tüm harmonik bileşenlerin toplamını ifade eder (Gökozan, 2011).

Gerilim için;

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1}, \quad (1.1)$$

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots}}{V_1}, \quad (1.2)$$

$$THD_V = \frac{\sqrt{V^2 - V_1^2}}{V_1} \quad (1.3)$$

Akım için;

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1}, \quad (1.4)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}}{I_1}, \quad (1.5)$$

$$THD_I = \frac{\sqrt{I^2 - I_1^2}}{I_1} \quad (1.6)$$

THD, harmonik bileşenlerin efektif değerinin, temel bileşenin efektif değerine oranıyla hesaplanır ve genellikle yüzde olarak ifade edilir. Bu kavram harmonik içeren periyodik bir dalga biçiminin ideal sinüs dalgasından sapmasını ölçmek için kullanılır (Acarkan, 2006).

Türkiyede, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, gerilim ve akım toplam harmonik bozulmasının 50. harmoniğe kadar olan harmonik derecelerini dikkate almaktadır (Mutlu, 2018).

1.3.4.2. Toplam Talep Bozulması (TTD)

I_L yük tarafından, besleme sisteminin ortak bağlantı noktasından çekilen, temel frekanslı en yüksek akımdır. Hesaplama işleminin yapılacağı ana kadar 12 ay boyunca geçen süre zarfında yük tarafından talep edilen maksimum akımların ortalaması olarak hesaplanır (Arıkan, 2019).

$$TTD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}}{I_L} \quad (1.7)$$

I_L : En yüksek değerli temel bileşen akımı

1.3.4.3. Tekil Harmonik Bozulma (HB)

Toplam harmonik bozulmayı oluşturan her harmoniğin ayrı ayrı büyüklükleri de temel bileşene göre aşağıdaki formüllerle belirlenmektedir.

$$HB_V = \frac{V_h}{V_1} \quad HB_I = \frac{I_h}{I_1} \quad (1.8)$$

1.3.4.4. Ara Harmonikler

İki ardışık harmonik frekans arasında bulunan bir frekansa sahip elektrik sinyalinin spektral bileşeni ara harmonik olarak tanımlanır. Haberleşme sistemleri güç sistemlerine bağlanabilir. Haberleşme sistemlerinin harmonikler tarafından bozulmalarını önlemek için, kullanılan frekanslar genelde iki harmonik frekans arasındadır, başka bir deyişle ara harmonik frekanslardır.

Ara harmoniklerin oluşma nedenleri:

- Temel bileşenin veya harmonik bileşenlerin faz açısındaki değişimler neticesinde
- Güç faktörü düzeltmeleri ve anahtarlama güç kaynakları için kullanılan güç elektroniği devrelerinde besleme kaynağı frekansı ile anahtarlama frekanslarının farklı olması (Acarkan, 2006).

1.3.5. Tepe Faktörü

Nonsinüsoidal akım ve gerilimin tepe değerinin, temel bileşenin efektif değerine oranı olarak tanımlanır. Harmonik bileşenlerin en basit bir biçimde orataya konmasını sağlar (Yılmaz, 2006).

$$\text{Tepe Faktörü} = \frac{\text{Harmonikli Dalganın Tepe Değeri}}{\text{Temel Bileşenin Efektif Değeri}} \quad (1.9)$$

Tam bir sinüs dalga formunun tepe faktörü 1,414 tür (Yoldaş, 2011).

1.3.6. K Faktörü

Bir trafonun kendi gücü sınırları dahilinde çalışırken harmonikli akımlar sonucu transformatör gücündeki azalmayı K faktörü verir (İlaslaner, 2006). Elektrik tesislerinde nonlinear yük olmadığı ve bu durumlar için K faktörünün 1 olduğu kabul edilir (Şekerci ve Uzunluğu, 2019). Ancak sistemdeki nonlinear yüklerin oluşturdukları nonsinüsoidal akımlar sonucu oluşan harmonikler transformatör üzerinde harmonik bileşenli yüklenme oluşturmaktadır. Bu yüklenmeler sonucunda transformatör nominal güç değerinin altında çalışmaya başlar (Efe, 2006).

Aşağıda K faktörünün hesaplanmasını sağlayan formül verilmiştir.

$$K = \frac{\sum_{n=1} (n.I_n)^2}{\sum_{n=1} I_n^2} \quad (1.10)$$

Transformatörün gücündeki azalma miktarı D sembolü ile gösterilir ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$D = \frac{1,15}{1+0,15.K} \quad (1.11)$$

Harmonikli akımla yüklenmiş transformatörün en fazla vereceği güç miktarı S_H sembolü ile gösterilir ve bu değer aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$S_H = D.S_N \quad (1.12)$$

S_N : Transformatörün nominal güç değeri

Gücü 500 KVA ya kadar olan transformatörlerin güçlerindeki azalma miktarı bu yöntemle hesaplanmaktadır (Aykut, 2008).

İlgili Amerikan standart kuruluşu olan UL'ye göre K faktörü oranları 1, 4, 9, 13, 20, 30, 40, 50 dir (Aykut, 2008).

1.3.7. Harmonik Sınırlar

Elektrik sistemindeki gereksiz yüklenmelerin önüne geçmek için akım ve gerilimlerdeki harmonik değerlerin belirli seviyelerde kalması amacıyla sınır değerleri belirleyen ulusal ve uluslararası bazı standartlar oluşturulmuştur.

1.3.7.1. IEEE 519-1992 Standartı

Bu standart doğrusal olmayan yükleri barındırmakta olan sistemleri, kendisine göre oluşturduğu ideal limitlere yakın harmonik değerlerde tutmayı amaçlamaktadır.

IEEE 519-1992 standartına göre toplam harmonik bozulma üst sınırı olarak %5, tekil harmonik bozulma üst sınırı olarak ise %3 olarak aşağıdaki Tablo 1.2'de verilmiştir.

Tablo 1.2. IEEE 519-1992 Gerilim Harmonik Sınır Değerleri

Gerilim	Maksimum Tek Harmonik Bileşen (%)	Gerilim İçin Maksimum Toplam Harmonik Bozulma
69KV ve Altı	3.0	5.0
115KV-161KV	1.5	2.5
161KV Üstü	1.0	1.5

Türkiye’de, Enerji Piyasası Denetleme Kurumunca hazırlanan Elektrik Piyasası Dağıtım Sistemlerinde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkındaki yönetmeliğe göre aşağıdaki Tablo 1.3’de 1 KV ve altındaki yani alçak gerilimdeki harmonik mertebelerinin sınır değerleri verilmiştir.

Tablo 1.3. Gerilim Harmonikleri Sınır Değerleri

1 KV ve Altındaki Sistemler					
Tek Harmonikler				Çift Harmonikler	
3'ün Katı Olmayan Harmonikler		3 ve 3'ün Katı Olan Harmonikler			
h	%V _h	h	%V _h	h	%V _h
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.5	6...24	0,5
13	3	21	0.5		
17	2				
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				

IEEE (519-1992) standartına göre dağıtım sistemlerinin akım harmoniklerinin bozulma sınır değerleri Tablo 1.4’de verilmiştir.

Tablo 1.4. Akım harmonikleri sınır değerleri

I_{SC}/I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	THB
< 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

Ayrıca bu standarta göre çift harmonikler kendinden sonraki tek harmonik için tanımlanan sınır değerin %25'i ile sınırlandırılmıştır.

I_{SC} : Kısa devre akımı

I_L : Maksimum yük akımı

h : Harmonik derece

1.4. Rms-Etkin Değer

1.4.1. Akım ve Gerilimin Etkin Değeri

Rms (route mean square), gerilim kaynağının değeridir ya da denklem (1.13)'de gerilimin veya akımın bir periyotluk süre zarfında oluşan anlık genliklerinin(tepe değerlerinin) kareleri toplamının, elde edilmiş genlik sayısına bölünerek karekökü alındıktan sonra elde edilen değerdir (Mutlu ve ark,2016).

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_n^2}{n}} \quad (1.13)$$

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) d(t)} \quad (1.14)$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2 + \dots + I_n^2}{n}} \quad (1.15)$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) d(t)} \quad (1.16)$$

Etkin değer, doğru akımın ölçek kabul edilip, alternatif akımın yaptığı işi büyüklük olarak ortaya koymaktır (Yıldırım, 2015).

1.5. Güç Çeşitleri

Güç bir devredeki elektrik makinalarından transformatör ve motorların elektriği dönüştürmesidir. Bu dönüşüm transformatörlerde gerilimin ve akımın alçalıp yükselmesi olarak ve motorlarda ise hareket enerjisi olarak sonuçlanmaktadır. Transformatörlerin ve motorların uyarıtımı için gerekli olan fakat iş görmeyen kısma reaktif güç, motorlarda harekete ve bir direnç üzerinde ısıya dönüşen kısma da aktif güç denmektedir. Ayrıca bozulmuş akım kaynaklı devre empedansı üzerinde iş görmeyen ancak tesisatın tam kapasite çalışmasına engel olan güç ise distorsiyon gücüdür. Tüm bu üç gücün toplanmasıyla da görünür güç elde edilir.

1.5.1. Görünür Güç (S)

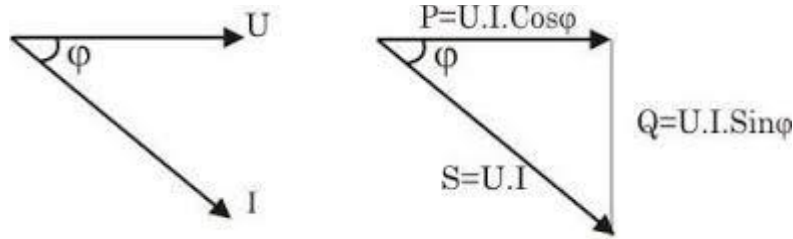
Aktif gücü dirençler, reaktif güçleri de endüktif ve kapasitif devreler çekmektedir. Eğer bir devrede hem direnç hem de reaktanslar varsa bu devrede hem aktif hem de reaktif güç birlikte çekilir. Böyle devrelerde güç, akım ile gerilimin çarpımına eşittir. Bu güce de görünen veya görünür güç denir.

$S = I \times U$ birimi Volt Amper (VA) dir.

$S = \text{Görünür güç (VA)}$

$U = \text{Gerilim (Volt)}$

$I = \text{Akım (Amper)}$



Şekil 1.5. Endüktif Güç Üçgeni

$$\text{Görünür güç; } S^2 = P^2 + Q^2 \quad (1.17)$$

Şayet elektrik sisteminde harmonik esaslı güç tüketimi mevcutsa bu durumda görünür güç

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2 \quad (1.18)$$

Şeklinde olacaktır. Burada S görünür güç, P aktif güç, Q reaktif güç, D distorsiyon gücüdür. Birimleri ise sırasıyla VA, W, VAr (volt amper reaktif) ve VAd (volt amper distorsiyon) dir (Kocatepe ve ark., 2005).

1.5.2. Aktif Güç (P)

Gücün her an değişik değer aldığı durumlarda iş gören, faydalı olan gücün ortalama değerine alternatif akımda güç denildiğinde kastedilen aktif güçtür. Birimi Watttır.

$$P=U \times I \times \cos \varphi \quad (1.19)$$

Aktif güç, U gerilim vektörü ile $I \cos \varphi$ akım vektörünün çarpımına eşittir. Akımın da iki vektörü olduğu gözönünde bulundurulmalıdır.

$$I_a = I \times \cos \varphi \text{ bileşenine faydalı akım}$$

$$I_r = I \times \sin \varphi \text{ ise reaktif iş yapmayan bileşendir.}$$

Omik(saf direnç) devrelerde $\cos \varphi = 1$ dir. Bunun sonucu olarak omik devrelerde aktif güç;

$$P=U \times I \text{ dir.} \quad (1.20)$$

İdeal endüktif ve kapasitif devrelerde $\cos \varphi = 0$ dir. Endüktif ve kapasitif devrelerde aktif güç $P=0$ 'dır.

Şayet gerilim ve akım nonsinüsoidal dalga formunda ya da yükler nonlineer olursa aktif güç

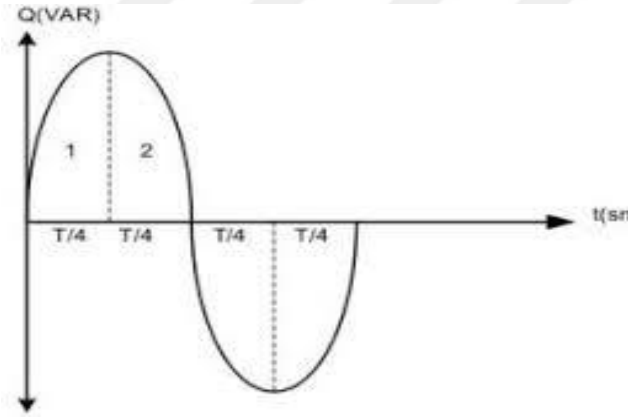
$$P = \sum_n I_n U_n \cos \varphi_n \quad (1.21)$$

şeklinde olur. Akımın, gerilimin ve akım ve gerilim arasındaki faz farkının cosinüsünün n. harmoniğe kadar olan tüm harmonik derecelerin çarpımlarının toplamı bize aktif gücü vermektedir (Işıklı, 2007).

1.5.3. Reaktif Güç (Q)

Devrede ortalama değeri sıfır olan güce reaktif güç denir. Ortalama sıfır olduğundan faydalı bir iş görmez (URL-6, 2018). Güç ifadesinde ‘Cos’ çarpanıyla gelen kısım aktif güç, ‘Sin’ çarpanıyla gelen kısım reaktif güçtür. Kondansatör ve endüktans elemanları reaktif güç oluştururlar. Kondansatörlerde plakalar arasında elektriksel alan olarak ve endüktanslarda ise sarımların etrafında manyetik alan olarak depolanan enerjiler, reaktif gücün çekilmesine neden olur (Hatay, 2010).

Reaktif güç, elektrikli aletlerde manyetik alan oluşturmak için gereklidir. Aktif güç; motorları sürmede, lambaları yakmada vs. kullanılırken; Reaktif güç bu aletlerdeki mıknatıslanma enerjisini elde etmek için kullanılmaktadır. IEEE’ye göre reaktif güç gerilim ile akımın faz dışı bileşeninin çarpımına eşittir. Pasif bir devrede reaktif güç, depo edilmiş (endüktif veya kapasitif elemanlar üzerinde) alternatif enerjinin alanlar arası değişimini göstermektedir. Alıcı; çeyrek periyotta sistemden enerji alırken ikinci çeyrek periyotta ise aldığı gücü tekrar şebekeye iade eder.



Şekil 1.6. 1 Periyotluk Sinüsoidal Dalga

Akım ve gerilim sinüs dalga şeklinde ve yük doğrusalsa reaktif güç aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

Birinci bölgede sistemden güç alınır. İkinci bölgede alınan güç sisteme iade edilir.

$$Q=U \times I \times \sin \phi \quad (1.22)$$

denklem 1.22’e reaktif güç denir.

Q ile gösterilir. Birimi VAr dır.(VAr: Volt-Amper-Reaktif)

Omik devrelerde $\varphi=0$ olduğundan $\sin \varphi =0$ dır. Bu devrelerde reaktif güç sıfırdır.

Yük nonlinear ya da akım ve gerilim nonsinüsoidal ise reaktif güç;

$$Q = \sum_n I_n U_n \sin \varphi_n \quad (1.23)$$

şeklindedir. Akımın, gerilimin ve akım ve gerilim arasındaki faz farkının sinüsünün n. harmoniğe kadar olan tüm harmonik derecelerin çarpımlarının toplamı bize reaktif gücü vermektedir (Işıklı, 2007).

1.5.3.1. Reaktif Gücün Bazı Özellikleri

- Reaktif güç, lineer bir paralel veya seri kondansatör ya da endüktans ile kompanze edilebilir.
- Reaktif ve aktif gücün geometrik toplamı görünür gücü verir.
- İletim hatlarında gerilim düşümünün temelinde endüktif etkinin yarattığı reaktif güç rol oynamaktadır (URL-6, 2018).

1.5.3.2. Reaktif Güç Tüketicileri

Manyetik veya statik alan ile çalışan bütün elektrikli araçlar şebekeden aktif güç ile beraber reaktif güç çeker. Reaktif güç çeken önemli bazı araçlar şunlardır;

- ✓ Düşük ikazlı senkron makinalar
- ✓ Asenkron makinalar
- ✓ Senkron makinalar
- ✓ Bobinler
- ✓ Transformatörler
- ✓ Redresörler
- ✓ Endüksiyon fırınları ve ark ocakları
- ✓ Kaynak makinaları
- ✓ Havai hatlar
- ✓ Floresan lamba balastları
- ✓ Sodyum buharlı lamba balastları

- ✓ Cıva buharlı lamba balastları
- ✓ Kondansatörler
- ✓ Reaktörler

1.5.4. Güç Faktörü

Akımın ve gerilimin sinüs dalga şeklinde ve tesisteki yüklerin doğrusal olması durumunda güç faktörü, $\cos\varphi$ değeridir.

$$\cos\varphi = \frac{\text{aktif güç}(W)}{\text{görünür güç}(VA)} \quad (1.24)$$

Ancak akım ve gerilim sinüs dalga formunda olduğu halde, tesisteki yüklerin doğrusal olmamasıyla harmonikler söz konusu olur devrede aktif ve reaktif güç ile birlikte harmonikli akımın oluşturacağı güçte çekileceğinden güç faktörü denklem (1.24) ve (1.26)'deki gibidir. Denklem (1.25)'de görüldüğü üzere temel frekanstaki akım değeri sabit, n. harmonikli akıma kadar kümülatif alınan harmonikli akımların daha büyük olacağı ve birbirlerine oranladığında güç faktörü değerinin doğrusal yük durumundaki güç faktörüne göre aşağıya çekileceği görülmektedir (Akyel, 2011).

$$PF = \frac{V \cdot I_1 \cdot \cos\varphi}{V \cdot \sqrt{\sum_{n=1}^N I_n^2}} \quad (1.25)$$

$$PF = \frac{I_1}{I} \cdot \cos\varphi \quad (1.26)$$

2. MATERYAL ve METOT

Bu tezde bir işletmeye ait enerji akışının izlenmesi ve analizi için bir yöntem sunulmuştur. Bu amaçla, Elazığ Belediyesine ait elektrikli otobüslerin şarj istasyonlarında enerji akışlarının izlenmesine yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

2.1. Deneysel Ortam

Elazığ Belediyesi müdürlüklerinden biri olan Ulaştırma Müdürlüğü, toplu taşıma hizmeti vermektedir. Bünyesinde çok sayıda fosil yakıtla çalışan otobüs bulundurmasıyla beraber, 15 adet %100 şarj edilebilir elektrikli toplu taşıma otobüsleri bulundurmaktadır. 18 metre uzunluğundaki otobüsler tam şarj halinde ortalama 300 km yol alabilmektedir.



Şekil 2.1. Şarj edilen bir otobüsün görüntüsü

2.2. Ölçüm Cihazı

Sistemin ölçülmesi için kullanılan güç kalitesi ölçüm cihazı olarak Hioki 3196 marka kullanılmıştır. Cihazla sistemdeki gerilim ve akım harmonikleri, güç bileşenleri, akım ve gerilimin etkin değerleri vs. elde edilecektir. Cihaz 1 adet nötr hattına bağlanmak üzere nötr kısıpacından, 3 adet faz baralarına bağlanmak üzere gerilim kısıpacından ve 3 adet 1000 ampere kadar ölçüm alabilen akım klaplarından oluşmaktadır.



Şekil 2.2. Hioki 3196 güç kalitesi ölçüm cihazı



(a)



(b)

Şekil 2.3. Akım klampı (a), sırasıyla gerilim kısıpacı ve nötr kısıpacı (b)

2.3. Deney Düzeneginin Şekli

Ölçüm düzeneği, şarj istasyonlarının pano odasında bulunan dağıtım panosu üzerinde kuruldu. Öncelikle akım klampları 12 nolu şarj ünitesini besleyen şaltere klamplar üzerinde okla gösterilmiş akım yönünde olmak şartıyla şalter giriş ve çıkışlarındaki kablolarla bağlandı.



Şekil 2.4. Akım klamplarının kablolarla bağlantısı

Gerilim bilgisi alınması için pano üzerindeki üç faz barasına, her faza gerilim kısıkaçları iş güvenliği ve insan sağlığının korunması için teknisyen tarafından elektrik kesildikten sonra kontrol edilerek bağlantılar yapıldı. Nötr barasına ise nötr kısıkaçı bağlandı.



(a)

(b)

Şekil 2.5. Üç faz gerilim baralarına kısaç bağlantısı (a), nötr barasına kısaç bağlantısı (b)

Akım klempları ve gerilim kısaçlarının pano üzerindeki bağlantısı yapıldıktan sonra uçlar cihaz üzerindeki bağlantı noktalarına takıldı. Cihaz ekranında akım, gerilim, harmonik verilerine dair test bilgileri alındıktan sonra ayarlamalar yapıp kayıt işlemi başlatıldı.



Şekil 2.6. Ölçüm cihazının sistemle entegrasyonu

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

Şarj istasyonuna ait ölçümler 10 gün süreyle yapılmıştır. Yükün(otobüs bataryalarının) aynı olması göz önüne alınarak her ölçümde farklı zamanlarda farklı veya aynı otobüslerden yalnızca 1 tanesine ait ölçüm sonuçları günlük olarak alınmıştır. Bu ölçümler; akım ve gerilimin etkin değerleri, güçler, güç faktörü ölçümleri ve harmoniklerdir.

3.1. Gerilim ve Akım Etkin Değerleri (Vrms, Irms)

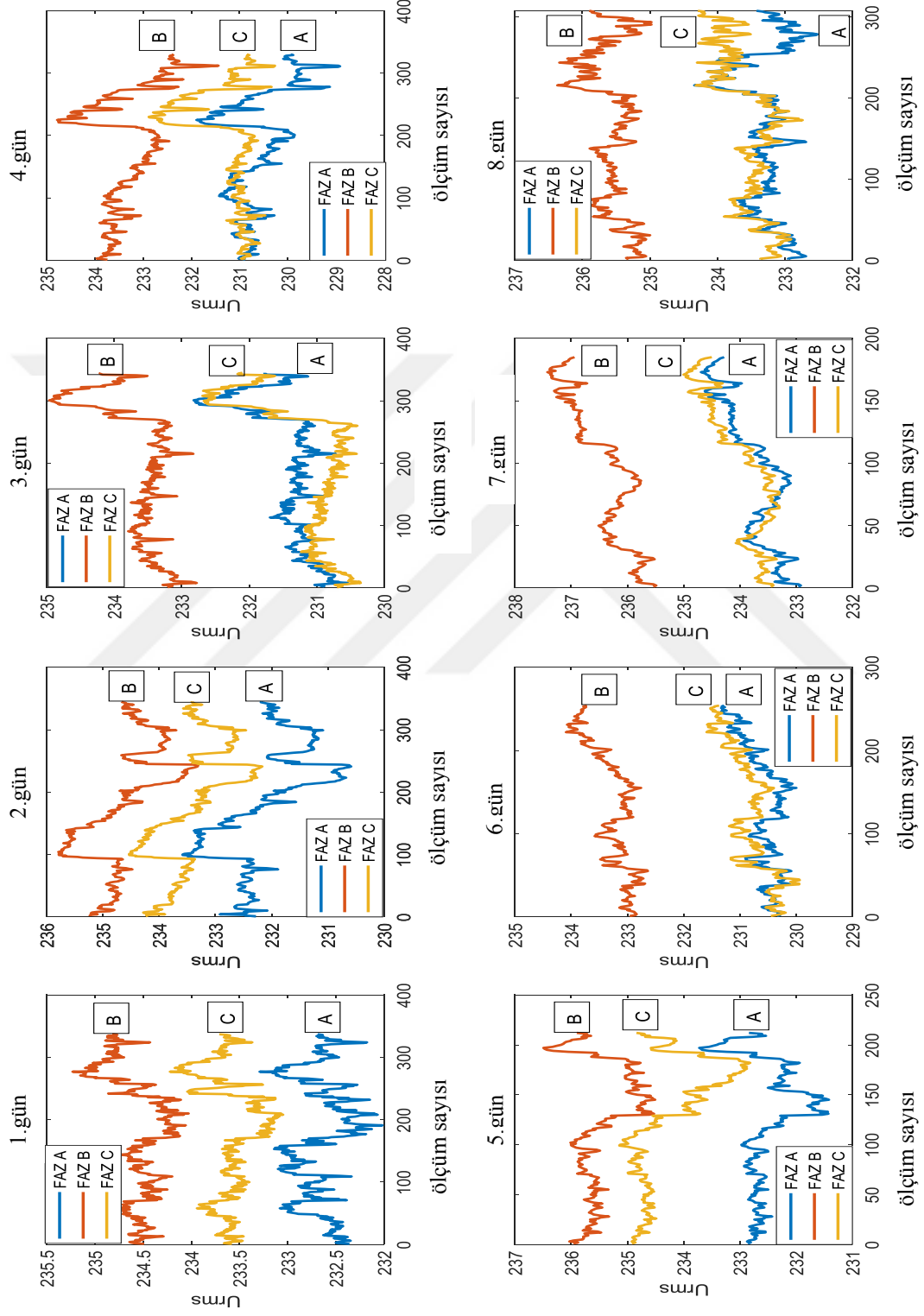
Bu bölümde ölçüm yapılan noktalardaki 3 faz akım ve gerilim etkin değerleri günlük 2,5 saatte her 30 saniyede ve 8 gün boyunca alınmış veriler sonucunda analiz edilmiştir. Bu analizlere ait çeşitli grafikler sunularak elde edilen değerler tartışılmıştır.

3.1.1. Gerilimin Etkin Değeri (Vrms)

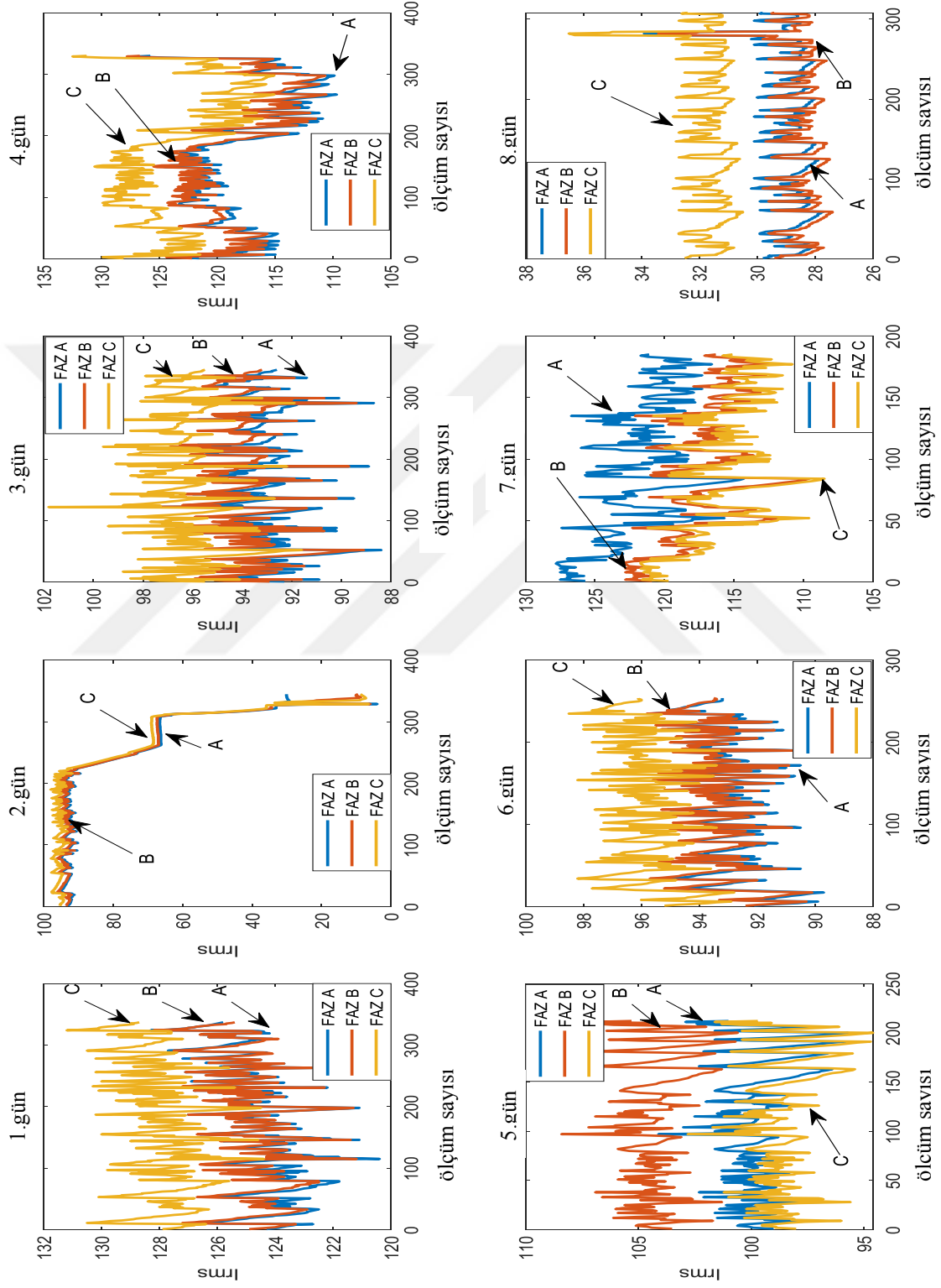
Gerilim etkin değerinin alçak gerilim için 230 volt gerilimin en fazla %10 fazlası ve eksiği sınır değer olarak belirlenmiştir. Aşağıda Şekil 3.1’de görüldüğü üzere gerilim etkin değerlerinin 237 volt seviyesine çıktığı ve belirlenen günlerden birinde 229 volt seviyesine düştüğü görülmektedir. Ancak tüm durumlarda gerilimin etkin değerinin sınır değerleri aşmadığı ve ideale yakın değerlerde olduğu görülmektedir.

3.1.2. Akımın Etkin Değeri (Irms)

Şekil 3.2’de görüldüğü üzere akımın etkin değeri farklılık göstermektedir. Çekilen en fazla akım miktarı faz başına 130 amper seviyelerine ulaşmıştır. Bazı anlarda çekilen akım miktarı kademeli olarak azalmaktadır. Bunun nedeni olarak şarj edilen otobüs üzerindeki bataryaların dengeleme moduna geçtikleri ve bu süreçte araç bataryalarının kendilerini birbirlerinin doluluk oranlarına göre doluma hazır hale getirdikleri dolayısıyla akım çekimini azalttıkları görülmektedir. Akım çekiminin sıfırlandığı anlarda ise bataryaların dolduğu anlardır.



Şekil 3.1. Üç faz için gerilimin ortalama rms değerleri grafiği



Şekil 3.2. Üç faz için akımın ortalama rms değerleri grafiği

3.2. Güç Ölçümleri

Bu bölümde ölçüm yapılan noktalardaki 3 faz için aktif, reaktif ve görünür güç değerleri günlük 2,5 saatte her 30 saniyede ve 8 gün boyunca alınmış veriler sonucunda analiz edilmiştir. Bu analizlere ait çeşitli grafikler sunularak elde edilen değerler tartışılmıştır.

3.2.1. Aktif Güç

Şekil 3.3’de aktif güce ait değerler verilmiştir. Görüldüğü üzere aktif güç 30 kilowatt seviyelerine kadar çıkmıştır. Genel manada yükün durumuna bağlı olarak çekilen akımın Şekil 3.2’ye bakıldığında farklılıklar gösterdiği dolayısıyla aktif güçteki farklılıklarında aynı doğrultuda olduğu görülmektedir. Yüklenme bakımından fazların dengeli yüklendikleri çekilen güçlerin değerlerinin birbirlerine yakınlığı ile görülmektedir.

3.2.2. Reaktif Güç

Şekil 3.4’de reaktif güce ait çekilen güç miktarı grafik olarak verilmiştir. 1, 3, 6. günlerde 6 ila 7 kvar arasında dengeli bir reaktif yüklenme görülmüyorken, diğer günlerde bataryaların hem doluluk boşluk oranlarına hem de bataryaların kendi aralarındaki güç dengelemesi moduna bağlı olarak çekilen reaktif güç artış azalış göstermektedir.

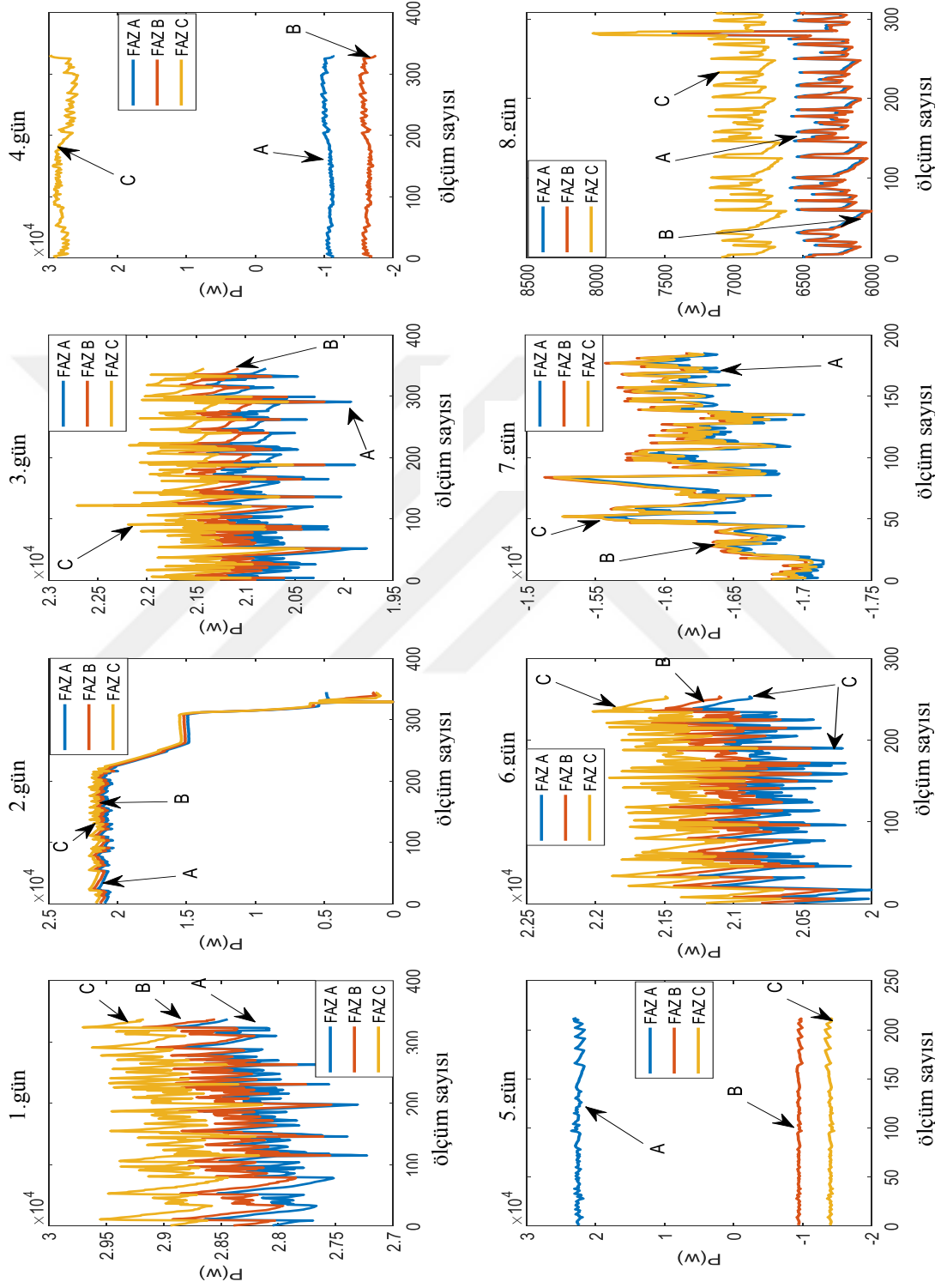
3.3. Güç Faktörü Ölçümü

Bu bölümde ölçüm yapılan noktalardaki 3 faz için aktif, reaktif ve görünür güç değerleri analiz edilmiştir. Bu analizlere ait çeşitli grafikler sunularak elde edilen değerler tartışılmıştır.

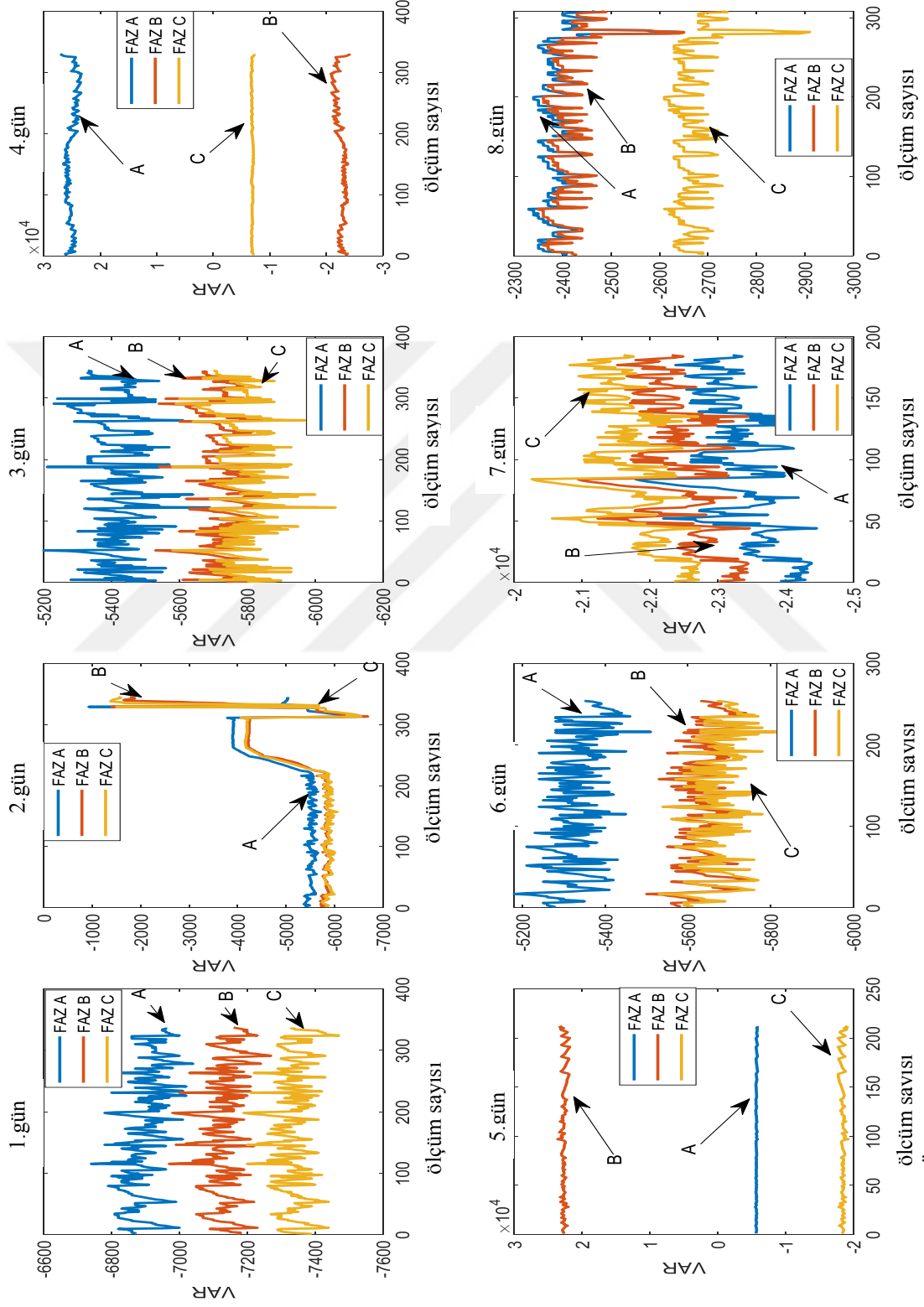
Güç faktörünün 1 olması durumunda kullanılan enerjinin tamamının aktif güç olarak tüketildiği, şayet 0 değerini alırsa tamamen reaktif güç olarak tüketildiği bilinir. Güç faktörünün 0,95 ile 1 arasında olması gerekmektedir. Aksi takdirde EPDK tarafından belirlenmiş olan değerlerin aşılması sonucu kullanıcının reaktif ceza ödemesi söz konusu olabilmektedir.

Şekil 3.5’de sistemin güç faktöründeki değişim verilmiştir. Ölçümler sonucunda sistemin 1, 3, 6, 8. günlerde her üç fazın da güç faktörünün kapasitif olduğu görülmektedir. 2. günde de üç faz için güç faktörünün kapasitif olduğu ve bataryaların yüklenmesinin bitmesiyle güç faktörünün de sıfır değere ulaştığı görülmektedir. 4 ve 5. günlerde her 3 fazda da farklı bir güç faktörü değeri görülmektedir. 7. günde güç faktörünün kapasitif değerde olduğu görülmektedir. Sistemin bu şekilde kapasitif güç faktörüne sahip olması ya yükte bulunan kapasitif özellikli yarı iletken güç elektroniği devre elemanları sebebiyle ya da kompanzasyon sisteminin sabit olarak sürekli kapasitif olmasından kaynaklanmaktadır.

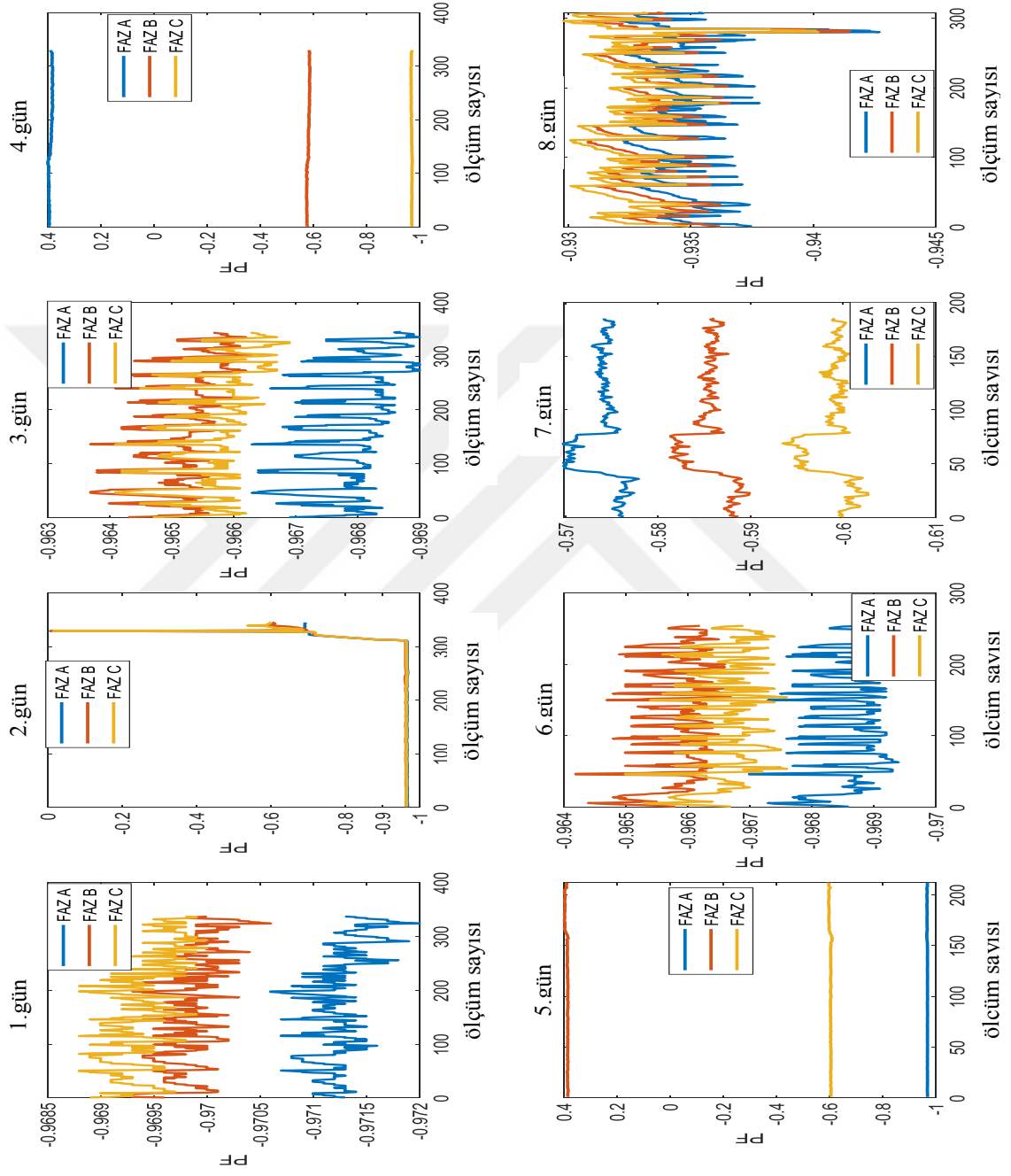




Şekil 3.3. Üç faz için aktif gücün ortalama değerleri grafiği



Şekil 3.4. Üç faz için reaktif gücün ortalama değerleri grafiği



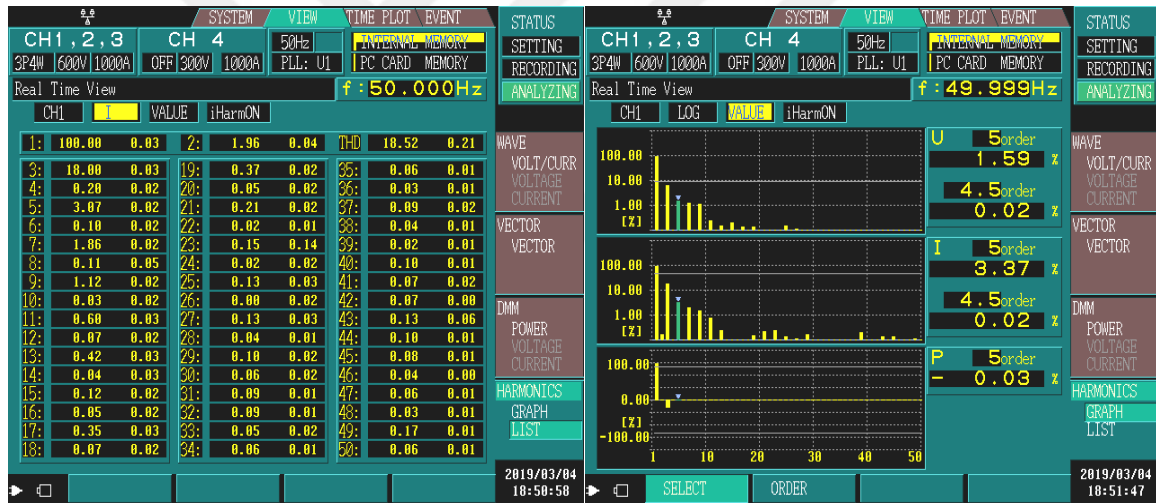
Şekil 3.5. Üç faz için ortalama güç faktörü değerleri grafiği

3.4. Harmonik Ölçümleri

Bu bölümde ölçüm yapılan noktalardaki 3 faz için akım ve gerilimin tekil harmonik bozulmaları, akım ve gerilimin toplam harmonik bozulma değerleri analiz edilmiştir. Bu analizlere ait çeşitli grafikler sunularak elde edilen değerler tartışılmıştır.

3.4.1. Akım Harmonikleri

Daha önce şarj ünitesini besleyen TMS (termik manyetik şalter)'nin çıkış 3 fazına bağlanan akım klemplarından ve her fazın barasına bağlanmış olan gerilim kısaçlarından alınan akım ve gerilim değerlerinin cihaza aktarılmasıyla oluşan A fazına ait akım harmoniklerinin cihaz ekranından alınan görüntüsü Şekil 3.6'da görülmektedir.



Şekil 3.6. Akım harmoniklerine dair ölçüm cihazı ekranının anlık görüntüsü

Deneyisel çalışmalarda, üç faza ait hem akım hem de gerilim harmonikleri izlenmiştir. Bu izleme süresi otobüs şarj olduğu süreden itibaren her 10 dakikada cihazdan elde edilen verilerle gerçekleşmiştir. Tablo 3.1'de, A fazına ait 01.02.2019 tarihinden 10.02.2019 tarihine kadar 10'ar dakikalık 3. akım harmoniklerinin yüzdelik değerlerinin değişimi gösterilmiştir. Her gün 6 ölçüm alınmış ve totalde 60 ölçüm sonucu elde edilmiştir.

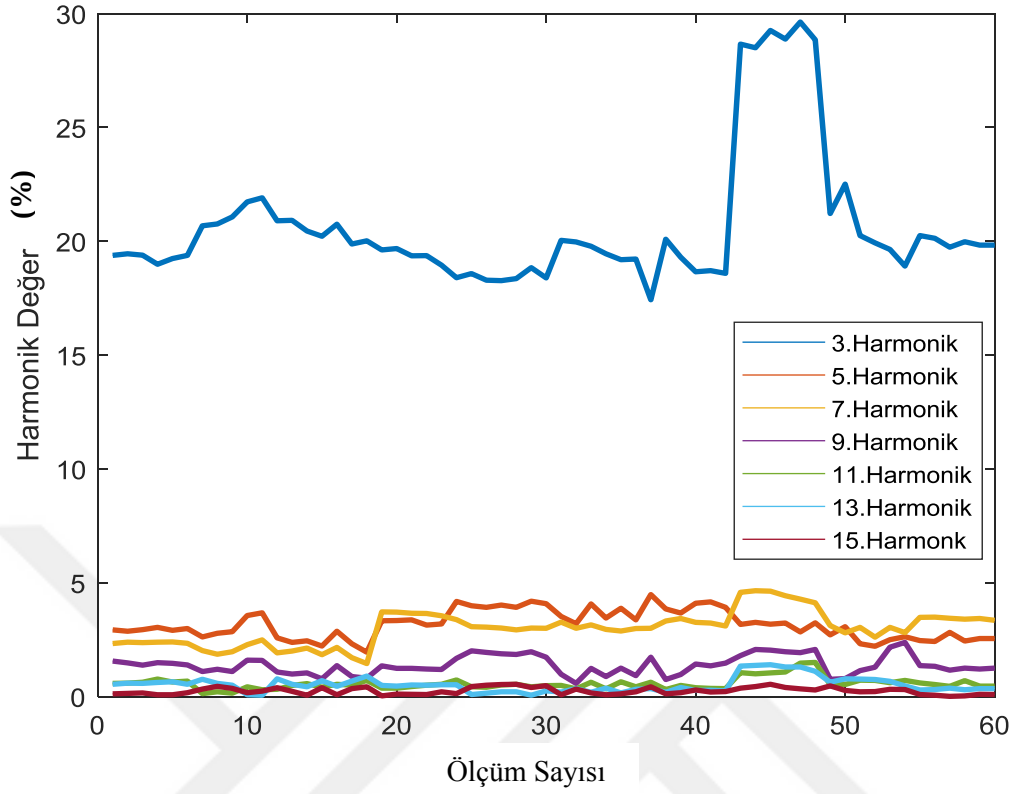
Tablo 3.1. A Fazına ait akım harmonikleri yüzde değerlerinin 10 günlük dağılımı

	3.Harm.	5.Harm.	7.Harm.	9.Harm.	11.Harm.	13.Harm.	15.Harm.
1	19,38	2,93	2,33	1,56	0,58	0,54	0,12
2	19,45	2,87	2,39	1,48	0,59	0,59	0,14
3	19,39	2,94	2,37	1,38	0,63	0,58	0,16
4	18,99	3,04	2,39	1,49	0,77	0,62	0,08
5	19,24	2,91	2,40	1,46	0,64	0,65	0,08
6	19,38	2,99	2,34	1,39	0,68	0,54	0,17
7	20,68	2,62	2,02	1,10	0,13	0,76	0,33
8	20,76	2,78	1,86	1,20	0,21	0,58	0,45
9	21,07	2,85	1,97	1,10	0,15	0,50	0,36
10	21,73	3,56	2,28	1,60	0,43	0,08	0,17
11	21,91	3,68	2,49	1,59	0,30	0,06	0,24
12	20,90	2,58	1,92	1,08	0,32	0,78	0,39
13	20,92	2,38	2,00	0,99	0,49	0,54	0,23
14	20,45	2,45	2,13	1,04	0,57	0,43	0,06
15	20,22	2,22	1,84	0,78	0,41	0,70	0,39
16	20,75	2,87	2,16	1,36	0,54	0,45	0,08
17	19,88	2,32	1,71	0,88	0,50	0,68	0,35
18	20,02	1,95	1,45	0,81	0,71	0,90	0,43
19	19,62	3,33	3,72	1,35	0,37	0,49	0,03
20	19,68	3,34	3,71	1,24	0,37	0,46	0,11
21	19,36	3,37	3,66	1,24	0,44	0,51	0,10
22	19,37	3,14	3,65	1,21	0,50	0,50	0,09
23	18,95	3,19	3,55	1,19	0,54	0,52	0,21
24	18,40	4,18	3,38	1,68	0,73	0,52	0,13
25	18,58	3,99	3,07	2,01	0,43	0,09	0,44
26	18,29	3,92	3,05	1,94	0,41	0,15	0,50
27	18,27	4,02	3,01	1,88	0,51	0,21	0,53
28	18,36	3,92	2,93	1,85	0,54	0,21	0,54
29	18,84	4,19	3,01	1,97	0,43	0,06	0,40
30	18,39	4,08	3,00	1,73	0,48	0,25	0,48
31	20,04	3,52	3,27	0,98	0,49	0,20	0,08
32	19,97	3,20	3,00	0,58	0,34	0,35	0,33
33	19,78	4,07	3,15	1,24	0,63	0,19	0,16
34	19,45	3,45	2,95	0,88	0,34	0,37	0,08
35	19,19	3,88	2,88	1,25	0,65	0,16	0,12
36	19,22	3,37	2,99	0,92	0,43	0,32	0,21
37	17,43	4,48	3,00	1,73	0,63	0,35	0,43
38	20,09	3,85	3,32	0,75	0,31	0,19	0,12
39	19,30	3,67	3,43	0,97	0,49	0,40	0,17
40	18,66	4,10	3,26	1,43	0,39	0,27	0,29
41	18,71	4,16	3,23	1,35	0,36	0,28	0,20
42	18,59	3,92	3,10	1,47	0,35	0,25	0,22

Tablo 3.1. A Fazına ait akım harmonikleri yüzdelerinin 10 Günlük Dağılımı'nın Devamı

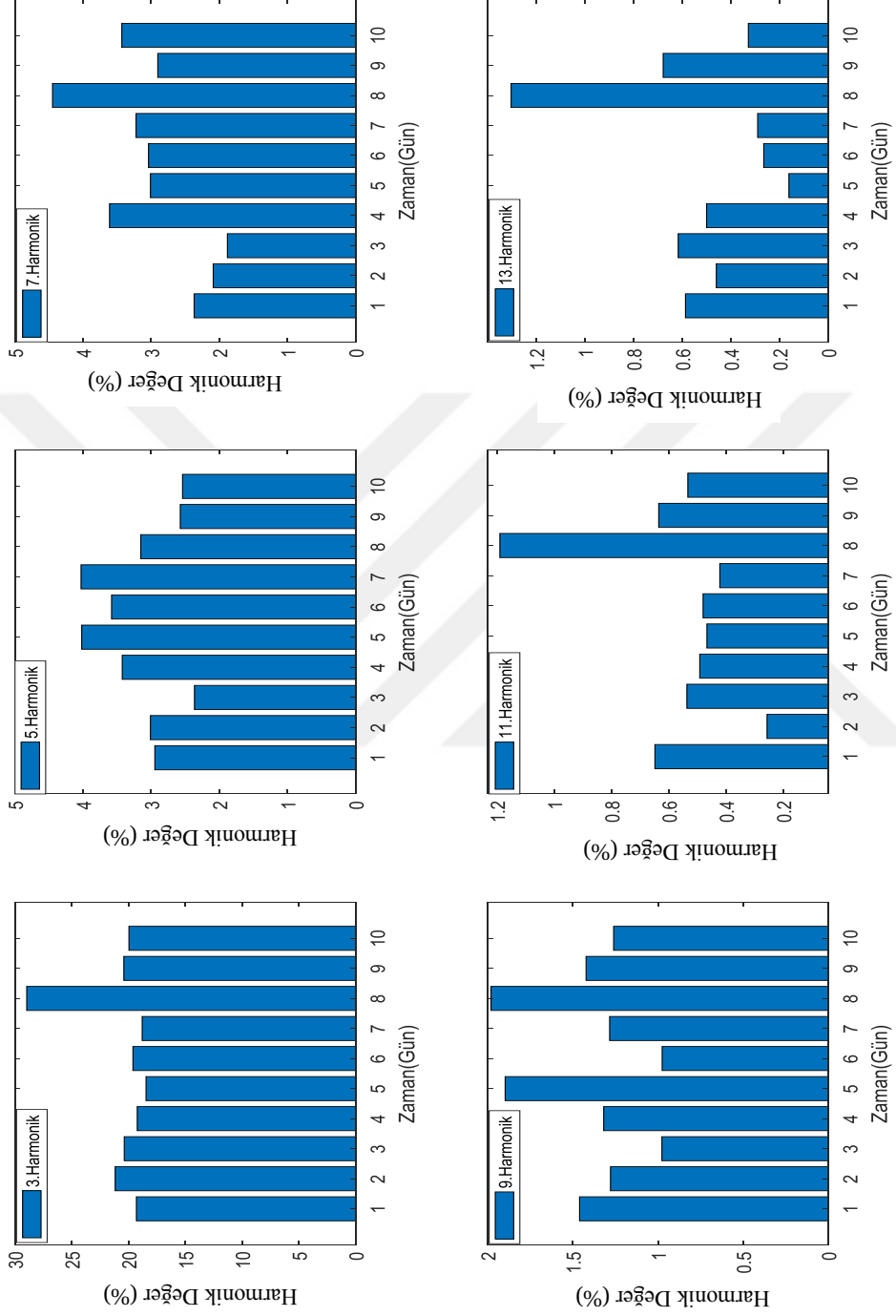
43	28,66	3,17	4,58	1,80	1,05	1,34	0,37
44	28,50	3,26	4,65	2,07	1,00	1,37	0,44
45	29,26	3,18	4,63	2,04	1,04	1,40	0,54
46	28,88	3,23	4,43	1,97	1,08	1,30	0,40
47	29,63	2,84	4,28	1,93	1,47	1,30	0,34
48	28,85	3,24	4,12	2,07	1,50	1,11	0,29
49	21,22	2,71	3,12	0,76	0,53	0,63	0,47
50	22,51	3,07	2,80	0,79	0,53	0,78	0,27
51	20,25	2,32	3,04	1,14	0,72	0,77	0,21
52	19,93	2,21	2,61	1,29	0,71	0,75	0,22
53	19,64	2,50	3,04	2,17	0,61	0,67	0,32
54	18,91	2,63	2,81	2,38	0,71	0,47	0,31
55	20,25	2,46	3,48	1,36	0,60	0,29	0,09
56	20,13	2,42	3,49	1,33	0,53	0,31	0,06
57	19,74	2,82	3,44	1,16	0,45	0,37	0,01
58	19,98	2,44	3,40	1,25	0,70	0,30	0,03
59	19,83	2,55	3,43	1,21	0,46	0,35	0,10
60	19,83	2,58	3,35	1,25	0,43	0,41	0,09

Sistemin sebep olduğu akım harmoniklerinin A fazı üzerinde oluşturduğu 3, 5, 7, 9, 13 ve 15 nolu harmonikleri Şekil 3.7. de görülmektedir. 3. harmonik değeri %20 civarında ve bu sınır değer üzerinde ve bazı anlarda ise %29 seviyesine kadar çıkmaktadır. Diğer 5, 7, 9, 11, 13, 15. harmonikler ise sınır değerler altında seyretmektedir.



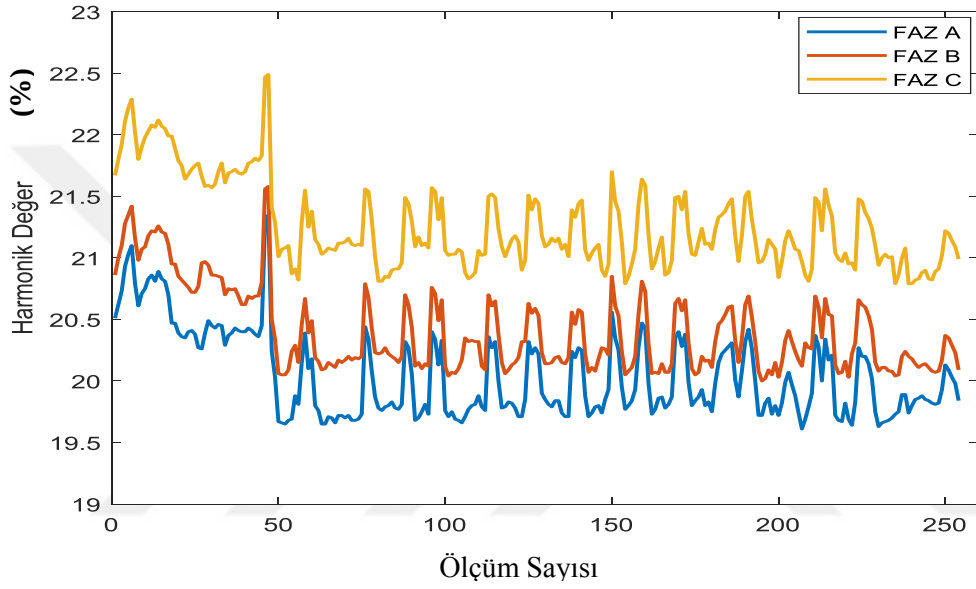
Şekil 3.7. A Fazına ait akım harmonik yüzde değerlerinin 10 günlük dağılımı

Şekil 3.7’de A fazına ait ilgili harmonik derecelerinin 10 günlük dağılım grafiği olarak verilen ve Şekil 3.8’de ise A fazına ait akım harmoniklerinin ortalama değerlerinin gün gün sütun grafik olarak gösterimi mevcuttur. Görüldüğü üzere 3. harmonik değeri %20 dolaylarında ve %30 seviyelerine çıkmış. 5. harmonik %3,5 seviyelerinde maksimum olarak %4 seviyelerine çıkmış. 7. harmonik genelde %3,3 seviyelerinde maksimum %4 seviyesine ulaşmış. 9. harmonik %1,3 seviyelerinde maksimum değer olarak %2 seviyesine ulaşmış. 11. harmonik %0,5 seviyelerinde maksimum değer olarak %1,2 seviyesine ulaşmış. 13. harmonik %0,5 seviyelerinde maksimum değer olarak %1,3 seviyesine ulaşmış.



Şekil 3.8. A fazına ait ilgili harmoniklerin günlük ortalamalarının verilmesi

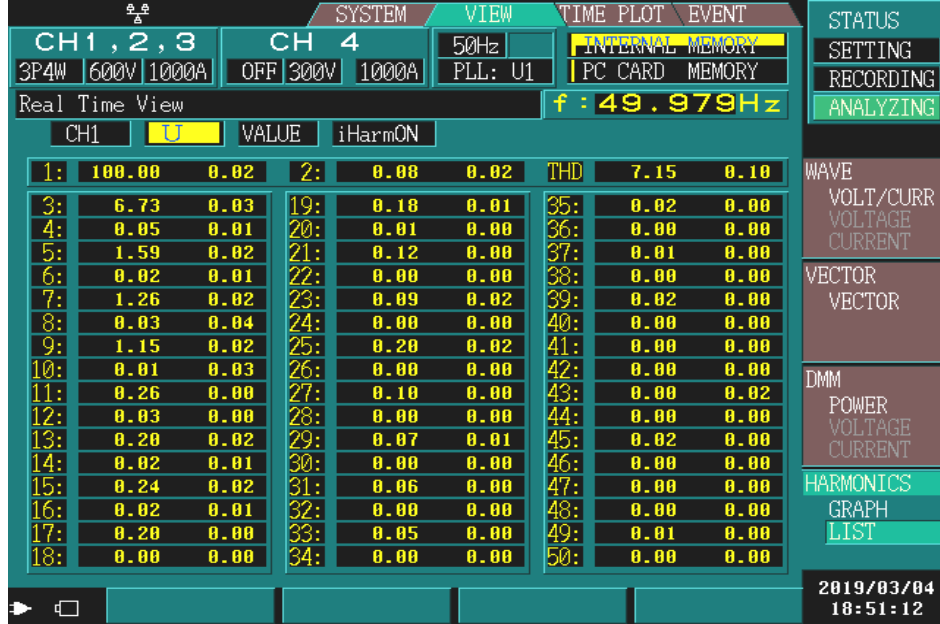
Şekil 3.9’da akımın toplam harmonik bozulmasına dair grafik verilmiştir. A fazının % 21,1 değerine ulaştığı, B fazının maksimum değer olarak %21,5 değerine ulaştığı, C fazının genelde %21,5 olduğu ve maksimum değer olarak %22,5 seviyelerine ulaştığı görülmektedir. Tüm fazlarda toplam akım harmonikleri distorsiyonunun sınır değeri aşmış olduğu görülmektedir. IEEE 519-1992 standartına göre I_{THD} sınır değeri %12 dir. Görüldüğü üzere her faz için sınır değerler aşılmıştır.



Şekil 3.9. Üç faz için herhangi bir güne ait I_{THD} grafiği

3.4.2. Gerilim Harmonikleri

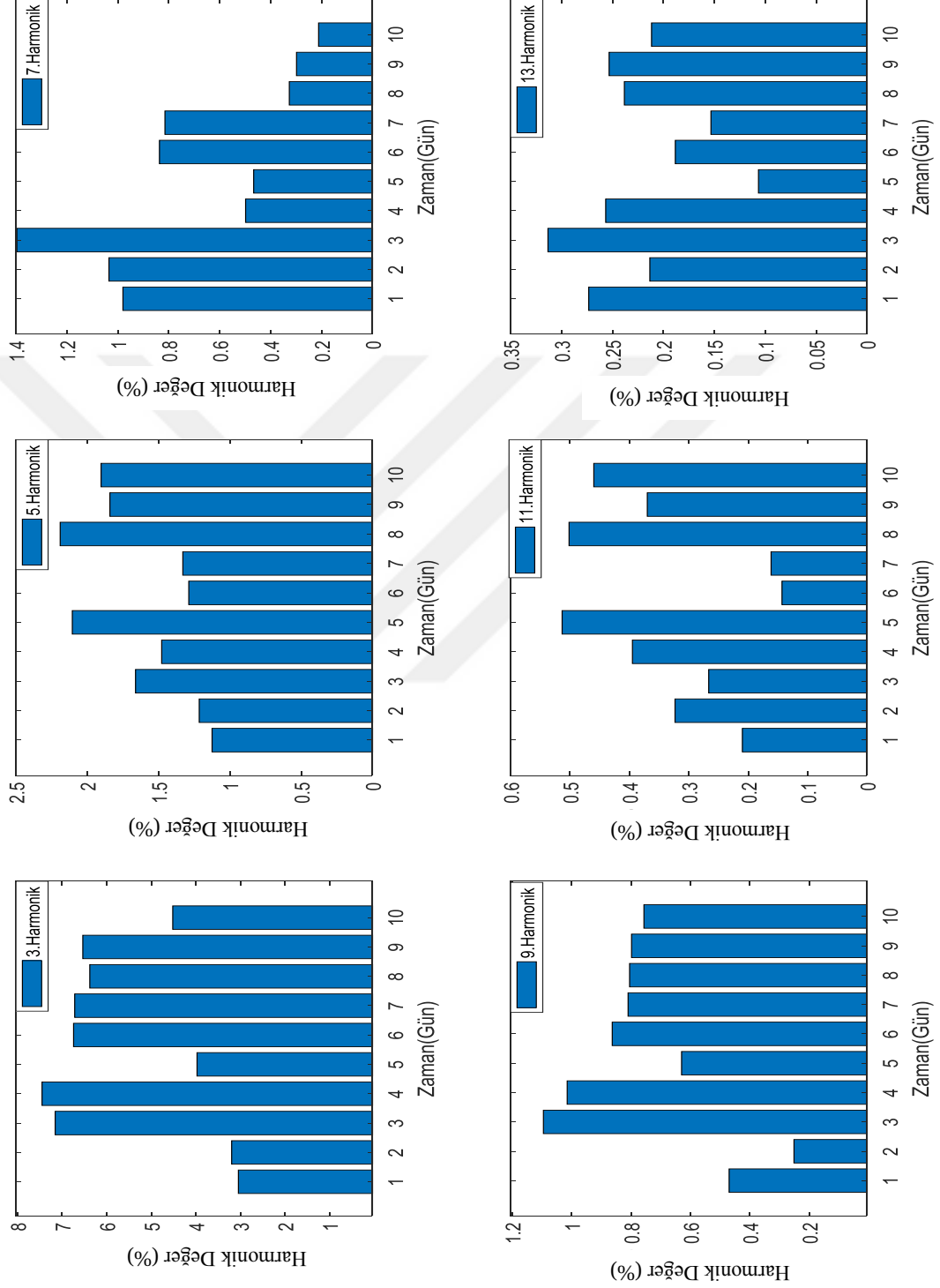
Sistemin A fazına ait ölçülen gerilim harmoniklerinin cihaz ekran görüntüsü aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.10. Gerilim harmoniklerine dair ölçüm cihazı ekranının anlık görüntüsü

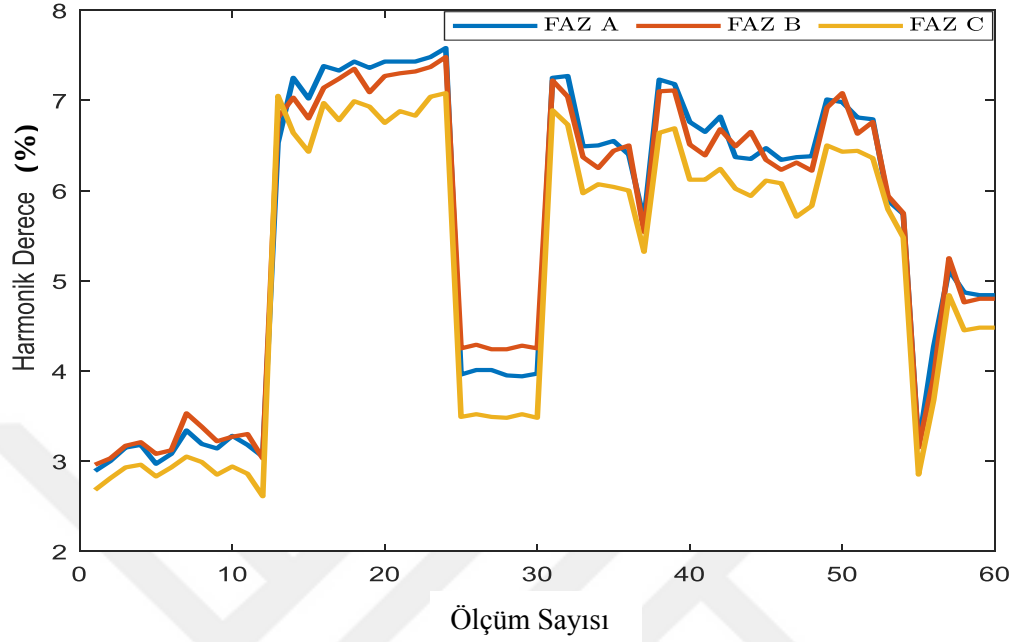
Şekil 3.10’da sadece bir ölçüm verilerinin sonucu görülmektedir, tüm ölçüm sonucunda A fazına ait günü gününe 3, 5, 7, 9, 11, 13 nolu gerilim harmoniklerinin ortalama değerlerinden oluşturulan çubuk grafik Şekil 3.11’de verilmiştir.

Şekil 3.11’de görüldüğü üzere 3. harmonik ortalama değerinin yaklaşık olarak %7,5 seviyesinde ve bu değer sınır değeri üzerinde olduğu, gerilimin 5. harmoniğinin ölçümler sonucunda %2,5 seviyelerinde olduğu ve belirlenen %6’ lık sınır değeri altında olduğu görülmektedir. 9. harmonik sınır değerinin %1,5 olduğu ve grafik değerlendirmesinde ortalama değeri %1,2 seviyelerine ulaştığı görülmektedir. 7. harmonik sınır değerinin %5, 11. harmonik sınır %3,50, 13. harmonik değerinin %3, 15.harmonik değerinin yüzde %0,5 olduğu ve bu 7, 11, 13, 15. harmonikler için alınmış ölçüm sonuçlarının sınır değerleri altında olduğu görülmektedir.



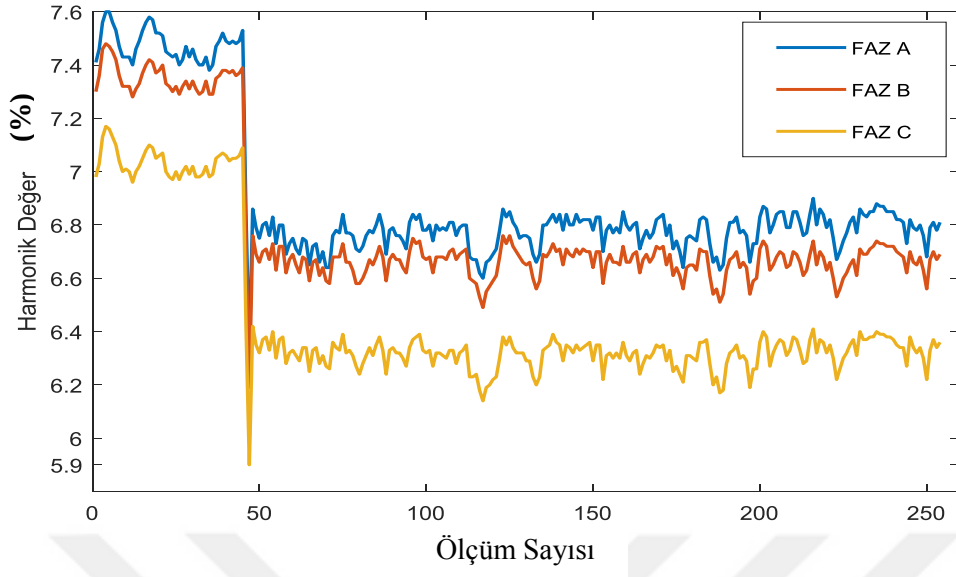
Şekil 3.11. A fazına ait gerilim harmonik değerlerinin günlük ortalamalarının grafiği

Şekil 3.12 sadece 3. harmoniğin üç faz için verilmiş grafiğidir. Üçüncü harmonik değerinin yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 3.12. Üç faz için gerilimin 3.harmonik değerlerinin her 10 dakikada alınmış verilerinin 10 günlük kümülatif grafiği

Şekil 3.13'de üç faz için gerilim toplam harmonik bozulma seviyeleri verilmiştir. Bu grafikte her üç faz için bu sınır değerin aşıldığı görülmektedir. A fazının %7,6'ya kadar, B fazının %7,5'e kadar, C fazının %7,2'ye kadar çıktığı, devam eden diğer ölçüm sonuçlarında %6'nın üzerinde seyrettiği görülmektedir.



Şekil 3.13. Üç faz için herhangi bir güne ait U_{THD} grafiği

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, Elazığ Belediyesine ait %100 elektrikli otobüslerin şarj istasyonunun bazı güç kalitesi parametreleri incelenmiştir. Şarj ünitelerinin beslendiği ana pano üzerinde ölçümler alınmıştır. Ölçümler sonucunda alınan akım, gerilim, güç, güç faktörü ve harmonik verileri Matlab® programı yardımıyla grafiklere dönüştürülmüştür.

Elde edilen veriler ve oluşturulan grafikler sonucunda akım ve güç değerlerinin birbirleriyle orantılı davrandıkları, gerilimde ise güç kalitesi yönünden gerilim düşmesi, gerilim yükselmesi ve gerilim kesintisi belirlenmiş sınır değerleri aşmadığı ve herhangi bir problem oluşmadığı tespit edilmiştir.

Akım ve gerilim harmonikleri incelendiğinde akım ve gerilim harmoniklerinden bazılarının sınır değerlere yakın ve bazılarının da bu sınırı aşmış olduğu görülmektedir. Harmoniklerin, akım harmonikleri sebebiyle var oldukları, sistemdeki empedans üzerinde akım harmonikleri olarak etki oluşturdukları bu etkileşime bağlı olarak gerilim harmoniklerinin meydana geldiği bilinmektedir.

Şekil 3.9'da çekilen akımın toplam harmonik bozunumu grafiği değişim karakteristiğinin, Şekil 3.13'te gerilimin toplam harmonik bozunumundaki değişim karakteristiğiyle benzer olduğu görülebilmektedir. Yükün aynı bataryalar olduğu düşünülürse sistemin empedansının değişmediği dolayısıyla akım ve gerilim toplam harmonik bozunumlarının değişim karakteristiklerinin de benzeştikleri görülmektedir.

Sistemdeki akım harmoniklerinin 3. harmonik hariç genel olarak sınır değerlerin altında olduğu görülmüştür. 3. harmonik akım sebebi ile gerilimin 3. harmoniği de aynı şekilde belirlenen sınır değerleri aşmıştır. Bu aşımalar akım ve gerilim 3. harmonik değerleri için aşırı olmamakla birlikte değerlerin dikkate alınması gerekir. Bu aşımalar tolere edilebilir boyutta olmasına rağmen uzun vadede sistem için tehlike oluşturması söz konusudur.

Ayrıca tek fazlı yüklerin fazla olduğu tesislerde 3. harmonik akım ve gerilimleri mevcuttur. Buna sebep olarak da elektrik dönüştürücülü sistemlerin genelinde anahtarlamalı güç kaynaklarının kullanılmasıdır. Çıkışta DC gerilim üreten bu cihazlar

elektrik sistemine bağlandığında daima akım çekmezler fakat darbe şeklinde ve ani olarak fazla miktarda akım çeken bu tarz sistemler 3. harmonik üretmektedirler.

Akımın 3. harmoniğinin sınır değerlerin üzerinde çıkmasının sebebi sistemde yük olarak sadece otobüs üzerindeki bataryaları dolduran AC-DC dönüştürücüsü şarj üniteleri gösterilebilir.

Faz akımları arasındaki 120 derece olan faz farkından dolayı nötr dönüş iletkeni üzerinde faz akımları birbirlerini sönmölemektedirler. Ancak üç fazdan gelen 3. harmonik akımları, 3. harmonikler arasında faz farkı olmayışından nötr iletkeni üzerinde birbirlerini sönmölemek yerine birbirlerine ilave olarak akım miktarlarını arttırmaktadırlar. Şarj istasyonunda 3. harmonik akımın somut olumsuz sonucu olarak nötr iletkeninin aşırı ısınmalara ve iletkenin yanmasına sebep olabileceği vurgulanabilir.

Henüz kurulmakta olan sistemlerde nötr iletkeni bakırsa 16 mm² kesite kadar faz iletkeni ile aynı kesitte daha büyük ise faz kesitinin yarısı veya daha fazlası olarak hesaplanır ve mevcut sistemlerde 3. harmoniğın etkilerini azaltmak için; nötr iletkeni topraklanabilir, nötr iletkenine harmonik filtre bağlanabilir, nötr iletken kesiti faz iletken kesitinin yaklaşık olarak 2 katı seçilebilir.

Sonuç olarak görüldüğü üzere sistemdeki 3. harmoniğın varlığı nötr iletken üzerindeki 3. harmonik akımlarını elimine edecek olan ve yukarıda belirtilen işlemlerden maliyet açısından da uygun olanların yapılması gerektiği bilgisini vermektedir.

KAYNAKLAR

- Acarkan, B.,** 2006. Ofis donanımlarının harmonik etkinliğinin kestirimi ve harmonik analizi, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akyel, A.,** 2011. Elektrik enerji sistemlerinde güç kalitesinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Apay, F. T.,**2008. Güç kalitesi parametrelerinin ölçülmesi ve değerlendirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul, 146s.
- Arıkan, O.,** 2019. Güç kalitesi ve milli projesi: Harmonikler. https://www.slideshare.net/ka_ka/teia-harmonikler-02112009 , 2.02.2019.
- Aykut, H. K.,** 2008. Eskişehir kent merkezinde güç kalitesi olaylarının gerçek zamanda izlenmesi ve analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Boyrazoğlu, B., Ünsar, Ö., Polat, B.,**2007. Elektrik iletim sisteminde akım ve gerilimdeki harmonik bileşenlerin gerçek zamanlı ölçülmesi, *II.Enerji Verimliliği ve Kalitesi Sempozyumu, Kocaeli/Türkiye*, Mayıs 2007.
- Chapman, D.,** 2001. Güç kalitesi uygulama kılavuzu, Copper Development Association, Sarkuysan Elektrolitik Bakır Sanayi ve Ticaret A.Ş., İstanbul.
- Efe, S. B.,** 2006. Güç sistemlerinde harmonikler ve harmoniklerin analizi, *Yüksek Lisans Tezi*, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya.
- Erginöz, B. T., Pehlivan H.,** 2015. Enerji kalitesi problemleri çözüm ve önerileri ve uygulanan standartlar, *Electronic Journal of Vocational Colleges, Special Issue: The Latest Trends In Engineering.* 5; 42-47.

- Eroğlu, H.**, 2009. Bir dağıtım şebekesinin güç kalitesi ve harmonikler yönünden incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Gökozan, H.**, 2011. Endüstriyel tesislerde güç kalitesinin izlenmesi, analizi ve uygun filtre seçimi, *Doktora Tezi*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Hatay Ö.F.**, 2010. Bulanık mantık kontrollü ev tipi taşınabilir kompanzasyon sistemleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi, Elektronik ve Bilgisayar Sistemleri Eğitimi Anabilim Dalı, Konya.
- Işıklı, Y. S.**, 2007. Ani güç bileşenlerinin hesaplanmasında yeni bir yaklaşım, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İlaslaner, İ.**, 2006. Güç kalitesinde harmonikler ve filtrelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Kocatepe, C., Arıkan, O., Onar, Ö. Ç., Uzunoğlu, M.**, 2005. Harmonik distorsiyonun ölçüm noktası ve güç kompanzasyonu bakımından incelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Kocatepe, C., Köroğlu, S., Arıkan, O.**, 2005. Nonsinüsoidal şartlar altında güç faktörünün ve güç tanımlarının incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Koyuncu, M. A.**, Statik VAr kompanzasyon sistemlerinin harmonikler bakımından incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Mack, G., Santoso, S.**, 2001. Understanding power system harmonics, *IEEE Power Engineering Review*, November 2001.
- Mutlu, A.**, 2018. Güç kalitesi parametreleri kullanılarak otomatik anahtarlama sistemi ile şebeke seçimi, *Yüksek Lisans Tezi*, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.

- Mutlu, A., Taşkın, S., Kuyucuoğlu, F.,** 2016. Elektrik enerji sistemlerinde güç kalitesi parametrelerine dayalı anahtarlama sistemi ile otomatik şebeke seçimi, Düzce Üniversitesi *Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4; 826-836.
- Olçay, K.,** 2018. Reaktif güç ve harmoniklerin enerji verimliliği ve kablo ömrüne etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, Konya Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Konya
- Şahin M., Oğuz Y., Tuğcu H.Z.,** 2014. Güç sistemlerinde enerji kalitesini etkileyen harmoniklerin incelenmesi, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, c:7, s:2, 199-218
- Şekerci, H., Uzunkuyu, B.,** 2019. K-Faktörünün transformatörlerdeki önemi. http://www.emo.org.tr/ekler/657951dcf2ada1f_ek.pdf , 15.02.2019
- Şekkeli, M., Yılmaz, A. S.,** 2009. Bir taş kırma tesisinde güç kalitesi seviyesinin ölçümü ve değerlendirmesi, Pamukkale Üniversitesi, *Mühendislik Bilimleri Dergisi*, c:15, s:3, 317-323.
- Tabak, B. ve Yalçın, M. A.,** 2004. Elektrik güç sistemlerinde enerji kalitesi, Sakarya Üniversitesi *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 8. (1): 52-54.
- Tümen, V.,** 2013. Veri madenciliği yöntemleri ile güç kalitesi verilerinin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Tunceli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tunceli.
- URL-1,** 2018. <http://www.guckalitesi.gen.tr/tr/root/powerDetails.php>, 27.04.2018
- URL-2,** 2018. <http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/12/20151231M4-40.pdf>, 18.04.2018
- URL-3,** 2018. <https://aktif.net/tr/urun-ve-hizmetler/AG-Guc-Kalitesi-Cozumleri>, 18.04.2018
- URL-4,** 2018. <http://www.3eelectrotech.com.tr/arsiv/yazi/enerji-kalitesi-nedir>, 18.04.2018
- URL-5,** 2018. http://www.emo.org.tr/ekler/473b06476236f94_ek.pdf?dergi=, 18.04.2018

URL-6, 2018. <https://studylibtr.com/doc/1438951/elektrik-elektronik-teknolojisi-kompanzasyon-sistemi>, 18.12.2018

Yıldırım, Ö., 2015. İnternet tabanlı güç kalitesi izleme sisteminin donanımsal ve yazılımsal olarak gerçekleştirilmesi, *Doktora Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Yılmaz, M., 2006. Elektrik sistem tasarımında harmoniklerin giderilmesi için bir analiz, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yoldaş, Y. B., 2011. Güç transformatörleri ve harmoniklerin incelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

1988 yılında Elazığ'da doğdu. Orta ve lise öğrenimini tamamladıktan sonra lisans eğitimini Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliğinde 2013 yılında tamamladı. İstanbul'da metro-tünel yapım projesinde elektrik saha kontrolü olarak 1 yıl çalıştı. 3 yıl süresince konut, hastane, avm projelerini yapan bir firmada elektrik mühendisi olarak çalışmıştır.

