T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DARBELİ YÜKLERİN GERİLİM DEĞİŞİMLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ONUR BADEMCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2019

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DARBELİ YÜKLERİN GERİLİM DEĞİŞİMLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İNCELENMESİ

ONUR BADEMCİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMANI
PROF. DR. MEHMET HAKAN HOCAOĞLU

GEBZE
2019

T.R.

GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

INVESTIGATION INTO EFFECTS OF INTERMITTENT LOADSON VOLTAGE VARIATIONS

ONUR BADEMCİ

A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE

DEPARTMENT OF ELECTRONIC ENGINEERING

THESIS SUPERVISOR

PROF. DR. MEHMET HAKAN HOCAOĞLU

GEBZE

2019

GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ	YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 25/09/2019 tarih ve 2019/44 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 26/09/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Onur BADEMCİ'nin tez çalışması Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE (TEZ DANIŞMANI)	: PROF. DR. MEHMET HAKAN HOCAOĞLU
ÜYE	: DR. ÖĞR. ÜYESİ TUBA GÖZEL
ÜYE	: DR. ÖĞR. ÜYESİ İBRAHİM GÜRSU TEKDEMİR

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

…./…./…. tarih ve …./…. sayılı kararı.

ÖZET

Güç kalitesi problemi gerilim ve/veya akımın nominal sinüs dalga formundan sapması olarak tanımlanabilir. Güç kalitesi problemleri genellikle gerilim düşümleri/yükselmeleri ve harmonikler ile ilgilidir. Hatta kullanılan kablo kesiti, kullanılan iletkenin iletkenlik katsayısı, hat uzunluğu, hattan geçen akım şiddeti gerilim düşümüne neden olan etkenlerdir.

Endüstriyel işletme tasarlanma aşamasında gerilim düşümü hesabı yapılmaktadır. Bu hesap yapılırken eş zamanlılık katsayısı büyük önem arzetmektedir. Bu tezde bir endüstriyel işletmede meydana gelen gerilim düşümleri üzerine analiz çalışmaları yapılmıştır. Endüstriyel işletmede kaynak makineleri için kurulan elektrik alt yapısında gerilim düşümleri meydana gelmektedir.Gerilimdeki bu düşümlerendüstriyel tesisin etkili bir şekilde çalışmasını engellemektedir. Gerilim düşümünün nedenleri üzerine yapılan incelemelerde faz-faz geriliminin düştüğü tespit edilmiştir. Bu durum trafo ve elektrik alt yapısının, kaynak ekipmanlarının ani gücünü karşılıyamamasına sebep olmaktadır. Bu problemi gidermek için ilgili endüstriyel tesiste çeşitli önlemler alınmıştır. Bu önlemler, kompanzasyon sisteminde tek fazlı röle yerine üç fazlı röle kullanılması, kompanzasyon sisteminin üç kademesini sabite alarak reaktif akımı sınırlama, kompanzasyon sisteminde bulunan tristör kartı yerine devreye daha hızlı giren tristör kartı ile değiştirilmesidir.

Alınan önlemlerin kalıcı olmadığı ve problemin yinelendiği görülmüştür. Problemin tekrar etmesinden dolayı yeni çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Trafonun değiştirilmesi ve elektrik tesisatının yenilenmesi başlıca yeni çözüm yöntemi olmuştur.

Bu çalışmada darbeli yükler ve sistemde bulunan tüm ekipmanların modellemesi yapılmıştır. Böylece büyük bir endüstriyel sistemin devreye alınmadan önce bu tez çalışmasında geliştirilen arayüz ile sistemde kullanılan darbeli yüklerin gerilim düşümüne etkisi incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler:Güç Kalitesi, Gerilim Düşümü, Darbeli Yük, Üretim Tesisleri.

SUMMARY

The power quality problem can be defined as the deviation of voltage and / or current in nominal sine wave form. Power quality problems are usually related to voltage drops / increases and harmonics. In fact, the cable cross-section area, the conductivity of the cables, the length of the line, the current intensity passing through the line are the main factors that cause the voltage drop in power system. In industrial facilities design phase, voltage drop calculation is carried out, by using coindence factors. Thuschoosing proper coindence factors is curicial for the design of electrical installation. In this thesis, analysis were carried out on voltage drops occurring in an industrial facility mainly consist of welding machines. These voltage drops prevent the industrial facilities from operating effectively. Investigations on the causes of voltage drop have shown that phase-to-phase voltage significantly decreases due to high currents drawn by the welding machines which have intermittent nature. This situation causes the transformer and electrical infrastructure to fail to meet the sudden power requriments of welding equipment. Various measures have been taken at the relevant industrial facility to solve the problem. These measures include the use of a three-phase relay instead of a single-phase relay in the compensation system, limiting the reactive current by stabilizing the three stages of the compensation system, replacing the thyristor board in the compensation system with a faster-acting thyristor board.

It was observed that the measures taken were not permanent and the problem recurred. New solution have been developed as the replacement of the transformer and the renewal of the electrical installation has become the main solution method.

In this study, intermitent loads i.e. welding machines and all the equipments in the system are modeled and their effects on the voltage profile of the system simulated. It is cocluded that by using extensive simulations before the commissioning of a similar industrial system, the effect of pulsed loads, used in the facility,can be investigated with the interface developed in this thesis. In addition to that, number of the machines that could work without failure can be determined using developed interface.

Key words: Power Quality, Voltage Drop, Intermittent Load, Power Installations.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimimde ve bu çalışmanın oluşmasında hiçbir desteğini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Mehmet Hakan HOCAOĞLU'na,

Çalışma hayatım boyunca bana destek olan ve bu çalışmanın oluşmasında bana desteklerini esirgemeyen değerli yöneticim Ali KAHRAMAN'a,

Bilgi ve tecrübesini esirgemeyerek, çalışmalarıma destek olan Arş. Gör. Mert Bekir ATSEVER'e,

Tüm destek ve anlayışlarıyla her zaman yanımda olan değerli aileme, en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
TABLOLAR DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Tezin Sınırları	2
1.3. Tezin Yapısı	2
2. GÜÇ SİSTEMİ KALİTE PROBLEMLERİ	4
2.1. Bozulmalar (Harmonikler)	4
2.2. Dalgalanmalar	5
2.3. Kırpışmalar	5
2.4. Faz Dengesizliği	5
2.5. Rahatsızlıklar	5
2.5.1.Kesilmeler	6
2.5.2.Gerilim Şişmesi	6
2.5.3.Geçici Olaylar	7
2.5.4.Gerilim Çentikleri	7
2.5.5.Gerilim Çukurlaşması	8
2.6. Sonuç ve Değerlendirme	9
3. ENDÜSTRİYEL TESİSİN TANITILMASI VE YAŞANAN PROBLEMLER	10
3.1. Endüstriyel Tesiste Yaşanan Problemler	13
3.2. Sonuç ve Değerlendirme	15
4. GERÇEK ZAMANLI ÖLÇÜMLERİN ANALİZİ	16
4.1. Makinelerin Gerçek Zamanlı Ölçüm Analizi	18
4.2. Ana Panonun Gerçek Zamanlı Ölçüm Analizi	28
4.3. Endüstriyel Tesiste Gerilim Düşüm Hesabı	28

4.4. Sonuç ve Değerlendirme 30
5. GERİLİM DÜŞÜMÜNE YÖNELİK ALINAN ÖNLEMLER 32
5.1. Tristör Kartı Değişimi 32
5.2. Kompanzasyon Röle Değişimi 33
5.3. Kompanzasyon Kademe Ayarı 35
5.4. Trafo Kademe Ayarı 35
5.5. Sonuç ve Değerlendirme 36
6. ENDÜSTRİYEL TESİSİN MODELLENMESİ 38
6.1. Kaynak Modellenmesi 39
6.2. Trafo Modellemesi 40
6.3. Kablo Modellenmesi 41
6.4. Darbeli Yüklerin Modellenmesi 46
6.5. Sonuç ve Değerlendirme 47
7. ANALİZ ÇALIŞMASI 48
7.1. Gerilim Düşümüne Yönelik Analiz Çalışmaları 48
7.2. Gerilim Düşümüne Yönelik Arayüz İhtiyacı ve Geliştirilmesi 50
7.3. Arayüz İçin Sonuç ve Değerlendirme 62
8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 64

KAYNAKLAR 66
ÖZGEÇMİŞ 68
EKLER 69

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Kısaltmalar	**Açıklamalar**
A	Amper
Ark	Ark Robotu
kA	Kiloamper
kVA	Kilovoltamper
kVAr	Kilovoltamperreaktif
kW	Kilowatt
PU	Per-Unıt
RMS	Root Mean Square
ROB	Robot
SAK	Sabit Akım Kaynağı
TFT	Tek-Faz Toprak Arızası
V	Volt
VA	Voltamper
W	Watt

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:	**Sayfa**
2.1: Gerilim yükselmesi dalga formu.	6
2.2: Geçicilik dalga formu.	7
2.3: Gerilim çentiği dalga formu.	8
2.4: Gerilim çukurlaşması dalga formu.	8
3.1: Tek hat şeması.	11
3.2: Detaylı tek hat şeması.	12
3.3: Spot ayrılması.	13
3.4: Kaynak çatlağı.	14
3.5: Kılcal çatlak örneği.	14
3.6: Yığılma örneği.	15
4.1: Tesiste kullanılan ana pano.	16
4.2: Tesiste kullanılan makinelerin nominal akımları.	17
4.3: Kaynak makinelerinin nominal akım histogram dağılımı.	17
4.4: Zamana bağlı akım ölçüm sonuçları (TT122).	19
4.5: Zamana bağlı gerilim ölçüm sonuçları (TT122).	19
4.6: Zamana bağlı akım ölçüm sonuçları (TT579).	20
4.7: Zamana bağlı gerilim ölçüm sonuçları(TT579).	20
4.8: Zamana bağlı akım ölçüm sonuçları (TT250).	21
4.9: Zamana bağlı gerilim ölçüm sonuçları (TT250).	21
4.10: Zamana bağlı akım ölçüm sonuçları (TT585).	22
4.11: Zamana bağlı gerilim ölçüm sonuçları (TT585).	22
4.12: Zamana bağlı akım ölçüm sonuçları (TT256).	23
4.13: Zamana bağlı gerilim ölçüm sonuçları (TT256).	24
4.14: Zamana bağlı akım ölçüm sonuçları (TT101).	24
4.15: Zamana bağlı gerilim ölçüm sonuçları (TT101).	25
4.16: Zamana bağlı akım ölçüm sonuçları (TT105).	25
4.17: Zamana bağlı gerilim ölçüm sonuçları (TT105).	26
4.18: TT256 makinesi için zaman aralığı daraltılmış akım grafiği.	27
4.19: Ana panoya ait gerçek zamanlı gerilim grafiği.	28
4.20: Endüstriyel tesise ait gerilim düşümü hesabı.	30

5.1: Tristör kartı. 33
5.2: Tek fazlı kompanzasyon rölesi. 34
5.3: Üç fazlı kompanzasyon rölesi. 34
5.4: Trafo kademe ayarı. 36
6.1: Endüstriyel tesisin ATP-Draw benzetimi. 38
6.2: Kaynak modellenmesi ara yüzü. 39
6.3: Trafo modellenmesi ara yüzü. 40
6.4: Trafo etiketi. 40
6.5: Kablo modellenmesi ara yüzü. 41
6.6: Busbar ile darbeli yükler arasında bulunan kablonun yapısı. 42
6.7: Kablo empedans matrisi. 42
6.8: Sistemin basite indirgenmesi. 43
6.9: Hat geriliminin yüklenmeye göre değişimi. 44
6.10: ATP benzetimi ve analitik çözümün kıyaslanması. 45
6.11: Empedans matrisinin spy formatlı görüntüsü. 46
7.1: Makine sayısı-akım sistem çıktısı. 49
7.2: Makine sayısı-trafo çıkış gerilimi sistem gerilim düşümü eğrisi. 50
7.3: Makine seçim arayüzü. 51
7.4: Sistem operatörü seçim sonucu. 51
7.5: Sistem operatörü seçim sonucu. 52
7.6: Sistem operatörü seçim sonucu. 52
7.7: Sistem operatörü seçim sonuçları. 53
7.8: Sistem operatörü seçim arayüzü. 53
7.9: Nominal akım girdisi sonucu. 54
7.10: Zamana bağlı akım değeri değişimi. 55
7.11: Sistem operatörü tarafından yapılan seçimler ve akımlar toplamı. 55
7.12: Zamana bağlı seçilmiş makine akımlar toplamı grafiği. 56
7.13: Şekil 7.11 için yapılan seçimlerin gerilim sonuçları. 57
7.14: Makine devre dışı bırakma sonuçları. 58
7.15: Makine çıkarılması sonucu ana pano değişimleri. 59
7.16: 99 düğümde gerilim düşümleri (durum 1). 60
7.17: 99 düğümde gerilim düşümleri (durum 2). 61
7.18: 99 düğümde gerilim düşümü (durum 3). 61
7.19: 99 düğümde gerilim düşümü (durum 4). 62

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo No:	**Sayfa**
4.1: Makinelere ait nominal akım ve çekilen pik akım tablosu.	27
4.2: Gerilim düşümü hesabı.	29
5.1: Fazlardan çekilen reaktif güç.	35
5.2: TT256 nolu makineye ait gerilim sonuçları.	37
7.1: Faz-Nötr gerilimleri.	58
7.2: Faz-Nötr gerilimleri.	60
7.3: Farklı durumlar için faz-nötr gerilimleri.	62

1. GİRİŞ

19. YY'da sanayi devriminin gerçekleşmesi ile birlikte sanayi ve endüstride elektrik enerjisinin yeri ve önemi artmıştır. Endüstriyel tesislerde elektrik enerjisi sistemin en önemli yapı taşını oluşturmaktadır. Bununla birlikte talebin karşılanması için elektrik enerjisinin kesintisiz ve kaliteli bir şekilde üretilmesi, iletilmesi ve dağıtılması gerekmektedir[1]. Bu durum elektrik enerjisinin kaliteli olması ya da mevcut durumun kalitesinin artırılması yönünde yapılan çalışmalara hız kazandırmıştır. Bu alanda yapılan çalışmaların artmasını sağlamıştır. Bu çalışmalar enerjinin devamlılığı, şebeke frekansının sabitliği, tüketiciye ulaşan gerilimin sinüzoidal olması ve sinüzoidal formunu koruması, güç faktörünün istenen değer olan bire yakın olması ve o değerde sabit tutulması, fazlar arası gerilimin dengede olmasıdır [2].

Yukarda belirtilen güç kalitesi problemlerinden gerilim değişimleri bu tezde birincil olarak incelenecektir. Gerçek bir endüstriyel tesiste kaynak makineleri bazında gerilim düşümü problemi ele alınmıştır. Bir endüstriyel işletmede kaynak makineleri için kurulan elektrik alt yapısında gerilim dalgalanmaları meydana gelmektedir. Gerilim dalgaları endüstriyel tesisin etkili bir şekilde çalışmasını engellemektedir. Gerilim dalgalanmalarının nedenleri üzerine yapılan incelemelerde faz-faz geriliminin 330 V'lara kadar düştüğü tespit edilmiştir. Bu durum trafo ve elektrik alt yapısının, kaynak ekipmanlarının ihtiyaç duyduğu ani gücü karşılıyamamasına sebep olmaktadır.

Bu problemi gidermek için ilgiliendüstriyel tesiste çeşitli önlemler alınmıştır. Alınan önlemler tezde detaylı olarak anlatılmıştır. Alınan önlemlerin yeterli olmadığı görülmüştür. Yeterli olmayan yöntemlerin neden yeterli olmadığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte basit bir arayüz gerçekleştirilerek gerilim düşümlerinin neden olduğu durumlar belirlenmiştir. Böylece hem mevcut endüstriyel tesisin durumu incelenmiş olup hem de ileriye dönük yapılacak yatırımlarda sistem dizaynı hakkında gerilim düşümü bazında fikir oluşturması sağlanmıştır.

1.1. Tezin Amacı

Bu tezin ana amacı, endüstriyel işletmede yaşanan gerilim düşümlerinin sebep olduğu kaynak makinelerinin durması, kaynak kalite problemi sorunlarını çözmektir. Bunun için ATP-Draw programı kullanılarak sistemin parametre hesabı yapılmıştır [3]. Elde edilen parametreler kullanılarak arayüz geliştirilmiştir. Böylece sistem kurulmadan önce sistem operatörü ve sistem sorumluları yapılan simülasyonlar yardımıyla sistemde birlikte çalışacak makineleri girip, sistemde gerilim düşümü olup olmayacağını tespit edebileceklerdir. Bu durum daha efektif yatırım planları yapılmasını sağlayacaktır. Bununla birlikte ekstra yatırım maliyetinin önüne geçilmesi sağlanabilinecektir.

1.2. Tezin Sınırları

Güç sistemlerinde, çeşitli enerji kalite problemleri mevcuttur. Bunlardan en önemlilerinden biri, gerilim değişimi problemidir. Bu tezde incelenen problem temel olarak gerilim değişimi problemidir [4]. Bir endüstriyel işletmede meydana gelen gerilim değişimi problemi için analizler 1 MVA 34.5 kV/ 0.4 kV'luk kaynak makinesi transformatörü için yapılmıştır. Kaynak makineleri tek-faz ve iki-faz olarak modellenmiştir. Üç-faz kaynak makinesi modelleme dışında tutulmuştur. Kaynak makinesi ile trafo arasındaki bağlantılar için 3x1 tek damarlı kablolalar kullanılmıştır [5]. Diğer tip kablolar ilgili endüstriyel tesiste kullanılmadığı için analiz edilmemiştir.

1.3. Tezin Yapısı

Tez akışı şu sıra ile devam etmektedir. Tezin ikinci bölümünde literatürde bulunan güç kalitesi tanımı ve problemleri anlatılmıştır. Bununla birlikte gerilim düşümüproblemi detaylı olarak incelenmiş, kullanılan standartlar verilmiştir. Ayrıca örnek endüstriyel tesis tanıtımı yapılmıştır. Tezin üçüncü bölümünde gerilim düşümünü gidermek için alınan önlemler detaylı olarak anlatılmıştır. Tezin dördüncü bölümünde ise ilgili endüstriyel tesisin modellenmesi gerçekleştirilmiştir. Tezin beşinci bölümünde endüstriyel tesisdeki makinelerin gerilim düşmesi problemi farklı durum senaryoları oluşturularak analiz edilmiştir. Böylece gerilim düşümünün

yaşandığı durumlar belirlenmiştir. Tezin altıncı ve son kısmında sonuç ve öneriler verilmiştir.

2. GÜÇ SİSTEMİ KALİTE PROBLEMLERİ

Tezin bu bölümünde güç sistemlerinde meydana gelen enerji kalite problemlerinin literatür araştırması gerçekleştirilmiştir. Elektrik enerjisinin üretiminden son tüketiciye kadar olan süreçte varlığı ve sürekliliği sağlanmalıdır. Bu sürecin etkinliği güç kalitesi olarak isimlendirilebilir [6]. Bununla birlikte üretilen gerilimin sabit şebeke frekansında olması, sabit ve sinüzoidal formda olması da güç kalitesi olarak isimlendirilebilir. Güç sistemindekullanılan yükün karakteristiğinin non-lineer olması, güç sisteminde meydana gelen kesintiler ve güç sisteminde gerçekleşen arızalar bu süreci etkilemektedir. Güç sisteminin kalitesine etki eden faktörler genellikle gerilimin genlik veya açı değerinin belirli süreler içerisindedeğişmesinden kaynaklanmaktadır. Bu durum güç sisteminde bulunan ekipmanlar etkin bir şekilde çalışmasını engellemektedir [7]. Temel olarak enerji kalite problemleri

- Bozulmalar
- Dalgalanmalar
- Kırpışmalar
- Dengesizlikler

olarak sınıflandırılabilir [8]-[16]. Sıralanan bu problemler açıklanıp, bu problemlerin modellenen endüstriyel tesiste yarattığı problemler detaylı olarak anlatılacaktır.

2.1. Bozulmalar (Harmonikler)

Gerilimde meydana gelen dalga şeklindeki bozulmalar bir güç kalitesi problemidir. Bu problem harmonik teorisi ile incelenebilir. Harmonik, akım ve gerilim dalga şeklinin ideal formundan uzaklaşmasıdır. Temel dalga dışındaki sinuzoidal dalgalara hramonik denir. Sanayide kullanılan birçok ekipman harmoniğe neden olmaktadır. Bu ekipmanlardan bazıları kaynak makineleri, motorlara bağlı sürücüler, senkron makinenin ani hız değişimleri, güneş ve rüzgar enerjisi konvertorleri, elektronik balastlar, anahtarlamalı güç kaynakları, güç elektroniği ekipmanları, doyuma sahip olabilecek bobin içeren ekipmanlardır.

2.2. Dalgalanmalar

Dalgalanmalar, gerilimin düzenli veya düzensiz periyotlarla farklı bir değere erişmesidir. Gerilim dalgalanmalarına sebep olarak kaynak makineleri ve kompresörler gösterilebilir. Ark fırınları gibi cihazlarda ise gerilim periyodik veya rastgele dalgalanmaktadır. Bununla birlikte arızalar ve deşarj durumlarında da dalgalanmalar meydana gelmektedir [17].

2.3. Kırpışmalar

Kırpışmalar, aydınlatma elemanlarında oluşan ve çıplak gözle (herhangi bir ölçüm cihazına ihtiyaç duyulmaksızın) görülen ışık şiddetinin anlık olarak değişmesidir. Bu durum balastların, deşarj lambalarının gerilim değişmelerinden etkilenmesi ile ortaya çıkmaktadır. Aydınlatmanın verimini etkilediği için güç kalitesi problemi olarak gösterilebilir.

2.4. Faz Dengesizliği

Elektrik sisteminde belli bir noktada faz gerilimleri arasındaki genlik ve faz açılarının birbirlerinden farklı olması durumudur [18]. Genel olarak dengesiz hatlar veya üç fazlı sistemden beslenen tek faz yükler sebep olmaktadır. Bu yüklere örnek olarak iki fazlı kaynak makineleri gösterilebilir. Bu durum nötr noktasından dengesizlik akımının akmasına ve hatalı ölçümlere neden olmaktadır. Bununla birlikte dengesizlikler sistem kayıplarının artmasına, dönen makinelerin vuruntulu çalışmasına, trafoların ısınmasına sebebiyet vermektedir.

2.5. Rahatsızlıklar

Güç sisteminde meydana gelen kısa süreli arızalar sonucunda kararlı durumda oluşan geçici değişiklikler rahatsızlıklar olarak isimlendirilmiştir. Bu rahatsızlıklar;

- Kesilmeler

- Gerilim Şişmesi
- Geçici Olaylar
- Gerilim Çentikleri
- Gerilim Düşmesi

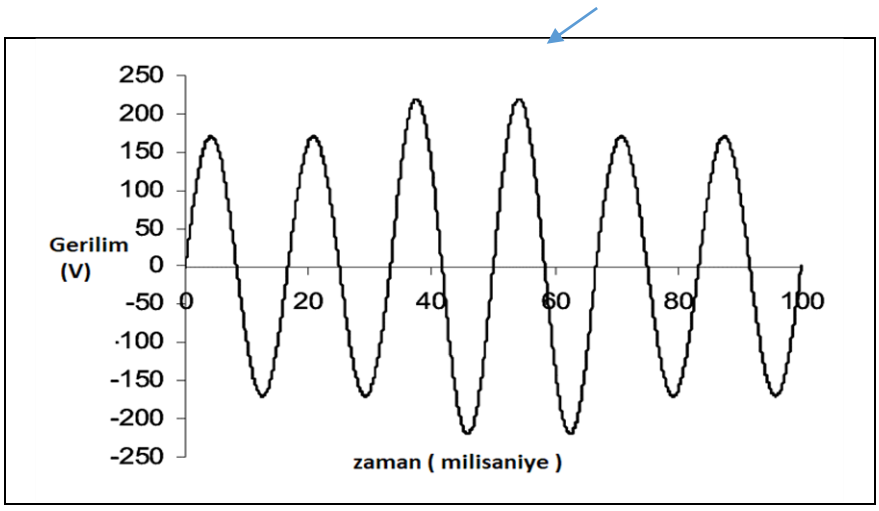
olarak sıralanabilmektedir [19].

2.5.1. Kesilmeler

En az bir yarım dalga boyu süresince gerilimin sıfır değerini almasıdır. Sebebi olarak elektrik şebekesinde gerçekleşen arızalar gösterilebilir [20]. [21] numaralı referansta belirtildiği gibi kesicilerin açma yapması ve tekrar geri kapama sırasında kesilmeler gözlemlenir.

2.5.2. Gerilim Şişmesi

Gerilim şişmesi ve yüksek gerilim olmak üzere iki grupta ele alınabilir. Gerilim şişmesi, gerilimin genliğinin yarım periyot ile bir dakika arasında nominal değerinin 1.1-1.8 pu aralığına yükselmesidir [21].



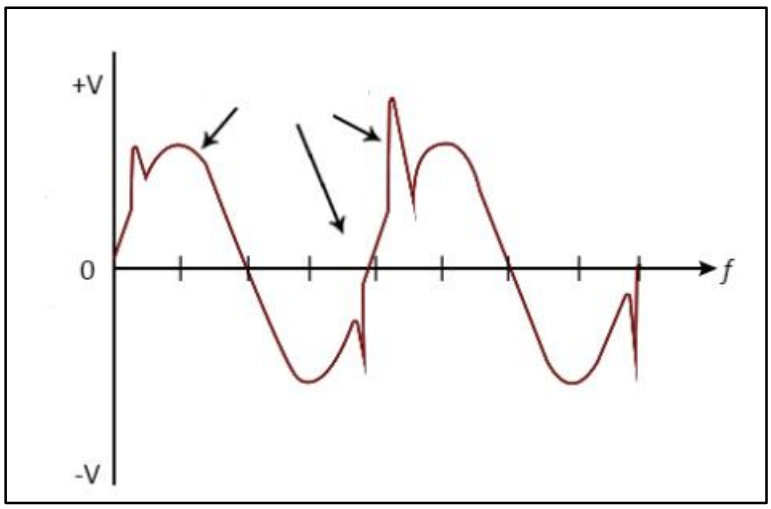
Şekil 2.1: Gerilim yükselmesi dalga formu.

Yüksek gerilim ise gerilimin genliğinin bir dakikadan uzun süre için 1.1-1.2 pu aralığına yükselmesidir. Gerilim yükselmesine neden olarak yük azalması

gösterilebilir. Şekil 2.1 ile örnek bir gerilim şişmesi dalga formu gösterilmiştir. Şekil 2.1 incelendiğinde gerilim genliğinin arttığı görülmektedir.

2.5.3. Geçici Olaylar

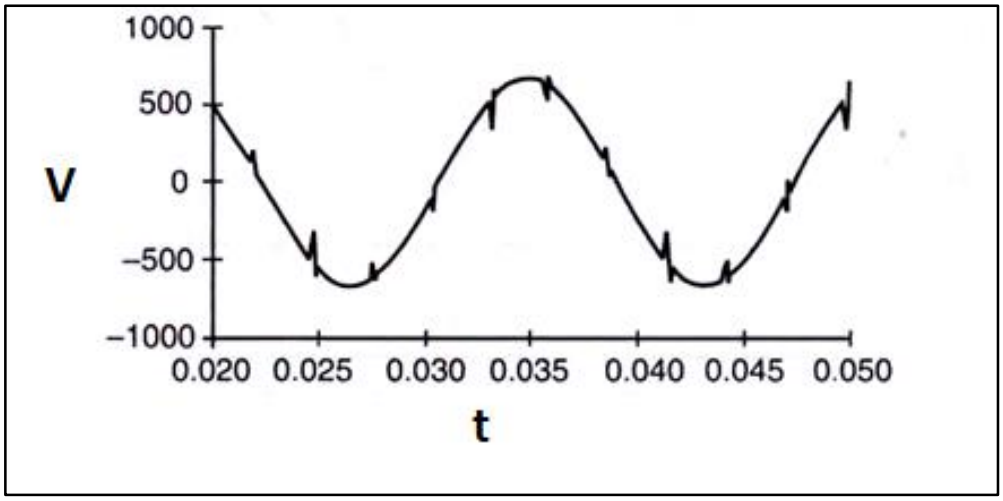
Gerilim çökmesi ve şişmesinden daha kısa süreli (azami yarım periyot) gerilim değişmeleri olarak tanımlanmaktadır. Buna güç sistemindeki ani değişikler neden olarak gösterilebilmektedir. Sürelerine göre iki ayrı grupta incelenebilmektedirler. Bunlar kapasitör bankları gibi rezonansa neden olabilecek yüklerin anahtarlanması veya kısa devreler sonucunda meydana gelen milisaniyeler mertebesindeki salınımlı geçicilikler ve ark veya izolasyon bozulmaları gibi mikro saniyelik darbelerdir. Şekil 2.2 ile örnek bir geçici olay (transient event) gösterilmiştir.



Şekil 2.2: Geçicilik dalga formu.

2.5.4. Gerilim Çentikleri

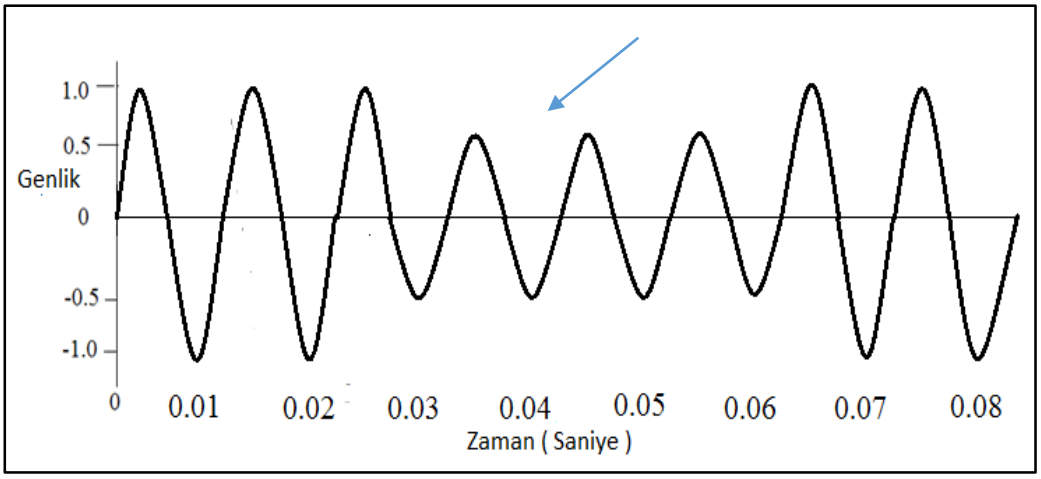
AC–DC dönüştürücülerde komutasyon sırasında faz-faz kısa devresinin neden olduğu periyodik geçiciliklerdir. Çok ani gerilim yükselmesi ve ana dalgada meydana gelen sıfır geçişlerden dolayı elektronik ekipmanlar zarar görmektedir. Bir gerilim çentiği örneği Şekil 2.3 ile gösterilmiştir.



Şekil 2.3: Gerilim çentiği dalga formu

2.5.5. Gerilim Çukurlaşması

Gerilim çukurlaşması gerilimin bir tam dalgadan daha uzun bir süre %80'den daha düşük bir değere düşmesi olayıdır. Gerilim çukurlaşmasına neden olarak şebeke yetersizliği, aşırı yüklenme, motorların yol alması ve arızalar gösterilebilir [19]. Örnek bir gerilim düşmesi dalga formu Şekil 2.4 ile gösterilmiştir. Şekil 2.4'te görüldüğü gibi yaklaşık 0.03 saniyede gerilim yaklaşık %50 oranında düşmüştür.



Şekil 2.4: Gerilim çukurlaşması dalga formu.

2.6. Sonuç ve Değerlendirme

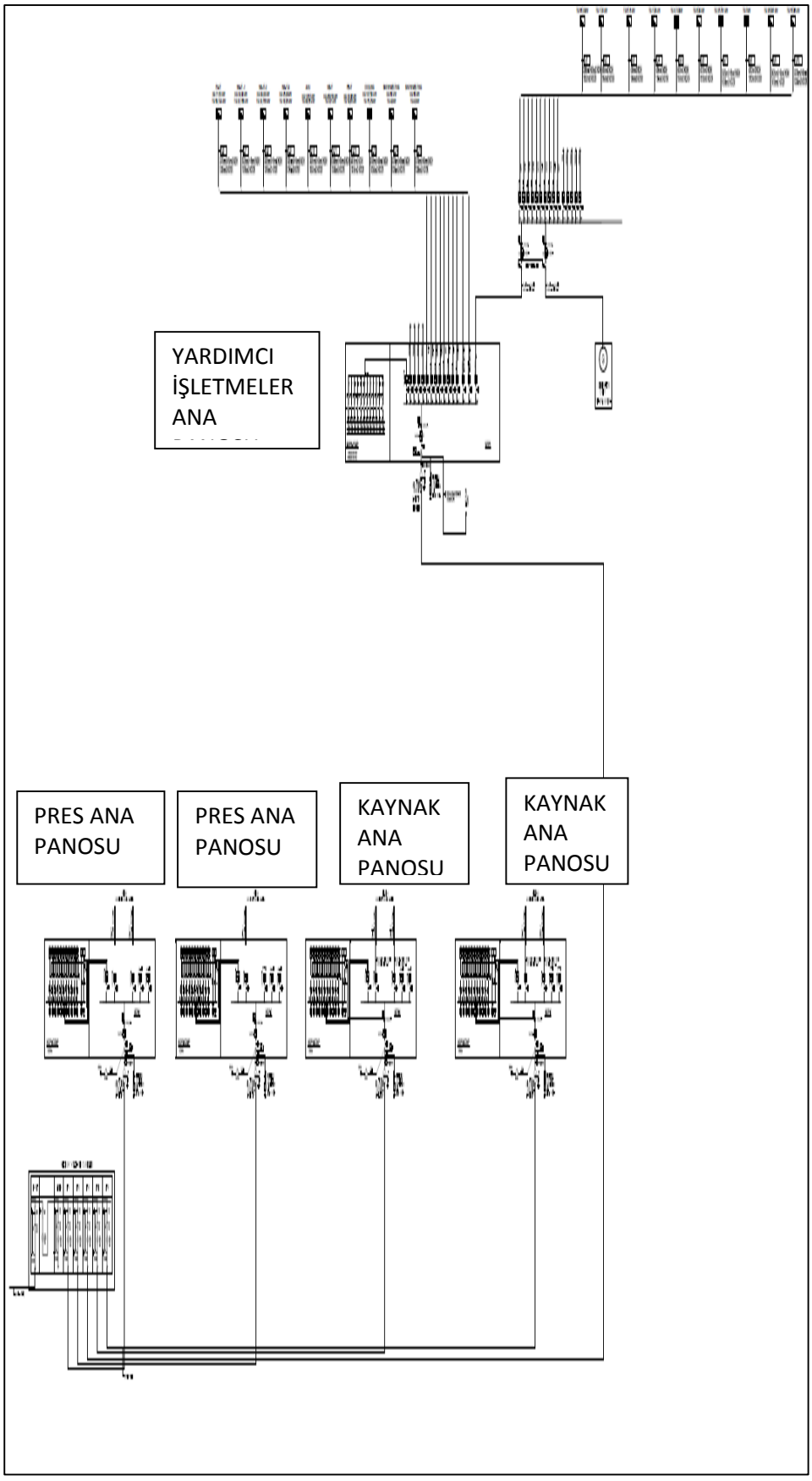
Birçok işletmede çeşitli güç kalite problemleri yaşanmaktadır. Bu problemler, bazı işletmelerde önemli sorunlara yol açmaktadır. Bu sorunlar, işletmelerde makinelerin durması, üretilen hatalı parçalar olarak tanımlanabilir. Güç kalite problemlerinin tespiti ve çözümüne yönelik bazı işletmeler enerji ölçümü yaptırmaktadır. Bu ölçümler, gerilim, akım, aktif güç, reaktif güç, görünür güç, frekans, harmonik ölçümler vb.'dir. Bu ölçümler neticesinde sistemde güç kalite problemi tespit edilmesi durumunda, bu probleme karşılık önlemler alınmalıdır. Bu tezde güç kalite problemlerinden önemli olan gerilim çukurlaşması (düşmesi) probleminin tespiti ve bu probleme yönelik alınan önlemlerden bahsedilecektir.

3. ENDÜSTRİYEL TESİSİN TANITILMASI VE YAŞANAN PROBLEMLER

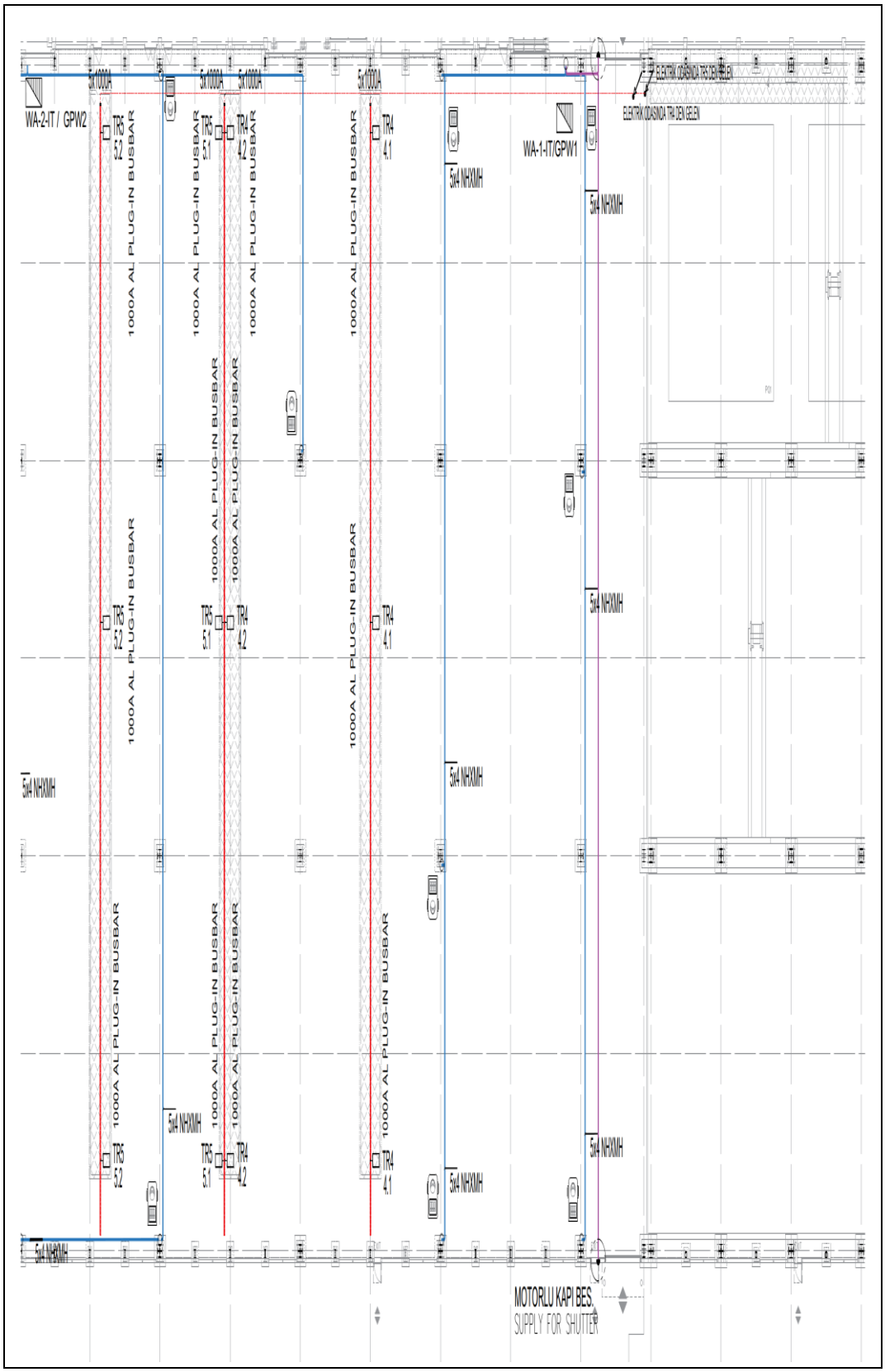
Bu bölümde endüstriyel işletmenin tanıtılması, bu endüstriyel işletmede yaşanan problemler anlatılmıştır. Endüstriyel tesiste kaynak makineleri bulunmaktadır. Bu makinelerle otomotiv sac parçalarına kaynak yapılmaktadır. İşletme devreye girdikten sonra kaynak makinelerinde duruşlar ve üretilen parçalarda kalite problemleri meydana gelmektedir. Bu problemlerin sebebi makinelerin giriş geriliminde meydana gelen düşük gerilimlerdir. Bu problemlere yönelik ölçüm ve analiz çalışmalarından tezin diğer bölümlerinde bahsedilecektir.

Bu tez kapsamında seçilen tesiste farklı yıllarda yapılan aynı parsel içinde üç adet fabrika bulunmaktadır. Analiz ve modelleme için fabrika iki seçilmiştir. Fabrika ikinin seçilmesi sebebi işletme devreye girdikten sonra kaynak ekipmanlarında düşük gerilim hatalarının çıkmasıdır. İlgili fabrikada presler, kaynak makineleri, yardımcı işletmeler ekipmanları bulunmaktadır.

İlgili işletmede beş adet trafo bulunmaktadır. Bunlardan iki tanesi 2000 kVA pres hatlarını besleyen trafolar, iki adet 1000 kVA kaynak hatlarını besleyen trafolar, bir adet 2000 kVA yardımcı işletmeler ekipmanlarını besleyen trafo bulunmaktadır. Tesisin tek hat şeması Şekil 3.1 ile gösterilmiştir. İlgili kaynak ana panolarından ikişer adet busbar hattı çıkmaktadır. Busbar hatlarının nominal akımı 1000 A'dir. Kaynak hatlarında üç adet kedi yolu bulunmaktadır. Birinci kedi yolunda bir adet busbar, ikinci kedi yolunda iki adet busbar, üçüncü kedi yolunda bir adet busbar hattı bulunmaktadır. Bu busbar hatlarına bağlı dağıtım panoları ve dağıtım panolarına bağlı kaynak robot hatları vardır. Sadece kaynak hattına ait tek hat şeması Şekil 3.2 ile gösterilmiştir. Endüstriyel işletmede çeşitli kaynak makineleri vardır. Bu makineler, ark kaynak makinesi, manuel kaynak makinesi, robot kaynak makineleri vb. makineleridir. Kaynak zamanları parçadan parçaya göre farklılık göstermektedir. Ark kaynak makinesinin çalışma süresi on saniye kadar sürebilirken, manuel kaynak makinelerinin çalışma süresi üç yüz milisaniye seviyelerindedir. Ortalama makine güçleri genel olarak 30 kVA ile 297 kVA arasında değişmektedir. Makinelerin normal çalışma şartlarındaki durumu ilgili bölümde detaylı şekilde incelenecektir.



Şekil 3.1: Tek hat şeması.



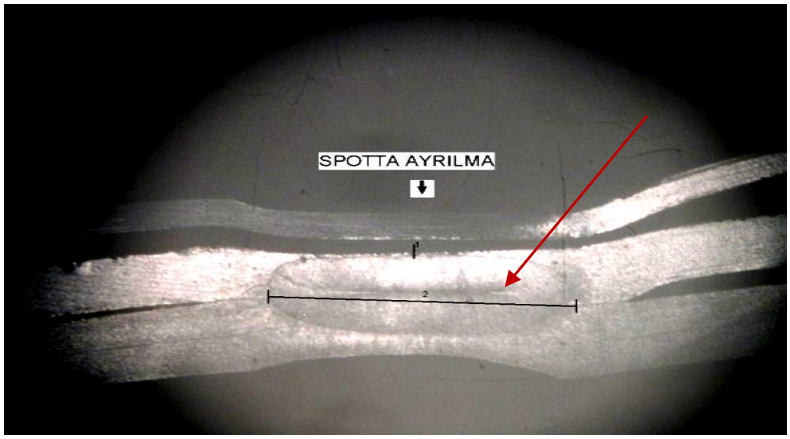
Şekil 3.2: Detaylı tek hat şeması.

3.1. Endüstriyel Tesiste Yaşanan Problemler

Kaynak bölümündeki ekipmanlarda sık sık duruşlar meydana gelmektedir. Bu duruşlarla birlikte işletmede üretilen parçalarda kalite problemleri meydana gelmektedir.

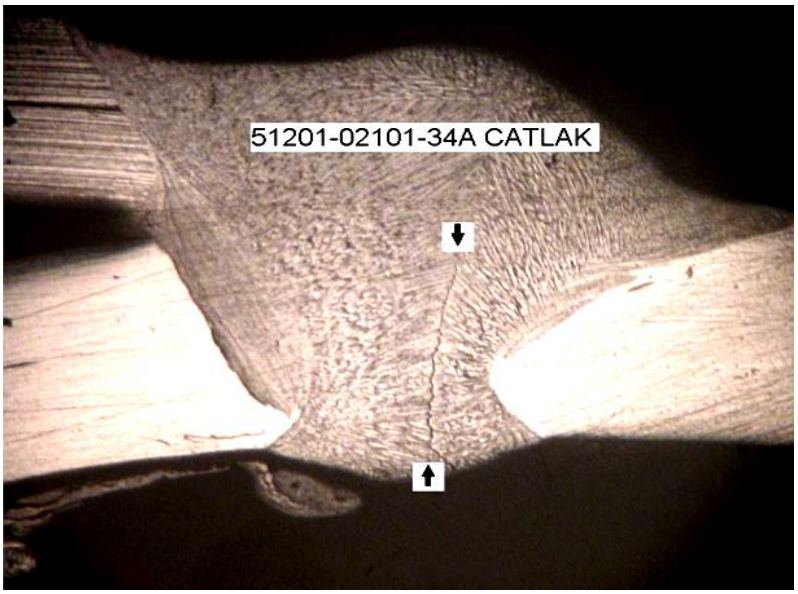
İşletmede meydana gelen duruşlar üretimin verimini düşürmektedir. Bu durum 6/24 ve stoksuz çalışan bir işletme için kalite problemi olan parça sayısının artmasına neden olmaktadır. Bundan dolayı üretim operatörleri, bütün parçaların %100 gözle kontrolünü yapmaktadır. Riskli görülen parçalar kalite bölümüne bildirilmektedir. Kalite personelleri mikron seviyesinde ölçüm yapabilen mikroskoplarla riskli görülen parçaların detaylı kontrolünü yapmaktadır. Bu durum hem zaman alıcı hem de kalite problemi olan parçaların doğrudan sevkiyatı riskini artırmaktadır. Kalite problemlerine örnek vermek gerekirse; spot ayrılması, kaynak çatlağı, kılcal kaynak çatlağı ve yığılma problemleri gösterilebilir. Bu problemler, ya makine parametlerinden kaynaklı ya da makine giriş geriliminden kaynaklı olduğu bilinmektedir. Bu oluşan problemler için öncelikli olarak kaynak makinelerinde hata olup olmadığı incelenmiştir. Bu nedenle kaynak makinelerine ait parametreler (kaynak süresi, kaynak makinesinin kaynak akımı) incelenmiş olup, herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır. Böylece problemin kaynak makinelerinden kaynaklı olmadığı sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla makinelerin giriş gerilimine odaklanılmıştır.

Kalite problemlerinden spot ayrılması Şekil 3.3 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Spot ayrılması.

Şekil 3.3 incelendiğinde kaynak sonrasında üç adet sac parçanın kaynamadığı görülmektedir. Bu durum gerilim düşümünün fabrika üretim bandını etkileyen fiziksel bir sonucudur. Kaynak çatlağı problemi ise Şekil 3.4 ile gösterilmiştir. Şekil 3.4 elips içerisinde kaynak çatlağı gösterilmiştir.



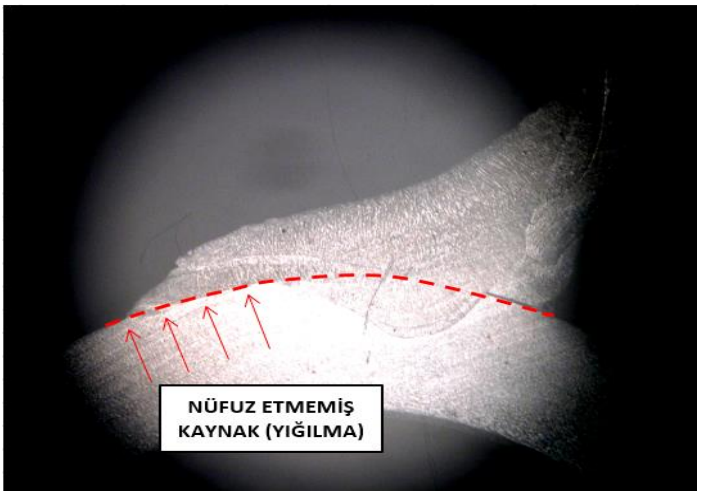
Şekil 3.4: Kaynak çatlağı.

Bir diğer fiziksel kaynak problemi kılcak çatlak problemidir. Kılcak çatlak problemi Şekil 3.5 ile gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Kılcal çatlak örneği.

Şekil 3.6 incelendiğinde nüfuz etmemiş kaynak görseli mevcuttur. Gerilim düşümü esnasında kaynak tam olarak yapılamadığından, parça da kalite problemi meydana gelmiştir.



Şekil 3.6: Yığılma örneği.

Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'dan görüldüğü üzere gerilim düşümleri çeşitli kaynak problemlerine neden olmaktadır. Bu problemler gözle görünmeyen problemler olduğu için %100 gözle kontrollerde tespit edilememektedir. Bu durumda işletmede üretilen bütün parçalar mikroskopla kontrol edilmek zorunda kalınmıştır.

3.2. Sonuç ve Değerlendirme

Fabrikanın genel elektrik alt yapısı ve kaynak bölümüne ait elektrik alt yapısı incelenmiştir. Kaynak ana panosundan iki adet çıkış alınmıştır. Bu çıkışlar kedi yollarında bulunan busbar hattına bağlanmıştır. Busbarların nominal akımı 1000 A'dir. Kaynak makineleri busbar hattına bağlı oldan dağıtım panolarıyla beslenmektedir.

Spot kaynak makinesi, ark kaynak makinesi vb. makinelerin giriş geriliminin düşük olması, üretilen otomotiv sac parçalarında kalite problemlerine neden olduğu görülmektedir.

Bundan dolayı gerilim düşümlerinin tespiti için işletmede gerçek zamanlı ölçümler alınmıştır.

4. GERÇEK ZAMANLI ÖLÇÜMLERİN ANALİZİ

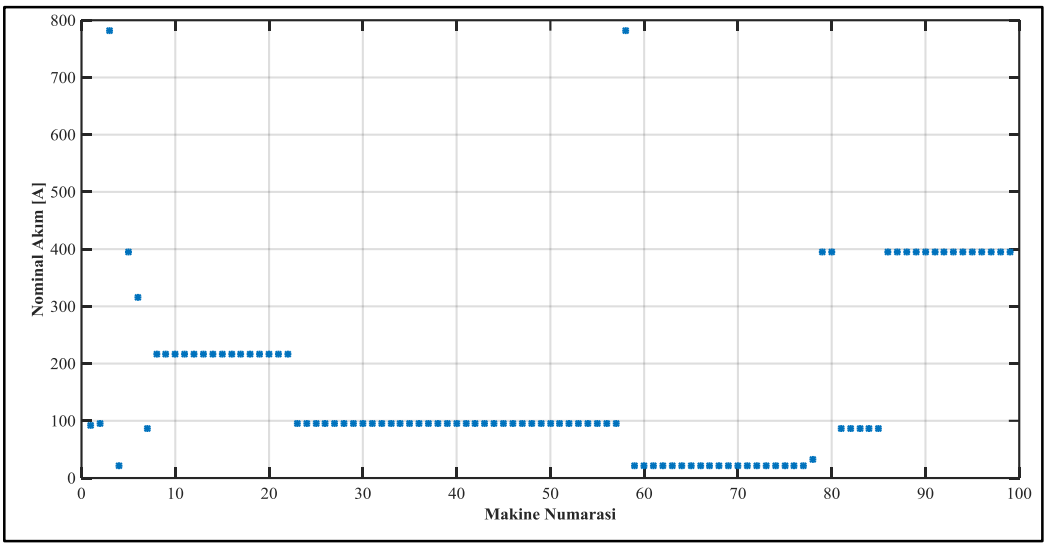
Bu bölümde makinelerde yaşanılan duruşların ve kaynak kalite problemlerinin gerilimden kaynaklı olup olmadığını tespiti için gerçek zamanlı ölçümlerin analizi yapılacaktır.

Kaynak makinelerinin ilgili dağıtım panolarında Fluke 435-2 cihazı ile enerji kaydı alınmıştır. Kaynak makinelerinin durduğu anda tutulan kayıtlar incelenmiş olup, sistemde aşırı gerilim düşümü olduğunda kaynak makinelerinin durduğu ve üretilen parçalarda kaynak kalite problemi olduğu gözlemlenmiştir. Bundan dolayı endüstriyel işletmenin birçok noktasından enerji ölçüm kaydı alınmıştır. Bu ölçümler, ana panodan, ilgili busbar girişinden, dağıtım panolarından alınan ölçümlerdir. Tesiste kullanılan ana pano görseli Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Bazı ölçümler bir gün bazı ölçümler ise bir ay sürmüştür. Bu ölçümlerdeki amacımız kaynak makinelerindeki arızaların şebeke geriliminden olup olmadığının tespit edilmesidir. Ölçümler sonucunda trafodan 2000 A seviyelerinde akım çekildiği görülmektedir. Bu yüksek akımların gerilim düşümlerine sebep olması beklenmektedir.



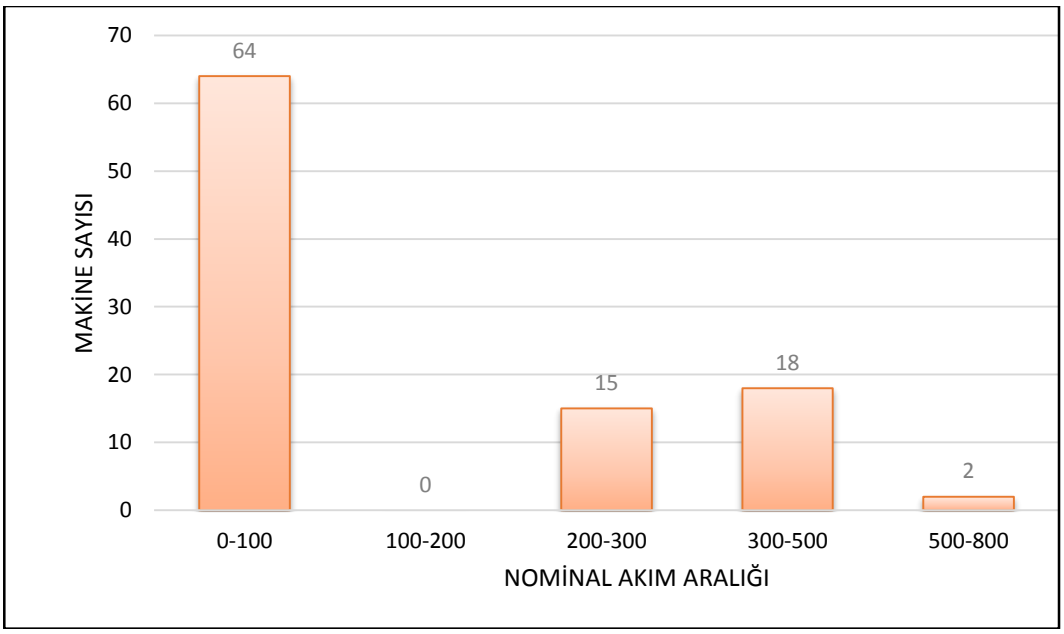
Şekil 4.1: Tesiste kullanılan ana pano.

Endüstriyel tesiste kullanılan makinelerin nominal akım değerleri Şekil 4.2 ile gösterilmektedir. Şekil 4.2 incelendiğinde 99 adet makinenin nominal akımlarının çok farklı değerler aldığı görülmektedir.



Şekil 4.2: Tesiste kullanılan makinelerin nominal akımları.

Bununla birlikte nominal akım değerlerinin pek çok kez tekrara düştüğü farklı makinelerin aynı akım değerini çektiği belirlenmiştir. Hangi akım bandından ne kadar makine mevcut olduğunu öğrenmek için makinelerin akım histogram dağılımı Şekil 4.3 ile gösterilmiştir.



Şekil 4.3: Kaynak makinelerinin nominal akım histogram dağılımı.

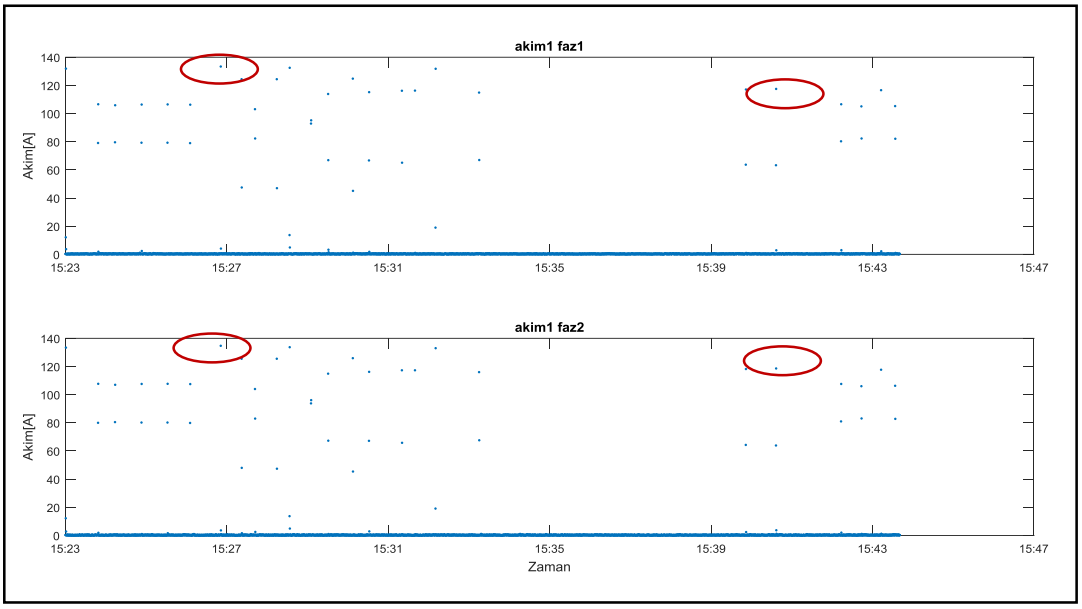
Şekil 4.3 ile gösterilen grafik incelendiğinde 100 amper değerinden küçük 64 adet, 200-300 amper değerleri arasında 15 adet, 300-500 amper arasında 18 adet ve

son olarak 500-800 amper arasında iki adet kaynak makinesi mevcuttur. Sistemde yedi farklı güçte makine bulunmaktadır. Bununla birlikte tesiste en yüksek 782 amper; en düşük 22 amper çeken makineler bulunmaktadır. Bu akım bilgileri gerçek zamanlı ölçüm sonuçlarıyla kıyaslanmıştır.

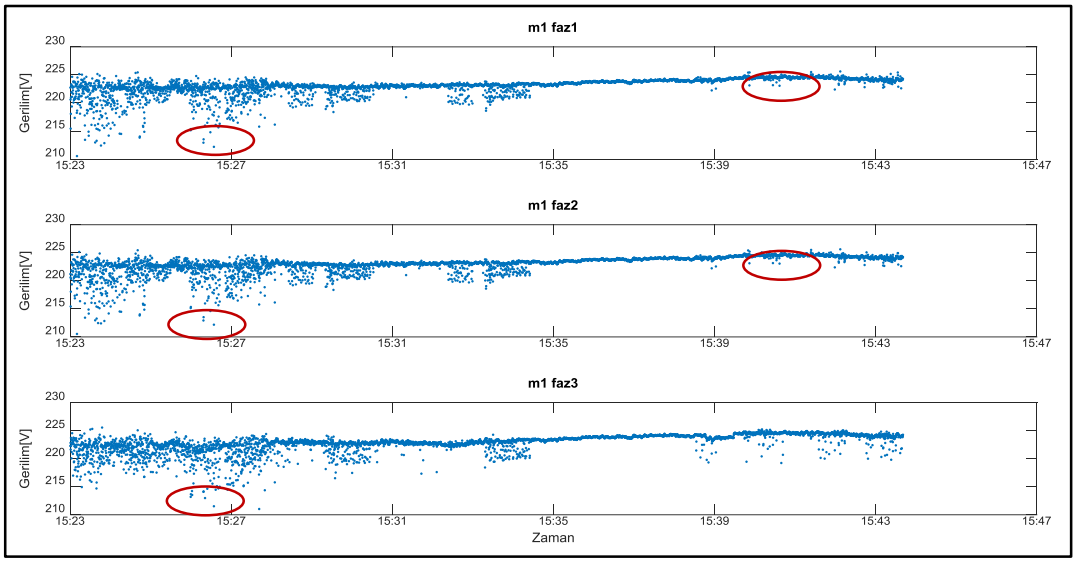
4.1. Makinelerin Gerçek Zamanlı Ölçüm Analizi

İşletmede dağıtım panolarından alınan ölçümler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Ölçülen gerçek zamanlı değerler ile makinelerin nominal akımları değerlendirilmiştir. Makinelerin nominal akımları Tablo 4.1'de tablo halinde özetlenmiştir. Genel olarak makineler nominal akım değerlerinden daha fazla akım çekmiştir. Üretim adedi yoğunluğu makinelerin daha sık çalışmasını gerektirdiğinden, bazı zamanlarda ölçüm yapılan makine çalışmamasına rağmen gerilim düşümleri meydana geldiği görülmüştür.

TT122 nolu makinenin Şekil 4.4 da belirtilen akım grafiğinden anlaşılacağı üzere makine iki fazlıdır. Saat 15:26'da 138 A çekildiği anda Şekil 4.5 de görüldüğü üzere birinci ve ikinci fazda gerilim 212 V'lara düşmüştür. Üçüncü fazda da gerilim 213 V'lara düştüğü görülmüştür. Bunun sebebi ise ölçüm esnasında üçüncü faza bağlı olan makinelerin çalışmasıdır. 15:40 ile 15:43 arasında makine devreye girmiş ama gerilimde düşme görülmemiştir. Bunun sebebi ise tesiste bulunan diğer makinelerin o anda çalışmamasıdır. Faz bir ve faz ikide meydana gelen gerilim düşümleri makinenin çalışmasına engel bir durum oluşturmamaktadır. Ancak bu gerilim seviyeleri üretilen parçalarda Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6 ve Şekil 3.7'den de görüldüğü üzere gözle görülmeyen kalite problemlerine neden olabilmektedir.

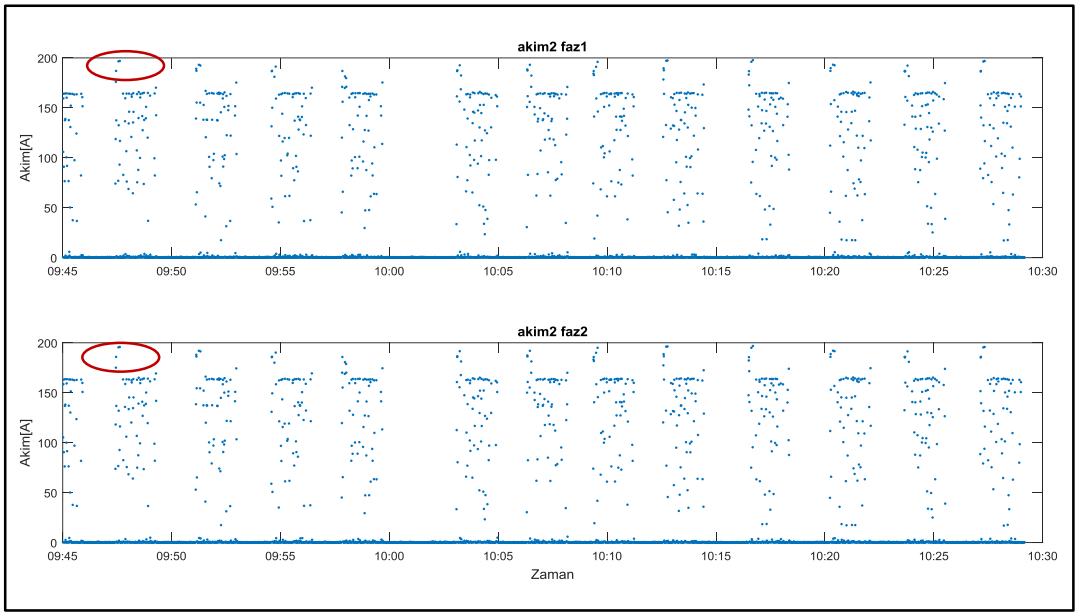


Şekil 4.4: Zamana bağlı akım ölçüm sonuçları (TT122).

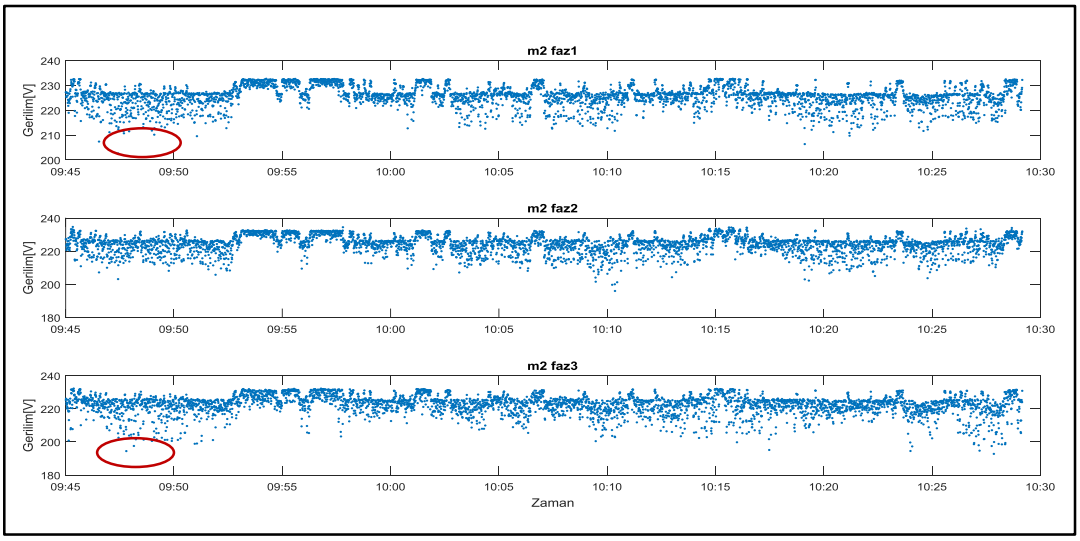


Şekil 4.5: Zamana bağlı gerilim ölçüm sonuçları (TT122).

Şekil 4.6'daki grafik incelendiğinde TT579 makinesi tarafından yaklaşık 190 A değerine kadar bazı zaman aralıklarında akımlar çekildiği görülmektedir. Aynı makinenin gerilim değerlerinin ölçüm sonuçları Şekil 4.7 ile gösterilmiştir. Saat 09:48'de birinci faz ve üçüncü faza bağlı olan makineden nominal akımın üzerinde bir akım çekildiğinde gerilimin birinci fazda 200 V üçüncü fazda ise 190 V'a düştüğü görülmüştür. Bu makine iki fazlı olmasına rağmen ikinci fazda da gerilimin 205 V'lara kadar düştüğü görülmüştür. 9:50 ile 10:00 arasında işletme çay molasına girdiğinden dolayı gerilim 220 V ile 235 V arasında değiştiği görülmüştür.

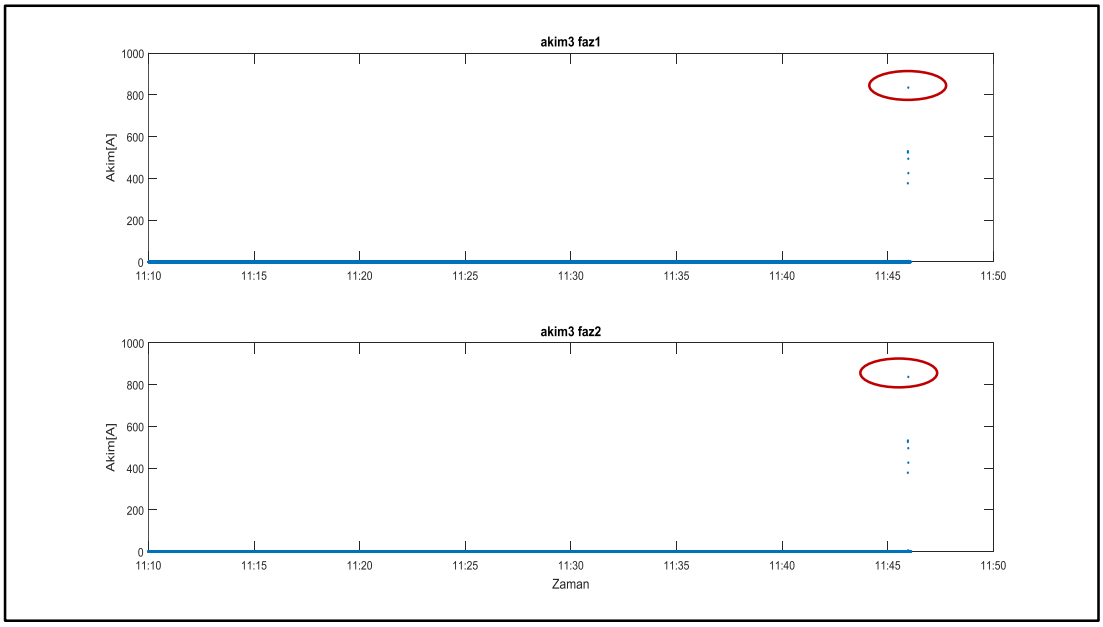


Şekil 4.6: Zamana bağlı akım ölçüm sonuçları (TT579).

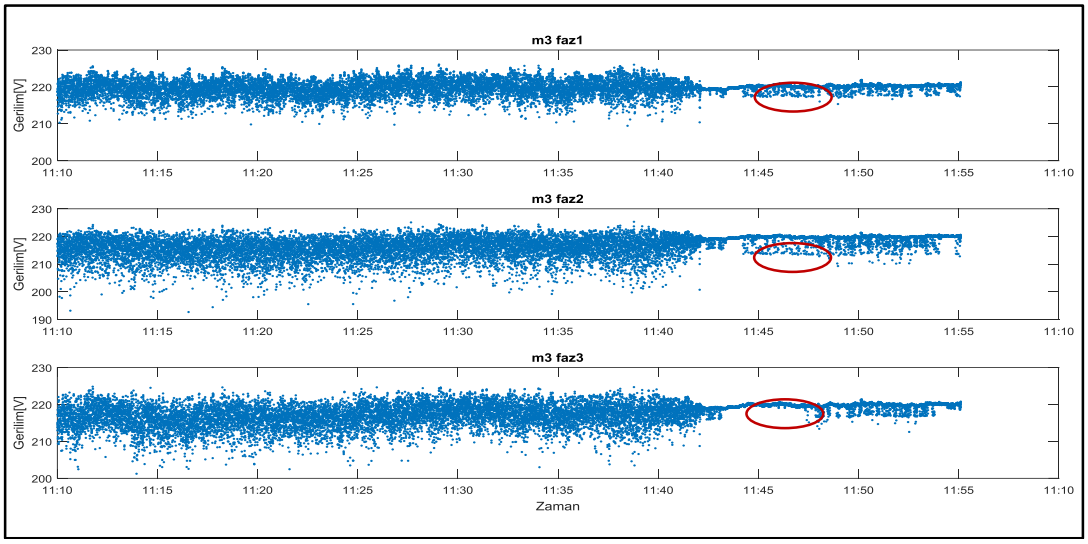


Şekil 4.7: Zamana bağlı gerilim ölçüm sonuçları(TT579).

Şekil 4.8'deki TT250 makinesine ait akım grafiği incelendiğinde saat 11:47'de makinenin 900 A çektiği anda Şekil 2.15'te gösterilen gerilim grafiğinde görüldüğü üzere birinci fazda 215 V, ikinci fazda 212 V üçüncü fazda ise gerilim 220 V seviyelerindedir. TT250 kodlu makinede üretilen parça adedi çok az olduğundan makine fazla çalışmamaktadır. Bu makine genellikle yemek aralarında çalıştırılmaktadır. Şekil 4.9'da da görüldüğü gibi makinenin çalışmadığı sürelerde gerilim düşümleri meydana gelmiştir. Ancak makinenin çalıştığı sürede, makine tek başına çalıştığından gerilim düşümü meydana gelmemiştir.



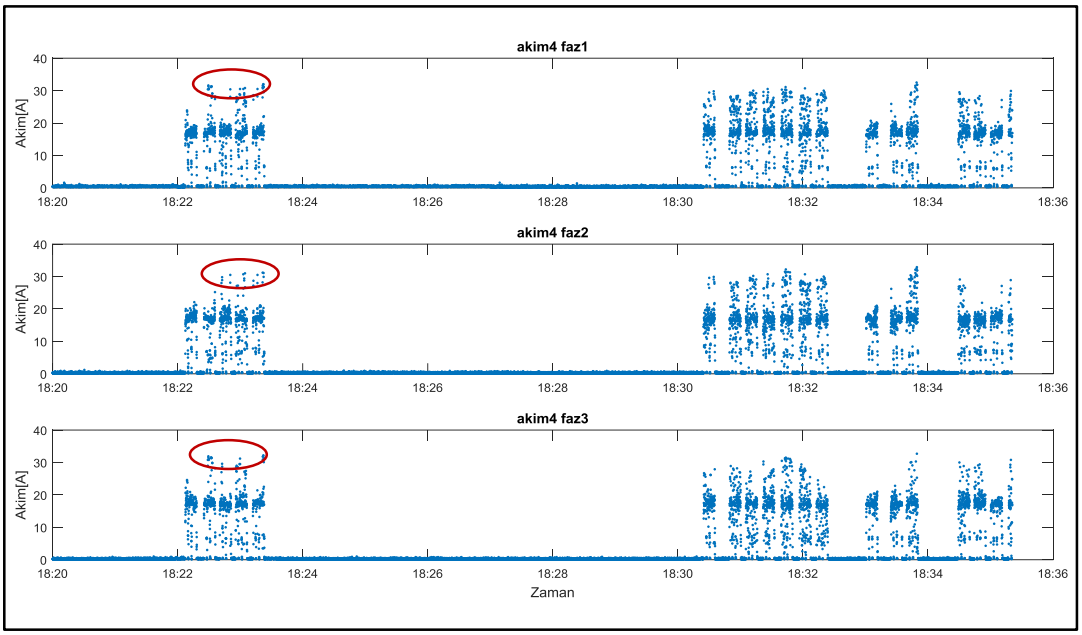
Şekil 4.8: Zamana bağlı akım ölçüm sonuçları (TT250).



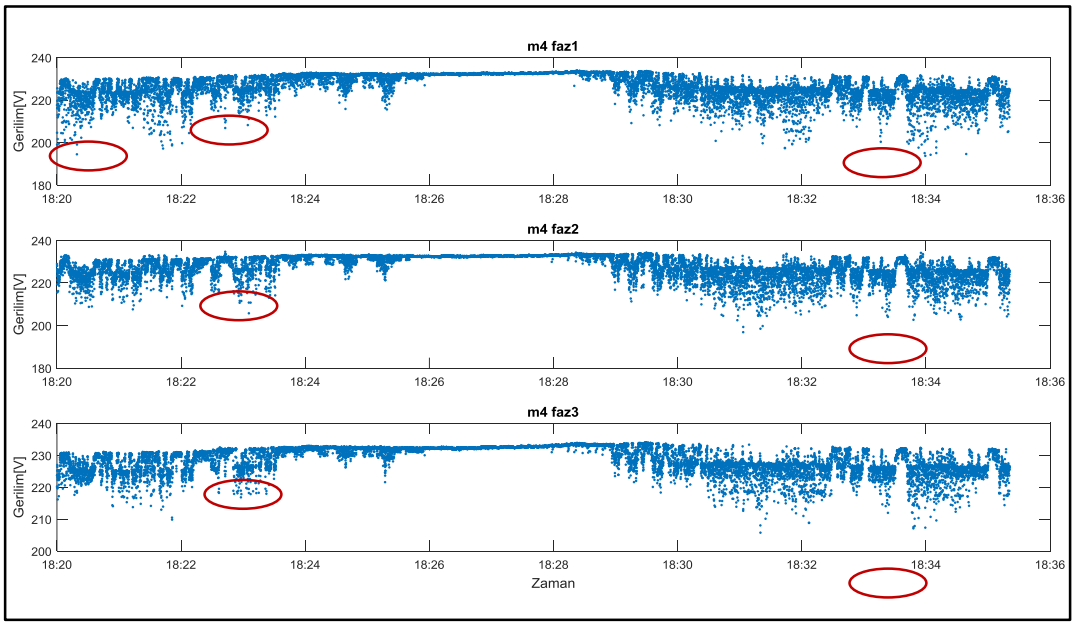
Şekil 4.9: Zamana bağlı gerilim ölçüm sonuçları (TT250).

Şekil 4.10 ve Şekil 4.11'de TT585 adlı üç fazlı makinenin akım ve gerilim grafikleri gösterilmiştir. Saat 18:21'de alınan ölçümler incelendiğinde makinenin çalışmadığı ve makinenin ikinci ve üçüncü fazda gerilimin 215 V'larda olduğu görülmektedir. Ancak, birinci fazda gerilimin 190 V'lara kadar düştüğü görülmüştür. Bu durum 18:21'de sistemde birinci faza bağlı olan diğer makinelerin aynı anda çalıştığını göstermiştir.18:23 ile 18:31 zaman aralığında makinenin çalıştığı görülmektedir. Aynı zaman aralığında gerilim grafiğini incelediğimizde, birinci fazda gerilim minimum 218 V, ikinci fazda 220 V, üçüncü fazda ise 220 V olduğu

görülmüştür. Saat 18:32 de alınan veriler incelendiğinde ise makinenin bu zaman aralığında çalıştığı ve birinci fazda gerilimin 200 V, ikinci fazda ve üçüncü fazda gerilimin 210 V seviyelerinde olduğu görülmüştür.



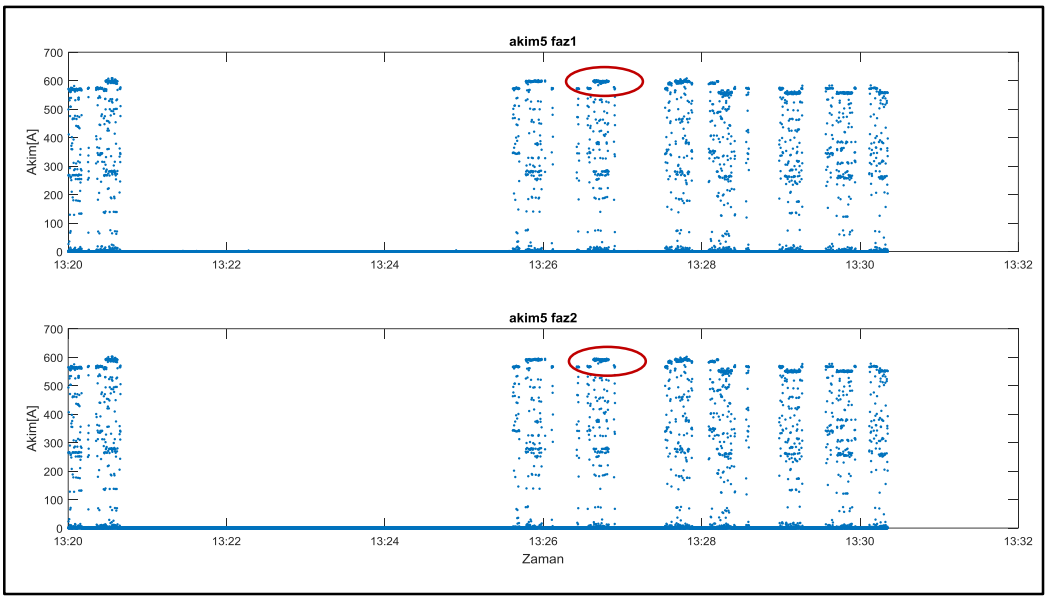
Şekil 4.10: Zamana bağlı akım ölçüm sonuçları (TT585).



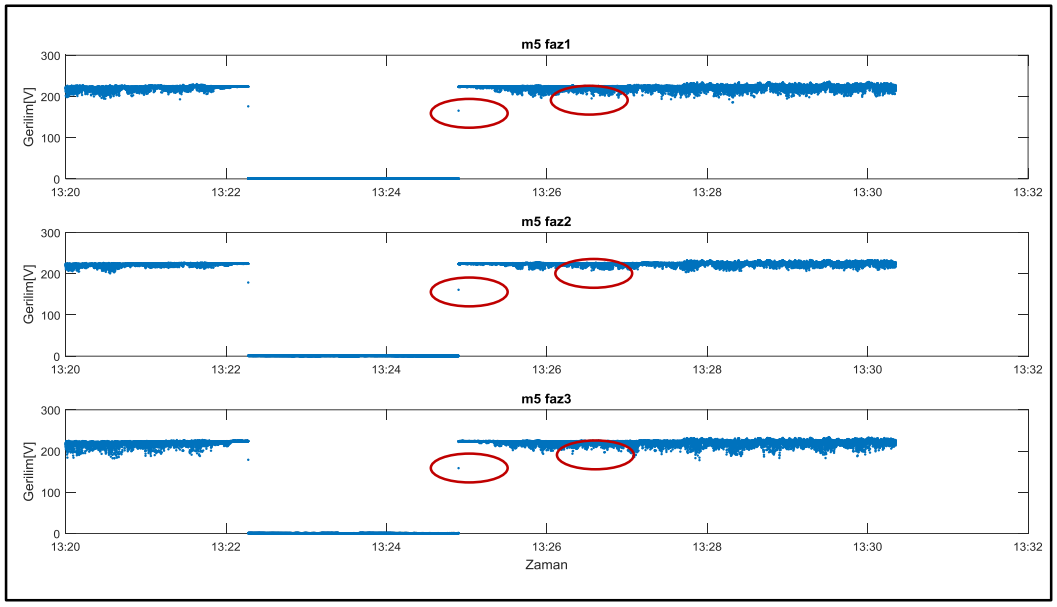
Şekil 4.11: Zamana bağlı gerilim ölçüm sonuçları (TT585).

TT256 makinesi birinci ve üçüncü faza bağlıdır. Şekil 4.12'deki akım grafiği incelendiğinde makine saat 13:27'de yaklaşık 600 A değerine kadar akım çektiği görülmektedir. Aynı zamanda Şekil 4.13'dekigerilim birinci fazda ve üçüncü fazda

200 V ikinci fazda ise 210 V'a düştüğü görülmüştür. Bu durum gösteriyor ki bu ve buna benzer yüksek akım çeken makineler çalıştığı zaman sistemde bağlı oldukları fazlarda gerilim düşümü meydana gelmektedir. Saat 13:25'te makinenin akım çekmediği dolayısıyla çalışmadığı görülmüştür. Buna bağlı olarak gerilimin 190 V'lara kadar düştüğü görülmüştür. Şekil 4.3'de gösterilen histogram grafiğinde görüldüğü üzere sistemde aynı akım değerini çeken makine sayısı onyedidir. Bu makinelerin aynı anda çalışabilecek makine sayısı altı adettir. Bu makinelerden üç adedi aynı anda çalıştığı düşünülürse sistemden 1800 A seviyesinde akım çekilebilir.

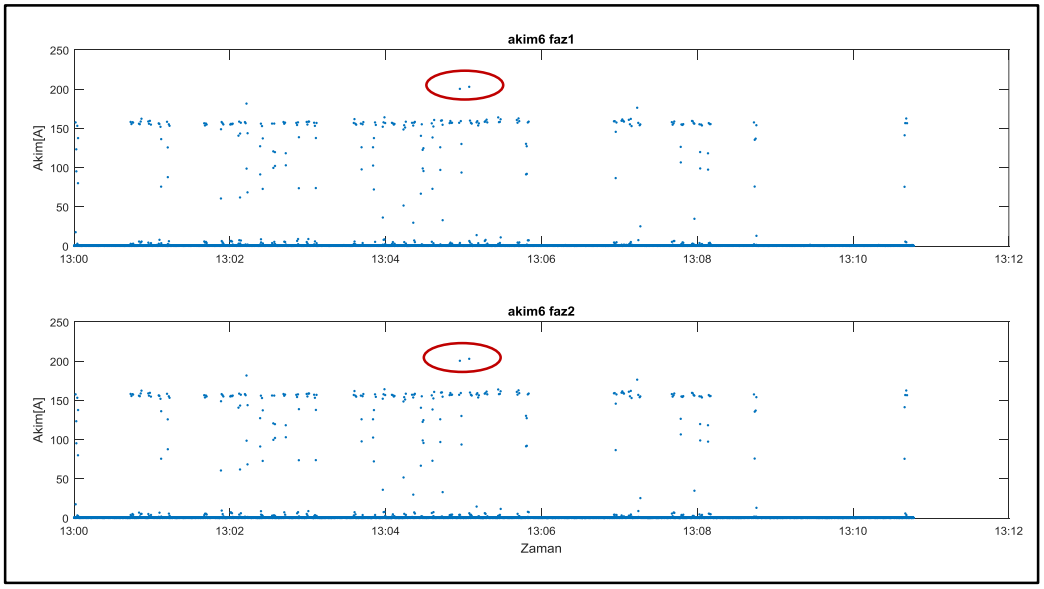


Şekil 4.12: Zamana bağlı akım ölçüm sonuçları (TT256).

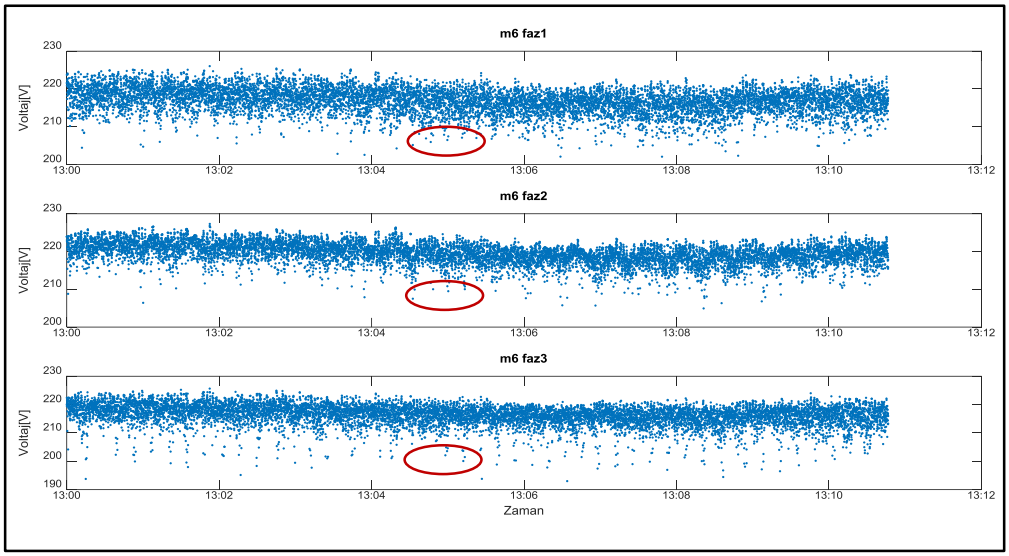


Şekil 4.13: Zamana bağlı gerilim ölçüm sonuçları (TT256).

Şekil 4.14'deki grafik incelendiğinde TT101 makinesi birinci ve ikinci faza bağlıdır. Saat 13:05'te yaklaşık 200 A değerine kadar akım çekildiği görülmektedir. Aynı zamanda Şekil 4.15'den de görüldüğü üzere birinci ve ikinci fazda 210 V'a kadar düştüğü görülmüştür. Üçüncü fazda gerilim 190 V'a düştüğü görülmüştür. Üçüncü fazda daha fazla gerilimin düşümünün sebebi üçüncü faza bağlı kaynak makinelerinin aynı anda çalışmasıdır.

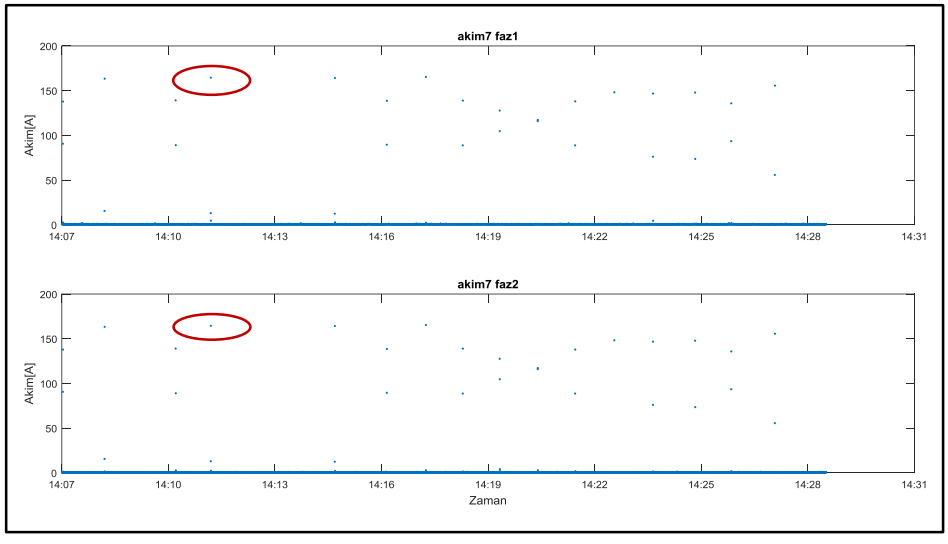


Şekil 4.14: Zamana bağlı akım ölçüm sonuçları (TT101).

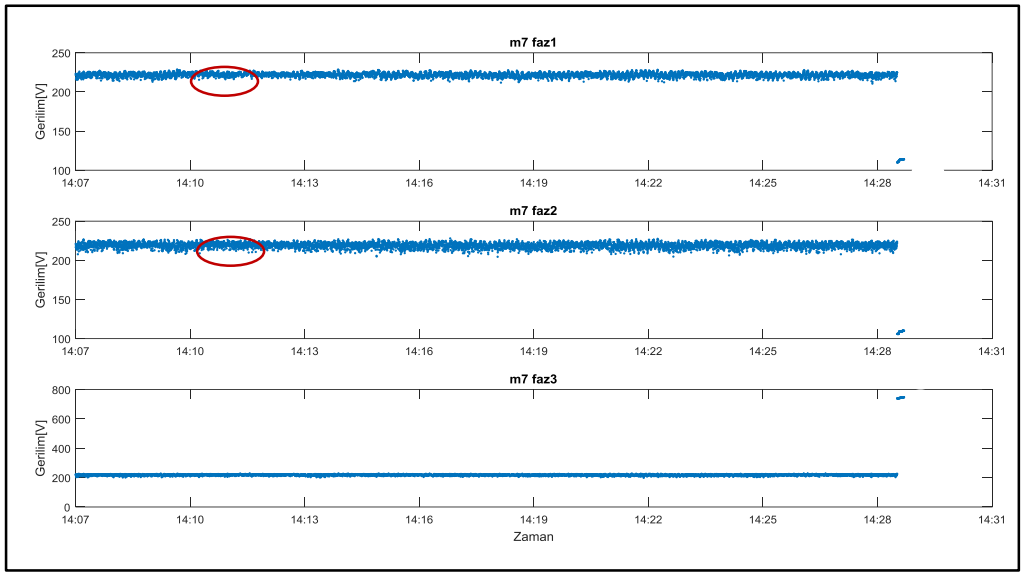


Şekil 4.15: Zamana bağlı gerilim ölçüm sonuçları (TT101).

Şekil 4.16'daki grafik incelendiğinde saat 14:11'de TT105 makinesi tarafından yaklaşık 150 A değerinde akım çekildiği görülmektedir. Şekil 4.17 incelendiğinde 14:11'de gerilim birinci ve ikinci fazda 210 V'a düştüğü görülmektedir. Üçüncü fazda gerilimin sık sık 200 V değerine kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Bu durum gösteriyor ki 14:07 ile14:31 arasında üçüncü faza bağlı makinelerin üretim yoğunluğu fazladır. Bu da makinelerin aynı anda çalışma olasılığını artırmaktadır. Bu sebeple üçüncü fazda gerilim düşümü sık sık yaşanmıştır.

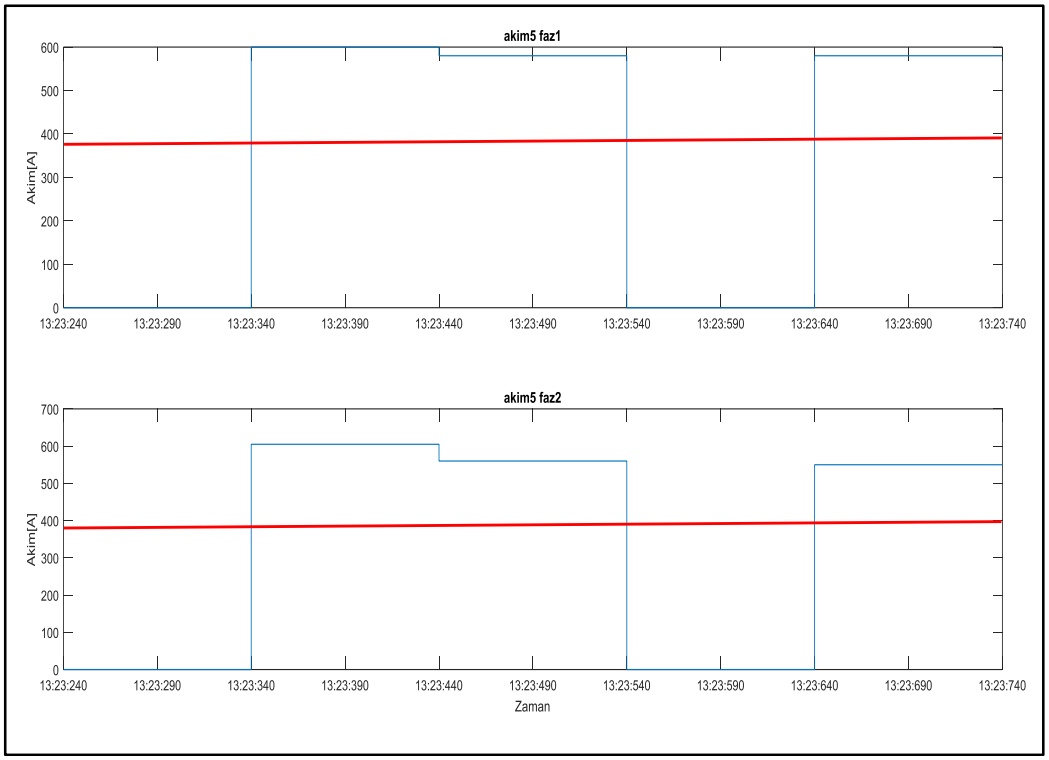


Şekil 4.16: Zamana bağlı akım ölçüm sonuçları (TT105).



Şekil 4.17:Zamana bağlı gerilim ölçüm sonuçları (TT105).

TT256 makinesi için zaman aralığının daraltılmış akım grafiği Şekil 4.18 ile gösterilmiştir. Şekil 4.12'ye bakıldığında endüstriyel tesisteki ölçmümleri alınan makinenin birinci ve ikinci fazları için odaklanılmış maksimum akım değerleri gösterilmiştir. Grafikten de görüldüğü üzere 15:23:340-15:31:540 zamanları arasındaki akımı 600 amper ile en yüksek değerine ulaşmıştır. 200 milisaniye boyunca sistemden 600 amper çekilmiş ve bu esnada diğer makinelerin de çalıştığı düşünülürse sistemden anlık aşırı akımların çekilebileceği öngörülmektedir. Bu makinenin nominal akımı 395 amperdir. Makine nominal akımından 205 amper daha fazla akım çektiği görülmüştür. Burada gerilim düşümünün temel sebebi sistemin nominal akım ve eş zamanlılık katsayısına göre boyutlandırılmasıdır. Diğer altı adet makinede de benzer problemler meydana gelmektedir. Bu nedenle diğer altı makinenin zaman aralığının daraltılmış akım grafiği EK B ile verilmiştir.



Şekil 4.18: TT256 makinesi için zaman aralığı daraltılmış akım grafiği.

Tablo 4.1: Makinelere ait nominal akım ve çekilen pik akım tablosu.

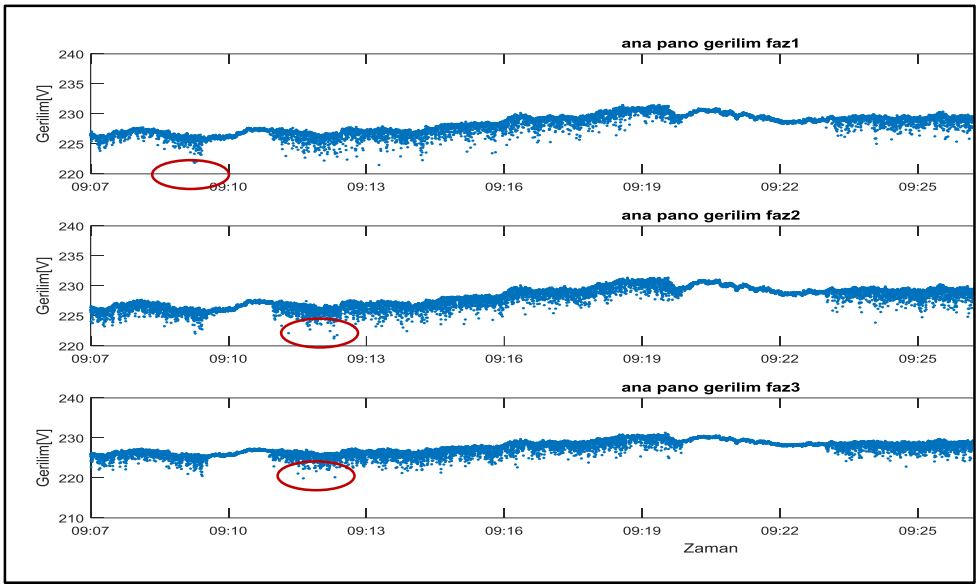
Makine Numarası	Makine Kodu	Nominal Akım (A)	Çekilen Pik Akım(A)
m1	TT122	92	138
m2	TT579	95	190
m3	TT250	782	900
m4	TT585	22	32
m5	TT256	395	600
m6	TT101	216	200
m7	TT105	87	150

Tablo 4.1 incelendiğinde makineler genel olarak milisaniyeler mertebesinde nominal akımdan daha fazla akım çektiği gözlemlenmiştir. TT579 makinesinin nominal akımı 95 amper olmasına rağmen 190 amper akım çektiği görülmüştür. Aynı busbar hattına bağlı makinelerin aynı anda çalışma olasılığı düşünüldüğünde sistemden milisaniyeler mertebesinde yüksek akımların çekilebileceği öngörülebilmektedir. Bu olay [23] numaralı çalışmada incelenmiştir. Sistemden

çekilen bu aşırı akımlardan dolayı, ana panoda gerilim düşümü meydana gelip gelmediği incelenecektir.

4.2. Ana Panonun Gerçek Zamanlı Ölçüm Analizi

Makinelerin gerilim grafikleri incelendiğinde gerilimin 190 V'lara kadar düştüğü gözlemlenmiştir. Ancak ana panoya ait Şekil 4.19'da verilen gerilim grafiği incelendiğinde birinci fazda minimum gerilim 222 V, ikinci fazda minimum gerilim 222, üçüncü fazda ise minimum gerilim 220 V olduğu görülmektedir. Sistemden çekilen aşırı akımlar milisaniyeler mertebesinde olduğundan dolayı, hat başı geriliminde gerilim düşümü meydana gelmemektedir. Ancak kaynak makineleri aynı anda çalışıp sistemden aşırı akım çektiğinde hat sonuna yakın makinelerde gerilim düşümü meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 4.19: Ana panoya ait gerçek zamanlı gerilim grafiği.

4.3. Endüstriyel Tesiste Gerilim Düşüm Hesabı

Elektrik tesisatının yapılmasında en önemli rehber Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği'dir. Bu yönetmelikte gerilim düşüm hesabının nasıl yapılacağı ve gerilim düşümünün hangi sınırlar içinde olması gerektiği açıkça belirtilmiştir. Elektrik İç Tesisler Yönetmeliği'ne göre; iç tesis hatlarında sürekli en büyük işletme akımı ile işletme gerilimine göre yüzde gerilim düşümü; Yapı bağlantı kutusu ile tüketim

araçları arasında: Aydınlatma ve priz devreleri için %1.5'i, Motor devreler için %3'ü geçmemelidir. Yapının ya da yapı kümesinin beslenmesi için bir transformatör kullanılmışsa, bu transformatörü çıkış uçları ile yapı bağlantı kutusu arasındaki gerilim düşümü %5'i geçmemelidir [22]. Elektrik İç Tesisatları Yönetmeliği'ne göre gerilim düşümü hesapları Tablo 4.2 ile gösterilmiştir.

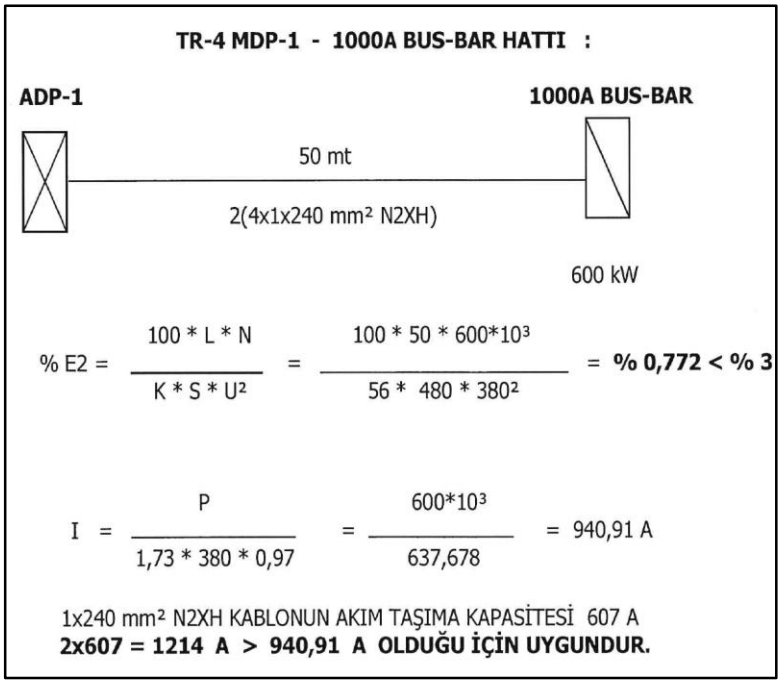
Tablo 4.2: Gerilim düşümü hesabı.

DEVRELER	**VOLT**	**FORMÜLLER**	**SONUÇ**
3 Faz	220/380	$\%e = \frac{100\,L.N.}{K.S.U.^2} =$	$0{,}0124\,\frac{L.N.}{S.}$
1 Faz		$\%e = \frac{200\,L.N.}{K.S.U.^2} =$	$0{,}074\,\frac{L.N.}{S.}$

Burada %e : gerilim düşümü, N: güç (kW), U: gerilim (V), L: hat mesafesi (m), S: iletken kesiti (mm^2), K: iletkenlik katsayısı (m/Ωmm2) anlamına gelmektedir.

Tablo 4.2'den görüleceği üzere 3 fazlı sistemlerde gerilim düşümüne; sistemde bulunan güç , şebeke gerilimi, hat mesafesi, iletken kesiti, iletkenlik katsayısı etki etmektedir.

Tablo 4.2'ye göre işletme için yapılan gerilim düşümü hesapları Şekil 4.20 ile gösterilmiştir. Bu hesap fabrika kurulumunda yetkili firma tarafından yapılmış olup, ilgili kurumlarca onaylanmıştır. Bu hesapta bir adet busbar için yük gücü 600 kW olarak belirlenmiştir. Bu yük, fabrika kurulmadan önce fabrika mühendisleri tarafından belirlenmiştir. Ana pano ile busbar girişi için 50 metre uzunluğunda 2 (4x1x240 mm² N2XH) kablo seçilmiştir. Dolayısıyla faz başına kesit 480 mm²'dir. Faz-faz arası gerilim 380 V olarak seçilmiştir. Bu bilgilere göre gerilim düşümü %0.772 olarak hesaplanmıştır. 600 kW yüke göre akım ise 940 A olarak hesaplanmıştır. Seçilen kablonun akım taşıma kapasitesi 1214 A olduğundan dolayı, kablo seçimi uygundur.



Şekil 4.20: Endüstriyel tesise ait gerilim düşümü hesabı.

Gerilim düşüm hesabı için seçilen güç makinelerin nominal akımına göre belirlenmiştir. Ancak Tablo 4.1'den görüldüğü üzere makineler nominal akımlarından daha fazla akım çekmektedir. Bu durum anlık olarak sistemden aşırı akım, dolayısıyla aşırı güç çekildiğini göstermektedir.

4.4. Sonuç ve Değerlendirme

İşletmede bulunan 99 kaynak makinesinden 7 çeşit bulunmaktadır. Makine çeşitlerine bakacak olursak, bir adet makine üç fazlı olup, diğer altı makine iki fazlıdır. Herbir makine grubuna ait akım ve gerilim grafiği detaylı olarak incelenmiştir. Tablo 4.1'den görüldüğü üzere TT256 makinesinin nominal akımı 395 A'dir. Ancak makine sistemden 600 A çekmektedir. Bu durum sistemde milisaniyeler mertebesinde ani akımlar çekilebileceğini gösteriyor.

Şekil 4.20'de görüldüğü gibi sistem için hesaplanan gerilim düşümü hesabına göre kablo kesidi uygundur. Ancak işletmede bulunan kaynak makineleri nominal akımdan daha fazla akım çektiklerinden hat sonuna yakın makinelerde gerilim düşümü meydana gelmektedir. Şekil 4.19'da görüldüğü üzere hat başında gerilim düşümü meydana gelmediği görülmektedir.

Makine girişlerinden alınan enerji ölçümlerinden gerilim grafikleri incelendiğinde sistemde gerilim 190 V'lara kadar düşmüştür. Bu gerilim düşümüne yönelik işletme de önlemler alınmıştır. Bu önlemler bir sonraki bölümde incelenecektir.

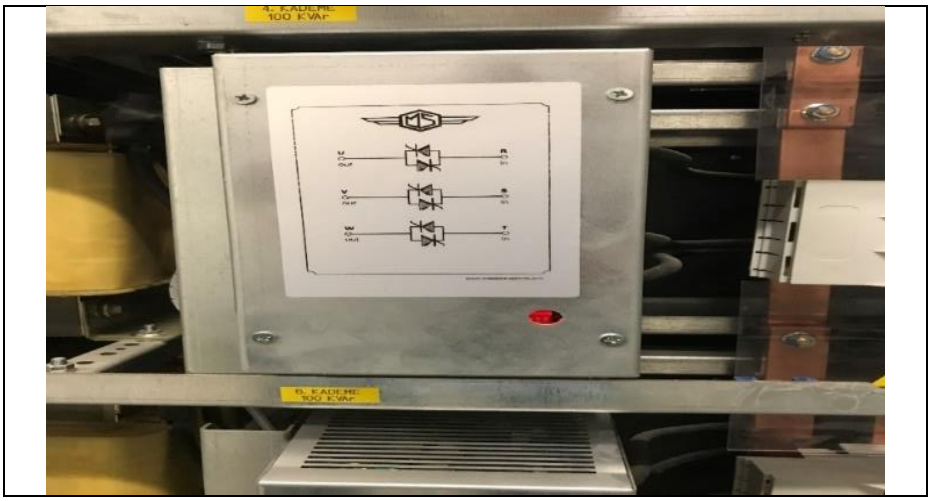
5. GERİLİM DÜŞÜMÜNE YÖNELİK ALINAN ÖNLEMLER

Bir önceki bölümde endüstriyel tesiste yaşanan gerilim problemi farklı makinelerde detaylı olarak incelenmiştir. Sistem boyutlandırması nominal akıma göre yapıldığından ve kaynak makinelerinin nominal akımlardan daha yüksek genlikli akımlar çektiğinden dolayı gerilim düşümü problemi yaşanmıştır. Gerilim düşüm değerleri genel olarak ana panoda faz-nötr arasında %4 ile %13 arasında gerçekleşmiştir. Kaynak dağıtım panolarında ise %20'lere kadar gerilim düşümü olduğu gözlemlenmiştir.

Gerilim düşümü probleminin tesiste neden olduğu kalite problemleri bir önceki bölümde anlatılmıştır. Bu problemi gidermek adına fabrikada bir dizi önlemler alınmıştır. Bu önlemler ; tristör kartı değişimi, kompanzasyon röle değişimi, kompanzasyon kademe ayarı ve trafo kademe ayarı olarak sıralanmaktadır.

5.1. Tristör Kartı Değişimi

Tristör kartı kompanzasyon sistemlerinde kullanılmaktadır. Sistemden yük çekildiğinde ilgili reaktif güce göre tristör kartlarıyla ilgili kompanzasyon kademeleri devreye girmektedir. Bu kademeler ile reaktif güç sınırlandırılması gerçekleştirilmektedir. Kompanzasyon sistemindeki tristör kartları daha hızlı tristör kartları ile değiştirilmiştir. Tristörlerin tepki verme süresi 900 milisaniyeden 300 milisaniye'ye kadar düşürülmüştür. Kaynak ekipmanları kaynağı milisaniyeler mertebesinde gerçekleştirdiği için hızlı tristör kartlarıyla sistemden çekilen reaktif güce hızlı bir cevap verilmesi beklenmektedir. Tristör kartı değişiminden sonra kompanzasyon sistemi daha hızlı devreye girip çıktığı gözlemlenmiştir. Bu da Tablo 5.2'den görüldüğü üzere gerilim düşümüne %0.95 olumlu etki etmiştir. Değiştirilen tristör kartı Şekil 5.1 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.1: Tristör kartı.

5.2. Kompanzasyon Röle Değişimi

Bir diğer yöntem tek fazlı kompanzasyon rölesi yerine üç fazlı kompanzasyon rölesi kullanılmasıdır. Tek fazlı kompanzasyon rölesi Şekil 5.2 ile gösterilmiştir. Üç fazlı kompanzasyon rölesi Şekil 5.3 ile gösterilmiştir. Tek fazlı kompanzasyon rölesi üç fazlı sistemlerde ilgili tek faza bağlanmaktadır. Sistemden akım çekildiğinde, çekilen akım üç ile çarpılıp ilgili kompanzasyon kademelerini devreye sokmaktadır. Bu durum dengesiz akım çekilen sistemlerde kompanzasyonun düzgün bir şekilde yapılamamasına neden olmaktadır. Bundan dolayı tek fazlı kompanzasyon rölesi yerine üç fazlı kompanzasyon rölesi kullanılmıştır. Dengesiz yüklerde üç fazlı kompanzasyon rölesi sistemi tek fazlı kompanzasyon rölesine göre daha iyi kompanze etmektedir. Fakat; bu önlem alındıktan sonra sistemde gerilim düşümü problemi devam etmiştir. Bunun sebebi olarak ilgili trafodan nominal akımın üzerinde bir akım çekilmesi gösterilebilir. Ancak röle değişimi sonrası Tablo 5.2'den görüldüğü üzere gerilim düşümüne %0.36 olumlu katkı sağlanmıştır.



Şekil 5.2: Tek fazlı kompanzasyon rölesi.



Şekil 5.3: Üç fazlı kompanzasyon rölesi.

Tek fazlı röle ve üç fazlı röle için sistemden çekilen reaktif güçler Tablo 5.1 ile verilmiştir. Tablodan da görüleceği gibi dengesiz olan sistemden 400 kVAr reaktif güç çekilmiştir. Buna bağlı olarak tek fazlı röle Faz-2'ye bağlıdır ve sistemden 150 kVAr reaktif güç çektiği görülmektedir. 3 fazlı rölenin ise 400 kVAr yük çektiği görülmektedir. Dolayısıyla, kompanzasyon sisteminde tek fazlı röle bağlanırsa 300 kVAr'lık kondansatör devreye girecektir. Ancak sistemin ihtiyacı olan güç 400 kVAr olduğundan dolayı sistem düzgün kompanze edilemeyecektir.

Tablo 5.1: Fazlardan çekilen reaktif güç.

Güç	Faz-1	Faz-2	Faz-3
Reaktif Güç(kVAr)	50	150	200
Toplam Güç (kVAr)	400		
Tek Fazlı Rölenin Hesapladığı Reaktif Güç(kVAr)	300		
3 Fazlı Rölenin Hesapladığı Reaktif Güç(kVAr)	400		

5.3. Kompanzasyon Kademe Ayarı

Kompanzasyon panosunda on iki adet kompanzasyon kademesi bulunmaktadır. Bu kademelerden üç tane kademe sabit alınarak, sistemin reaktif akımı sınırlandırılmaya çalışılmıştır. Bu önlemle beraber sistemin ana hat gerilim yükseltilmesi amaçlanmıştır. Bu önlem alındıktan sonra sistemde gerilim düşümü problemi devam etmiştir. Üç adet kompanzasyon kademesinden daha fazla kademe sürekli çalışır şekilde devreye alındığında işletmenin kapasitif ceza ile karşı karşıya kalma riski oluşmaktadır. Ayrıca sistemde gerilim yükselmesi problemi de oluşacağından sadece üç adet kompanzasyon kademesi sabite alınmıştır. Bu önlem sonrası Tablo 5.2'den görüldüğü üzere gerilim düşümüne %1.03 olumlu katkı sağlanmıştır.

5.4. Trafo Kademe Ayarı

Trafo kademe ayarlarının değiştirilebileceğine karar verilmiştir. Ancak enerji ölçüm sonuçlarından maksimum gerilim 413 V olarak gözlemlenmiştir. Sistemde trafo kademe ayarı değiştirme durumunda sistemin 431V'a kadar çıkabileceği görülmüştür. Bu önlem ile gerilimin 18 V kadar artırılabileceğini ancak ekipmanların nominal çalışma gerilimi 380V ile 400V olduğundan dolayı 431 V'un ekipmanlara zarar verebileceği öngörülmüştür. Trafo kademe ayarı Şekil 5.4 ile gösterilmiştir.



Şekil 5.4: Trafo kademe ayarı.

5.5. Sonuç ve Değerlendirme

TT256 makinesi için tristör kart değişimi, kompanzasyon röle değişimi, kompanzasyon kademe ayarı önlemlerinden sonra ölçümler alınmıştır. Her bir önlemden sonra alınan ölçüm sonuçları Tablo 5.2'de gösterilmiştir. Bu ölçüm sonuçlarına göre önlem öncesi birinci fazdaki minimum gerilim 190 V iken önlemlerden sonra gerilim 194.5 V'a çıkmıştır. İkinci fazda ise 191 V olan gerilim 194.9 V'a çıkmıştır.

Tablo 5.2: TT256 nolu makineye ait gerilim sonuçları.

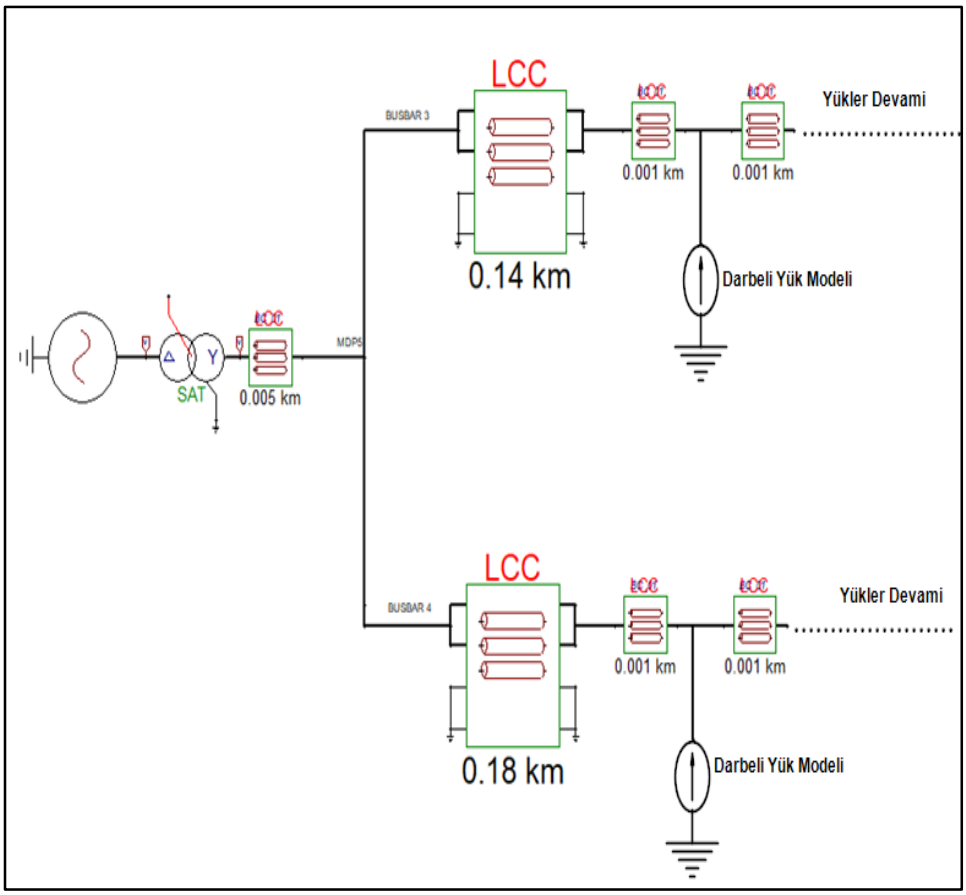
TT256 NOLU MAKİNENİN ALINAN ÖNLEMLER ÖNCESİ VE SONRASI GERİLİM DEĞİŞİMLERİ				
Fazlar	**Önlem Öncesi**	**Tristör Kartı Değişimi**	**Kompanzasyon Röle Değişimi**	**Kompanzasyon Kademe Ayarı**
Faz 1-Nötr Gerilimi(V)	190	191.8	192.5	194.5
Faz 3-Nötr Gerilimi(V)	191	192.6	193.6	194.9

Tablo 5.2'den görüldüğü üzere önlemler sonrası gerilim düşümü problemi devam etmiştir. Alınan bu önlemler sistemin gerilim düşümüne %2.36 seviyesinde fayda sağlamış olup, bu yöntemlerin kalıcı olmadığı gözlemlenmiştir. Bundan dolayı sistemden yük çıkarılmak zorunda kalınmıştır. Çıkarılacak yükü belirlemek için sistemde birçok ölçüm yapılmıştır. Belirlenen yükler sistemden çıkarıldığında sistemde gerilim düşümü meydana gelmemiştir. Bu durum işleyen bir endüstriyel işletme için olumsuz bir durum olduğundan, endüstriyel işletme tasarlanmadan önce önlem alınması gerekmektedir. Tasarlanacak sistemde bulunan ekipmanların nominal akımlarının yanında mümkünse sistemden çekebilecekleri peak akımları da analiz edilmelidir. Bu tezde yapılan analitik çözümlerle endüstriyel işletme yapılmadan önce yükler ilgili yazılıma girilip, sistemde gerilim düşümü olup olmayacağı anlaşılabilmektedir. Gerilim düşümü olmayacak şekilde elektriksel alt yapı tasarlanıp, işletme devreye girdikten sonra bu duruşların önüne geçilebilir.

6. ENDÜSTRİYEL TESİSİN MODELLENMESİ

İşletmede alınan önlemler geçici ama gerilimi düzeltmek için olumlu önlemlerdir. Fakat önlemler sonrası gerilim istenilen düzeyde olmadığından sistemden yük çıkarılmak zorunda kalınmıştır. Sistemde darbeli yük çeken makineler bulunduğunda, işletme tasarım aşamasındayken sistemde gerilim düşümü olup olmayacağı için sistemin modellenmesi gerekmektedir.

Tezin bu kısmında endüstiyel tesisin modellenmesi anlatılacaktır. Endüstriyel tesisin modellenmesi için Electro Magnetic Transient Program (EMTP) kullanılmıştır. ATP-Draw arayüzü ile birlikte benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.1 ile ilgili endüstriyel tesisin ATP-Draw benzetimi gösterilmiştir.



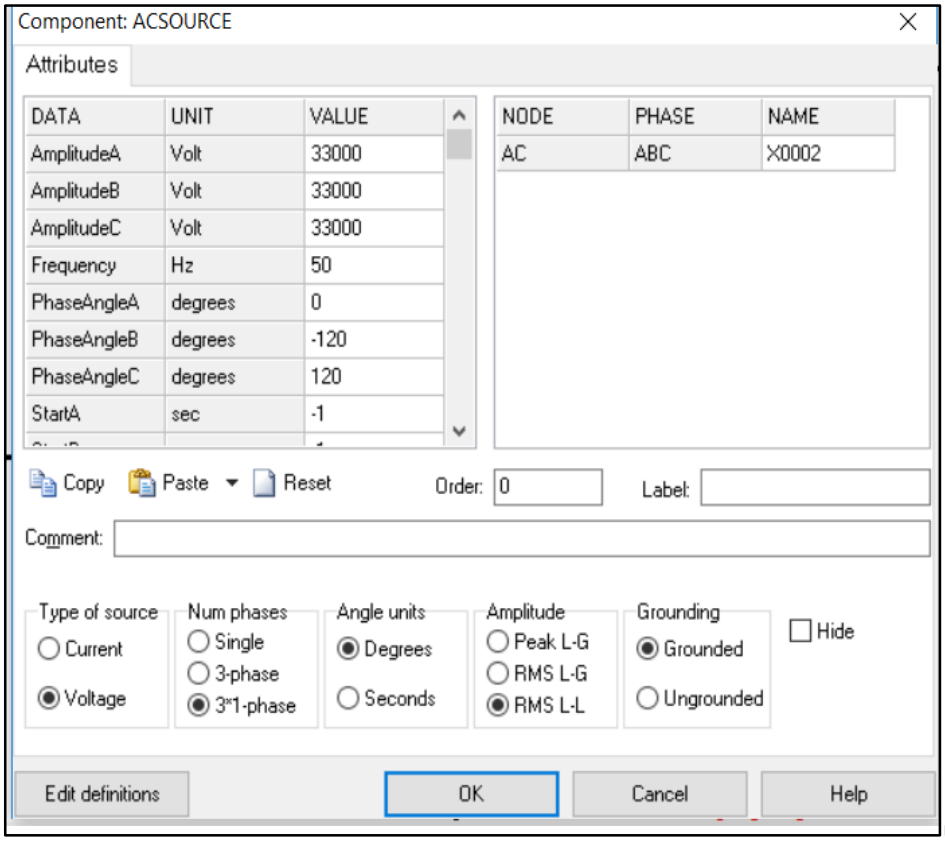
Şekil 6.1: Endüstriyel tesisin ATP-Draw benzetimi.

Gerilim düşümü hesabını gerçekleştirmek için sistemdeki tüm elemanların empedans bilgilerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle tüm elemanların sıra

ile modellenmesi gerçekleştirilmiştir.Tesiste bulunan 99 adet makinesinin analizi EMTP-ATP Draw arayüzü ile gerçekleştirilememiştir.

6.1. Kaynak Modellenmesi

Modellemesi yapılan endüstriyel tesiste kullanılan kaynağın ATP-Draw menüsüŞekil 6.2 ile gösterilmiştir. Kaynak olarak üç fazlı Type-14 kaynak kullanılmıştır. Bununla birlikte kaynağın sebep olduğu gerilim düşümübu tezin sınırları içerisinde yer almadığından dolayı kaynak dengeli (Faz A 0°, Faz B -120°,Faz C 120°) olarak modellenmiştir.



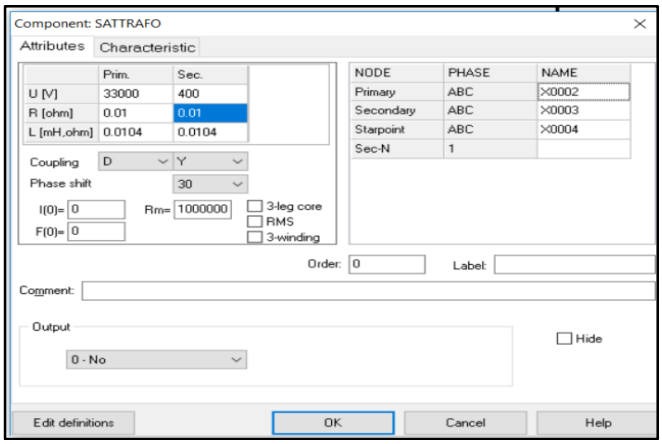
Şekil 6.2: Kaynak modellenmesi ara yüzü.

33/0.4 kV'luk güç trafosu modellenmesi yapılacağı için faz gerilimleri 33.000 V olarak ve genlikte hat gerilimi olarak elde edilmiştir. Ayrıca kaynak Type-14'e uygun olarak direkt topraklı modellenmiştir.

Kaynak modellemesinde kaynak empedansı sistem çok güçlü olduğundan dolayı ihmal edilmiştir.

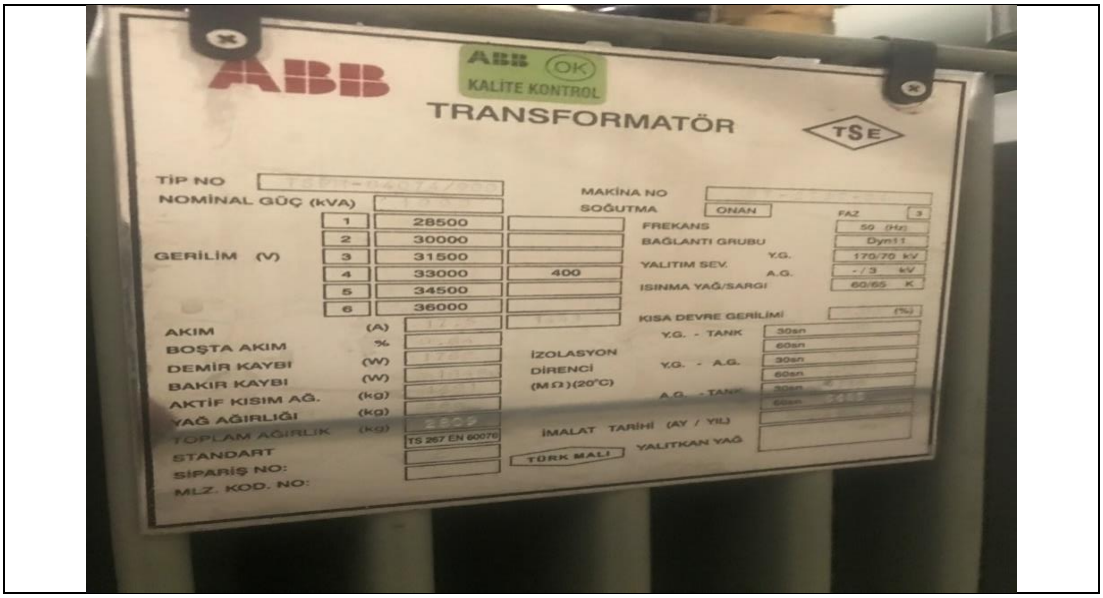
6.2. Trafo Modellemesi

Modellemesi yapılan endüstriyel tesiste kullanılan trafonun ATP-Draw menüsü Şekil 6.3 ile gösterilmiştir. Trafo doyumu ihmal edilmiştir.



Şekil 6.3: Trafo modellenmesi ara yüzü.

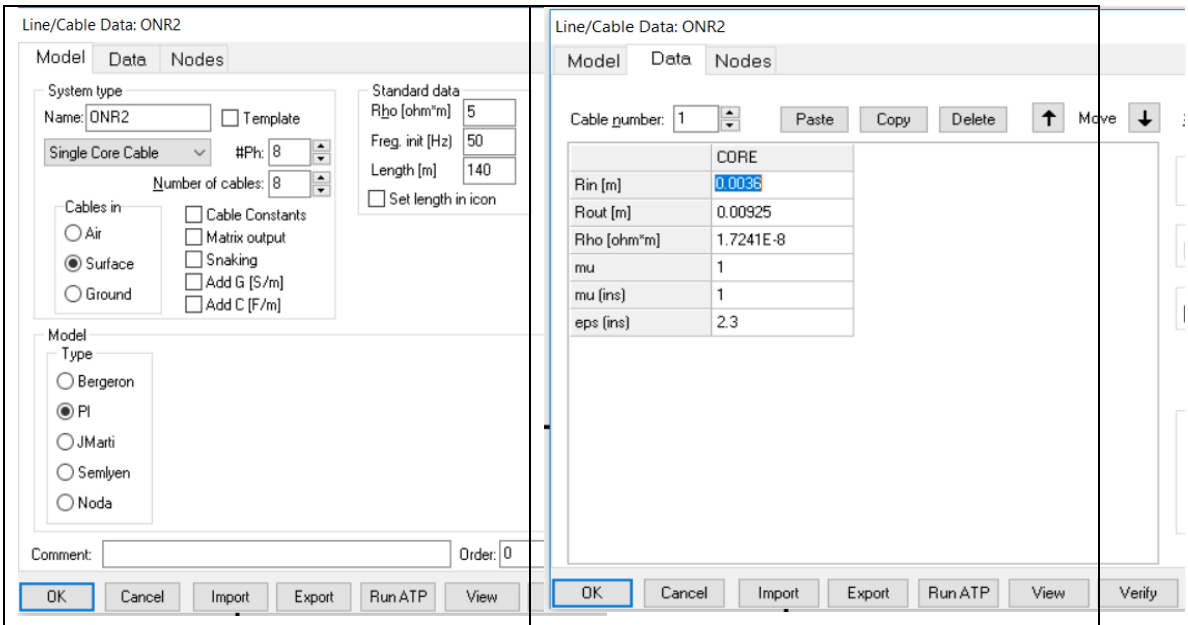
Trafo topraklaması endüstriyel tesise uygun olarak orta gerilim tarafı üçgen, alçak gerilim tarafı ise direkt topraklı olarak modellenmiştir. Trafonun bağlantı yapısından dolayı 30° faz açısı oluşmaktadır. İlgili trafonun etiket bilgisi Şekil 6.4 ile gösterilmiştir. Trafo empedans değeri Z_{Trafo}=0.01+j3.266 Ω olarak bulunmuştur. Trafonun %7 kısa devre gerilim değeri bulunmaktadır.



Şekil 6.4: Trafo etiketi.

6.3. Kablo Modellenmesi

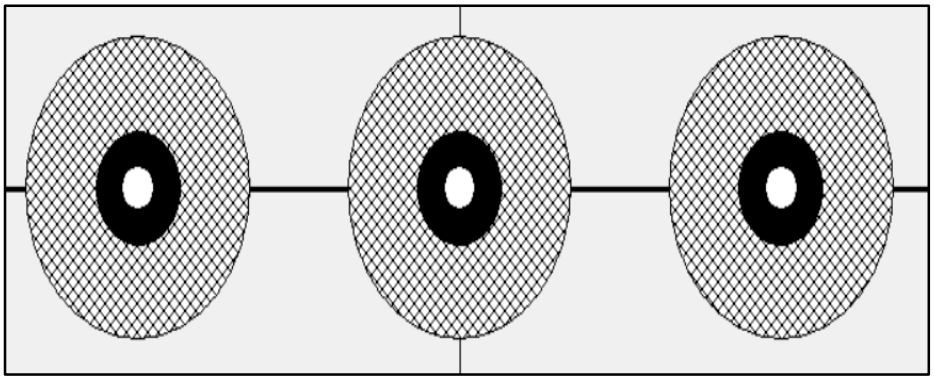
Modellemesi yapılan endüstriyel tesiste kullanılan kabloların ATP-Draw menüsü Şekil 6.5 ile gösterilmiştir. Şekil 6.5.a'da kablonun model yapısı belirlenmiştir. Kablo herhangi bir yere gömülü olmadığı için ATP-Draw programında yüzey(surface) olarak seçilmiştir. Kablo yapısının yanlış seçilmesi endüktans ve kapasitans değerlerinin hatalı olmasına neden olmaktadır. Kablo tipi olarak tek damarlı kablolar kullanılmıştır. Şekil 6.5.b'de kablonun geometrik bilgisinden ATP-Draw için gerekli olan bilgiler gösterilmiştir.



a) Model bilgileri | b) Data bilgileri

Şekil 6.5: Kablo modellenmesi ara yüzü.

Endüstriyel tesiste iki tip kablo bulunmaktadır. Birinci kablo trafodan ana busbar hatlarına gelen kablodur. Diğer kablo tipi ise ana busbar ile darbeli yükler arasında bulunan kablolardır. MDP5 trafosundan ana busbarlara sırasıyla Busbar 3 için 140 metre, Busbar 4 için ise 180 metre kablo mesafesi bulunmaktadır. Ana busbar hattı ile darbeli yükler arasında bulunan kablolar ise yaklaşık olarak birbirlerine eşit ve bir metre kablo mesafesine sahiptirler. Ana busbarlar ile darbeli yükler arasında bulunan kablolaların geometrik yapısı Şekil 6.6 ile gösterilmiştir.



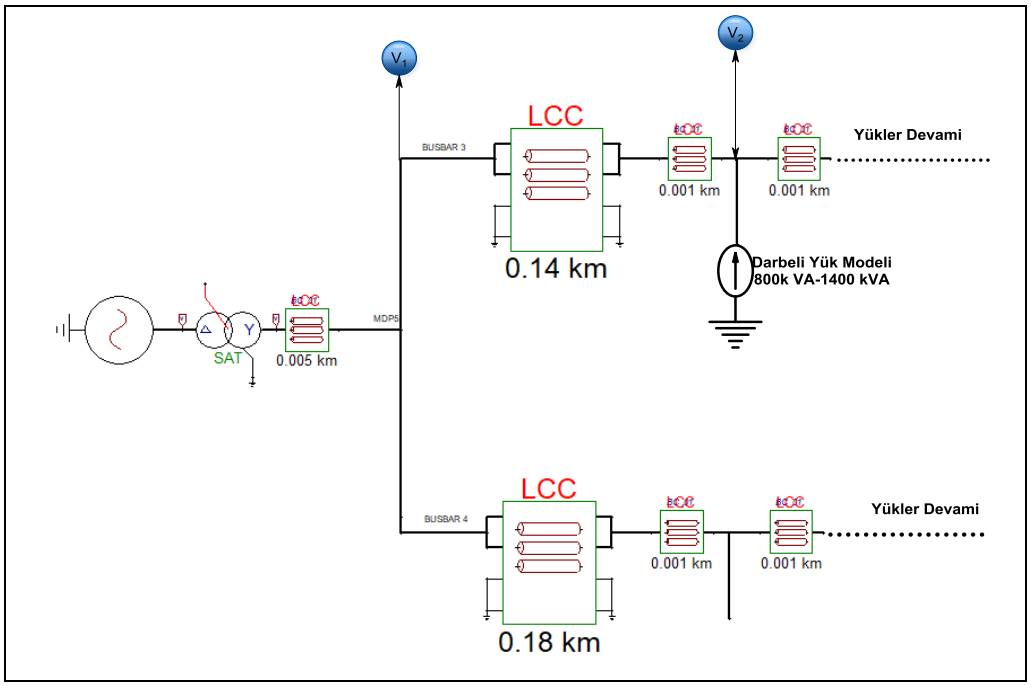
Şekil 6.6: Busbar ile darbeli yükler arasında bulunan kablonun yapısı.

Her iki kablo tipi içinde empedans ve admitans matrisleri elde edilmiştir. Elde edilen empedans matrisleri 140 metrelik kablo için bir adet, 180 metrelik kablo için bir adet, bir metre uzunluğundaki ana busbar ile darbeli yükler arasındaki kablolar için ise 100 adettir. Şekil 6.6 ile gösterilen kabloya ait empedans matrisi Şekil 6.7 ile gösterilmiştir.

240 mm²Cu Kablo							
	R (Ω/ m)						
		Faz A	**Faz B**	**Faz C**	**Sheat A**	**Sheat B**	**Sheat C**
	Faz A	1.25E-04	4.92E-05	4.92E-05	4.92E-05	4.92E-05	4.92E-05
	Faz B	7.35E-05	5.96E-04	5.53E-05	6.65E-05	5.96E-05	5.53E-05
	Faz C	4.92E-05	1.25E-05	4.92E-04	4.92E-05	4.92E-05	4.92E-05
	Sheat A	5.96E-05	7.35E-05	5.96E-05	5.96E-04	6.65E-05	5.96E-05
	Sheat B	4.92E-05	4.92E-05	1.25E-05	4.92E-05	4.92E-04	4.92E-05
	Sheat C	5.53E-05	5.96E-05	7.35E-05	5.53E-05	5.96E-05	6.65E-04
	X (Ω/ m)						
		Faz A	**Faz B**	**Faz C**	**Sheat A**	**Sheat B**	**Sheat C**
	Faz A	4.92E-04	4.92E-04	4.92E-04	4.92E-04	4.92E-04	4.92E-04
	Faz B	6.65E-04	5.96E-04	5.53E-04	6.67E-04	5.96E-04	5.53E-04
	Faz C	4.92E-04	4.92E-04	4.92E-04	4.92E-04	4.92E-04	4.92E-04
	Sheat A	5.96E-04	6.65E-04	5.96E-04	5.96E-04	6.67E-04	5.96E-04
	Sheat B	4.92E-04	4.92E-04	4.92E-04	4.92E-04	4.92E-04	4.92E-04
	Sheat C	5.53E-04	5.96E-04	6.65E-04	5.53E-04	5.96E-04	6.67E-04
	C(µF/m)						
	Faz A	**Faz A**	**Faz B**	**Faz C**	**Sheat A**	**Sheat B**	**Sheat C**
	Faz B	2.18E-04	0	0	-2.18E-04	0	0
	Faz C	0	2.18E-04	0		-2.18E-04	0
	Sheat A	0	0	2.18E-04		0	-2.18E-04
	Sheat B	-2.18E-04	0	0	0.0011	0	0
	Sheat C	0	-2.18E-04	0	0	0.0011	0
		0	0	-2.18E-04	0	0	0.0011

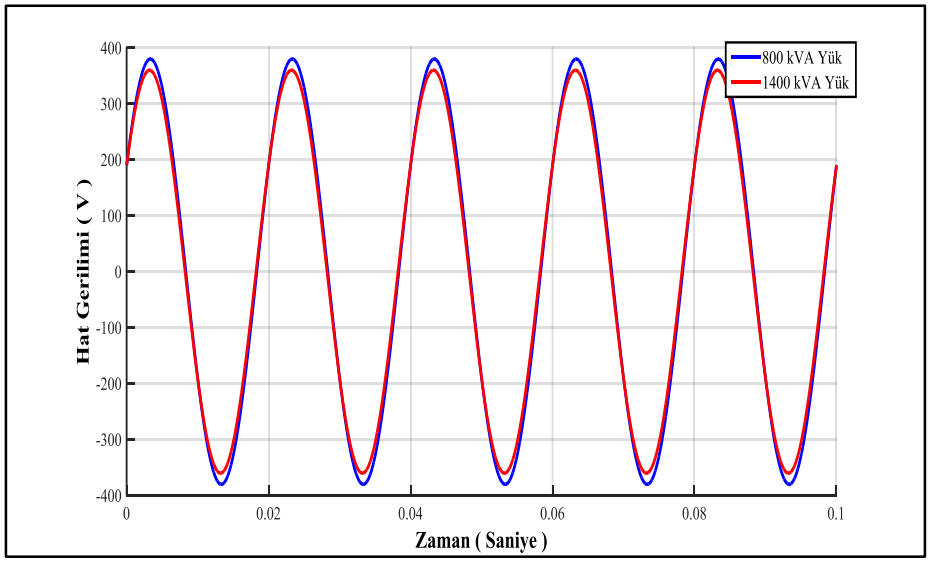
Şekil 6.7: Kablo empedans matrisi.

Endüstriyel tesisin detaylı analizlerine geçilmeden önce bu bölümde basit bir şekilde sistemin gerilim düşümü incelenmiştir. Bu amaçla Şekil 6.8 ile gösterilen darbeli yük modeli 800 kVA ile 1400 kVA arası sistemi beslemesi sağlanmıştır. Her bir güç değeri için V_1 (trafo ana panasou) gerilim değeri ATP-Draw programında elde edilmiştir. Burada 99 adet makine yükü tek bir makine yüküne indirgenip sistem oldukça basit hale getirilmiştir.



Şekil 6.8: Sistemin basite indirgenmesi.

Bununla birlikte Şekil 6.8 ile gösterilen sistemin basit düzeyde empedans matrisi kurularak darbeli yük modelinin bulunduğu bölgede her bir yük değeri için akım matrisleri elde edilmiştir. Elde edilen bu matrisler yardımıyla V_1 gerilim değerleri okunmuştur. Hat geriliminin zamana bağlı düşümünün farklı yüklenme durumuna göre ATP sonuçları Şekil 6.9 ile gösterilmiştir.

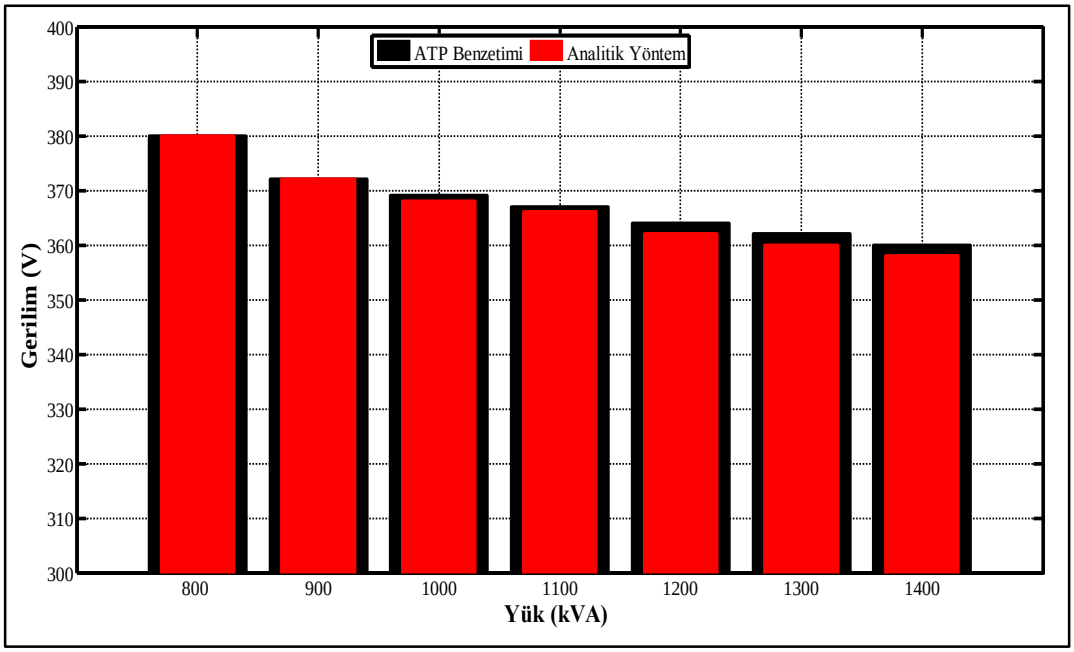


Şekil 6.9: Hat geriliminin yüklenmeye göre değişimi.

Şekil 6.9 ile gösterilen grafik incelendiğinde 800 kVA yük için 380 volt; 1400 kVA yük için ise 360 volt değerinde hat gerilimi rms formda elde edilmiştir. ATP benzetiminin ardından benzer analiz, analitik olarak gerçekleştirilmiştir. Her yüklenme durumu için akım değerleri elde edilmiştir. Elde edilen akım değerleri matris forma getirilmiştir. Akım matrisi ile sistemin empedans matrisi çarpılarak gerilim düşümü bulunmuştur. Yapılan analizin özeti Denklem (6.1) ile gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} AV1 \\ \vdots \\ AVn \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z11 & \cdots & Z1n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Zn1 & \cdots & Znn \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I1 \\ \vdots \\ In \end{bmatrix} \tag{6.1}$$

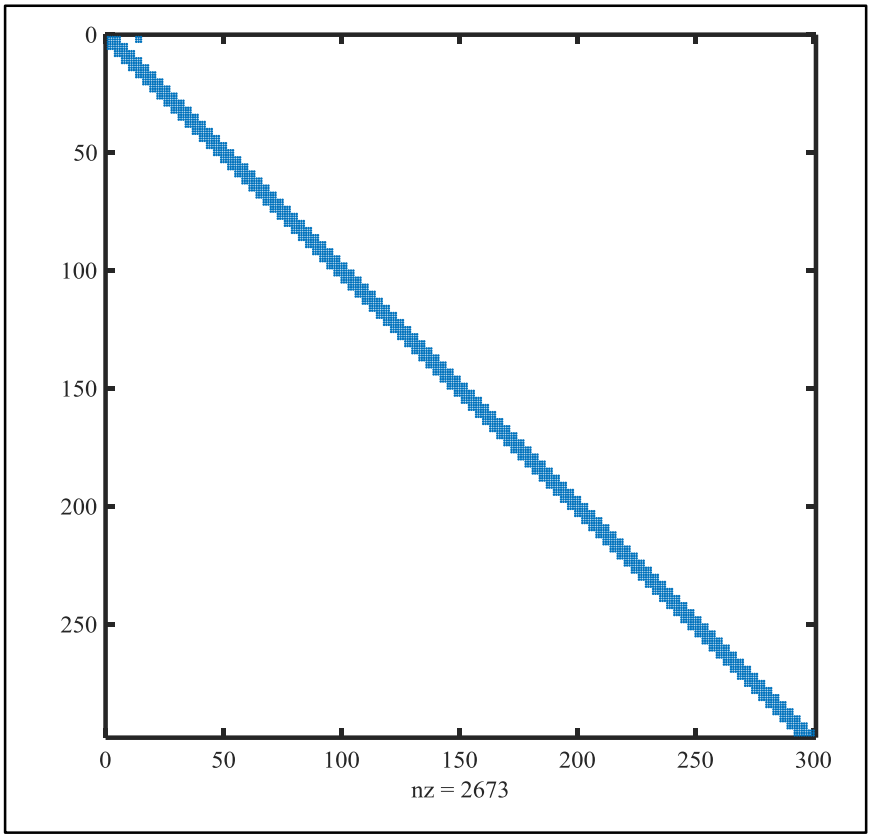
Analitik hesaplamalar ve ATP benzetim sonuçların kıyaslanması Şekil 6.10 ile gösterilmiştir.



Şekil 6.10: ATP benzetimi ve analitik çözümün kıyaslanması.

Şekil 6.10 incelendiğinde sistemin nominal yük değeri olan 1000 kVA'ya kadar iki yönteminden oldukça benzer sonuçlar verdiği görülmektedir. Nominalin üzerindeki değerler için iki yöntem arasında gerilim farkları oluşmaktadır.

Daha karmaşık analizler için sistemin 300x300'lük empedans matris kodu yazılmıştır. Kod ve daha detaylı bilgiler analiz kısmında daha detaylı açıklanacaktır. Matris kodunun spy formatlı görüntüsü Şekil 6.11 ile gösterilmiştir. Beklendiği gibi sadece diyagonal elemanlar görülmemektedir. Bununla birlikte ilk kısımda görülen matris ortak baraya ait matristir. Bu nedenle spy görüntüsü görülmektedir. Elde edilen matrisin spy formatlı görüntüsü ile doğruluğu teyit edilmiştir.



Şekil 6.11: Empedans matrisinin spy formatlı görüntüsü.

6.4. Darbeli Yüklerin Modellenmesi

Modellemesi yapılan endüstriyel tesiste kullanılan darbeli yükler Sabit Akım Kaynağı (SAK) olarak modellenmiştir. Her bir düğüm noktasında, fabrikadan elde edilen veriler doğrultusunda SAK yerleştirilmiştir. Bu SAK değerileri ile hat başı gerilimleri ve gerilim düşümü incelenmiştir. Örneğin, Makine 1 ve 5'e ait SAK matrisi Denklem 6.2 ile gösterilmiştir. Burada görüldüğü gibi iki makineden 6x1 matris elde edilmiştir. Matris incelendiğinde makinelerin iki fazlı olduğu görülmektedir. Matristeki artı uç akımın girdiği, eksi uç ise akımın çıktığını göstermektedir.

$$Im = \begin{bmatrix} 92 \\ -92 \\ 0 \\ 395 \\ -395 \\ 0 \end{bmatrix} \tag{6.2}$$

6.5. Sonuç ve Değerlendirme

İlgili endüstriyel işletmenin kaynak trafolarından bir tanesi referans olarak seçilmiştir. Trafonun modellenmesi ATP-Draw programında yapılmıştır. Trafoya bağlı ana pano, kablo ve darbeli yüklerin modellenmesi yapılmıştır. Sisteme ait empedeans matrisi çıkarılmıştır. Şekil 6.10'da sistemin en basit hali ile analitik hesaplar kıyaslanmıştır. Yükün artmasıyla birlikte bu fark artmıştır. 1400 kVA yük için ATP benzetimi 360 V, analitik yöntem için 358 V olarak bulunmuştur. En kötü senaryo da %0,5 fark meydana gelmektedir.

Endüstriyel işletmede yapısı gereği oldukça kısa hatlar mevcuttur. Bu durum oldukça fazla sayıda düğüm noktası oluşmasına neden olmuştur. Böylece endüstriyel işletmeyi ATP programınında analiz etmek hem zor hem de simülasyonların oldukça fazla süreli olmasına yol açmıştır. Bu nedenlerden dolayı hesaplar fazör kullanılarak kalıcı hal yöntemleri ile gerçekleştirilecektir.

7. ANALİZ ÇALIŞMASI

Endüstriyel tesisin ve tesis elemanlarının modellenmesinden sonra bu bölümde endüstriyel tesisin gerilim düşüm analizleri gerçekleştirilmiştir. Fabrikada gerilim düşümü sorununu belirlemek ve bu soruna çözüm bulmak için bazı durum senaryoları düşünülmüştür. Makinelerin gerilim çıktılarına göre bazı simülasyonlar dizayn edilmiştir.

Bu yapılan simülasyon analizleri gerilim düşümüne yönelik analiz çalışmaları başlığı altında incelenmiştir.

7.1. Gerilim Düşümüne Yönelik Analiz Çalışmaları

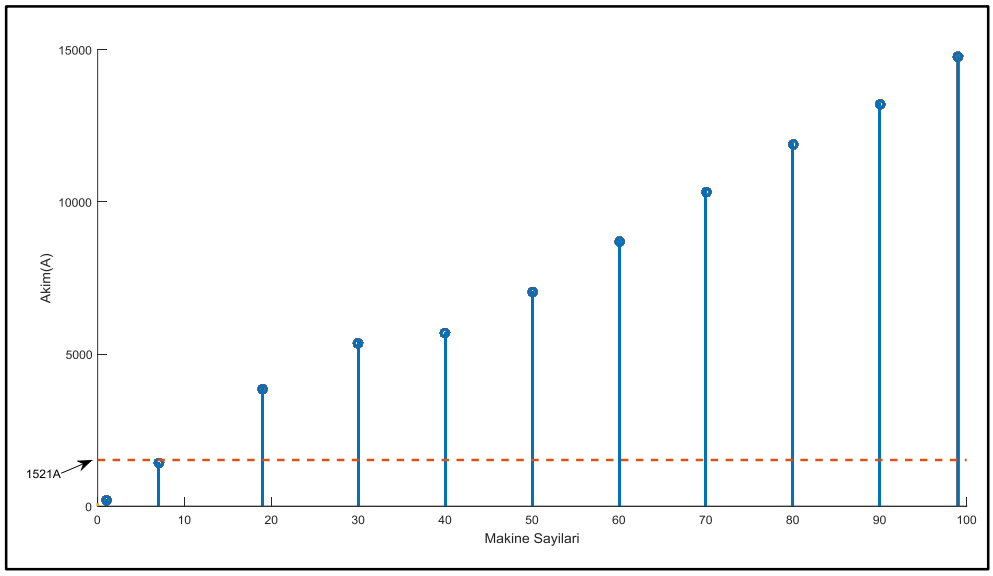
İlk analiz çalışmamızda sistemde 99 makine için her seviyede gerilim düşümü ölçülmüştür. Kaynak makinelerinin maksimumdeğerlerinin aynı anda kaynak yapma olasılığı düşünülerek, akımlar hesaplanmıştır.

İlk aşamada makine sayısı düşünüldüğünde (1000,10000 makine vb.) bazı durumlar için hızlı sonuç alınması gerekmektedir. Örneğin 10000 adet makine için aynı anda çalışma olasılığı olan makinelerden en yüksek akım çeken makinelerin akımları toplanmaktadır. Sistemin nominal akımına göre kıyaslama yapılmaktadır. Toplam akım, nominal akımdan küçük ise herhangi bir sorun olmadığı görülmektedir. Ancak toplam akım, nominal akımdan büyük ise sistemde gerilim düşümü gerçekleşebilir.

Endüstriyel tesisin gerilim düşümü olmadan çektiği maksimum akım değeri Denklem 7 .1- ilehesaplanmıştır. Burada S sistemin nominal gücünü; V ise hat gerilimidir. 1000 kVA'lık güç için çekilen akım değeri 1521 amper olarak bulunmaktadır. Bu akım termal yüklenme akımıdır. Bu akıma kadar sistemde termal sorunla karşılaşılmayacaktır. Normal şartlar altında sistemden bu akımın üzerinde bir akım çekildiğinde sistemde ani gerilim düşümü oluşmalıdır ancak kaynak makinelerinin yaptığı kaynak süreleri milisaniyeler mertebesinde olduğundan dolayı ana panoda gerilim düşümü meydana gelmemektedir. Bununla birlikte hat sonuna yakın makinelerde gerilim düşümü meydana gelmektedir.

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \tag{7.1}$$

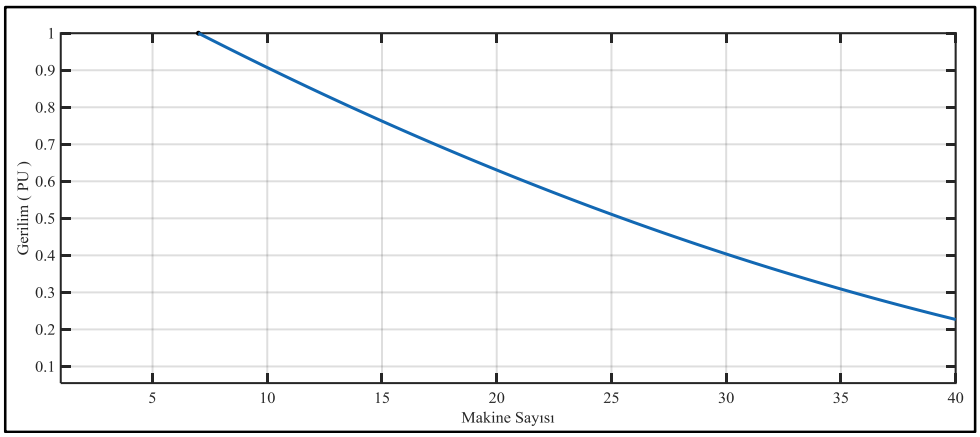
Sistemdeki 99 makine için öncelikli olarakyazılım kodu oluşturulmuştur. İlk aşamada yapılan yazılım kodu yazılım ortamında çalıştırıldığında Şekil 7.1 ile gösterilen grafik elde edilmektedir.



Şekil 7.1: Makine sayısı-akım sistem çıktısı.

Şekil 7.1 ile gösterilen grafik incelendiğinde; toplam makine sayısına göre transformatör panosundan çekilen toplam akım değerleri gösterilmiştir. Buna göre toplam bir adet makinede gerilim düşümü problemi yaşanmamıştır. Bununla birlikte toplam yedi adet makine ile transformatör ana panosundan yaklaşık 1421 amper akım çekmetedir. Yedi adet makine seçimi yapılmasının sebebi çekilen toplam akım değerinin nominal akım değerine yakın olmasıdır. Çekilen bu akım değeri endüstriyel tesis tarafından izin verilen nominal akım değerinin altında olduğu için gerilim düşümü problemi açısından bir sıkıntı oluşturmamaktadır. Fakat toplam makine sayısının yedinin üzerinde olduğu durumda ana panodan çekilen akım değeri nominal akım değerinin üzerinde olduğundan dolayı sekiz adet makine kullanımı ile endüstriyel tesiste gerilim düşümü problemi yaşanması ihtimali vardır. Yedi makine için eş zamanlılık katsayısı %7 olarak görülmektedir. Bu durum yedi makine için bütün parametrelerin aynı olduğu en kötü senaryodur. Yapılan analiz çalışmasında eş zamanlılık katsayısı üzerine çalışılmamıştır. Eş zamanlılık katsayısı için ayrı bir çalışma yapılması gerekmektedir.

Şekil 7.1 ile analiz edilen örneklemelerden gerilim düşümü eğrisi elde edilmiştir. Elde edilen eğri Şekil 7.2 ile gösterilmiştir. Şekil 7.2 ile gösterilen eğri incelendiğinde sonuçların doğrulandığı gözlemlenmektedir. Yedi makineye kadar sistemde gerilim düşümü oluşmamıştır. Ancak yedi makineden sonra sistemde gerilim düşümü meydana geldiği gözlenmiştir.



Şekil 7.2: Makine sayısı-trafo çıkış gerilimi sistem gerilim düşümü eğrisi.

Bu yapılan yazılım sisteminde zaman parametresi ihmal edilmiştir. Sadece makinenin maksimum akım değeri hesaba katılmıştır. Zaman parametresinin eklendiği durumda oluşacak kombinasyonlar içinsistemin analiz edilmesi mümkün değildir. Çünkü gerçek zamanlı ölçüm tablolarına bakıldığında makinelerin ne zaman maksimum akıma ulaştığı tam olarak kestirilememektedir.

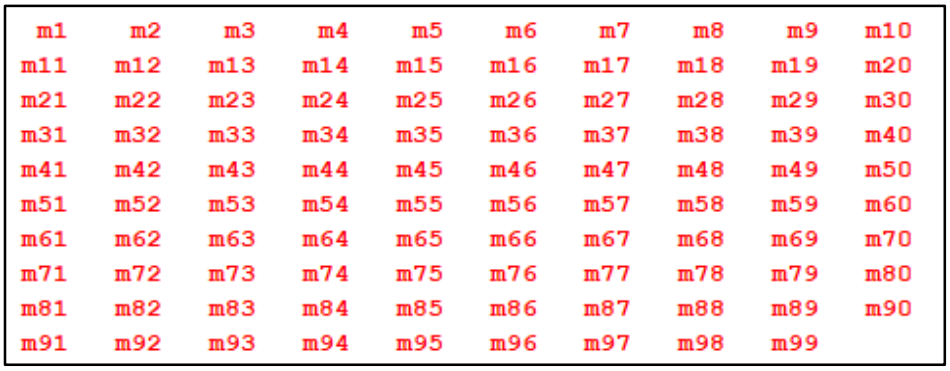
7.2. Gerilim Düşümüne Yönelik Arayüz İhtiyacı ve Geliştirilmesi

Bir önceki yapılan analizde sadece makine sayısı baz alınmıştır. Fakat tesiste farklı güçlerdeki makineler farklı sayıda veya sırayla devreye girmektedir. Bu nedenle hangi makinelerin devrede olup olmadığı da analiz edilmelidir. Bu amaçla yeni bir arayüz ihtiyacı doğmuştur.

Arayüz için yeni bir yazılım gerçekleştirilmiştir. Bu yazılımda hangi makinelerin çalışacağı kullanıcılara sorulmuştur ve bu makinelerin çalışma gerilimlerine göre gerilim düşümü olup olmadığı tespit edilmiştir. Kullanıcı, çalışması gereken makineleri tek tek sisteme girerek sistemde çalışan makineleri görebilmektedir. Bu kaydedilen bilgilere göre kırmızı olan makine yeşile döner.

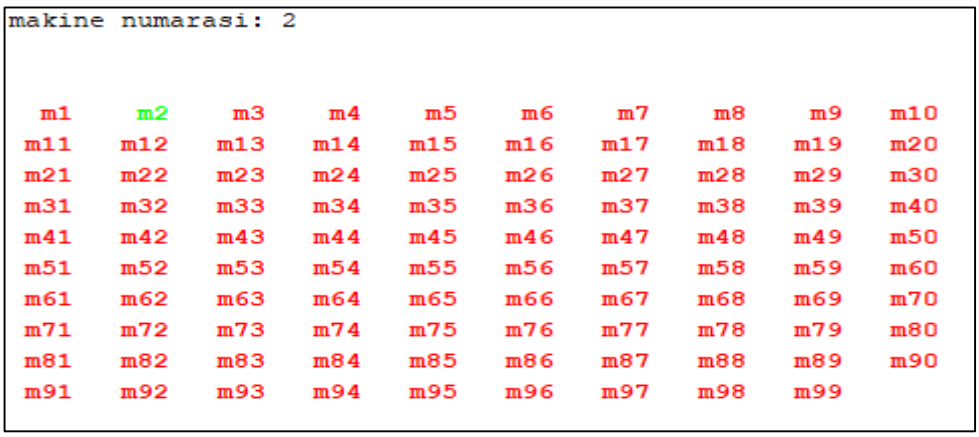
Sistemde kırmızı kapalı, yeşil ise çalışır durumu temsil etmektedir. Bu yazılımda kısaca hangi makinelerin çalıştığı kullanıcılara sorulmuş ve bu makinelerin çalışma gerilimlerine göre gerilim düşümü olup olmadığı tespit edilmiştir.

Sistem operatörü tarafından yapılan seçimler gösterilmiştir. Buna göre sistem operatörü tarafından devreye alınan makineler yeşil renk ile devre dışı tutulan makineler ise kırmızı renk ile gösterilmiştir.



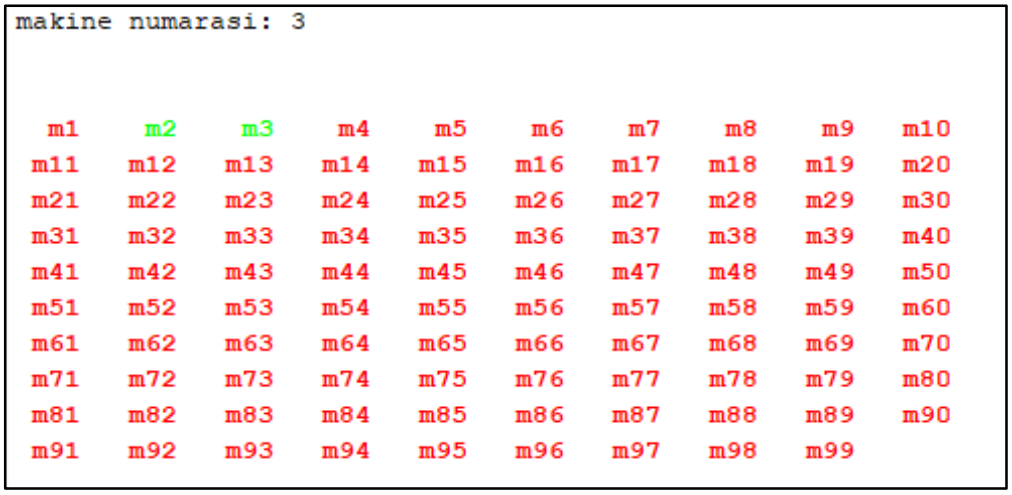
Şekil 7.3: Makine seçim arayüzü.

Şekil 7.3 ile sistem operatörüne makineleri seçmesi için yapılan yazılımın görüntüsü gösterilmiştir. Sistem operatörü istediği makineyi seçmek için sadece o makinenin numarasını girmesi yeterlidir. Sistem operatörünün gireceği tür sadece sayı olmalıdır.



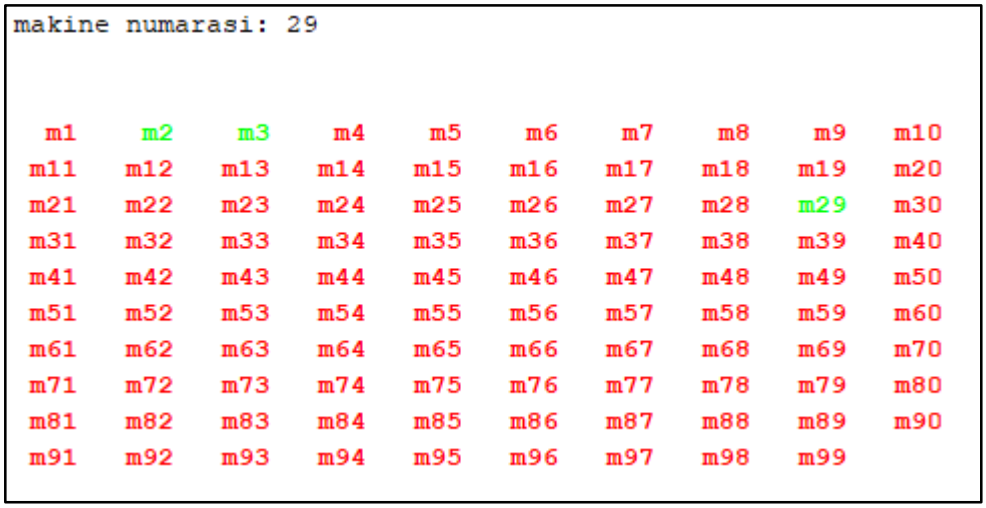
Şekil 7.4: Sistem operatörü seçim sonucu.

Şekil 7.4 ile sistem operatörünün yaptığı ilk seçim (Makine 2) gösterilmiştir.



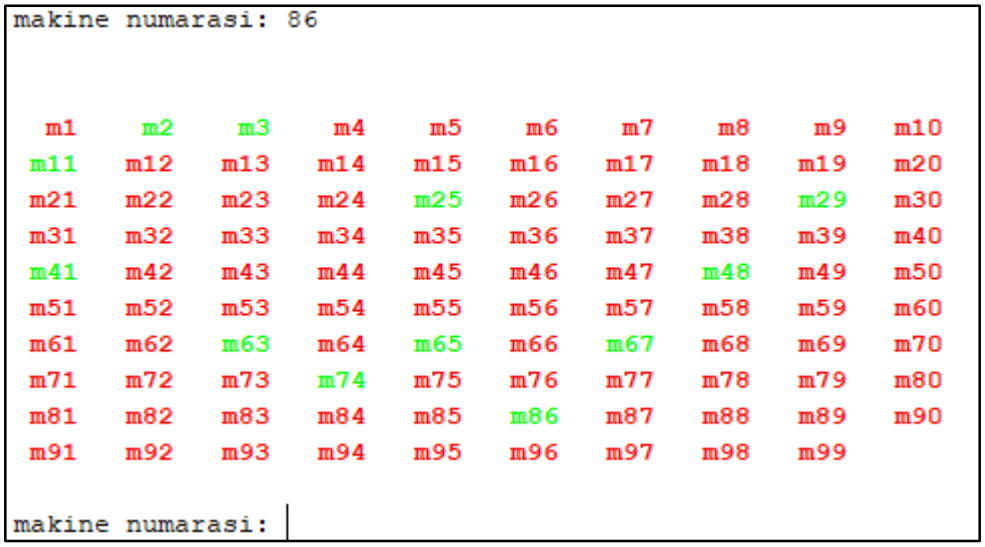
Şekil 7.5: Sistem operatörü seçim sonucu.

Şekil 7.5 ile sistem operatörünün yaptığı ikinci seçim (Makine 3) gösterilmiştir.



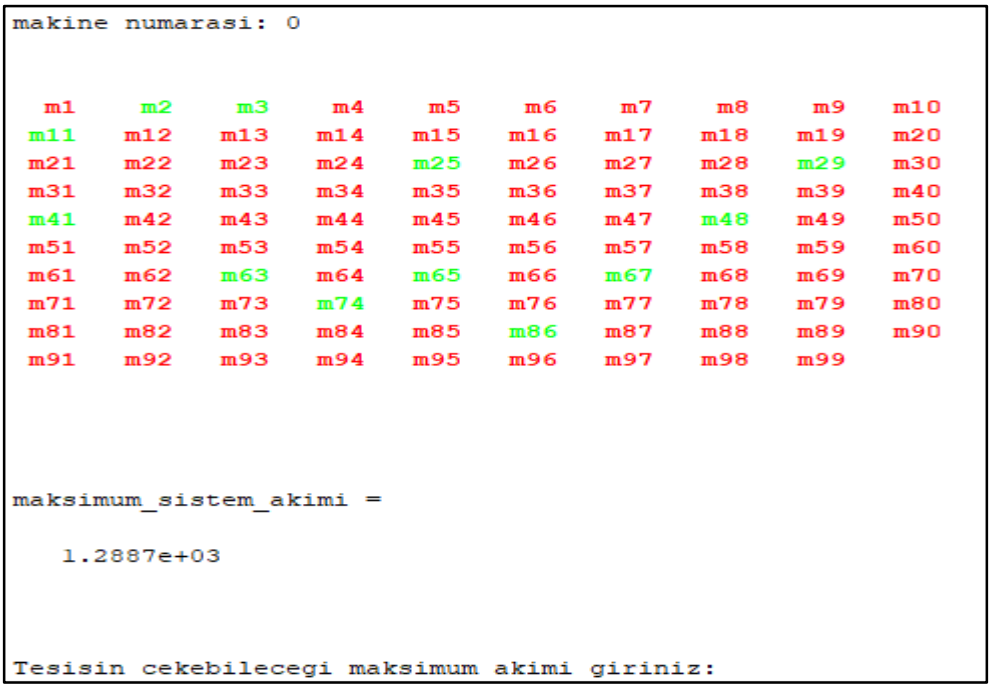
Şekil 7.6: Sistem operatörü seçim sonucu.

Şekil 7.6 ile sistem operatörünün yaptığı üçüncü seçim (Makine 29) gösterilmiştir.



Şekil 7.7: Sistem operatörü seçim sonuçları.

Şekil 7.4, 7.5 ve 7.6 seçimleri ardından sistem operatörü makine 25, 48, 11, 41, 63, 65, 67, 74, 86 numaralarını Şekil 7.7'de gösterildiği gibi seçmiştir. Bunun ardından sistem operatörü seçimlerini bitirmek istemiştir ve makine numarası olarak sıfırı girmiştir.



Şekil 7.8: Sistem operatörü seçim arayüzü.

Sistem operatörünün makine numarası olarak sıfırı seçmesinden sonra tekrar sistem operatörünün önceden seçtiği makineler Şekil 7.8 ile gösterilmiştir ve ardından

yazılımda yazılı olan kod ile sistem operatörüne girdi olarak endüstriyel tesisin maksimum kaldıracağı nominal akım değeri sorulmuştur.

```
maksimum_sistem_akimi =

   1.2887e+03



Tesisin cekebilecegi maksimum akimi giriniz: 1521

tesis_maksimum_akimi =

        1521

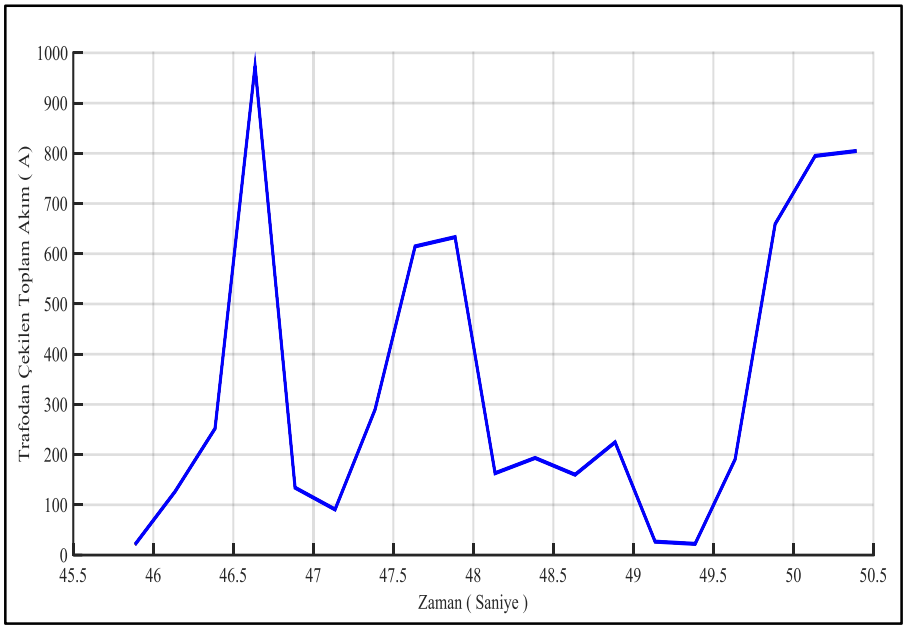


Tesis guvendedir...
```

Şekil 7.9: Nominal akım girdisi sonucu.

Sistem operatörünün nominal akım değerini girdikten sonra yazılım kodu kendi içinde seçilen makinelerin toplam çektiği akım ile sistem operatörünün girdiği nominal akım değerini karşılaştırır ve karşılaştırma sonucu eğer nominal akım makinelerin toplam çektiği akım değerinden büyükse Şekil 7.9'daki gibi tesisin güvende olduğunu ve gerilim düşümü riski taşımadığını sistem operatörüne bildirmektedir.

Yapılan yazılımda diğer önemli parametre zaman parametresidir. Şekil 7.8 ile gösterilen seçimler sonucu gerçek datalardan alınan zaman parametresine göre makinelerin 46 ve 51 saniye arasında trafo ana panosundan çekilen toplam akım grafiği Şekil 7.10 ile gösterilmiştir. Şekil 7.10'da görüldüğü gibi maksimum çekilen akım 1000 amper olarak görülmektedir. Fakat yapılan seçim sonucunda 1228.7 amper görülmüştü; bu duruma neden olarak eş zamanlılık katsayısı gösterilebilir. Makinelere ait en yüksek akımlar farklı zamanlarda devreye girmektedir.



Şekil 7.10: Zamana bağlı akım değeri değişimi.

Kullanıcı tarafından makineler farklı şekillerde seçilebilir. Sekil 7.11' de görüldüğü üzere endüstriyel tesisteki sistem operatörünün seçimleri sonucunda yapılan algoritma bu seçilen makinelerin maksimum çekebileceği akımları toplamış ve endüstriyel tesisten çekilebilecek maksimum akımın seçilen makinelere göre 3793 A olduğunu tespit etmiştir.

```
maksimum_sistem_akimi =

    3.7932e+03


Tesisin cekebilecegi maksimum akimi giriniz: 1521

tesis_maksimum_akimi =

         1521



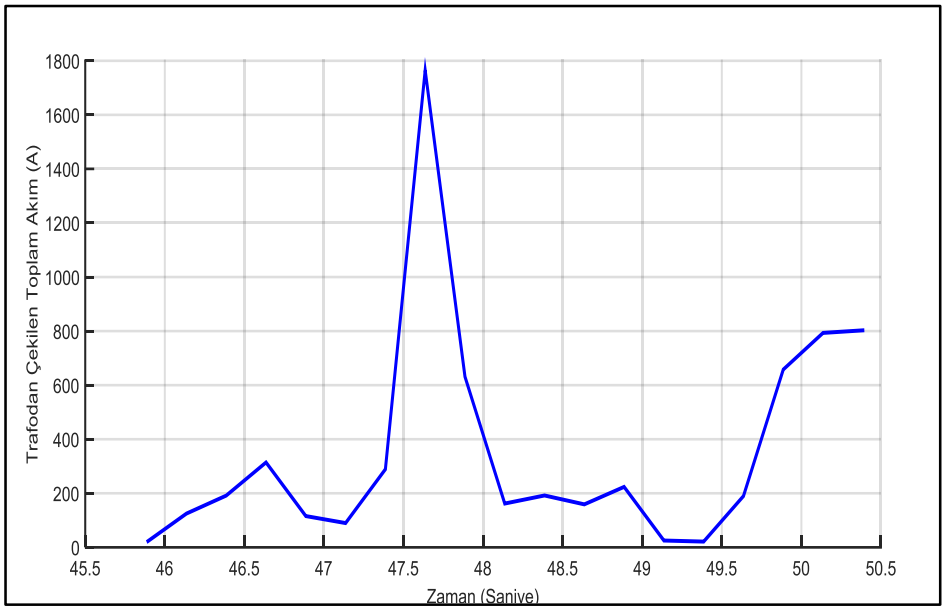
Sistem tehlike icerisindedir...
Lutfen 1 adet makine kapatiniz...

  m1    m2    m3    m4    m5    m6    m7    m8    m9    m10
 m11   m12   m13   m14   m15   m16   m17   m18   m19   m20
 m21   m22   m23   m24   m25   m26   m27   m28   m29   m30
 m31   m32   m33   m34   m35   m36   m37   m38   m39   m40
 m41   m42   m43   m44   m45   m46   m47   m48   m49   m50
 m51   m52   m53   m54   m55   m56   m57   m58   m59   m60
 m61   m62   m63   m64   m65   m66   m67   m68   m69   m70
 m71   m72   m73   m74   m75   m76   m77   m78   m79   m80
 m81   m82   m83   m84   m85   m86   m87   m88   m89   m90
 m91   m92   m93   m94   m95   m96   m97   m98   m99

kapatilacak makine numarasi:
```

Şekil 7.11: Sistem operatörü tarafından yapılan seçimler ve akımlar toplamı.

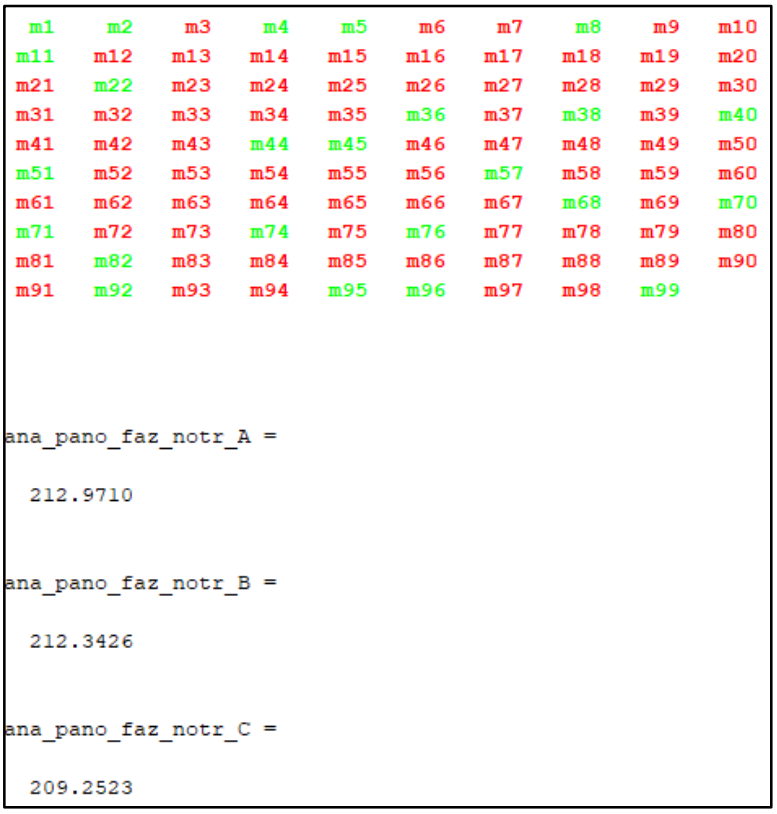
Bunun sonucunda endüstriyel tesiste çekilen akım değeri gerilim düşümü oluşturmayacak olan maksimum akım değerinden yani nominal akımdan daha fazladır. Şekil 7.11'de görüldüğü gibi yazılım bizden bir adet makineyi devre dışı bırakmamızı istemektedir.



Şekil 7.12: Zamana bağlı seçilmiş makine akımlar toplamı grafiği.

Şekil 7.12'de Şekil 7.11'deki endüstriyel tesis sistem operatörü tarafından seçilen makinelerin gerçek zamana bağlı zaman-akım grafiği gösterilmiştir. Şekil 7.11 ile endüstriyel tesis sistem operatörü tarafından seçilen makinelerin toplam akımlarının 3793 A olarak belirlenmesine rağmen Şekil 7.12'de maksimum makineler akımlar toplamı değeri 1800 A civarındadır. 1800 A sistemde gerilim düşümüne neden olmaktadır. Bu grafik sonucunun(~1800A) endüstriyel tesis sistem operatörü tarafından seçilen makinelerin toplam akım sonucu olan 3793 A ile aynı olmamasının nedeni, seçilen makinelerin hangi zamanda akım değerinin maksimuma ulaşacağı bilinmediği içindir. Grafikten görüldüğü üzere makinelerin maksimum akım değerleri aynı zaman aralığına denk gelmemiştir ve grafikte 3793 A gibi bir değere ulaşılmamıştır fakat, garanti olması dolayısıyla maksimum akım alınması gereklidir. Bu sistemin kullanılmaması durumunda maksimum akımlar aynı anda denk gelmeyip gerilim düşümü görülmese dahi endüstriyel tesis risk altında olacaktır. Sistemin kullanılması endüstriyel tesis açısından sağlıklı olacaktır. Bununla birlikte Şekil 7.11 ile gösterilen kullanıcı seçimlerine göre ana panodaki faz gerilimlerini elde edilmiştir.

Elde edilen faz–nötr gerilimleri Şekil 7.13 ile gösterilmiştir. Şekil 7.13 incelendiğinde A fazı için 212.97 V, B fazı için 212.34 V, C fazı için ise 209.25 V olarak görülmektedir. Bu gerilim seviyeleri nominal gerilimden düşüktür. Nominal gerilim seviyesi 230 V olarak seçilmiştir.



Şekil 7.13: Şekil 7.11 için yapılan seçimlerin gerilim sonuçları.

Ana pano dışında yer alan baralara ait faz nötr gerilimleri Tablo 7.1 ile verilmiştir. Tablo 7.1 incelendiğinde tüm fazların gerilim düşümünün aynı olmadığı görülmektedir. Buna neden olarak makinaların tüm fazlarda eşit dağılmaması gösterilebilir. Ayrıca kullanılan makinelerin tek fazlı veya iki fazlı olma durumları bu duruma neden olmaktadır. Bununla birlikte bara sistemi iki ana koldan oluştuğu için bara numarasının artması ile gerilim düşümü sürekli azalmamaktadır. Makinelerin devreye girdiği düğümlerdeki gerilim düşümü ana panodan daha fazladır.

Tablo 7.1: Faz-Nötr gerilimleri.

Bara Numarası	Faz A	Faz B	Faz C
1 (Ana Pano)	212.97	212.34	209.25
6	208.56	208.44	205.87
78	204.77	205.11	203.89

Gerilim düşümü gerçekleştiğinden dolayı arayüz kullanıcıya bu bilgiyi gösterip kullanıcıdan makine çıkartmasını isteyecektir. Makine çıkartımı Şekil 7.14 ile gösterilmiştir.

```
Lutfen 1 adet makine kapatiniz...


  m1    m2    m3    m4    m5    m6    m7    m8    m9   m10
 m11   m12   m13   m14   m15   m16   m17   m18   m19   m20
 m21   m22   m23   m24   m25   m26   m27   m28   m29   m30
 m31   m32   m33   m34   m35   m36   m37   m38   m39   m40
 m41   m42   m43   m44   m45   m46   m47   m48   m49   m50
 m51   m52   m53   m54   m55   m56   m57   m58   m59   m60
 m61   m62   m63   m64   m65   m66   m67   m68   m69   m70
 m71   m72   m73   m74   m75   m76   m77   m78   m79   m80
 m81   m82   m83   m84   m85   m86   m87   m88   m89   m90
 m91   m92   m93   m94   m95   m96   m97   m98   m99

kapatilacak makine numarasi: 51


  m1    m2    m3    m4    m5    m6    m7    m8    m9   m10
 m11   m12   m13   m14   m15   m16   m17   m18   m19   m20
 m21   m22   m23   m24   m25   m26   m27   m28   m29   m30
 m31   m32   m33   m34   m35   m36   m37   m38   m39   m40
 m41   m42   m43   m44   m45   m46   m47   m48   m49   m50
 m51   m52   m53   m54   m55   m56   m57   m58   m59   m60
 m61   m62   m63   m64   m65   m66   m67   m68   m69   m70
 m71   m72   m73   m74   m75   m76   m77   m78   m79   m80
 m81   m82   m83   m84   m85   m86   m87   m88   m89   m90
 m91   m92   m93   m94   m95   m96   m97   m98   m99

maksimum_sistem_akimi =

   1.3863e+03

Tesis guvendedir...
```

Şekil 7.14: Makine devre dışı bırakma sonuçları.

Sistem operatörünün yaptığı makine devre dışı bırakması sonucu yazılım tekrar nominal akım ile sistemin akımlar toplamını karşılaştırır ve bunun sonucunda eğer hala

tesis tehlike içerisinde ise sistem operatörüne endüstriyel tesis tehlikeden çıkana kadar makineleri devreden çıkarmasını istemektedir. Şekil 7.14'de en son 51 numaralı makine devreden çıkarıldığı görülmektedir ve sistemin toplam akımı 1386 amper olduğu tespit edilmiştir. Bu tespit edilen akım, nominal akım değerinden daha az olduğu dolayısıyla endüstriyel tesiste gerilim düşümü problemi görülmemektedir. Elde edilen bu akım bilgisi ile gerilim değerleri hesaplanmıştır. Ana panoya ait gerilim düşümleri Şekil 7.15'de gösterilmiştir. Şekil 7.15 incelendiğinde A fazında 225, B fazında 227 ve C fazında 227 volt ölçülmüştür. Gerilim düşümü problemi makinenin çıkarılmasıyla ortadan kaldırılmıştır. Bununla birlikte diğer baralardan elde edilen faz nötr gerilimleri Tablo 7.2 ile gösterilmiştir.

```
  m1    m2    m3    m4    m5    m6    m7    m8    m9   m10
 m11   m12   m13   m14   m15   m16   m17   m18   m19   m20
 m21   m22   m23   m24   m25   m26   m27   m28   m29   m30
 m31   m32   m33   m34   m35   m36   m37   m38   m39   m40
 m41   m42   m43   m44   m45   m46   m47   m48   m49   m50
 m51   m52   m53   m54   m55   m56   m57   m58   m59   m60
 m61   m62   m63   m64   m65   m66   m67   m68   m69   m70
 m71   m72   m73   m74   m75   m76   m77   m78   m79   m80
 m81   m82   m83   m84   m85   m86   m87   m88   m89   m90
 m91   m92   m93   m94   m95   m96   m97   m98   m99



ana_pano_faz_notr_A =

   225.0663


ana_pano_faz_notr_B =

   227.4607


ana_pano_faz_notr_C =

   227.0689
```

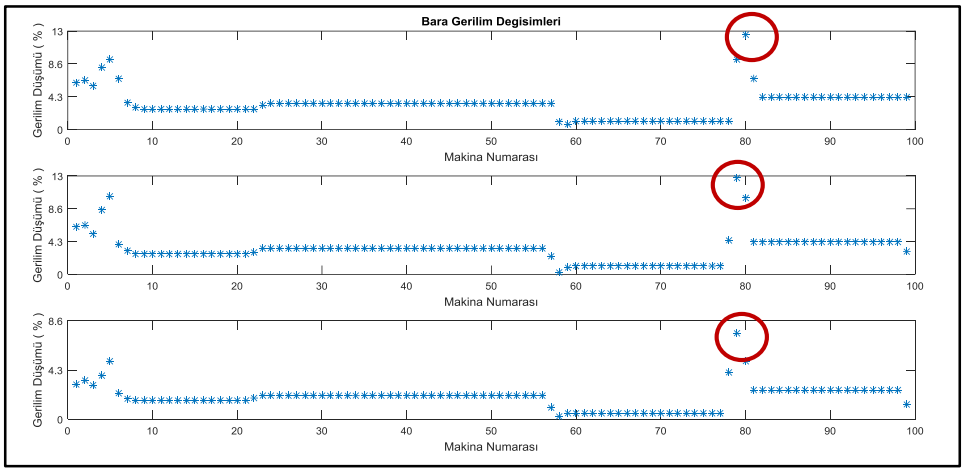
Şekil 7.15: Makine çıkarılması sonucu ana pano değişimleri.

Tablo 7.2 incelendiğinde ana panoda gerilim düşümü problemi gözlemlenmemiştir. Bununla birlikte birinci kolda bulunan 13 numaralı bara ve ikinci barada bulunan 65 numaralı barada da gerilim düşümü problemi gözlenmemiştir.

Tablo 7.2: Faz-Nötr gerilimleri.

Bara Numarası	**Faz A**	**Faz B**	**Faz C**
1 (Ana Pano)	225.76	227.46	227.06
13	224.88	226.69	226.79
65	224.41	225.60	224.46

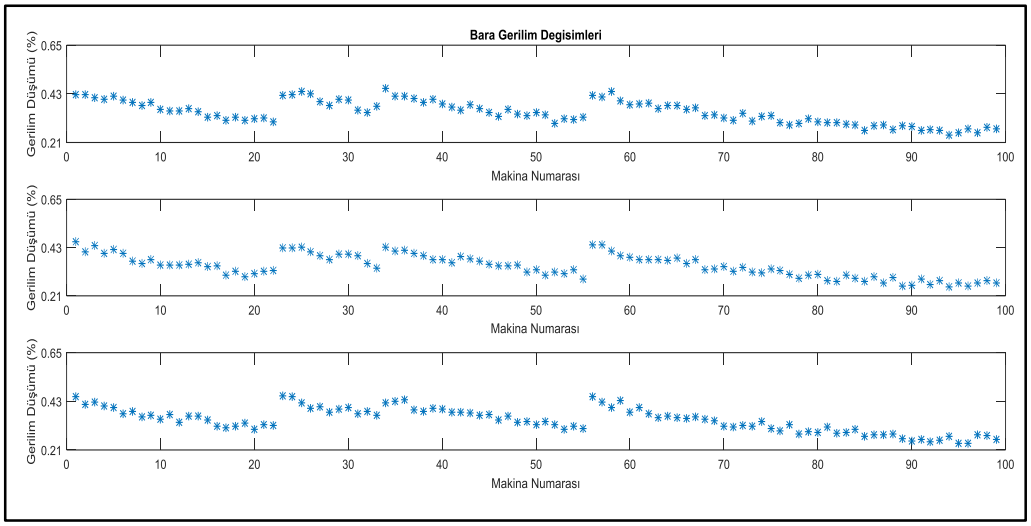
Farklı makine seçimleri için tüm düğümlerdeki gerilim düşümleri incelenmiştir. Buna göre; Şekil 7.15 ile gösterilen kullanıcı seçimlerine göre tüm düğümlerdeki gerilim düşümü Şekil 7.16 ile gösterilmiştir. Şekil 7.16 ile görüldüğü gibi devreye alınan makinelerin bulunduğu düğümde gerilim çökmeleri gerçekleşmiştir. Bu çökme değerleri 30 volta kadar çıkmıştır. Bununla birlikte ana panoda ise yaklaşık 15 voltluk gerilim düşümü gerçekleşmiştir. Gerilim düşümü yüzde olarak yaklaşık %4 ile %13arasında değişmektedir.



Şekil 7.16: 99 düğümde gerilim düşümleri (durum 1).

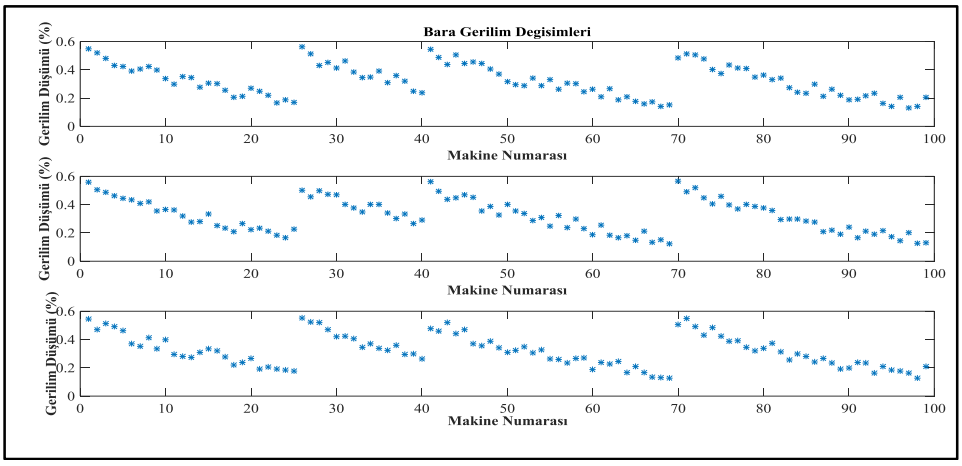
Bununla birlikte Şekil 7.16 detaylı incelendiğinde belli makine numaralarına kadar gerilim düşmesi azalarak gerçeklemiş ve belli numaralarda artışlar oluşmuştur. Bunun sebebi tesiste faklı iki kol bulunmasıdır.

Düğüm gerilim düşümleri benzer şekilde Şekil 7.7 ile gösterilen seçimler için tekrar edilmiştir. Buna göre Şekil 7.7 ile gösterilen kullanıcı seçimlerine göre tüm düğümlerdeki gerilim düşümü Şekil 7.17 ile gösterilmiştir. Buna göre Şekil 7.17ile görüldüğü gibi sistemde gerilim düşümü gerçekleşmemiştir.



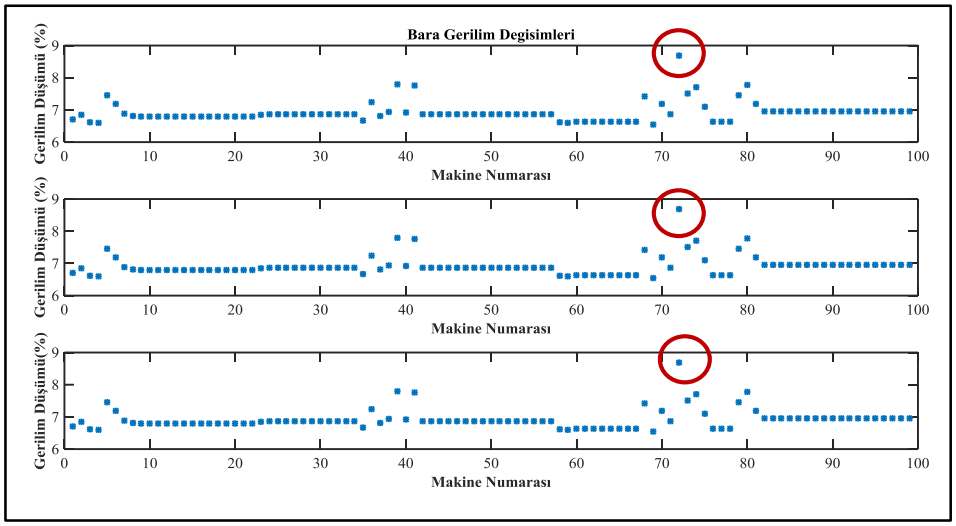
Şekil 7.17: 99 düğümde gerilim düşümleri (durum 2).

Analizler farklı makine kombinasyonları için tekrar edilmiştir. Makine 25, Makine 41, Makine 70'nin devrede olduğu durumda tüm düğümlere ait gerilim düşümü Şekil 7.18 ile gösterilmiştir. Şekil 7.18 ile görüldüğü gibi devrede olan makinelerin bulunduğu düğümlerde gerilim düşümü yüzdesi diğerlerinden daha fazladır. Ana pano da %0.6 seviyelerinde gerilim düşümü meydana gelmiştir. Bu durum problem yaratacak bir düzeyde değildir.



Şekil 7.18: 99 düğümde gerilim düşümü (durum 3).

Makine 34,35,36,37,38,40,41,68,69,71,72,73 ve Makine 75'in devrede olduğu durumda tüm düğümlere ait gerilim düşümü Şekil 7.19 ile gösterilmiştir.



Şekil 7.19: 99 düğümde gerilim düşümü (durum 4).

Şekil 7.19 ile görüldüğü gibi devrede olan makinelerin bulunduğu düğümlerde gerilim düşümü yüzdesi diğerlerinden daha fazladır. En fazla gerilim düşümü 69.düğümde Makine 69'a aittir. Ana pano da ise %11 seviyelerinde gerilim düşümü meydana gelmiştir. Bu durum gerilim düşümü problemine neden olmaktadır. Dört durumunda ana panoda hesaplana faz-nötr gerilimleri Tablo 7.3 ile verilmiştir.

Tablo 7.3: Farklı durumlar için faz-nötr gerilimleri.

Durum	**Faz A**	**Faz B**	**Faz C**
Durum 1	212.97	212.34	209.25
Durum 2	225.06	227.4	227.06
Durum 3	228.62	228.54	228.46
Durum 4	215.78	215.13	214.59

7.3. Arayüz İçin Sonuç ve Değerlendirme

Endüstriyel tesiste gerilim düşümü problemi öncelikli olarak ATP –Draw programı ile analiz edilmiştir. Sistemde bulunan 99 adet kaynak makinesi tek bir kaynak makinesi gibi düşünülüp ana panodan gerilim düşüm değerleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar analitik hesaplar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu ile sonuçların birbirine yakın değerler verdiği görülmüştür. Fakat her makinenin bulunduğu duruma göre kapsamlı bir analizi ATP-Draw programı ile gerçekleştirmek mümkün değildir.

Analitik hesaplar düğüm numaraları ve ilgili düğüm numarasına bağlı makinelerin akımları kullanılarak daha kapsamlı hale getirilmiştir. Bu nedenle empedans matrisinin yanı sıra darbeli yüklere ait akım matrisleri elde edilmiştir. Öncelikle sadece akım bilgisi kullanılarak sistemde devreye alınan makine sayısı ve kullanıcının seçtiği makine numarasına göre "gerilim düşümü var mı?" sorusunun cevabı aranmıştır. Bununla birlikte empedans matrisi ve akım matrisi kullanılarak düğüm gerilimleri hesaplanmış ve her bir faza ait faz-nötr değerinin "rms" değeri hesaplanmıştır. Böylece kullanıcı devreye aldığı her makine sayısı için ve sisteminde yer alan her bir düğüm noktası için gerilim değerlerini elde edebilecektir.

8. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada kaynak makinelerinde duruşlar yaşanan, kalite problemli ürün çıkartan bir tesis incelenmiştir. Kalite problemlerinin tespiti için parçalar %100 gözle kontrol edilmektedir. Bu kontrollerin dışında, üretim başı ve üretim sonunda üretilen parçalara mikron seviyesinde ölçüm yapabilen mikroskoplarla analiz yapılmaktadır. Analiz sonucunda gözle görünmeyen kalite problemlerinin de çıktığı görülmüştür. Bu problemler spot ayrılması, kaynakta çatlak vb. problemlerdir.

Duruşların sebebini araştırmak için öncelikle kaynak makineleri parametreleri (kaynak akım zamanı, kaynak akımı vb.) incelenmiş olup, herhangi bir sorun ile karşılaşılmamıştır. Multimetre ile yapılan ölçümde faz nötr geriliminin 210 V'lara kadar düştüğü tespit edilmiştir. Buna bağlı olarak Fluke 435-2 cihazı ile sistemde ana pano, busbar girişleri, dağıtım panolarından ölçümler alınmış olup,bu ölçümler "fluke" programında analiz edilmiştir. Analizler sonucunda faz nötr geriliminin 190 V'lara kadar düştüğü tespit edilmiştir.

Tesiste yaşanan düşük gerilim problemini engellemeye yönelik çeşitli önlemler alınmıştır. Bu önlemler sırasıyla; kompanzasyon tristör kart değişimi, kompanzasyon röle değişimi, kompanzasyon kademe ayarıdır. Her bir önlemden sonra alınan ölçüm sonuçlarından sonra sistemde %2.36 seviyelerinde iyileşme meydana geldiği görülmüştür. Ancak alınan önlemlerden sonra gerilim düşümü probleminin devam ettiği tespit edilmiştir. Bu problemin devam etmesinin en büyük sebebi makinelerin devreye girdiklerinde anlık veya uzun süreli nominal akımından daha fazla akım çekmesidir. Bu problemi çözmek için sistemden yük çıkarma ya da elektrik tesisatının yenilenmesi konusu olmak üzere iki seçenek üzerinde durulmuştur. Elektrik tesisatının yenilenmesi çok yüksek maliyet olacağından işletmeden yük çıkarma konusunda karar alınmıştır. Sistemden hangi makinelerin çıkarılacağını belirlemek için birçok noktadan ölçüm alınmıştır. Bu ölçümler sonucunda sistemden sekiz adet kaynak makinesi fabrika iki'den fabrika bir'e taşınmıştır.

Bu yapılan çalışmalar stoksuz çalışan işletme için üretimi aksatmakla birlikte işletmeye aşırı maliyetler oluşturmaktadır. Bundan dolayı gerilim düşümü problemini gidermek için bir arayüz programı geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Öncelikle en basit şekilde makinelerin sadece nominal akımlara göre sınıflandırılması yapılıp problemin yaşandığı makine sayısı makine yerinden bağımsız olarak elde edilmiştir.

Yapılan analizler daha da detaylandırılarak sistem operatörü tarafından seçilebilen ve sistemde yer alan makinelerin bağlı bulunuduğu baralar dikkate alınarak analiz edilmiştir. Böylece sistem operatörü yaptığı seçimlere göre sistemde gerilim düşümü olup olmayacağını bilecektir. Böylece tesis için yatırım yapılmadan önce hangi durumlarda gerilim düşümü problemi yaşanacağı öngörülebilecektir. Bu öngörmeler sonucu büyük miktarlarda zararlar önlenebilecektir.

Gelecek çalışmalara yönelik olarak daha karmaşık senaryolarla fazla makinelerin içerildiği, hızlı ve kapsamlı sonuçların elde edileceği bir yazılımın geliştirilmesi öngörülmektedir. Böylece bu problemin bir optimizasyon problemi şeklinde çözülebileceği ve olasılık hesaplarınında katılabileceği kaynak zamanları, akım karakteristiklerininde hesaba katıldığı detaylı simülasyonların yapılabilecek hale getirilmesi planlanmaktadır. Ayrıca, bu yazılım içerisinde de ani akımı hesaba katan ve uygun eş zamanlılık faktörü ile gerilim düşümü hesabı üzerine çalışma yapılması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

[1] Dugan R., McGranaghan M., Santoso S., Beaty W., (1996), "Electrical Power Systems Quality" 1st Edition, McGraw-Hill Press.

[2] Bollen M.H.J. (2000), "Understanding Power Quality Problems-Voltage Sags and Interruptions", 1st Edition, Wiley-IEEE Press.

[3] Can/Am EMTP User Group, (1997), "Alternative Transient Program Rule Book", 1st Edition, Can/Am EMTP Press.

[4] Angello B., (2008), "Handbook of Power Systems Quality", 1st Edition, John Wiley and Sons.

[5] Web 1, (2019), (heskablo) http://www.hes.com.tr/hes-96-102-medya-katalog.html, (Erişim Tarihi: 07/04/2019)

[6] Kenneddy W., (2000), ''Power Quality Primer'', 1st Edition, McGraw-Hill Press.

[7] Arrilaga J., Watson N. R., Chen S.; (2000), ''Power System Quality Assessment'', 1st Edition, John Wiley & Sons.

[8] Şenel C., (2015), "Güç Kalitesi Problemleri ve Çözüm Yöntemleri'', Aktif Mühendislik Sunumu.

[9] Andersson P.M, (1995), "Analysis of Faulted Power Systems," 1st Edition, IEEE Press.

[10] Ergün A., (1997), "Güç Sistemlerindeki Harmoniklerin İncelenmesi" Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi.

[11] Atasal M., (2000), "Güç Kalitesi ve Fliker" Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

[12] Web 2, (2019), http://grouper.ieee.org/groups/1159/2/keypts.html, (Erişim Tarihi: 02/04/2019).

[13] Mindykowski H., (2014), "Power Quality on Ships: Today and Tomorrow's Challenges", International Conference and Exposition on Electrical and Power Engineering, 1-18, Lasi, Romania, 16-18 October.

[14] Gazafrudi S., Langerudy A., Fuchs E., Al-Haddad K., (2015) "Power Quality Issues in Railway Electrification: A Comprehensive Perspective", IEEE Transactions on Industrial Electronics, 62 (5), 3081-3090.

[15] Web 3, (2019), http://www.icrepq.com/pdfs/PL4.ALMEIDA.pdf, (Erişim Tarihi: 06.06.2019).

[16] Khalid S., Dwivedi B., (2011), "Power Quality Issues, Problems, Standards & Their Effects in Industry with Corrective Means", International Journal of Advances in Engineering & Technology", 1 (2), 1-11.

[17] Alagöz N., (2011), "Alçak Gerilim Dağıtım Şebekeleri için Uluslararası Anma Gerilimi" Elektrik Mühendisliği Dergisi, 88 (1), 361-362.

[18] ResGaz 1, (2017), Elektrik Şebeke Yönetmeliği, 26 Kasım 2017 tarih ve 30252 sayılı Resmi Gazete.

[19] Bollen M., Sabin D., (2005), "International coordination for voltage sag indices", Power Engineering Society General Meeting , 3 (1), 2217-2222.

[20] Teke A. , Meral M., Tümay M. , Bayındır K. . (2009), "Türkiye'nin Güney Sanayi Bölgelerindeki Güç Kalitesi Üzerine Bir Araştırma" Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering, 14 (2), 23-31.

[21] Karacasu Ö., (2002), "Orta Gerilim Şebekelerinde Kısa Süreli GerilimDeğişimlerinin Topraklama Metodlarına Bağlı İncelenmesi" , Yüksek LisansTezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

[22] ResGaz 2, (1988), Elektrik İç Tesisat Yönetmeliği, 12 Temmuz 1988 tarih ve 25639 sayılı Resmi Gazete.

[23] Emanuel A. E., (2006), "Intrinsic power: Some observations" Seventh International Workshop on Power Definitions and Measurements under Non-Sinusoidal Conditions, 6-8, Cagliari, Italy, July 10.

ÖZGEÇMİŞ

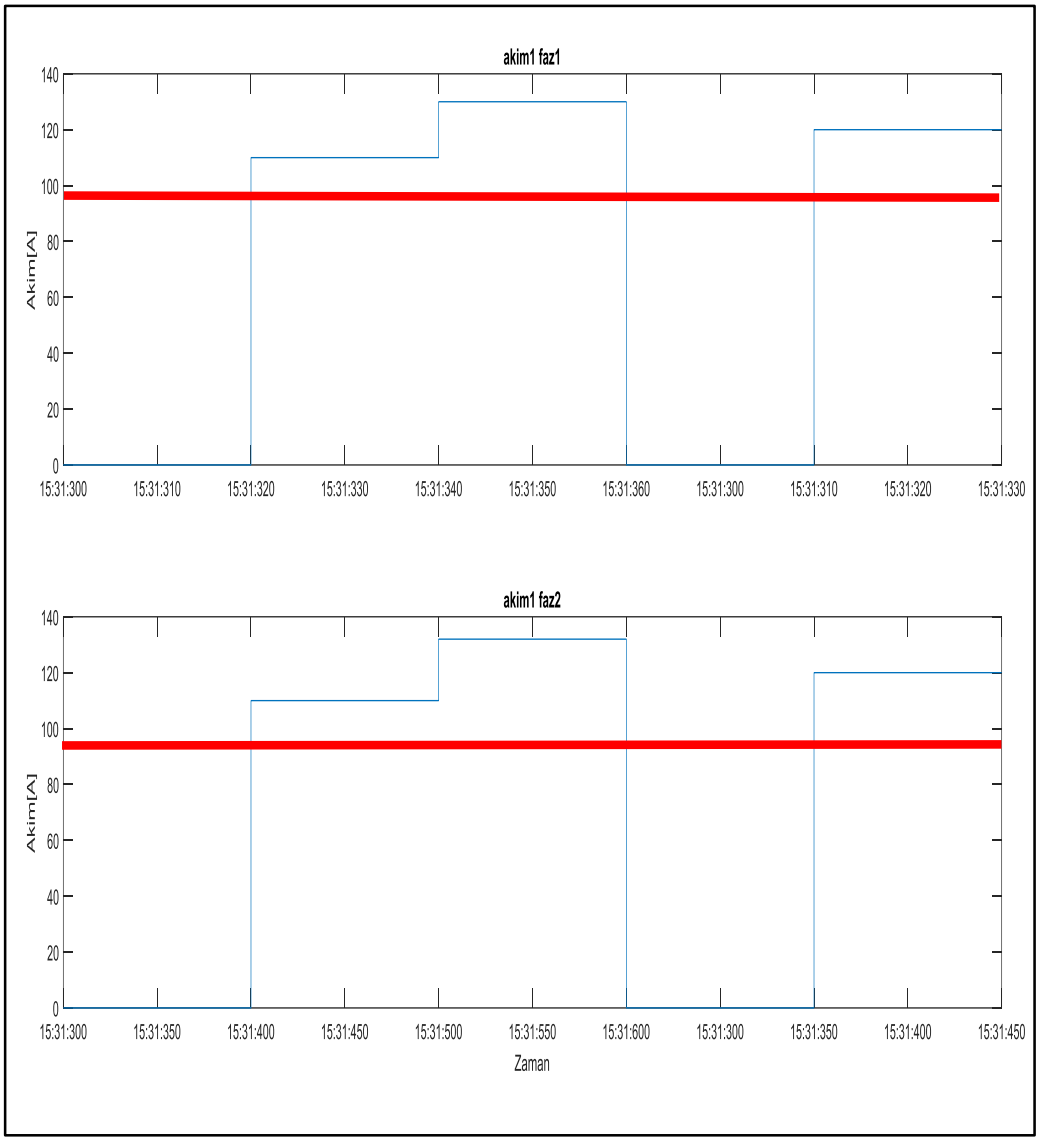
Onur Bademci 1990 yılında Batman'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Batman'da tamamlayıp, lisans eğitimini Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünü üç yılda tamamlandı. 2019 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimini tamamladı. Halen Toyotetsu-Otomotiv Fabrikasında enerji yöneticisi olarak çalışmaktadır.

EKLER

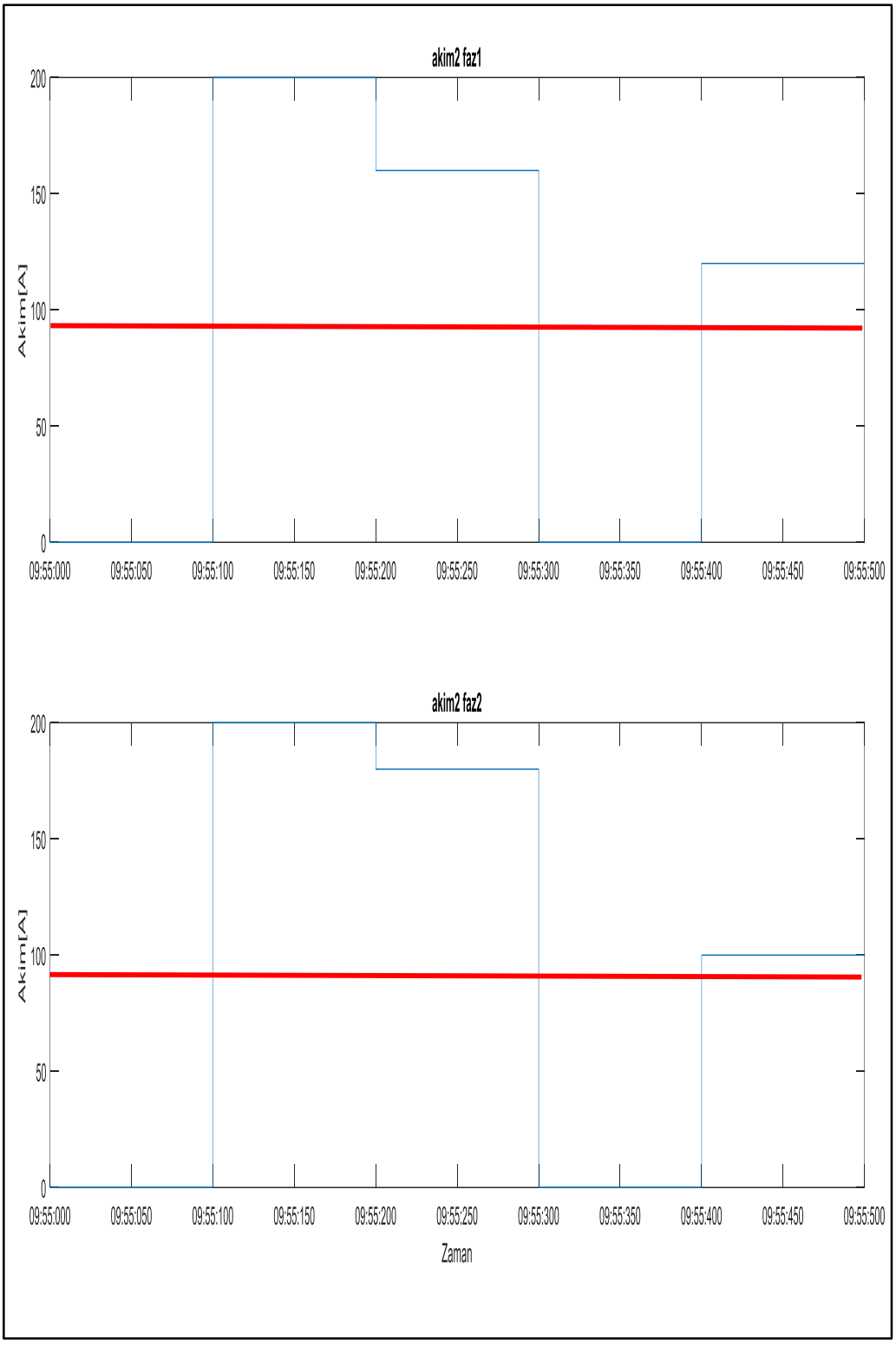
Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Bademci Onur., Atsever Mert., Hocaoğlu M. H., (2019), ‘‘Darbeli Yüklerin Gerilim Düşümleri Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi’’, Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Araştırmalar Sempozyumu 2019, 17-18, Kocaeli, Türkiye

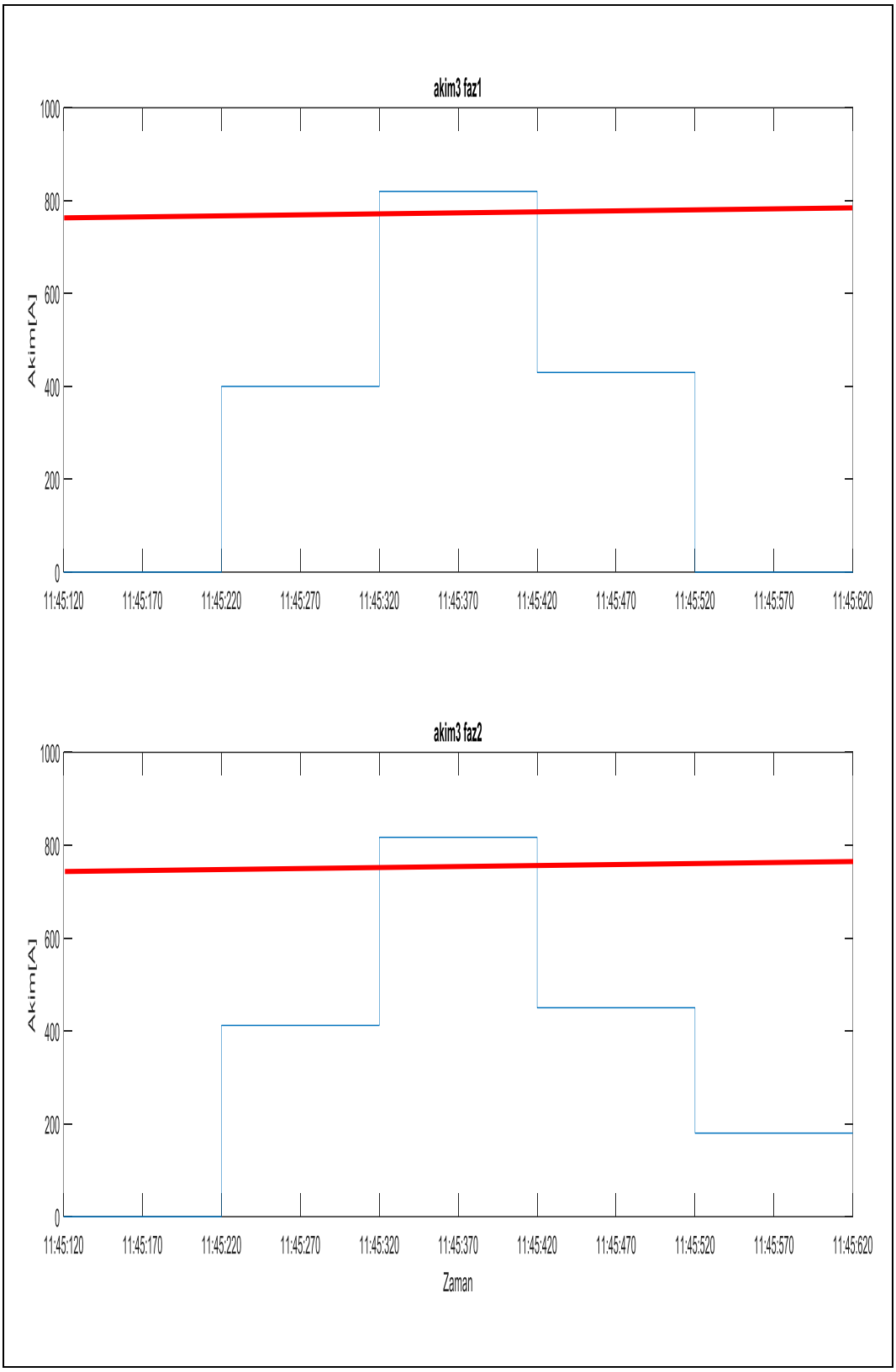
Ek B: Zaman Aralığı Dağıtılmış Akım Grafikleri



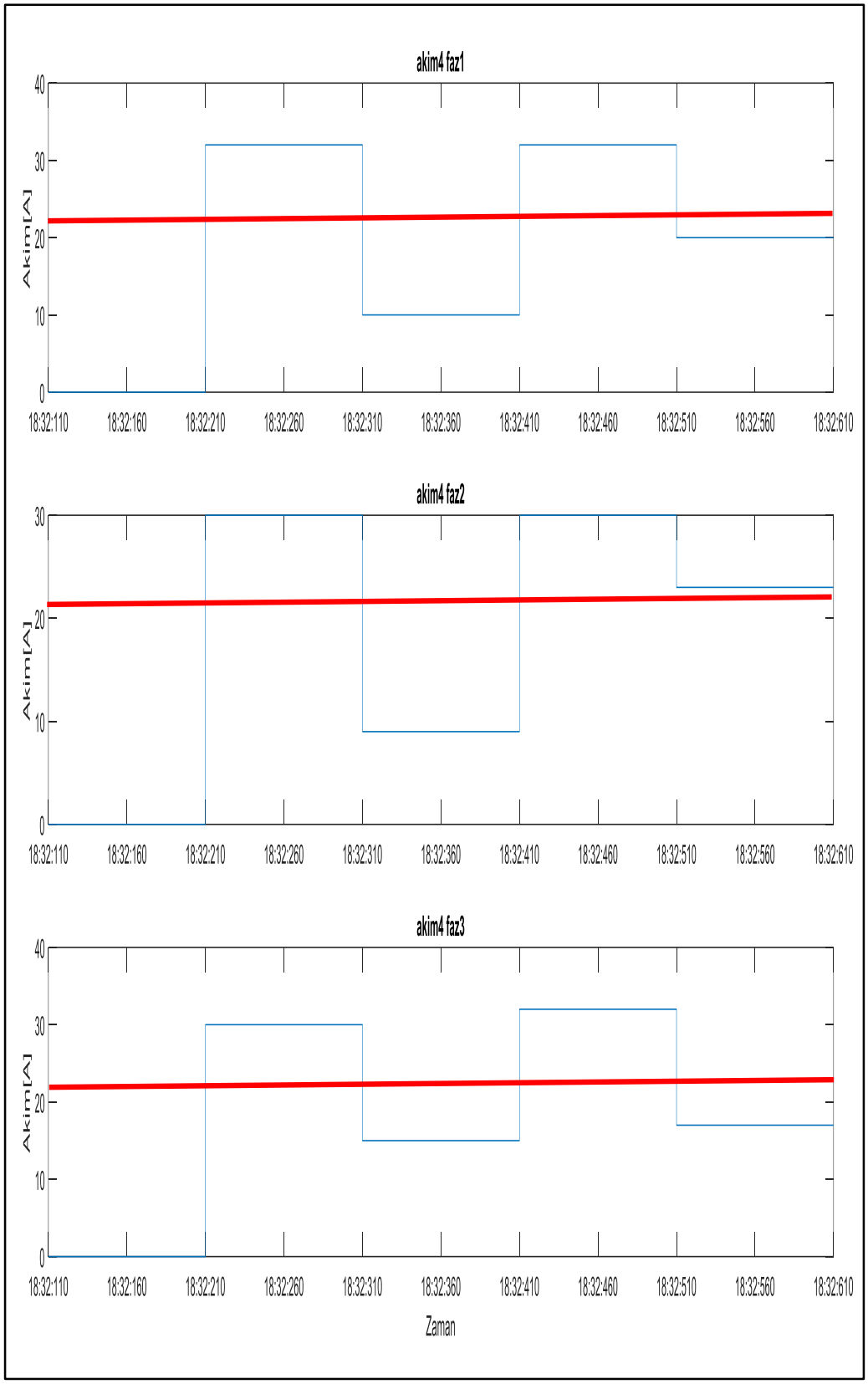
Şekil B1.1: Makine 1 zaman aralığı daraltılmış akım grafiği.



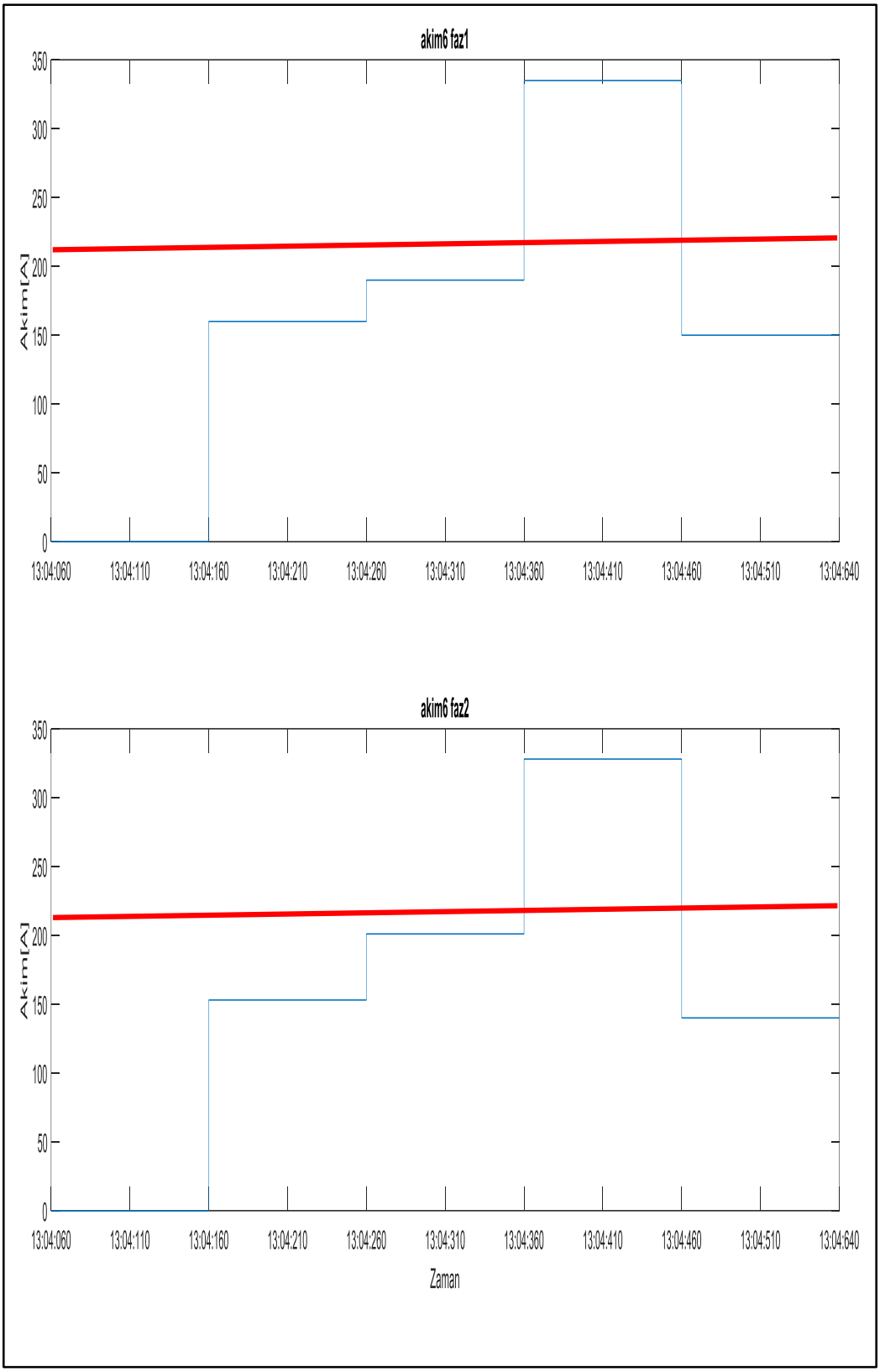
Şekil B1.2: Makine 2 zaman aralığı daraltılmış akım grafiği.



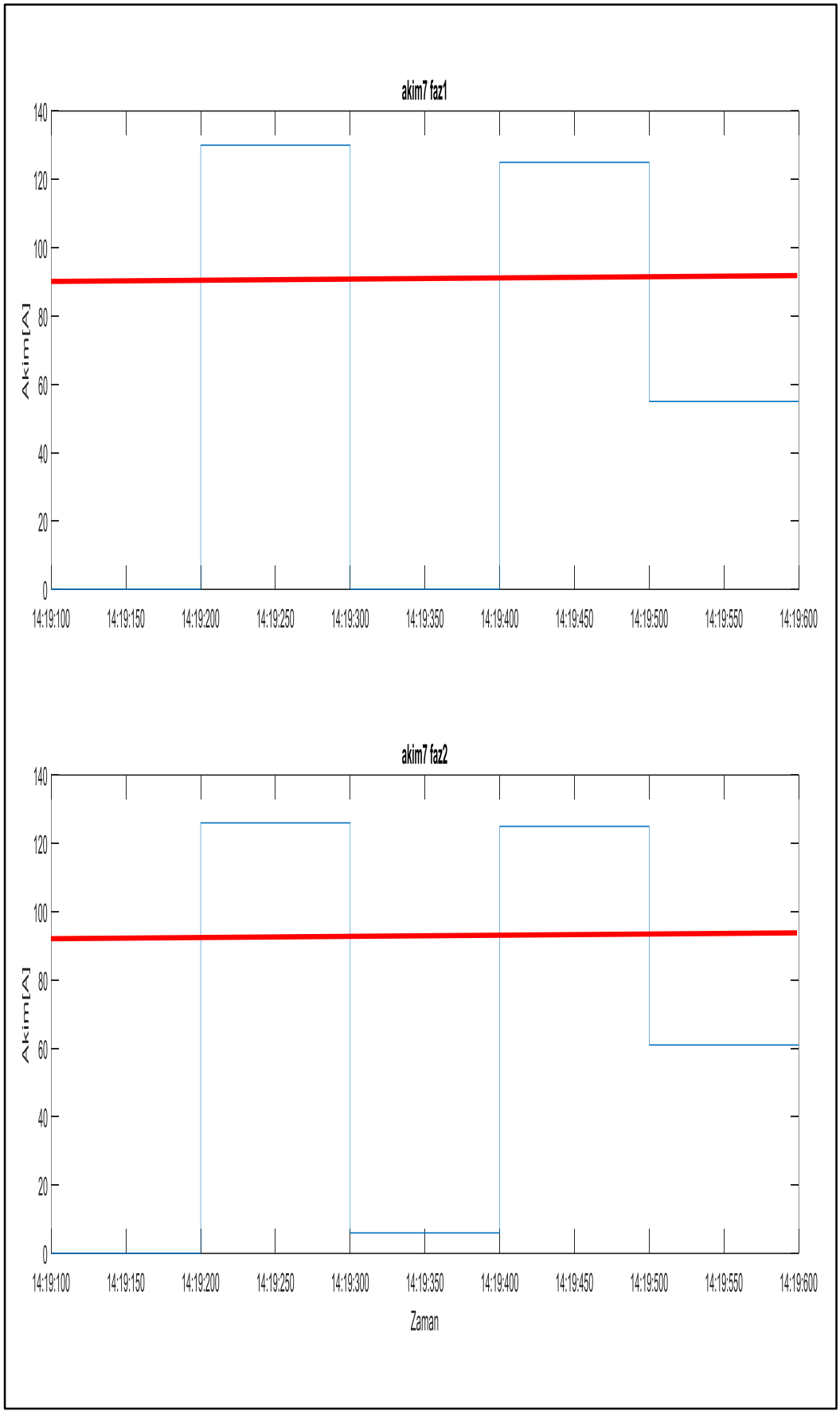
Şekil B1.3: Makine 3 zaman aralığı daraltılmış akım grafiği.



Şekil B1.4: Makine 4 zaman aralığı daraltılmış akım grafiği.



Şekil B1.5: Makine 6 zaman aralığı daraltılmış akım grafiği.



Şekil B1.6: Makine 7 zaman aralığı daraltılmış akım grafiği.