T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BUSBAR TABANLI DAĞITIM SİSTEMLERİNDE İŞARET KALİTESİ ANALİZİ

Cihan Burak FIRAT

DANIŞMAN
Dr. Öğr. Üyesi Cengiz Polat UZUNOĞLU

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programı

İSTANBUL-2019

Bu çalışma, 1.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Dr.Öğr.Üyesi Cengiz Polat UZUNOĞLU
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Prof. Dr. Mukden UĞUR
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Mühendislik Fakültesi

Dr.Öğr.Üyesi Ali AKMAN
Maltepe Üniversitesi
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi

20.04.2016 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa'nın abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin gerçekleştirilmesi aşamasında bana bilgi birikimi ile yol gösteren, laboratuvar çalışmalarımızda vaktini ayıran ve her zaman desteğini hissettiğim kıymetli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Cengiz Polat UZUNOĞLU'na en içten sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Mesai arkadaşlarıma ve tezimin deneysel çalışmalarında yardımcı olan öğrenci arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini hep yanımda bulduğum sahip olmaktan büyük mutluluk ve onur duyduğum Sevgili Aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tezi oğlum Berk FIRAT'a ithaf ediyorum.

Temmuz 2019 Cihan Burak FIRAT

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ ..... **iv**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
TABLO LİSTESİ ..... **ix**
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xiii**
SUMMARY ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
2. GENEL KISIMLAR **4**
2.1 ELEKTRİKSEL İLETKENLER 4
2.1.1 Alüminyum 5
2.1.2 Bakır 5
2.2 BUSBAR 5
2.3 KABLO 6
2.4 GERİLİM DÜŞÜMÜ 6
2.5 HARMONİKLER 8
2.6 ELEKTRİK ALAN 9
2.7 MANYETİK ALAN 10
3. MALZEME VE YÖNTEM **11**
3.1 BUSBARLAR 11
3.1.1 Tip 1 Busbar 11
3.1.2 Tip 2 Busbar 12
3.1.3 Tip 3 Busbar 13
3.1.4 Tip 4 Busbar 14
3.1.5 Tip 5 Busbar 15
3.1.6 Tip 6 Busbar 16
3.2 KABLOLAR 17
3.2.1 Tip 1 kablo (3x35+16 mm^2) 18
3.2.2 Tip 2 kablo (3x16+10 mm^2) 18
3.2.3 Tip 3 kablo (3x10+6 mm^2) 19

3.2.4 Tip 4 kablo (3x2.5 mm^2) 20
3.3 DENEYLERDE KULLANILAN TEST CİHAZLARI 20
3.3.1 Güç Analizörü 20
3.3.2 Elektrik Alan ve Manyetik Alan Ölçüm Aleti 21
3.3.3 Termal Kamera 22
3.3.4 Pens Ampermetre 23
3.3.5 Nem ve sıcaklık Ölçer 23
3.4 TEST DÜZENEĞİ 24
3.4.1 Güç Analizörü ile Yapılan Deneyler 24
3.4.2 Elektrik Alan ve Manyetik Alan Ölçümleri 28
4. BULGULAR 30
4.1 REZİSTİF YÜK ALTINDA BUSBAR VE KABLONUN İNCELENMESİ 30
4.1.1 Busbar ve Kabloların Oda Koşullarında İncelenmesi 30
4.1.2 Busbar ve Kabloların Sıcaklık Altında İncelenmesi 32
4.1.3 Busbar ve Kabloların Nem Altında İncelenmesi 34
4.2 ENDÜKTİF YÜKTE BUSBAR VE KABLONUN İNCELENMESİ 36
4.2.1 Busbar ve Kabloların Oda koşullarında İncelenmesi 36
4.2.2 Busbar ve Kabloların Sıcaklık Altında İncelenmesi 38
4.2.3 Busbar ve Kabloların Nem Altında İncelenmesi 40
4.3 KAPASİTİF YÜKTE BUSBAR VE KABLONUN İNCELENMESİ 42
4.4 BUSBAR VE KABLOLARIN ELEKTROMANYETİK ALAN İNCELEMESİ 44
4.5 YÜKSEK AKIM ALTINDA BUSBAR VE KABLONUN TERMAL ANALİZİ 45
4.6 KULLANIMDA OLAN EŞDEĞER İKİ BİNADA BUSBAR VE KABLONUN İNCELENMESİ 46
5. TARTIŞMA VE SONUÇ 48
KAYNAKLAR 50
ÖZGEÇMİŞ 53

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1 : Busbarın Yapısı. 6
Şekil 2.2 : Farklı Frekanslardaki Harmoniklerin Temel Bileşen Üzerine Etkisi. 9
Şekil 3.1 : Tip 1 Busbar. 11
Şekil 3.2 : Tip 2 Busbar 13
Şekil 3.3 : Tip 3 Busbar 14
Şekil 3.4 : Tip 4 Busbar 15
Şekil 3.5 : Tip 5 Busbar 16
Şekil 3.6 : Tip 6 Busbar 17
Şekil 3.7 : Tip 1 Kablo 3x35+16 mm^2 18
Şekil 3.8 : Tip 2 Kablo 3x16+10 mm^2 19
Şekil 3.9 : Tip 3 Kablo 3x10+6 mm^2 19
Şekil 3.10 : Tip 4 Kablo 3x2.5 mm^2 20
Şekil 3.11 : Güç Analizörü 21
Şekil 3.12 : EMF Metre 22
Şekil 3.13 : Termal Kamera 22
Şekil 3.14 : Pens Ampermetre 23
Şekil 3.15 : Nem ve Sıcaklık Ölçer 24
Şekil 3.16 : Test Düzeneği 25
Şekil 3.17 : Test Düzeneği Blok Diyagramı 25
Şekil 3.18 : Deney Düzeneği Blok Diyagramı 26
Şekil 3.19 : Sıcaklık Deneyi 27
Şekil 3.20 : Nem Deneyi 28
Şekil 3.21 : Elektromanyetik Alan Deneyi 29

Şekil 4.1 : Kablo için Termal Analiz 46
Şekil 4.2 : Busbar için Termal Analiz 46

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: 20^{o}C için Bazı İletkenlerin Özdirenç, Öziletkenlik ve Isı Direnç Katsayıları. 4

Tablo 3.1 : Tip 1 Busbara Ait Karakteristik Değerler. 12

Tablo 3.2 : Tip 2 Busbara Ait Karakteristik Değerler. 13

Tablo 3.3 : Tip 3 Busbara Ait Karakteristik Değerler. 14

Tablo 3.4 : Tip 4 Busbara Ait Karakteristik Değerler. 15

Tablo 3.5 : Tip 5 Busbara Ait Karakteristik Değerler. 16

Tablo 3.6 : Tip 6 Busbara Ait Karakteristik Değerler. 17

Tablo 4.1 : Rezistif Yükte Tip 2 Busbar ve Tip1 Kabloya Ait Değerler. 30

Tablo 4.2 : Rezistif Yükte Tip 3 Busbar ve Tip 2 Kabloya Ait Değerler. 31

Tablo 4.3 : Rezistif Yükte Tip 5 Busbar ve Tip 3 Kabloya Ait Değerler. 31

Tablo 4.4 : Rezistif Yükte Tip 6 Busbar ve Tip 4 Kabloya Ait Değerler. 31

Tablo 4.5 : Rezistif Yükte Tip 1 ve Tip 4 Busbara Ait Değerler. 32

Tablo 4.6 : Rezistif Yükte Sıcaklık Altında Tip 2 Busbar ve Tip1 Kabloya Ait Değerler. 32

Tablo 4.7 : Rezistif Yükte Sıcaklık Altında Tip 3 Busbar ve Tip 2 Kabloya Ait Değerler. 33

Tablo 4.8 : Rezistif Yükte Sıcaklık Altında Tip 5 Busbar ve Tip 3 Kabloya Ait Değerler. 33

Tablo 4.9 : Rezistif Yükte Sıcaklık Altında Tip 6 Busbar ve Tip 4 Kabloya Ait Değerler. 33

Tablo 4.10 : Rezistif Yükte Sıcaklık Altında Tip 1 ve Tip 4 Busbara Ait Değerler. 34

Tablo 4.11 : Rezistif Yükte Nem Altında Tip 2 Busbar ve Tip 1 Kabloya Ait Değerler. 34

Tablo 4.12 : Rezistif Yükte Nem Altında Tip 3 Busbar ve Tip 2 Kabloya Ait Değerler. 35

Tablo 4.13 : Rezistif Yükte Nem Altında Tip 5 Busbar ve Tip 3 Kabloya Ait Değerler. 35

Tablo 4.14 : Rezistif Yükte Nem Altında Tip 6 Busbar ve Tip 4 Kabloya Ait Değerler. 35

Tablo 4.15 : Rezistif Yükte Nem Altında Tip 1 ve Tip 4 Busbara Ait Değerler. 36

Tablo 4.16 : Endüktif Yükte Tip 2 Busbar ve Tip 1 Kabloya Ait Değerler. 36

Tablo 4.17 : Endüktif Yükte Tip 3 Busbar ve Tip 2 Kabloya Ait Değerler. 37

Tablo 4.18 : Endüktif Yükte Tip 5 Busbar ve Tip 3 Kabloya Ait Değerler. 37

Tablo 4.19 : Endüktif Yükte Tip 6 Busbar ve Tip 4 Kabloya Ait Değerler. 38

Tablo 4.20 : Endüktif Yükte Tip 1 ve Tip 5 Busbara Ait Değerler. 38

Tablo 4.21 : Endüktif Yükte Sıcaklık Altında Tip 2 Busbar ve Tip 1 Kabloya Ait Değerler. 38

Tablo 4.22 : Endüktif Yükte Sıcaklık Altında Tip 3 Busbar ve Tip 2 Kabloya Ait Değerler. 39

Tablo 4.23 : Endüktif Yükte Sıcaklık Altında Tip 5 Busbar ve Tip 3 Kabloya Ait Değerler. 39

Tablo 4.24 : Endüktif Yükte Sıcaklık Altında Tip 6 Busbar ve Tip 4 Kabloya Ait Değerler. 39

Tablo 4.25 : Yükte Sıcaklık Altında Tip 1 ve Tip 4 Busbara Ait Değerler. 40

Tablo 4.26 : Endüktif Yükte Nem Altında Tip 2 Busbar ve Tip 1 Kabloya Ait Değerler. 40

Tablo 4.27 : Endüktif Yükte Nem Altında Tip 3 Busbar ve Tip 2 Kabloya Ait Değerler. 41

Tablo 4.28 : Endüktif Yükte Nem Altında Tip 5 Busbar ve Tip 3 Kabloya Ait Değerler. 41

Tablo 4.29 : Endüktif Yükte Nem Altında Tip 6 Busbar ve Tip 4 Kabloya Ait Değerler. 41

Tablo 4.30 : Endüktif Yükte Nem Altında Tip 1 ve Tip 4 Busbara Ait Değerler. 42

Tablo 4.31 : Busbar Girişinde Güç Analizörü Ölçüm Sonuçları. 42

Tablo 4.32 : Busbar Çıkışında Güç Analizörü Ölçüm Sonuçları. 43

Tablo 4.33 : Kablodan Önceki bir Noktada Güç Analizörü Ölçüm Sonuçları. 43

Tablo 4.34 : Kablodan Sonraki bir Noktada Güç Analizörü Ölçüm Sonuçları. 44

Tablo 4.35 : Elektrik Alan ve Manyetik Alan İncelemesi. 45

SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler **Açıklama**

ρ : Özdirenç
k : Öziletkenlik
α : Isı Direnç Katsayısı
U : Gerilim
u : Gerilim Düşümü
e : Yüzde Gerilim Düşümü
L : Hattın Uzunluğu
I : Akım
S : Kesit
Ω : Ohm
$\mathbf{H_c}$: Harmonik Bileşenler Toplamı(Temel Bileşen Hariç)
$\mathbf{H_1}$: Temel Harmonik Bileşeni
$\boldsymbol{F_e}$: Elektriksel (Coulomb) kuvvet.
$\boldsymbol{k_e}$: Coulomb sabiti.
$\boldsymbol{q}$: Elektrik yükü.
$\boldsymbol{E}$: Elektrik alan.
$\boldsymbol{q_0}$: Deneme yükü.
$\boldsymbol{F_B}$: Manyetik kuvvet.
$\boldsymbol{B}$: Manyetik alan.
°C : Derece Selsiyus
G : Gauss
W : Watt

Kısaltmalar **Açıklama**

THD : Toplam Harmonik Bozulma (Total Harmonic Distortion)
m : Metre
mm : Milimetre
V : Volt
A : Amper
Hz : Hertz
XLPE : Çapraz Bağlı Polietilen **(**Cross-linked polyethylene)
DC : Doğru akım
AC : Alternatif Akım
EMF : Electro-Magnetic Field
RMS : Root Mean Square
VAr : Volt Amper Reaktif
VA : Volt Amper

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BUSBAR TABANLI DAĞITIM SİSTEMLERİNDE İŞARET KALİTESİ ANALİZİ

Cihan Burak FIRAT

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Cengiz Polat UZUNOĞLU

Günümüzde yaşamımızın önemli bir parçası haline gelmiş olan birçok cihaz çalışmak için enerjiye ihtiyaç duyar. Bilgisayarlar, telefonlar, arabalar ve hayatımızı kolaylaştırmaya yardımcı olan pek çok aygıt ancak gerekli enerji sağlandığında işlevini yerine getirebilmektedir. Gelişen teknolojiyle birlikle bu tür hayatı kolaylaştıran cihazların sayısı ve çeşitliliği çoğalmakta, dolayısıyla gözlenen enerji tüketimi de günden güne artmaktadır. Tüketim taleplerinin karşılanabilmesi için iletim ve dağıtım şebekelerinde kablo ve busbarlar gibi çeşitli araçlar enerjinin üretildiği santrallerden son kullanıcılara kadar farklı akım ve gerilim değerlerindeki birçok noktada etkili olarak kullanılmaktadır. Klasik kablolara alternatif iletim araçlarından biri olan busbarlar elektrik enerjisinin taşınması ve dağıtımı için tasarlanmış prefabrik ve modüler bir sistemdir. Bu çalışmada klasik kablolar ile busbarlar birlikte değerlendirilmiş, busbarların klasik kablolara göre nem, sıcaklık değişimi gibi farklı fiziksel koşullardaki performansları incelenmiştir. Ayrıca endüktif, rezistif ve kapasitif karakteristikte özellik gösteren yükler için kablolar ve busbarlar deneysel koşullarda test edilmiştir. Deneysel koşullar haricinde kullanımda olan iki eşdeğer binada da akım ve gerilim değerleri hem bina ana panosu çıkışında hem de kat panosu girişinde ölçülerek busbar/kablo üzerindeki gerilim düşümleri gözlemlenmiştir. Bu tez kapsamında gerilim düşümleri, güç değişimleri ve THD değerleri ana başlıklar olarak incelenmiştir. Ek olarak eşdeğer busbar ve kablolar dayanma sınırlarının üst değerindeki bir akım değerinde belirli bir süre çalıştırılarak ısı değişimleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte kablo ve busbarlar için hat üzerinde belirli bir akım olması

durumunda oluşan elektrik alan ve manyetik alan ölçümleri yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır.

Temmuz 2019, 69 sayfa.

Anahtar kelimeler: Busbar, THD, Elektrik dağıtımı

SUMMARY

M.Sc. THESIS

AN ANALYSIS OF SIGNAL QUALITY IN BUSBAR BASED DISTRIBUTION SYSTEMS

Cihan Burak FIRAT

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Electrical and Electronic Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Cengiz Polat UZUNOĞLU

Today, most of the devices which have various usage purposes have become an important part of our lives need extensive energy to operate. Computers, phones, cars, and many devices that help make our lives easier can only make life easier when the required energy is supplied. With the development of technology, the number and variety of devices that make life easier has increased and thus the more energy consumption is observed day by day. In order to meet consumption demands, various tools such as cables and busbars are used in the transmission and distribution networks from the power plants to the end users efficiently. Busbar, which is an alternative transmission conductor to conventional cables, is a prefabricated and modular system designed for the transmission and distribution of electrical energy. In this study, classical cables and busbars are evaluated together in different physical conditions such as humidity and temperature variations. Besides cables and busbars are tested by different loads, which exhibit inductive, resistive and capacitive characteristics in experimental conditions. In this thesis, mainly voltage drops, power changes and THD values are examined. In addition, an equivalent busbar and cables are operated under extensive (in the upper limit) current for cable

and busbars, in which temperature variations are determined. Therewithal, electric field and magnetic field measurements are conducted for cable and busbars and these results are compared.
July 2019, 69 pages.

Keywords: Busbar, THD, Electrical network

1. GİRİŞ

İnsanların barınma ihtiyaçlarını karşılamada yapılar önem arz etmektedir. Bu bağlamda nüfus artışına bağlı yapı stoklarındaki artışlar kaçınılmaz hale gelmiştir. Yapı alanlarının kısıtlı olması nedeniyle artan ihtiyaçları karşılamak için yataydaki yerleşim artışının yanı sıra düşeydeki yapıların kat sayısındaki artışa bağlı gelişim daha fazla kendini hissettirmektedir. Artan talepleri karşılamada yapıların enerji tüketiminde de ciddi artışlar görülmektedir. Bu durum yapı kullanıcılarının daha konforlu bir yaşam standardını yakalamak isteğinden kaynaklanmaktadır. Her geçen gün teknolojideki gelişmelerle birlikte yenilikçi yaklaşımlar önem arz etmektedir. Özellikle mekanik cihazların talepler doğrultusundaki kapasite artışları enerji tüketimini yükseltmiştir. Bu ve benzeri sebeplerden kaynaklı olarak enerji ihtiyaçları mevcut bina içerisinde bile zamanla değişip ek enerji ihtiyaçları oluşturmaktadır. Hayatı kolaylaştırmak için yenilikçi bir yaklaşım olan akıllı bina sistemleri son yıllarda hem mevcut yapının hem de yeni yapının fonksiyonel özelliklerine katkı sunmanın yanında enerji tüketimini de artırmaktadır. İnsanların ihtiyaçları tüketimdeki artışları da beraberinde getirmiştir. Bu ihtiyaçları karşılayabilmek için gelişen teknoloji ile birlikte üretim kapasitesini artırmak isteyen tesisler yeni cihazlar temin ederek elektrik yükünü büyük oranda arttırabilmektedir. Elektrik iletim araçlarının bu doğrultuda artan talebi karşılamada yeterlilik göstermesi gerekmektedir. Busbarlar bu ihtiyaçları karşılaması amacıyla 1930'lu yıllardan beri Amerika Birleşik Devletlerinde kullanılmaktadır [1]. İlerleyen yıllarda ülkemizde de kullanılmaya başlanan busbar ülkemizde çeşitli firmalarca üretilmektedir.

İstanbul'da, 2014-2018 yılları arası 5 yıllık dönemin ortalamasına bakıldığında toplam 23901 yangında sebep olarak %37.5 oranında sigara kaynaklı yangının hemen ardından %24.2 oranı ile elektrik kontakları kaynaklı yangınlar gelmektedir [2]. Busbarlarda ise ek noktaları birbiri içine geçerek kontak noktalarında elektriksel atlama oluşumu ihtimalini azalttığı düşünülmektedir.

Bu tez kapsamında eşdeğer busbar ve klasik kabloların dayanma sınırlarının üst noktalarındaki akım değerlerinde ısınmaları incelenmiştir. Bunun için tek bir hat üzerine hem endüktif hem rezistif yükler bağlanmış, akım seviyesinin yükselmesi sağlanmıştır. Gerçek hayatta da

kullanıcılar tek bir hattın üzerine çoğaltıcı prizler ekleyerek bu senaryonun gerçekleşmesine sebep olmaktadırlar.

Elektrik üretim kaynaklarında üretilen enerjinin bir kısmı iletim sırasında bir kısmı da dağıtım sırasında kaybolmaktadır [3]. Enerji iletim araçlarının sahip olduğu öz direnç sebebiyle belirli bir miktar potansiyel farkı iletim sırasında oluşur [4]. Buna gerilim düşümü denir. Gerilim düşümü hesapları yapılırken tek faz 220V değerindeki bir şebeke için 220-216 V aralığı ideal kabul edilir [5]. Bu tezde eşdeğer kablolar ile busbarların gerilim düşümleri incelenmiştir.

Elektrik iletiminde kullanılan iletkenlerde direnci belirleyen çeşitli faktörler vardır. Bunlar iletkenin boyu, iletkenin kesiti, iletkenin cinsi ve sıcaklıktır [6]. İletkenin boyu, kesiti ve cinsi projelendiğimiz sistemler için nettir. Fakat sıcaklık kontrolümüz dışında değişebilir. Ortam sıcaklığının artmasıyla birlikte iletkenin direnci artacağından gerilim düşümünün artması beklenir [7]. Bu tezde şeffaf bir sıcaklık odası içerisinde busbar ve kablo için ortam sıcaklığının artması durumunda gerilim düşümü incelenmiştir. Sıcaklık artışı gerilim düşümünün yanı sıra kablo ömrünü de etkilemektedir. 70 ^{o}C'deki bir kablo 10 ^{o}C'deki bir kabloya göre tam 100 kat daha hızlı yaşlanmaktadır [8].

Yapılan çalışmalardan görüldüğü üzere elektromanyetik alan insan sağlığı üzerinde negatif bir etki yaratmaktadır. Lösemi [9], kanser [10], Parkinson [11] gibi hastalıklarda tetikleyici etkisi olduğu yapılan çalışmalarda gözlemlenmiştir. Özellikle dünyada elektrik enerjisi iletiminde 50-60 Hz frekans değeri kullanılmakta ve bu düşük frekansa insanların sürekli olarak maruz kalmasından dolayı kişiler üzerinde elektromanyetik alan etkisi artmaktadır [12]. Bu tez kapsamında kablo ve busbar için elektrik alan ve manyetik alan yayılımları belirli bir mesafede elektrik alan ve manyetik alan ölçen bir cihaz yardımıyla incelenmiştir.

Elektrik iletiminde önemli unsurlardan biri de güç kalitesidir. Güç kalitesini etkileyen unsurlardan biri harmoniklerdir [13]. Harmonikler birleşerek hat üzerindeki dalga formunda bozulma oluşturur [14]. Bir dalga formunun harmonik içeriklerinin o dalganın temel bileşenine oranına toplam harmonik bozulma (THD, Total Harmonic Distortion) denir [15]. Bu tezde busbar ve kablo için rezistif, endüktif ve kapasitif yükler kullanılarak, farklı sıcaklık ve nem değerleri altında THD incelenmiştir.

Testler sırasında busbar ve kablo harici unsurların değişimini minimuma indirmek amacıyla üç fazlı sistemden gelen enerji kablosunun, sigortalarının, yüklerin bağlandığı prizlerin ve onların

hatlarının sabitlendiği bir deney seti oluşturulmuştur. Diğer tüm unsurlar sabit kalacak şekilde anma akımları 800, 160, 100, 63 ve 25 amper olan busbarlar deney setine dâhil edilerek ölçümler alınmıştır. Daha sonra aynı deney setinde 3x2.5, 3x10+6, 3x16+10, 3x35+16 kesitlerine sahip kabloların ölçümleri alınmıştır.

Nem ve sıcaklık testleri için %99 neme ve 95 ^{o}C sıcaklığa dayanıklı sert plastikten kapalı bir ortam oluşturulmuştur. Kapalı ortamın kapağının kenarlarından sızdırmazlığı olabilecek en az seviyede bozarak sistemin kablo giriş çıkışları sağlanmıştır. Ölçüm kabloları ölçüm cihazına, enerji girişi şebekeye ve yüke giden hat deneydeki endüktif, kapasitif ve rezistif yüklere ulaştırılmıştır. Nem testleri için oluşturulan kapalı ortam yaklaşık %95 neme çıkarıldıktan sonra her bir busbar ve kablo için ayrı ölçüm alınmıştır. Aynı kapalı ortam sıcaklık testleri için de kullanılmıştır. Sıcaklık testleri için kapalı ortam içerisine bir ısıtıcı ve termometre konulmuştur. Kapalı ortamın içerisindeki sıcaklık 80 ^{o}C olduğunda ölçümler alınmıştır. Termal kamera ve civalı termometre yardımı ile kablo ve busbarların analizleri yapılmıştır.

Yapılan deneylerde kablolarda gerilim düşümünün busbarlara oranla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Busbarlarda ise manyetik alanın kablolara göre yüksek olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda busbarlarda oluşan toplam harmonik bozulmanın kablolara oranla daha yüksek olduğu görülmektedir.

Bu tez kapsamında güç analizörü olarak Metrel Power Quality Analyser Plus MI 2292, elektromanyetik alan ölçümleri için Extech Multi-Field EMF metre (EMF 450), termal kamera olarak Fluke thermal imager Ti32, akım ölçümleri için Fluke 325 ve nem ölçümleri için cem DT8820 kullanılarak incelemeler yapılmıştır. Ölçümler busbarlar ve piyasada kullanılan klasik besleme kabloları için yapılarak birbirlerine göre avantaj ve dezavantajları gözlemlenmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

2.1 ELEKTRİKSEL İLETKENLER

Elektriği iletebilen maddelere elektriksel iletken denilir. Elektrik enerjisinin iletiminde en önemli unsurlardan biri iletkendir. Tablo 2.1'de 20 ^{o}C için bazı iletkenlerin öziletkenlik, özdirenç ve ısı direnç katsayısı değerleri verilmiştir.

Tablo 2.1: 20^{o}C için Bazı İletkenlerin Özdirenç, Öziletkenlik ve Isı Direnç Katsayıları.

Malzeme Cinsi	**Özdirenç** ρ [$\Omega.mm^2/m$]	**Öziletkenlik** k [$m/\Omega.mm^2$]	**Isı Direnç Katsayısı** α [$1/^{o}C.10^{-3}$]
Gümüş	0,0165	61	3,8
Bakır (Yer altı Kablosu için)	0,0172	58	3,93
Bakır (Hava Hattı için)	0,0176	56	3,83
Altın	0,023	44	3,8-4
Alüminyum	0,0282	35	4,03
Tungsten (Volfram)	0,055	18	4
Platin	0,1-0,11	10-9,1	3-3,8
Kalay	0,12	8,3	4,2-4,63
Çelik Tel	0,17	6	5,2
Çinko	0,0606	16,5	4,7
Nikel	0,08-0,11	13-9	3,7-6
Demir	0,1-0,15	10-7	4,5-6
Pirinç	0,064	16	1,5 (%60 Cu+%40 Zn)
Pirinç	0,084	11,9	1,5 (%70 Cu+%30 Zn)

Tabloda elektrik iletkenliklerine bakıldığında en yüksek iletim kapasitesinin gümüşte olduğu görülmektedir. Ancak gümüş korozyona olan dayanımının düşük olması sebebiyle elektik iletiminde kolaylıkla kullanılamamaktadır. En iyi iletkenlerden olduğu bilinen altın ise gümüş

ve bakırın gerisinde kalmaktadır fakat dayanımının yüksek olması sebebiyle bazı sonlandırma noktalarında altın uçlar kullanılmaktadır. Bu tez kapsamında yapılan deneylerde bu iletkenlerden alüminyum ve bakır kullanılmıştır.

2.1.1 Alüminyum

Periyodik cetvelin 3A grubu metallerinden olan alüminyum bakır kadar yüksek iletkenliğe sahip olmasa da ucuz ve hafif olduğundan elektrik iletiminde sıkça kullanılmaktadır [16]. Fiyat avantajının yanı sıra doğada deformasyona uğramadan uzun süre kalması ve bakıra göre korozyon dayanımı yüksek olması alüminyumu elektrik iletiminde bakıra güçlü bir alternatif yapmaktadır.

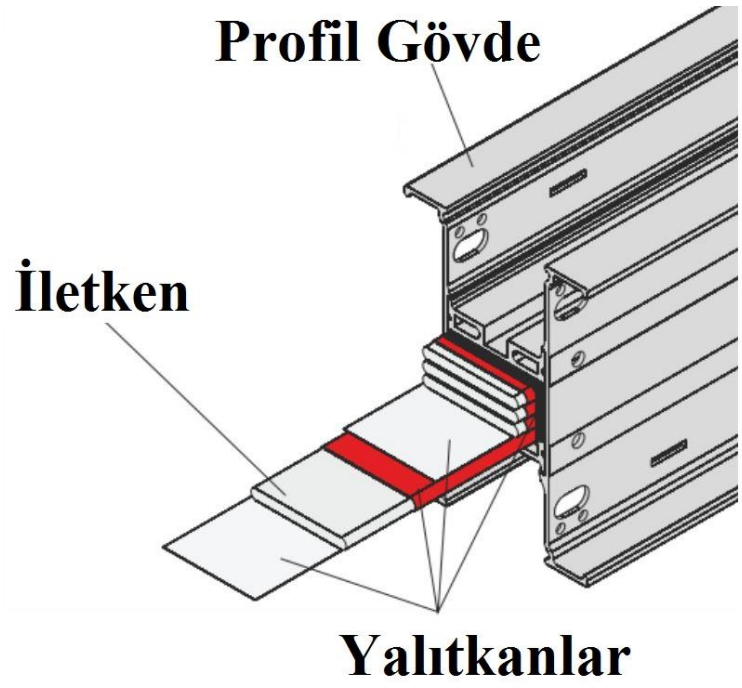
2.1.2 Bakır

Periyodik cetvelin 1B geçiş grubu elementlerinden bakırın (copper, Cuprum) birçok dildeki adını kaynaklarına sıkça rastlanan Kıbrıs (Cyprus) adasından aldığı düşünülmektedir [17]. İnsanların ilk değerlendirdiği madenlerden biri olan bakır orta çağdan beri süs eşyası, silah ve el sanatlarında kullanılmaktadır. Kaynağının bol olması, elektrik iletkenliğinin yüksek olması ve pirinç, bronz gibi endüstride kullanılan alaşımların da üretiminde rol oynaması bakırı değerli madenler arasına sokar.

2.2 BUSBAR

Akım taşıyıcı bara iletkenlerinin izole edilerek kapalı bir gövde içerisine yerleştirilmesi ile oluşturulan modüler bir enerji iletim ve dağıtım sistemi olan busbarlar ABD de yüksek katlı binalarda ve fabrikalarda 1930'lu yıllarda kullanılmaya başlanmıştır [1]. 1950'lerde Avrupa ve Japonya'da kullanılmaya başlanan busbar sonrasında ülkemizde de kullanılmaya başlanmıştır.

Farklı tip modüllerden oluşan busbar parçalarının birleştirilmesi ile oluşan bütüne busbar sistemi denir. Busbar sistemi üzerinde istenilen aralıklarla bulunan çıkış kutuları güvenli bir biçimde enerji alınmasını sağlar. Busbarın iç yapısı Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1 : Busbarın Yapısı.

Ülkemizde 27.11.2007 tarihli 2007/12937 sayılı Bakanlar Kurulu kararına dayanarak 19.12.2007 tarih 26735 sayılı Resmi Gazetede Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik yayınlanmıştır. Bu yönetmeliğin Elektrik tesisatı ve sistemleri başlıklı beşinci kısmının iç tesisat alt bölümünde; "Yapı yüksekliği 51.50 m'den fazla olan binalarda şaft içinde busbar sisteminin bulunması mecburidir." ifadesi yüksek binalarda yangından korunmak için busbarların güvenilir bir seçenek olduğunu göstermektedir.

2.3 KABLO

Elektrik akımını iletmekte kullanılan, üzeri yalıtkan bir maddeyle kaplanmış bir veya birden fazla metal tele kablo denir.

Ülkemizde kullanılan 0.5mm^2 - 2500 mm^2 arası iletken çapına sahip elektrik güç kabloları TS EN 60228 numaralı standart ile standardize edilmiştir.

2.4 GERİLİM DÜŞÜMÜ

Dağıtım noktasından tüketiciye giden iletkendeki gerilim çıkış noktası ile hattın sonundaki uç noktası arasında farklılık gösterir. Gerilim, hattında sonunda gerilim kaynağının olduğu başlangıç ucuna göre daha düşüktür. Buna gerilim düşümü denir. Belirli bir miktardan daha

fazla olan gerilim düşümü akkor flamanlı lamba gibi cihazların daha sönük yanmasına, akım-gerilim koruma sistemine sahip cihazların ise hiç çalışmamasına neden olabilir.

Hattaki gerilim düşümü denklem 2.1 ile bulunur. Bu denklemde *u* hattaki gerilim düşümünü, *U* hattın gerilimini ve *e* yüzde gerilim düşümünü ifade eder.

$$u = \frac{U.e}{100} \tag{2.1}$$

Yüzde gerilim düşümü hattın üzerinde gerçekleşen gerilim düşümünü yüzdelik olarak ifade eder. Proje tasarımlarında hattın kesitine ve yüküne göre yaklaşık yüzde gerilim düşümleri kullanılsa da 2.2 denklemindeki gibi bulunabilir.

$$e = \frac{200.L.I}{k.S.U} \tag{2.2}$$

Yüzde gerilim düşümü formülünde *L* metre cinsinden hat uzunluğunu, *I* amper cinsinden hat akımını, *k* hatta kullanılacak iletkenin iletkenlik katsayısını, *S* hatta kullanılacak iletkenin kesit alanını ve *U* hattın gerilimini sembolize eder.

Metaller için ayırt edici özelliklerden olan *k* yani iletkenlik katsayısı Tablo 2.1'de verilmiştir. Burada bakır hattı; toprak altı ya da toprak üstü konumlandırmaya göre iletkenlik katsayısı değişkenlik göstermektedir. Toprak altı konumlandırılan kablonun güneş ışınları ve benzeri etkiler sebebiyle ısınmasının daha geç gerçekleşmesi sebebiyle toprak altında 58 m/Ω.mm^2 öz iletkenliğe sahipken, yer üstünde bu değer 56 m/Ω.mm^2'ya kadar geriler. Alüminyum için öz iletkenlik değeri 35 m/Ω.mm^2'tir. Fakat elektrik iletiminde kullanılan kablolar alaşım olduğu için bu değer 32 m/Ω.mm^2 olarak kabul edilir.

Gerilim düşümü için olabilecek sınırlar elektrik iç tesisleri yönetmeliğinde verilmiştir. Yapı bağlantı kutusu ile tüketim araçları arasında oluşabilecek gerilim düşümü aydınlatma ve priz devreleri için % l,5'i, Motor devreler için % 3'ü, geçmemelidir. Bu bilgiler doğrultusunda oluşmasına izin verebileceğimiz ölçüde bir gerilim düşümü belirlediğimizde formülde iletken kesiti ile gerilim düşümü sembollerini yer değiştirerek iletken kesiti formül 2.3' teki gibi hesaplanabilir.

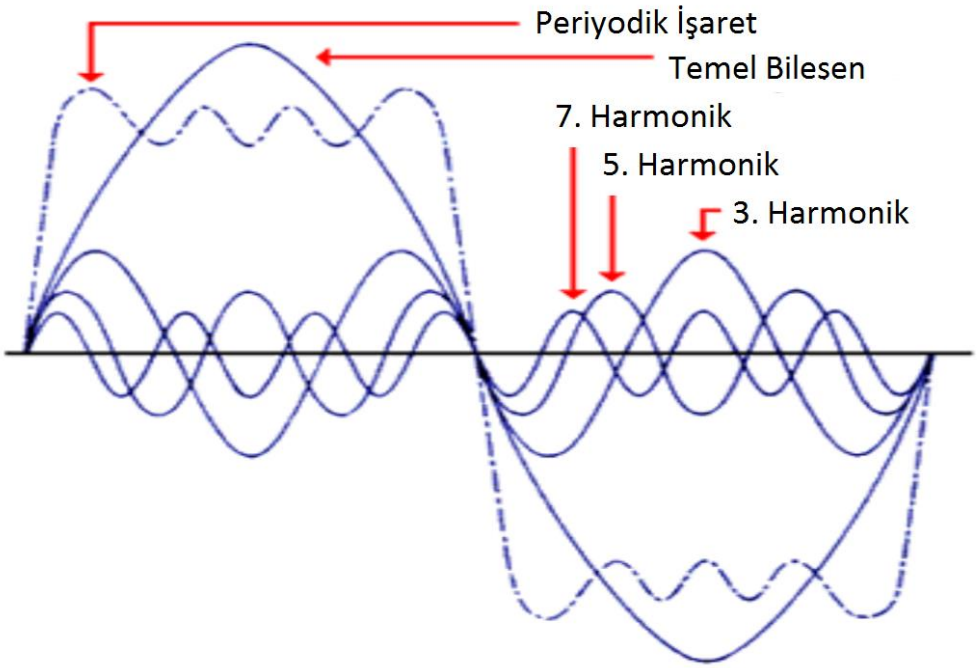
$$S = \frac{200.L.I}{k.e.U} \tag{2.3}$$

2.5 HARMONİKLER

Alternatif akımda şehir şebekesinde kullandığımız dalga formu olan sinüs dalgası bazı durumlarda bozulma gösterebilir. Enerji kaynağının tam bir sinüs üretememesi ya da doğrusal olmayan yükler hat üzerinde bozulmuş sinüs dalgaları bulunmasına sebep olur. Bozuk sinüs dalgaları güç sistemlerinde harmonikli akım ve harmonikli gerilim bulunmasına sebep olur. Harmonik içeren bu dalgalar fourier analizi ile temel frekans ile diğer frekanslardaki dalgaların bileşimi cinsinden yazılabilir. Bu, harmoniklerin analiz edilebilmesini sağlar.

50 Hz frekansında olan temel bileşen yani birinci harmonik üzerine 150 Hz frekanslı 3. Harmonik, 250 Hz frekanslı 5. Harmonik ve 350 Hz frekanslı 7. Harmoniğin eklenmesi Şekil 1 de gösterilmiştir. Harmoniklerin eklenmesiyle birlikte sinüs dalgası bozulmuş bir kare dalga gibi görünmeye başlamıştır. Bu harmoniklerin oluşmasında elektrik makinelerindeki diş ve oluklar, senkron makinelerdeki ani yük değişimleri, kesintisiz güç kaynakları, motor hız kontrol düzenekleri, enerji tasarruf cihazları, akü şarj devreleri vb. bozucu etkiler yer alır [18].

Farklı frekanslardaki harmoniklerin temel bileşen üzerine etkisini gösteren grafik Şekil 2.2'de gösterilmiştir [18].



Şekil 2.2 : Farklı Frekanslardaki Harmoniklerin Temel Bileşen Üzerine Etkisi.

Harmonikler güç kaybının yanı sıra rezonans riski, gürültü ve sıcaklık yükselmesi gibi riskler taşır. Özellikle nötr iletkeninin aşırı ısınması sonucu yangına sebebiyet verebilir. Aynı zamanda kompanzasyon sistemlerindeki kondansatörlerin ömrünü kısaltır.

Harmonik bozunumların hızlı bir şekilde analizini yapmak için % THD kullanılır.

$$\%THD = \frac{H_C}{H_1} \text{x}100 \qquad (2.4)$$

Formül 2. 4'te harmonik içeriklerin (H_c) temel bileşene (H_1) oranı yüzde olarak hesaplanmıştır. IEEE 519-1999'a göre hesaplanan THD değeri gerilim için en fazla %3, akım için ise en fazla %5 olabilir [18-19].

2.6 ELEKTRİK ALAN

1 coulomb kabul edilen q_0 birim yüküne belirli bir uzaklıktaki yükün uyguladığı kuvvete elektrik alan denir [20].

$$\vec{E} = \frac{\overrightarrow{F_e}}{q_0}$$

(2.5)

Eşitlik (2.5)'te elektrik alan, F_e elektriksel kuvvetin, q_o yüküne oranı olarak ifade edilebilir. .

$$\overrightarrow{F_e} = k_e \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

(2.6)

Eşitlikte r, q_1 ve q_2 yükleri arasındaki uzaklığı gösteren bir parametre olup k_e ise $8{,}9875x10^9$ $N.m^2/C^2$ değerindeki coulomb sabitidir.

2.7 MANYETİK ALAN

Yüklü parçacıklar etraflarında elektriksel alan oluşturur, bu yüklü parçacıklar hareket halinde ise elektriksel kuvvete ek olarak bir de manyetik alan oluşturur [21].

$$\vec{F}_B = q\vec{V}x\vec{B}$$

(2.7)

Eşitlik (2.7)'de manyetik kuvvet, B manyetik alanı içerisinde V hızıyla hareket eden birim yüke etki etmektedir. Manyetik kuvvet $\vec{F}_B$ ile gösterilir.

3. MALZEME VE YÖNTEM

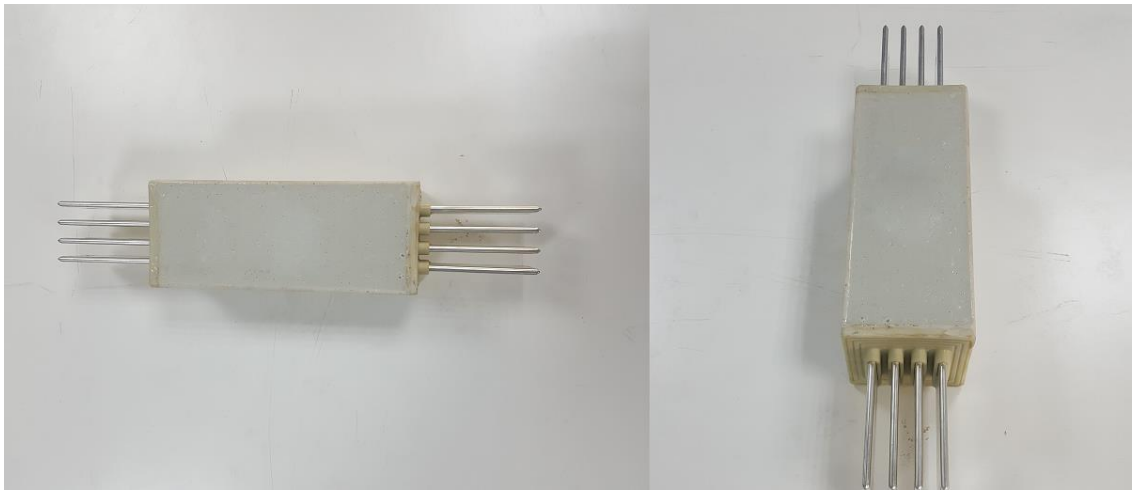
İletim ortamı olarak busbar ve kablo kullanılarak çeşitli deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde iletken yapısı, iletken cinsleri ve kesitleri değişiklik göstermiştir. Deneylerde güç analizörü, elektromanyetik alan ölçer (EMF metre), termal kamera, akımölçer ve nemölçer kullanılmıştır.

3.1 BUSBARLAR

Bu çalışma kapsamında 6 farklı tip busbar kullanılmıştır. Deneylerde farklılık oluşmaması açısından deneyde kullanılan tüm busbarlar 50 cm uzunluğunda seçilmiştir.

3.1.1 Tip 1 Busbar

800 amper anma akımına sahip bu busbar 1000V gerilime dayanıklıdır. 50 Hz çalışma frekansında 1 saniye süre ile 23kA akıma kadar dayanım gösterebilir. IP68 koruma sınıfı sayesinde su altında da çalışabilen busbarın dışı silisyum ile epoksi reçine karışımı durocomp malzeme ile kaplanmıştır [22-23]. Bu sayede yüksek sıcaklığa, kimyasallara, korozyona, haşerelere ve mekanik çalışmaya dayanım gösterebilmektedir. Ik10 mekanik darbe dayanım sınıfına sahiptir [24]. 330 mm^2'lik 3 faz 1 nötr olmak üzere 4 adet iletkene sahiptir. Bu busbara ait karakteristik özellikler Tablo 3.1'de verilmiştir. Tip 1 busbar, Şekil 3.1'de gösterilmiştir.



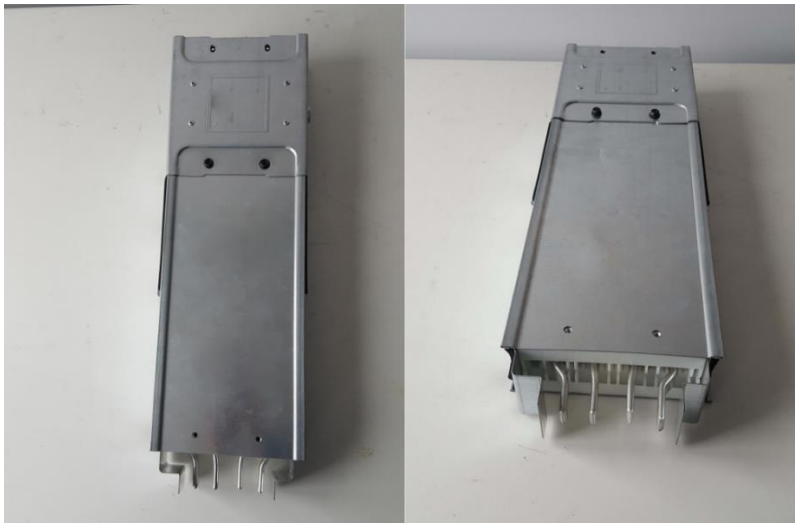
Şekil 3.1 : Tip 1 Busbar.

Tablo 3.1 : Tip 1 Busbara Ait Karakteristik Değerler.

20ºC'de Anma Akımında Ortalama Omik Direnç	0.090 mΩ/m
35ºC'de Anma Akımında Ortalama Omik Direnç	0,117 mΩ/m
35ºC'de Anma Akımında Ortalama Empedans	0,130 mΩ/m
20ºC'de Anma Akımında Ortalama Empedans	0,106 mΩ/m
Kesit Alanı	330 mm^2
Çalışma Gerilimi	1000 V
Çalışma Frekansı	50 Hz

3.1.2 Tip 2 Busbar

160 amper anma akımına sahip bu busbar 1000V gerilime dayanıklıdır. 50 Hz çalışma frekansında 1 saniye süre ile 10kA akıma kadar dayanım gösterebilir. IP 55 koruma sınıfı olan bu busbarın dışı çinko kaplı galvaniz sac ile kaplanmıştır [25]. Her 50 cm de bir adet bulunan çıkış noktalarına çıkış kutusu eklenerek, ana hat üzerindeki enerjiyi kesmeden enerji çıkışı alınabilmesini sağlar. Busbar ağırlığı metrede ortalama yedi kilogramdır. Ik09 mekanik darbe dayanım sınıfına sahiptir[26]. 120 mm^2'lik 3 faz 1 nötr olmak üzere 4 adet iletkene sahiptir. Bu busbara ait karakteristik özellikler Tablo 3.2'de verilmiştir. Tabloda omik direnç ve empedans değerleri metredeki mili ohm olarak ayrı ayrı verilmiştir. Burada Omik direnç saf omik dirençli yük bulunan durumu gösterirken empedans başlığı altında verilen değerlerde hem endüktif hem kapasitif hem de rezistif yükler bağlı ile busbarın akım karşı metrede gösterdiği direnç mili ohm cinsinden verilmiştir. Tip 2 busbar, Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



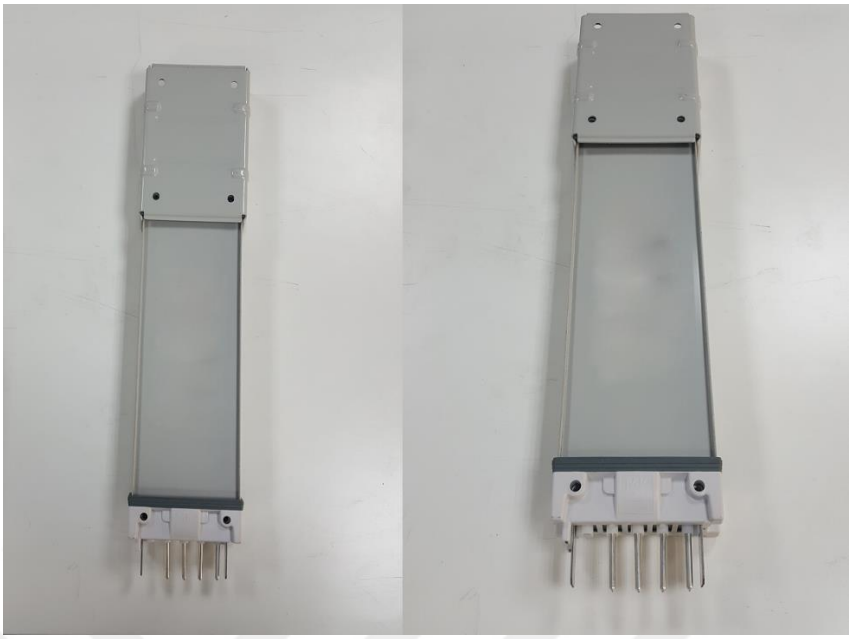
Şekil 3.2 : Tip 2 Busbar.

Tablo 3.2 : Tip 2 Busbara Ait Karakteristik Değerler.

20^{o}C'de Anma Akımında Ortalama Omik Direnç	0.314 mΩ/m
35^{o}C'de Anma Akımında Ortalama Omik Direnç	0,379 mΩ/m
35^{o}C'de Anma Akımında Ortalama Empedans	0,415 mΩ/m
20^{o}C'de Anma Akımında Ortalama Empedans	0,356 mΩ/m
Kesit Alanı	120 mm^2
Çalışma Gerilimi	1000 V
Çalışma Frekansı	50 Hz

3.1.3 Tip 3 Busbar

100 amper anma akımına sahip bu busbar 690V gerilime dayanıklıdır. 50 Hz çalışma frekansında 1 saniye süre ile 3.5 kA akıma kadar dayanım gösterebilir. IP 55 koruma sınıfı olan bu busbarın dışı çinko kaplı galvaniz sac ile kaplanmıştır. Busbar içindeki Alüminyum iletkenler önce nikel daha sonra kalayla kaplanmıştır. Her 50 cm de bir çıkış kutusu bulunan busbar bu noktalardan, ana hat üzerindeki enerjiyi kesmeden enerji çıkışı alınabilmesini sağlar. Ik07 mekanik darbe dayanım sınıfına sahiptir [27]. 47,25 mm^2'lik 3 faz 1 nötr olmak üzere 4 adet iletkene sahiptir. Bu busbara ait karakteristik özellikler Tablo 3.3'te verilmiştir. Tip 3 busbar, Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3 : Tip 3 Busbar.

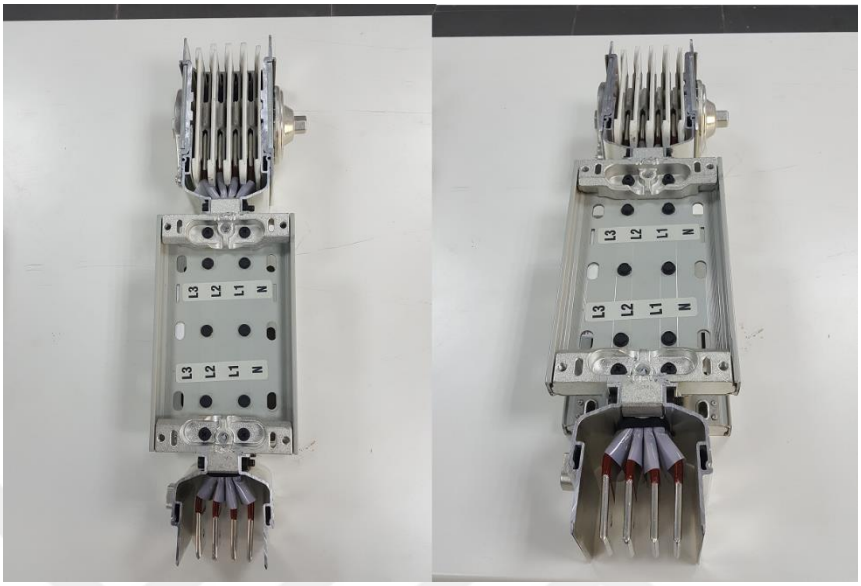
Tablo 3.3 : Tip 3 Busbara Ait Karakteristik Değerler.

20ºC'de Anma Akımında Ortalama Omik Direnç	0.640 mΩ/m
35ºC'de Anma Akımında Ortalama Omik Direnç	0,787 mΩ/m
35ºC'de Anma Akımında Ortalama Empedans	0,802 mΩ/m
20ºC'de Anma Akımında Ortalama Empedans	0,658 mΩ/m
Kesit Alanı	47.25 mm^2
Çalışma Gerilimi	690 V
Çalışma Frekansı	50 Hz

3.1.4 Tip 4 Busbar

800 amper anma akımına sahip bu busbar 1000V gerilime dayanıklıdır. 50 Hz çalışma frekansında 1 saniye süre ile 35 kA akıma kadar dayanım gösterebilir. IP 55 koruma sınıfı olan bu busbarın gövdesi alüminyum profildir. Busbar içindeki alüminyum iletkenler epoksi ve kalayla kaplanmıştır. Çıkış kutularının kontak noktaları gümüş ile kaplanmıştır. Ik09 mekanik darbe dayanım sınıfına sahiptir. 330 mm^2'lik 3 faz 1 nötr olmak üzere 4 adet iletkene sahiptir.

Topraklama busbarın gövdesinden gerçekleşmektedir. Bu busbara ait karakteristik özellikler Tablo 3.4'te verilmiştir. Tip 4 busbar, Şekil 3.4'de gösterilmiştir.



Şekil 3.4 : Tip 4 Busbar.

Tablo 3.4 : Tip 4 Busbara Ait Karakteristik Değerler.

20ºC'de Anma Akımında Ortalama Omik Direnç	0.088 mΩ/m
35ºC'de Anma Akımında Ortalama Omik Direnç	0,116 mΩ/m
35ºC'de Anma Akımında Ortalama Empedans	0,118 mΩ/m
20ºC'de Anma Akımında Ortalama Empedans	0,091 mΩ/m
Kesit Alanı	330 mm^2
Çalışma Gerilimi	1000 V
Çalışma Frekansı	50 Hz

3.1.5 Tip 5 Busbar

63 amper anma akımına sahip bu busbar 690V gerilime dayanıklıdır. 50 Hz çalışma frekansında 1 saniye süre ile 9 kA akıma kadar dayanım gösterebilir. IP 55 koruma sınıfı olan bu busbarın gövdesi 0.5 mm galvanizli sacdır. Busbar içinde kalay kaplı bakır iletkenler kullanılmıştır. Takılma anında ilk temas eden çıkarılırken de en son teması kesilen topraklama iletkenleri ile busbar üzerinde enerji varken de eklenip çıkarılabilen çıkış kutularının kontak noktaları gümüş ile kaplanmıştır. Busbar 12.57 mm^2'lik 3 faz 1 nötr olmak üzere 4 adet iletkene sahiptir.

Topraklama gövde üzerinden gerçekleşmektedir. Bu busbara ait karakteristik özellikler Tablo 3.5'te verilmiştir. Tip 5 busbar, Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 : Tip 5 Busbar.

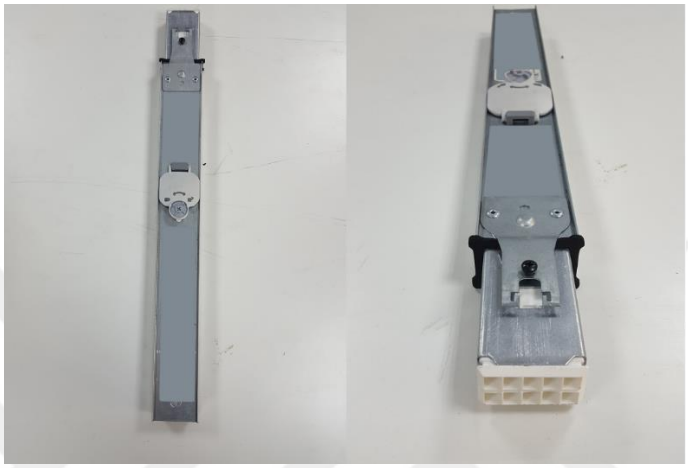
Tablo 3.5 : Tip 5 Busbara Ait Karakteristik Değerler.

20ºC'de Anma Akımında Ortalama Omik Direnç	1.557 mΩ/m
35ºC'de Anma Akımında Ortalama Omik Direnç	1.914 mΩ/m
35ºC'de Anma Akımında Ortalama Empedans	1.920 mΩ/m
20ºC'de Anma Akımında Ortalama Empedans	1.565 mΩ/m
Kesit Alanı	12.57 mm^2
Çalışma Gerilimi	690 V
Çalışma Frekansı	50 Hz

3.1.6 Tip 6 Busbar

25 amper anma akımına sahip bu busbar 690V gerilime dayanıklıdır. 50 Hz çalışma frekansında 0.1 saniye süre ile 2.5 kA akıma kadar dayanım gösterebilir. IP 55 koruma sınıfı olan bu

busbarın gövdesi 0.5 mm galvanizli sacdır. Busbar içinde kalay kaplı bakır iletkenler kullanılmıştır. Çıkış kutularının kontak noktaları gümüş ile kaplanmıştır. 2.54 mm^2'lik 6 adet iletkene sahiptir. 2 ayrı devreye kurmaya ve aydınlatma otomasyonu verisi taşımaya uygundur. Bu busbara ait karakteristik özellikler Tablo 3.6'da verilmiştir. Tip 6 busbar, Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Tip 6 Busbar.

Tablo 3.6 : Tip 6 Busbara Ait Karakteristik Değerler.

20ºC'de Anma Akımında Ortalama Omik Direnç	5.745 mΩ/m
35ºC'de Anma Akımında Ortalama Omik Direnç	7.174 mΩ/m
35ºC'de Anma Akımında Ortalama Empedans	5.575 mΩ/m
20ºC'de Anma Akımında Ortalama Empedans	4.412 mΩ/m
Kesit Alanı	2.54 mm^2
Çalışma Gerilimi	690 V
Çalışma Frekansı	50 Hz

3.2 KABLOLAR

Bu çalışma kapsamında 4 farklı tip kablo kullanılmıştır. Deneylerde farklılık oluşmaması açısından deneyde kullanılan tüm kablolar 50 cm uzunluğunda seçilmiştir.

3.2.1 Tip 1 kablo (3x35+16 mm^2)

Anma akımı toprakta 173A, havada 156A olan bu kablo XLPE izoleli alev iletmeyen tipte, çok damarlı ve bakır iletkenlidir [28]. Dış çapı yaklaşık 24,5 mm olan kablonun ağırlığı kilometrede yaklaşık 1500 kilogramdır. 90 ^{o}C sıcaklıkta çalışmaya devam edebilen kablo kısa devrede 250 ^{o}C'ye dayanabilmektedir. 20^{o}C'de iletkenin DC direnci 0.524 ohm/km'dir. 3 adet 35 mm^2 1 adet 16 mm^2 bakır iletkeni bulunmaktadır. Tip 1 kablo, Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7 : Tip 1 Kablo 3x35+16 mm^2

3.2.2 Tip 2 kablo (3x16+10 mm^2)

Anma akımı toprakta 111A, havada 98A olan bu kablo XLPE izoleli alev iletmeyen tipte, çok damarlı ve bakır iletkenlidir. Dış çapı yaklaşık 19.5 mm olan kablonun ağırlığı kilometrede yaklaşık 800 kilogramdır. 90^{o}C sıcaklıkta çalışmaya devam edebilen kablo kısa devrede 250^{o}C 'ye dayanabilmektedir. 20^{o}C'de iletkenin DC direnci 1.15 ohm/km'dir 3 adet 16 mm^2 1 adet 10 mm^2 bakır iletkeni bulunmaktadır. Kablo, Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8 : Tip 2 Kablo 3x16+10 mm^2

3.2.3 Tip 3 kablo (3x10+6 mm^2)

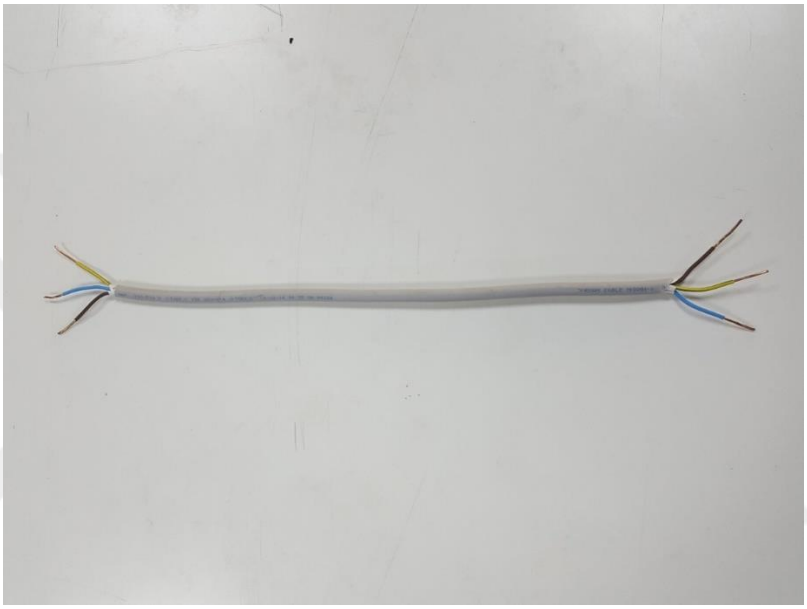
Anma akımı toprakta 79A, havada 59A olan bu kablo XLPE izoleli alev iletmeyen tipte, çok damarlı ve bakır iletkenlidir. Dış çapı yaklaşık 18 mm olan kablonun ağırlığı kilometrede yaklaşık 680 kilogramdır. 90 ^oC sıcaklıkta çalışmaya devam edebilen kablo kısa devrede 250^oC 'ye dayanabilmektedir. 20^oC'de iletken DC direnci 1.83 ohm/km'dir 3 adet 10 mm^2 1 adet 6 mm^2 iletkeni bulunmaktadır. Kablo, Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Tip 3 Kablo 3x10+6 mm^2 .

3.2.4 Tip 4 kablo (3x2.5 mm^2)

Anma akımı toprakta 36, havada 25 amper olan bu kablo XLPE izoleli alev iletmeyen tipte, çok damarlı ve bakır iletkenlidir. Dış çapı yaklaşık 11.8 mm olan kablonun ağırlığı kilometrede yaklaşık 230 kilogramdır. 90^{o}C sıcaklıkta çalışmaya devam edebilen kablo kısa devrede 250 ^{o}C ‘ye dayanabilmektedir. 20^{o}C’de iletkenin DC direnci 7.41 ohm/km’dir. 3 adet 2.5 mm^2 anma kesitli bakır iletkeni bulunmaktadır. Kablo şekil 3.10’da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 : Tip 4 Kablo 3x2.5 mm^2

3.3 DENEYLERDE KULLANILAN TEST CİHAZLARI

Bu tez çalışması sırasında güç analizi, akım, gerilim, THD ölçümleri için Metrel Power Quality Analyser Plus MI 2292, elektromanyetik alan ölçümleri için Extech Multi-Field EMF metre (EMF 450), yüksek ısılara ulaşan kablo ve busbarların sıcaklık ölçümlerinde termal kamera olarak Fluke thermal imager Ti32, güç analizi ve gerilimden bağımsız olarak sadece akımın ölçüldüğü deneylerde akım ölçümleri için Fluke 325 ve nem ölçümleri için Cem DT8820 kullanılmıştır.

3.3.1 Güç Analizörü

Yapılan deneylerde gerilim düşümü, faz farkı ve güç analizi ölçümleri için Metrel marka Power Quality Analyser Plus MI 2292 model isimli cihaz kullanılmıştır. Tek fazlı sistemlerle çalışabildiği gibi 3 fazlı sistemlerinde ölçümünü alabilen cihaz True r.m.s. gerilim True r.m.s.

akım, Güç (Watt, VAr ve VA), Güç faktörü ve harmonik analiz gibi birçok bilgiyi sunabilmektedir. 63. Harmoniğe kadar olan harmonik bozulmalarınının ölçümü yapılabilmektedir. Faz-Nötr arası gerilim farkının 10-550V_{rms}, gerilim aralığında 0.1V çözünürlükle ölçülmesini sağlar. İki faz arası gerilim farkının 900 V_{rms} 'e kadar 0.1V çözünürlükle ölçülmesini sağlar. Güç analizörü Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 : Güç Analizörü.

3.3.2 Elektrik Alan ve Manyetik Alan Ölçüm Aleti

Deneylerde elektrik alan ve manyetik alan ölçümü için ExtechEMF450 multifield EMF metre kullanılmıştır. Elektrik alan, manyetik alan ve radyo sinyali gücünü bir arada ölçebilen bir cihazdır. EMF metre ile 50-60 Hz frekansında 20/200/2000 mG aralığında sırasıyla 0.02 /0.1/1mG çözünürlükle ve 2/20/200 µT aralığında sırasıyla 0.02 /0.1/1 µT çözünürlükle manyetik alan ve 50 V/m – 2000 V/m aralığında elektrik alan ölçümü yapılabilmektedir. EMF Metre Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



Şekil 3.12 : EMF Metre.

3.3.3 Termal Kamera

Termal durumu inceleyebilmek için 320x240 çözünürlük sağlayabilen Fluke Ti32 kullanılmıştır. -20^{o}C ile 600^{o}C arası ölçüm yapabilen cihaz ± 2 °C yaklaşım ile doğrultulduğu noktanın sıcaklığını vermektedir. Termal Kamera Şekil 3.13'te gösterilmiştir.



Şekil 3.13 : Termal Kamera.

3.3.4 Pens Ampermetre

Deneyler sırasında kablo üzerinden geçen akımı ölçmek için Fluke 325 True-RMS AC Pens ampermetre kullanılmıştır. 400 ampere kadar AC ve DC akım ölçebilen cihaz 600 V'a kadar gerilim farklarında ölçüm yapabilmektedir. Pens ampermetre Şekil 3.14'te gösterilmiştir.



Şekil 3.14 : Pens Ampermetre.

3.3.5 Nem ve sıcaklık Ölçer

Bu tezde sıcaklık ve nem ölçümü için Cem DT 8820 çok işlevli ölçüm cihazı kullanılmıştır. Cihaz sıcaklık, nem, ışık ve ses ölçümü yapabilmektedir. Sıcaklık Ölçüm Aralığı -20°C +50°C olan cihazın sıcaklık ölçümünde çözünürlüğü 0.1°C'dir. Nem Ölçüm Aralığı %25 %95 olan cihazın nem ölçümünde çözünürlüğü %1'dir. Ölçü aleti Şekil 3.15'te gösterilmiştir.



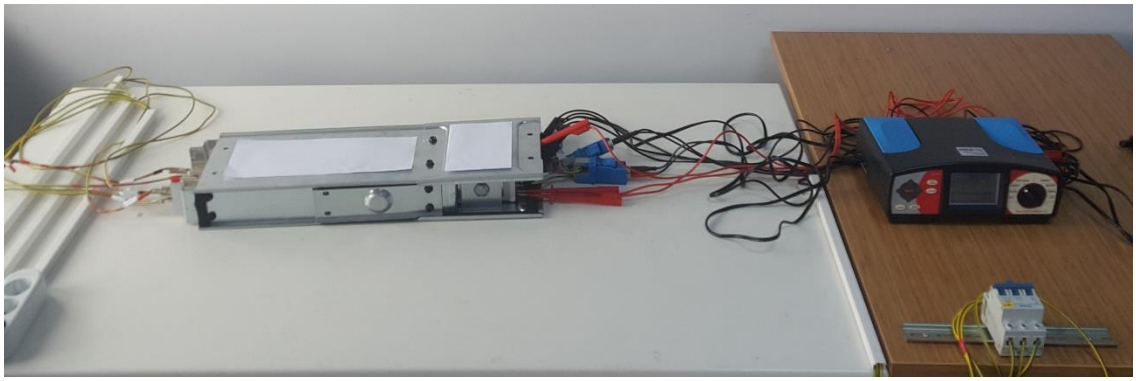
Şekil 3.15 : Nem ve Sıcaklık Ölçer.

3.4 TEST DÜZENEĞİ

Deneylerde ilk olarak busbar ve kablolar için endüktif, kapasitif ve rezistif yük altında güç analizörü ile ölçümler yapılmıştır. Sonrasında aynı deneyler sıcaklık ve nem altında tekrarlanmıştır. Elektrik alan ve manyetik alan testleri için EMF metre akım geçirilen busbar ve kablolara 5 cm mesafede sabit tutularak ölçümler yapılmıştır.

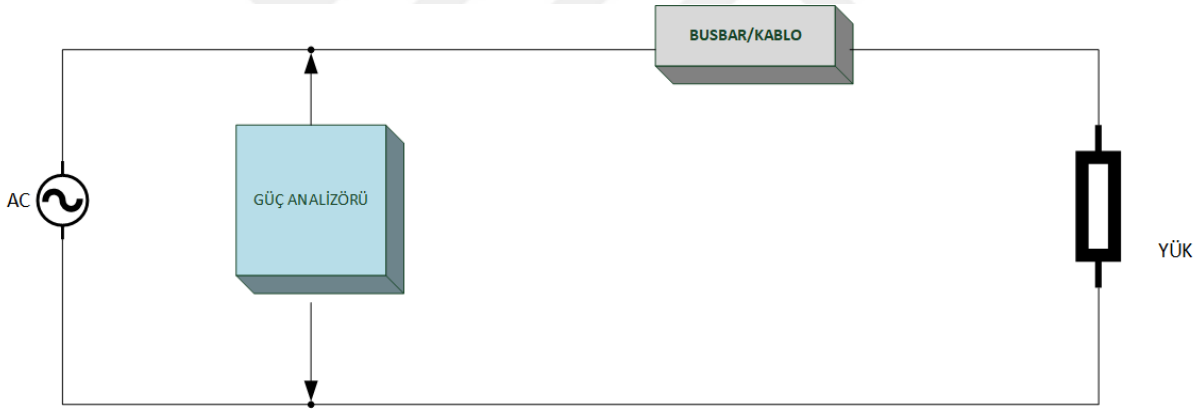
3.4.1 Güç Analizörü ile Yapılan Deneyler

Başlangıç deneylerinde 220V şebeke çıkışına sigortalar ile gerekli koruma önlemleri alındıktan sonra iletim yolu olarak busbar eklenmiş busbar çıkışına da rezistif bir yük bağlanmıştır. Şebekeden gelen akım busbarı geçmeden önce güç analizörü ile ölçümler yapılmış hattın busbarın girişinden önce olan gerilim seviyesi, akım seviyesi ve THD'si incelenmiştir. Test düzeneği şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16 : Test Düzeneği.

Aynı deney düzeneğinde Şekil 3.17'de gösterilen yük kısmı rezistif yükten sonra endüktif yük ve kapasitif yük ile değiştirilerek deneyler tekrarlanmıştır.

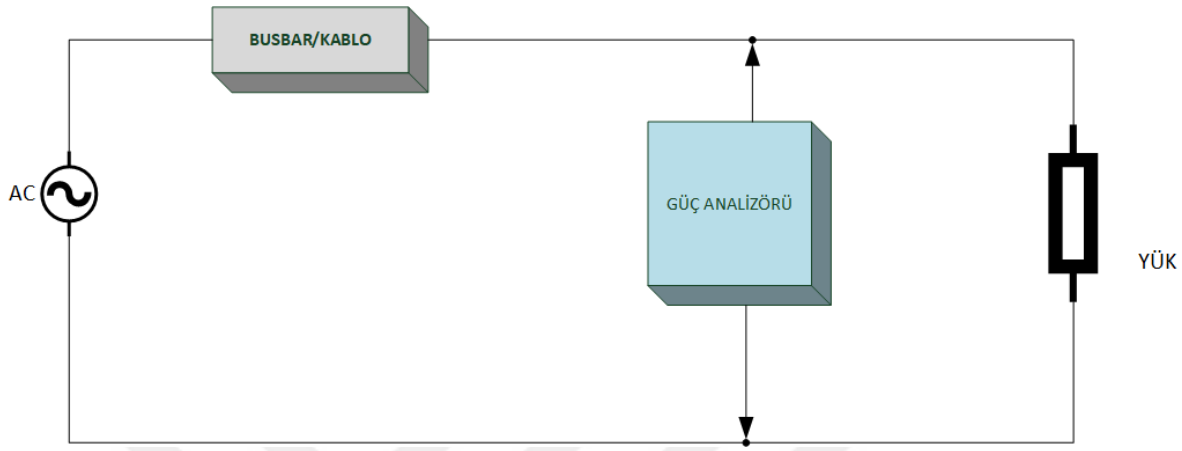


Şekil 3.17 : Test Düzeneği Blok Diyagramı.

Bu deney altı tip busbar için tek tek tekrarlanmış, her bir busbar için rezistif endüktif ve kapasitif yükler için ölçüm alınmış, ardından busbar yerine kablo konulmuştur. Tüm 4 tip kablo için de aynı deney hem rezistif hem endüktif hem de kapasitif yüklerde yapılarak güç analizöründen elde edilen akım, gerilim, güç ve THD değerleri belirlenmiştir.

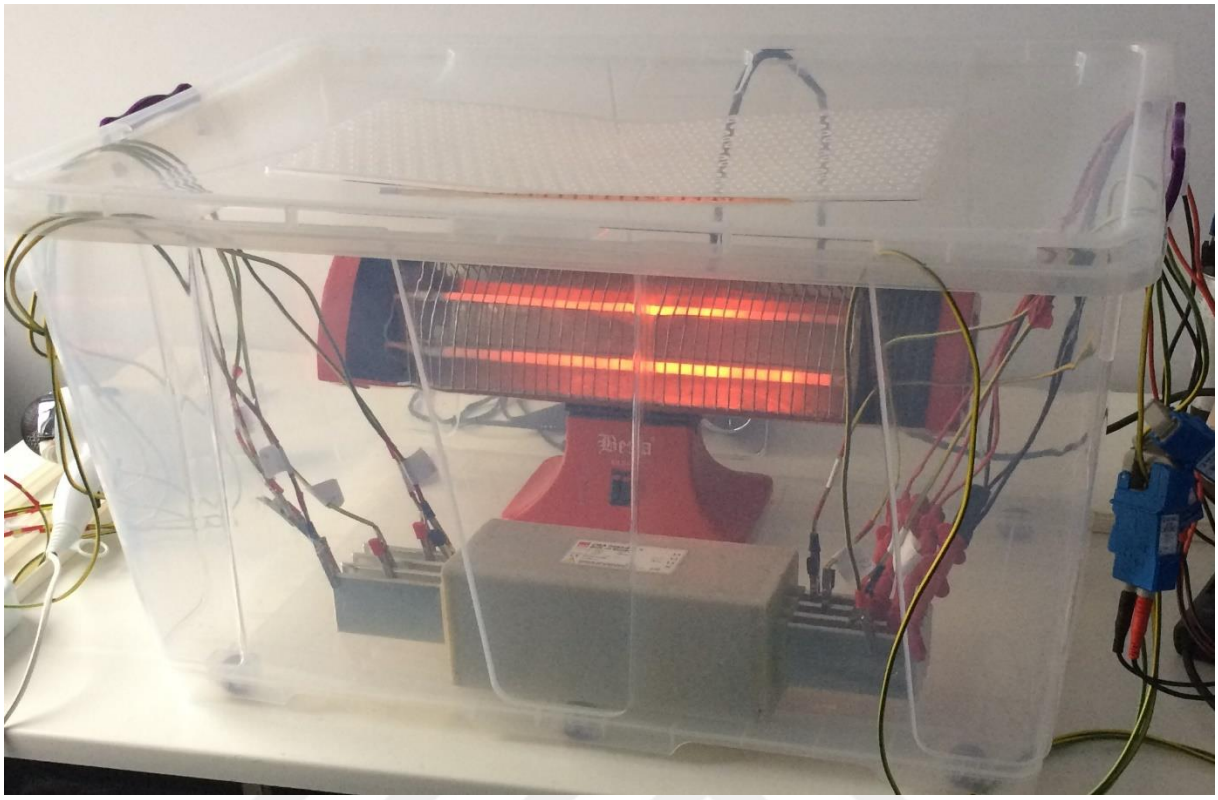
Her bir busbarda ve kabloda güç analizörü değerleri not edildikten sonra deney düzeneğinde tek bir değişiklik yapılmıştır. Güç analizörü busbardan/kablodan sonraki bir noktaya konulmuştur. Her 6 tip busbar ve 4 tip kablo için güç analizörü yükten önceki kısma bağlı iken

güç analizöründen elde edilen akım, gerilim, güç ve THD değerleri not edilmiştir. Bu sayede busbar üzerinde gerçekleşen gerilim, akım ve harmonik değerleri değişimlerini gözlemlemek hedeflenmiştir. İlgili deneye ait düzenek Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



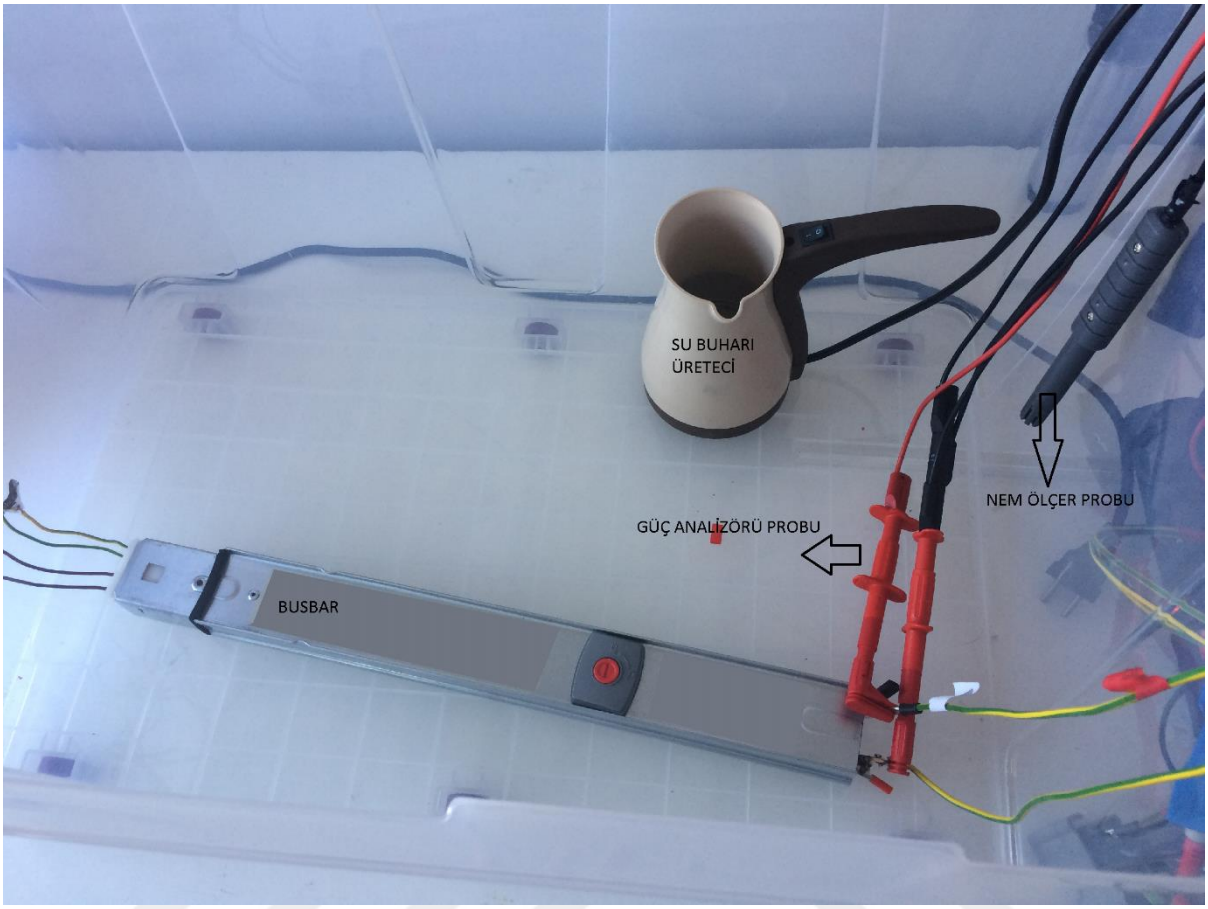
Şekil 3.18 : Deney Düzeneği Blok Diyagramı.

Tüm bu deneyler kapalı ortam içerisinde tekrarlanmıştır. Şekil 3.19'de gösterilen kapalı ortam içerisine konulan bir ısıtıcı yardımı ile ortam sıcaklığı 80 ^{o}C 'ye çıkartılmıştır. Ortam sıcaklığı 80 ^{o}C'de iken tüm 6 tip busbar ve 4 tip kablo için güç analizörü busbardan/kablodan önceki kısma bağlı iken güç analizöründen elde edilen akım, gerilim, güç ve THD değerleri belirlenmiştir. Sonra güç analizörü busbarın/kablonun çıkışına bağlanmıştır. Ortam sıcaklığı 80 ^{o}C 'de ve güç analizörü busbardan/kablodan sonraki kısma bağlı iken tüm 6 tip busbar ve 4 tip kablo için güç analizöründen elde edilen akım, gerilim, güç ve THD değerleri ölçülmüştür.



Şekil 3.19 : Sıcaklık Deneyi.

Sıcaklık deneyleri bittikten sonra kapalı ortam içerisine su buharı üretecek bir cihaz konulmuştur. Cihaz su buharı ürettikçe kapalı ortamın içerisindeki nem seviyesi yükselmiştir. Kapalı ortam yaklaşık %95 neme çıkarıldıktan sonra tüm 6 tip busbar ve 4 tip kablo için güç analizörü busbardan/kablodan önceki kısma bağlı iken güç analizöründen elde edilen akım, gerilim, güç ve THD değerleri ölçülmüştür. Sonra güç analizörü busbarın/kablonun çıkışına bağlanmıştır. Kapalı ortam yaklaşık %95 nemde ve güç analizörü busbardan/kablodan sonraki kısma bağlı iken tüm 6 tip busbar ve 4 tip kablo için güç analizöründen elde edilen akım, gerilim, güç ve THD değerleri belirlenmiştir.



Şekil 3.20 : Nem Deneyi.

Nem deneyine ait düzenek şekil 3.20'de gösterilmiştir. Yüksek nem altında kapalı alanın içi görünmediğinden kapak açılarak içeriden fotoğraf alınmıştır.

3.4.2 Elektrik Alan ve Manyetik Alan Ölçümleri

Şebeke gerilimi ile beslenen tek fazlı sistem üzerinden sabit 20 amper geçerken şekil 3.21'de görüldüğü gibi busbarın 5 cm uzağına EMF metre konularak elektrik alan ve manyetik alan ölçümleri alınmıştır. Sonra tüm 6 tip busbar ve 4 tip kablo için deney tekrarlanmıştır. Tüm testlerde ölçü aleti mesafesi sabit tutulmuştur.



Şekil 3.21 : Elektromanyetik Alan Deneyi.

4. BULGULAR

Yapılan deneylerde farklı yükler altında busbar ve kablolar için giriş ve çıkış gerilim, akım, güç ve toplam harmonik bozulma verileri elde edilmiştir. Yüksek akım altında kablo ve busbarın ısınma sonuçları gözlenmiştir. Laboratuvar ortamında ölçülen testler haricinde yapılan ek bir çalışmada; busbar kullanılan ve kablo kullanılan, kullanımda olan iki eşdeğer binadan gerilim düşümü verileri elde edilmiştir.

4.1 REZİSTİF YÜK ALTINDA BUSBAR VE KABLONUN İNCELENMESİ

2200 W gücünde rezistif yükü besleyen 6 tip busbar ve 4 tip kablo farklı fiziksel koşullarda incelenip deneyler sırasında güç analizöründen okunan değerler tablolarda verilmiştir. Tablolardaki giriş bölümü güç analizörünün busbardan önceki bir noktadan ölçüm yapıldığını, çıkış bölümü ise busbardan hemen sonraki, yükün girişindeki bir noktadan ölçüm yapıldığını göstermektedir. Tip 2 busbar ile tip 1 kablo, tip 3 busbar ile tip 2 kablo, tip 5 busbar ile tip 3 kablo, tip 6 busbar ile de tip 4 kablo birbirine eşdeğer kabul edilmiştir. Tüm kablo ve busbarlar 50 cm uzunluğundadır. Ölçümler aynı koşullarda yapılmıştır.

4.1.1 Busbar ve Kabloların Oda Koşullarında İncelenmesi

Deneyler yaklaşık 20^{o}C oda sıcaklığında İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Avcılar Yerleşkesinde 2019 yılı ocak ayında yapılmıştır. Laboratuvarın bağıl nemi yaklaşık %50 seviyesindedir.

Tablo 4.1 : Rezistif Yükte Tip 2 Busbar ve Tip1 Kabloya Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 2 BUSBAR	R	215.4 V	8.957 A	1924.2 W	%2.3-%2.3	214.1 V	8.912 A	1902.6 W	%2.6-%2.4
	S	216.5 V	8.989 A	1939.9 W	%2.3-%2.4	215.6 V	8.956 A	1925.6 W	%2.5-%2.4
	T	214.9 V	8.939 A	1915.3 W	%2.4-%2.4	214.3 V	8.959 A	1923.3 W	%2.4-%2.4
TİP 1 KABLO	R	221.8 V	9.127 A	2017.0 W	%1.6-%2.1	217.5 V	9.012 A	1953.1 W	%1.6-%1.7
	S	223.5 V	9.166 A	2039.0 W	%2.0-%2.5	218.5 V	9.063 A	1971.1 W	%1.7-%2.2
	T	220.8 V	9.114 A	2003.1 W	%2.2-%2.4	216.8 V	9.011 A	1945.6 W	%2.3-%2.4

Birbirine eşdeğer bu iki iletim ortamında kablonun gerilim düşümünün busbarın gerilim düşümünden ortalamada daha fazla olduğu görülmüştür.

Tablo 4.2 : Rezistif Yükte Tip 3 Busbar ve Tip 2 Kabloya Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 2 BUSBAR	R	215.5 V	8.950 A	1923.6 W	%2.5-%2.4	214.6 V	8.928 A	1909.5 W	%2.3-%2.4
	S	216.5 V	8.980 A	1937.7 W	%2.5-%2.5	215.9 V	8.963 A	1930.6 W	%2.4-%2.3
	T	216.7 V	8.989 A	1941.3 W	%2.2-%2.3	216.5 V	8.980 A	1937.7 W	%2.3-%2.3
TİP 1 KABLO	R	217.9 V	9.029 A	1960.3 W	%1.7-%1.7	217.1 V	9.011 A	1950.0 W	%1.6-%1.8
	S	218.7 V	9.078 A	1974.9 W	%2.0-%2.4	214.7 V	9.061 A	1971.8 W	%2.0-%2.3
	T	216.5 V	9.011 A	1942.2 W	%1.9-%2.2	215.8 V	9.000 A	1942.1 W	%2.1-%2.2

Tablo 4.2'de busbarda toplam harmonik bozulmanın daha yüksek olduğu görülmüştür. Kabloda gerilim düşümünün daha fazla olduğu görülmüştür.

Tablo 4.3 : Rezistif Yükte Tip 5 Busbar ve Tip 3 Kabloya Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 5 BUSBAR	R	215.3 V	8.931 A	1917.8 W	%2.3-%2.4	215.1 V	8.947 A	1920.5 W	%2.4-%2.4
	S	215.6 V	8.950 A	1923.4 W	%2.4-%2.6	215.5 V	8.959 A	1925.4 W	%2.5-%2.5
	T	214.4 V	8.919 A	1907.2 W	%2.3-%2.5	214.2 V	8. 928 A	1910.1 W	%2.3-%2.3
TİP 3 KABLO	R	217.7 V	9.020 A	1957.0 W	%1.6-%1.7	217.4 V	9.040 A	1967.5 W	%1.9-%1.9
	S	218.8 V	9.066 A	1973.3 W	%2.0-%2.2	218.7 V	9.075 A	1983.2 W	%2.1-%2.3
	T	216.9 V	9.003 A	1943.6 W	%2.1-%2.1	216.5 V	9.026 A	1956.7 W	%2.3-%2.4

Tablo 4.3'te tip 5 busbar ve tip 3 kabloya ait ölçüm değerleri verilmiştir. Busbarda THD'nin kabloya oranla daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.4 : Rezistif Yükte Tip 6 Busbar ve Tip 4 Kabloya Ait Değerler.

	GİRİŞ				ÇIKIŞ			
	U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 6 BUSBAR	216.1	8.956	1928.8	%2.5-%2.4	215.1	8.954	1926.2	%2.3-%2.4
TİP 4 KABLO	216.5 V	8.965 A	1933.1 W	%1.7-%1.8	216.0 V	8.953 A	1927.2 W	%1.7-%1.9

Tablo 4.4 te rezistif yükte 3x2.5 kabloda tek faz olduğundan tek faz ile deney yapılmıştır. Tabloda busbarda gerilim düşümünün kablodaki gerilim düşümüne göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Tablo 4.5 : Rezistif Yükte Tip 1 ve Tip 4 Busbara Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 1 BUSBAR	R	212.8 V	8878 A	1884.7 W	%2.4-%2.5	212.3 V	8880 A	1889.1 W	%2.5-%2.4
	S	215.9 V	8968 A	1930.1 W	%2.4-%2.5	215.8 V	8960 A	1928.1 W	%2.7-%2.5
	T	216.4 V	8985 A	1937.7 W	%2.3-%2.3	215.9 V	8962 A	1928.5 W	%2.2-%2.2
TİP 4 BUSBAR	R	215.5 V	8951 A	1923.8 W	%2.4-%2.4	215.1 V	8939 A	1917.4 W	%2.5-%2.5
	S	215.6 V	8970 A	1935.7 W	%2.4-%2.6	215.2 V	8950 A	1922.2 W	%2.4-%2.5
	T	215.7 V	8942 A	1923.6 W	%2.3-%2.3	214.8 V	8931 A	1912.3 W	%2.4-%2.4

Tip 1 busbar ve tip 4 busbarın anma gerilimleri birbiri ile eşdeğer olup yapısal özellikleri birbirinden farklıdır. Tip 4 busbarda gerilim düşümünün daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

4.1.2 Busbar ve Kabloların Sıcaklık Altında İncelenmesi

Daha önce oda koşullarında incelenen Busbar ve kablolar 80ºC sıcaklık altında incelenmiştir.

Tablo 4.6 : Rezistif Yükte Sıcaklık Altında Tip 2 Busbar ve Tip1 Kabloya Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 2 BUSBAR	R	215.1 V	8.942 A	1918.6 W	%1.6-%1.7	214.3 V	8.963 A	1947.8 W	%1.6%1.7
	S	216.5 V	8.891 A	1936.9 W	%1.5-%1.7	215.2 V	8.882 A	1892.7 W	%2.0-%2.1
	T	215.5 V	8.954 A	1919.1 W	%1.8-%1.9	215.5 V	8.953 A	2021.6 W	%1.6-%2.1
TİP 1 KABLO	R	211.2 V	8.775 A	1846.0 W	%1.5-%1.6	210.6 V	8.753 A	1835.0 W	%1.5-%1.5
	S	211.2 V	8.776 A	1846.2 W	%1.6-%1.6	211.2 V	8.768 A	1844.1 W	%1.6-%1.6
	T	212.4 V	8.845 A	1873.9 W	%1.8-%1.8	211.2 V	8.794 A	1850.4 W	%1.6-%1.6

Tablo 4.6'da tip 2 busbar ve tip 1 kabloya ait değerler incelendiğinde THD'nin busbarda daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.7 : Rezistif Yükte Sıcaklık Altında Tip 3 Busbar ve Tip 2 Kabloya Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 3 BUSBAR	R	210.3 V	8.768 A	1836.3 W	%1.7-%1.7	210.2 V	8.749 A	1833.9 W	%1.6-%1.6
	S	210.2 V	8.736 A	1827.7 W	%1.9-%2.0	210.0 V	8.727 A	1827.5 W	%1.9-%1.9
	T	210.4 V	8.756 A	1829.9 W	%2.1-%2.0	210.2 V	8.744 A	1833.4 W	%1.7-%1.9
TİP 2 KABLO	R	211.4 V	8.759 A	1843.4 W	%1.6-%1.5	211.2 V	8.785 A	1847.8 W	%1.5-%1.5
	S	211.4 V	8.761 A	1845.3 W	%1.6-%1.6	211.0 V	8.832 A	1863.1 W	%1.6-%1.5
	T	212.3 V	8.831 A	1869.2 W	%1.8-%1.8	211.7 V	8.845 A	1866.7 W	%1.7-%1.7

Tablo 4.7'de tip 3 busbar ve tip 2 kablonun ölçüm değerleri incelenmiştir. Ortalamada büyük bir fark olmadığı görülmüştür.

Tablo 4.8 : Rezistif Yükte Sıcaklık Altında Tip 5 Busbar ve Tip 3 Kabloya Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 5 BUSBAR	R	213.0 V	8.874 A	1880.3 W	%1.7-%1.6	212.8 V	8.761 A	1893.4 W	%1.7-%1.5
	S	212.0 V	8.849 A	1866.6 W	%1.6-%1.7	211.6 V	8.810 A	1855.8 W	%1.8-%1.8
	T	211.8 V	8.826 A	1861.2 W	%1.6-%1.7	211.7 V	8.832 A	1895.7 W	%1.5-%1.8
TİP 3 KABLO	R	211.4 V	8.819 A	1856.6 W	%1.6-%1.5	210.5 V	8.849 A	1873.0 W	%1.6-%1.6
	S	211.2 V	8.875 A	1847.4 W	%1.5-%1.6	210.6 V	8.829 A	1869.4 W	%1.6-%1.6
	T	214.0 V	8.895 A	1897.9 W	%1.7-%1.8	213.2 V	8.912 A	1899.9 W	%1.9-%1.8

Tablo 4.8'de tip 5 busbara ve tip 3 kabloya ait değerler verilmiştir. Kabloda gerilim düşümünün daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.9 : Rezistif Yükte Sıcaklık Altında Tip 6 Busbar ve Tip 4 Kabloya Ait Değerler.

	GİRİŞ				ÇIKIŞ			
	U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 6 BUSBAR	212.4 V	8.811 A	1863.2 W	%1.7-%1.7	211.3 V	8.813 A	1854.0 W	%1.8-%1.8
TİP 4 KABLO	214.7 V	8.942 A	1911.4 W	%1.6-%1.8	214.6 V	8.935 A	1912.4 W	%1.6-%1.7

Tablo 4.9'da Tip 6 busbar ve tip 4 kabloya ait değerler incelendiğinde busbardaki gerilim düşümünün daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.10 : Rezistif Yükte Sıcaklık Altında Tip 1 ve Tip 4 Busbara Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 1 BUSBAR	R	215.9 V	8.992 A	1935.8 W	%1.7-%1.7	215.3 V	8.960 A	1923.4 W	%1.8-%1.7
	S	217.2 V	9.003 A	1946.1 W	%2.0-%2.1	216.5 V	9.003 A	1940.4 W	%1.8-%1.9
	T	216.3 V	8.971 A	1932.2 W	%2.0-%2.1	215.5 V	8.962 A	1922.9 W	%2.1-%2.1
TİP 4 BUSBAR	R	211.3 V	8.761 A	1842.4 W	%1.6-%1.7	210.0 V	8.747 A	1827.8 W	%1.7-%1.7
	S	211.3 V	8.811 A	1854.8 W	%1.8-%1.9	209.7 V	8.720 A	1820.3 W	%1.8-%1.9
	T	211.5 V	8.810 A	1857.3 W	%1.7-%1.8	209.9 V	8.735 A	1827.8 W	%1.9-%1.9

Tablo 4.10 da tip 4 busbarda gerilim düşümünün tip 1 busbar kullanılan sistemdekine oranla daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bunun sebebinin tip 4 busbarın yüksek metal yoğunluğu nedeniyle daha çabuk ısınmış olabileceğinden çabuk ısınmış olduğu sonucuna varılmıştır.

4.1.3 Busbar ve Kabloların Nem Altında İncelenmesi

Daha önce oda koşullarında ve 80ºC sıcaklık altında incelenen busbar ve kablolar bu kez yaklaşık %95 bağıl nem altında incelenmiştir.

Tablo 4.11 : Rezistif Yükte Nem Altında Tip 2 Busbar ve Tip 1 Kabloya Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 2 BUSBAR	R	213.1 V	8.886 A	1885.0 W	%1.6-%1.7	212.8 V	8.832 A	1871.3 W	%1.5-%1.6
	S	213.2 V	8.857 A	1878.1 W	%1.7-%1.7	213.0 V	8.867 A	1884.7 W	%1.5-%1.5
	T	213.0 V	8.872 A	1883.9 W	%1.8-%1.9	212.9 V	8.883 A	1887.8 W	%1.7-%1.7
TİP 1 KABLO	R	212.8 V	8.803 A	1857.0 W	%1.6-%1.7	211.7 V	8.802 A	1855.4 W	%1.6-%1.6
	S	212.0 V	8.816 A	1860.7 W	%1.7-%1.7	211.7 V	8.800 A	1854.2 W	%1.6-%1.6
	T	213.0 V	8.831 A	1867.5 W	%1.7-%1.8	211.9 V	8.822 A	1863.3 W	%1.8-%1.8

Tablo 4.11'de %95 nem altında tip 2 busbar ve tip 1 kabloya ait değerler incelenmiştir. Gerilim düşümünün kabloda daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.12 : Rezistif Yükte Nem Altında Tip 3 Busbar ve Tip 2 Kabloya Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 3 BUSBAR	R	209.8 V	8.718 A	1820.6 W	%1.5-%1.5	209.2 V	8.715 A	1815.6 W	%1.5-%1.5
	S	209.6 V	8.709 A	1815.9 W	%1.8-%1.8	208.7 V	8.669 A	1799.5 W	%1.8-%1.9
	T	209.2 V	8.703 A	1814.3 W	%1.8-%1.8	208.2 V	8.579 A	1747.8 W	%1.8-%1.8
TİP 2 KABLO	R	213.7 V	8.810 A	1856.2 W	%1.5-%1.6	211.1 V	9.011 A	1950.0 W	%1.6-%1.8
	S	213.0 V	8.832 A	1863.5 W	%1.6-%1.6	211.7 V	9.061 A	1971.8 W	%2.0-%2.3
	T	212.9 V	8.839 A	1867.8 W	%1.8-%1.7	211.8 V	9.000 A	1942.1 W	%2.1-%2.2

Tablo 4.12'de Tip 2 kabloda gerilim düşümünün daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.13 : Rezistif Yükte Nem Altında Tip 5 Busbar ve Tip 3 Kabloya Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 5 BUSBAR	R	215.8 V	8.779 A	1895.5 W	%1.7-%1.6	211.0 V	8.782 A	1845.7 W	%1.5-%1.6
	S	211.7 V	8.811 A	1857.9 W	%1.8-%1.8	211.2 V	8.794 A	1848.6 W	%1.6-%1.7
	T	215.1 V	8.822 A	1896.5 W	%1.6-%1.8	211.6 V	8.807 A	1855.5 W	%1.4-%1.5
TİP 3 KABLO	R	213.5 V	8.878 A	1887.8 W	%1.6-%1.5	212.1 V	8.834 A	1866.3 W	%1.5-%1.6
	S	213.4 V	8.855 A	1881.6 W	%1.5-%1.5	211.6 V	8.793 A	1853.0 W	%1.6-%1.6
	T	213.7 V	8.892 A	1894.6 W	%1.7-%1.7	212.0 V	8.813 A	1862.5 W	%1.7-%1.8

Tablo 4.13'te Tip 5 busbar ve tip 3 kabloya ait değerler verilmiştir. Busbarda gerilim düşümünün fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.14 : Rezistif Yükte Nem Altında Tip 6 Busbar ve Tip 4 Kabloya Ait Değerler.

	GİRİŞ				ÇIKIŞ			
	U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 6 BUSBAR	212.4 V	7.435 A	1572.5 W	%1.6-%1.6	212.1 V	8.840 A	1866.3 W	%1.6-%1.6
TİP 4 KABLO	214.1 V	8.904 A	1898.1 W	%1.7-%1.8	213.2 V	8.854 A	1879.6 W	%1.5-%1.5

Tablo 4.14'te tip 6 busbar ve tip 4 kabloya ait değerler incelendiğinde kablodaki gerilim düşümünün daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.15 : Rezistif Yükte Nem Altında Tip 1 ve Tip 4 Busbara Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 1 BUSBAR	R	213.2 V	8.864 A	1881.6 W	%1.6-%1.7	212.2 V	8.840 A	1867.2 W	%1.6-%1.6
	S	213.1 V	8.835 A	1873.4 W	%1.6-%1.7	212.6 V	8.823 A	1868.2 W	%1.6-%1.6
	T	212.9 V	8.877 A	1883.8 W	%1.7-%1.8	212.5 V	8.849 A	1874.6 W	%1.8-%1.7
TİP 4 BUSBAR	R	210.9 V	8.749 A	1835.9 W	%1.7-%1.7	210.9 V	8.773 A	1843.6 W	%1.6-%1.7
	S	211.1 V	8.800 A	1850.8 W	%1.8-%1.9	210.8 V	8.762 A	1838.0 W	%1.9-%1.9
	T	211.3 V	8.803 A	1853.6 W	%1.9-%1.9	210.4 V	8.756 A	1838.2 W	%1.9-%2.0

Tablo 4.15'te tip 1 busbarda gerilim düşümünün tip 4 busbara oranla daha yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Buna karşın THD değerinin Tip 4 busbarda daha yüksek olduğu görülmektedir.

4.2 ENDÜKTİF YÜKTE BUSBAR VE KABLONUN İNCELENMESİ

6 tip busbar ve 4 tip kablo yaklaşık 7.5A akım çeken endüktif bir yükü beslerken farklı fiziksel koşullarda incelenip deneyler sırasında güç analizöründen okunan değerler tablolarda gösterilmiştir. Tablolardaki giriş bölümü sistemin enerji beslemesinden sonraki busbar/kablodan önceki bir noktadan ölçüm yapıldığını, çıkış bölümü ise yükten önceki bir noktadan ölçüm yapıldığını göstermektedir.

4.2.1 Busbar ve Kabloların Oda koşullarında İncelenmesi

6 tip busbar ve 4 tip kablo endüktif yükte iken oda koşullarında incelenip deneyler sırasında güç analizöründen okunan değerler tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 4.16 : Endüktif Yükte Tip 2 Busbar ve Tip 1 Kabloya Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 2 BUSBAR	R	216.4 V	7.270 A	1569.5 W	%2.3-%2.3	214.7 V	7.212 A	1544.9 W	%2.3-%2.8
	S	217.5 V	7.312 A	1587.2 W	%2.4-%2.7	216.2 V	7.212 A	1570.2 W	%2.4-%2.8
	T	215.6 V	7.238 A	1556.7 W	%2.4-%2.8	215.1 V	7.212 A	1568.4 W	%2.3-%2.7
TİP 1 KABLO	R	223.2 V	7.848 A	1747.5 W	%1.7-%2.0	221.2 V	7.801 A	1739.5 W	%2.1-%2.1
	S	226.7 V	7.749 A	1753.8 W	%2.1-%2.1	224.6 V	7.753 A	1765.5 W	%2.0-%2.1
	T	224.4 V	7.703 A	1750.3 W	%2.0-%2.1	222.5 V	7.789 A	1761.4 W	%2.0-%2.1

Tablo 4.16'da Endüktif yükte oda koşullarında yapılan deneyde tip 2 busbar ve tip 1 kabloya ait değerler görülmektedir. Kabloda oluşan gerilim düşümünün ortalamada daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 4.17 : Endüktif Yükte Tip 3 Busbar ve Tip 2 Kabloya Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 3 BUSBAR	R	216.3 V	7.685 A	1656.8 W	%2.5-%2.7	215.1 V	7.389 A	1583.9 W	%2.4-2.8
	S	217.6 V	7.600 A	1651.8 W	%2.5-2.8	216.8 V	7.971 A	1724.8 W	%2.5-%2.8
	T	217.1 V	7.959 A	1722.1 W	%2.3-%2.7	217.1 V	7.981 A	1727.9 W	%2.2-%2.6
TİP 2 KABLO	R	217.3 V	7.483 A	1624.7 W	%1.4-%1.6	215.5 V	7.439 A	1603.1 W	%1.7-%1.7
	S	216.9 V	7.472 A	1619.5 W	%1.5-%1.5	216.3 V	7.444 A	1610.1 W	%1.5-%1.6
	T	217.1 V	7.480 A	1620.3 W	%1.5-%1.7	215.7 V	7.452 A	1614.8 W	%1.5-%1.7

Tablo 4.17'de endüktif yükte oda koşullarında yapılan deneyde tip 3 busbar ve tip 2 kabloya ait değerler görülmektedir. Kabloda oluşan gerilim düşümünün busbarda oluşan gerilim düşümüne göre ortalamada daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 4.18 : Endüktif Yükte Tip 5 Busbar ve Tip 3 Kabloya Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 5 BUSBAR	R	215.7 V	7.581 A	1631.1 W	%2.4-%2.7	215.4 V	7.604 A	1637.8 W	%2.2-%2.5
	S	216.3 V	7.537 A	1626.1 W	%2.4-%2.7	216.2 V	7.618 A	1644.1 W	%2.4-%2.7
	T	214.9 V	7.501 A	1608.5 W	%2.4-%2.6	214.3 V	7.587 A	1629.2 W	%2.3-%2.7
TİP 3 KABLO	R	216.3 V	7.440 A	1602.5 W	%1.7-%1.9	215.5 V	7.490 A	1612.6 W	%1.5-%1.8
	S	218.5 V	7.145 A	1556.4 W	%1.6-%2.2	217.0 V	7.499 A	1623.2 W	%1.5-%1.9
	T	217.6 V	7.052 A	1529.0 W	%1.8-%2.2	216.2 V	7.438 A	1603.5 W	%2.1-%2.4

Tablo 4.18'de endüktif yükte oda koşullarında yapılan deneyde tip 5 busbar ve tip 3 kabloya ait değerler görülmektedir. Busbarda THD'nin kablodaki THD'ye göre daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 4.19 : Endüktif Yükte Tip 6 Busbar ve Tip 4 Kabloya Ait Değerler.

	GİRİŞ				ÇIKIŞ			
	U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 6 BUSBAR	216.2 V	7.536 A	1624.1 W	%2.3-%2.6	215.9 V	7.526 A	1621.1 W	%2.2-%2.5
TİP 4 KABLO	216.9 V	7.449 A	1610.1 W	%1.5-%1.9	216.8 V	7.444 A	1608.3 W	%1.6-%2.0

Tablo 4.19'da endüktif yükte oda koşullarında yapılan deneyde tip 6 busbar ve tip 4 kabloya ait değerler görülmektedir. Busbarda THD'nin kablodaki THD'ye göre daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 4.20 : Endüktif Yükte Tip 1 ve Tip 5 Busbara Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 1 BUSBAR	R	214.7 V	7.334 A	1571.4 W	%2.4-%-	214.3 V	7.241 A	1546.9 W	%2.5-%2.8
	S	216.9 V	7.280 A	1575.7 W	%2.5-%2.6	216.7 V	7.278 A	1577.1 W	%2.6-%2.8
	T	216.9 V	7.316 A	1587.8 W	%2.5-%2.8	216.2 V	7.307 A	1575.9 W	%2.2-%2.7
TİP 4 BUSBAR	R	216.2 V	7.606 A	1641.1 W	%2.5-%2.8	216.2 V	7.606 A	1641.1 W	%2.5-%2.8
	S	216.8 V	7.621 A	1648.3 W	%2.4-%2.7	216.5 V	7.621 A	1648.3 W	%2.4-%2.7
	T	216.3 V	7.597 A	1638.3 W	%2.3-%2.7	216.2 V	7.597 A	1638.3 W	%2.3-%2.7

Tablo 4.20'de tip 1 ve tip 4 busbarlar görülmektedir. İki busbar arasında dikkat çekici bir fark görülmemiştir.

4.2.2 Busbar ve Kabloların Sıcaklık Altında İncelenmesi

6 tip busbar ve 4 tip kablo endüktif yükte iken 80^{o}C sıcaklık altında incelenip deneyler sırasında güç analizöründen okunan değerler tablolarda gösterilmiştir.

Tablo 4.21 : Endüktif Yükte Sıcaklık Altında Tip 2 Busbar ve Tip 1 Kabloya Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 2 BUSBAR	R	215.7 V	7.574 A	1628.6 W	%1.5-%1.6	214.8 V	7.618 A	1647.3 W	%1.5-%1.7
	S	216.8 V	7.606 A	1642.8 W	%1.9-%1.9	213.9 V	7.627 A	1611.2 W	%2.1-%1.8
	T	215.5 V	7.554 A	1618.9 W	%2.0-%2.0	214.8 V	7.574 A	1711.2 W	%1.7-%1.9
TİP 1 KABLO	R	212.5 V	7.456 A	1577.4 W	%1.4-%1.4	212.0 V	7.435 A	1567.7 W	%1.6-%1.6
	S	212.9 V	7.447 A	1575.8 W	%1.4-%1.4	212.1 V	7.430 A	1569.0 W	%1.6-%1.5
	T	212.4 V	7.461 A	1581.6 W	%1.6-%1.4	211.1 V	7.444 A	1574.4 W	%1.7-%1.5

Tablo 4.21'de endüktif yükte 80°C sıcaklık altında yapılan deneyde tip 2 busbar ve tip 1 kabloya ait değerler görülmektedir. Kabloda oluşan gerilim düşümünün ortalamada daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 4.22 : Endüktif Yükte Sıcaklık Altında Tip 3 Busbar ve Tip 2 Kabloya Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 3 BUSBAR	R	210.7 V	7.357 A	1536.3 W	%1.6-%1.5	210.7 V	7.389 A	1550.7 W	%1.6-%1.5
	S	211.0 V	7.350 A	1536.6 W	%1.9-%1.8	210.8 V	7.388 A	1548.5 W	%1.9-%1.8
	T	211.3 V	7.383 A	1543.7W	%2.1-%2.7	210.5 V	7.394 A	1551.6 W	%2.0-%1.8
TİP 2 KABLO	R	213.0 V	7.446 A	1578.2 W	%1.6-%1.5	211.5 V	7.429 A	1536.6 W	%1.5-%1.4
	S	212.7 V	7.437 A	1574.9 W	%1.5-%1.5	211.9 V	7.450 A	1571.1 W	%1.5-%1.4
	T	212.7 V	7.464 A	1582.9 W	%1.6-%1.4	212.1 V	7.508 A	1592.7 W	%1.9-%1.6

Tablo 4.22'de endüktif yükte 80°C sıcaklık altında yapılan deneyde tip 3 busbar ve tip 2 kabloya ait değerler görülmektedir. Kabloda oluşan gerilim düşümünün daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 4.23 : Endüktif Yükte Sıcaklık Altında Tip 5 Busbar ve Tip 3 Kabloya Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 5 BUSBAR	R	211.1 V	7.430 A	1560.6 W	%1.6-%1.6	210.4 V	7.382 A	1547.0 W	%1.8-%1.5
	S	212.7 V	7.447 A	1560.8 W	%1.6-%1.5	212.2 V	7.456 A	1574.7 W	%1.8-%1.8
	T	215.5 V	7.438 A	1566.6 W	%1.7-%1.7	214.9 V	7.459 A	1603.6 W	%1.5-%1.7
TİP 3 KABLO	R	213.7 V	7.525 A	1601.6 W	%1.6-%1.6	213.6 V	7.519 A	1600.6 W	%1.6-%1.6
	S	214.8 V	7.505 A	1597.9 W	%1.6-%1.5	213.9 V	7.507 A	1597.7 W	%1.6-%1.5
	T	215.0 V	7.520 A	1605.1 W	%1.8-%1.6	214.4 V	7.540 A	1610.6 W	%1.8-%1.6

Tablo 4.23'te tip 5 busbar ve tip 3 kabloya ait değerler görülmektedir. Busbarda kabloya göre daha fazla harmonik bozulması olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.24 : Endüktif Yükte Sıcaklık Altında Tip 6 Busbar ve Tip 4 Kabloya Ait Değerler.

	GİRİŞ				ÇIKIŞ			
	U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 6 BUSBAR	213.7 V	7.477 A	1596.4 W	%1.6-%1.6	212.1 V	7.461 A	1574.6 W	%1.7-%1.7
TİP 4 KABLO	215.1 V	7.574 A	1621.5 W	%1.6-%1.5	214.9 V	7.581 A	1621.6 W	%1.7-%1.5

Tablo 4.24'te endüktif yükte 80°C sıcaklık altında yapılan deneyde tip 6 busbar ve tip 4 kabloya ait değerler görülmektedir. Busbarda oluşan gerilim düşümünün daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 4.25 : Yükte Sıcaklık Altında Tip 1 ve Tip 4 Busbara Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 1 BUSBAR	R	216.5 V	7.638 A	1648.3 W	%1.9-%1.7	216.2 V	7.600 A	1638.7 W	%1.8-%1.7
	S	217.8 V	7.627 A	1652.8 W	%1.8-%1.8	217.7 V	7.641 A	1656.4 W	%1.8-%1.8
	T	216.9 V	7.592 A	1638.7 W	%2.1-%1.9	216.8 V	7.604 A	1641.7 W	%2.1-2.0
TİP 4 BUSBAR	R	212.3 V	7.427 A	1567.4 W	%1.6-%1.6	210.3 V	7.385 A	1547.0 W	%1.8-%1.7
	S	212.6 V	7.481 A	1582.5 W	%1.8-%1.6	209.8 V	7.359 A	1536.5 W	%2.0-%1.9
	T	212.1 V	7.452 A	1575.0 W	%1.8-%1.7	209.9 V	7.365 A	1541.5 W	%1.9-%1.9

Tablo 4.21'de endüktif yükte 80°C sıcaklık altında yapılan deneyde tip 1 busbar ve tip 4 busbara ait değerler görülmektedir. Tip 4 busbarda gerilim düşümü tip 1 busbara göre daha fazla olmuştur. Bunun sebebinin tip 4 busbarın metal yapılı olmasından kaynaklanabileceği sonucuna varılabilir.

4.2.3 Busbar ve Kabloların Nem Altında İncelenmesi

Busbar ve kablolar yaklaşık %95 nem oluşturulan kapalı bir ortamda muhafaza edilerek üzerlerinden akım geçirilmiştir. Busbar ve kabloların giriş ve çıkışlarına güç analizörü bağlanarak elde edilen değerler tablolarda belirtilmiştir.

Tablo 4.26 : Endüktif Yükte Nem Altında Tip 2 Busbar ve Tip 1 Kabloya Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 2 BUSBAR	R	213.5 V	7.473 A	1589.9 W	%1.5-%1.5	213.5 V	7.520 A	1598.6 W	%1.7-%1.5
	S	213.7 V	7.493 A	1595.1 W	%1.4-%1.5	213.5 V	7.493 A	1592.3 W	%1.5-%1.5
	T	213.8 V	7.516 A	1601.9 W	%1.6-%1.4	213.4 V	7.510 A	1597.3 W	%1.8-%1.6
TİP 1 KABLO	R	212.2 V	7.444 A	1572.9 W	%1.6-%1.5	212.1 V	7.438 A	1570.7 W	%1.6-%1.5
	S	212.3 V	7.441 A	1572.4 W	%1.6-%1.6	212.3 V	7.456 A	1575.8 W	%1.6-%1.5
	T	212.6 V	7.469 A	1582.2 W	%1.8-%1.6	212.3 V	7.462 A	1579.8 W	%1.6-%1.5

Tablo 4.26'da endüktif yükte %95 nem altında yapılan deneyde tip 2 busbar ve tip 1 kabloya ait değerler görülmektedir. Deney sonuçlarında dikkat çekici bir fark görülmemiştir.

Tablo 4.27 : Endüktif Yükte Nem Altında Tip 3 Busbar ve Tip 2 Kabloya Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 3 BUSBAR	R	210.1 V	7.373 A	1541.8 W	%1.7-%1.5	209.8 V	7.380 A	1540.1 W	%1.5-%1.4
	S	210.0 V	7.359 A	1539.3 W	%1.7-%1.8	209.5 V	7.331 A	1528.5 W	%1.9-%1.7
	T	210.1 V	7.373 A	1544.7 W	%1.8-%1.7	209.6 V	7.353 A	1530.4 W	%1.9-%1.7
TİP 2 KABLO	R	212.6 V	7.465 A	1580.6 W	%1.6-%1.6	212.1 V	7.424 A	1566.6 W	%1.5-%1.5
	S	212.5 V	7.475 A	1581.2 W	%1.6-%1.5	212.1 V	7.421 A	1564.9 W	%1.5-%1.5
	T	212.3 V	7.491 A	1583.4 W	%1.6-%1.6	212.0 V	7.437 A	1572.7 W	%1.7-%1.6

Tablo 4.27'de endüktif yükte nem altında yapılan deneyde tip 3 busbar ve tip 2 kabloya ait değerler görülmektedir. İki iletim yolu arasında kaydadeğer bir fark görülmemiştir.

Tablo 4.28 : Endüktif Yükte Nem Altında Tip 5 Busbar ve Tip 3 Kabloya Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 5 BUSBAR	R	215.5 V	7.423 A	1600.8 W	%1.6-%1.4	212.0 V	7.449 A	1571.0 W	%1.4-%1.4
	S	212.4 V	7.459 A	1577.4 W	%1.8-%1.8	212.2 V	7.462 A	1575.9 W	%1.6-%1.6
	T	215.5 V	7.467 A	1609.5 W	%1.6-%1.7	212.7 V	7.469 A	1581.8 W	%1.6-%1.5
TİP 3 KABLO	R	213.4 V	7.510 A	1595.6 W	%1.6-%1.5	211.8 V	7.465 A	1574.1 W	%1.5-%1.5
	S	213.6 V	7.493 A	1593.4 W	%1.6-%1.5	212.1 V	7.450 A	1573.7 W	%1.5-%1.5
	T	213.8 V	7.526 A	1602.7 W	%1.6-%1.5	212.7 V	7.467 A	1583.5 W	%1.6-%1.5

Tablo 4.28'de endüktif yükte nem altında yapılan deneyde tip 5 busbar ve tip 3 kabloya ait değerler görülmektedir. Bu tablodaki gerilim düşümünün nem altında yapılan endüktif yükteki diğer deneylere göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.29 : Endüktif Yükte Nem Altında Tip 6 Busbar ve Tip 4 Kabloya Ait Değerler.

	GİRİŞ				ÇIKIŞ			
	U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 6 BUSBAR	212.4 V	7.435 A	1572.5 W	%1.6-%1.6	212.3 V	7.514 A	1595.4 W	%1.7-%1.5
TİP 4 KABLO	214.1 V	8.904 A	1898.1 W	%1.7-%1.8	213.2 V	8.854 A	1879.6 W	%1.5-%1.5

Tablo 4.29'da tip 6 busbar ve tip 4 kabloya ait değerler görülmektedir. Kabloda oluşan gerilim düşümünün daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

Tablo 4.30 : Endüktif Yükte Nem Altında Tip 1 ve Tip 4 Busbara Ait Değerler.

		GİRİŞ				ÇIKIŞ			
		U	**I**	**P**	**THD (U-I)**	**U**	**I**	**P**	**THD (U-I)**
TİP 1 BUSBAR	R	213.7 V	7.513 A	1598.3 W	%1.6-%1.6	212.6 V	7.475 A	1581.4 W	%1.6-%1.5
	S	213.8 V	7.478 A	1591.6 W	%1.6-%1.5	213.2 V	7.467 A	1583.6 W	%1.6-%1.6
	T	213.7 V	7.520 A	1601.7 W	%1.7-%1.5	213.2 V	7.496 A	1592.8 W	%1.8-%1.6
TİP 4 BUSBAR	R	211.7 V	7.424 A	1566.7 W	%1.7-%1.5	211.5 V	7.405 A	1560.8 W	%1.7-%1.7
	S	211.5 V	7.412 A	1560.8 W	%1.9-%1.8	211.3 V	7.441 A	1567.2 W	%1.8-%1.8
	T	210.9 V	7.411 A	1556.9 W	%1.8-%1.7	210.5 V	7.426 A	1566.7 W	%1.9-%1.7

Tablo 4.30'da tip 1 ve tip 4 busbarlara ait güç analizöründen okunan değerler görülmektedir. Tip 1 busbarda gerilim düşümünün biraz daha fazla olduğu ve tip 4 busbarda toplam harmonik bozulmanın daha fazla olduğu görülmüştür..

4.3 KAPASİTİF YÜKTE BUSBAR VE KABLONUN İNCELENMESİ

220 V gerilimde Yaklaşık 0.3A akım çeken kapasitif bir yük altında busbar kullanılarak oluşturulan deney seti için güç analizöründen okunan değerler Tablo 4.31 ve 4.32'de gösterilmiştir. Kapasitif yük nedeniyle THD'nin arttığı gözlemlenmektedir.

Tablo 4.31 : Busbar Girişinde Güç Analizörü Ölçüm Sonuçları.

		U	**I**	**P**	**S**	**Q**	**PF**	**Ø**	**THD(U-I)**
TİP 1 BUSBAR	**R**	219.6 V	0.346 A	56.4 W	77.4 VA	52.9VAR	0.73c	0.8	%2-%28.2
	S	219.3 V	0.269 A	37.2 W	57.4 VA	57.7VAR	0.65c	0.68	%2.1-%30.2
	T	219.2 V	0.265 A	38.8 W	59.7 VA	45.3VAR	0.65c	0.68	%2-%30.7
TİP 2 BUSBAR	**R**	218.9 V	0.257 A	33.8 W	54.9 VA	43.2 VAR	0.62c	0.66	%1.8-%30.4
	S	219.6 V	0.268 A	36.9 W	57.5VA	44.1 VAR	0.64c	0.67	%2.1-%31.4
	T	219.3 V	0.253 A	35.8 W	55.9VA	42.9 VAR	0.64c	0.69	%2-%28.4
TİP 3 BUSBAR	**R**	218.4 V	0.338 A	53.8 W	75.1VA	52.2 VAR	0.72c	0.76	%2.1-%30.8
	S	218.8 V	0.274 A	39.1 W	60.8VA	46.6 VAR	0.64c	0.67	%2-%32.4
	T	218.8 V	0.269 A	38.1 W	58.7VA	44.6 VAR	0.65c	0.69	%1.9-%29.2
TİP 5 BUSBAR	**R**	218.8 V	0.269 A	36.9 W	58.6VA	45.5 VAR	0.63c	0.68	%2-%27
	S	218.9 V	0.347 A	53.6 W	72.8VA	49.2 VAR	0.74c	0.78	%2.2-%38.5
	T	219.9 V	0.338 A	52.1 W	72.5VA	50.4 VAR	0.72c	0.79	%1.9-%40
TİP 6 BUSBAR	**R**	219.3 V	0.180 A	19.4 W	37.3VA	31.8 VAR	0.52C	0.59	%2-%65.8
	S	219.6 V	0.397 A	56.5 W	77.9VA	55.6 VAR	0.74C	0.78	%2.3-%44.4
	T	219.5 V	0.189 A	20.3 W	40.6VA	35.1 VAR	0.50C	0.57	%2.1-%55.4

Tablo 4.31'de oda koşullarında kapasitif yükte iken güç analizörü busbardan önceki noktada iken okunan değerler görülmektedir. En yüksek THD değerinin tip 6 busbarda olduğu görülmektedir.

Tablo 4.32 : Busbar Çıkışında Güç Analizörü Ölçüm Sonuçları.

		U	I	P	S	Q	Ø	PF	THD(U-I)
TİP 1 BUSBAR	**R**	219.2 V	0.248 A	34.1 W	56.6 VA	42.1 VAR	0.61c	0.66	%2-%29.9
	S	219.1 V	0.259 A	35.9 W	57.1 VA	44.2 VAR	0.63c	0.67	%2-%26.9
	T	218.8 V	0.327 A	52.7 W	73.7 VA	51.5 VAR	0.72c	0.79	%2-%30
TİP 2 BUSBAR	**R**	218.8 V	0.335 A	54.5 W	73.1 VA	48.6 VAR	0.75c	0.75	%1.8-%30.7
	S	219.4 V	0.269 A	40.3 W	72.5 VA	48.4V VAR	0.67c	0.69	%2.1-%30.3
	T	219.3 V	0.269 A	37.5 W	60.3 VA	47.7 VAR	0.62c	0.67	%2-%29.8
TİP 3 BUSBAR	**R**	218.1 V	0.347 A	56.7 W	75.8 VA	50.3 VAR	0.75c	0.75	%2-%39.7
	S	218.4 V	0.268 A	38.3 W	59.4 VA	45.4 VAR	0.65c	0.69	%2.1-%28
	T	218.7 V	0.335 A	50.3 W	68.8 VA	46.8 VAR	0.73c	0.78	%2-%28.5
TİP 5 BUSBAR	**R**	217.8 V	0.259 A	37.2 W	57.5 VA	43.7 VAR	0.65c	0.67	%2.1-%29.6
	S	218.7 V	0.376 A	53.3 W	75.2 VA	53.1 VAR	0.71c	0.79	%2.2-%33.7
	T	219.1 V	0.330 A	55.4 W	74.6 VA	52.3 VAR	0.75c	0.74	%2.1-%32.4
TİP 6 BUSBAR	**R**	218.7 V	0.248 A	33.9 W	54.3 VA	42.3 VAR	0.63C	0.64	%2-%34.4
	S	219.5 V	0.340 A	54.1 W	74.3 VA	50.7 VAR	0.73C	0.74	%2.1-%33.7
	T	219.1 V	0.335 A	54.7 W	74.1 VA	49.9 VAR	0.74C	0.78	%2-%38.7

Tablo 4.32'de güç analizörü busbardan sonraki yükten önceki noktada iken okunan değerler görülmektedir. En fazla gerilim düşümünün tip 6 busbarda olduğu görülmektedir.

Tablo 4.33 : Kablodan Önceki bir Noktada Güç Analizörü Ölçüm Sonuçları.

		U	I	P	S	Q	PF	Ø	THD (U-I)
TİP 1 KABLO	R	222.0 V	0.333 A	49.8 W	70.4 VA	49.7 VAR	0.71c	0.74	%1.8-%28.4
	S	223.4 V	0.256 A	32.6 W	54.8 VA	43.9 VAR	0.60c	0.65	%2.1-%35.1
	T	221.0 V	0.326 A	52.8 W	74.1 VA	52.0 VAR	0.71c	0.69	%2.2-%32.5
TİP 2 KABLO	R	221.0 V	0.344 A	48.1 W	70.2 VA	51.0 VAR	0.69c	0.72	%1.6-%28.6
	S	222.2 V	0.335 A	48.7 W	74.9 VA	56.8 VAR	0.65c	0.69	%1.9-%33.9
	T	220.0 V	0.265 A	38.0 W	59.6 VA	45.6 VAR	0.64c	0.70	%2.1-%28.7
TİP 3 KABLO	R	221.8 V	0.317 A	47.5 W	73.5 VA	54.3 VAR	0.72c	0.71	%1.9-%35.6
	S	223.4 V	0.248 A	32.9 W	55.8 VA	45.0 VAR	0.59c	0.63	%2.2-%30.6
	T	221.7 V	0.300 A	46.6 W	63.7 VA	43.4 VAR	0.73c	0.77	%2.2-%39.0
TİP 4 KABLO	R	219.8 V	0.324 A	56.7 W	80.2 VA	56.6 VAR	0.71c	0.80	%1.6-%30.2

Yaklaşık 0.3A akım çeken kapasitif bir yük altında klasik kablo kullanılarak oluşturulan deney seti için güç analizörünün enerji girişinden sonraki deneye konu olan kablodan önceki bir noktaya bağlandığında okunan değerler Tablo 4.33'te gösterilmiştir. En yüksek THD değerine tip 3 kabloda rastlanmıştır.

Tablo 4.34 : Kablodan Sonraki bir Noktada Güç Analizörü Ölçüm Sonuçları.

		U	I	P	S	Q	PF	Ø	THD (U-I)
TİP 1 KABLO	R	220.7 V	0.320 A	51.9 W	70.7 VA	47.9 VAR	0.74c	0.77	%1.7-%28.4
	S	222.3 V	0.388 A	69.6 W	87.5 VA	52.9 VAR	0.80c	0.83	%1.9-%32.4
	T	219.9 V	0.335 A	42.7 W	65.5 VA	49.7 VAR	0.65c	0.66	%2.3-%31.3
TİP 2 KABLO	R	220.2 V	0.320 A	50.1 W	68.7 VA	47.0 VAR	0.73c	0.77	%1.8-%31.3
	S	221.4 V	0.274 A	34.7 W	54.9 VA	42.5 VAR	0.63c	0.68	%2.1-%38.7
	T	219.7 V	0.320 A	48.7 W	67.1 VA	46.7 VAR	0.72c	0.76	%2.0-%36.0
TİP 3 KABLO	R	220.9 V	0.326 A	51.4 W	72.7 VA	51.3 VAR	0.71c	0.75	%1.8-%28.0
	S	222.0 V	0.271 A	37.2 W	61.8 VA	49.3 VAR	0.60c	0.69	%2.1-%33.0
	T	220.1 V	0.265 A	38.8 W	60.8 VA	46.8 VAR	0.64c	0.67	%2.1-%31.5
TİP 4 KABLO	R	218.7 V	0.317 A	55.3 W	76.7 VA	54.3 VAR	0.70c	0.76	%1.5-%26.4

Güç analizörünün kablodan sonraki yükten önceki bir noktaya bağlandığında okunan değerler Tablo 4.34'te gösterilmiştir. Tip 2 kabloda harmonik bozulma girişe göre belirgin bir artış göstermiştir.

4.4 BUSBAR VE KABLOLARIN ELEKTROMANYETİK ALAN İNCELEMESİ

Şebeke gerilimi ile beslenen tek fazlı sistem üzerinden sabit 20 amper geçerken busbarın/kablonun 5 cm uzağına konulan EMF metrede okunan elektrik alan ve manyetik alan ölçüm sonuçları Tablo 4.35'te gösterilmiştir. Farklı tip busbarların yaydığı elektrik alan ve manyetik alan farklılık gösterse de ortalamada kabloların elektrik alan ve manyetik alan yayılımının busbarlara oranla daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4.35 : Elektrik Alan ve Manyetik Alan İncelemesi.

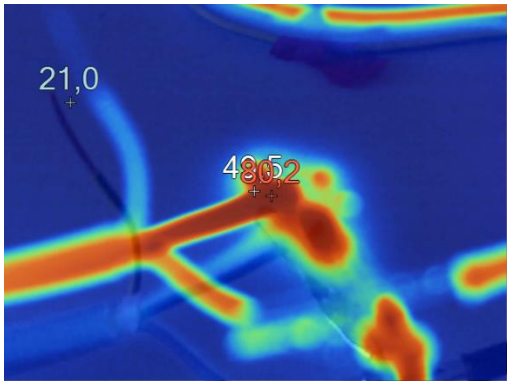
TİPİ	MANYETİK ALAN	ELEKTRİK ALAN
Tip 1 Busbar	125.0 mG	387 V/m
Tip 2 Busbar	69.4 mG	49 V/m
Tip 3 Busbar	76.0 mG	153 V/m
Tip 4 Busbar	40.7 mG	248 V/m
Tip 5 Busbar	53.3 mG	160 V/m
Tip 6 Busbar	61.9 mG	453 V/m
Tip 1 Kablo	43.7 mG	126 V/m
Tip 2 Kablo	44.8 mG	259 V/m
Tip 3 Kablo	28.5 mG	116 V/m
Tip 4 Kablo	20.1 mG	178 V/m

4.5 YÜKSEK AKIM ALTINDA BUSBAR VE KABLONUN TERMAL ANALİZİ

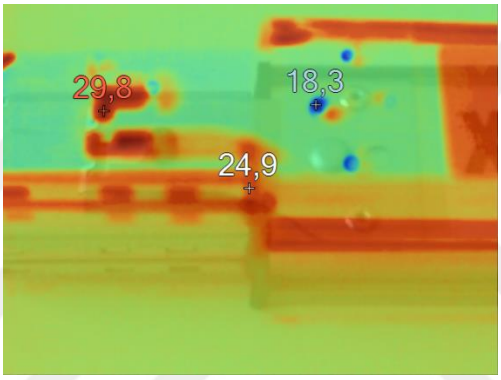
Eşdeğer busbar ve kablodan 10 dakika süre ile sabit 25A sabit akım geçmesi sağlanmıştır. 10 dakika sonucunda kablonun ve busbarın ek noktasındaki ve orta noktalarındaki sıcaklık termal kamera yardımı ile incelenmiştir.

Kablo ek noktalarında şekil 4.1'de görüldüğü gibi sıcaklık yaklaşık 80 ºC'ye kadar çıkarken busbarın ek noktasında görülen en yüksek sıcaklık şekil 4.2'de görüldüğü üzere yaklaşık 29,8ºC olmuştur. Kablo ve busbarın orta noktalarındaki sıcaklıklar da ölçülmüştür. Kablonun orta noktası yaklaşık 36 ºC iken busbarın orta noktası yaklaşık 23 ºC olarak ölçülmüştür.

Deneylerin yapıldığı oda sıcaklığı 20 ºC'dir.



Şekil 4.1 : Kablo için Termal Analiz



Şekil 4.2 : Busbar için Termal Analiz

4.6 KULLANIMDA OLAN EŞDEĞER İKİ BİNADA BUSBAR VE KABLONUN İNCELENMESİ

Akım değerleri ve iletken metrajları birbirine yakın iki bina incelenmiştir. Bu binalarda busbarın ve kablonun başladığı noktada ve bittiği noktada ölçümler alınmıştır. Metrajlar, akımlar ve gerilim değerleri belirlenmiştir.

Busbar kullanan bir binada ana dağıtım panosundan çıkıp kat dağıtım panosuna giden hat üzerinde ölçümler yapılmıştır. Ana dağıtım panosu ile kat dağıtım panosu arası yaklaşık 38m olan kısmında:

- L1 hattında 71A akım geçerken gerilim 229 V değerinden 227,5 V değerine düşmüştür.
- L2 hattında 69A akım geçerken 229 V değerinden 227,5 V değerine düşmüştür.
- L3 hattında 72A akım geçerken 228 V değerinden 227,3 V değerine düşmüştür.

Aynı binanın 152 metre uzunluğunda bir busbar hattı olan kısmında

- L1 hattında 63A akım geçerken 232 V değerinden 224.9 V değerine düşmüştür.
- L2 hattında 69A akım geçerken 231 V değerinden 225.1 V değerine düşmüştür.
- L3 hattında 72A akım geçerken 229 V değerinden 225.8 V değerine düşmüştür.

Kablo kullanan ve yaklaşık eşdeğer akım çeken bir bina seçilmiştir. Bu binada yaklaşık 22 metre kablo kullanılmıştır.

- L1 hattında 66A akım geçerken 226 V değerinden 224,9 V değerine düşmüştür.
- L2 hattında 54A akım geçerken 225 V değerinden 224 V değerine düşmüştür.
- L3 hattında 79A akım geçerken 224 V değerinden 222.4 V değerine düşmüştür.

Ölçümlerde birim metre ve birim amper başına gerilim düşümü hesapları yapıldığında kablodaki gerilim düşümü busbardaki gerilim düşümünün yaklaşık 1.5 katı olarak gözlemlenmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Elektrik iç tesisatı tasarımında güvenlik ve süreklilik önem taşır. Elektrik şebekesinin yangın dayanımı, uzun süreli hizmet sağlaması için asgari düzeyde bakım ihtiyacı, ekonomiklik ve değişimlere kolay uyum sağlaması, çevresel koşullar karşısında kararlı olması, enerji kayıplarının minimum düzeyde olması önem arz etmektedir. Bu tez kapsamında kablo ve busbar için çeşitli deneysel çalışmalar yürütülerek fiziksel ve elektriksel özellikleri kıyaslanmıştır. Birçok çalışmada genellikle kablo ya da busbar tek başına değerlendirilmekte deneysel çalışmalar bu doğrultuda yapılmaktadır. Oysaki iki sistemin kullanım alanlarına göre birbirlerine karşı avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Bu çalışmada busbar ve kablo sistemleri birlikte değerlendirilmiş, busbarın klasik kabloya göre farklı fiziksel koşullardaki davranışları deneysel koşullarda gerçek performanslarını yansıtacak şekilde irdelenmiştir. Çalışma kapsamında aynı koşullar altında uygulaması gerçekleştirilen 6 farklı busbar ve 4 farklı klasik kablo ile tasarımı oluşturulan deney düzeneğinde analizler yapılmıştır.

Busbar, klasik kabloya göre yüksek akım altında daha az ısınmıştır. Elektrik iletim araçlarına dayanım sınır koşullarında yüksek akım verildiğinde busbarın daha geç ısındığı, busbarın ek noktalarında 29.8 ^{o}C sıcaklık görülürken bu durum aynı koşullar altın klasik kablolarda yaklaşık 80^{o}C'lik sıcaklık gözlemlenmiştir. Dolayısıyla busbar klasik kabloya göre %37.5'lik bir ısıl fark sağlamaktadır. Bu durum sık görülen elektrik kontağı kaynaklı yangınların azaltılması konusunda önem arz etmektedir.

İç tesisat sistemindeki gerilim düşümünü cihazların çalışmasına engel teşkil edebileceğinden yapılan deneylerde gerilim düşümleri incelenmiştir. Busbar sistemlerinde gerilim düşümünün kablo kullanılan sistemlere göre kullanımda olan binadaki gerilim düşümleri dikkate alındığında yaklaşık 1.5 kat daha az olduğu gözlemlenmiştir. Nem ve sıcaklık koşullarında büyük bir değişim görülmemiştir. Yükün kapasitif olduğu durumlarda busbarlarda kablolara oranla daha yüksek toplam harmonik bozulma olduğu görülmüştür. THD'nin artması sinyal kalitesini bozarak hassas cihazlara zarar verebilir.

Elektromanyetik alanların insan sağlığı üzerine olan olumsuz etkileri yapılan çalışmalardan bilinmektedir. Bu tezde yapılan ölçümlere göre busbarda manyetik alanın benzer değerdeki kablolara göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Elektromanyetik girişimin az olmasının istendiği yapılarda kablo kullanmak mantıklıdır.

Ekonomik olarak kurulum aşamasında ilk yapım maliyeti busbarda daha yüksek olup, servis hizmeti boyunca ihtiyacı karşılamak için sisteme yeni eklemeler yapılması hâsıl olduğunda busbar sistemi mevcut tesisin elektrik akımını devre dışı bırakmadan çalışmaya olanak sağlayıp, iş kaybına yol açmadan değişikliklere müsaade etmektedir. Klasik kablolarla kurulu olan sistemlerde ilave hat döşenmesi ihtiyacı söz konusu olduğunda, hattın elektriğini kesmek zorunluluğu gerektiğinden iş aksaklıkları yaşanarak zaman, üretim miktarı, iş gücü kaybı, cihazlarda oluşabilecek kalibrasyon problemleri gibi kayıplar yaşanmasına sebep olmaktadır. Uygulamada ihtiyacı karşılamak için ilave sistem kapasitesi artışına gereksinim duyulduğunda tesis çevresindeki mevcut kablo kanalı, kablo tavası ve menhollerden klasik yöntemlerle ek kablo geçirilmesinde uygulamada zorluklar yaşanabilir. Busbar sisteminin bunlara ihtiyaç olmadan sistem içerisinde çözüm getirdiğinden uygulaması daha pratik olmakla birlikte iş kayıplarının önüne geçilebileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak her iki sistemin birbirlerine karşı uygulandıkları alanlara göre artı yönleri ve eksi yönleri mevcuttur. Binaların yangından korunması hakkında yönetmelik 51.50 metreden yüksek olan binalarda busbar kullanımını zorunlu kılsa da elektrik sistemi ile ilgili değişim söz konusu olduğunda elektrik kesintisini minimumda tutmak isteyen tesislerde de busbar kullanımı çeşitli avantajlar sunmaktadır. Dolayısıyla tesislerde yapılması öngörülecek sistemlerin fizibilite çalışmalarının iyi bir şekilde analizlerinin yapılarak fiziksel, mekanik ve ekonomik özellikler bakımından hangi sistemin uygulanacağı karar vericiler tarafından netleştirilmelidir.

KAYNAKLAR

[1] Becerik, A., 2012 Yüksek Yapılar'da Elektrik Mühendisliği-XVII "Busbar Enerji Taşıma Sistemleri" Emo İzmir Şube Dergisi Ocak 2012

[2] http://itfaiye.ibb.gov.tr/img/1612222642019__6222955584.pdf (Erişim tarihi: 01.04.2019).

[3] Mazzanti, G., Marzinotto, M. Relationship between the expressions for electrical resistivity and the field profiles in HVDC cable insulation. In: 2016 IEEE Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena (CEIDP). IEEE, 2016. p. 947-950.

[4] Fourie, J.W., Calmeyer, J.E., A statistical method to minimize electrical energy losses in a local electricity distribution network, 2004 IEEE Africon. 7th Africon Conference in Africa (2004) **DOI:** 10.1109/AFRICON.2004.1406768

[5] Hunt, J.; IET Wiring Matters Summer 2013

[6] Sophocleous, M., Electrical Resistivity Sensing Methods and Implications. Electrical Resistivity and Conductivity, 2017, 5.

[7] Zarchi, D. A.; Vahidi, B., Optimal placement of underground cables to maximise total ampacity considering cable lifetime. IET Generation, Transmission & Distribution, 2016, 10.1: 263-269.

[8] Kroenera, E, Vallatib A. , Bittelli M. , Numerical simulation of coupled heat, liquid water and water vapor insoils for heat dissipation of underground electrical power cables

[9] P.A. Kokate, et al., Extremely Low Frequency Electromagnetic Field (ELF-EMF) and childhood leukemia near transmission lines: a review, Advanced Electromagnetics 5.1 (2016) 30-40. DOI: 10.7716/aem.v5i1.348

[10] A. Stark, et al., A Potential Role of Chronic Exposure to Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields in Triggering Persistent Pain Post Breast Cancer Surgery: A Review, Surgery 9 (2017) 11. DOI:10.5455/ijsm.electromagnetic-field-post-mastectomy-pain-syndrome

[11] A. Huss, et al., Extremely Low frequency magnetic field exposure and Parkinson's disease—a systematic review and meta-analysis of the data, International journal of environmental research and public health 12.7 (2015) 7348-7356. DOI: 10.3390/ijerph120707348

[12] European Commission. 2015a. Potential Health Effects of Exposure to Electromagnetic Fields (EMF). DOI:10.2772/75635

[13] IEEE Working group in Nonsinusoidal Situations, "Practical definitions for power systems with nonsinusoidal waveforms and unbalanced loads: A discussion," IEEE Trans. Power Del., vol. 11, no. 1, pp. 79–87, Jan. 1996.

[14] IEEE Working group in Nonsinusoidal Situations, "Practical definitions for power systems with nonsinusoidal waveforms and unbalanced loads: A discussion," IEEE Trans. Power Del., vol. 11, no. 1, pp. 79–87, Jan. 1996.

[15] Shmilovitz D., On the Definition of Total Harmonic Distortion and Its Effect on Measurement Interpretation, IEEE Transactions on Power Delivery 2005 DOI: 10.1109/TPWRD.2004.839744

[16] CUI, Xiaoli, et al. Study on the improvement of electrical conductivity and mechanical properties of low alloying electrical aluminum alloys. Composites Part B: Engineering, 2017, 110: 381-387.

[17] Lindenfeld, P.; Pennebaker, W. B. Lattice conductivity of copper alloys. Physical Review, 1962, 127.6: 1881.

[18] Filiz, C., İç Anadolu Enerji Forumu, Güç Sistemlerinde Harmonikler Ve Filtrelemelerin İncelenmesi 2012

[19] Tony Hoevenaars et al, May 6, 2003: Interpreting IEEE Std 519 and Meeting its Harmonic Limits in VFD Applications. Online source. Date accessed 4th January, 2014. http://www.mirusinternational.com/downloads/Interpreting-IEEEStd-519-and-Meeting-Harmonic-Limits-VFDs-PCIC-2003-15.pdf

[20] Serway, R. A. and Jewett, W. J., 2014, *Physics for scientists and engineers with modern physics*, 9th ed., ISBN-13: 978-1-133-95405-7

[21] Jordan, E. C., Balmain, K. G., 1968, *Electromagnetic waves and radiating systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, ISBN: 978-0132499958.

[22] Zhou, X. Y., et al. Probabilistic Analysis of Strength Degradation of Fibre Reinforced Composite Structural Components Under Hygrothermal Environments. 2015.

[23] Baba, K., Sankai, Y., Development of biomimetic system for scale up of cell spheroids-building blocks for cell transplantation. In: 2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC). IEEE, 2017. p. 1611-1616.

[24] Nair, B., et al. Underground substations: reliable, safe and invisible Power solution. Water and Energy International, 2016, 59.3: 24-28.

[25] Moriarty, P.; Doody, P., Integrated sensors kit for investigation of perishable produce shelf-life extension. In: 2017 28th Irish Signals and Systems Conference (ISSC). IEEE, 2017. p. 1-5.

[26] Steinhilper, R., Kleylein-Feuerstein, J., Kussmann, C., Remanufacturing and upcycling of an industrial robot handheld terminal independently from the original equipment manufacturer. In: 2016 Electronics Goes Green 2016+(EGG). IEEE, 2016. p. 1-8.

[27] Lin, Jia-Horng, et al. Manufacture and properties of protective sound-absorbing mesh-reinforced composite foam board: Effects of filler content and mesh opening. Fibers and Polymers, 2015, 16.9: 2046-2055.

[28] Chen, Xiangrong, et al. Electrical treeing behavior at high temperature in XLPE cable insulation samples. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2015, 22.5: 2841-2851.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı	CİHAN BURAK FIRAT
Doğum Yeri	GAZİANTEP
Doğum Tarihi	28.01.1988
Uyruğu	☑ T.C. ❒ Diğer:
Telefon	00905354923775
E-Posta Adresi	burakfiratiu@gmail.com
Web Adresi	



Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi
Fakülte	Mühendislik Fakültesi
Bölümü	Elektrik-Elektronik Mühendisliği
Mezuniyet Yılı	2011

Yüksek Lisans	
Üniversite	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Enstitü Adı	Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Anabilim Dalı	Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Programı	Elektrik-Elektronik Mühendisliği

Makale ve Bildiriler
C.B. Fırat, C.P. Uzunoğlu, “Investigation of Busbar and Cable Based Distribution Systems Under Different Physical Condtions”, ICCESEN 2019, Antalya (kabul).