



**ELEKTRONİK İLETİŞİM VE BİLGİ İŞLEM SİSTEMLERİNDE
TOPRAKLAMA VE KORUMA**

Abdurrahman UNCU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EYLÜL 2019

Abdurrahman UNCU tarafından hazırlanan “ELEKTRONİK İLETİŞİM VE BİLGİ İŞLEM SİSTEMLERİNDE TOPRAKLAMA VE KORUMA” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Başkan: Prof. Dr. Murat ARI

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Çankırı Karatekin Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Üye: Dr. Öğr. Üyesi Süleyman Sungur TEZCAN

Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

Tez Savunma Tarihi: 18/09/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....
Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Abdurrahman UNCÜ

18/09/2019

ELEKTRONİK İLETİŞİM VE BİLGİ İŞLEM SİSTEMLERİNDE TOPRAKLAMA VE KORUMA

(Yüksek Lisans Tezi)

Abdurrahman UNCU

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2019

ÖZET

Elektrik sistemlerinde referans noktası olarak kabul edilen nötr topraklaması elektrik devrelerinde önemli bir kriterdir. Sistemlerde çeşitli sebeplerle oluşan tehlikeli ve zararlı akımları bertaraf etmeyi amaçlayan koruma topraklaması da diğer önemli bir işlemdir. Elektronik ve Haberleşme sistemleri ile Bilgi İşlem Tesisleri'nde oluşan arıza ve hataların sebepleri arasında yeterli etkinlikte yapılmamış topraklama işlemleri önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle insanlar ve diğer canlılar için hayati tehlike ve yaralanma riskinin ortadan kaldırılmasına ilaveten elektrikle çalışan tüm sistemlerin düzgün ve kararlı çalışabilmesi ve uzun ömürlü olması için topraklama sistemleri büyük önem taşımaktadır. Mevcut tez çalışmasında, öncelikle topraklama ile ilgili genel tanımlar yapılarak, temel formül ve çalışmalar verilmiştir. Özgül direnç, topraklama elemanlarının yerleştirildiği toprağın cinsi, içindeki kimyasal bileşik ve elementler ile katkı maddelerinin oranlarına göre değişimler incelenmiştir. İlave olarak toprağın sıcaklık, donma durumları ve nem oranı gibi fiziksel şartlarına göre de özgül direncin değişimi topraklama işlemlerindeki önemli unsurlardır. Elektriksel sistem ve tesisatının topraklama dirençlerinin ölçülmesi için literatürde farklı yöntemler mevcuttur. Bunlar, Basit Gerilim Düşümü Metodu (BGDM) ve %62 Metodları yanı sıra, Eğim Metodu, Yıldız-Üçgen (Kesişen Doğru) Metodu ile Dört Nokta Metotları başlıcalarıdır. Topraklama sisteminin elektriksel devre modellemesi ve temel hesapları yapılırken, sistemin iki ana bileşeni olan - toprak elektrodları ve kablolar, direnç ve bobin gibi techizatlar etkin değerlendirilmelidir. Toprağın yüksek potansiyel stres altında, dielektrik olarak farklı karakteristik özellik gösterdiği de dikkate alınmalıdır. Mevcut çalışmada bir yıldırım darbesi durumunda, topraklama sisteminin seri L-R akım devre modelinin geçici performansı etüt edilmiştir. Benzer şekilde geçiş darbeleri altındaki topraklama sistemlerinin davranışları, yayılma direnci, endüktans ve kapasitans elemanlarına sahip, sızdırmalı bir iletim hattı gibi modellenmiştir. İlave olarak, Elektronik Haberleşme Sistemlerinde topraklama sistemleri için kusur ve arıza örnekleri analiz edilmiştir. Son bölümde ise topraklama sistem ve devrelerinin matematiksel modeli çıkarılmıştır.

Bilim Kodu : 90513

Anahtar Kelimeler : Topraklama, toprak öz direnci, darbe empedansı, devre modeli, ölçüm metodu

Sayfa Adedi : 83

Danışman : Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

GROUNDING AND PROTECTION IN ELECTRONIC COMMUNICATION AND INFORMATION TECHNOLOGY SYSTEMS

(M.Sc. Thesis)

Abdurrahman UNCU

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2019

ABSTRACT

In the electrical systems, neutral grounding which is accepted as reference point is an important criterion in the circuit. Protection grounding which aims to eliminate hazardous and harmful currents which formed from different reasons in the systems is the another important transaction. The grounding procedures which have not been made in sufficient efficiency holds an important place between the reasons of the failures and errors which formed in Electronics and Communication systems and Information Technology (IT) facilities. Especially addition to eliminating the risk of life-threatening and injury for humans and other animates. For whole electrically operated systems to work properly and stable and for the longevity grounding system has a big importance. In present thesis study, primarily general definitions are made, and basic formulas and studies about the grounding were given. Resistivity, kind of the soil which the grounding elements were placed in, and variations according to the the proportion of chemical compounds, elements and additives inside it were studied. Additionally resistivity variations according to the physical conditions of the soil, like temperature, freezing situations and humidity are important criterions in the grounding procedures. There are different methods in the literature for measuring the grounding resistance of Electrical systems and installations. These are, together with to the Simple Fall of Potential Method (SFPM) and the 62% Method, the Slope Method, The Star-Delta (intersecting line) Method and The Four Potential Points Methods are the main ones. As we make the electrical circuit modeling and simple calculations of grounding system, the two main components of the system - such as ground electrodes and wiring, apparatus like resistance and coil must be evaluated efficacious. It must be taken into consideration that the soil shows characteristic feature too as dielectric under high potential stress. In the present study, the case of a lightning strike the earthing system model of the series L-R circuit transient performance were studied. Similarly, modelling of the behavior of the earthing system under the transient impuls was implemented as a leaky transmission line with spreading resistance, inductance and capacitance elements. As addition, grounding systems in Electronic Communication Systems and examples of defects and malfunctions were analysed. In the last part mathematical model of the grounding systems and circuits was brought up.

Science Code : 90513

Keywords : Grounding, soil resistivity, impulse impedance, circuit modeling, test method

Page Number : 83

Supervisor : Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU

TEŞEKKÜR

Bu Tezin hazırlanması konusunda yardımını esirgemeyen Danışmanım hocam Sayın Prof. Dr. M. Cengiz TAPLAMACIOĞLU'na, Mardin Artuklu Üniversitesi mensubu Sayın Dr. Öğr. Üyesi Süleyman ADAK'a, Mardin Hascan Mühendislik Kurucusu Dr. Hasan CANGİ'ye, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi mensubu Dr. Öğr. Üyesi Ali MAMIZADEH'e, Bölümümüz Araş. Görevlileri Ali Osman KÜÇÜK, Ömer AYDIN, Mustafa SAKA'ya teşekkür ederim. Ayrıca dolaylı olarak katkıda bulunup ismini anmadığım kişi ve kuruluşlara da ayrıca teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. TEST TEKNİKLERİ VE REFERANS ELEKTROTLARI	9
2.1. Basit Gerilim Düşümü Metodu (B.G.D.M.)	10
2.2. %62 metodu ile ölçme.....	12
2.3. Dört Potansiyel (Nokta) Ölçüm Metodu	13
2.4. Yıldız-Üçgen veya Kesişen (Çakışan) Çizgi Yöntemi.....	14
2.5. Eğim Metodu.....	15
2.6. Metotların Gerçek Bir Sistemde Uygulanması	17
2.7. Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirme.....	21
3. TOPRAK ÖRNEKLERİNİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ.....	23
3.1. Toprak Özdirençleri	23
3.2. Dikey Topraklama Elektrodu	30
3.3. Toprak Direnci ve Geçirgenliğin Etkisi	32
4. EMPEDANSIN ÖNEMİ	35
4.1. Giriş.....	35
4.2. Davranış Mekanizması.....	36
4.2.1. Darbe testi ve geçici cevabı.....	36

Sayfa

4.2.2. Bir topraklama sisteminin geçici performans değerlendirmesi.....	36
4.2.3. Darbe empedansı	39
5. TOPRAKLAMA SİSTEM ANALİZİ VE UYGULAMASI.....	41
5.1. Uygulama Örnekleri.....	41
5.1.1. Uydu yer istasyonu.....	41
5.1.2. Deniz haberleşme merkezi	42
5.1.3. PABX'in yıldırımdan indüklenen hasarı ve önlenmesi.....	44
5.1.4. Hücresel radyo istasyonu	44
5.1.5. Yüksek rakımlı tepede kurulu sivil havacılık haberleşme istasyonu	45
5.1.6. Bilgi işlem sistemlerinde topraklama uygulamaları.....	46
6. TOPRAKLAMA MEVCUT MATEMATİKSEL YÖNTEMLER.....	49
6.1. Sayısal Çözüm.....	50
6.2. Yıldırım Darbesinin Dalga Şekli ve Fourier Dönüşümü	51
7. SAHA UYGULAMALARI VE HESAPLAMA ÖRNEKLERİ	55
7.1. Telsiz Haberleşme Sistemlerinde Yıldırım Atlaması ve Topraklama Eksikliğinden Kaynaklanan Arızalar	55
7.2. Gümrük Kapısı Hizmet Binaları, Ticari Tesisler ile Ek Yapıları Topraklama Tesisatı Topraklama Geçiş Direnci Hesaplama, Ölçüm ve Karşılaştırması	62
7.2.1. Ana kontrol merkezi ve sistem odası	62
7.2.2. Topraklama hesabı	66
7.2.3. Topraklama hesabı ve ölçüm değerlerinin karşılaştırılması.....	68
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	69
KAYNAKLAR	71
EKLER.....	77
Ek-1: Topraklama Geçiş Direnci Ölçüm Raporu.....	79
ÖZGEÇMİŞ	83

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Topraklama sisteminde (metre cinsinden) akım ve gerilim elektrot açıklık mesafesinin değişimi	11
Çizelge 2.2. Ölçülen topraklama direnci değerleri	18
Çizelge 3.1. Farklı doğal ve katkılı malzemelerin toprak özgül direnci	23
Çizelge 3.2. İçerdiği nem oranına göre toprak özgül direncinin değişimi	24
Çizelge 3.3. Ağırlıkça yaklaşık % 15 nem içeren bir kum ve kil karışımının özgül direncinin sıcaklıkla değişimi	24
Çizelge 3.4. Tuğla hammaddesi olan toprak örneklerine ait tekstür analizi sonuçları ...	26
Çizelge 3.5. İzmir; Bergama, Menemen ve Ödemiş Bozdağ bütçelerinden alınan toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri	28
Çizelge 3.6. Toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri	29
Çizelge 3.7. Toprak direncine nem içeriğinin etkisi	34

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Kenarları 1 metre olan küp şeklindeki toprak yığını ve ölçme devresi	2
Şekil 1.2. Topraktaki tuz oranına göre özgül direnç değişim grafiği.....	3
Şekil 1.3. Potansiyel hesaplama örnek devresi	5
Şekil 2.1. Ölçme devresi	10
Şekil 2.2. Direnç ölçüm uygunluğunun kontrolü.....	11
Şekil 2.3. % 62 metodu ile ölçme şeması	13
Şekil 2.4. Bir topraklama elektrodunun geçiş direncini ölçmek için Y- Δ yöntemi	15
Şekil 2.5. Topraklama empedans ölçme devresi.....	16
Şekil 2.6. Sistemde mevcut olan gürültü sinyali.....	17
Şekil 2.7. Gerçek sistemde basit gerilim düşümü metodu ile elde edilen direnç değişim grafiği	18
Şekil 2.8. Kesişen doğru metodunun uygulanması sonucu elde edilen direnç değerleri	19
Şekil 2.9. Sistemden okunan harmonikli sinyal.....	19
Şekil 2.10. Empedansın frekansa göre değişimi	20
Şekil 2.11. Topraklama sistem empedansı.....	20
Şekil 3.1. Topraktaki nem oranına göre özgül direnç değişim grafiği.....	24
Şekil 3.2. Toprak sıcaklığına göre özgül direnç değişim grafiği	25
Şekil 3.3. Ağırlıkça yaklaşık %15 nem içeren bir kum ve kil karışımının özgül direncinin sıcaklıkla değişimi	25
Şekil 3.4. Toprak direnci ölçümü.....	33
Şekil 4.1. Bazı frekans değerlerine karşılık gelen enerji yüzdeleri.....	35
Şekil 4.2. Bir topraklama sisteminin basit bir toplu parametrelili modeli	37
Şekil 4.3. Toprak sistemi empedansının “sızıntılı (kaçak) iletim hattı” modeli	39
Şekil 6.1. Beton kaplı bir elektrot (Yük yüzeyleri S_a , ..., S_f birim vektörleri ile gösterilmiştir).....	49
Şekil 6.2. Tipik bir yıldırım dalgası darbe şekli.....	52

Şekil	Sayfa
Şekil 6.3. Tipik bir yıldırım darbe şekli Matlab benzetimi.....	53
Şekil 7.1. Zayıf akım ve yıldırım koruma topraklama sistemlerine ait elektrotlar	55
Şekil 7.2. Metal düzlemin üstündeki tel – iki telli eşdeğer iletim hattı	56
Şekil 7.3. Topraklayıcıdan uzaklaştıkça gelen yıldırım darbesinin zayıflaması Matlab benzetimi	62
Şekil 7.4. Merkezi data ve bilgi işlem omurga birleşim noktası, güvenlik kameraları, yangın ihbar, acil anons – ses yayın, plaka okuma, IP telefon, otomatik bariyer ve kartlı geçiş sistemleri ana kontrol merkezi	63
Şekil 7.5. Merkezi data ve bilgi işlem omurga birleşim noktası, güvenlik kameraları, yangın ihbar, acil anons – ses yayın, plaka okuma, IP telefon, otomatik bariyer ve kartlı geçiş sistemleri ana kontrol merkezi patch panel ve serverların bulunduğu rack kabin.....	64
Şekil 7.6. Gümrük kapısı B-blok temel topraklaması planı.....	65

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

A	İletkenin (m^2) cinsinden kesiti
H	Yük yoğunluğu
I	Akım (Amper) cinsinden
L	İletkenin (m) cinsinden uzunluğu
L	Endüktans, H (Henry)
ρ:	İletken malzemenin (Ωm) cinsinden öz direnci
ρ_s	Toprağın öz direnci
ρ_c	Betonun öz direnci
R	Direnç (Ω) cinsinden
Sa.,Sf	Yük yüzeyleri birim vektörleri
Se	Elektrot yüzeyi
V	Potansiyel farkı (Volt) cinsinden
V_{elet}	Elektrodun üzerindeki elektrik potansiyel
Z_0	Karakteristik empedans (Ω) cinsinden
Z_p	Darbe Empedansı (Ω) cinsinden

Kısaltmalar

AC	Alternatif Akım
AOS	Anahtarlı Otomatik Sigorta
DC	Doğru Akım
FPE	Fonksiyon Topraklaması ve Koruma İletkeni
MDF	Master Distribution Frame: Telefon Ana Dağıtım Panosu
PABX	Private Automatic Branch Exchange: Otomatik Özel Santral,
PE	Koruma İletkeni (PE)
PEN	Koruma İletkeni + Nötr İletkeni

1. GİRİŞ

Toprak Özdirenç Teorisi

Direnç, bir iletkenin her iki ucuna gerilim uygulandığında, bu iletkenin içinden geçen akıma karşı uyguladığı mukavemet veya zorluk özelliği veya oranı olarak kabul edilir. Direncin ölçü birimi Ohm (Ω) olup, yaygın olarak kullanılan sembolü R'dir. Direnç (R); İletkenin her iki ucuna uygulanan (V) geriliminden kaynaklanarak akan (I) akımına olan oranı olup, Lineer denklem olan Ohm Kanundan hesaplanır.

$$R = \frac{V}{I} \quad (1.1)$$

Burada;

V: İletkenin her iki ucuna karşılıklı olarak uygulanan (Volt cinsinden) Potansiyel farkını,

I : İletkenin içinden geçen (Amper cinsinden) akımı,

R : İletkenin gösterdiği (Ohm (Ω) cinsinden) direnci ifade eder.

“İyi iletkenler”, düşük dirençli malzemelerdir, “Kötü iletkenler”, yüksek dirençli malzemeler olup, “Çok kötü iletkenler” ise daha çok izolatör veya yalıtkan olarak bilinirler.

Bir iletkenin Direnci veya Özdirenci (Ohmm veya Ωm ile ölçülür), imal edildiği malzemenin atom yapısına bağlı olup, o malzemenin elektriği iletebilme kabiliyetini ölçme özelliğidir. Düşük özdirençli bir malzeme “iyi iletken” olarak davranırken, Yüksek özdirençli bir başka malzeme ise “Kötü iletken” olarak davranır. Özdirenç (Resistivity) için Genellikle “ ρ ” (Eski Yunan alfabesindeki “rho”) sembolü kullanılır.

Bir iletkenin (R) direnci, o malzemenin özdirenç değeri kullanılarak aşağıdaki bağıntıdan türetilir;

$$R = \frac{\rho \times L}{A} \quad (1.2)$$

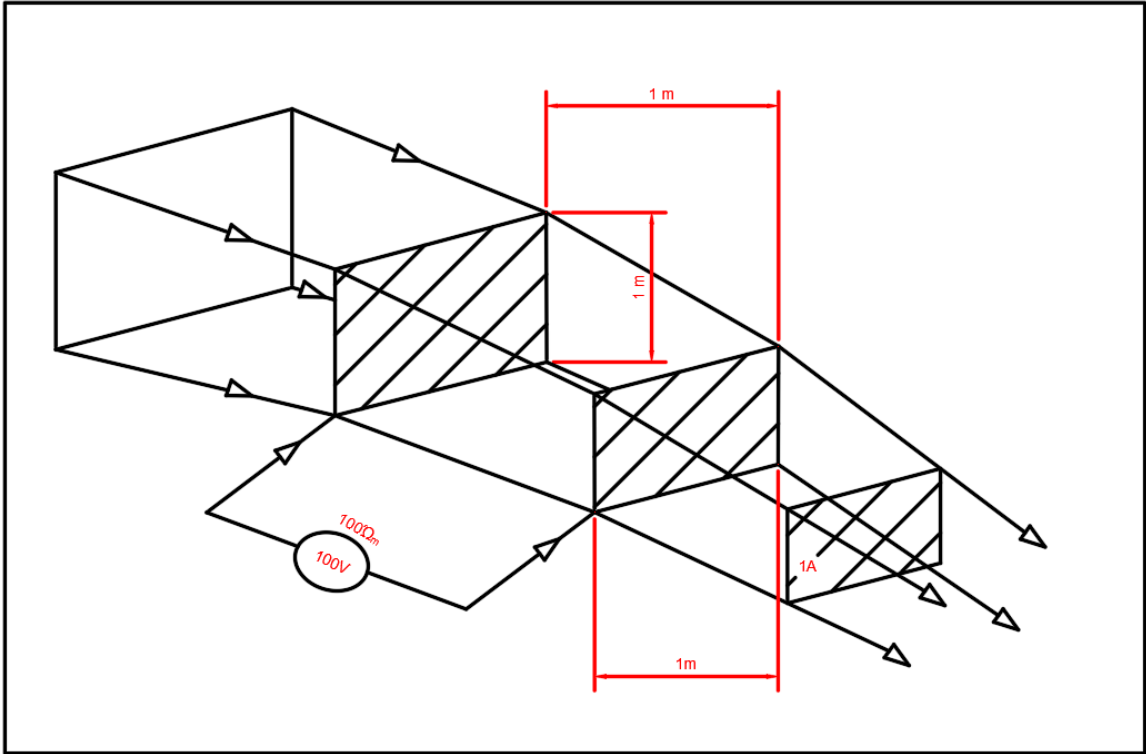
Burada;

ρ : İletken malzemenin (Ωm) cinsinden öz direnci

L : İletkenin (m) cinsinden uzunluğu

A : İletkenin (m^2) cinsinden kesitidir.

Özdirenç, bazen “Özgöl Direnç” olarak adlandırılır. Bunun sebebi; yukarıdaki formülden de anlaşılacağı gibi, özdirenç (Ωm); her bir kenarı 1 metre olan küp şeklindeki bir malzemenin, karşılıklı iki yüzeyinden ölçülen direnç değeridir.



Şekil 1.1. Kenarları 1 metre olan küp şeklindeki toprak yığını ve ölçme devresi [1]

Benzer şekilde, toprak öz direnci, her bir kenarı 1 metre olan küp şeklindeki bir toprak yığınının, karşılıklı iki yüzeyi arasındaki ölçülen direnç değeridir [2].

Amerika Birleşik Devletleri’nde bir başka birim olan Ωcm kullanılmaktadır ($100 \Omega cm = 1 \Omega m$).

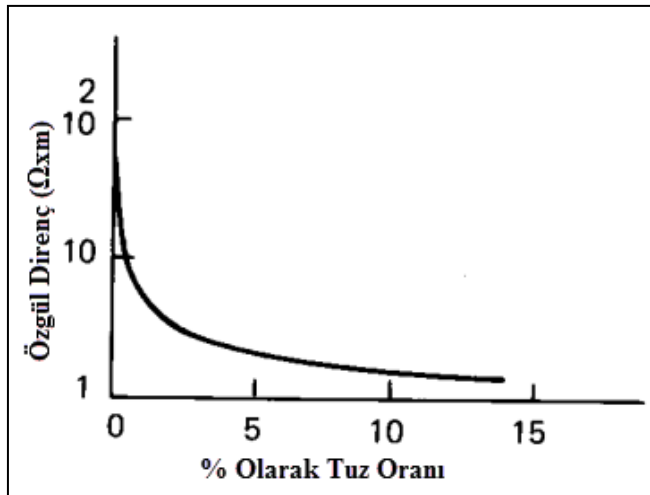
Ölçüm devresi

Bir topraklama sistemi tasarlanırken, güvenlik ve gerçekleştirilebilirlik kriterlerini sağlamak için doğru bir toprak özgül direnç modeline gerek vardır. Bu sebepten dolayı bu tez çalışmasında ölçümlerinin temel uygulama yönü ve sonuçların yorumlanması ortaya koyulmuştur.

Kurallar

Toprak özgül direnç değerleri, topraklamanın yapıldığı konuma göre değişir. Örneğin bir nehir kenarındaki çamur-balçık karışımında $1,5 \Omega m$ iken, kuru kum veya granit bulunan dağlık ve kayalık bölgelerde $10000 \Omega m$ değerinde olabilmektedir. Özgül direnci etkileyen faktörler özetlenirse [3];

- i. Toprak cinsi: kil, humus, kumtaşı, granit vb.
Toprak tabakalaşması: değişik tipteki toprak tabakaların oran ve dizilmesi (örneğin kil tabakasının üstündeki humuslu toprak gibi)
- ii. Nem oranı: nem oranı arttıkça özgül direnç değeri hızlı bir şekilde düşüş gösterir. %20 civarı ve altındaki nem oranından sonraki düşüş daha azdır. %40'tan daha büyük bir nem oranına gerçek hayatta fazlaca rastlanmaz.
- iii. Sıcaklık: donma noktasının altındaki sıcaklıkların toprak özgül direnci üzerindeki etkisi pratikte ihmal edilebilir.
- iv. Kimyasal bileşim ve çözülmüş tuz yoğunluğu.



Şekil 1.2. Topraktaki tuz oranına göre özgül direnç değişim grafiği [4]

- v. Metal ve beton boruların olması, tanklar, büyük levhalar, kablo kanal güzergahları ve yer altı kablo geçişi sağlayan borularının varlığı, demiryolu rayları ve geçitleri ile metal borular yanında,
- vi. Topografya: akıntı ve nemden kaynaklanan lokal yüzey özgül direnç değişimi gibi engebeli topografyanın da benzer şekilde öz direnç (özgül direnç) ölçümlerine etkisi vardır.

Elektronik ve/veya Haberleşme Sistemleri / Bilgi İşlem (IT) Sistemlerinde Topraklama ve Koruma

Topraklama sistemleri, aşırı hasara ve ekipmana zarar verebilecek veya insan hayatını tehdit edebilecek potansiyel gerilimleri önlemek için tasarlanmalıdır [5]. Topraklama sistemi, iletken bir parçanın toprağa bağlanması, elektrikli ekipmanların normal işletmede gerilim altında olmayan metal kısımlarının bir iletkenle toprakla birleştirilmesi olarak özetlenebilir [6].

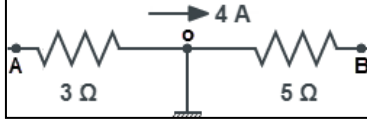
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 21.08.2001 tarih ve 24500 sayılı (4.Madde/7.2) Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren “Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği”, topraklamanın amaçlarına göre üçe ayrıldığını belirtmektedir [7] :

- “Koruma topraklaması: İnsanları tehlikeli dokunma gerilimlerine karşı korumak için, işletme akım devresinde bulunmayan iletken bir bölümün topraklanmasıdır.
- İşletme topraklaması: İşletme akım devresinin bir noktasının, cihazların ve tesislerin normal işletilmesi için topraklanmasıdır. Bu topraklama iki şekilde yapılabilir:
 - Dirençsiz (doğrudan doğruya) işletme topraklaması: Bu durumda, topraklama yolu üzerinde normal topraklama empedansından başka hiçbir direnç bulunmamaktadır.
 - Dirençli işletme topraklaması: Bu durumda, ek olarak ohmik, endüktif ya da kapasitif dirençler bulunmaktadır.
- Fonksiyon topraklaması: Bir iletişim tesisinin veya bir işletme elemanının istenen fonksiyonu yerine getirmesi amacıyla yapılan topraklamadır. Fonksiyon topraklaması, toprağı dönüş iletkeni olarak kullanan iletişim cihazlarının işletme akımlarını da taşır.”

Akhunlar (1965), Elektroteknik adlı kitabında elektrik devresinde potansiyellerin ölçülmesinde bir referans noktasının seçilmesi gerektiğini belirtmiştir. Referans noktasının potansiyeli 0 kabul edilir. Elektroteknik alanında genellikle referans noktası olarak toprak kullanılır. Bundan dolayı bir elektrik devresinde referans noktası olarak, toprakla birleştirildiği kabul edilen bir nokta seçilir. Devredeki herhangi bir noktanın potansiyeli, o noktayla referans noktası arasındaki gerilimden oluşur [8].

Potansiyel değerin pozitif veya negatif değeri alabilen bir büyüklük olduğunu belirtmekte, bununla ilgili olarak aşağıdaki örneği vermektedir [8].

Örnek:



Şekil 1.3. Potansiyel hesaplama örnek devresi [8]

Şekil 1.3’de topraklamanın yapıldığı O noktasına göre, A noktasının potansiyel büyüklüğü $V_A = 3 \times 4 = 12V$, B noktasının potansiyel büyüklüğü $V_B = -5 \times 4 = -20 V$ olarak hesaplanır.

Canlıların tehlikeli gerilimlerden korunması, elektriksel sistemlerde işletimin sağlanması için gerekli toprak potansiyelinin sağlanmasında elektriksel topraklama kullanılmaktadır. Elektriksel topraklamanın başlıca görevi, öncelikli olarak insanları ve canlıları elektrik devrelerinin, elemanlarının ve nesnelerinin tehlikeli gerilimlerinden korumaktır. Topraklama sisteminin tesisinde temel olarak iki iletken kullanılır. Birincisi topraklamanın yapılacağı yerle toprak bağlantısının sağlandığı topraklama iletkenleridir. İkincisi ise topraklayıcı olarak adlandırılan ve toprağa gömülen iletkenlerdir. Topraklama sistemi, genel sistemde oluşan arıza durumlarında ortaya çıkan akımları, çevre açısından tehlikeli bir gerilim oluşmadan güvenli biçimde toprağa akıtmayı sağlar [9].

Topraklama sistemlerinin direnci, koruma üzerinde önemli bir etkiye sahiptir ve birçok amaca hizmet eder. Sadece elektrikli ve elektronik cihazlar için referans potansiyelini sağlamakla kalmaz, aynı zamanda topraktaki arıza akımları için düşük dirençli bir yol sağlarlar. Bu gibi hata akımları, iç kaynaklardan veya yıldırım gibi dış kaynaklardan ortaya çıkabilmektedir [10].

Font, Kalenderli ve Günden (2016) tarafından yapılan çalışmada, rüzgâr türbinlerine yönelik yapılan topraklama ağı tasarımı açıklanmıştır. Tasarımda IEEE-2000 ve Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği standartları göz önünde bulundurulmuştur. İlk olarak yapılacak analizlere farklı toprak modellerinin etkileri belirlenmiş, analizler sonrasında hesaplanan toprak öz direnç değeriyle bir türbin için iki farklı topraklama tasarımı yapılmıştır. Uygun tasarımın seçilmesinden sonra birden fazla rüzgar türbini için tasarım test

edilmiş, topraklama direnci, adım ve dokunma gerilimleri hesaplanmıştır. Çalışmada dört ayrı tasarım yapılmış ve karşılaştırılmıştır [6].

Kalenderli, Şentürk ve Öztürk (2003) tarafından 10. Ulusal Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Kongresi'nde sunulan bildiride bir çubuk topraklayıcı çevresinde potansiyel dağılımın sonlu farklar yöntemi ile hesaplanması yer almaktadır. Çalışmada silindrisel koordinatlar üzerinde sayısal sayısal hesaplamalar yapılmıştır. Araştırma sonucunda can güvenliğinin sağlanmasında önem taşıyan adım ve dokunma gerilimleri boyutu ve değişimi verilmektedir. Ayrıca elektriksel topraklayıcılarda potansiyel dağılımın hesaplanmasına yönelik farklı bir yaklaşım sunulmaktadır [9].

Melipoulos vd. (1993) tarafından yapılan çalışmada topraklama sistemlerini analiz etmek üzere gelişmiş bir metodoloji ve bilgisayar modeli sunulmaktadır. Araştırmacılar, geliştirilen metodolojinin hem basit hem de karmaşık topraklama sistemlerine uygulanabileceğini ileri sürmektedir. Topraklama sistemi, silindirik iletkenlerin yanı sıra toprağa gömülmüş veya yeryüzünün yüzeyine yerleştirilmiş dikdörtgen topraklı iletkenler veya metalik yüzeylerden oluşabilir. Metodoloji, toprak gömülü elektrotların ve iletken toprağın eşdeğer devre modelinin hesaplanmasından oluşmakta, düzgün veya iki katmanlı toprak barındırılabilir. Hesaplamalarda verimlilik sorunu ele alınmıştır. Topraklama yapılarının uyarlanabilir segmentasyonu, öz ve karşılıklı empedansların uyarlamalı hesaplanması da dahil olmak üzere uygulama süresini en aza indirmek için çalışmada birçok yenilik getirilmiştir. Ortaya çıkartılan bilgisayar modeli işlem, dokunma ve adım gerilimlerinin vücut akımlarını, topraklama sistemi empedansını, voltaj profilini vb. doğru şekilde hesaplamayı sağlamaktadır. Pratik topraklama sistemlerinin analizi için yararlı bir araç olduğu ileri sürülen model, gerçek sistem ölçümleriyle doğrulanmıştır [11].

Kumar, Zare ve Ghosh (2017) tarafından yapılan çalışmada DC microgrid teknoloji incelemesi yapılmıştır. Araştırmacılar öncelikli olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının artan öneminden bahsetmekte, buna karşılık yenilenebilir enerjinin eski elektrik şebekelerine entegrasyonunun güvenlik, enerji yükü kapasitesi, mevsimsel etkiler gibi riskleri taşıdığını belirtmektedirler. Bu sorunların çözümünde mikrogridlere yönelik yapılan araştırma ve gelişmeler, düşük maliyetle yüksek güvenilirlik ve verimlilik sağlandığını ortaya koymuştur. Mikrogrid sistemlerde DC dağılımı kullanılarak elektrik şebekelerinin güvenilirliği ve verimliliğinde daha fazla gelişme sağlanabileceği ileri sürülmektedir. Herhangi bir güç

sisteminin güvenli çalışması için, besleme şebekesinin topraklanması ve şebekeye bağlı elektrik ekipmanı önemlidir. Etkili bir topraklama planı, elektrik çarpması tehlikesi risklerini en aza indirebilir. DC mikrogrid sistemi, yeni güç elektroniği teknolojilerinin entegrasyonu ve AC ağına olan arayüzden dolayı geleneksel AC elektrik şebekesinden daha karmaşıktır. Bu nedenle, DC mikro şebekede uygun bir topraklama şeması için ayrıntılı bir değerlendirme gereklidir. Araştırmacılar, yaptıkları çalışmayla AC grid topraklama düzeninin, bir DC mikrogrid topraklama yapılandırmasının seçimi için nasıl önemli olduğunu ortaya koymuşlardır [12].

2. TEST TEKNİKLERİ VE REFERANS ELEKTROTLARI

Test ve ölçüm yöntemlerinin tümünde kullanılan referans elektrodunun mümkün olduğunca büyük ve direncinin yaklaşık olarak sıfır olduğu farz edilmektedir. Test elektrotlarının da benzer olarak bu özelliği sağladığı kabul edilmelidir. Daha önceleri müşterek ana topraklayıcı olarak metal su borusu şebekesi kullanılmaktaydı. Ancak pvc, pprc gibi madeni olmayan (plastik) boru türlerinin yaygın olarak kullanılmaya başlanmasıyla referans olmaktan çıkmıştır [13].

Bununla birlikte topraklama malzemesi olarak metal sıhhi tesisat şebekesinin kullanımı, yaygın ve büyük sahalara yayılmış şebekelerde topraklama tesisat devresi direnç bileşenini diğer topraklama tesisat devrelerinin de kullanması gibi bir olumsuzluğu beraberinde getirmekteydi.

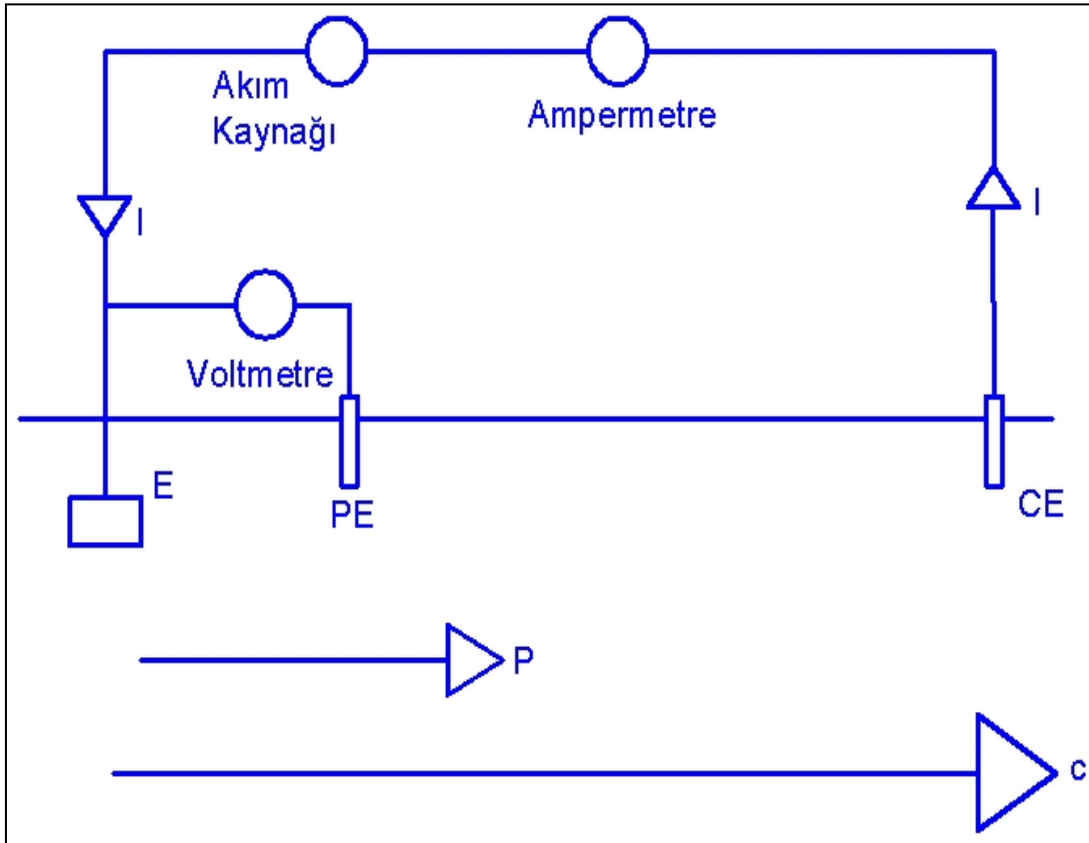
Madeni yeraltı borularının topraklama elektrodu olarak kullanılması, boruların toprakla yoğun ve etkili temas gerçekleştirmesi nedeniyle genellikle oldukça düşük direnç değeri verdiği için geleneksel olarak bazı ülke ve bölgelerde başlangıçta yaygın olarak ve pratikte halen tercih edilmektedir. Bunun yanında ülkemizde geçmiş dönemlerde yaygın olarak kullanılırken, kırsal alanlarda halen kullanılmaktadır. Ancak güvenlik açısından bu uygulamanın bazı tehlike ve sakıncaları mevcuttur. Örneğin herhangi bir nedenle bir binayı besleyen su borusu bağlantısı, ana su şebekesinden ayrıldığı zaman, söz konusu izole edilmiş (soyutlanmış) kısımda, borulama sisteminin öbür kısmına ve toprağa göre gerilim tehlikeli bir seviyeye kadar yükselebilir. Benzer şekilde, örnek vermek gerekirse, bahse konu binanın yakınındaki toprağın (özgül) direnci yüksek ise ve binaya yakın mesafede boruda herhangi bir kopma veya kırılma gibi nedenlerle bağlantının kesilmesi halinde, bundan habersiz çalışan servis elemanları için tehlikeli bir durum oluşabilir. Bu sebeple bazı su şebekesi işletmecileri bu sakıncaları önlemek için binalara giriş noktasında su şebekesine iletken olmayan kaplinler takmaktadır.

Bu sistem su tesisatına, faydalanılan elektrik şebekesi veya sistemi için güvenilir sağlıklı ve kalıcı bir topraklama elektrodu olarak bakmak mümkün olmadığından, başkaca bir topraklama sistemi ile desteklenmelidir [14].

Elektrik güç şebeke ve tehzizatının etkili bir şekilde topraklanmaya başlanmasıyla birlikte topraklama direncinin doğru olarak belirlenmesi için birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonuç olarak farklı ölçme metotlarını ortaya çıkarmıştır. Bu ölçme metotlarının en fazla kabul görenleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

2.1. Basit Gerilim Düşümü Metodu (B.G.D.M.)

Bu metod toprak direncini ölçmek için en çok kullanılan yöntemlerden birisi olup, daha çok geniş bir alanı kapsamayan küçük sistemlerin ölçümü için uygundur. Uygulanması kolay olup, ölçüm değeri almak için minimal (en az) düzeyde hesaplama gerektirir. Ölçme devresi basit Şekil 2.1’de görülmektedir.



Şekil 2.1. Ölçme devresi

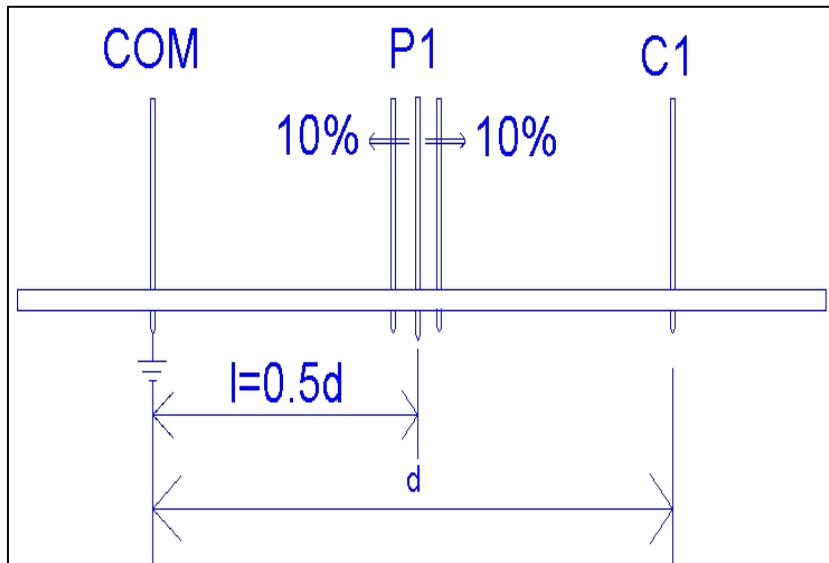
Bu yöntem, genellikle büyük topraklama şebekelerinin ölçümü için uygun değildir. Çünkü geniş alan kapsayan şebekelerde hassas ölçümler yapabilmek için, test problemlerinin arasındaki açıklığın çok uzun olması gerekmektedir (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Topraklama sisteminde (metre cinsinden) akım ve gerilim elektrot açıklık mesafesinin değişimi [15]

Topraklama sisteminin en büyük genişliği (maksimum boyutu) (m)	Topraklama sisteminin elektriksel merkezinden gerilim test probuna mesafesi (m)	Topraklama sisteminin elektriksel merkezinden akım test probuna en küçük mesafesi (m)
1	15	30
2	20	40
5	30	60
10	43	85
20	60	120
50	100	200
100	140	280

Gerilim Düşümü yöntemi test elektrotlarının gerçekten elde edilecek doğru bir okuma için yeterince uzakta konumlandırılmış olduğundan emin olmak için bir kontrol imkanı sağlar. Gerçekten bu yöntem doğru bir ölçüm sağlamanın tek yolu olduğu gibi, uygulanması da özellikle önerilir.

Direnç şekli üzerinde bir kontrol gerçekleştirmek için, iki ek ölçüm daha yapılmalıdır. Bunlardan birincisi; gerilim test elektrodu (P) ile ölçümü yapılan topraklama sistemi arasındaki mesafenin %10'u kadar bir öteleme yapılarak ölçülür. İkinci olarak da, önceki konumunun bu kez iç tarafa yani eletroda doğru yine %10 kaydırılarak ölçüm tekrarlanır. Bu durum Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2. Direnç ölçüm uygunluğunun kontrolü

2.2. %62 metodu ile ölçme

Gerilim Düşümü Metodu biraz değiştirilerek (modüfiye edilerek) orta büyüklükteki topraklama sistemlerine uyarlanabilir. Bu uyarlamaya çoğunlukla %62 metodu denir.

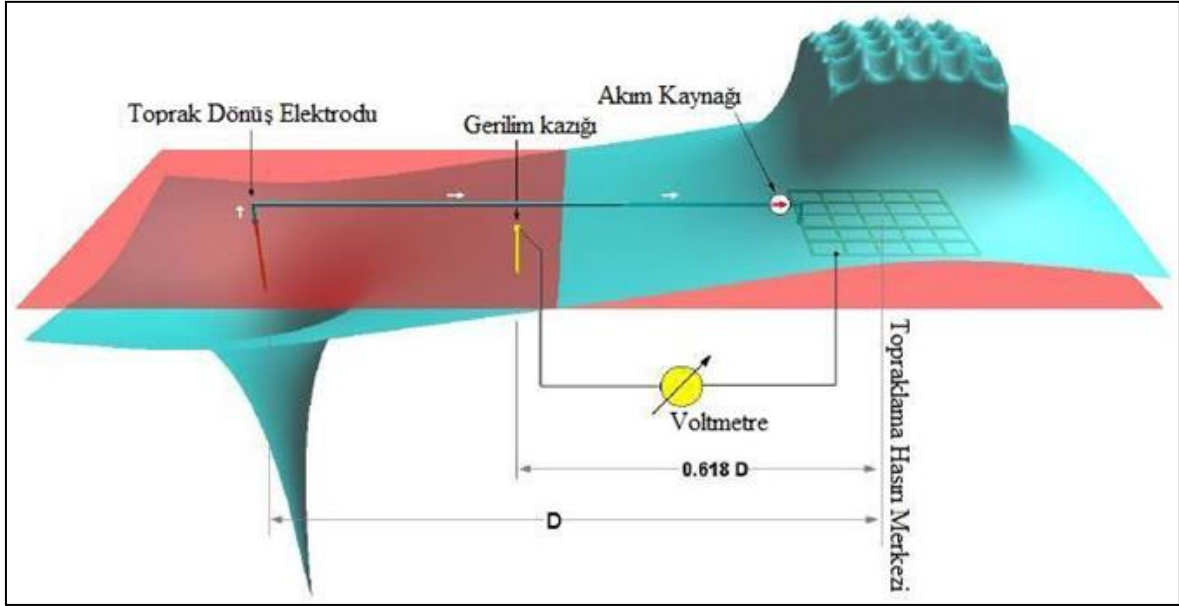
Bu yöntemde, ölçüm kazık(prob)larından daha yakın (iç taraftaki) olanı diğerinin mesafesinin %62'si mesafesine yerleştirilmelidir (Gerilim Düşümü Metodunda bu oran %50'dir).

Test kazıklarının yerleştirileceği noktaların doğru bir hat üzerinde ve diğer yapılar ile tesislerden uzakta olmalarına özen gösterilmelidir. Bunun sebebi uygun değerler alınabilmesidir. Bu yöntemle ölçüm yapılırken iç taraftaki test kazığının konumu $\pm\%10$ oranında kaydırılarak, topraklama elektrodu ile iç taraftaki test kazığının arasındaki mesafe değiştirilmek suretiyle ölçümlerin tekrarlanması tavsiye edilmektedir.

Bu metodun problemleri tarafı ölçümün yapıldığı toprak dağılımının (yapısının) tekdüze (homojen) olduğu varsayımı pratikte pek mümkün değildir. Bu nadir rastlanan bir durumdur. Dolayısıyla bu yöntemle ölçüm yapıldığında bu husus göz önünde bulundurularak ölçümleme yapılmalıdır. Toprağın tekdüze (homojen) ve sabit öz dirençli olduğunu varsayarak toplam direnç değeri için aşağıdaki eşitlik yapılabilir.

$$R = \frac{q}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{c} - \frac{1}{p} + \frac{1}{c-p} \right) \quad (2.1)$$

2.1 numaralı denklemden görüldüğü üzere, verilmiş herhangi bir elektrot ve sabit C için gerçek direnç ölçümünü gösterecek gerilim probu pozisyonunun sadece bir tane olduğu gösterilmiştir. Bu nokta ise, $P=0.618 C$ 'in olduğu noktadır. Bu tekniğin yararı, çok uzun ölçme işlemine gerek olmaksızın sadece bir ölçümle sistemin bütün toprak direncinin ölçülmesine imkan vermesidir. C arttırılarak ölçmenin tekrar yapılmasıyla işlemin sağlanması da yapılabilir. Bu ölçüm tekniğinin olumsuzluğu ise ancak simetrik olan, karmaşık olmayan ve düzgün dağılımlı toprak içine gömülmüş sistemlerde uygulanabilmesidir.



Şekil 2.3. % 62 metodu ile ölçme şeması [16]

2.3. Dört Potansiyel (Nokta) Ölçüm Metodu

Bu teknik, test edilen topraklama sisteminin elektriksel merkezini bilmek şartı ile problemlerin bazılarının üstesinden gelmesine destek olur. Bu yöntem dizilim (ölçüm düzeni) olarak standart gerilim düşümü metodu ile aynıdır. Tek farkı gerilim elektrodu ile farklı noktalardan yapılan çok sayıdaki ölçümle sistemin teorik direncinin hesaplanması için bir dizi denklemin kullanılmasıdır.

Dört potansiyel (nokta) metodunda problemi, gerilim düşümü metodunda olduğu gibi, ölçülen topraklama sistemi büyük ise, elektrotlar arası mesafenin fazla olmasına ihtiyaç duyulabilmektedir.

Burada aynı zamanda dört farklı gerilim ölçümü yapılmalıdır. Topraklama sistemi ile akım probu (CE) arasında kullanıcı tarafından belirlenen dört ayrı noktadan ölçüm değeri alınması esastır.

$$P_1 = 0,2 C \quad P_2 = 0,4 C \quad P_3 = 0,6 C \quad P_4 = 0,8 C \quad (2.2)$$

Gerilim elektrodunun (PE) konumu (2.2) nolu ifadede belirtildiği şekilde buradaki dört ayrı noktada dört ayrı direnç değeri ölçümü önerilmektedir. Burada yapılan dört ölçüm aracılığıyla gerçek direnç değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$R = (-0,1187)R_1 - (0,4667)R_2 + (1,9816)R_3 - (0,3961)R_4 \quad (2.3)$$

2.3 numaralı denklemde yer alan ve 2.2 numaralı denklemde her bir P değeri için, ohm cinsinden R_1, R_2, R_3, R_4 ölçüm sonuçları elde edilir. Alınan sonuçlar seçilen referansa bağımlı değildir. Bu yöntemde aynı referans noktası kullanılarak, P noktalarında ölçüm yapılırsa hata önlenmiş olur. Sonuçların sağlamasını kontrol etmek için, C arttırılıp ikinci ölçümlerin yapılması gerekir.

2.4. Yıldız-Üçgen veya Kesişen (Çakışan) Çizgi Yöntemi

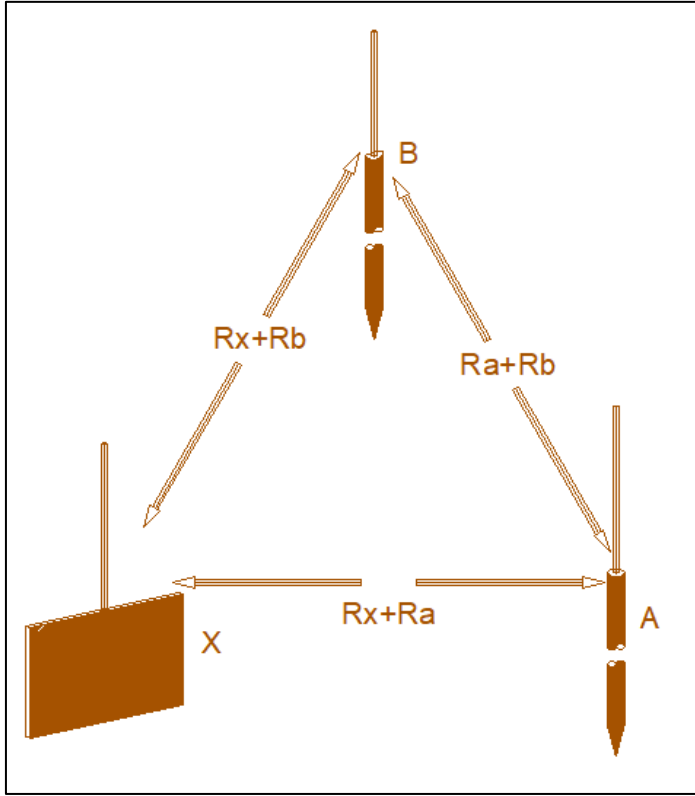
Kesişen doğru (çakışan çizgi) yöntemi topraklama sisteminin elektriksel merkezinin tam olarak belirlenememesi durumlarında P ve C noktaları için eşdeğer hata miktarıyla ölçme yapılması prensibine dayanan bir yöntemdir. Üç farklı C noktası için ölçüm yapılarak toprak direnç eğrisinin bulunmasını sağlar ve bu ölçme için B.G.D.M'a ihtiyaç duyar. Bu ölçme sonuçlarının hepsi aynı hatayı içerdiğinden sistemin elektriksel olarak merkezinden ölçüm yapılmış gibi doğru bir topraklama sistem direnci bulunacaktır. Bu metotta her C değerinin bir önceki C değerinden 1,5-2 katı kadar büyük alınması önerilmektedir. P noktasının değerleri aşağıdaki denklemle elde edilir.

$$P\lambda = 0,618 \cdot (C + \lambda) - \lambda \quad (2.4)$$

Denklem 2.4'de λ gerçek merkez ile kabul edilen merkez arasındaki mesafedir. $R - \lambda$ arasındaki eğrinin çizilmesi gereklidir. Pratikte üç farklı C için çizilen eğriler tek bir noktada kesişmezler fakat aralarında bir üçgen oluştururlar, oluşan üçgenin ağırlık merkezi kullanılarak R ve λ değerleri belirlenir .

Bu teknik, daha çok imar alanları ve kayalık araziler gibi, özellikle test elektrotları için uzun mesafeli düz çizgi şeklinde yerleştirme ve ölçüm düzeni oluşturmanın mümkün olmadığı durumlar için çok uygundur.

Ölçülecek topraklama sisteminin tam ortada olduğu bir eşkenar üçgen oluşturacak şekilde elektrotlar yerleştirilir. Bu yöntemde, bitişik elektrotlar arasındaki direnç ile her bir elektrot ve topraklama sistemi arasındaki dirençler ölçülerek sistemin toplam direnci elde edilir.



Şekil 2.4. Bir topraklama elektrodunun geçiş direncini ölçmek için Y-Δ yöntemi [14]

2.5. Eğim Metodu

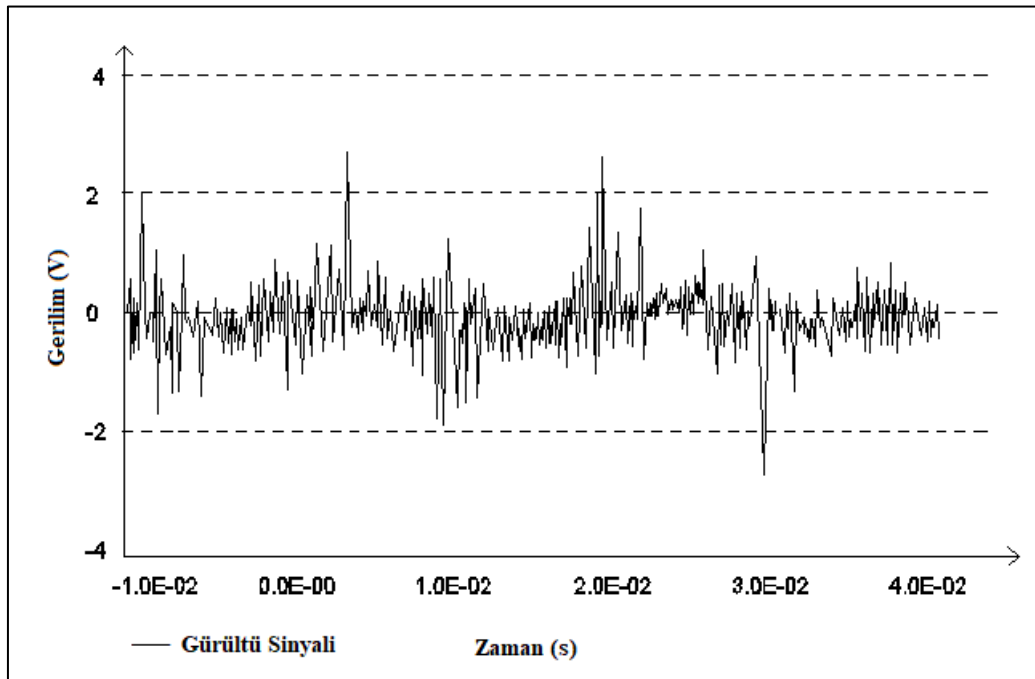
Eğim yönteminde fazladan ölçüm yapmak ve ilave hesap gerektiğinden, bu ölçüm sistemi daha çok Trafo İndirici Merkezi (veya Uydu Haberleşme Merkezi) gibi çok büyük veya karmaşık olan topraklama sistemlerinde kullanmaya daha elverişlidir.

Bu yöntem, değişik topraklama sistemlerinde farklı elektrot açıklıklarına göre belirli sayıda direnç ölçüm değeri alarak, oluşturulan topraklama direnci eğrilerinin değişim katsayısının belirlenmesi sonucunda toprak ve akım arasındaki (özgül) direnç değişiminin bir eğrisini çizmeyi gerektirir.

Bu grafik ve tablolardan alınan verilerden, teorik optimum gerilim elektrot yerleşimini hesaplamak ve (aynı şekilde) direnç eğrisinden gerçek direnci hesaplamak mümkündür.

Eğim metodu toprak direnç eğrilerinin değişim katsayısının belirlenmesi prensibine dayandığından, sabit C noktasına karşın farklı üç P noktasından yapılan ölçüm yoluyla eğrinin değişim katsayısının hesaplamasının yapılabilmesi için, gerilim probu, $P_1 = 0,2 C$;

gerilim probu (P) aynı yönde yapılmıştır. Ölçme tekniği olarak basit gerilim düşümü yöntemi kullanılmıştır. Basit gerilim düşümü metodundan farklı olarak, sisteme değişik frekanslarda aynı genlikte akım enjekte edilmiştir. Akım probu (C) ile gerilim probunun (P) aynı yönde yapılmadığı ölçme metotları da mevcuttur [17]. Bu metotlarda amaç akım probu kablosu ile gerilim probu kablosu arasındaki karşılıklı endüktans etkisini en düşük düzeye çekebilmektir. Sisteme akım enjekte edilmeden önce akım probu ile test edilecek topraklama sistemi arasındaki gürültü sinyali okunmuştur. Bu sinyalin zaman domenindeki değişimi Şekil 2.6’da sunulmuştur [13].

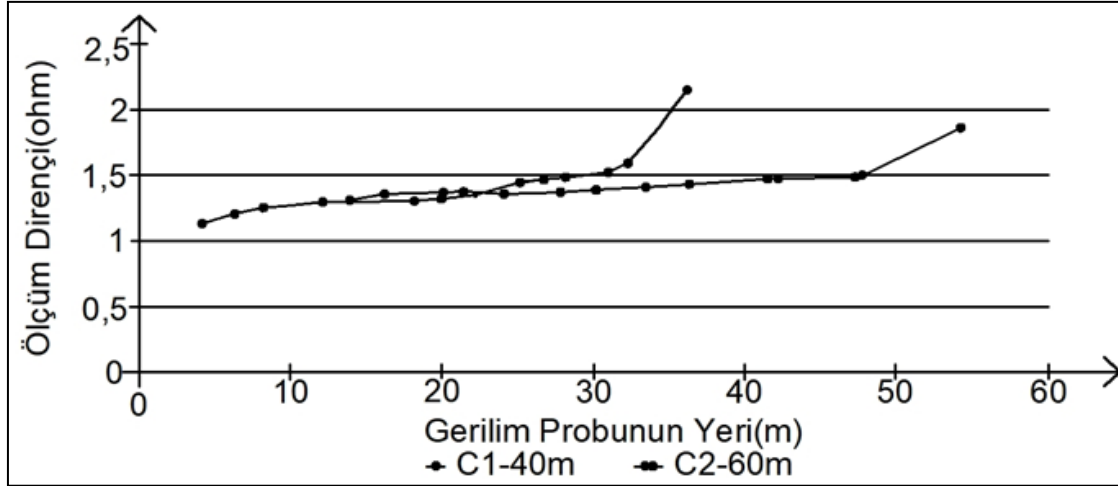


Şekil 2.6. Sistemde mevcut olan gürültü sinyali

Gürültü sinyali önceden tespit edilmiş ve MATLAB programı yardımıyla sistemden ölçülen sinyalden gürültü sinyali arındırılmıştır. Frekans spektrumu incelendiğinde ağırlıklı olarak 50 Hz ve katlarındaki frekanslarda gürültü olduğu tespit edilmiştir.

2.6. Metotların Gerçek Bir Sistemde Uygulanması

34/0.4 kV’luk transformatör istasyonun toprak empedansının ölçülmesi için Şekil 2.5’deki ölçme düzeneği kullanılmıştır. Trafo merkezinin, topraklamasının nasıl bir yapıya sahip olduğu bilinmemektedir. Bu sistemde toprak empedansı ve direnci ile ilgili ölçme metotları denenmiştir.



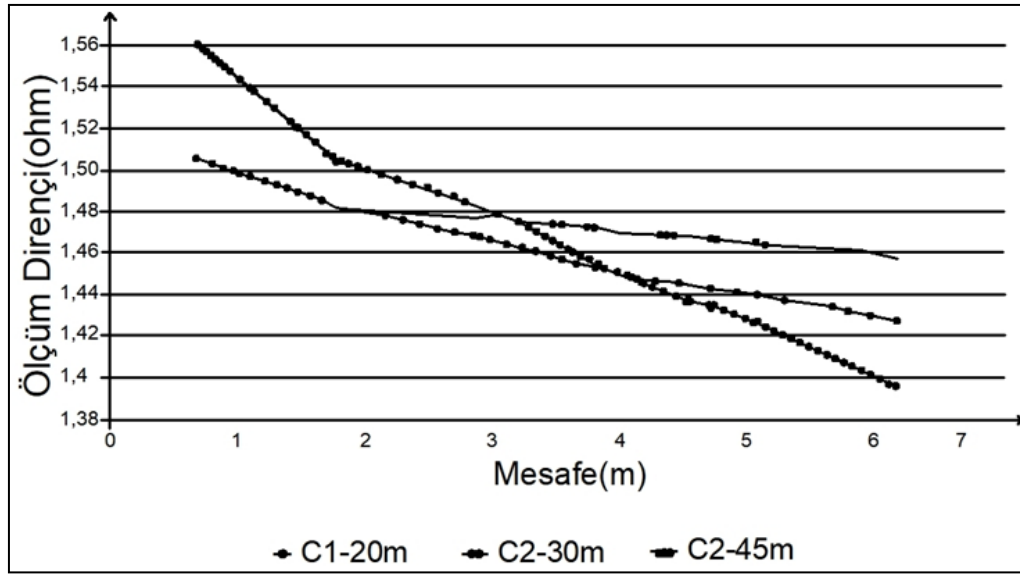
Şekil 2.7. Gerçek sistemde basit gerilim düşümü metodu ile elde edilen direnç değişim grafiği [13]

Şekil 2.7’de basit gerilim düşümü metoduyla yapılan ölçme sonuçları görülmektedir. Eğride toprak direncini verecek olan düz kısmın $C = 40$ m için tam olarak tespit edilemediği görülmektedir. C mesafesi artırıldığında düz kısmı daha belirginleşmektedir.

Çizelge 2.2. Ölçülen topraklama direnci değerleri

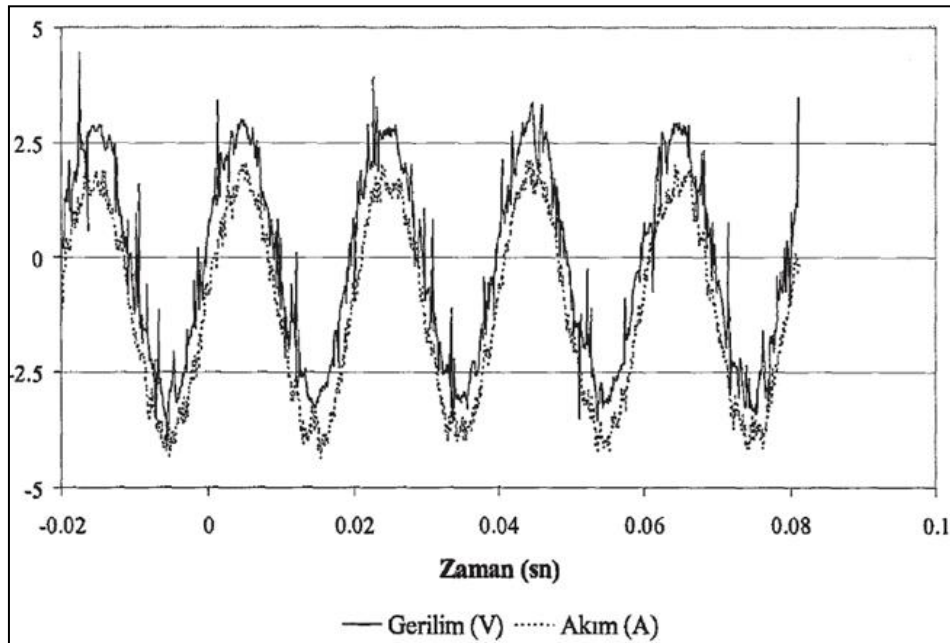
%61.8 metodu						
C = 40 m			C = 60 m			
P(m)	R(Ω)		P(m)	R(Ω)		
24.72	1.46		37.08	1.45		
Dört nokta metodu						
C = 40 m			C = 60 m			
P(m)	R _p (Ω)	R(Ω)	P(m)	R _p (Ω)	R(Ω)	
8	1.28	1.405	12	1.3	1.404	
16	1.37		24	1.38		
24	1.43		32	1.42		
32	1.61		48	1.54		
Eğim metodu						
C = 60 m						
P = 0.2 C	P = 0.2 C	P = 0.2 C	μ	P _r /C	P _r	R(Ω)
İçin R ₁	İçin R ₂	İçin R ₃				
1.33	1.38	1.45	1.4	0.43	28.85	1.405
C = 60 m						
P = 0.2 C	P = 0.2 C	P = 0.2 C	μ	P _r /C	P _r	R(Ω)
İçin R ₁	İçin R ₂	İçin R ₃				
1.28	1.378	1.43	0.67	0.602	24.1	1.40

Ölçme sonucunda; B.G.D.M ve %61.8 metotlarında bulunan direnç değerlerinin diğer metotlara göre daha büyük olduğu görülmektedir. Kesişen eğri metodunda da kesişmenin tek noktada gerçekleşmemesi toprak direncinin tam olarak tespit edilmesini zorlaştırmaktadır. Dört nokta ve eğim metotlarıyla ölçülen değerlerin aynı olduğu Şekil 2.8'de [13] görülmektedir .



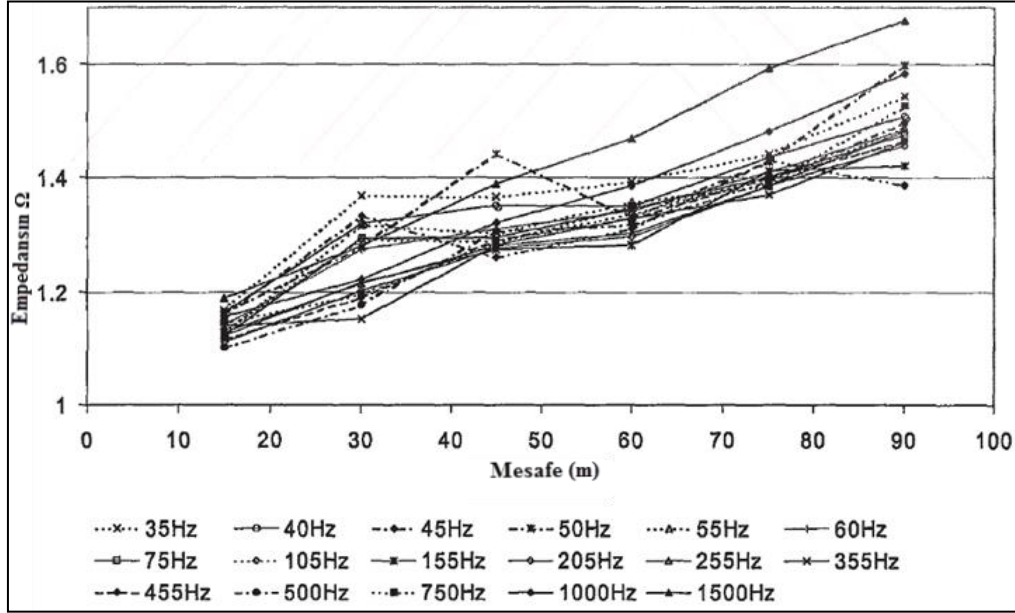
Şekil 2.8. Kesişen doğru metodunun uygulanması sonucu elde edilen direnç değerleri

Aynı sistemde toprak empedansı ölçümleri de yapılmıştır.



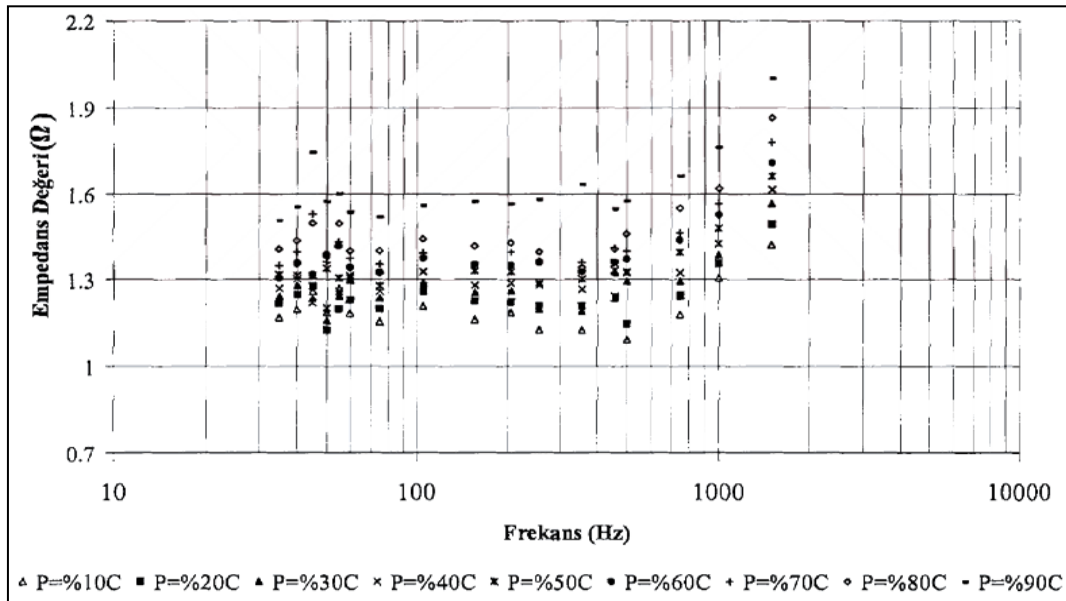
Şekil 2.9. Sistemden okunan harmonikli sinyal

Şekil 2.9'da topraklama sistemine 50 Hz'lik akım enjekte edildiğinde 75 m. mesafedeki gerilim probundan okunan gerilim ile enjekte edilen akım görülmektedir [13]. Sisteme değişik frekansta akımlar enjekte edilerek topraklama empedansı belirlenmiştir.



Şekil 2.10. Empedansın frekansa göre değişimi [13]

Şekil 2.10'da gerilim probu mesafesi ile empedans değeri arasındaki eğri verilmiştir. Farklı frekans değerleri için ayrı eğriler elde edilmiş ve frekansa bağlı olarak empedans değerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 2.11. Topraklama sistem empedansı [13]

Şekil 2.11’de frekans değişimi ile empedans değişimi arasındaki eğri ile 50 Hz’de empedandaki değişim gözlenmektedir. 50 Hz’in katlarındaki frekanslarda akım enjekte edilmemiştir. Buradaki amaç harmonik etkisini en aza indirmektir.

2.7. Ölçüm Sonuçları ve Değerlendirme

Topraklama sistemlerinde topraklama empedansı ile topraklama direnci ölçümlerinde temel ölçme metotlarının benzer olduğu görülmektedir. Topraklama sistemlerinin gitgide daha karmaşık bir yapıya sahip olmalarından dolayı, akım enjekte edilecek merkez noktanın yerinin belirlenmesi oldukça zorlaşmaktadır.

Tüm topraklama direnç ve empedans ölçme yöntemleri topraklama sisteminin yarı küre olarak kabul edilmesi esasına dayanmaktadır. B.G.D.M’da $C = 40$ m için elde edilen R-P eğrisinde direnci verecek olan düz bölge elde edilememiştir.

$C = 60$ m için ölçüm işlemleri tekrarlanmış ve eğrinin düz kısmının belirginleştiği fakat toprak direncinin değerini eksiksiz olarak belirleyebilecek şekilde oluşmadığı görülmektedir. Dört nokta ve eğim metotları uygulanarak elde edilen direnç değerlerinin birbirleri ile aynı olması ve bu direnç değerinin %61.8 metodundan farklı olması sistemimizin simetrik olmadığını göstermektedir. B.G.D.M ile %61.8 metotlarının bu sistem için doğru bir yaklaşım göstermediği anlaşılmıştır.

Yapılan ölçmeler sonucunda küçük bir topraklama sisteminde bile topraklama empedansının topraklama direncinden büyük olduğu görülmektedir.

Bu da emniyet değerlendirmesinde bazı problemler yaşanmasına neden olabilmektedir. Geliştirilen ölçüm düzeneği daha büyük topraklama tesisat ve sistemlerinde uygulanacak ve sonuçlar değerlendirilecektir.

3. TOPRAK ÖRNEKLERİNİN FİZİKSEL VE KİMYASAL ÖZELLİKLERİ

Toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri, “toprak öz dirençleri”, “dikey topraklama elektrodu” ve “toprak direnci ve geçirgenliğin etkisi” olmak üzere üç başlık altında incelenmiştir.

3.1. Toprak Öz dirençleri

Farklı doğal ve katkılı malzemelerin toprak özgül direnci Çizelge 3.1’de gösterilmektedir.

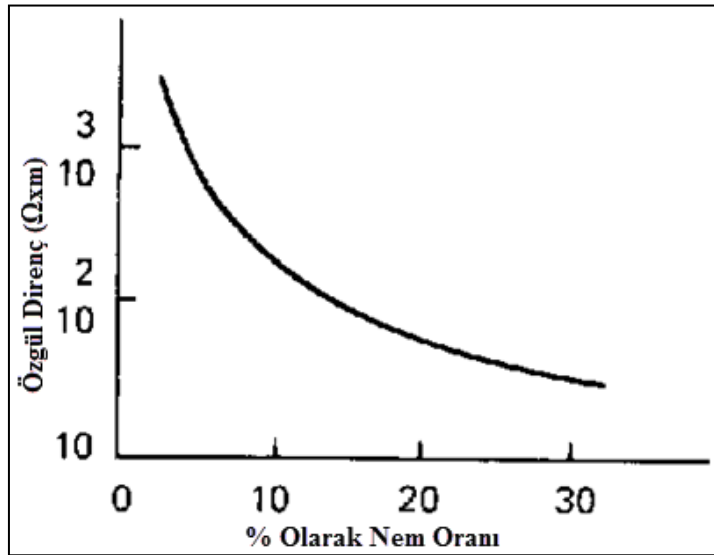
Çizelge 3.1. Farklı doğal ve katkılı malzemelerin toprak özgül direnci [18]

Toprak Cinsi	Toprak öz direnci ρ_E (Ωm)
Bataklık	5 - 40
Çamur, kil, humus	20 - 200
Kum	200 - 2500
Çakıl	2000 - 3000
Hava etkisi ile dağılmış taş	Çoğunlukla < 1000
Kumtaşı	2000 - 3000
Granit	> 50000
Buzultaşı	> 30000
Çimento (saf)	30
1 x Çimento + 3 x Kum	50 - 300

Değişik derinliklerdeki tabakaların farklı öz dirençleri, toprak öz direncini etkiler. Bazı kaynaklarda, toprak yüzeyinin görünen özgül direnci (apparent resistivity at the ground surface) olarak da tanımlanan klasik özgül direnci ölçümü yanısıra 100 metreye kadar derinliğe kadar ölçüm yapıp, her bir tabakanın kalınlığı ve özgül direncini ölçen aygıtlar da geliştirilmiştir [15].

Çizelge 3.2. İçerdiği nem oranına göre toprak özgül direncinin değişimi [18]

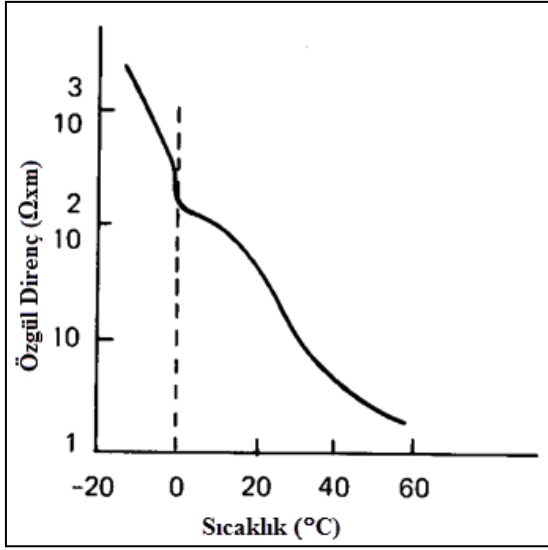
Tipik Özgül Direnç (Rezistivite) (Ωm)		
Ağırlık Olarak Nem %	Kumla Karışık Kil	Silika Tabanlı Kum
0	10 000 000	-
2,5	1 500	3 000 000
5	430	50 000
10	185	2 100
15	105	630
20	63	290
30	42	-



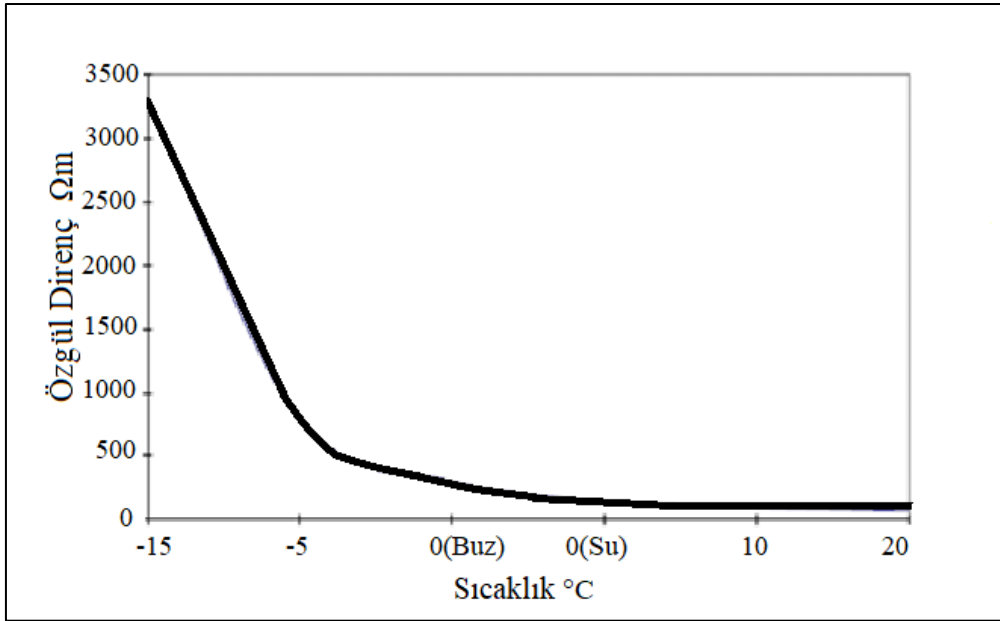
Şekil 3.1. Topraktaki nem oranına göre özgül direnç değişim grafiği [4]

Çizelge 3.3. Ağırlıkça yaklaşık %15 nem içeren bir kum ve kil karışımının özgül direncinin sıcaklıkla değişimi [14]

Sıcaklık ($^{\circ}C$)	Tipik Özgül Direnç (Ωm)
20	72
10	99
0 (sıvı)	138
0 (buz)	300
-5	790
-15	3300



Şekil 3.2. Toprak sıcaklığına göre özgül direnç değişim grafiği [4]



Şekil 3.3. Ağırlıkça yaklaşık %15 nem içeren bir kum ve kil karışımının özgül direncinin sıcaklıkla değişimi [20]

Literatürde yapılan araştırmayla toprak özellikleri ve kimyasal katkılarıyla ilgili kısıtlı bilgi olup, tuğla fabrikalarının kullandığı hammadde toprağı verileri ile ilgili bir çalışmada [21] ve bitki toprakları ile ilgili bir çalışmadan ulaşılmıştır.

Çizelge 3.4. Tuğla hammaddesi olan toprak örneklerine ait tekstür analizi sonuçları [21]

Fabrika	Al ₂ O ₃ (%)	MnO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaCO ₃ (%)	Bünye			
					Kil (%)	Silt (%)	Kum (%)	Tekstür Sınıfı
Bilge	5,48	0,82	7,70	13,80	33,49	40,02	26,31	Killi tın
Ferhat	5,29	0,74	7,86	13,00	37,26	39,74	23,00	Killi tın
Has	5,34	0,71	7,77	14,60	33,33	42,07	24,60	Killi tın
Deniz	5,06	0,74	7,76	14,30	30,97	43,76	25,27	Killi tın
Tolga	4,61	0,64	6,27	15,38	26,97	36,37	36,69	Tın
Beşer	3,82	0,71	7,40	12,24	31,49	42,40	26,11	Killi tın

Tuğla Fabrikalarından alınan toprak örnekleri üzerinde Köy Hizmetleri Kırklareli Araştırma Enstitüsü laboratuvarlarında yapılan bünye, kireç, alümin, mangan, demiroksit analizlerinin sonuçları Çizelge 3.4’te verilmiştir [22, 23].

Çizelge 3.4’ten de görüleceği gibi, Tolga tuğla dışındaki tüm fabrikaların tuğla üretiminde kullandıkları toprakların tekstür sınıfları killi tın iken, tolga tuğla tın grubu içerisinde kalmıştır. Killi tın cinsi topraklar tuğla üretimi için uygun iken, tın cinsi uygun değildir [24]. Bu sebeple, Tolga tuğlanın kullandığı toprakların daha fazla kum ve daha az kil içermesi, üretilen tuğlaların mukavemetlerinin daha düşük olmasına sebep olmuştur. Çünkü tuğla topraklarında fazla miktarda kum bulunması mekanik mukavemetlerini olumsuz şekilde etkilemektedir [25]. Tuğla toprağı içerisindeki kum miktarı %30’un altında olmalıdır [26].

Tuğla toprakları kimyasal içerikleri açısından incelendiğinde, toprak örneklerinin alümin (Al₂O₃) miktarları %5,48-3,82 arasında değiştiği görülmektedir. Naip köyü civarından hammadde ihtiyacını karşılayan fabrikaların daha yüksek alümin içeriğine sahip topraklar kullandığı tespit edilmiştir. Buna karşılık farklı bölgelerden hammadde ihtiyacını karşılayan Tolga ve Beşer fabrikalarında alümin miktarı daha düşük düzeydedir. Tuğla üretiminde kullanılan toprakların alümin miktarının %10-30 [26] arasında olması gerekirken tüm fabrikaların bu değerin oldukça altında olduğu belirlenmiştir. Alümin eksikliği, pişirme sırasında alüminatların oluşumunu olumsuz yönden etkileyerek, tuğlanın mekanik özelliklerini bozacaktır.

Mangan oranlarına baktığımızda, tüm fabrikaların toprak örneklerinde %0,65 ile %0,82 arasında mangan içerdiği ve bu miktarın tuğla üretimi için uygun olduğu söylenebilir. Mangan periyodik cetvelde geçiş metali olarak sınıflandırılmaktadır. Toprak içerisinde fazla miktarda mangan olması pişirme sırasında rengin kahverengi olmasına ve su ile temas ettiğinde çatlaklara sebep olduğu için %5'den daha az oranda bulunmalıdır [26].

Tuğla yapımında kullanılan topraktaki en önemli minerallerden birisi de demir oksittir (Fe_2O_3). Tuğlaya kırmızı rengini veren, fazla pişmesi değil içindeki demir oksit oranıdır. Demir oksitler pişme sonunda sertliğin daha fazla olmasını ve su emme yüzdesini düşürür. Tuğla üretiminde kullanılan toprakların demir oksit oranları % 5-10 arasında olmalıdır [24, 26, 27, 28]. Çizelge 3.5'te verildiği gibi, toprak örneklerinin demir oksit içerikleri %6,27 ile 7,86 arasında değişmektedir. Bu verilerin ışığında demir oksit içeriği bakımında bölgedeki tüm fabrikaların kullandıkları topraklar tuğla üretimi için uygundur.

Toprak örnekleri içerdikleri kireç miktarları açısından incelendiğinde, Tolga tuğlanın %15,38 ile en yüksek, beşer tuğlanın ise %12,24 ile en düşük kireç içeriğine sahip olduğu görülmektedir. Genel olarak tüm fabrikaların kireç içeriği tuğla üretimi için uygun sınırlar arasında yer almıştır. Kalsiyum karbonat içeriği (CaCO_3) %25'in altında olmalıdır. Daha yüksek oranda kireç, fırınlarda pişmeyi güçleştireceğinden ve pişme sırasında sönmüş kirece Ca(OH)_2 dönüşerek çatlamalara ve patlamalara sebep olacağı için arzu edilmez. Ayrıca Kireç fazlalığı, erime ve sinterleşme sıcaklığını birbirine yaklaştırdığından pişirmeyi güçleştirir ve sinterleşmeyi arttırmak için ısı arttırıldığında renk sarıya dönerek pişirme sırasındaki şekil bozukluklarının artmasına sebep olur [21, 24].

Ancak elektriksel açıdan kireç oranının fazlalığı, kirecin sünger gibi geçirgen yapısı nedeniyle nem tutma kapasitesini arttıracak, böylece elektriksel iletkenliği yükseltip, özgül direnci düşürmesi nedeniyle faydalıdır.

Çizelge 3.5. İzmir; Bergama, Menemen ve Ödemiş Bozdağ bütçelerinden alınan toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri [29]

ppm	İzmir, Bergama		İzmir, Menemen		İzmir, Ödemiş	
% İşba	50	Tınlı	50	Tınlı	39	Tınlı
E.C	1,00	Tuzsuz	0,4	Tuzsuz	0,20	Tuzsuz
PH	7,23	Nötr	7,25	Nötr	5,36	Kuvvetli Asit
% Kireç	3,26	Kireçli	1,89	Düşük	1,89	Düşük
% Organik Madde	2,89	Orta	2,61	Yüksek	2,14	Orta
Fosfor	84,99	Yüksek	76,39	Yüksek	67,16	Yüksek
Potasyum	240	Yeterli	180	Düşük	70	Çok Düşük
Kalsiyum	5000	Yüksek	1966	Orta	289	Çok Düşük
Magnezyum	277	Yüksek	284	Çok Yüksek	20	Çok Düşük
Sodyum	170	Orta	140	Orta	80	Orta
Demir	2,73	Kritik	5,39	Yeterli	15,43	Yeterli
Mangan	2,78	Yeterli	2,34	Yeterli	0,85	Düşük
Çinko	0,58	Kritik	0,33	Düşük	0,16	Düşük
Bakır	0,94	Yeterli	0,18	Düşük	0,20	Yeterli
Bor	1,40	Yeterli	1,20	Yeterli	1,23	Yeterli

Toprak örneklerinde tespit edilen elementlerin periyodik cetveldeki sınıflandırmaları şu şekildedir.

- Fosfor Ametal
- Potasyum Alkali Metali
- Kalsiyum Alkalın
- Magnezyum Alkalın
- Sodyum Alkali Metali
- Demir Geçiş Metali
- Mangan Geçiş Metali
- Çinko Geçiş Metali
- Bakır Geçiş Metali
- Alüminyum Geçiş Metali
- Bor Ametal

Çizelge 3.6. Toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Element	Atom Numarası	Grup	Sınıfı	Özgül Ağırlığı (g/cm ³) ¹	Elektriksel İletkenlik ²	Özgül Direnç (nΩm) ³
Fosfor (P) Kırmızı Katı	15	VA	Ametal	1,82	10 ⁻¹⁷	-
Potasyum (K)	19	IA	Alkali Metali	0,862	22,0	67
Kalsiyum (Ca)	20	IIA	Alkalın	1,55	40,6	43
Magnezyum (Mg)	12	IIA	Alkalın	1,74	35,6	46
Sodyum (Na)	11	IA	Alkali Metali	0,971	33,2	47
Demir (Fe)	26	VIIIB	Geçiş Metali	7,87	16	105
Mangan (Mn)	25	VIIIB	Geçiş Metali	7,43	1	-
Çinko (Zn)	30	IIB	Geçiş Metali	7,14	27	62
Bakır (Cu)	29	IB	Geçiş Metali	8,95	93	17
Bor	5	IIIA	Ametal	1,20	1,23	-
Alüminyum(Al)	13	IIIA	Geçiş Metali	2,698	59,7	27

¹. (kg/m³)'e çevirmek için 1000 ile çarpmak gerek; 1g/cm³ = 1000 kg/m³ [30]

². Gümüşün iletkenliği referans olarak 100 alındığında [31]

³. (Ωm)'e çevirmek için 10⁻⁹ ile çarpmak gerek; 1 nΩm = 10⁻⁹ Ωm [30]

Özetlenecek olursa; Alkali metallerin genel olarak ısı ve elektrik iletkenliği çok iyidir. Kalsiyum'un CaCO₃, CaO gibi bileşikleri nem çekici olarak kullanılmaktadır. Bor; metalle ametal arası yarı iletken özelliğe sahip bir elementtir. Bor, özellikle seramiklerin sırlanmasında ve emaye sanayiinde kullanılır. Bu sektör Türkiye'nin en çok bor tükettiği alanlardan birini oluşturmaktadır. Yararlanılan başlıca bor özellikleri aşağıdaki gibidir:

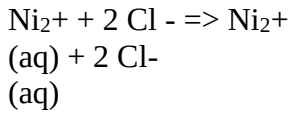
- Sırın kıvamlılığını düşürür.
- Sırın yüzey gerilimini düşürür.
- Parlaklığı ve saydamlığı artırır.
- Elektriğe kaşı yalıtkan davranırken, bir metalinkine benzer ısı geçirgenliği gösteren boron nitrit bileşiği, aynı zamanda, karıştırıldığı herhangi bir maddeyi elmas sertliğine getirici özelliktedir.

Alüminyum: Elektrik iletkenliği bakırın yalnızca %60'ı kadar olsa da, hafif yapısı nedeniyle elektrik iletim hatlarında kullanılır. Alümina (Al₂O₃) refrakter tuğla olarak kullanılır. Alüminyumun tabiattaki bulunuşu boksit Al₂O₃.xH₂O'tir.

Geçiş metalleri, esas olarak sertlikleri, yüksek yoğunlukları, iyi ısı iletkenlikleri ve yüksek erime-kaynama sıcaklıklarıyla tanınırlar. Özellikle sertlikleri nedeniyle, saf halde ya da alaşım halinde yapı malzemesi olarak kullanılırlar [31].

- En bilinen yapı malzemesi (Fe)
- İlk metaller (Au, Ag, Pt)
- Madeni eşyalarda kullanılanlar (Cu, Ni).

Çoğu geçiş metalleri iyonik bileşik oluşturmak üzere oksidasyon-redüksiyona uğrar. Bir geçiş metal bileşiği, NiCl_2 gibi, suda çözöldüğünde, su molekülleri etrafını sarar.



Ametallerin çoğu gaz olmakla birlikte, Fosfor da, Kükört gibi nadir olarak katı özelliği olan ametal sınıfindandır [32].

3.2. Dikey Topraklama Elektrodu

Dikey topraklama çubukları, elektrik ve yıldırımdan korunma sistemlerinin toprakla sonlandırılması için kullanılan en basit ve en yaygın kullanılan yollardan biridir. 50 veya 60 Hz'deki davranışları, statik yaklaşıma dayanan basitleştirilmiş bir analiz kullanılarak iyi anlaşılmıştır. Bununla birlikte, yıldırım düşmesi veya diğer yüksek frekanslı uyarımlara maruz kalmaları durumunda yüksek frekanslı ve geçici performansları, örneğin elektromanyetik uyumluluk (EMC) çalışmalarında veya telekomünikasyonda ilgi konusudur [33].

Son yıllarda elektrik yükünün hızlı bir şekilde artmasıyla birlikte, güç sisteminin güvenliğini sağlamak için topraklama sisteminin topraklama direncini düşürmek acil bir sorun haline gelmiştir. Özellikle elektrik üreten istasyonlar veya trafo merkezleri yüksek öz dirence sahip topraklara inşa edildiğinde durum daha fazla önem arz etmeye başlamıştır. Arazi koşullarının veya şeklinin sınırlamaları, konuyla ilgili araştırmacıların bakışlarını yatay ızgaradan dikey elektrotlara çevirmiştir. Dikey çubuklar üzerine yapılan tartışmaların çoğu, yalnızca proje deneyimlerinin uygulama veya sonuç örneklerini içermektedir [34]. Bazı araştırmacılar, çubukların rolünü ve tasarım kuralını analiz etmiş, ancak tekdüze toprağa odaklanmışlardır. Farklı toprak yapılarında üç boyutlu topraklama sistemi tasarımının ayrıntılı olarak incelenmesi, önemli bir konudur.

Dikey elektrotlarda elektrotlar arasındaki karşılıklı empedans, elektrot uzunluğundan neredeyse tamamen bağımsızdır ve bu nedenle indüklenen voltaj, elektrot uzunluğu arttıkça neredeyse sabit kalır. Bu karakteristik, elektromanyetik kaynaklı voltajın iletken uzunluğu ile orantılı olduğu bir üst iletkenle farklıdır. Elektrotlar arasındaki ayırma mesafesi ne kadar büyük olursa, indüklenen voltaj da o kadar düşük olur. Ayrılma hızı arttıkça yayılma hızı artar [35].

Zeng vd. (2000) tarafından yapılan çalışmada trafo merkezleri için uzun dikey topraklama elektrotlarının topraklama sistemine etkilerinin analizi yapılmıştır. Araştırma 110 kV trafosuna dayanmaktadır. Yatay topraklama ızgarası alanda $150 \times 150 \text{ m}^2$, topraklama ızgarasının düzgün topraklama iletken açıklığı 15 m ve yatay iletken yarıçapı 0,011 m ($r_1 = 0,011 \text{ m}$), düzgün toprak direnci, 200R'dir. Araştırma sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır [36]:

- Dikey topraklama çubuklarının uygun sayısı, sayı ve topraklama direnci düşme oranının analizinden elde edilebilir. Direnç azaltıcı etkiler, çubuk uzunluğu sabitlendiğinde farklı yarıçap ile büyük ölçüde farklılık gösterir. En iyi sonuçlara ulaşmak için çubuklar merkez yerine şebekenin çevresine yerleştirilmelidir.
- Çubuk uzunluğunun çeşitli ve tek tip olmayan topraklarda tartışılması, uzun çubukların her zaman daha iyi sonuçlara ulaşabileceğinin yanlış olduğunu göstermektedir. Çubuk uzunluğu, yeri ve sayısının seçimi, toprak yapısına göre belirlenmelidir.
- Mevsimsel faktörün topraklama ve temas gerilimlerine etkisine bakıldığında dikey topraklama çubukları, mevsimsel faktörün topraklama sisteminin güvenliği üzerindeki etkisini etkili bir şekilde azaltmaktadır.

Beck ve Braunstein (2016) tarafından yapılan çalışmada dikey bir topraklama elektrodunda yıldırım akımı dağılımları incelenmiştir. Araştırmacılar, bir dikey elektrotun geçici akıma olan tepkisini hesaplamak için bir model tasarlamışlardır. Model, soruna yaklaşmak için elektromanyetik alan teorisine dayanmaktadır. Modelde elektrotun yarıçapı, toprağın iletkenliği ve geçirgenliği dikkate alınmıştır. Elektrot sonlu bölümlere ayrılmış, daha sonra dengeleme akımları, toprak kaçığı akımları ve elektrot akımları her bölüm için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Araştırma sonucunda yüksek iletkenliğe sahip topraklarda yıldırım akımını dağıtmak için daha kısa elektrotların gerekli olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, düşük iletken topraklarda, dikey elektrotlar yerine uzun yatay elektrotların daha verimli olduğu sonucuna

ulaşılmıştır. Araştırmacılara göre toprak iletkenliği, elektrot yarıçapına ve toprağın geçirgenliğine kıyasla daha hassas bir parametredir [37].

Fujita vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada dikey topraklama elektrotları arasındaki karşılıklı bağlantı araştırılmıştır. Araştırmacılar, yaptıkları çalışmada aşağıdaki sonuçlara ulaşmışlardır [35]:

- Topraklama elektrot uzunluğu arttıkça, indüklenen voltaj ne kadar küçük olursa, karşılıklı empedans da o kadar küçük olur. Bu durum topraklama elektrotları arasındaki iletken bağlantıdan kaynaklanmaktadır.
- Farklı uzunluktaki elektrotlar arasındaki indüklenen voltajın farkı, uzaklık arttıkça küçülür. Uzaklık 5 metreyi geçtiğinde elektrot uzunluğunun herhangi bir etkisi gözlenmez ve kararlı durum kaynaklı voltaj yaklaşık olarak $V_m = \rho I_0 / 2\pi y$ ile tahmin edilir (burada ρ toprak direnci ve I_0 indükleme akımıdır).
- Elektrot uzunluğu büyük olduğunda ($x \geq 5$ m), indüklenen voltaj dalga formu indükleme gerilimine benzer hale gelir. Aynı zamanda, V_1 ve V_2 geçici voltajlarının tepe değerleri, elektrot uzunluğuna bağlı olma eğilimindedir.

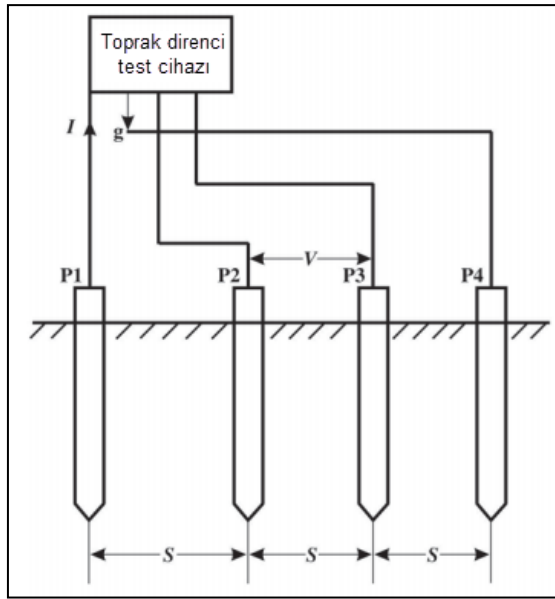
3.3. Toprak Direnci ve Geçirgenliğin Etkisi

Uygun topraklama sistemi tasarlamamanın amacı, güvenilir güç kaynağı, ekipman güvenliği ve elektrikle çalışan operasyonlarda çalışan kişilerin güvenliğini sağlamak ve voltaj yükselmesini minimum seviyede tutmaktır. Elektrik güç sistemlerinde, iletim hatları için topraklama sisteminin tasarımı, yüksek gerilimden kaynaklı arızaların sayısını etkiler. Elektrik güç sistemi topraklama analizinin doğruluğu, kritik olarak toprak direncine bağlıdır [38]. Yanlış toprak direnci, topraklama sisteminin yanlış tasarlanmasına neden olabilir. Toprak direncinin doğruluğu, birkaç faktöre bağlı olarak değişen dalgalanma direnci ile belirlenir. Toprak direnci, toprağın cinsinden, toprak derinliğinden ve üst tabaka olan birinci tabaka ve toprak sıcaklığındaki nemin varlığından kuvvetli bir şekilde etkilenir. Nem, düşük direnç için önemli bir gerekliliktir [39].

Toprak direnci yeraltı yapısını yansıtan kullanışlı bir ölçülebilir değer olmasının dışında etkili topraklama ve aydınlatma sistemlerinin tasarımında, önleme ve koruma hesaplamalarının temel bir parametredir. Toprak direncine etki eden önemli parametreler

nem içeriği, kimyasal bileşim, gözeneklilik, iletkenlik, sıcaklık, dikey kalınlık ve bölmeler olarak sayılabilir [40].

Toprak direnci, bir toprak direnci test cihazı veya Wenner'in 4-pin metodu veya benzeri diğer enstrümanlar kullanılarak ölçülebilir. İki dış pim, toprağa akım enjekte etmek için kullanılır (mevcut elektrotlar olarak adlandırılır) ve bu akım akışı sonucunda ortaya çıkan potansiyel, iki iç pim (potansiyel elektrotlar) ile ölçülür (Şekil 3.4).



Şekil 3.4. Toprak direnci ölçümü

Şekil 3.4’de P1 ve P4 akım elektrotları, P2 ve P3 potansiyel elektrotlar, I test cihazı tarafından toprağa verilen akım (AC) ve V topraktaki voltaj düşüşü anlamındadır.

Direnç özelliği, herhangi bir malzeme için tanımlanabilir. Toprağa uygulandığında direnç, bir toprağın verilen elektrik akımını taşıma yeteneğini gösterir. Topraktaki elektriğin akışı büyük ölçüde elektrolitiktir ve nemde çözünmüş iyonların taşınması ile belirlenir (Çizelge 3.7) [41]. Toprak direnci, 1 metreküp homojen toprak malzemesinin karşılıklı iki yüzeyi arasında, genellikle ohm metrede (Ωm) ölçülen dirençtir. Toprak direnci, topraklama sisteminin direnci üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir.

Çizelge 3.7. Toprak direncine nem içeriğinin etkisi [40]

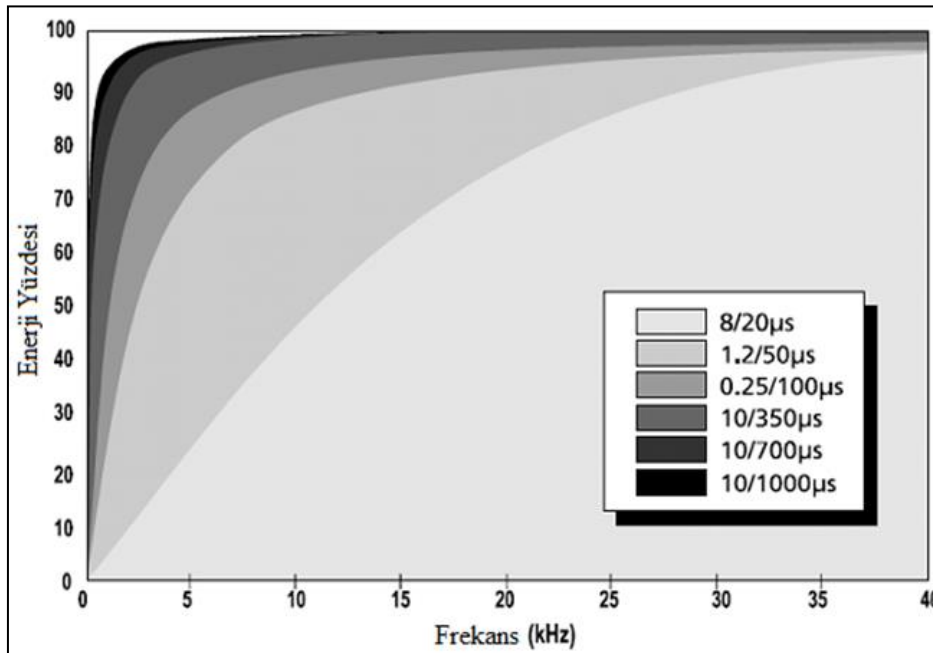
Ağırlığa göre nem içeriği (%)	Direnç, Ωm		
	Yüzey toprağı	Kumlu balçık	Silika bazlı kum
0	10000000	10000000	-
2,5	2500	1500	3000000
5	1650	430	50000
10	530	185	2100
15	210	105	630
20	120	63	290
30	100	42	-

Malanda vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada toprak direnci ve topraklama sistemlerinin tasarımına etkileri incelenmiştir. Çalışmada, iki farklı yerdeki toprak dirençliğinin toprağın derinliğinden ve nem içeriğinden nasıl etkilendiğini karşılaştırmak için bir dizi test yapılmıştır. Özdirencin ölçümü için Wenner yönteminin kullanıldığı çalışmada toprak direncinin derinlik ve aralık değişimi incelenmiş, toprak direncinin toprak türüne ve nem içeriğine göre değiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca ıslak toprağın, kuru toprağa göre daha düşük bir dirence sahip olduğu, gerekli olan toprak elektrotlarının sayısının değiştiği, kuru toprakta direnç daha yüksek olduğu için daha fazla elektrot kullanılması gerektiği sonuçlarına ulaşılmıştır [42].

4. EMPEDANSIN ÖNEMİ

4.1. Giriş

Daha önce belirtildiği gibi, iyi bir topraklama sistemi elde etmenin yolu, düşük bir topraklama direncinden ziyade düşük değerdeki bir topraklama empedansı elde etmektir. Bir Fourier dönüşüm işlemiyle, yıldırım darbesiyle oluşan tipik bir dalganın “spektral çözümlemesi” yapılırsa, hem düşük hem de yüksek frekans bileşenlerine sahip olduğu görülür. Düşük frekans bileşeni, yıldırım darbesinin yüksek enerjili bileşeni olarak yer alırken, yüksek frekanslı bileşen ise yıldırım darbesinin son derece hızlı yükselen (genellikle akım tepe değeri $< 10 \mu s$ olan) bileşeni olarak karşımıza çıkar. Şekil 4.1, değişen frekans ve yükselme zamanı değerlerine karşı gelen enerji yüzde oranlarını gösterir. Örneğin enerjinin %90’ı 33 kHz’den küçük frekansları içerirken 8/20 μs ’lik dalga şeklinde enerjinin %10’u 2,5 kHz’den küçük frekanslara sahiptir. 10/1000 μs ’lik dalga şekli için ise enerjinin frekansı 1 veya 2 kHz’den küçüktür.



Şekil 4.1. Bazı frekans değerlerine karşılık gelen enerji yüzdeleri

Topraklama sistemi, yıldırım darbesine maruz kaldığında iletim hattıymış gibi tepki gösterir. Burada dalga yayılma teorisinin yayılma kuralları ve grup hızı geçerlidir. Toprak, yüksek gerilim baskısı altında dielektrik gibi davranır. Yıldırım darbesine maruz kalındığında zaten düşük olan topraklama direnç değeri daha aşağı seviyelere düşer.

Toprak direncinin klasik düşük frekanslı cihazlarla ölçülmesi, toprağın yıldırım deşarjı sonucu göstermesi gereken sonuçları göstermeyebilir. Tümüleşik ve geniş çaplı şebekelerde birden fazla topraklama sistemi birbirine bağlanarak birleştirildiğinden bütün topraklama ağı tek bir devre imiş gibi ölçüm yapılmış olur.

4.2. Davranış Mekanizması

Yükselme zamanı dI/dt den yüksek ise, Yıldırımın ilk vuruşu 1 ile 10 μs 'lik süredeki akım darbesi ile gerçekleşir ki bu zaman içinde yıldırımın %75'i deşarj olur. Yükselme zamanı 0,2 μs kadar olabilir. Bu şartlar altında, dalga 60 m yayılncaya kadar yerel toprak tüm deşarj akımına maruz kalır. Bu yayılmanın ışık hızında olduğu varsayılır (300 m/ μs). Eğer iletkenlerin endüktans ve kapasitansları hesaba katılırsa yayılma mesafesi daha azdır.

Toprak mesafe etkisi, gerçekte dI/dt değerleri ile çelişmektedir. Endüktans ve kapasitansın etkisiyle yerel voltajın yükselmesi daha az etki eder. Aşağıdaki ölçüm tekniği emepedans ile direnç etkileri arasındaki farkları açıklar.

4.2.1. Darbe testi ve geçici cevabı

Bir topraklama sisteminin geçici performansı, basitçe, toprak potansiyelinin minimize edinceye kadar geçici enerjiyi toprağa boşaltma yeteneğidir. Bu esnada ekipman ve personelin tehlikeli durumlardan korunması sağlanmalıdır. Bu bir yıldırım veya aşırı gerilim sisteminin etkinliğini belirleyen önemli faktörlerden biridir.

Toprak sisteminin iki ana bileşeni olan, toprak elektrodları; bu elektriğin toprakla bağlantısını sağlar. Kablolama; bu da cihazları topraklama elektrodlarına bağlar ve her ikisi de geçici performansı etkiler. Kötü tasarlanmış bir topraklama sistemi toprağa bağlı bir yüksek empedansla toprak potansiyelini aşırı artırabilir, cihaz ve personele zarar verme riskini yükseltir.

4.2.2. Bir topraklama sisteminin geçici performans değerlendirilmesi

Geçici koşullar altında toprak sistemi performansını ölçmek için tasarlanacak herhangi bir ölçüm düzeneği şu iki önemli hususu sağlamalıdır:

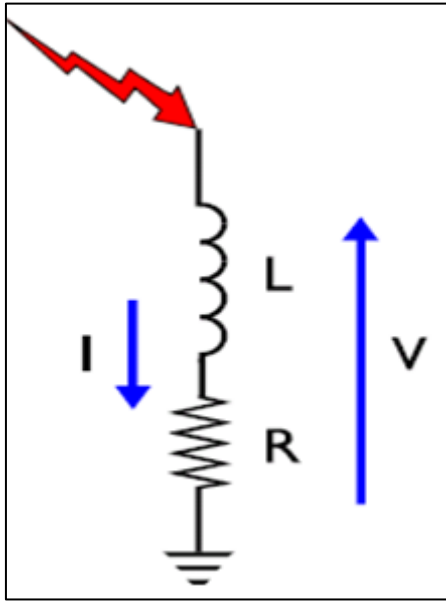
- Tepe gerilimi verilen akıma göre elde edilmeli,
- Oluşan geçici enerjinin zarar vermeden toprağa akışı sağlanmalıdır.

Bunu gerçekleştirmenin en basit ve etkili yolu, toprakta gerçekçi bir geçiş darbesi üretip uygulamaktır.

Tipik bir geçici darbeye benzer şekil ve formda bir akım darbesi toprağa enjekte edilip daha sonra toprak sisteminin buna nasıl cevap verdiği ölçüldüğünde, gerçek darbeye maruz kalınması durumunda sistemin nasıl karşılık vereceği hakkında gerekli bilgi elde edilecektir.

Pratikte bu, “Topraklama Sistemleri Analizörleri’nin çalışma prensibidir.

Etkili bir örnek olarak bir topraklama sisteminin geçici performansının testi için, aşağıdaki örneği düşünelim.



Şekil 4.2. Bir topraklama sisteminin basit bir toplu parametrelili modeli

Çok basit bir gösterimle, bir topraklama sistemi Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, bir seri L-R akım devresi olarak modellenebilir. Geçici darbe deneyinde, uygulama noktasındaki gerilim V , verilen akım I olursa, aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$V = L \frac{dI}{dt} + IR \quad (4.1)$$

Eşitlikten görüldüğü üzere, yıldırım darbe akımının giriş noktasında tepe gerilimi genliği iki bileşene bağlıdır. Direnç durumu ve endüktansta oluşan birim zamana göre akımın oranı. Böylece, bu denklemde, $I \times R$ 'den dolayı toprak direnci ölçümü sadece tepe gerilim değeri ile hesaplanacaktır ve oluşacak toplam gerilim yükselmesi ile ilgili herhangi bir etkisi olmayacaktır.

Örneğin, bir toprak sistemi DC direncinin 5Ω ve toplam endüktans direncinin $50 \mu H$ olduğu ve sistemin tipik birçok yıldırım darbe akımına maruz kaldığı, birinci darbenin akım tepe değeri için yükselme zamanı $50 kA/10 \mu s$ ve izleyen darbeler için $25 kA/0.5 \mu s$ olduğu varsayılır ise;

Birinci darbe için, topraklama sisteminin giriş noktasındaki gerilim değeri sadece direnç durumundan dolayı aşağıdaki gibi olacaktır:

$$V_R = I \times R = 50 kA \times 5 \Omega = 250 kV \quad (4.2)$$

$$V_L = L \frac{dI}{dt} = 50 \mu H \times \frac{50 kA}{10 \mu s} = 250 kV \quad (4.3)$$

olur. Toplam gerilim değeri bu iki değer toplam tepe gerilim değeri toplamı olan

$$V = L \frac{dI}{dt} + IR = 250 kV + 250 kV = 500 kV$$

olacaktır. Bu da tek başına normal direnç değerinin iki katına eşdeğerdir. Tekrarlayan (izleyen) darbe akımları için, bu rakamlar daha da dramatiktir. Yalnız endüktans durumunda toplam gerilim yükselmesi $2500 kV$ 'a çıkabilmektedir.

$$V_L = L \frac{dI}{dt} = 50 \mu H \times \frac{25 kA}{0.5 \mu s} = 50 \times 10^{-6} H \times \frac{25 \times 10^3 A}{\frac{1}{2} \times 10^{-6} s} = 50 \times 2 \times 25 \times 10^3 = 2500 \times 10^3 = 2.5 \times 10^6 \text{ Volt}$$

Benzer şekilde ilave direnç durumundan dolayı gerilim değeri aşağıdaki gibi hesaplanırsa;

$$V_R = I \times R = 25 kA \times 5 \Omega = 125 kV$$

Toplam Gerilim ise;

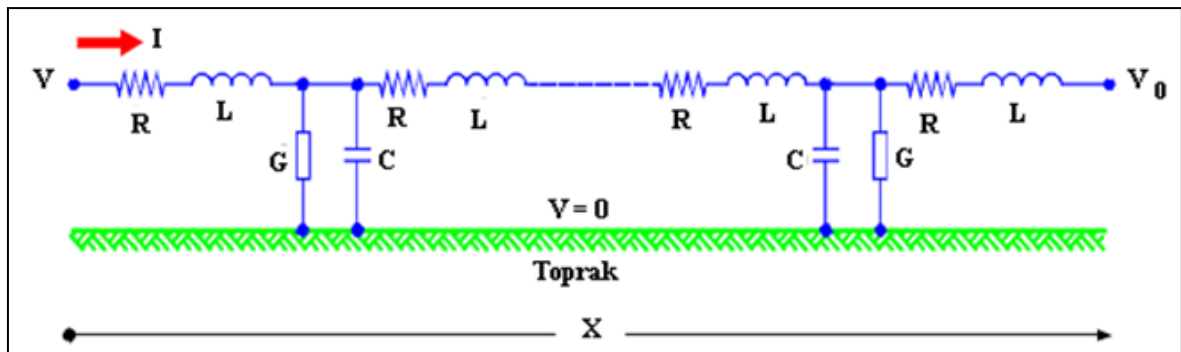
$V = L \frac{dI}{dt} + IR = 2500 \text{ kV} + 125 \text{ kV} = 2625 \text{ kV}$ gibi oldukça yüksek bir seviyeye ulaşmaktadır.

Geçiş koşulları altındaki bir toprak ağının gerçek performansını değerlendirmek için, endüktif (ve kapasitif) elemanlarının etkisini belirleyecek bazı ölçümlerin yapılması gerekmektedir. Ancak çok düşük dI/dt seviyelerindeki bir test sinyalinin ölçmek için kullandıklarından, geleneksel topraklama özgül direnç-ölçerler ile bu etkileri ölçmek mümkün değildir (buna sebep direnç ölçerlerinin çoğu düşük frekanslı bir AC dalgasını test sinyali olarak kullanırlar ve bu yeterli değildir).

4.2.3. Darbe empedansı

Daha önce açıklandığı gibi, bir topraklama sisteminin amacı yıldırım koruma tesisat devresini sağlamak iken, öncelikle geçici enerjinin en güvenli ve kısa yoldan toprağa akmasını sağlamak ve bundan emin olunmasıdır, ikinci önemli husus yıldırım darbesi esnasında yüksek toprak potansiyelinin cihazları bozma ve canlıları yaralama riskini ortadan kaldırmaktır.

Araştırmalar geçiş darbeleri altındaki topraklama sistemleri davranışlarının, Şekil 4.3'te gösterildiği gibi; yayılma direnci, endüktans ve kapasitans elemanlarına sahip, kayıplı bir iletim hattı gibi modellenebileceğini göstermiştir [43].



Şekil 4.3. Toprak sistemi empedansının “sızıntılı (kayıplı) iletim hattı” modeli

$$Z_o = \sqrt{\frac{R+j\omega L}{G+j\omega C}} \quad \Rightarrow \quad Z = \frac{V}{I} = Z_o \frac{(\cosh x \sqrt{2y})}{(\sinh x \sqrt{2y})} \quad (4.5)$$

Bununla birlikte, bazı çalışmalar toplu öğeli pi-devresi (The lumped pi-circuit model) şeklinde bir benzetim yapılabileceğini de göstermektedir ve her iki modelleme de kullanılabilmektedir [44].

Açıkça, bu ağın empedansı net bir şekilde frekansa bağlı olacaktır. Halbuki, 8/20 μ s'lik gibi tipik geçiş test dalga şekli çifte üstel bir şekilde olup, fourier analizi yapılırsa birkaç değişik frekans bileşenini içerdiği bariz bir şekilde görülür.

Pratikte uygulanan geçiş darbeleri, test amacıyla kullanılan tipik test dalga şekli ile tamamen benzer olmayıp, tek frekanslı bir görüntüsü/değeri olmadığı açıkça fark edilir.

Bir topraklama sisteminin performans modellemesinin daha iyi kavranmasını sağlamak için, herbir rezistif ve reaktif bileşenleri uzun ve karmaşık hesaplamalar ile bulunabileceğinden detaylandırılmalıdır.

Bu parametreleri hassas ve istenen doğruluk derecesinde ölçmek, uygulamada oldukça zordur. Ancak basit bir modelleme, endüktif, rezistif ve kapasitif elemanların gerçek değerlerinin bilinmesine gerek bırakmaksızın, bunun yerine sadece Ohm Kanunu'nda olduğu gibi, gerilimin tepe değerinin akımın tepe değerine oranını veren bir katsayıyı bize sağlayacaktır. Bu durum akımın tepe değerini, gerilimin tepe değeriyle ilişkilendiren (oranlayan) bir şekil (ifade) olan darbe (impulse) empedans kavramını vermektedir [45].

5. TOPRAKLAMA SİSTEM ANALİZİ VE UYGULAMASI

Darbe testi uygulama modeli, topraklama sistemi test ve analizi alanında yeni bir tanımlama imkanı ortaya koymuş bulunmaktadır. Bu modeli kullanarak, tasarımcı ve kullanıcılar topraklama sistemlerinin geçici koşullar altındaki davranışını daha iyi kavrama şansına sahiptirler.

Bir topraklama sisteminin geçici koşullar altındaki davranışını değerlendirirken iki ana faktörün göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

- Birincisi; darbe empedansı olup, verilen bir tepe akımı için tepe gerilim değerini hesaplama imkanı sağlar.
- İkincisi de; akımın toprağa ulaşmak için izleyeceği yolu belirlemektir. Bunun amacı da, teçhizatı hasara yol açmayacak veya personel güvenliği için risk oluşturmayacak şekilde, geçiş akımının, tamamı olmasa da önemli bir kısmının toprağa akmasını garantiye alacak şekilde bir tercihli yol belirlemektir. Toprak sistemleri analizörü bu her iki konuyu test etme imkanı sağlamaktadır [20].

5.1. Uygulama Örnekleri

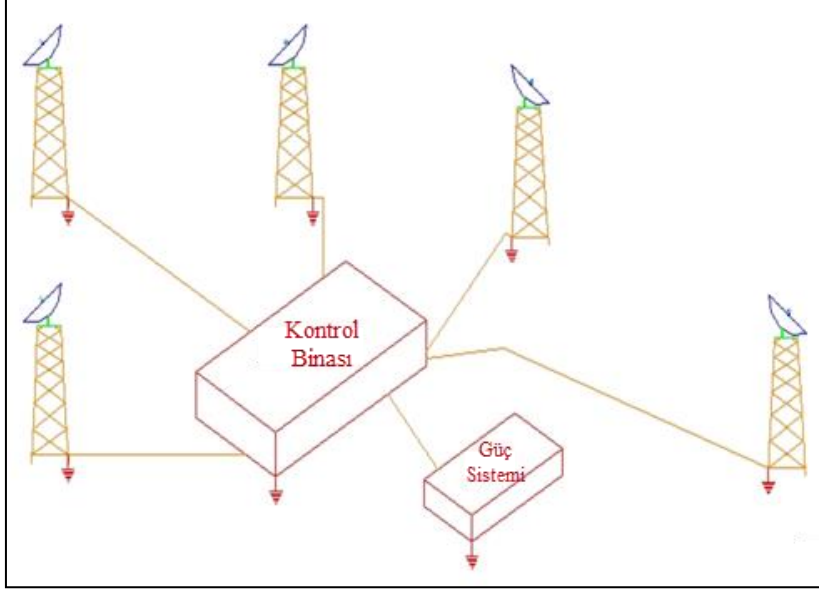
5.1.1. Uydu yer istasyonu

Bu istasyon, Transmitter/ Alıcı/MUX aygıtları bulunan bir binaya sahiptir. Bu istasyonda, 30 metre çapında 7 adet parabolik antenlere sahip besleme kabloları mevcuttur. Her bir anten, bağımsız bir yıldırım yakalama ucu, iniş iletkenleri ve yerel topraklamaya sahiptir.

Mevcut topraklamalar, normal servis şartları altında, konvansiyonel cihazlar ile ölçülmesi imkânsız olacak şekilde tesis edilmiştir. Dalga kılavuzları, koaksiyel kablolar, güç ve kontrol iletkenlerinin tümü her bir parabolik anteni güç kaynağına ve topraklamaya bağlanacak şekilde tasarlanmıştır. Böylece iletim koridoru sağlanmıştır.

Antenlerde korozyona maruz kalmış veya hatalı topraklama olması, transmisyon hattından toprağa akacak olan yıldırım boşalma değeri akımının şiddetini önemli bir ölçüde arttıracaktır. Bu sebepten anten topraklama sistem tasarımının bilinmesi, kritik bir koruma parametresidir. Burada topraklama sistem analizörü, ölçülmek istenen yerel (lokal) toprak

empedansını ölçme imkanı verir. Aynı zamanda, (yıldırım) darbe akımının, yerel topraklamaya akan kısmı yanında, transmisyon hattına geçen kısmını da tespit edip (ölçüp) birbirine oranlama imkanı sağlar. Şekil 5.1’de basit bir toprak bağlantı şeması verilmiştir [20].



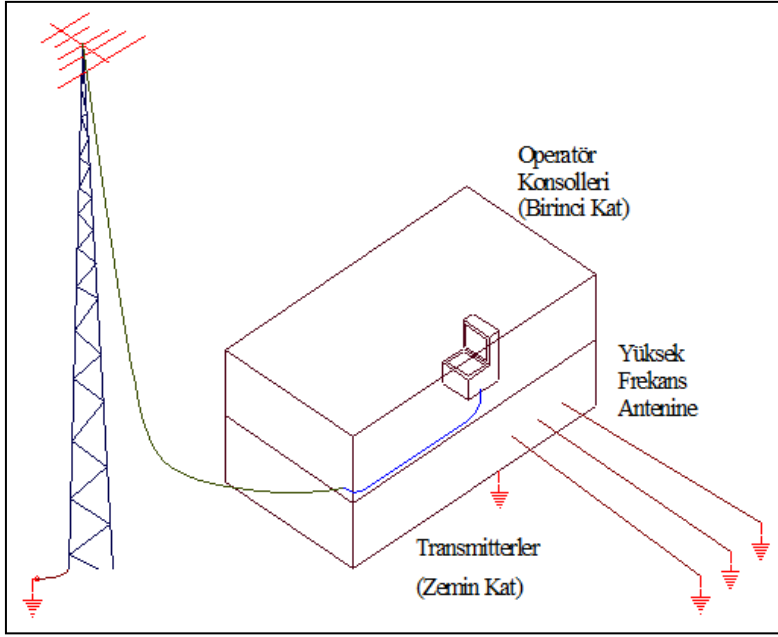
Şekil 5.1. Uydu yer istasyonu toprak bağlantısı örneği

Aynı zamanda bu veriler, her bir antene ait topraklama sisteminin (tesisatının) onarıma ve iletkenlerinin değiştirilmesine veya genişletmeye ihtiyaç duyup duymayacağına dair temel veriyi vermektedir.

5.1.2. Deniz haberleşme merkezi

Bu tür merkezler, yüksek güçlü bir HF (Yüksek Frekans) transmitteri ve gemiden kıyıya VHF (Çok Yüksek Frekans) teçhizat tesisatına sahiptir. Merkezin hemen dışında her biri lokal topraklamaya sahip bir (seri) HF anten serisi döşenmiştir. Hemen yakınında ise bir VHF Yagi anteni taşıyan 30 metrelik bir mevcut olup sisteme dahildir (Şekil 5.2).

Bu sistemde VHF anten direği ve operatör konsolu, bir yıldırım darbesi nedeniyle önemli ölçüde hasar bıraktığı ve sistemdeki bütün elektronik modüller, onarılamayacak biçimde ağır hasar görmüştür.



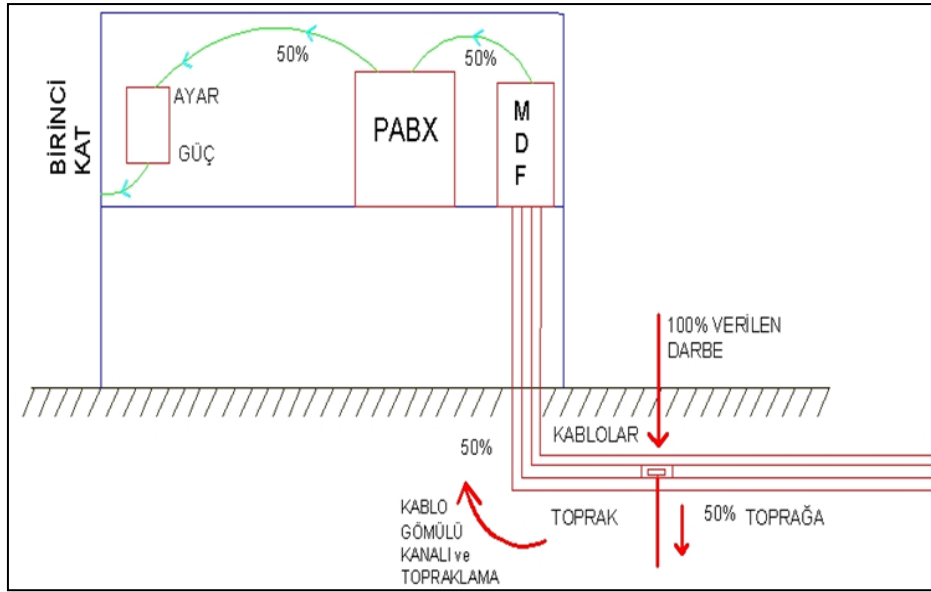
Şekil 5.2. Deniz haberleşme merkezi

Bu sistemde geleneksel bir ölçü aletiyle direk temeli ölçüldüğünde 2 Ohm değerini gösterirken, toprak sistem analizöründe ise 50 Ohm'un üzerinde değer görülmüştür. Bu aşamada Katenar (sıralı) besleyici ile VHF anten bağlantısını ayırmak mümkündür. Geleneksel ölçüm aletiyle, ölçümler tekrarlandığında, direk topraklama değerlerinin 45 Ohm'a çıktığı görülmüştür. Bu esnada toprak Analizörünün ise tamamen aynı değerde kaldığı görülmektedir.

Katenar (sıralı) besleyici kablosunun, Ana istasyon topraklamasını direğe getirdiği (irtibatlandığı) ve gerçek topraklama direncini istasyonunki ile beraber bastırıldığı durumdur. Böylece; yıldırım (deşarjı) direkte yüksek bir toprak direnci ile karşılaştığından, toprağa akmak için daha iletken bir patika oluşturan, transmitter binasını karşısında bulunduğu için, onun üzerinden toprağa akar.

Daha sonra Analizör sürekli bir darbe verecek şekilde kullanılarak, yıldırımın etkisi izlenmiştir. Bu durum kablo bağlantıları ve toprak yolunun tekrar düzenlenmesine yardım ederek, daha fazla yıldırım akımının bina içindeki konsollara girmesini engelleyecek şekilde bağlantısını ve tesisatını düzenlemeyi sağlamıştır [20].

5.1.3. PABX'in yıldırımdan indüklenen hasarı ve önlenmesi



Şekil 5.3. PABX'in yıldırımdan kaynaklanan hasarı

PABX, Binanın birinci katında yerleştirilmiş olup, güç veya hat arayüzü dışındaki bir sebepten kaynaklanan devre kart arızaları göstermiştir. Topraklama Analizörü, zemin katta bulunan topraklama elektroduna bağlanarak, darbe akımı ölçülmüştür. Akımın yaklaşık %50'si topraklama kazığına giderken, geri kalanın da, (toprağa) gömülü kablo koruma teli üzerinden aktığı görülmüştür.

Potansiyel dengelemenin, ancak PABX'e bitişik olan MDF toprak iletim yükselticisi ile sağlandığı görülmüştür.

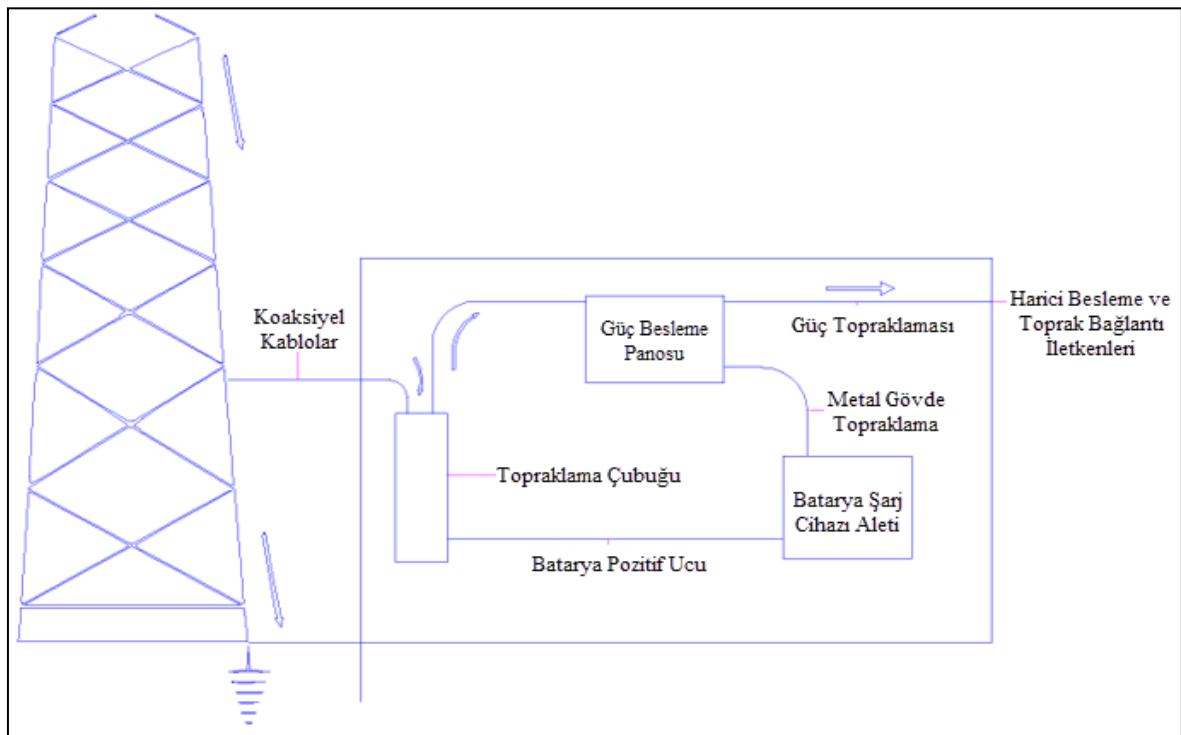
Analizör ile otomatik izleme işlemi sürdürülürse, test darbesinin PABX'in bir kablo setinden girdiğini ve diğer setten çıktığı görülebilir. Sonrakinin ise odayı geçerek modeme ulaştığı görülür. Zararlı akımların ise modemın güç besleme fişi çıkartıldığında kesildiği görülmüştür. Uygun kablolama ve doğru bağlantı yapılarak daha fazla hasar riski ortadan kaldırılmıştır [20].

5.1.4. Hücresel radyo istasyonu

Hücresel bir radyo istasyonunda yıldırım nedeniyle sürekli batarya şarj hatası verdiği gözlenmiştir. Test yapıldığında içerideki küçük bir bobinden çerçeveye aşırı bir yükleme

olduğu görülmüştür. Bu bobin bataryanın pozitif (+) tarafına bağlanmış olup aynı zamanda toprağa da bağlı olduğundan kapalı devre oluşturup topraklanmış iki ucu arasında ark oluşturmaktaydı.

Analizör kullanıldığında, istasyonun iç toprak hattında bir yıldırım akımının var olduğu anlaşılmıştır. Bir basit $V = L \frac{di}{dt}$ hesaplama, indüktif gerilim düşmesinin problemin nedeni olduğunu gösterdi. Bağlantıların ve topraklama planının tekrar düzenlemesi ile problem çözülmüş olup, benzer durumlar için bir çözüm ve literatüre katkı sağlanmıştır.

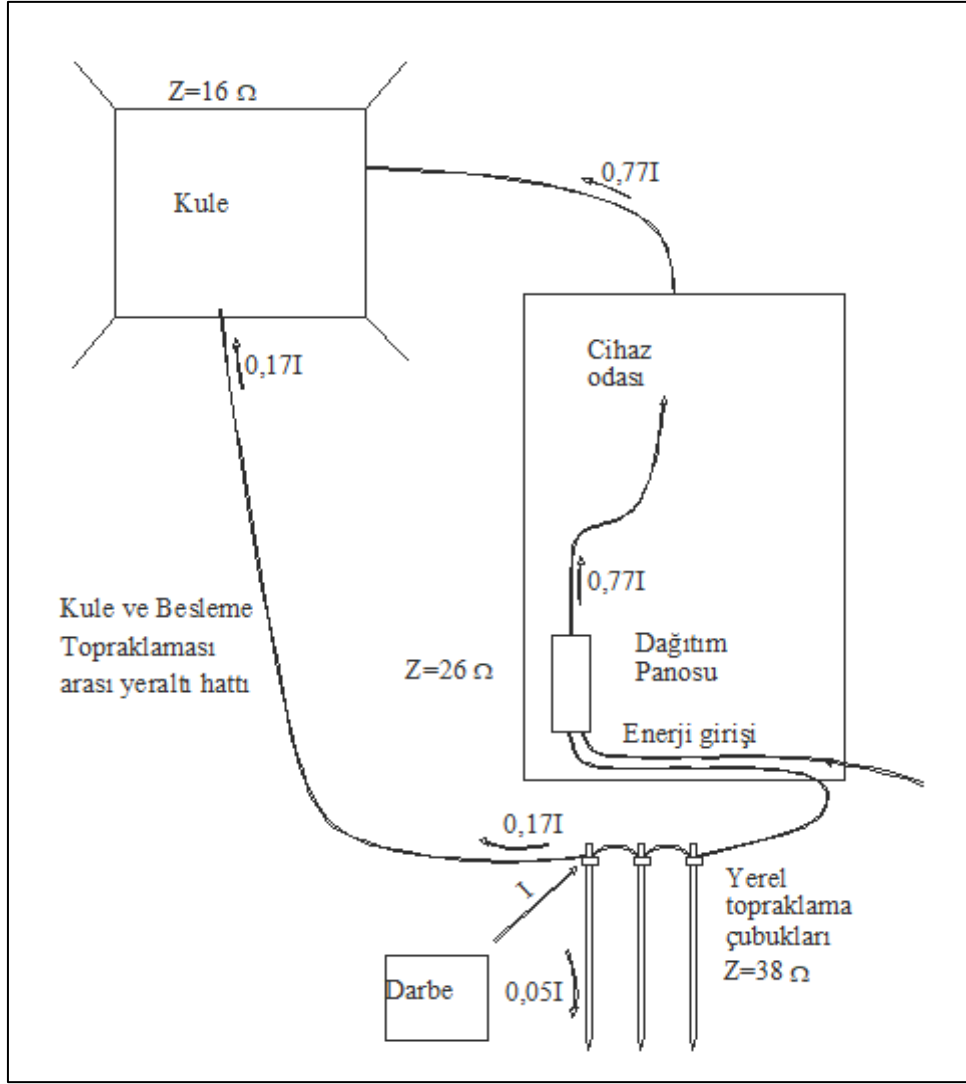


Şekil 5.4. Hücresel radyo istasyonu [20]

5.1.5. Yüksek rakımlı tepede kurulu sivil havacılık haberleşme istasyonu

Üzerinde çalışılan haberleşme istasyonunun üç adet analizör ölçümü alındığında, kule tabanının 16 ohm, güç dağıtım panosu topraklama barasının 26 ohm ve harici gücün topraklamasının 38 ohm olduğu görülmüştür. Kule bir harici bağlantı ile güç topraklamasına bağlanmıştır.

Analizör güç topraklamasına bağlandığında, akımın sadece %5'inin topraklamadan geçtiği, %15'inin dış bağlantı üzerinden kuleye iletiildiği ve geri kalan %77'sinin ise kuleye ulaşmak için radyo ekipmanı dahil olmak üzere istasyonun merkezinden geçtiği görülmüştür.



Şekil 5.5. Yüksek rakımlı yerlerde kurulu Sivil Havacılık Haberleşme İstasyonu [20]

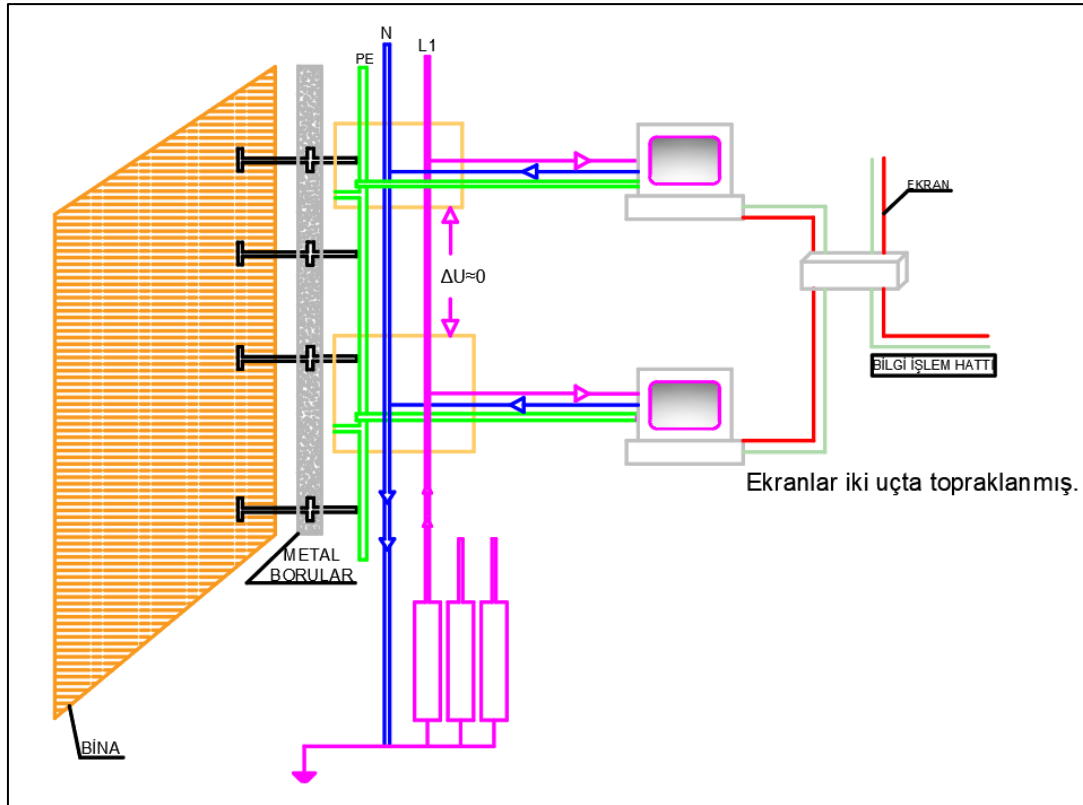
Güç kaynağının dalgalanma valflarına gerçek bir yıldırım düşmesi durumunda güç topraklamasında küçük bir akım geçişi olacağından, akımın çoğu ekipman odası üzerinden kuleye geçecektir.

Normal bir ölçü aletinin bağlantı noktası ne olursa olsun geriye kalan ve değişmeyen değer olan 38Ω değerini gösterdiği ve ekipman odasından tehlikeli akımların geçmesine neden olan gerilimin belirtilerinin ortaya çıkmadığı görülmüştür.

5.1.6. Bilgi işlem sistemlerinde topraklama uygulamaları

Milli Eğitim Bakanlığı tarafından, yeni yapılan ve halen tadilatı yapılan okullar için, bilgi işlem birimlerinde, sistemde yüksüz iken, nötr ve toprak arasında en fazla 1,5 V'luk bir

potansiyel farkının olmasına müsaade edilmektedir. Yapılan ölçümlerde çoğunlukla 1,5 V'a yakın veya altındaki değerler okunmaktadır. Ancak işletmede olan tesis ve binalarda gerçekleştirilen ölçümlerde, bu limitin (1,5 V) çok üzerine çıktığı gözlemlenmiştir. Benzer şekilde, geniş beton alanlarda veya üst katlarda bulunan Bilgi İşlem ve Haberleşme tesislerinde kolaylıkla ölçüm yapma imkanı olmadığından; sistemin topraklama tesisatıyla ilgili bilgi sahibi olmak için, nötr ve faz arası gerilim değerlerini ölçmek bir çözüm olmuştur.



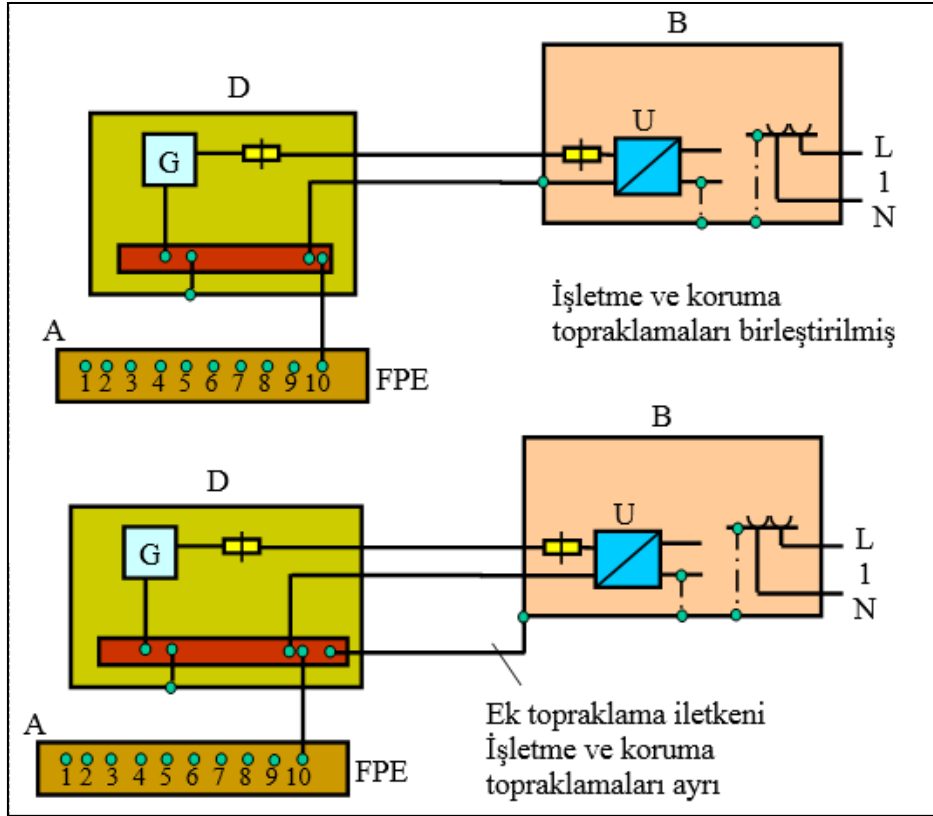
Şekil 5.6. Bilgi işlem cihazlarında istenmeyen durumlar (TN-C) [46]

İlave olarak, bazı yurtiçi ve yurtdışı şantiyeler, toprak iletkeni olmayan ve sadece faz ve nötr şeklindeki enerji hattından yapılan eklemeli beslemeden, faz + nötr + toprak şeklinde üç iletkeni olan bir uzatma kablo hattının sonucundan alınan ölçümde, boştaki toprak iletkeninde 110-120 volt değerlerini de ölçmüştür. Buna sebep indükleme yoluyla hayati tehlike oluşturacak düzeyde gerilimin oluşmasıdır.

Can kaybına sebep olan bir elektrik çarpması olayında bilirkişi mühendis olarak görev alınması nedeniyle gerçekleştirilen ölçümlerde; ölümlü çarpılmanın olduğu yerdeki tesisatta koruma topraklamasının yapılmaması nedeniyle yukarıda anlatılan duruma benzer şekilde boştaki koruma topraklama iletkeni üzerinde 85 Volt düzeyinde bir gerilim ölçülmüştür.

Bu tez çalışması kapsamında Haberleşme ve Bilgi İşlem Merkezinde gerçekleştirilen ölçümler;

Mardin ili merkezinde faaliyet gösteren ve bir apartmanın alt katında bulunan ve bina etrafı geniş beton saha olan bir haberleşme ve bilgi işlem firmasında gerçekleştirilen topraklama ölçümünde, ölçüm kazıklarını toprağa çakma imkanı bulunamamıştır. Bundan dolayı sağlıklı değer alma imkanı kısıtlı olduğundan; nötr ve toprak arası ölçüm alınarak topraklama sistemi ile ilgili fikir sahibi olmaya çalışılmıştır. Ölçüm sonucu 27 Volt gibi yüksek bir değer olduğundan, topraklama sisteminin uygunsuz olduğu öngörülmüş olup, ilave tedbirlerin alınması gerekmektedir. İletişim sistemi işletme ve koruma topraklaması örnekleri Şekil 5.7’de verilmiştir [46].



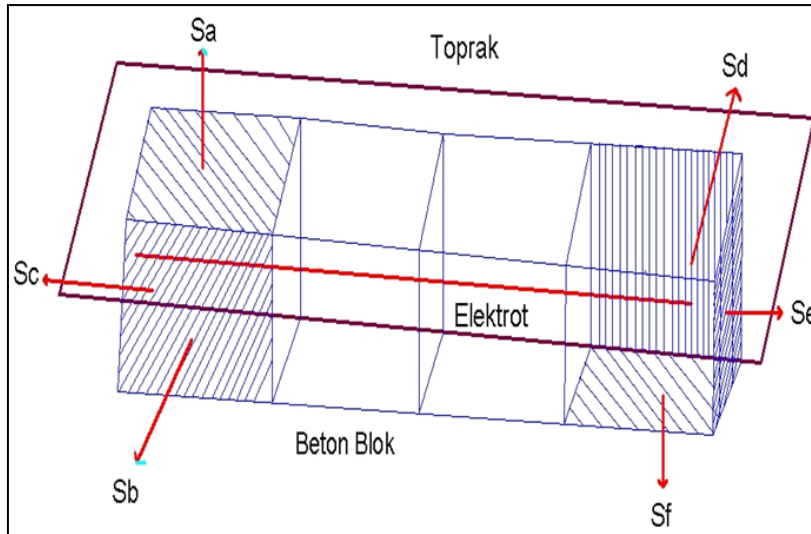
Şekil 5.7. İletişim sistemi işletme ve koruma topraklaması örnekleri

6. TOPRAKLAMA MEVCUT MATEMATİKSEL YÖNTEMLER

Topraklama direnci ve potansiyel dağılımı değerlendirmek için çözüm önerilerinden biride yüzey elektrik yükü yöntemidir. Bunun avantajı, bir cismin Yüzey akı yoğunluğu ve yüzey yükü ile cismin maruz bırakıldığı (kaldığı) yakınlarındaki elektrik potansiyeli ve elektrik alan koşullarına izin veren bir elektromanyetik özelliği arasında bir analiz yapmaktadır. İçine elektrot yerleştirilmiş olan bir beton bloğu Şekil 6.1’de görülmektedir [19].

Matematiksel model, beton blok yüzeylerini, S_i (i; indisi, a ile f arası değerler alır) ile temsil edilen bölümlere ayırır. Bir S yüzeyi η yük yoğunluğu ile yüklenmiş ise, bu yüzey üzerindeki potansiyel denklem (6.1) ile hesaplanabilir. Aynı şekilde, her ikisi de S yüzeyi üzerinde bulunan birbirine yakın r ve r' noktaları üzerindeki potansiyel de aynı metodla/formülle hesaplanabilir [19].

$$V(r) = \oint_S \frac{\eta(r')}{4\pi\epsilon|r-r'|} dS \quad (6.1)$$



Şekil 6.1. Beton kaplı bir elektrot (Yük yüzeyleri $S_a, \dots, S_f$ birim vektörleri ile gösterilmiştir) [19]

Elektrodun üzerindeki elektrik potansiyel (alanı), Denklem 6.2 bağıntısı kullanılarak ve potansiyele sınır koşulları uygulanarak açıklanabilir. Burada S_e elektrot yüzeyini ifade etmektedir.

$$V_{elet} = \int_S \frac{\eta(r') dS'}{4\pi\epsilon|r-r'|}, \quad r \in S_e \quad (6.2)$$

V_{elet} , elektrodun sebep olduğu (veya maruz kaldığı) ve elektrik potansiyeli olup, tanımlı bir değere sahiptir. Buna karşılık gelen $\eta(r')$ yük yoğunluğu da hesaplanabilir. Denklem 6.3, beton kaplı elektrot sorununa nihai çözüm bağıntısını ifade eder. Bu denklemde, ρ_s ve ρ_c , sırasıyla toprağın ve betonun öz dirençlerini ifade etmektedir.

$$\eta(r) = 2\epsilon_o \frac{(\rho_s - \rho_c)}{(\rho_s + \rho_c)} \int_S \frac{\eta(r') n \cdot (r - r')}{4\pi\epsilon_o |r - r'|^3} \quad (6.3)$$

Bu çözüm, $\eta(r)$ ve $\eta(r')$ ile temsil edilen tüm yük yoğunluklarını da hesaplamakta kullanılabilir. Elektrot üzerinden akan toplam akım, 6.4 nolu bağıntı denklemi ile hesaplanabilir.

$$I_t = \int_{S_e} \frac{\eta(r)}{\epsilon_o \rho_c} dS \quad (6.4)$$

Benzer şekilde, topraklama direnci; denklem 6.5 ile gösterildiği gibi, Ohm kanunundan hesaplanırsa;

$$R_t = \frac{V_{elet}}{I_t} \quad (6.5)$$

olacaktır.

6.1. Sayısal Çözüm

Çözüm, Denklem 6.6 ile gösterilen, n adet parçaya bölünmüş bir dizi $\eta h(r)$; yük yoğunluk yaklaşımını da içerir [13]. N_i , S_i üzerindeki bütün noktalar için “1” ve diğerleri için “0” değerini alır.

$$\eta h(r) = \sum_{i=1}^n \eta_i N_i(r) \quad (6.6)$$

Denklem 6.7, η vektörünü bulmak için çözülebilecek bir lineer denklem sistemini temsil eder.

$$\begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \dots \\ V_n \\ 0 \\ 0 \\ \dots \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & \dots & M & \dots & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & \dots & M & \dots & A_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & M & \dots & \dots \\ & & & M & & \\ K & K & K & MK & K & K \\ & & & M & & \\ \dots & \dots & & M & & \\ A_{n1} & A_{n2} & \dots & M & \dots & (A_{nn}-1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \eta_1 \\ \eta_2 \\ \dots \\ \eta_n \end{bmatrix} \quad (6.7)$$

Matris A elemanları, r_i 'nin, n adet S_i yüzeylerinin her biri üzerindeki merkez noktası, r_j ise geri kalan S_j yüzeyi üzerindeki n-1 merkez noktaları olup, Denklem 6.8 ve 6.9 ile hesaplanır.

$$A_{ij} = 2\varepsilon_o \frac{(\rho_s - \rho_c)}{(\rho_s + \rho_c)} \int_{S_j} \frac{N_j(r_j) n_i \cdot (r_i - r_j)}{4\pi\varepsilon_o |r_i - r_j|^3} dS, \quad i \neq j \quad (6.8)$$

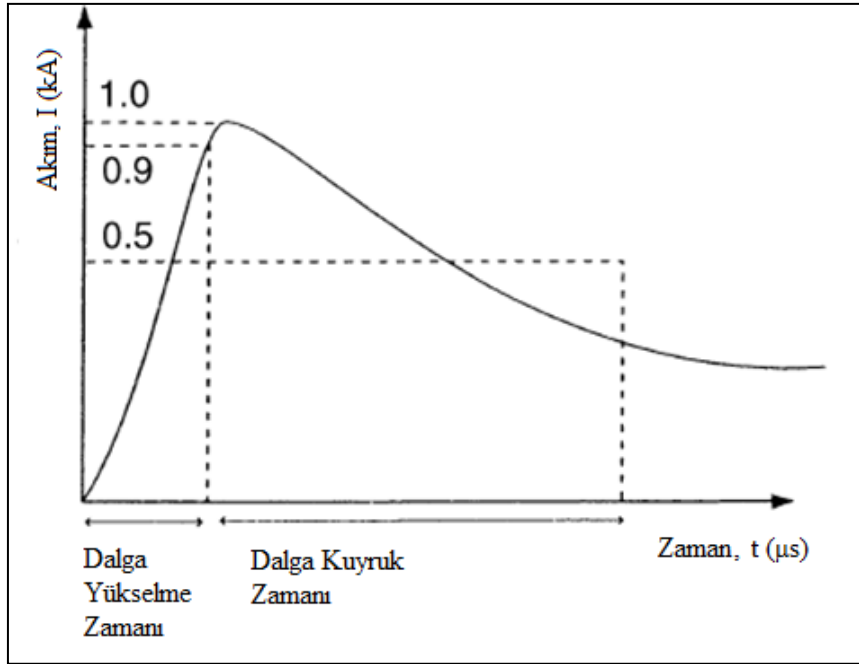
$$A_{ii} = 2\varepsilon_o \frac{(\rho_s - \rho_c)}{(\rho_s + \rho_c)} \int_{S_i} \frac{N_i(r'_i) n_i \cdot (r_i - r'_i)}{4\pi\varepsilon_o |r_i - r'_i|^3} dS, \quad i = j \quad (6.9)$$

6.2. Yıldırım Darbesinin Dalga Şekli ve Fourier Dönüşümü

Yıldırım darbesinin gösterimi Şekil 6.2'de verilmiş olup, dalga şekli 1,2 μs 'de yükselip yarı değerine 50 μs 'de düşer. Normalde sadece ağırlıklı akım boşalması ilk 50 μs 'deki kısım olup, tepe akım şiddeti 20 kA ile 200 kA arasında değişir. Söz konusu darbenin akım/zaman bağıntısı aşağıdaki gibidir.

$$i(t) = I_m (e^{-\alpha t} - e^{-\beta t}), \quad t \geq 0 \quad (6.10)$$

t zamanı μs ve akım kA cinsinden olup, işaretin yükselme zamanını belirleyen α ve β sabitleri [47] darbenin yapısına bağlıdır. Tipik olarak, $\alpha = 0,002$, $\beta = 3,0$ değerlerini alır.



Şekil 6.2. Tipik bir yıldırım dalgası darbe şekli [30]

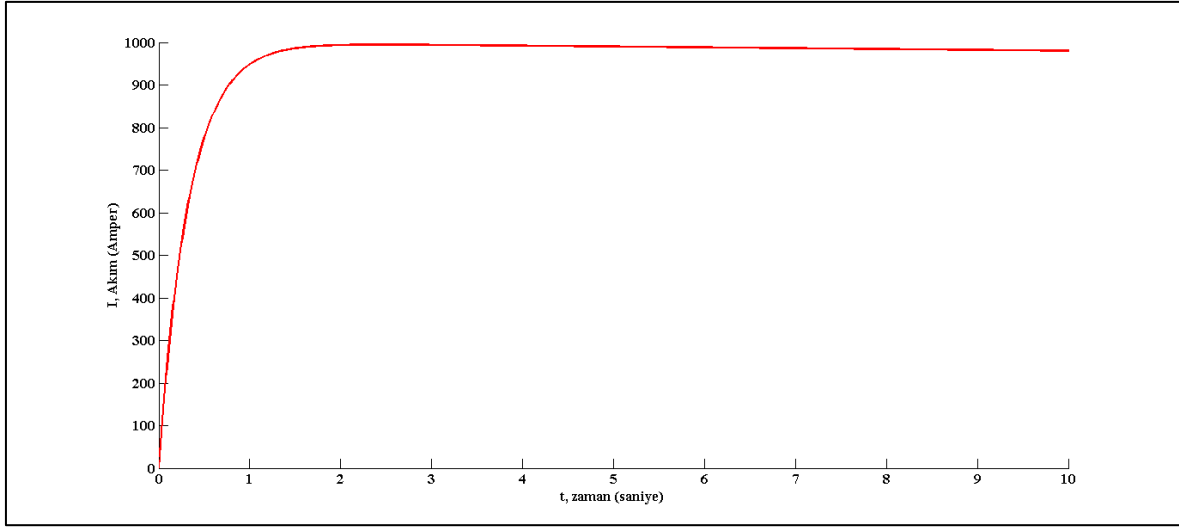
Ancak Matlab programı ile oluşturulan benzetimi verilen değerler ilk 10 μs için hesaplandığında Şekil 6.2 elde edilir.

$$\alpha = 0,002, \beta = 3,0$$

$$\gg t = 0:0.01:10; A = 1000; a = 0.002; b = 3;$$

$$\gg y = A * (\exp(-a * t) - \exp(-b * t));$$

$$\gg \text{plot}(t, y)$$



Şekil 6.3. Tipik bir yıldırım darbe şekli Matlab benzetimi

Nonlineer dalgaların matematik formu Fourier serileri ile elde edilir [48]. Fourier serileri daha çok periyodik işaretlere uygulanmakla birlikte, periyodik olmayan işaretler için belli bir sonlu aralık üzerinde başka bir zaman bölgesi gösterimi elde etmek için de kullanılır. Fourier serisinin karmaşık Fourier serisi diye adlandırılan bir başka biçimi de vardır. Trigonometrik özdeşlikler kullanılarak doğrudan elde edilmesi de mümkündür [49].

Yıldırım vuru işareti $i(t) = I_m(e^{-\alpha t} - e^{-\beta t})$, $t \geq 0$ 'nin Fourier Dönüşümü aşağıdaki (6.11) bağıntısı ile elde edilebilir [47].

$$I(f) = \int_{-\infty}^{\infty} i(t)e^{j2\pi ft} dt \quad (6.11)$$

Yıldırım vuru işareti integral işlemi yapıldıktan sonra

$$I(f) = I_m \left(\frac{1}{\alpha + j2\pi f} - \frac{1}{\beta + j2\pi f} \right) \quad (6.12)$$

Şekline dönüşür.

7. SAHA UYGULAMALARI VE HESAPLAMA ÖRNEKLERİ

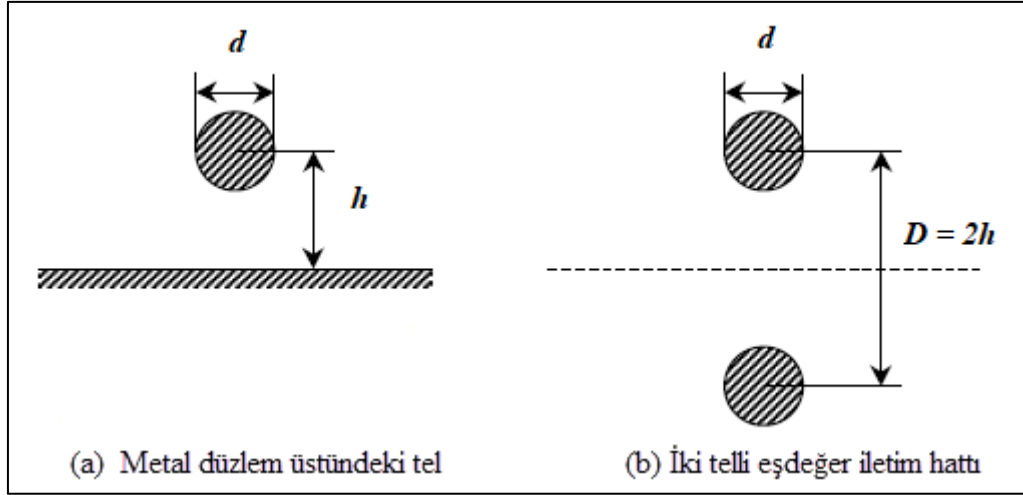
7.1. Telsiz Haberleşme Sistemlerinde Yıldırım Atlaması ve Topraklama Eksikliğinden Kaynaklanan Arızalar

Mardin’de bir devlet kurumunda telsiz haberleşme sistemindeki arızası incelenmiştir. Yıldırım boşalmasından sonra telsiz sistemlerinde arızalar olmuştur. Mevcut durumda yıldırım koruma topraklaması ile zayıf akım ve AG topraklamalarının ayrı ayrı çubuklarla yapıldığı gözlenmiştir. Öncelikle aşağıdaki benzetim ve hesaplama çalışmalarının kapsamında, topraklama için kullanılan çubukların yaklaşık 20 mm çapında ve 1 metre uzunluğunda olduğu, çubukların gömüldüğü toprağın killi-humuslu ve kayalık şeklinde olduğu ve çubuklar arası mesafenin de 20 metre olduğu dikkate alınmıştır.



Şekil 7.1. Zayıf akım ve yıldırım koruma topraklama sistemlerine ait elektrotlar

Yıldırım deşarjında toprağın dielektrik gibi davrandığı kabul edilerek; kondansatör, bobin ve karakteristik empedans modellemesi [50] ve hesabı yapılırsa;



Şekil 7.2. Metal düzlemin üstündeki tel – iki telli eşdeğer iletim hattı

Birinci darbenin akım tepe değeri için yükselme zamanı 50kA/10µs ve geri kalan darbeler için (tekrarlanan) 25 kA/0.5 µs olsun.

$$\tau_1 = 10 \mu s \Rightarrow f_1 = 1/\tau = 1/10 \cdot 10^{-6} = 0,1 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 0,1 \text{ MHz} \quad (7.1)$$

$$\tau_2 = 0,5 \mu s \Rightarrow f_2 = 1/\tau = 1/0,5 \cdot 10^{-6} = 2,0 \cdot 10^6 \text{ Hz} = 2 \text{ MHz} \quad (7.2)$$

$A = 0,5\text{m}^2$, $d = 20$ metre, killi toprağın dielektrik katsayısı tablodan [51];

$$\epsilon_r = 2,3 ; \epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$$

Toprak ve (yaygın) tortu kaya için bağıl manyetik geçirgenlik katsayısı tablodan [52];

$$\mu_r = 1,0006 \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ N/A}^2 \quad \mu = \mu_0 \mu_r$$

$$\epsilon = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r$$

Bağıl manyetik geçirgenlik; μ_r

Magnetik geçirgenliğin dielektrik geçirgenlik (sabitine) oranının karekökü bize öz empedans η (eta)'yı verir [53].

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_r \mu_0}{\epsilon_r \epsilon_0}} \quad (7.3)$$

η : Dielektrik ortamda ilerleyen (düzlem) dalga için öz empedans, Ω

μ : Magnetik geçirgenlik, H/m

ε : Dielektrik sabiti, F/m

$$\eta = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} ; \eta = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_r \mu_o}{\varepsilon_r \varepsilon_o}} \quad (7.4)$$

$$\mu_o = 4 \times 10^{-7} N/A^2, \quad \mu_r = 1,0006, \quad f_1 = 100 \text{ kHz}$$

$$\varepsilon_{rkil} = 2,3,$$

$$\varepsilon_o = 8,854 \cdot 10^{-12} F/m$$

Önceki bölümlerde belirtildiği üzere, toprak yıldırım darbesine maruz kaldığında transmisyon hattı gibi tepki gösterip, yüksek gerilim baskısı altında dielektrik gibi davrandığından hareketle, sistem parametreleri hesaplanırsa [54];

$$C = \frac{\pi \varepsilon_o \varepsilon_r}{\cosh^{-1}(2h/d)}$$

$$L = \frac{\mu_o}{\pi} \cosh^{-1}(2h/d)$$

$$C = \frac{\pi \varepsilon_o \varepsilon_r}{\cosh^{-1}(2h/d)} = \frac{3,14 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12} \cdot 2,3}{\cosh^{-1}(2 \cdot 20/0,02)} = \frac{63,9436 \cdot 10^{-12}}{\cosh^{-1}(2000)} = \frac{63,9436 \cdot 10^{-12}}{8,2941} =$$

$$C = 7,7096 \text{ pF/m}$$

$$L = \frac{\mu_o}{\pi} \cosh^{-1}\left(\frac{2h}{d}\right) = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{\pi} \cosh^{-1}\left(2 \cdot \frac{20}{0,02}\right) = 4 \cdot 10^{-7} \cdot 8,2941$$

$$= 33,1764 \cdot 10^{-7} \Rightarrow L = 331,764 \mu H$$

Sistem empedansı için aşağıdaki bağıntı kullanılırsa [55];

$$Z_o = \frac{120}{\sqrt{\varepsilon_r}} \cosh^{-1}(2h/d) = \frac{120}{\sqrt{2,3}} \cosh^{-1}(2 \cdot 20/0,02) = 79,1257 \cdot 8,2941 = 656,28 \Omega$$

$f_1 = 100 \text{ kHz}$ için

$$\frac{\sigma}{\omega_\varepsilon} = \frac{\frac{1}{150}}{2\pi \cdot 10^5 \cdot 2,3 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = \frac{\frac{1}{150}}{1,2795 \cdot 10^{-5}} = \left(\frac{1}{150}\right) \cdot 78154,282 = 521,0286$$

$$|\eta| = \frac{\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}}{[1 + (521,0286)^2]^{1/4}} = \frac{\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}}{22,826} = \frac{\sqrt{\frac{\mu_r \mu_0}{\varepsilon_r \varepsilon_0}}}{22,826} = \frac{\sqrt{\frac{1,0006 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{2,3 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}}}}{22,826}$$

$$|\eta| = \frac{\sqrt{\frac{1,0006 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{2,3 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}}}}{22,826} = \frac{248,486}{22,826} = 10,8861 \Omega$$

$f_2 = 2 \text{ Mhz}$ için,

$$\frac{\sigma}{\omega_\varepsilon} = \frac{\frac{1}{150}}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^6 \cdot 2,3 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = \frac{\frac{1}{150}}{2,559 \cdot 10^{-4}} = \left(\frac{1}{150}\right) \cdot 3907,714 = 26,05$$

$$|\eta| = \frac{\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}}{[1 + (26,05)^2]^{1/4}} = \frac{\sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}}}{[679,6025]^{1/4}} = \frac{\sqrt{\frac{\mu_r \mu_0}{\varepsilon_r \varepsilon_0}}}{5,1058} = \frac{\sqrt{\frac{1,0006 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{2,3 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}}}}{5,1058}$$

$$|\eta| = \frac{\sqrt{\frac{1,0006 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}}{2,3 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}}}}{5,1058} = \frac{248,486}{5,1058} = 48,6674 \Omega$$

Dalga zayıflaması hesaplanacak olursa;

$f_1 = 100 \text{ kHz}$ için,

$$\alpha = 2\pi f \sqrt{\frac{\mu\varepsilon}{2} \left[\left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega_\varepsilon} \right)^2} \right) - 1 \right]} = 2\pi f \sqrt{\frac{\mu_r \mu_0 \varepsilon_r \varepsilon_0}{2} \left[\left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega_\varepsilon} \right)^2} \right) - 1 \right]}$$

$$\alpha = 2\pi f \sqrt{\frac{1,0006 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,3 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}}{2}} \left[\left(\sqrt{1 + (521,03)^2} \right) - 1 \right]$$

$$\alpha = 2\pi f \sqrt{\frac{1,0006 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,3 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}}{2}} [520,03] = 0,0513$$

$f_2 = 2 \text{ Mhz}$ için,

$$\alpha = 2\pi f \sqrt{\frac{\mu\varepsilon}{2} \left[\left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon} \right)^2} \right) - 1 \right]} = 2\pi f \sqrt{\frac{\mu_r\mu_0\varepsilon_r\varepsilon_0}{2} \left[\left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon} \right)^2} \right) - 1 \right]}$$

$$\alpha = 2\pi \cdot 2 \cdot 10^6 \sqrt{\frac{1,0006 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2,3 \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}}{2}} \left[\left(\sqrt{1 + (26,05)^2} \right) - 1 \right]$$

$$\alpha = 2\pi \cdot 2 \cdot 10^6 \sqrt{\frac{2,5606 \cdot 10^{-17}}{2}} [25,07] = 0,22514$$

Deri etkisi dikkate alınarak zayıflama hesabı yapılırsa;

$$\delta = \frac{1}{\alpha_{dielektrik}} = (k^2 \tan(\delta))/2 k$$

$$1/\alpha = \frac{1}{\omega\sqrt{\mu\varepsilon}} \cdot \frac{1}{\left\{ \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon} \right)^2} - 1 \right] \right\}} 2\pi f \sqrt{\frac{\mu\varepsilon}{2} \left[\left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon} \right)^2} - 1 \right) \right]} =$$

$$2\pi f \sqrt{\frac{\mu_r\mu_0\varepsilon_r\varepsilon_0}{2} \left[\left(\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon} \right)^2} - 1 \right) \right]}$$

$$\delta = \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{\omega\sqrt{\mu\varepsilon} \left\{ \frac{1}{2} \left[\sqrt{1 + \left(\frac{\sigma}{\omega\varepsilon} \right)^2} - 1 \right] \right\}^{1/2}} m [14]$$

$$\delta = \frac{1}{\alpha_{dielektrik}} = (k^2 \tan(\delta))/2 k$$

$$\delta = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu_0 f}}$$

$$\rho = 150 \Omega m$$

$$\mu_0 = 4 \times 10^{-7} N/A^2$$

$$\mu_r = 1,0006$$

$$f_1 = 100 kHz$$

$$f_2 = \frac{1}{0,5 \mu s} = 2 MHz$$

$$\delta_1 = \sqrt{\frac{150}{\pi \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} 0,1 \cdot 10^6}} = 34,54$$

$$\delta_2 = \sqrt{\frac{150}{\pi \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} 2 \cdot 10^6}} = 7,73$$

Efektif dielektrik sabiti ε_{eff} [56];

$$\varepsilon_{eff}(kil) = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12h/w}}$$

$$\varepsilon_{eff}(kil) = \frac{2,3 + 1}{2} + \frac{2,3 - 1}{2\sqrt{1 + 12 \cdot 20/0,7}} = 1,685$$

Dielektrik kaybı hesabı için aşağıdaki ifade kullanılabilir [57]

$$\alpha_{dielektrik}(f) = k_0 \tan(\delta) \sqrt{k_0}$$

$$\alpha_{dielektrik} = (k^2 \tan(\delta))/2 k$$

$$\alpha_{dielektrik}(f = 0,1 \text{ MHz}) = 2,3 \tan(34,54) \sqrt{2,3} = 2,383 \text{ dB/inch}$$

$$\alpha_{dielektrik}(f = 2 \text{ MHz}) = 2,3 \tan(7,73) \sqrt{2,3} = 9,968 \text{ dB/inch}$$

$$1 \text{ metre} = 39,37 \text{ inch} \Rightarrow 2,383/39,37 = 0,0605$$

$$9,968/39,37 = 0,2532$$

$$\alpha_{dielektrik}(f = 0,1 \text{ MHz}) = 2,383 \text{ dB/inç} = 0,0605 \text{ dB/metre}$$

$$\alpha_{dielektrik}(f = 2 \text{ MHz}) = 9,968 \text{ dB/inç} = 0,2532 \text{ dB/metre}$$

Hesaplanan değerler daha önce bulunan sonuçlara çok yakın olduğundan,

$$\alpha_{dielektrik}(f = 2 \text{ MHz}) = 9,968 \frac{\text{dB}}{\text{inch}} = 0,2532 \frac{\text{dB}}{\text{metre}}$$

Bulunan değerlerden zayıflama oranını $d = 20$ metre için hesaplayalım;

$$10^{\left(\frac{-\alpha \cdot d}{20}\right)} \Rightarrow$$

$$f_1 = 100 \text{ kHz için } 10^{\left(\frac{-\alpha \cdot d}{20}\right)} = 10^{\left(\frac{-0,0605 \cdot 20}{20}\right)} = 0,2483$$

$$f_2 = 2 \text{ MHz için } 10^{\left(\frac{-\alpha \cdot d}{20}\right)} = 10^{\left(\frac{-0,2532 \cdot 20}{20}\right)} = 0,5582$$

Dalga zayıflama oranını $d = 40$ metre için hesaplayalım,

$$f_1 = 100 \text{ khz için } 10^{\left(\frac{-\alpha \cdot d}{20}\right)} = 10^{\left(\frac{-0,0605 \cdot 40}{20}\right)} = 0,0617$$

$$f_2 = 2 \text{ Mhz için } 10^{\left(\frac{-\alpha \cdot d}{20}\right)} = 10^{\left(\frac{-0,2532 \cdot 40}{20}\right)} = 0,3116$$

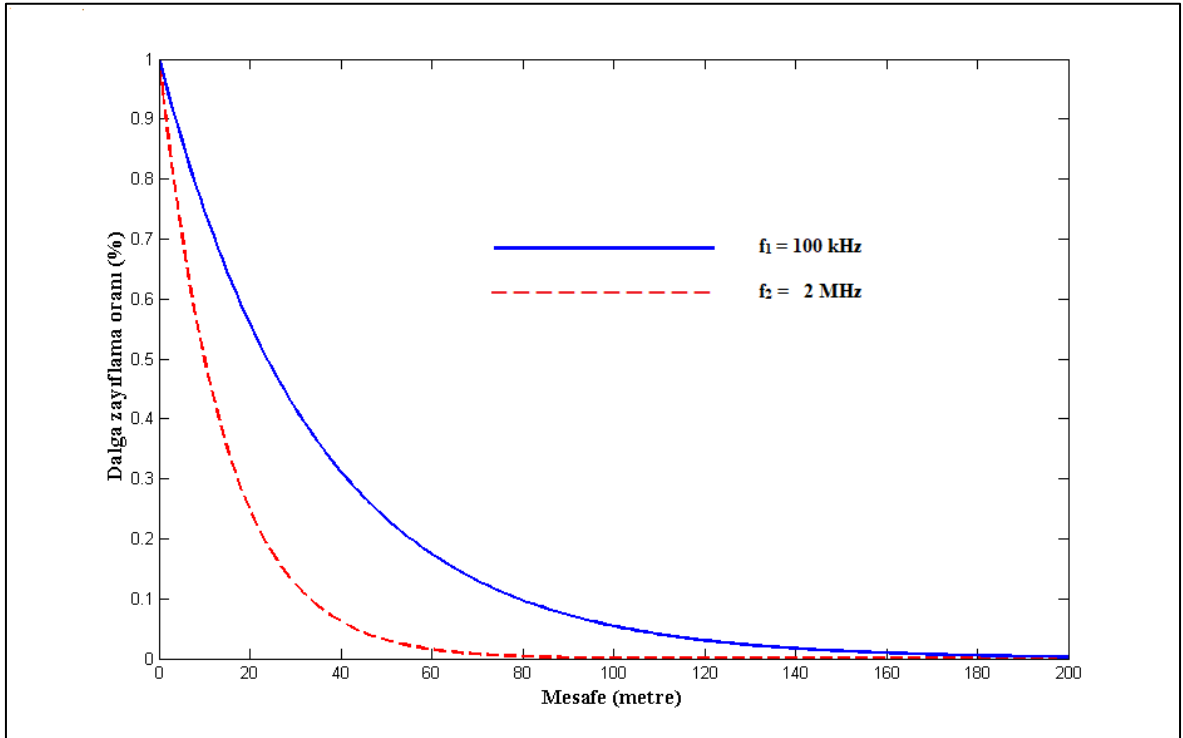
Topraklayıcıdan uzaklaştıkça gelen yıldırım darbesinin zayıflaması MATLAB programı kullanılarak aşağıdaki gibi grafiğe aktarılmıştır.

D = 200 m % olarak mesafede dalga zayıflaması

```
x=0:1:200; y1=10.^(-.605*x/20);
```

```
y2=10.^(-.2532*x/20);
```

```
figure, plot(x,y1,x,y2);
```



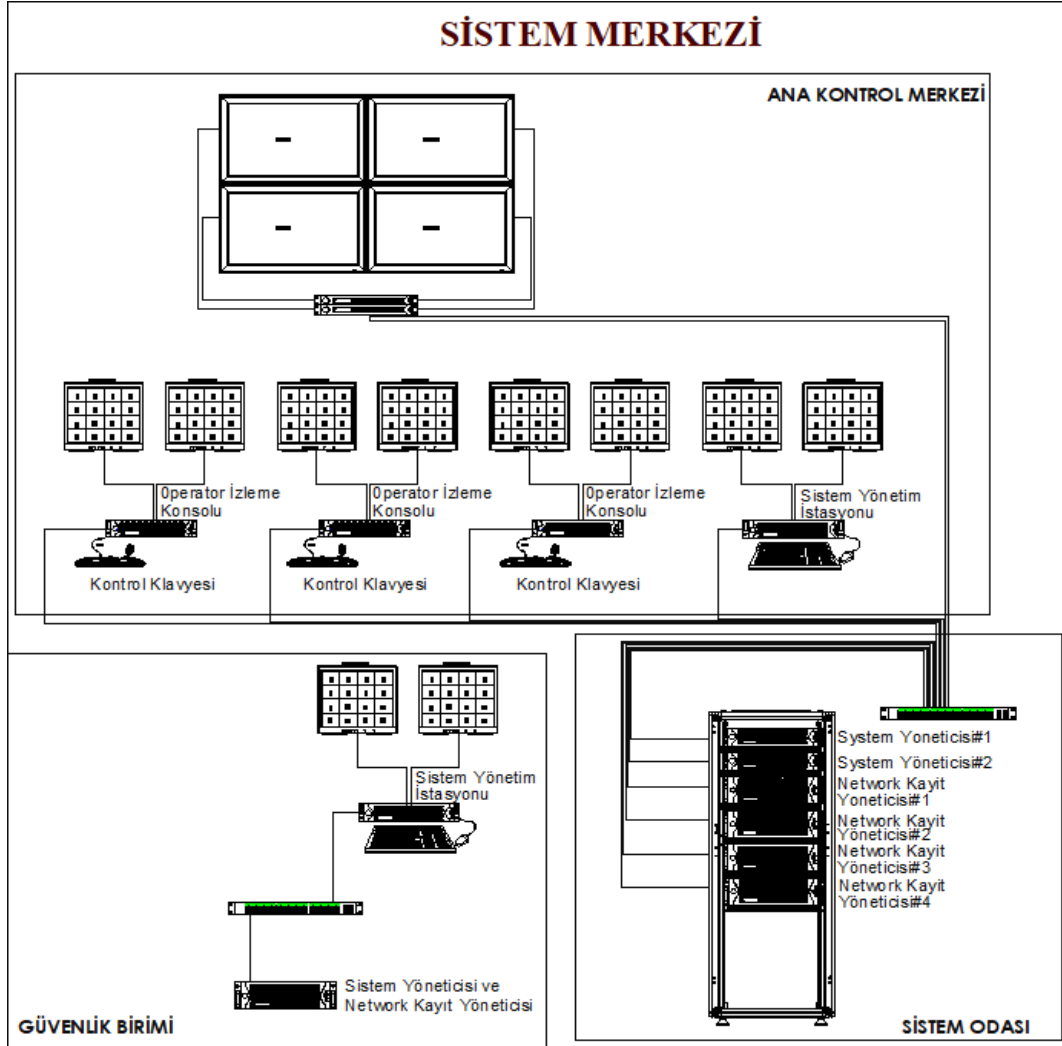
Şekil 7.3. Topraklayıcıdan uzaklaştıkça gelen yıldırım darbesinin zayıflaması Matlab benzetimi

7.2. Gümrük Kapısı Hizmet Binaları, Ticari Tesisler İle Ek Yapıları Topraklama Tesisatı Topraklama Geçiş Direnci Hesaplama, Ölçüm ve Karşılaştırması

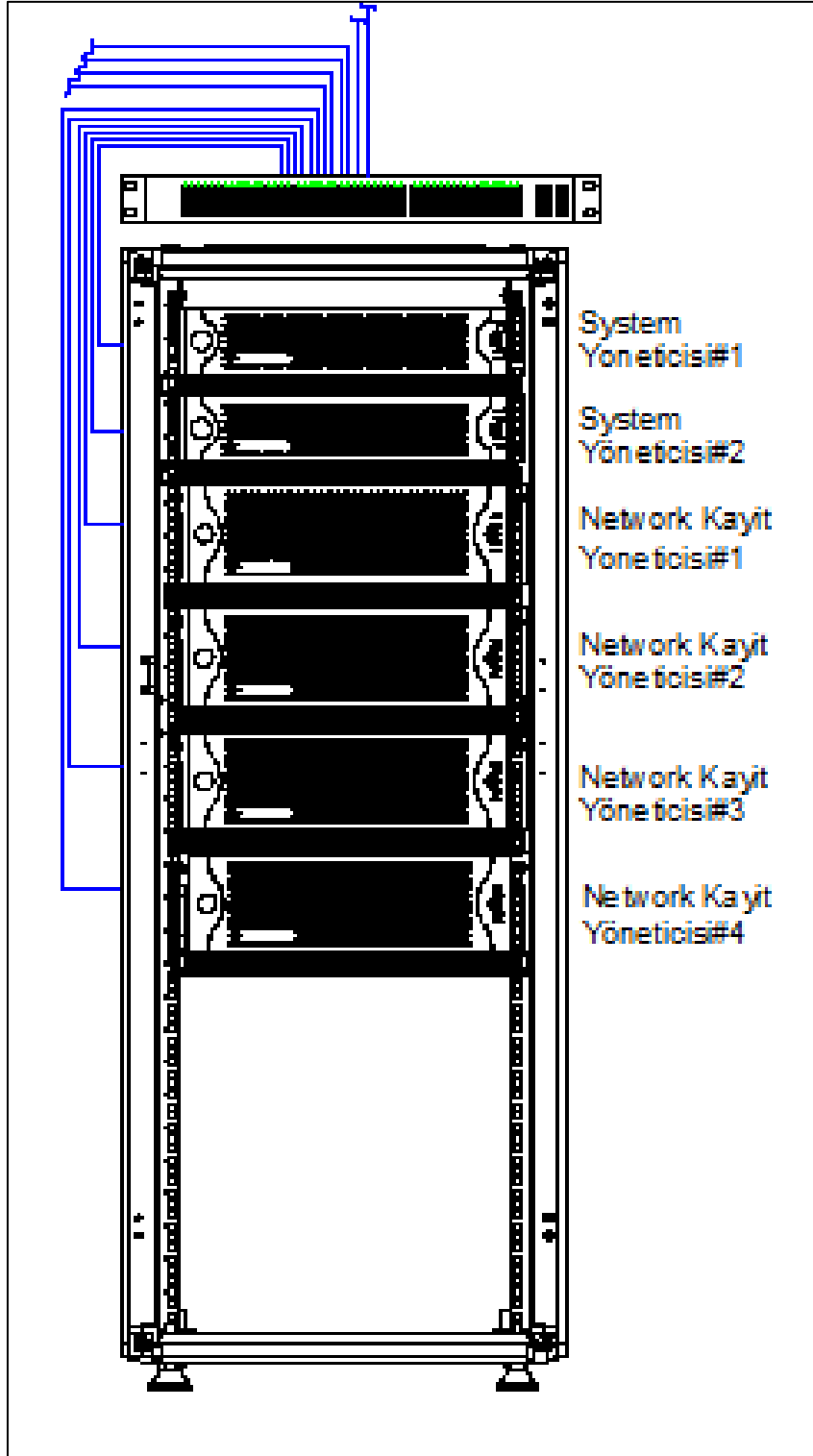
7.2.1. Ana kontrol merkezi ve sistem odası

Mardin İli Nusaybin İlçesinde bulunan Yeni Gümrük Kapısı Hizmet Binaları, Ticari Tesisler İle Ek Yapıları'nda topraklama tesisatları her münferit bina (ve birim) için ayrı ve müstakil bir şekilde tesis edilmiştir. Mevcut bina ve tesisleri içeren, kampüs gibi kabul edebileceğimiz müştemilatın etrafı yüksek duvarlar ve tel örgülerle çevrili olup çevreden soyutlanmış biçimde inşası tamamlanmıştır. Bütün bina ve tesislerin, data, telefon, CCTV Kamera ve

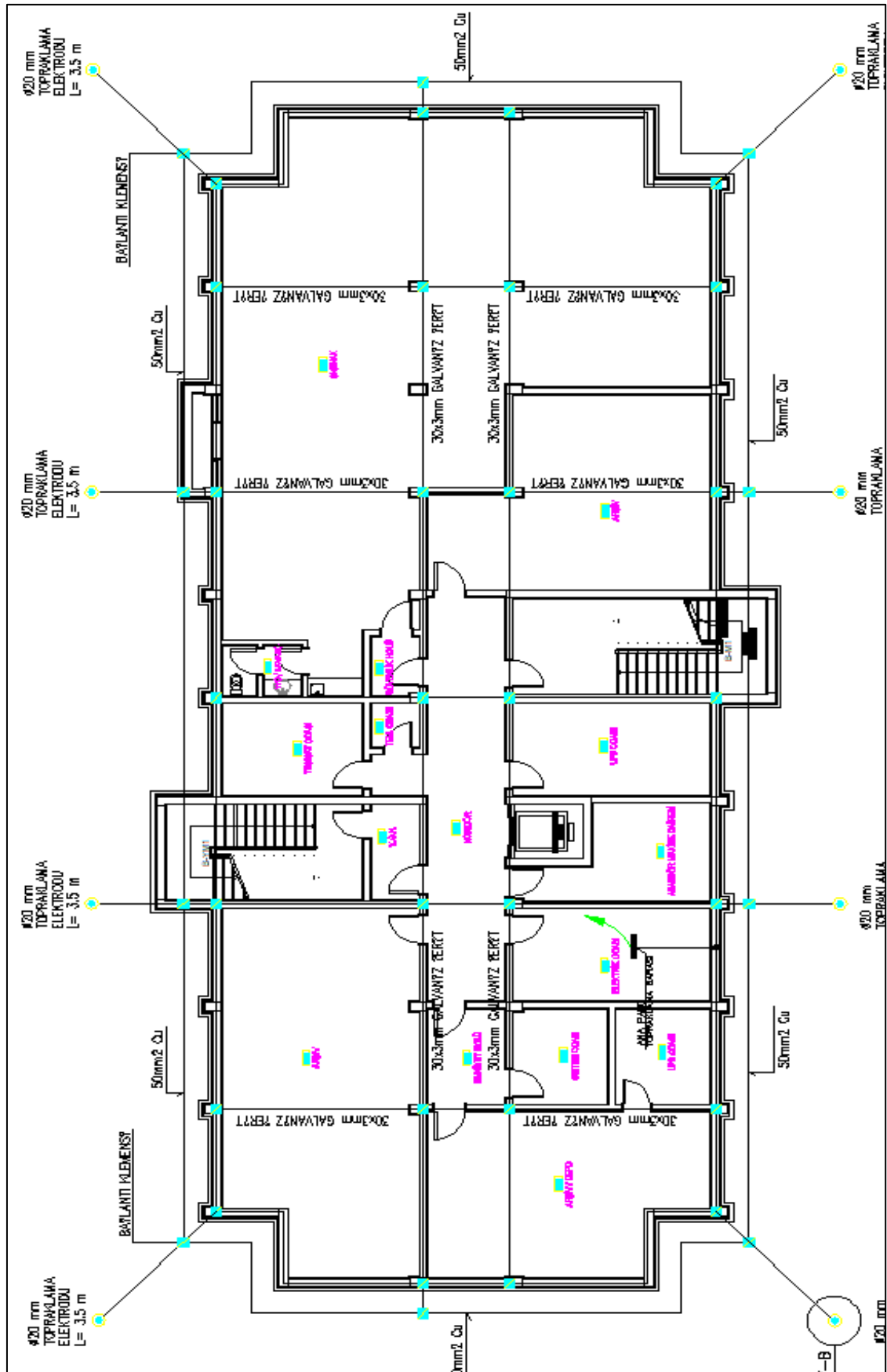
görüntü sistemleri gibi zayıf akım tesisatları B-Blok olarak adlandırılan idari binada 1.nci katta bulunan sistem odasında toplanmış olup, müştemilatın beyni gibi kabul edilmektedir.



Şekil 7.4. Merkezi data ve bilgi işlem omurga birleşim noktası, güvenlik kameraları, yangın ihbar, acil anons – ses yayın, plaka okuma, IP telefon, otomatik bariyer ve kartlı geçiş sistemleri ana kontrol merkezi



Şekil 7.5. Merkezi data ve bilgi işlem omurga birleşim noktası, güvenlik kameraları, yangın ihbar, acil anons – ses yayın, plaka okuma, IP telefon, otomatik bariyer ve kartlı geçiş sistemleri ana kontrol merkezi patch panel ve serverların bulunduğu rack kabin



Şekil 7.6. Gümrük kapısı B-blok temel topraklaması planı

7.2.2. Topraklama hesabı

Toprak Yapısı: Humuslu-killi $\rho_E = 100 \text{ } \Omega\text{m}$ olarak alınmıştır.

Eşdeğer topraklama direnci hesabı aşağıdaki gibi yapılmıştır.

ρ_E : Toprak Özgül Direnci = $100 \text{ } \Omega\text{m}$

I_{Cu} : Cu İletken (İhata) Uzunluğu ($50\text{mm}^2 \text{ Cu}$) = 118,76 m

I_{gal} : Galvanizli Şerit Uzunluğu = 288,98 m

D : İhata İletken Ağı Çapı (Eşdeğer Alan)

h : Topraklama Çubuk (Elektrot üst nokta) Gömülme Derinliği (Zemin Yüzeyinden) = 0,5 m

l_ζ : Çubuk Boyu = 3,5 m

I_s : Çubuk Sayısı = 8 adet

R_y : Yatay Topraklama Eşdeğer Direnci = $R_{E1} + R_{E3}$

R_ζ : Dikey Topraklama (Çubukları) Eşdeğer Direnci : R_{E2}

R_e : Toplam Topraklama Eşdeğer Direnci

D = Eşdeğer Çap (m)

Topraklama ağının hesabı :

$50 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ Ağın Toplam İletken Uzunluğu : $2 \times (39,24+2+16,14+2) = 118,76 \text{ metre}$

A : Topraklayıcının (İhata İletkeni $50\text{mm}^2 \text{ Cu}$) Çevrelediği Alan = $18,14 \times 41,24 = 748,09 \text{ m}^2$

$50 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$ iletken çapı = $8 \text{ mm} = 0,08 \text{ m}$

Galvanizli şerit (30x3 mm) temel topraklaması toplam iletken uzunluğu :

$$lgş = (4 \times 34,64 + 7 \times 16,14 + 4 \times 3,76 + 4 \times 5,10 + 2 \times 1,0) = 288,98 \text{ metre galvanizli şerit } 30 \times 3 \text{ mm.}$$

D = Eşdeğer çap (m) hesaplanırsa;

$$D = 2 \times \sqrt{\frac{A}{\pi}} = 2 \times \sqrt{\frac{748,09}{3,14}} = 2 \times \sqrt{238,3} = 2 \times 15,44 = 30,88 \text{ m}^2$$

Topraklama İhata İletkeni Geçiş Direnci:

$$\text{Bakır (50 mm}^2 \text{ Cu) İletken Geçiş Direnci : } R_{E1} = \frac{\rho_E}{\pi l} \ln \frac{2l}{d}$$

$$\text{Bakır (50 mm}^2 \text{ Cu) İletken Geçiş Direnci : } R_{E1} = \frac{100}{3,14 \times 118,76} \ln \frac{2 \times 118,76}{0,08} =$$

$$0,268 \times \ln 2969 = 0,268 \times 7,996 = 2,144 \Omega$$

Topraklama Elektrotları Geçiş Direnci:

$$\text{Tek çubuk için geçiş direnci : } R_{E2tek} = \frac{\rho_E}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d}$$

$$R_{E2tek} = \frac{100}{2 \times \pi \times 3,5} \ln \frac{4 \times 3,5}{0,02} = 4,5496 \times \ln 700 = 4,5496 \times 6,55 = 29,7998 \Omega$$

$$\text{Çubuk sayısı 8 olduğundan, } R_{E2} = 29,7998/8 = 3,725 \Omega$$

$$\text{Temel Topraklayıcı Galvaniz Şerit Geçiş Direnci : } R_{E3} = \frac{2\rho_E}{\pi D}$$

$$R_{E3} = \frac{2\rho_E}{\pi D} = \frac{2 \times 100}{\pi \times 30,88} = 2,063 \Omega$$

$$\text{Topraklama Direnci : } \frac{1}{R_{eş}} = \frac{1}{R_{E1}} + \frac{1}{R_{E2}} + \frac{1}{R_{E3}} \Rightarrow R_{eş} = \frac{1}{X}$$

$$\frac{1}{R_{eş}} = \frac{1}{2,144} + \frac{1}{3,725} + \frac{1}{2,063} = 0,466 + 0,268 + 0,485 = 1,2196 \Rightarrow$$

$$\frac{1}{Reş} = 1,2196 \Rightarrow Reş = 0,8199 \Omega$$

Ağ ve çubukların eşdeğer direnci ve karşılıklı yok etme etkisi göz önüne alınarak %10 düzeltme katsayısı kullanılır.

Topraklama Sisteminin Hesaplanan Eşdeğer Direnci :

$$R'eş = k \times Reş = 1,1 \times 0,8199 = 0,902 \Omega$$

7.2.3. Topraklama hesabı ve ölçüm değerlerinin karşılaştırılması

Hesaplanan Topraklama sistemi geçiş direnci ile ölçülen geçiş direnci karşılaştırılırsa;

Ölçüm yapılarak elde edilen geçiş direnci değeri: 0,99 Ω ; 0,95 Ω ; 1,05 Ω (Ref: 6 Nolu Saha aydınlatma direği, aydınlatma panosu ve B-Blok sistem odası priz ve sistem odası besleme panosu; 0,99 Ω ; 0,95 Ω ; 1,05 Ω)

$$0,99 - 0,902 = 0,088 \Rightarrow 0,088/0,902 = 0,0976 \Rightarrow 0,0976 \times 100 = \%9,756 \approx \%10$$

Sonuç olarak hesaplanan topraklama geçiş direnci ile ölçülen topraklama geçiş direnci arasındaki fark %9,756 olup, fark %10'dan düşük ($\leq$) olduğundan ölçüm ve hesaplamaların doğruluğunu sağlamaktadır.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Elektronik, Haberleşme ve Bilgi İşlem Sistemlerinin mevcut olduğu bina, tesis, işletme ve benzeri binalarda, yüksek gerilim, alçak gerilim ve zayıf akım topraklamaları ile yıldırım koruma topraklamaları arasında en az 20 metre mesafe olması tavsiye edilmektedir. Tez çalışmasında yapılan hesaplarda yaygın olarak rastlanan ve literatürde kullanılan farklı iki yıldırım darbesinin toprakta 80 metre ve 180 metreye kadar yayıldıktan sonra etkisini kaybettiği gözlemlenmiştir.

Bu mesafelerin toprağın fiziksel, kimyasal ve zirai özellikler ile katman yapısı gibi etkenlere göre de değişebileceği kabul edilmelidir. Dolayısıyla aşırı gerilimlere karşı hassas olan elektronik kartlar ve devrelerden oluşan elektronik iletişim ve bilgi işlem sistemlerinin arızalardan etkilenmemesi için başta yıldırım topraklama sistemleri ile yüksek gerilim, AG ve zayıf akım topraklamaları birleştirilmeyecek ise, uygun uzaklıktaki konumlara yerleştirilmesi gerekmektedir. Topraklayıcıların yerleştirileceği emniyetli mesafelerin tespiti için tezde yapılan hesaplar referans olarak kullanılabilir.

Bir diğer husus olarak; geniş beton alanlardan oluşan tesis ve binalarda, topraklama ölçüm kazıklarının toprağa ulaştırmak, uzun mesafe nedeniyle mümkün olmadığından, nötr ve koruma topraklama uçları arasındaki gerilim ölçülerek, topraklama tesisatı ile ilgili fikir sahibi olmaya çalışmak alternatif bir yöntem olarak önerilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Kaşıkçı, İ. (2002). *Elektrik tesislerinde topraklama yönetmeliği uygulama kitabı*. İzmir: Elektrik tesisat Mühendisleri Derneği Yayınları, 67.
2. Bayram, M. (2000). *Elektrik tesislerinde topraklama*. İstanbul: Birsen Yayınevi, 124.
3. Tagg, G. F. (1964). *Earth resistance*, London: London George Newnes Limited, 4, 78, 178.
4. IEEE Standards Board (2012). IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, *Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System*. ANSI/IEEE Std 81-1983, 8-9.
5. Lorentzou, M. I., Hatziargyriou, N. D., Manos, G. A. and Sietis, T. (2004). *Integrated grounding system of windfarms for lightning and fault protection*. In Proceedings of the 4th Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission and Distribution, Medpower.
6. Font, A., Kalenderli, Ö. and Günden, S. (2016). Rüzgar Türbinleri için topraklama ağı tasarımı. *Elektrik Mühendisleri Odası Bilimsel Dergi*, 6(11), 13-19.
7. İnternet: Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği (2001). URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https:%3A%2F%mevzuat.gov.tr/Metin.Aspix?MevzuatKod=7.5.10392&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch%2F3557816+&date=2019-09-18>, Son Erişim Tarihi: 07.09.2019.
8. Akhunlar, A. (1965). *Elektroteknik*, Ankara: Elektrik Mühendisleri Odası, Anılara Saygı Serisi, Eylül 2015, 532.
9. Kalenderli, Ö., Şentürk, E. ve Öztürk, İ. O. (2003). *Bir çubuk topraklayıcı çevresinde potansiyel dağılımının sonlu farklar yöntemi ile hesabı*, Elektrik -Elektronik - Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi.
10. Gonos, I. F., Antonioy, M. K., Topalis, F. V., and Stathopoulos, I. A. (1998). *Behaviour of a grounding system under impulse lightning current*. In *Proceedings of the 6th, International Conference on Optimization of Electrical and Electronic Equipments*, Athens, Greece. (1), IEEE, 171-174.
11. Melipoulos, A. P. S., Xia, F., Joy, E. B. and Cokkinides, G. J. (1993). An advanced computer model for grounding system analysis. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 8(1), 13-23.
12. Kumar, D., Zare, F. and Ghosh, A. (2017). DC microgrid technology: System architectures, AC grid interfaces, grounding schemes, power quality, communication networks, applications, and standardizations aspects. *IEEE Access*, Denver, USA. (5), 12230-12256.
13. Katipoğulları, O. ve Hocaoglu, (2013). *Toprak empedans ve direnç ölçme metotlarının karşılaştırılması*. Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi. İstanbul.

14. Military Handbook (2003), *Grounding 419A, Bonding, and shielding for electronic equipments and facilities*, Volume I of 2 Volumes Basic Theory Department of Defense Washington, USA: DC 20301, 2-16, 2-48.
15. Kijima, H. (2008). *Several test results on earthing-resistance-estimation instrument*. In Proceedings of the 3rd IASME/WSEAS international conference on Energy & environment. World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), 113-117.
16. Meliopoulos, S. (2010). *Testing and Evaluation of Grounding Systems: The Revision of the IEEE Std 81*. IEEE Industry Applications Society – Atlanta Chapter, 18.
17. Jones, P. (2001). *Electrical measurement of large area substation earth grids*, Ph. D. Thesis, University of Wales. Swansea, 130.
18. Merdan, M. (2015). *Electromagnetic shielding course offered*. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mühendislik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği, Ders Notları, 52.
19. Birchal, M. A. S., Vale, M. H. M. and Visacro, S. (2005). *PENCAPS : A parallel application for electrode encased grounding systems project*. In International Conference on High-Performance Computing. Springer, Berlin, Heidelberg, 162.
20. İnternet: Earthing Fundamentals Lightning & Surge Technologies URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https:%3A%2F%lightningman.com.au/Earthing.pdf%2F3557717+&date=2019-09-17>, Son Erişim Tarihi: 01.03.2018.
21. Şişman, C.B., Kocaman, İ. ve Gezer, E. (2006). Tekirdağ yöresinde üretilen ve tarımsal yapılarda yaygın olarak kullanılan tuğlanın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine bir araştırma. *JOTAF/Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 3(1), 32-40.
22. Şimşek, G. (1993). *Toprak etüt ve haritalama*. Erzurum: Erzurum Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 95.
23. Ergene, A. (1987). *Toprak biliminin esasları*. Erzurum: Erzurum Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No: 289, 47.
24. Dizdar, M.Y. (1991). *Uygulama için toprak bilgisi*. T.O.K.B. Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Etüt Proje Başkanlığı, Ankara.
25. Ekmeyapar, T. ve Örüng, İ. (1993). *İnşaat malzeme bilgisi*. Erzurum Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Yayınları, 55.
26. Sarıfakioğlu, F. (1987). *Trakya'da toprak sanayinde çevre ile uyumlu potansiyel hammadde alanlarının belirlenmesi projesi*. Çevre Bakanlığı, Çevre Koruma Genel Müdürlüğü, Ankara.
27. Yıldırım, M. (1996). Toprak sanayinde ham madde sorunları, üretim ve üretim sonrası kalite kontrolleri. *Tuğla ve Kiremit Endüstrisi Dergisi*, 1(2), 20-27.
28. Köktürk, U. (1993). *Endüstriyel ham maddeler*. İzmir: İzmir 9 Eylül Üniversitesi Yayınları, 85.

29. Gürsoy, M. (2009). *Batı Anadolu'da yayılış gösteren bazı Muscari Miller türleri*. Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Ana Bilim Dalı, Manisa.
30. Laughton, M. A. and Warne, D. F. (2003). *Electrical engineer's reference book*, (16th Edition), New York: Newnes An Imprint of Elsevier Science. 1/20 – 29.
31. İnternet: Evcin, A. (2006). Afyonkarahisar Kocatepe Üniversitesi Mühendislik Kimyası Ders Notları, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https:%3A%2F%.nevoku.com/muhendislik-kimyasi-ders-notlari-sunum-muhendislik-kimyasi/viewdeck/cc29b375-e00e-402a-afb9-38992d6711f3557718+&date=2019-07-15>, Son Erişim Tarihi: 02.09.2019.
32. Ebbing, D. and Gammon, S. D. (2009). *General chemistry*. Cengage Learning. Boston, New York: Houghton Mifflin Company. 111.
33. Grcev, L. and Popov, M. (2005). On high-frequency circuit equivalents of a vertical ground rod. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 20(2), 1598–1603.
34. Sarmiento, H. G., Fortin, J. and Mukhedkar, D. (1984). Substation ground impedance: Comparative field measurements with high and low current injection methods. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, (7), 1677-1683.
35. Fujita, Y., Ametani, A., Nakamura, K. and Yamabuki, K. (2014). A study of mutual coupling between vertical grounding electrodes. *Electrical Engineering in Japan*, 188(1), 36–45.
36. Zeng, R., He, J., Wang, Z., Gao, Y., Sun, W. and Su, Q. (2000). *Analysis on influence of long vertical grounding electrodes on grounding system for substation*. In PowerCon 2000. 2000 International Conference on Power System Technology. Perth, WA Australia. Proceedings (Cat. No. 00EX409), IEEE, 1480.
37. Beck, Y. and Braunstein, A. (2016). *Lightning current distributions in a vertical earthing electrode*, Mediterranean Conference on Power Generation, Transmission, Distribution and Energy Conversion (MedPower 2016), Belgrade, Serbia. 80.
38. Khodr, H. M., e Moura, A. M. and Miranda, V. (2007). *Optimal design of grounding system in transmission line*. In 2007 International Conference on Intelligent Systems Applications to Power Systems (pp. 1-9), (ISAP 2007), Toki Messe, Niigata, Japan 1-9, 5-8 Nov. 2007.
39. Vijayaraghavan, G., Brown, M. and Barnes, M. (2004). *Practical grounding, bonding, shielding and surge protection*. New York: Butterworth-Heinemann, 121.
40. Kižlo, M. and Kanbergs, A. (2009). The causes of the parameters changes of soil resistivity. *Scientific Journal of Riga Technical University, Power and Electrical Engineering*, 25(25), 43-46.
41. Wenner, F. (1915). A method of measuring earth resistivity, *Bulletin of Bureau of Standards*, 12(3), Report No. 258, October 11, 23.

42. Malanda, S. C., Davidson, I. E., Singh, E. and Buraimoh, E. (2018). *Analysis of Soil Resistivity and its Impact on Grounding Systems Design*. In 2018 IEEE PES/IAS PowerAfrica Conference, Cape Town, South Africa IEEE, 324-329.
43. Djamel, I., Slaoui, F. H. and Georges, S. (2016). Transient response of grounding systems under impulse lightning current. *In Electric Power Quality and Supply Reliability (PQ)*, 2016, IEEE, 71-75.
44. Hatziargyriou, N. D. and Lorentzou, M. (1997). *Grounding systems design using EMTP*. In Proc. 23rd European EMTP Users Group Meeting, Barcelona, Spain, November 9-11. 10-15.
45. Stojkovic, Z., Nahman, J. M., Nahman, D. Salamon, and Bukorovic, B. (1998). Sensitivity analysis of experimentally determined grounding grid impulse characteristic, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 13(4), 1136–1143.
46. İnternet: İlisu, İ. Elektrik Tesislerinde Dolaylı Dokunmaya Karşı Topraklama, Elektrik Mühendisleri Odası Meslek İçi Sürekli Eğitim Merkezi, URL: <http://www.webcitation.org/query?url=https:%3A%2F%2Fweb.itu.edu.tr/ozverenf/documents/topraklama.pdf%2F3557717+&date=2019-09-11>, Son Erişim Tarihi: 15.01.2018.
47. Li, Z. X., Gao, K. L., Yin, Y., Zhang, C. X. and Ge, D. (2014). Numerical calculation for lightning response to grounding systems buried in horizontal multilayered earth model based on quasi-static complex image method. In *Computational and Numerical Simulations*. London: IntechOpen. 165.
48. Adak, S. ve Cangi, H. (2016). Fotovoltaik sistemde bulunan üç seviyeli diyot kenetlemeli eviricinin çıkış gerilimi toplam harmonik distorsiyonunun simulasyon ve analizi. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5(2), 242-253.
49. Derin, H. ve Aşkar, M. (1979). *İletişim kuramı modülasyon yöntemleri*. Ankara: Ortadoğu Teknik Üniversitesi Yayınları. 134.
50. Orta, R. (2012). *Lecture notes on transmission line theory*. Torino: Department of Electronics and Telecommunications Politecnico. 30.
51. İnternet: KROHNE Messtechnik GmbH, Dielektrik Katsayıları, <http://www.webcitation.org/query?url=https:%3A%2F%2Ftr.krohne.com/tr/hizmetler/dielektrik-katsayilari%2F3557718+&date=2019-09-17>, Son Erişim Tarihi: 12.02.2018.
52. Scott, J. H. (1983). *Electrical and magnetic properties of rock and soil*, Open-File Report No. 83-915. Colorado: US Geological Survey.
53. Hayt, W. H. and Buck, J. A. (2000). *Engineering electromagnetics*. (Sixth Edition), New York: McGraw Hill, 355, 398.
54. Pozar, D.M. (2011). *Microwave engineering*. (Fourth Edition), New Jersey: John Wiley & Sons, 128.
55. Bansal, R. (2006). *Fundamentals of electromagnetics*. Newark: CRC Press Taylor & Francis Group, 185.

56. Volakis, J.L. (2007). *Antenna engineering handbook*, (Fourth Edition), New York: McGraw Hill, 135.
57. Kumari, S. and Srivastava, S. (2013). Losses in waveguide and substrate integrated waveguide (SIW) For Ku Band: a comparison. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)*, 3(1), 53-57.

EKLER

Ek.1 Topraklama Geçiş Direnci Ölçüm Raporu

A- GENEL BİLGİLER

ÖLÇÜMÜ TALEP EDEN	Gümrük ve Turizm İşletmeleri Tic. A.Ş Ender İnşaat Ltd. Şti.
İLGİLİ KİŞİ	Hakan ORHUN
ÖLÇÜM YAPILAN YERİN ADRESİ	Nusaybin Sınır Kapısı
ÖLÇÜM TARİHİ	16.03.2012
HAVA DURUMU	Kapalı
TOPRAK DURUMU	Nemli

B- ÖLÇÜM BİLGİLERİ**ÖLÇÜM CİHAZI**

MARKA-MODEL	NIEAF-SMITT BV ERT-S EARTH RESISTANCE METER
SERİ NO	0747511
HATA SINIFI	±%2 IP50

ÖLÇÜM CİHAZININ KALİBRASYON BİLGİLERİ

KALİBRASYON YAPAN KURUM	ANADOLU KALİBRASYON..... LTD. ŞTİ.
KALİBRASYON ONAY TARİH ve SAYISI	07.03.2012
GEÇERLİLİK SÜRESİ	

C- ÖLÇÜM SONUÇLARI

SIRA NO	ÖLÇÜLEN NOKTA	a (m)	2.n.a	R ÖLÇÜLEN(Ω)	P (Ω.m)
1	1. Nolu Saha Aydınlatma Direği	5-15 m		0,19 <2	100-200Ω
2	2. Nolu Saha Aydınlatma Direği	5-15 m		0,65 <2	100-200Ω
3	3. Nolu Saha Aydınlatma Direği	5-15 m		0,73 <2	100-200Ω
4	4. Nolu Saha Aydınlatma Direği	5-15 m		0,68 <2	100-200Ω
5	5. Nolu Saha Aydınlatma Direği	5-15 m		0,66 <2	100-200Ω
6	6. Nolu Saha Aydınlatma Direği	5-15 m		0,62 <2	100-200Ω
7	7. Nolu Saha Aydınlatma Direği	5-15 m		0,67 <2	100-200Ω
8	8. Nolu Saha Aydınlatma Direği	5-15 m		0,34 <2	100-200Ω
9	1. Nolu Saha Ayd. Dir. Paratoner İnişi	5-15 m		0,32 <5	100-200Ω
10	2. Nolu Saha Ayd. Dir. Paratoner İnişi	5-15 m		0,63 <5	100-200Ω
11	4. Nolu Saha Ayd. Dir. Paratoner İnişi	5-15 m		0,67 <5	100-200Ω
12	5. Nolu Saha Ayd. Dir. Paratoner İnişi	5-15 m		1,59 <5	100-200Ω
13	6. Nolu Saha Ayd. Dir. Paratoner İnişi	5-15 m		0,99 <5	100-200Ω
14	8. Nolu Saha Ayd. Dir. Paratoner İnişi	5-15 m		0,39 <5	100-200Ω

Ek.1 (devam). Topraklama Geçiş Direnci Ölçüm Raporu

15	F-Blok (2.Nolu) Saha aydınlatma direği Aydınlatma panosu	5-15 m		0,64 <2	100-200Ω
16	Trafo İşletme Topraklaması	5-15 m		0,68 <2	100-200Ω
17	F-Blok Koruma Topraklaması	5-15 m		0,65 <5	100-200Ω
18	Jeneratör Şasi Topraklaması	5-15 m		0,7 <5	100-200Ω
19	8. Nolu Çevre aydınlatma direği	5-15 m		0,76 <2	100-200Ω
20	J-Blok (3.Nolu) Saha aydınlatma direği Menhol Toprak barası	5-15 m		0,71 <2	100-200Ω
21	(4.Nolu) Saha aydınlatma direği Aydınlatma panosu	5-15 m		0,68 <2	100-200Ω
22	A1 Bina içi Toprak iletkeni	5-15 m		0,48 <2	100-200Ω
23	Galvanizli kablo kanalı	5-15 m		0,66 <5	100-200Ω
24	Su deposu 2 (Gömülü)	5-15 m		0,70 <2	100-200Ω
25	Paket arıtma pompa galvanizli kablo kanalı	5-15 m		0,74 <2	100-200Ω
26	14. Nolu Çevre aydınlatma direği	5-15 m		0,76 <2	100-200Ω
27	Suriye Giriş Kapısı (H-Blok) Dağıtım Panosu	5-15 m		1,41 <2	100-200Ω
28	(H-Blok) Peron Topraklama Barası	5-15 m		0,66 <2	100-200Ω
29	19. Nolu Çevre aydınlatma direği	5-15 m		0,67 <2	100-200Ω
30	Bayrak direği	5-15 m		0,69 <5	100-200Ω
31	20. Nolu Çevre aydınlatma direği	5-15 m		0,66 <2	100-200Ω
32	(5.Nolu) Saha aydınlatma direği Aydınlatma panosu	5-15 m		0,66 <2	100-200Ω
33	K-Blok Ortak Topraklama Barası	5-15 m		0,68 <2	100-200Ω
34	L-Blok Peronlar Ortak Topraklama Barası	5-15 m		0,61 <2	100-200Ω
35	(6.Nolu) Saha aydınlatma direği Aydınlatma panosu	5-15 m		0,99 <2	100-200Ω
36	B-Blok Priz Topraklaması	5-15 m		0,95 <2	100-200Ω
37	B-Blok İç aydınlatma Panosu	5-15 m		1,05 <2	100-200Ω
38	C-Blok (X-RAY Binası) Cihaz Şase	5-15 m		0,21 <2	100-200Ω
39	7.Nolu Saha aydınlatma direği	5-15 m		0,67 <2	100-200Ω
40	7.Nolu Saha aydınlatma direği Aydınlatma panosu	5-15 m		0,68 <2	100-200Ω
41	34. Nolu Çevre aydınlatma direği	5-15 m		0,24 <2	100-200Ω
42	D-Blok Paratoner ve Pano Ölçü Barası	5-15 m		0,48 <2	100-200Ω
43	(8.Nolu) Saha aydınlatma direği Aydınlatma panosu Toprak Barası	5-15 m		0,48 <2	100-200Ω
44	A1 Bina içi Toprak iletkeni	5-15 m		0,48 <2	100-200Ω
45	Galvanizli kablo kanalı	5-15 m		1,45 <5	100-200Ω
46	Yukarı Su deposu Pano Topraklama Barası	5-15 m		0,31 <2	100-200Ω
47	(1.Nolu) Saha aydınlatma direği Aydınlatma panosu	5-15 m		0,32 <2	100-200Ω
Ortalama					

ÖLCÜM VE KARŞILAŞTIRMA TABLOSU

Ek.1 (devam). Topraklama Geçiş Direnci Ölçüm Raporu

AÇIKLAMALAR

- a: Ölçüm kazıkları arası mesafe.
 R: Ölçülen zemin toprak direnci.
 n: Hesaplanan zemin toprak özgül direnci.

D- İLGİLİ YASA VE YÖNETMENLİKLER

İş Güvenliği Tüzüğü'nün 270.-354. maddeleri gereği elektrik tesislerinde topraklama yapılması gereklidir. Ayrıca 21.08.2001 tarih ve 24500 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliğinin 7. ve 10. maddeleri gereğince topraklama zorunlu hale getirilmiştir. Ayrıca 21.08.2001 tarih ve 24500 sayılı Resmi Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliğinin Ek-P bölümü gereği tesislerin periyodik kontrolü yapılacaktır.

ÖLÇÜMÜ YAPAN

ADI SOYADI	Serdar ŞİMDİ	ADI SOYADI	Abdurrahman UNCU
ÜNVANI	Elektronik ve Haberleşme Mühendisi	ÜNVANI	Elektronik ve Haberleşme Mühendisi
ODA SİCİL NO	30854	ODA SİCİL NO	27366
İMZA		İMZA	

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : UNCU, Abdurrahman
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 12/03/1966, Savur (MARDİN)
 Medeni hali : Evli
 Tel : 0542 596 7885
 e-mail : auncu@hotmail.com,



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Elektrik Elektronik Mühendisliği	Devam Ediyor
Lisans	Kocaeli Üniversitesi / Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği	1995
Lise	İzmit Lisesi Matematik Kolu	1984

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2017-2018	Mardin VONDES Mühendislik	Asansör Proje ve Kontrol Müh.
2016-2017	Mardin-Diyarbakır Özel Güvenlik Kursları	Güvenlik Sistem ve Cihazları Ders Eğitmeni
1996-2015	Türkiye, Afganistan, Irak, Cezayir	Ar-Ge, Saha, Proje, İşletme, Kontrol Mühendisi, Şantiye Şefi, Proje Müdürü, Serbest Müşavir Mühendis (SMM)

Yabancı Dil

İngilizce ve Arapça (Çok İyi Düzeyde)

Hobiler

Doğa Sporları (Treking), Uzak Doğu Sporları (Ashihara Karate vs), Halkoyunları (Amatör)



GAZİ GELECEKTİR...