

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TOPRAK ÖZGÜL DİRENCİNE ISI VE RUTUBET ETKİSİNİN MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Müh. Mehmet YILMAZ

**HAZİRAN 2018
TRABZON**



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünce

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : / /

Tezin Savunma Tarihi : / /

Tez Danışmanı :

Trabzon

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında
Mehmet YILMAZ Tarafından Hazırlanan**

TOPRAK ÖZGÜL DİRENCİNE ISI VE RUTUBET ETKİSİNİN MODELLENMESİ

başlıklı bu çalışma, Enstitü Yönetim Kurulunun 05 / 06 / 2018 gün ve 1756 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından yapılan sınavda
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan : Doç. Dr. Mehmet ÇELEBİ

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fatih Mehmet NUROĞLU

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Hakan KAHVECİ


.....
.....
.....

Prof. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans programı çerçevesinde gerçekleştirilen bu çalışmada; Elektrik tesislerinde topraklama sistemleri, topraklamanın temel kavramları, topraklama çeşitleri, topraklama direnci ve toprak özgül direncine ısı ve rutubet etkisi MATLAB GUI programı ile gerçekleştirilmiştir.

Yapılan modellemede kullanılan HT GEOTEST 2016 toprak özgül direnci ölçüm cihazını bize sunan Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölüm Başkanlığına teşekkür ederim.

Bu tez çalışması boyunca sahip olduğu bilgi ve deneyimleri bana aktaran ve düşünceleriyle bana yol gösteren değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Fatih Mehmet NUROĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca eğitim-öğretim hayatım boyunca her zaman yanımda olan ve desteklerini üzerimden esirgemeyen aileme de teşekkürü borç bilirim.

Mehmet YILMAZ

Trabzon 2018

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Toprak Özgöl Direncine Isı ve Rutubet Etkisinin Modellenmesi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Fatih M. NUROĞLU’ nun sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuarlarda yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallara uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

26/06/2018

Mehmet YILMAZ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Literatür Araştırması	2
1.2.1. Ulusal Çalışmalar	2
1.2.2. Uluslararası Çalışmalar	4
1.3. Topraklama	7
1.4. Topraklayıcı ve Çeşitleri	9
1.5. Topraklama Tesisi	11
1.6. Potansiyel Dağılım	13
1.7. Topraklama Direnci ve Ölçümü	14
1.8. Toprak Özgül Direnci ve Ölçümü	18
1.9. Yayılma Direnci	22
1.10. Topraklama Çeşitleri	23
1.10.1. Çeşitlerine Göre Topraklama Sistemleri	23
1.10.2. Amaçlarına Göre Topraklama Sistemleri	23
1.10.3. Şekillerine Göre Topraklama Sistemleri	25
1.11. Alçak Gerilim Sistemlerinde Topraklama.....	26
1.11.1. TN Sistemler	27
1.12. Yüksek Gerilim Elektrik Tesislerinde Topraklama.....	29
1.13. Regresyon Analizi	31
1.13.1. Basit Regresyon Modeli	31

1.13.2. Çoklu Regresyon Modeli.....	32
1.13.3. 1 Bağımlı 2 Bağımsız Değişken İçin Regresyon Analizi.....	33
1.14. Matlab Gui Programının Genel Özellikleri	35
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME	36
2.1. Giriş	36
2.2. Toprak Özgül Direnci Ölçümü	37
2.3. Çoklu Regresyon Yöntemi Kullanarak Modelleme	40
2.4. İkinci Ölçüm Yerinin Ana Modele Benzetilmesi.....	46
2.5. Üçüncü Ölçüm Yerinin Ana Modele Benzetilmesi.....	47
2.6. MATLAB GUI ile Ara Yüz Tasarımı	49
3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	62
4. ÖNERİLER	63
5. KAYNAKLAR.....	64
6. EKLER	67
ÖZGEÇMİŞ	

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

TOPRAK ÖZGÜL DİRENCİNE ISI VE RUTUBET ETKİSİNİN MODELLENMESİ

Mehmet YILMAZ

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik- Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Fatih M. NUROĞLU
2018, 66 Sayfa, 7 Ek Sayfa

Elektrik tesislerinde işletme personelini, canlıları tehlikeli temas ve adım gerilimlerine karşı korumak ve cihazların güvenliğini sağlamak açısından en önemli unsurlardan biri topraklama sistemleridir. Topraklama direncini belirleyen en önemli parametre toprak özgül direnci değeridir. Toprak özgül direnci değeri toprak ısı ve rutubetine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Bu tez çalışmasında toprak ısı ve rutubetinin toprak özgül direncine etkisi MATLAB programı kullanılarak gözlemlenmiştir. Toprak özgül direnci ölçümünde WENNER METODU kullanılmıştır. Çoklu regresyon metoduna dayanan bir modelleme tasarlanmıştır. Tasarlanan bu model MATLAB GUI programında bir ara yüz olarak hazırlanmıştır. Kullanıcı herhangi bir yerden alacağı 10 ölçümü oluşturulan modele uyarlayarak istediği ısı ve rutubet değerinde toprak özgül direncini kolayca hesaplayabilecektir. Ayrıca MATLAB GUI programı ile kullanıcı topraklama direnci hesabı, toprak özgül direncinin topraklama direncine etkisi, topraklayıcı uzunluğunun topraklama direncine etkisini, toprak özgül direnç değerinin hesaplanmasını, iletken çapının topraklama direncine etkisini gözlemleyebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Topraklama, Temas gerilimi, Adım gerilimi, Topraklama direnci, Toprak özgül direnci, Wenner metodu, Matlab gui.

Master Thesis

SUMMARY

THE MODEL OF THE EFFECT OF SOIL TEMPRATURE AND HUMUDITY ON
SOIL RESISTIVITY

Mehmet YILMAZ

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Electrical and Electronics Engineering Graduate Program
Supervisor: Asst. Prof. Dr. Fatih M. NUROĞLU
2018, 66 Pages, 7 Appendix Pages

Grounding systems are one of the most important elements in terms of protecting the operation personnel in the electrical installations against dangerous contact and step voltage and ensuring the safety of the devices. The most important parameter determining the grounding resistance is the soil resistivity value. The soil resistivity value varies depending on soil temperature and humidity.

In this thesis, the effect of soil temperature and humidity on soil resistivity was observed using the MATLAB. WENNER METHOD was used to measure soil resistivity. A model based on the multiple regression method is designed. This model is designed as an interface in the MATLAB GUI program. The user will be able to easily calculate soil resistivity at desired soil temperature and humidity values by adapting the model we have created 10 measurements from anywhere. In addition, the user can observe that the calculate of grounding resistance, the effect of soil resistivity on grounding resistance, the effect of grounding length on grounding resistance, the calculate of soil resistivity, the effect of conductor diameter on grounding resistance with MATLAB GUI.

Key Words: Grounding, Touch voltage, Step voltage, Grounding resistance, Soil resistivity, Wenner method, Matlab gui

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Şerit topraklayıcı.....	9
Şekil 1.2. Çubuk topraklayıcı.....	10
Şekil 1.3. Levha topraklayıcı	11
Şekil 1.4. Topralama tesisi.....	11
Şekil 1.5. Topraklayıcı etrafındaki potansiyel dağılım	13
Şekil 1.6. Basit gerilim düşümü metodu.....	15
Şekil 1.7. Toprak özgül direncinin fiziksel açıklaması.....	18
Şekil 1.8. Toprak özgül direnci ölçme düzeneği.....	19
Şekil 1.9. Wenner yöntemi.....	20
Şekil 1.10. Schlumberger yöntemi.....	21
Şekil 1.11. Amaçlarına göre topraklama çeşitleri	24
Şekil 1.12. TN-S sistem	28
Şekil 1.13. TN-C-S sistem	28
Şekil 1.14. TN-C sistem.....	29
Şekil 2.1. Üniveriste 1 Toprak özgül direnci ölçüm düzeneği.....	38
Şekil 2.2. Üniversite 2 Toprak özgül direnci ölçüm düzeneği.....	38
Şekil 2.3. Dadaşkent bölgesi Toprak özgül direnci ölçüm düzeneği	39
Şekil 2.4. 09:00'da farklı günlerdeki sıcaklık, toprak özgül direnci ve nem değişimi	41
Şekil 2.5. 15:00'da farklı günlerdeki sıcaklık, toprak özgül direnci ve nem değişimi ...	42
Şekil 2.6. 19:00'da farklı günlerdeki sıcaklık, toprak özgül direnci ve nem değişimi	43
Şekil 2.7. Ara yüz ana ekran	49
Şekil 2.8. Topraklama direnci.....	50
Şekil 2.9. Topraklama direnci hesabı.....	51
Şekil 2.10. Toprak özdirencinin topraklama direncine etkisi	52
Şekil 2.11. Topraklayıcı uzunluğunun topraklama direncine etkisi	53
Şekil 2.12. İletken çapının topraklama direncine etkisi.....	54
Şekil 2.13. Topraklayıcının çevrelediği eşit alanlı dairenin çapının topraklama direncine etkisi.....	55

Şekil 2.14. Toprak özgül direnci hesaplama.....	56
Şekil 2.15. Toprak özgül direncine ısı ve rutubet etkisinin modellenmesi.....	57
Şekil 2.16. Wenner metodu.....	57
Şekil 2.17. 2 boyut ve 3 boyutlu inceleme.....	58
Şekil 2.18. Üniversite 1 için sıcaklık-toprak özgül direnci ve nem-toprak özgül direnci arasındaki ilişki.....	58
Şekil 2.19. Üniversite 1 için sıcaklık-nem-toprak özgül direnci arasındaki ilişki.....	59
Şekil 2.20. Üniversite 2 için sıcaklık-toprak özgül direnci ve nem-toprak özgül direnci arasındaki ilişki.....	59
Şekil 2.21. Üniversite 2 için sıcaklık-nem-toprak özgül direnci arasındaki ilişki.....	60
Şekil 2.22. Dadaşkent için sıcaklık-toprak özgül direnci ve nem-toprak özgül direnci arasındaki ilişki.....	60
Şekil 2.23. Dadaşkent için sıcaklık-nem-toprak özgül direnci arasındaki ilişki.....	61

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Erzurum Atatürk Üniversitesiinden Alınan Ölçüm Sonuçlarının Ana Modele Benzetiilmesi	46
Tablo 2.2. Erzurum Dadaşkent Bölgesinde Alınan Ölçüm Sonuçlarının Ana Modele Benzetiilmesi	47



SEMBOLLER DİZİNİ

I	Akım
V	Volt
kV	Kilo Volt
Ω	Ohm
A	Amper
KVA	Kilo Volt-Amper
ms	Mili saniye
m	Metre
cm	Santimetre
mm ²	Milimetrekare
AC	Alternatif Akım
MATLAB	Matrix Laboratory
GUI	Grafiksel Kullanıcı Arabirimi
°C	Santigrat Derece
%	Yüzde
$\Omega.m$	Ohmmetre
R _w	Wenner Direnci
R _s	Schlumberger Direnci
IEEE	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
AG	Alçak Gerilim
OG	Orta Gerilim
R _E	Yayımla Direnci
ρ_E	Ölçülen Özgül Toprak Direnci
n	Ölçüm Sayısı
PE	Koruma İletkeni
PEN	Koruma İletkeni + Nötr İletkeni
T	Ölçülen Toprak Isısı Değeri
N	Ölçülen Toprak Rutubet Miktarı
Y	Hesaplanan Toprak Özgül Direnci Değeri
l	Çubuk Boyu

d	Çubuk Çapı
D	Gözlü topraklayıcının alanına eşdeğer alanlı daire çapı
CE	Akım Elektrotu
PE	Gerilim Elektrotu
SPSS	Sosyal Bilimler İçin İstatistik Programı
ε	Tesadüfi Hata Terimi
β	Regresyon Katsayısı
Utk	Topraklayıcı Gerilimi



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Hayatımızın hemen hemen her alanında kullandığımız elektrik bazen oldukça tehlikeli sonuçlara yol açabilir. Elektrik tesislerinde meydana gelen bir izolasyon hatası durumunda makinelerin, cihazların ve tesislerin, işletme ile doğrudan doğruya ilgisi olmayan madeni ve iletken gövdeleri, mahfazaları veya tesbit kısımları gerilim altında kalabilir. Temas gerilimi ile adlandırılan bu gibi tehlikeli gerilimler, hem işletme personeli için hem de elektrik tesisleri ile herhangi bir şekilde temas halinde bulunabilecek olan kişiler için ölüm tehlikesine yol açabilir. İşletme personeli ve elektrik tesisleri ile temas edebilecek olan kişileri temas ve adım gerilimlerine karşı korumak için kuvvetli akım tesislerinde topraklama yapılır. Enerji iletim tesislerinde yapılan topraklama sisteminin görevi ise, izolasyon hatası meydana geldiği zaman arızalı fazdan geçen hata akımını kullanarak hata akım devresini kesmek ya da bu akımların insan hayatını tehlikeye sokacak bir yoldan geçmelerini önlemektir.

Topraklama, alçak gerilim tesislerinde insanları ve genel olarak canlıları tehlikeli temas ve adım gerilimlerine karşı korumak için kullanılan çeşitli koruma metotlarından birisidir. Fakat günümüzde alçak gerilim tesislerinde hata akımından ve hata geriliminden faydalanarak çalışan ve topraklama metodundan daha emin ve tesirli koruma metotları bulunmaktadır. Buna karşılık yüksek gerilim tesislerinde hata gerilimlerine karşı korunmanın tek yolu topraklamadır.

Hem alçak gerilim tesislerinde hem de yüksek gerilim tesislerinde topraklamanın etkili ve yararlı olabilmesi, topraklama sisteminin iyi yapılmış olmasına bağlıdır. Maalesef bazı eksik görüşlü teknik personeller, topraklama tesislerini diğer tesislere oranla daha az önemli görerek ve topraklama tesislerinin yönetmelik şartlarına uygun bir şekilde yapılması için masraf yapmaktan kaçınarak tasarruf yaptıklarını zannederler. Ama bu hataları işletme personelinin veya tesisi kullanan şahısların ölümlerine sebep olabilir.

Bu tez çalışması iki kısımdan oluşmaktadır. Çalışmanın ilk bölümünde, topraklama ile ilgili temel kavramlar açıklanmıştır. Genel olarak topraklama sisteminde kullanılan toprak ve topraklayıcı çeşitleri hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde toprak özgül direncine ısı ve rutubet etkisinin modellenmesi için yapılan çalışmalar incelenmiştir. Modeli oluşturmak için ilk olarak Erzurum Atatürk Üniversitesi'nde bir alan belirlenmiştir. Bu alan belirlenirken toprağın homojen olması, güneş ışınlarını gün içinde sürekli olarak alabilmesi gibi özellikler etkili olmuştur. Daha sonra elde edilen verilerden bir matematiksel model oluşturmak amacıyla çoklu regresyon metodu kullanılmıştır. Bu metodun avantajı bağımlı değişkene etkiyen birden çok bağımsız değişkeni modelleyebilmesidir. Modeli daha kullanılabilir yapmak için Atatürk Üniversitesinde farklı bir yerde ve Erzurum Dadaşkent bölgesinde ölçümler alınmıştır. Alınan bu ölçümlerden yararlanarak kendi oluşturduğumuz modele geçmek için farklı iki katsayı belirlenmiştir. Oluşturulan ana model için MATLAB GUI programıyla bir ara yüz tasarlanmıştır. Tasarlanan bu programı ile kullanıcı; topraklama direnci hesabı, toprak özgül direncinin topraklama direncine etkisi, topraklayıcı uzunluğunun topraklama direncine etkisini, topraklayıcının çevrelediği alana eşit alanlı dairenin çapının topraklama direncine etkisini, toprak özgül direnç değerinin hesaplanmasını, toprak özgül direncine ısı ve rutubet etkisinin 2 boyutlu ve 3 boyutlu olarak gözlemlenebilmesini, iletken çapının topraklama direncine etkisini gözlemleyebilmektedir.

1.2. Literatür Araştırması

Topraklama ile ilgili yapılan çalışmalar ulusal ve uluslararası olarak 2 alt başlık altında incelenmiştir.

1.2.1. Ulusal Çalışmalar

Ülkemizde topraklama ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir. Genel olarak ülkemizdeki çalışmalar topraklama direnci üzerine yapılmıştır. Topraklamanın önem kazanmasıyla birlikte son yıllarda bu alanda birçok çalışma yapılmıştır.

Kayhan UĞURTAN (1984) tarafından, alçak gerilim tesislerinde topraklama çalışması yapılmıştır. Çalışmada alçak gerilimli sanayi ve yerleşim tesislerinde topraklama uygulamaları incelenmiştir. Ayrıca pratik ölçme projelendirme yerleştirme örnekleri sunulmuştur [1].

Cem BAYRAŞ (1993) tarafından, enerji sistemlerinde toprak yolundaki akım dağılımı ve optimal topraklama analizi çalışması yapılmıştır. Çalışmada topraklama yolundaki akım dağılımını doğuran sebepler incelenip topraklama yolundaki empedans bileşenleri ele alınmıştır. Ayrıca topraklama yolundaki akım dağılımına ilişkin tek taraflı eliminasyon yöntemi, çift kararlı eliminasyon yöntemi ve zincir empedansları yöntemi incelenmiştir [2].

Mehmet ÇELİKİYAY (1995) tarafından, enerji sistemlerinde topraklama ağlarının bilgisayar destekli analizi çalışması yapılmıştır. Çalışmada topraklama levhalarının analizinde moment yöntemi, topraklama ağlarının indüktanslarının bulunmasında reaktif KVA yöntemi ve darbe empedansının bulunmasında amprik yöntemler, topraklama ağlarında topraklama direncinin, akım dağılımının bulunmasında ve toprak yüzeyinde meydana gelen potansiyel değerinin hesabında; eşdeğer dairesel levha yaklaşım yöntemi, elektrostatik potansiyel yöntemi, kaçak akım yöntemi çalışması yapılmıştır [3].

Kemal MÜRTEZAOĞLU (1998) tarafından, yüksek gerilim istasyonlarında topraklama sistemi çalışması yapılmıştır. Çalışmada yüksek gerilim istasyonlarında tehlikeli koşullarda meydana gelecek olan adım ve temas gerilimleri anlatılarak bu gerilimlerin izin verilen sınır değerlerde kalması için gerekli hesapların kolay bir şekilde sonuçlandırılması için bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve bilgisayar programı ile toprak öz direncinin, toplam iletkenin uzunluğunun ve de iletkenin gömülme derinliğinin değiştirilerek adım ve temas gerilimine etkisi gösterilmiştir. Bilgisayar programı Delphi 2.0 ile hazırlanmıştır. Bu programla girilmesi gereken ve hesaplanması gereken değerler iki ayrı ekranda gösterilmiş hesap sonuçlarına da bu ara ekranlarda ulaşılmıştır. Programın ana içeriğine girilerek çözümleme yapma zorluğu giderilmiştir. Böylelikle hızlı ve kolay kullanılabilir bir program tasarlanmıştır [4].

Onur KATIPOĞULLARI (2003) tarafından, karmaşık topraklama sistemlerinde topraklama empedansının ölçülmesi çalışması yapılmıştır. Çalışmada geleneksel topraklama direnci ölçme metotları ile ilgili mevcut literatür taranarak sunulmuştur. Geçerli ölçüm metotları teorik ve pratik olarak karşılaştırılarak kritik edilmiştir. Bütün bu çalışmalar sonucunda, yeni bir topraklama empedans ölçme sistemi geliştirilerek gerçek topraklama sistemlerinde geleneksel metotlarla mukayese edilmiştir [5].

Hasan Vural SİĞİRCİ (2008) tarafından, elektrik tesislerinde topraklama empedansı ve topraklama empedansını etkileyen faktörler çalışması yapılmıştır. Çalışmada öncelikle topraklamanın tanımı yapılmış ve çeşitli topraklayıcılar incelenmiştir. Bu topraklayıcıların

kullanım yerleri incelenmiştir. Cinslerine göre tesir tarzları gösterilmiştir ve çeşitli hata hallerine göre temas ve adım gerilimlerinin tehlikeli sınırın altında kalabilmesi için topraklama dirençlerinin değeri belirtilmiştir. Bundan sonra çeşitli topraklama elektrotlarının gömülme durumlarına göre çeşitli yerlerde ölçüm yapılmıştır. Çeşitli tesislerde topraklamaların gerektirdiği şartlar incelemiştir [6].

Mustafa Güçlü AYDEMİR (2009) tarafından, topraklama tasarımı analizi çalışması yapılmıştır. Çalışma yüksek özdirençli sahaların topraklamalarının tasarımları üzerinedir. Bu çalışmanın sonucunda olası tasarım iyileştirmeleri belirlemiştir. Çalışmaları, CYMGRD programı ile gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada ayrıca bilgisayar programı hazırlamışlardır. Hazırlanan bu program ile FEM karşılaştırılmıştır[7].

Fatih ISSI (2013) tarafından, topraklama direncinin dspic kullanılarak sabit tutulması çalışması yapılmıştır. Topraklama direncinin sürekli olarak kısa periyotlar ile ölçülmesi ve belirli bir seviyenin üzerine çıkmasını engellemektir. Gerçekleştirilen çalışmada oluşabilecek fiziki değişikliklerden bağımsız bir topraklama sistemi geliştirilmiştir. Çalışmada elektrik tesislerinde topraklama yönetmeliği esas alınarak, elde edilen topraklama direnci değeri korunmuş olmaktadır. Bu sayede insan can güvenliği ve cihazların güvenliği için gerekli denetim işlemi otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel sonuçlarından, tasarlanan ve gerçekleştirilen topraklama sistemi kullanılarak toprak direncinin izlenebildiği ve belirli değerlerde sabit tutulduğu görülmüştür [8].

Osman ENSER (2015) tarafından, hidroelektrik santrallerde yöntem karşılaştırılmalı topraklama empedansı ölçümü çalışması yapılmıştır. Topraklama empedansı ölçümünde SELVAZ metodu kullanılmıştır [9].

1.2.2. Uluslararası Çalışmalar

Uluslararası alanda topraklama ile ilgili yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Min Li (2017) ve arkadaşları Haikou City'nin değişik meteorolojik koşullar altında toprak özgül direncinin analizi üzerine çalışmışlardır. Bu analiz için Meteoroloji istasyonundan yaklaşık bir yıl boyunca toprak nem miktarını ve diğer dataları otomatik olarak almışlardır. Yapılan çalışma sonucunda toprak sıcaklığının artmasıyla volkanik kül ve kırmızı toprağın toprak özgül direnci azalırken, toprak sıcaklığı arttıkça kum toprağının toprak özgül direncinin arttığını gözlemlemişlerdir. Ayrıca volkanik kül ve kırmızı

toprağın toprak özgül direnci yağışla birlikte yükselirken, kum ve kırmızı toprakların toprak özgül direnci yağışla birlikte yükseldiğini gözlemlenmiştir [10].

Liu Fengjiao (2017) ve arkadaşları teorik algoritmaya dayalı görsel toprak özgül direnç testi yönteminin optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada homojen ve homojen olmayan iki bölgede deneysel çalışmalar yapmışlardır. Toprak özgül direnci izometrik olmayan yöntemler ve Wenner metodu ile ölçülmüştür. Deneysel çalışmalar homojen olmayan toprakta, izometrik olmayan yöntemlerle ters çevrilmiş toprak tabakası verilerinin ve ölçmeye uygun simetrik eşit olmayan dört kutuplu yöntemin (aynı zamanda Bamor yöntemi olarak da adlandırılır) daha ayrıntılı bir şekilde karakterize olduğunu göstermektedir [11].

Q. Louw (2017) ve arkadaşları toprak özgül direnci için sıfır bileşenli akımlarının tahmini ve saha çalışmaları üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada Güney Afrika'da bir il olan Gauteng'in çeşitli kısımlarında 4 nokta Wenner test yöntemi kullanılarak toprak özgül direnci ölçümleri yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda toprak özgül direncindeki artışın sıfır dizi akımında önemli bir azalmaya neden olduğu gözlemlenmiştir [12].

Mi Zhou (2015) ve arkadaşları toprak özgül direnci ölçümü ve toprak özgül direncini etkileyen faktörler üzerine laboratuvar incelemeleri yapmışlardır. Özgül direnç ölçümü için 2 elektrot ve 4 elektrot metodunu kullanmışlardır. Yapılan çalışmada toprak sıcaklığının toprak özgül direncine etkisini 0°C 'nin üzerinde, 0°C civarında ve 0°C 'nin altında olmak üzere 3 bölüme ayırabileceklerini gözlemlemişlerdir. Toprak sıcaklığı arttıkça toprak özgül direncinin azaldığını ve en ani değişikliğin 0°C civarında olduğunu gözlemlemişlerdir [13].

V. L. Coelho (2014) ve arkadaşları mevsimsel toprak neminin toprak özgül direncine ve güç dağıtım topraklama sistemlerine etkisini incelemişlerdir. Yapılan ölçümler sonucunda toprak nem miktarı ile toprak özgül direnci arasında güçlü bir ilişki olduğunu ortaya koymuşlardır. Toprak nem miktarının sadece toprağın en üst kademesini değil alt kademelerdeki toprak cinslerini de büyük oranda etkilediğini gözlemlemişlerdir [14].

T. M. Pereira (2016) ve arkadaşları toprak özgül direnci ve sonlu elemanlar yöntemi ile simülasyon çalışması yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada beton gömülü yapıların topraklama sistemine etkisini araştırmışlardır. Güneşli ve yağmurlu sezonlardaki toprağın karakteristiğini karşılaştırmışlardır [15].

G. A. Adegboyega (2011) ve arkadaşları elektrik sistemlerinin topraklanmasında toprak özgül direncinin değerlendirilmesi çalışmasını yapmışlardır. Çalışmayı Nijerya'nın

Kuzey-Doğu bölgesinde yapmışlardır. Ölçümler için Fall-of-Potential method ve Wenner Array method' larının kullanmışlardır. Çalışma toprak elektrot direncinin 0,3 ile 20 Ohm arasında değiştiğini ve toprak özgül direncinin 60 ile 1000 Ohm-m arasında olduğunu ortaya koymuştur. Çalışmanın sonucunda, toprak elektrot direnci değerlerinin, toprak tipleri üzerinde büyük etkiye sahip olduğunu gözlemlemişlerdir [16].

A. Salam (2015) ve arkadaşları kuru ve ıslak toprak için toprak özgül direnci ve toprak direnci çalışmasını yapmışlardır. Ölçümleri Wenner 4 kutuplu yöntemle almışlardır. Toprak özgül direnci hem kuru hemde ıslak toprakta ölçülmüştür. Simülasyonlar için CYMGRD programını kullanmışlardır. Daha sonra ölçülen özgül toprak direncini topraklama direncini değerlendirmek için kullanılmıştır [17].



1.3. Topraklama

Elektrik tesislerinde aktif olmayan bölümler ile sıfır iletkenleri ve bunlara bağlı bölümlerin, bir elektrot yardımı ile toprakla iletken bir şekilde birleştirilmesi işlemine topraklama denilmektedir [2]. Toprak yapısı gereği sonsuz büyüklükte ki iletken bir kitledir. Topraklama tesisleri normal işletme esnasında varlığını hemen hemen hiç hissettirmedeği halde bir arıza olması durumunda tesirli olur ve görevini yerine getirir. Bu yüzden topraklama, her an işletmede olmayan ve görülmeyen bir nevi gizli bir koruma tesisidir. Bu nedenle elektrik tesisleri içinde topraklama ihmal edilmemelidir. Topraklamaya hak ettiği önemi vermek gerekir.

Elektrik sistemlerinin devamlılığını sağlamak ve insan hayatını güvenceye almak için elektrik sistemlerinde, gerilim altındaki kısımlar yalıtılmak zorundadır. Toprağa karşı yalıtımda, çeşitli sebeplerle, her zaman bozulma ve delinme şeklinde hatalar meydana gelmektedir. Topraklama, bu şekilde meydana gelebilecek hata durumunda, insan hayatını güvenceye almak amacıyla uygulanacak işlemlerden biridir.

Topraklamada en önemli sistem eş potansiyel sistemdir. Bu sistemde tüm topraklamalar, tüm metal bölümler eş potansiyel baraları ve potansiyel dengeleyiciler ile birbirine irtibatlanır. Tesis içerisinde herhangi iki noktada oluşabilecek gerilim farkı önlenmiş ve tüm noktalarda eş potansiyel sağlanmış olur. Elektrik akımı farklı potansiyellere sahip iki nokta arasında olduğundan birbirine eş potansiyel oluşturacak şekilde bağlanmış metal bölümler arasında elektrik akımı oluşmaz. Kaçak anında bile tüm noktalarda eşit potansiyel olacağından veya hiçbir iki nokta arasında potansiyel farkı oluşmayacağından herhangi bir tehlike de söz konusu olmayacaktır.

Bugün alçak gerilimde tarihsel olarak gelişen her ülkenin kendi yapısına göre üç ayrı topraklama çeşidi vardır. TN-Sistem hemen hemen her ülkede kullanılan sistemdir. Türkiye norm konusunda Avrupa'nın çok gerisinde kalmıştır. Topraklama ölçüm ve kontrolleri ezberle yapılmaktadır. Ülkemizde bu konu ile ilgili çeşitli komisyonların kurulması gerekmekte olup uluslararası komisyonlara üye olunması, elektrik konusundaki çeşitli yönetmenliklerin dünyada kabul edilen normlara uygun hale getirilmesi gerekmektedir. Ülkemizde yürürlüğe yeni giren İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu topraklamaya verilen önemi artıracaktır. Topraklama ile ilgili kavramlar aşağıda verilmiştir. Bunlar;

Aktif Bölümler: İşletme araçlarını normal işletme şartlarında gerilim altında bulunan iletkenleri ve iletken bölümleridir [19].

Gövde: İşletme araçların her an dokunulabilen, aktif bölüm olmayan fakat bir arıza durumunda gerilim altında kalabilen iletken bölümleridir [19].

Toprak: Yeryüzünün madde ve yer olarak ifadesi olarak adlandırılır. Elektrik direnci çok küçük olup 0,05 Ohm/km civarındadır [19].

Referans Toprak: Topraklayıcıdan yeterince uzak bulunan ve topraklama tesisinin etki alanı dışında kalan yeryüzü bölümü olarak adlandırılır [19].

Topraklama: Elektrik tesislerinde aktif olmayan bölümler ile sıfır iletkenleri ve bunlara bağlı bölümlerin, bir elektrot yardımı ile toprakla iletken bir şekilde birleştirilmesine topraklama denir [19].

Topraklama İletkeni: Topraklanacak tesis bölümünü bir topraklayıcıya bağlayan toprağın dışında ya da yalıtılmış olarak toprağın içinde bulunan iletkene topraklama iletkeni denir [20]. Aşağıda 3 çeşit topraklama iletkeninin mekanik dayanım ve korozyona karşı dayanıklılık bakımından kesitleri verilmiştir [20].

- Bakır 16 mm²
- Alüminyum 35 mm²
- Çelik 50mm²

Topraklayıcıdan Akım Geçmesi: Topraklayıcıdan toprağa akım akmaya başlamasıyla, topraklayıcıdan itibaren çevreye doğru akım yayılması olur. Oluşan bu yayılma topraklayıcı çevresindeki gerilim potansiyelinin yükselmesine sebep olur. Toprak içinde eşpotansiyel noktaları birleştiren eğrilerin bir potansiyel çadırı meydana getirdiği düşünülebilir. Topraklayıcı çevresindeki potansiyel değişimi, referans toprak ile topraklayıcıya doğru değişik noktalar arasındaki gerilim ölçülerek bulunur.

Bir topraklama elektrotunun yükselen potansiyeli, bu elektrotun etki alanında bulunan ikinci bir elektroda bağlı metal kısımlara taşınarak bu kısımlarda belirlenene referans toprağa karşı gerilim yükselebilir. Meydana gelen bu olaya potansiyel sürüklemesi denilmektedir [19] [21].

Adım gerilimleri elektrot çevresinde yüksek olup potansiyel değişimin yumuşatılması amacı ile elektrot çevresine düzenleme elektrotları yerleştirilir.

Temas Gerilimi: Topraklayıcı ve hata geriliminin insan tarafından köprülenen kısmına temas gerilimi denir [22]. Temas gerilimden dolayı akan akımın yolu ele ya da

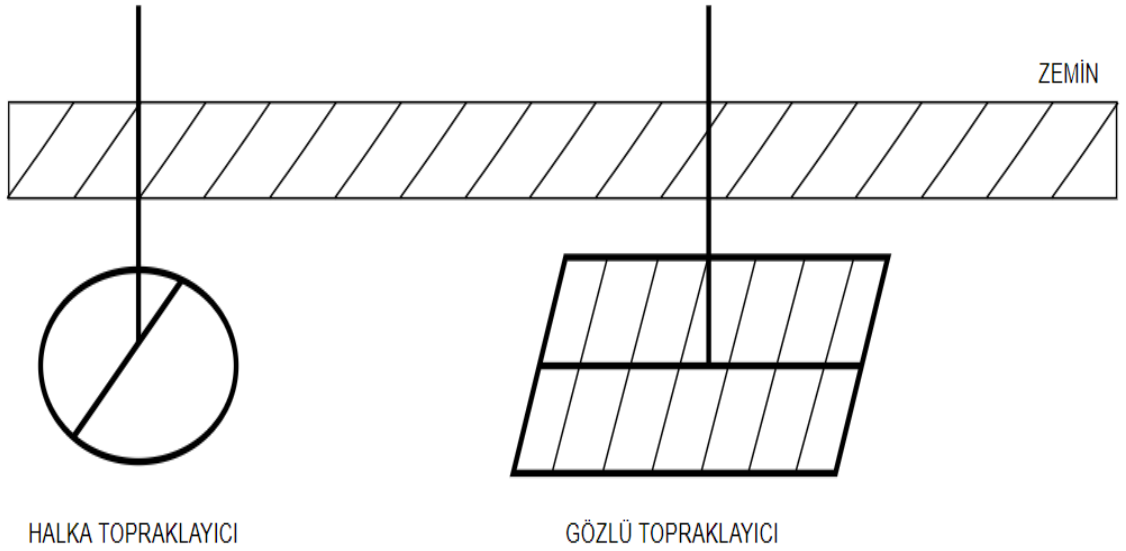
elden ayağa doğrudur. Genel olarak gövde kısa devresi olan cihaza dokunan veya yalıtım düzlemi üzerinde duran bir kişi temas gerilimine maruz kalabilir.

1.4. Topraklayıcı ve Çeşitleri

Yeraltında toprağa gömülü olan ve toprakla iletken arasında bir bağlantı kuran iletken malzemelere topraklayıcı denir. Topraklayıcılar zemin şartları, topraklama şekli ve topraklayıcının geometrik şekillerine göre sınıflandırılırlar [23]. Topraklayıcı çeşitleri;

- Şerit Topraklayıcı
- Doğal Topraklayıcı
- Çubuk Topraklayıcı
- Derin Topraklayıcı
- Levha Topraklayıcı

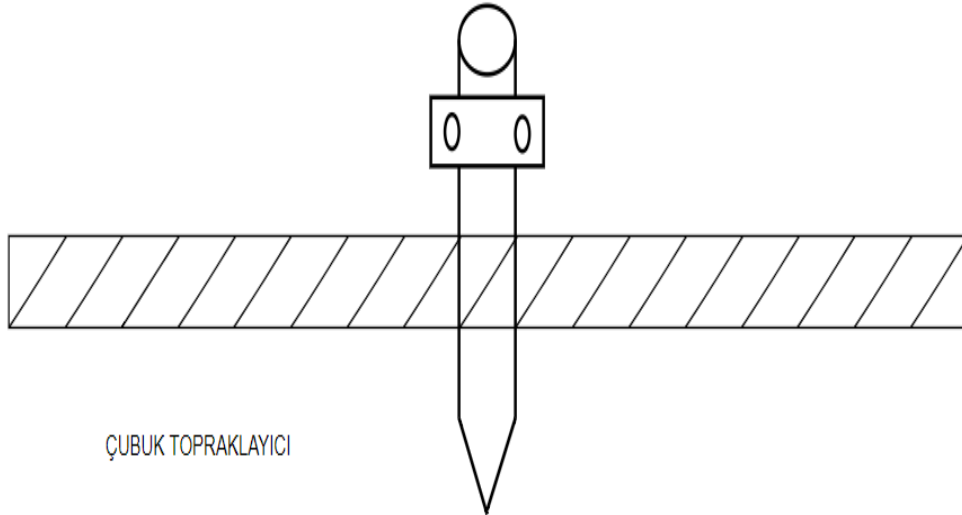
Şerit Topraklayıcı: Genel olarak 1m'den az derinliğe yerleştirilen topraklayıcıdır [23]. Bu topraklayıcılar fazla derine gömülmediğinden dolayı yüzey topraklayıcısı olarak bilinir. Halka, yıldız, gözlü topraklayıcı ya da bunların birleşimi ile oluşturulur. Şekil 1'de şerit topraklayıcı çeşitleri görülmektedir [23].



Şekil 1.1. Şerit Topraklayıcı

Doğal Topraklayıcı: Asıl amacı topraklama olmayan ancak topraklayıcı olarak etkili olan yapıların elik b6l6mleri gibi metal olan parçalarıdır [23].

ubuk Topraklayıcı: ubuk topraklayıcılar genellikle boru ya da profil çelikten yapılır ve toprağa çakılarak kullanılan topraklayıcı çeşitidir. Bu topraklayıcı yere akılırken olabildiğince dik çakılması istenir. K6uk yayılma direncinin olabilmesi için birden çok çubuk topraklayıcı kullanılması gerekirse bu topraklayıcılar arasındaki mesafe en az bir topraklayıcının boyunun iki katı kadar olması gerekir. ubuk topraklayıcılar 6st kısımları toprağın 50 cm içersinde olacak Şekilde konumlandırılır. Şekil 1.2’de çubuk topraklayıcı g6r6lmektedir [23].

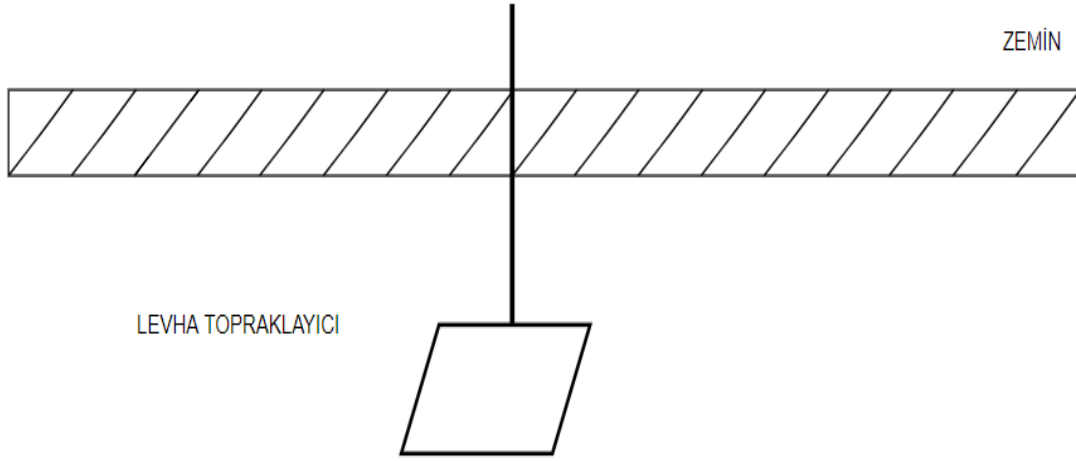


Şekil 1.2. ubuk topraklayıcı

Derin Topraklayıcı: Genellikle d6Őey Şekilde 1m’den daha derine yerleşitirilen topraklayıcıdır [23]. Yuvarlak ubuk, boru, levha ve ya 6teki profillerden yapılabilir.

Levha Topraklayıcı: Delikli ve ya dolu levhalardan yapılan bakır ve elik karışımlı topraklayıcıdır. Bu topraklayıcılar diğer topraklayıcılara oranla daha derine g6m6l6rler. Levha topraklayıcılar zemine dik olarak yerleşitirilir. Topraklayıcının boyutları gerekli yayılma direncine g6re seçilir. Levhaların 6st kenarı toprak seviyesinden en az 1m aşağıda olmalıdır. Levha topraklayıcı ile toprak arasında boşluk olmamalıdır. Ayrıca toprak 6zg6l

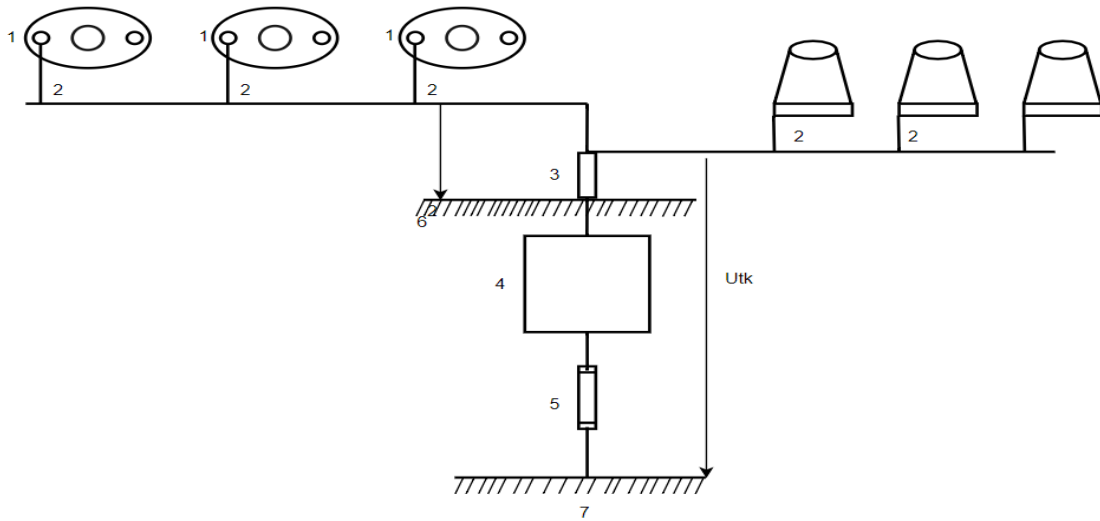
direncinin küçük olması istenmektedir. Toprak özgül direncini istenen seviyeye getirmek için toprağa kömür tozu eklenmektedir. Şekil 1.3'te levha topraklayıcı görülmektedir [23].



Şekil 1.3. Levha topraklayıcı

1.5. Topraklama Tesisi

Birbirine iletken olarak bağlanan ve sınırlı bir alan içinde bulunan topraklayıcılar ile boyasız direk ayakları metal kablo kılıfları gibi metal parçalar ve topraklama iletkenlerinin tümüne denir. Şekil 1.4'te görsel olarak topraklama tesisi gösterilmiştir [19].



Şekil 1.4. Topraklama tesisi

Şekil 1.4' te ;

- 1: Topraklama bağlantı ucu
- 2: Topraklama iletkeni
- 3: Topraklama barası
- 4: Topraklayıcı
- 5: Yayılma direnci
- 6: Zemin
- 7: Referans toprak

Utk: Topraklayıcı gerilimidir.

Alçak gerilim tesislerinde işletme personeli ve çeşitli alçak gerilimli cihazlarını kullanan şahıslar, yüksek gerilim tesislerinde ise işletme personelleri, , bir yalıtım hatası durumunda her zaman tehlikeli adım veya temas gerilimine maruz kalır. Böyle durumlarda tehlikeye maruz kalabilirler. Elektrik tesislerindeki topraklamanın görevi ise yalıtım hatası meydana geldiğinde, arızalı fazdan geçen hata akımının yardımı ile hata akım devresini kesmektir. Diğer bir görevi ise akımların insan hayatını tehlikeye sokacak bir yoldan geçmelerini önlemek ya da hata gerilimlerinin tehlikeli sınır değerlerin altında kalmasını sağlamaktır. Bir topraklama tesisinin kurulması için gereken koşullar aşağıda verilmiştir [23]. Bunlar;

- Mekanik dayanım ve korozyona karşı dayanıklılığın sağlanması,
- İşletme araçları ve çevredeki nesnelere zarar görmesinin engellenmesi,
- Isıl bakımdan en yüksek hata akımına karşı dayanıklılık,
- En yüksek toprak hata akımı esnasında, topraklama tesislerinde ortaya çıkabilecek gerilimlere karşı personel veya çevredeki insanların can güvenliğinin sağlanmasıdır.

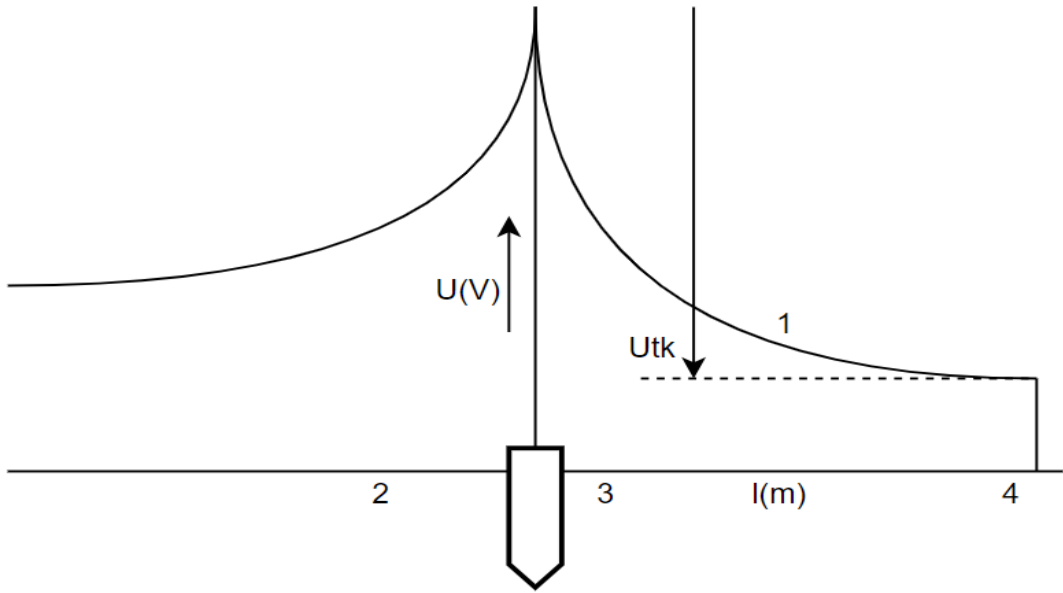
Bu koşulların sağlanması için;

- Hata akım değeri,
- Hatanın süresi,
- Toprak özellikleri bilinmesi gerekmektedir.

1.6. Potansiyel Dağılım

Topraklanmış bir işletme aracında herhangi bir hata durumunda bu hataya bağlı olarak kısa devre arızası meydana geldiğinde referans topraktan itibaren ölçülmek üzere söz konusu işletme aracına doğru potansiyel kayma olur.

Örneğin bir trafo merkezinde herhangi bir yalıtım hatası sonucu oluşan arıza akımı veya yıldırım darbesi isabet etmesi sonucu toprağın h kadar altına gömülü topraklama ağının referans toprağa göre meydana getirdiği dağılım Şekil 1.5'te gösterilmiştir [19].



Şekil 1.5. Topraklayıcı etrafındaki potansiyel dağılım

Şekil 1.5' te;

U : Gerilim ekseni (V)

l : Mesafe ekseni (m)

U_{tk} : Topraklayıcı gerilimi (V)

1 : Potansiyel dağılımı ifade eder.

2 : Toprak

3 : Topraklayıcı gösterir.

4 : Referans topraktır.

1.7. Topraklama Direnci ve Ölçümü

Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği'ne göre topraklayıcının yayılma direnci ile topraklama iletkeninin direncinin toplamına denir. Topraklama direncini önceden kesin olarak bilmek mümkün değildir. Toprak homojen bir madde olmadığından dolayı topraklama direncinin her noktada aynı olması söz konusu değildir. Topraklama direncinin ölçülmesinde ki amaçlar aşağıda belirtilmiştir. Bu amaçlar;

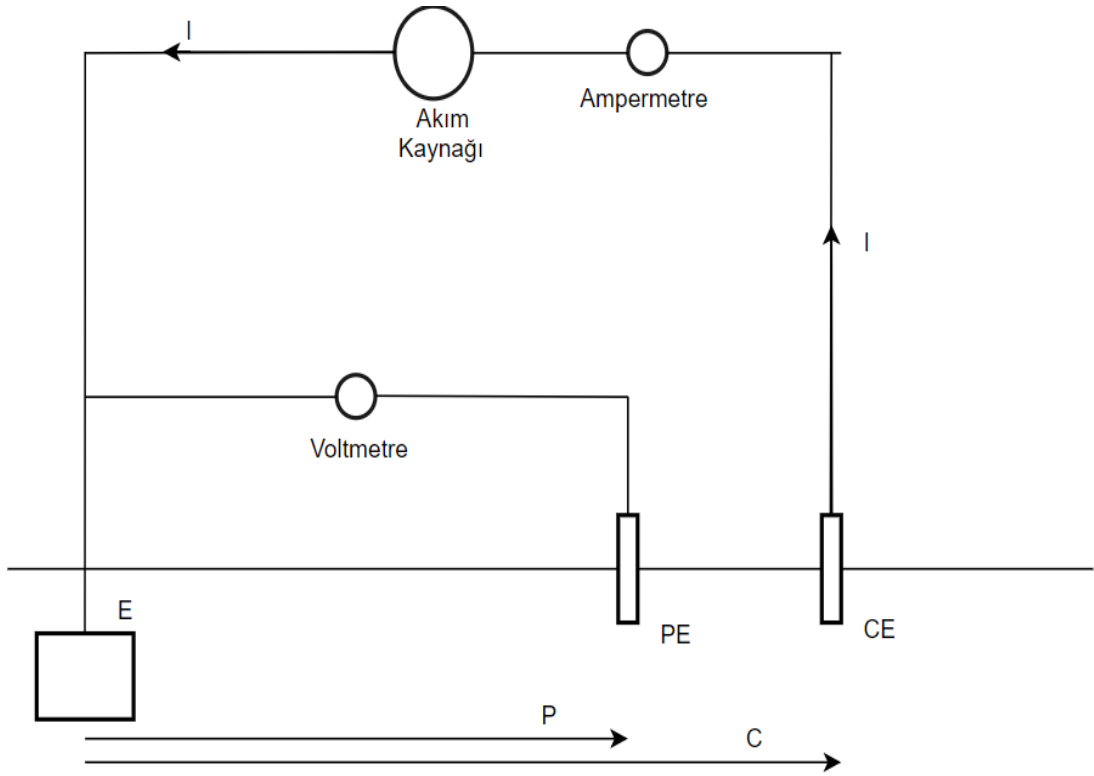
- Yapılan hesapların denetlenmesini sağlamak,
- Radyo frekansı ile uygunluğunun sağlanması,
- Topraklama sisteminin gerçek direncinin saptanması,
- Alan içerisinde yapılacak binaların koruma projelerinin hazırlanması için gerekli verilerin elde edilmesini sağlamak,
- Topraklama sistemlerinde gerilim yükselmesinin ve bütün bir alan boyunca gerilim değişiminin belirlenmesini sağlamak,
- Topraklama sisteminin yıldırım boşalmalarına karşı koruma etkisinin belirlenmesidir.

Topraklama direncinin ölçümünde literatüre bakıldığında 6 yöntem kullanılmaktadır.

Bu yöntemler;

- Basit Gerilim Düşümü Metodu
- %61.8 Metodu
- Dört Nokta Metodu
- Kesişen Doğru Metodu
- Eğim Metodu
- Selvaz Metodu

Basit Gerilim Düşümü Metodu: Topraklama direncinin bulunması için belirtilen metotlar arasından en çok kullanılanı basit gerilim düşümü metodudur. Şekil 1.6'da basit gerilim düşümü metodu görsel olarak verilmiştir [24].



Şekil 1.6. Basit gerilim düşümü metodu

Bu metotta iki elektrot kullanıldığı görülmektedir. Bu elektrotlar gerilim elektrotu (PE) ve akım elektrotudur (CE). CE topraklama sisteminden belirli bir mesafede toprağa gömülür. Bu sayede toprağa topraklama sisteminden akan I akımı, akım elektrotu sayesinde akım kaynağına geri döner. Sistemdeki akım toprak yüzeyi boyunca bir gerilim karakteristiği oluşturur. E ve CE'yi birleştiren bir hat boyunca bazı noktalardaki potansiyel, PE ile ölçüldüğünde bir eğri elde edilir. Başka bir ifadeyle, ölçülen direncin işaretlenmesi ve potansiyel probunun pozisyonu ile elde edilen eğri olarak ifade edilir. İşte bu eğrinin düz kısmında toprak direncinin meydana geldiği kabul edilir. Basit gerilim düşümü metodunun dezavantajı ise E ve CE arasında doğru sonucu bulduracak mesafenin tam olarak bilinmemesinden kaynaklı toprak direncinin belirlenmesinde esas olan düz bölgenin bazı durumlarda hiç oluşmamasıdır. Akım elektrotunun yerinin belirlenmesi sadece akım elektrotu ile topraklama sisteminin şekillerine bağlı değil aynı zamanda elektrotların içinde buldukları toprağın özellikleri de akım elektrotunun mesafesinin belirlenmesini etkilemektedir.

%61.8 Metodu: %61.8 metodunun temeli basit gerilim düşümü metoduna dayanır. Basit gerilim düşümü tekniğinden farkı topraklama sistemi ile akım probu arasında ki farklı ölçme yerlerine, belirli bir mesafeden tek bir ölçümle sonucun belirlenmesidir. Toprağın sabit öz dirençli ve homojen olduğunu kabul edersek topraklama direnci eşitlik (1.1) ile hesaplanır [24].

$$R = \frac{\rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{c} - \frac{1}{p} + \frac{1}{c-p} \right) \quad (1.1)$$

Eşitlik (1.1)' de ki gibi verilen herhangi bir elektrot ve sabit C için gerçek direnç ölçümünü gösterecek gerilim probunun pozisyonunun bir tane olduğu gösterilmiştir. Bu nokta $P=0.618C$ ' in olduğu noktadır. Bu tekniğin en önemli avantajı, çok uzun ölçme işlemine gerek kalmadan tek ölçümle sistemin tüm toprak direncinin ölçülmesini sağlamasıdır. İşlemin sağlanması C artırılıp ölçmenin tekrarlanmasıyla yapılabilir. Bu ölçme tekniğinin dezavantajı ise sadece simetrik, kompleks olmayan ve homojen toprak içine gömülmüş sistemlere uygulanabilmesidir.

Dört Nokta Metodu: Dört nokta metodunun basit gerilim düşüm ve %61.8 metoduna göre bazı avantajları vardır. %61.8 metodunda eşdeğer yarı kürenin merkezinin bilinmesi gerekmektedir. Tek çubuklu ve simetrik sistemler için oldukça basit olan bu iş, geniş ve simetrik olmayan sistemler için son derece güçtür. Dört nokta metodunda kullanılan ekipman ile verilen metotlarda kullanılan ekipman arasında hemen hemen hiçbir fark yoktur. Fakat bu metotta dört farklı gerilim ölçümünün yapılması gerekmektedir. Topraklama sistemi ile akım elektrotu arasında bizim belirleyeceğimiz dört farklı ölçüm yapılır [24].

$$P1 = 0.2C, P2 = 0.4C, P3 = 0.6C, P4 = 0.8C \quad (1.2)$$

Gerilim probunun yeri eşitlik (1.2)' de verildiği gibi seçilerek bu dört farklı nokta için dört farklı direnç değerinin ölçülmesi istenir. Gerçek direnç değeri bu dört ölçüm yapılarak (1.3)' te ki formülle hesaplanır.

$$R = R1(-0.1187) - R2(0.4667) + R3(1.9816) - R4(0.3961) \quad (1.3)$$

Eşitlik (1.3)'te ki R1, R2, R3 ve R4 direnç değerleri her bir P değeri için ölçülen direnç değerleridir. Ölçülen bu direnç değerleri seçilen referans noktasından tamamen bağımsızdır. Bu ölçüm metodunda hatayı minimize etmek için P noktalarında yapılacak ölçümlerde aynı referans noktasının kullanılması çok önemlidir. C artırılarak ikinci ölçümler yapılır. İkinci ölçümler sonuçların doğruluğunun kontrol edilmesi için yapılır.

Kesişen Doğru Metodu: Kesişen doğru metodunun temel ilkesi topraklama sisteminin elektriksel merkezinin tam olarak belirlenememesi durumlarında P ve C noktaları için aynı hata miktarlarıyla ölçme yapılmasıdır. Bu method üç farklı C noktası için ölçüm yapılarak toprak direnci eğrisinin bulunmasını bize önerir. Bu ölçümler yapılırken basit gerilim düşümü methodu kullanılmak zorundadır. Bu ölçme sonuçlarının hepsi aynı hatayı içerdiği için sistemin elektriksel merkezinden ölçüm yapılmış kadar doğru topraklama direncini verir. Bu teknikte her C değeri bir önceki C değerinden 1.5-2 katı büyük alınması önerilmektedir. P noktasının değerleri eşitlik (1.4)'e göre elde edilir.

$$P\lambda = 0.618(C + \lambda) - \lambda \quad (1.4)$$

(1.4) numaralı eşitlik' te λ gerçek merkez ile kabul edilen merkez arasındaki mesafedir. Ölçüm için R- λ arasındaki eğrinin çizilmesi gereklidir. Oluşan üçgenin ağırlık merkezi yardımıyla R ve λ değerleri belirlenir [24].

Eğim Metodu: Eğim metodu toprak direnç eğrilerinin değişim katsayısının belirlenmesi esasına dayanır. Sabit C noktası için değişik üç P noktasından yapılan ölçüm yoluyla eğrinin değişim katsayısının hesaplanmasını temel alır. Gerilim probu sırasıyla P1=0.2C, P2=0.4C ve P3=0.6C noktalarına yerleştirilir. Daha sonra R1, R2 ve R3 direnç değerleri ölçülür. Böylece eğrinin değişim katsayısı eşitlik (1.5) ile hesaplanır [24].

$$\mu = \frac{R3 - R2}{R2 - R1} \quad (1.5)$$

Eşitlik (1.5)'ten hesaplanan μ değeri ile PT/C değeri elde edilir. C bilindiğinden doğru ölçmenin yapılabilmesi için gerilim probunun (P) nereye yerleştirilmesi gerektiği hesaplanabilir. Gerilim probu referans bölgeden PT metre kadar ileriye yerleştirilir. Gerilim probu yerleştirildikten sonra ölçme yapılır. Test sonucunda μ değeri elde edilir.

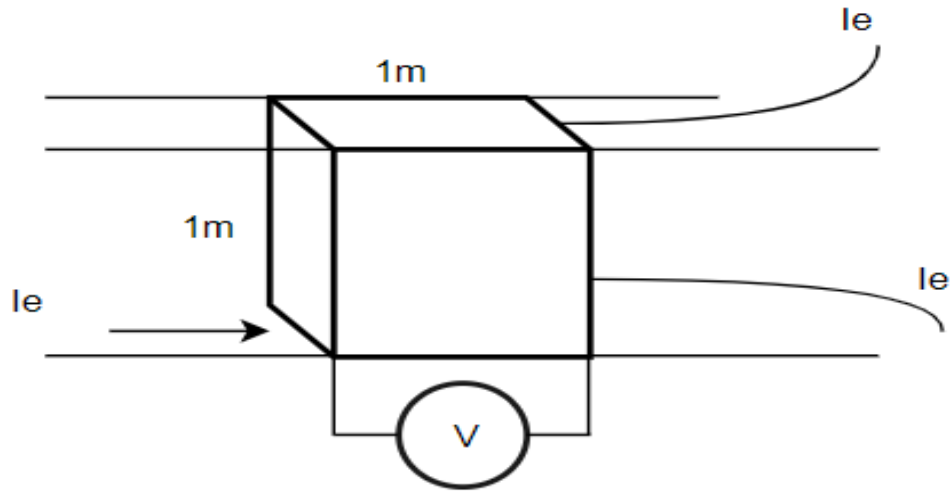
Elde edilen μ değeri 2'den büyük bulunursa, akım probunun yeri referans noktasından daha uzağa yerleştirilir ve ölçme tekrarlanarak tekniğin cevap vereceği μ değeri elde edilir.

Topraklama direncini ölçülmesi için literatürde kullanılan teknikleri karşılaştırdığımızda [24];

- Basit gerilim düşümü metodu ile %61.8 metodunun kullanılabileceği en uygun sistem simetrik topraklama sistemleridir.
- Kesişen doğru metodu, dört nokta metodu ve eğim metodunun kullanılabileceği en uygun sistem simetrik olmayan topraklama sistemleridir.
- Tüm metotlar arasından temel olarak baz alınan basit gerilim düşümü metodudur.

1.8. Toprak Özgül Direnci ve Ölçümü

Toprağın özgül elektrik direncidir. Dünyanın tabii yapısını oluşturan toprağın özgül elektrik direncinin birimi Ohm-metre ($\Omega.m$) dir. Bir metreküp toprağın iki karşı yüzeyi arasında ölçülen dirençtir. Şekil 1.7'de fiziksel açıklaması gösterilmektedir [25] [35].



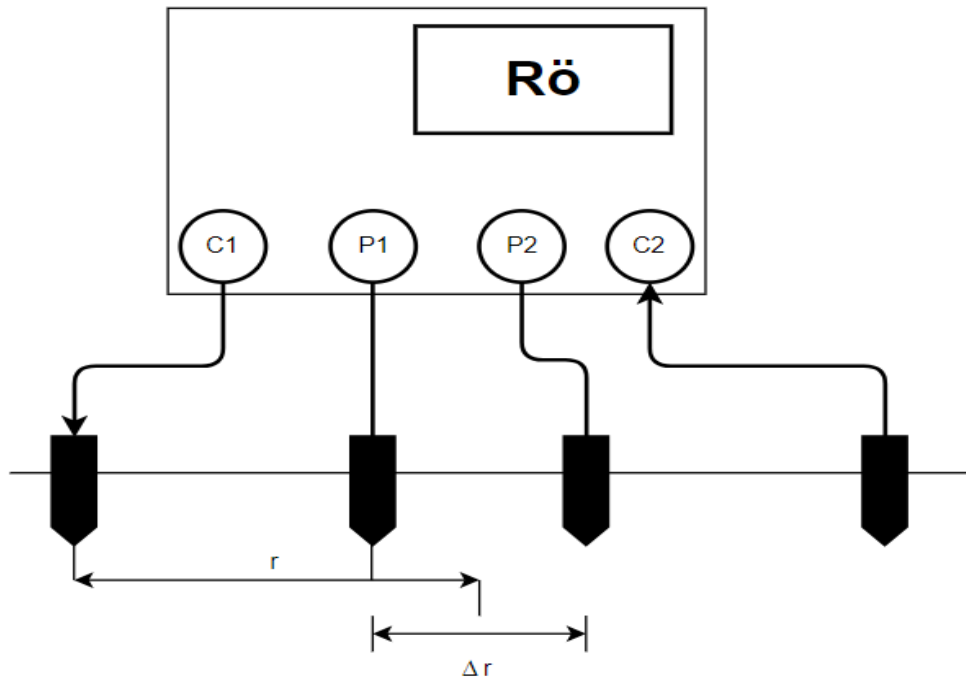
Şekil 1.7. Toprak özgül direncinin fiziksel açıklaması

Toprak özgül direncinin ölçülmesi için kullanılan yöntemler;

- WennerYöntemi
- Schlumberger Yöntemi

- Tek Elektrot Dipol Yöntemi
- Dipol-Dipol Yöntemi
- Yarım Schlumberger Yöntemi
- Yarım Wenner Yöntemi

Bu ölçme yöntemlerinin hepsi dört adet kazığın bir hat boyunca değişik mesafelerle toprağa dikey şekilde çakılması ile uygulanır. Şekil 1.8'de toprak özgül direnci ölçme düzeneği verilmiştir.

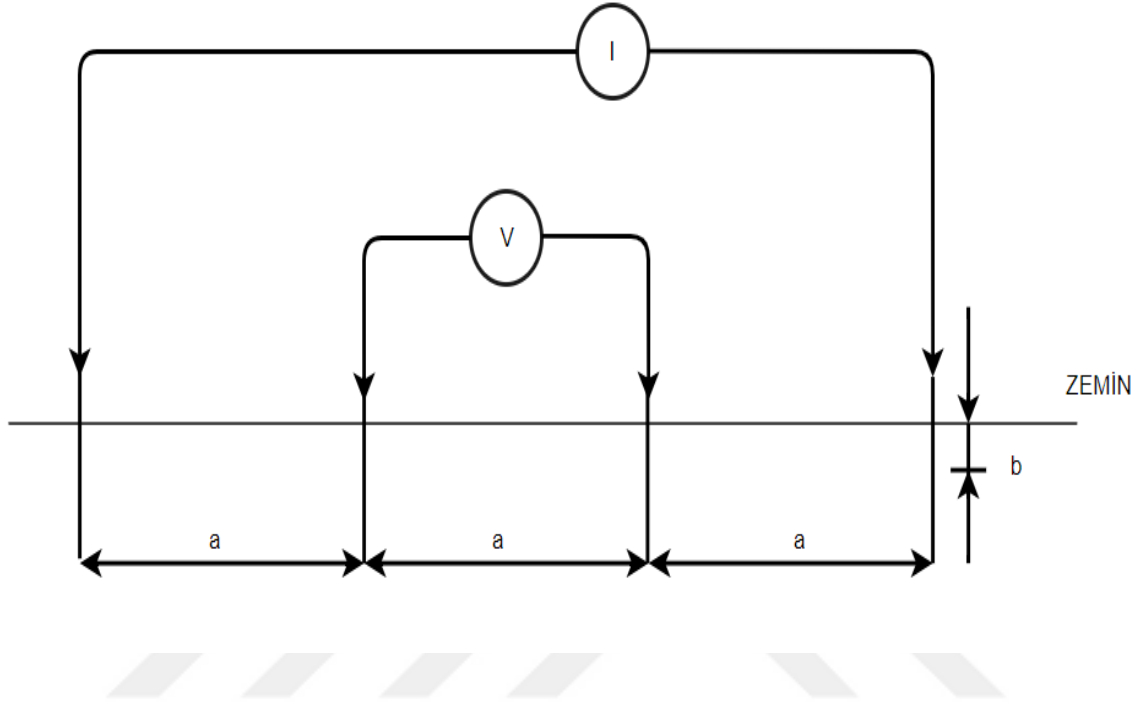


Şekil 1.8. Toprak özgül direnci ölçme düzeneği

Toprak özgül direncini ölçmek için ölçüm cihazının C1 ucundan toprağa doğru 90-160 Hz frekanslı + I akımı gönderilir. Gönderilen akım C2 ucundan - I olarak geri gelir. Bu gönderilen ve geri dönen akım, P2 ve P1 uçlarında U kadar bir potansiyel fark meydana getirecektir. Ayrıca yeni ölçüm cihazları "k" faktörünü ve U/I oranını da belirleyip direkt olarak görünür öz direncide vermektedir.

WENNER Yöntemi: Toprak özgül direnç ölçümünde en çok kullanılan yöntemdir. 1915 yılında Dr. Frank Wenner tarafından bulunmuştur. Wenner metodunda 4 kazık yardımıyla özgül direnç ölçülür. Dört adet elektrot eşit aralıklarla ve aynı doğrultuda

yerleştirilir. Toprak megeri ile dışlardaki elektrotlardan akım uygulanır, içteki elektrotlardan gerilim ölçülür, toprak direnci Ohm kanunu uygulanarak ölçü aletinden doğrudan okunabilir. Şekil 1.9’da Wenner metodu gösterilmiştir [26] [27].



Şekil 1.9. Wenner yöntemi

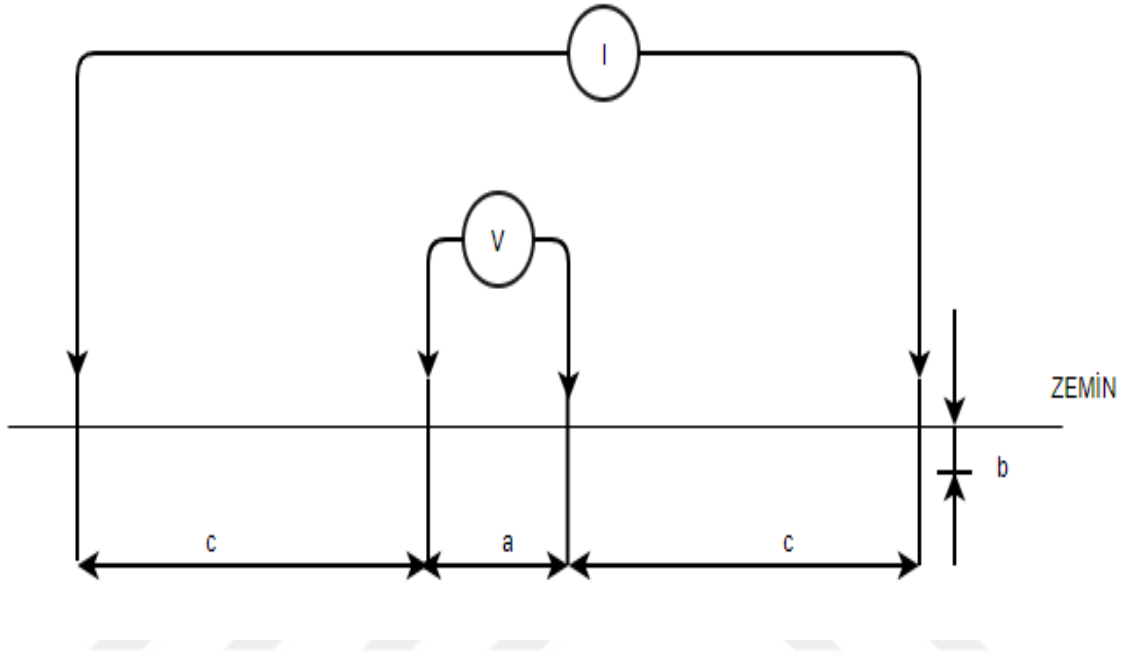
Wenner yöntemi yardımıyla görünür öz direnç değeri denklem (1.6) ile de hesaplanabilir.

$$\rho E = \frac{4\pi a R_w}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (1.6)$$

Eşitlik (1.6)'da;

- ρE Ölçülen özgül toprak direnci ($\Omega.m$)
- b Elektrotların derinliği (m)
- a Elektrotlar arası mesafe (m)
- R_w "V/I" Wenner direncidir.

Schlumberger Yöntemi: Schlumberger yönteminde, gerilim elektrotları arasındaki mesafe “a” ve gerilim elektrotu ile akım elektrotu arasındaki mesafe “c” dir. Şekil 1.10’da Schlumberger metodu gösterilmiştir [20] [26].



Şekil 1.10. Schlumberger yöntemi

Schlumberger yöntemini kullanarak “b” mesafesi “a” ve “c” mesafelerinden küçükse ve “c” > “2a” ise ρE eşitlik (1.7) ile bulunur.

$$\rho E = \pi \frac{c(c+a)R_s}{a} \quad (1.7)$$

Eşitlik (1.7)’de;

- ρE Ölçülen özgül toprak direnci ($\Omega.m$)
- a Gerilim elektrotları arası mesafe (m)
- b Elektrotların derinliği (m)
- c Akım elektrotu ile gerilim elektrotu arası mesafe (m)
- R_s "V/I" Schlumberger direnci

1.9. Yayılma Direnci

Bir topraklama tesisi ya da topraklayıcı ile bundan yeteri kadar mesafe uzaklıktaki referans toprağı arasındaki geçiş direnci olarak tanımlanır. Topraklayıcının yayılma direnci, topraklayıcının boyutları , özgül toprak direnci ve düzenleme biçimiyle doğrudan ilgilidir [28]. Yayılma direnci, yaklaşık olarak ohmik direnç kabul edilebilir.

- ρ_E Ölçülen özgül toprak direnci ($\Omega.m$)
- d Çubuk çapı (m)
- l Çubuk boyu (m);

Çubuk topraklayıcının yayılma direnci eşitlik (1.8) ile hesaplanır [26].

$$R_E = \frac{\rho_E}{2\pi l} \ln \frac{4l}{d} \quad (1.8)$$

- d İletken kalınlığı veya şerit kalınlığının yarısı (m)
- $D = \frac{l}{\pi}$ Halka topraklayıcının çapı (m)
- l Şerit veya halka topraklayıcının uzunluğu (m);

Şerit topraklayıcının yayılma direnci eşitlik (1.9) ile hesaplanır [26].

$$R_E = \frac{\rho_E}{\pi l} \ln \frac{2l}{d} \quad (1.9)$$

Halka topraklayıcının yayılma direnci eşitlik (1.10) ile hesaplanır [26].

$$R_E = \frac{\rho_E}{\pi D} \ln \frac{2\pi D}{d} \quad (1.10)$$

- D Gözlü topraklayıcının alanına eşdeğer alanlı daire çapı (m) olmak üzere;

Gözlü topraklayıcının yayılma direnci eşitlik (1.11) ile hesaplanır [26].

$$R_E = \frac{\rho_E}{2D} + \frac{\rho_E}{l} \quad (1.11)$$

1.10. Topraklama Çeşitleri

Elektrik tesislerinde kullanılan topraklama sistemleri kullanım amaçlarına, çeşitlerine ve şekline göre yönetmelikle belirlenmiştir. Bu gruplandırma aşağıda verilen kriterlere göre yapılmıştır;

- Kurulu güç
- Topraklamanın bulunduğu tesise göre önemi
- Kullanılan cihazların çalışma durumu

1.10.1. Çeşitlerine Göre Topraklama Sistemleri

Çeşitlerine göre topraklama sistemleri topraklama hattı üzerinde bulunacak ek direnç ve topraklama iletkenini üzerinde bulunan hat kesicilere göre sınıflandırılmıştır. Bunlar;

- Dolaylı topraklama
- Dolaysız topraklama
- Açık topraklama olmak üzere 3 grupta tanımlanmıştır.

Dolaylı Topraklama: Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği'ne göre topraklama iletkeni üzerine bağlanan endüktif, kapasitif ya da omik dirençlerle yapılan topraklamayı ifade eder.

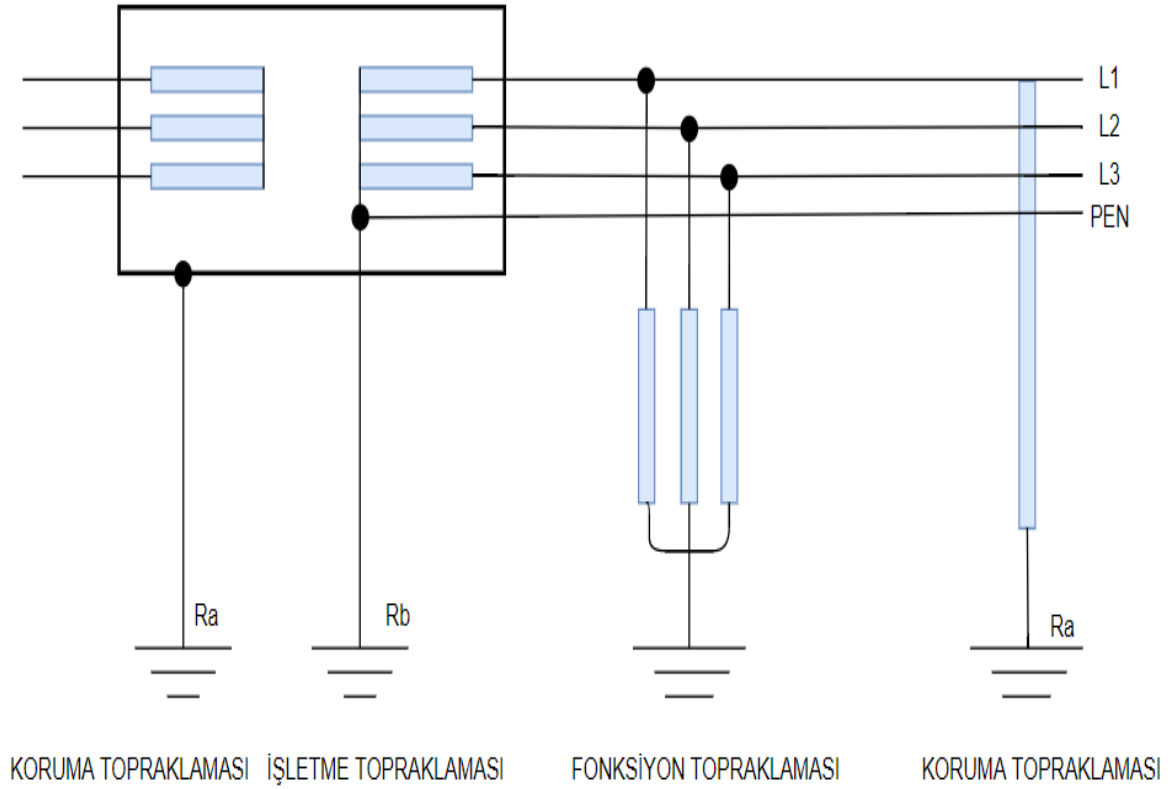
Dolaysız Topraklama: Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği'ne göre topraklama direncinden başka hiçbir direnç içermeyen topraklamayı ifade eder.

Açık Topraklama: Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği'ne göre topraklama iletkeni üzerine bir eklatör ya da bir parafudr bağlanan topraklamayı ifade eder.

1.10.2. Amaçlarına Göre Topraklama Sistemleri

Amaçlarına göre topraklama sistemleri aşağıda verilmiş ve Şekil 1.11'de amaçlarına göre topraklama çeşitleri görsel olarak sunulmuştur.

- Koruma Topraklaması
- İşletme Topraklaması
- Fonksiyon Topraklaması
- Yıldırım Topraklamasıdır.



Şekil 1.11. Amaçlarına göre topraklama çeşitleri

Koruma Topraklaması: Bir izolasyon hatası durumunda elektrik devresinin aşırı akım koruma aygıtları ile açılmasını sağlamak amacıyla gerilim altında olmayan iletken tesis bölümlerinin topraklayıcılara ya da topraklanmış bölümlere doğrudan doğruya bağlanmasına koruma topraklaması denir. Örnek olarak;

- Elektrik generatörlerinin ve motorlarının, traverslerinin gövde kısımlarının topraklanması,
- Binaların ulaşılabilen iletken olan kısımlarının topraklanması,
- Yüksek ve alçak gerilim kablolarının madeni ve kurşun kılıf zırhlarının topraklanması verilebilir.

Yüksek gerilim tesislerinde tehlikeli temas ve adım gerilimlerine karşı koruma sağlamak için tek koruma metodu koruma topraklaması olmasına rağmen alçak gerilim tesislerinde dokunma gerilimine karşı koruma sağlamak için uygulanan değişik metotlar içinde vardır.

İşletme Topraklaması: Aktif bölümlerin ve sıfır iletkeninin topraklanması işlemine işletme topraklaması denir. İşletme topraklamasının amacı topraklanan noktayı toprak potansiyelinde tutmaktır. İşletme topraklaması iki şekilde yapılır. Bunlar;

- Dirençsiz İşletme Topraklaması,
- Dirençli İşletme Topraklamasıdır.

Dirençsiz İşletme Topraklaması: Topraklama devresine direnç koymadan, doğrudan doğruya yapılan topraklama türüdür.

Dirençli İşletme Topraklaması: Omik, endüktif ya da kapasitif bir direnç üzerinden yapılan topraklama olup genellikle OG sistemlerinde uygulanır.

İşletme topraklamasına transformatörlerin yıldız noktalarının topraklanması örnek olarak verilebilir. Koruma topraklaması üzerinden yalnız hata halinde akım geçtiği halde işletme topraklaması üzerinden arızasız durumlarda da bir akım geçebilir ve parafudurda bir atlama olduğunda toprağa karşı büyük bir gerilim altında kalabilir. Bu oluşan gerilim istenmeyen durumlara yol açabilir.

Fonksiyon Topraklaması: Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği'ne göre bir iletişim tesisinin ya da işletme elemanının istenen bir fonksiyonu yerine getirmesi amacıyla yapılan topraklamadır. Fonksiyon topraklaması ayrıca toprağı dönüş iletkeni olarak kullanan iletişim cihazlarının işletme akımlarını da taşır. İşletme topraklamasına raylı sistem ve zayıf akım topraklamaları örnek olarak verilebilir.

Yıldırım Topraklaması: Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği'ne göre yıldırım düşmesi durumunda, işletme gereği gerilim altında bulunan iletkenlere atlamaları (geri atlamalar) geniş ölçüde önlemek ve yıldırım akımını toprağa iletmek amacıyla işletme akım devresine ilişkin olmayan iletken bölümlerin topraklanmasıdır.

1.10.3. Şekillerine Göre Topraklama Sistemleri

Şekillerine göre topraklama sistemleri dörde ayrılır. Bunlar;

- Münferit (Tekil) Topraklama,
- Yüzeysel Topraklama,
- Çoklu Topraklama,
- Yıldız şeklinde Topraklamadır.

Münferit (Tekil) Topraklama: Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği'ne göre işletme elemanı ya da cihazın sadece kendine ilişkin topraklayıcıya bağlı olduğu topraklama çeşitidir.

Yüzeysel Topraklama: Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği'ne göre cihazların kendi aralarında ağ şeklinde bir altyapı ile birleştirilip fonksiyon ve koruma topraklamasına bağlandığı topraklamadır.

Çoklu Topraklama: Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği'ne göre bir işletme elemanı ya da cihazın topraklanmış birden çok iletkene bağlandığı topraklama türüdür. Topraklanmış iletkenlere örnek potansiyel dengeleme iletkeni, koruma iletkeni ya da fonksiyon topraklama iletkeni örnek olarak verilebilir. Bu iletkenler aynı ya da farklı topraklama birleştirme iletkenine bağlı olabilir.

Yıldız Şeklinde Topraklama: Elektrik Tesislerinde Topraklama Yönetmeliği'ne göre birden çok işletme elemanının ya da cihaza ilişkin topraklama iletkenlerinin topraklanmış bir noktada yıldız şeklinde topraklanmasına yıldız şeklinde topraklama denir.

1.11. Alçak Gerilim Sistemlerinde Topraklama

Alçak gerilimde (AG), tüm dağıtım şebekelerinin nötrleri topraklanmak zorundadır. Bu topraklama iyi ya da kötü olabilir. Yapılan bu topraklamada ki amaç her durumunda nötr iletkeninin çok düşük bir gerilimde ve faz iletkenlerinin anma gerilime yakın değerde tutulmasını sağlamaktır. Aynı zamanda iletkenlerle doğrudan olan temasların tehlikesini sistem çalışmasını bozmadan azaltmaktır. AG sistemlerinin nötrlerinin topraklanmasının yeterli olmadığı durumlarda bir faz toprak arasında sağlam faz iletkenlerinin fazları arasında gerilim yükselmesi meydana gelebilir. Kaynak ile gövde arasında bir bağlantı olduğu sürece nötr iletkeni ile arızalı aygıtın gövdesinde aynı anda çok düşük bir gerilim sağlanması imkansızdır. Bu nedenle gerçek bir kısa devre meydana gelebilmesi için gövde ve nötr topraklama dirençlerinin yeterince küçük olması gerekmektedir.

Alçak gerilim sistemlerinin topraklanması zor bir sorundur. Buna rağmen kamu dağıtım sistemlerinde nötrün topraklanması yüksek gerilimle karşılaşma tehlikesinden ötürü hala AG sistemlerinin topraklanması istenmektedir. Fakat özel sistemlerde ve özellikle sistemin toprağa olan yalıtımının sürekli sağlanabildiği durumlarda bu topraklama gerekli değildir. Böylece her basit arıza veya her bir iletkenle olan doğrudan temasın

anında işareti alınır. Böylece ikinci bir arızanın doğmasına fırsat bırakılmadan arıza temizlenir.

Uluslararası standartlarda ve ulusal yönetmeliklerde 3 farklı AG elektrik dağıtım sistemi tanımlanmıştır. Bunlar;

- IT Sistemler (IT Tipi Şebeke)
- TT Sistemler (TT Tipi Şebeke)
- TN Sistemler (TN Tipi Şebeke)

Burada ilk harf güç sisteminin toprağa bağlanma şeklini, ikinci harf ise tesisatın açıktaki iletken bölümlerinin toprağa bağlanmasını ifade etmektedir. İlk harfler;

- T Bir noktanın toprağa doğrudan bağlanmasını,
- I Bütün gerilim bölümlerinin topraktan ayrılmış olması veya bir noktadan bir empedans üzerinden toprağa bağlanmasını ifade etmektedir.

İkinci harfler;

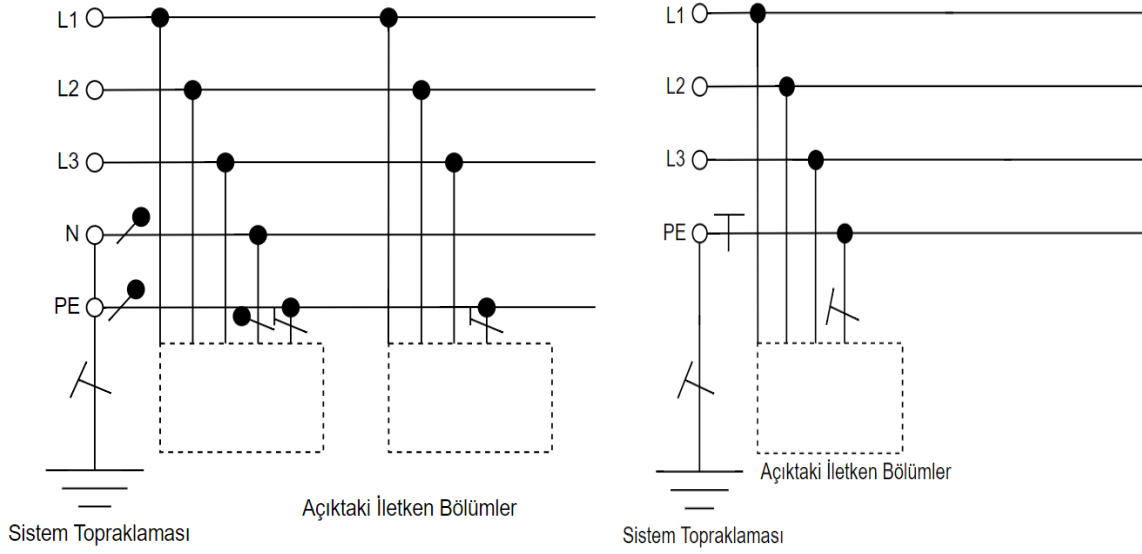
- N Açığıtaki iletken bölümlerin güç sisteminin topraklanmış noktasına elektriksel olarak doğrudan bağlanmasını
- T Güç sisteminin herhangi bir noktasının topraklanmasından bağımsız olarak açıktaki iletken bölümlerinin elektriksel olarak doğrudan toprağa bağlanmasını, ifade etmektedir.

1.11.1. TN Sistemler

TN tipi şebeke kullanılan en yaygın sistemdir. Bu sistemde doğrudan topraklanmış bir nokta bulunur ve tesisatın açıktaki iletken bölümleri bu noktaya koruma iletkeni aracılığıyla bağlanır. Bu yapılan işlem işletme topraklamasıdır. TN sistemi, nötr ve koruma iletkenlerinin düzenlenmesine göre üç tipe ayrılır. Bunlar;

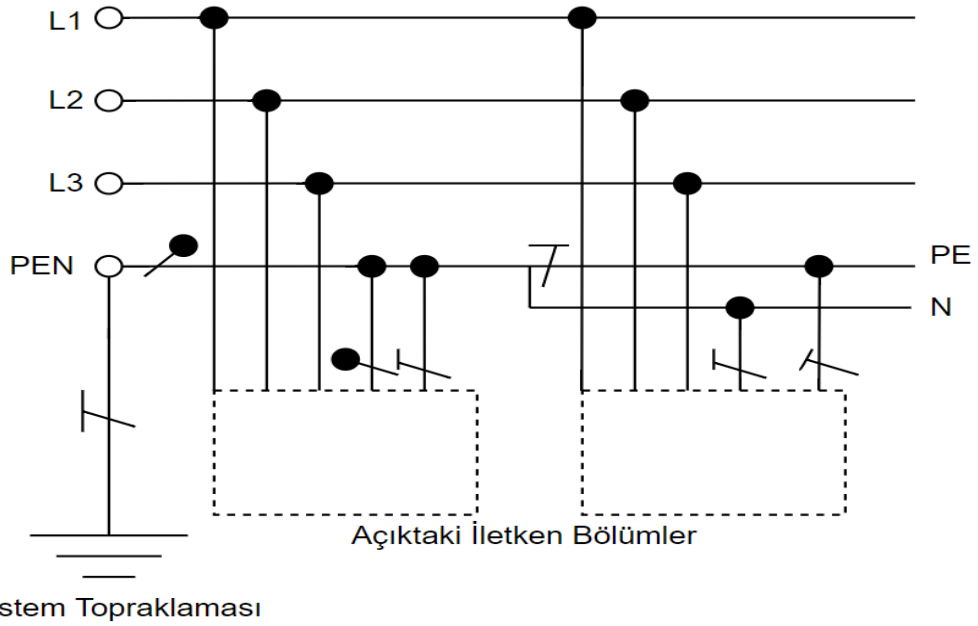
- TN-S Sistem
- TN-C-S Sistem
- TN-C Sistem

TN-S Sistem: TN-S sistemde tesise ait bütün madeni kısımlar, PE koruma hattı üzerinden işletme topraklamasına bağlanır. Koruma ve nötr iletkenleri şebekenin tamamı boyunca ayrı ayrı çekilir. Sistem tamamında ayrı bir koruma iletkeni kullanılır. TN-S sistem Şekil 1.12’de gösterilmiştir.



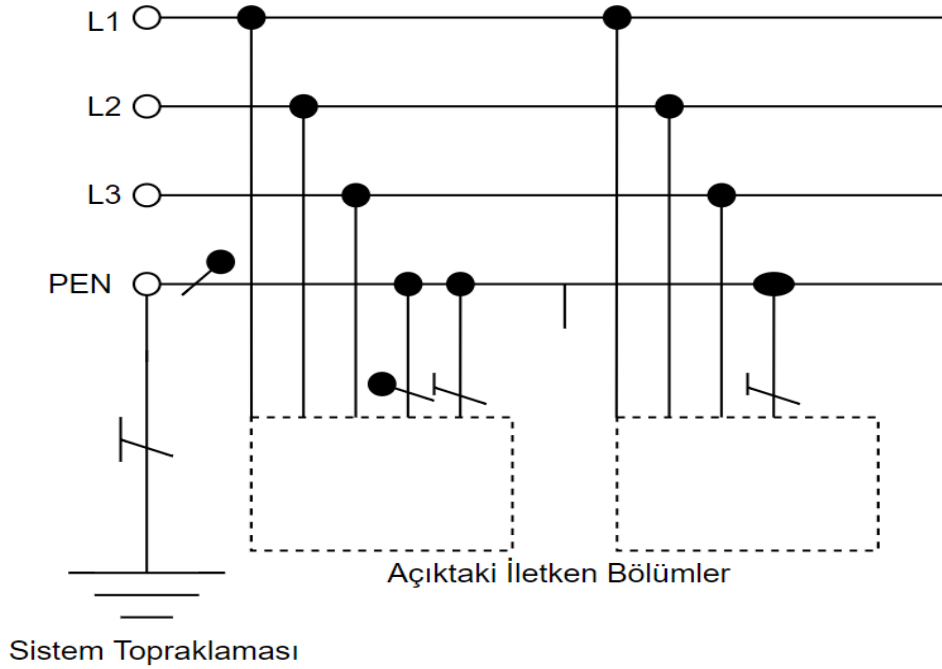
Şekil 1.12. TN-S sistem

TN-C-S Sistem: TN-C-S’de koruma ve nötr iletkenleri, şebekenin bir bölümünde ayrı ayrı bir bölümünde ortak bir iletken olarak çekilir. TN-C-S sistem Şekil 1.13’te gösterilmiştir.



Şekil 1.13. TN-C-S sistem

TN-C Sistem: TN-C Sistemde bütün madeni kısımlar, koruma ve nötr iletkenleri birleştirilerek sistemin tamamından ortak iletken (PEN) çekilir. TN-C sistem Şekil 1.14'te gösterilmiştir.



Şekil 1.14. TN-C sistem

1.12. Yüksek Gerilim Elektrik Tesislerinde Topraklama

Nötrü yalıtılmış veya bir petersen bobini üzerinden topraklanmış yüksek gerilim sistemlerinde topraklamanın yokluğu toprak arıza akımlarını sınırlandırdığı, termik ve elektrodinamik etkileri azalttığı için malzemenin korunmasına yardımcı olduğu söylenebilir.

Arıza akımlarının düşük bir değerde olması toprağa karşı olan arklarının kendiliğinden sönmeye yardımcı olur. Aynı zamanda bu durum sistemin sürekliliğine katkı sağlar. Ayrıca koruyucu topraklamanın üzerinden arıza akımlarının geçmesiyle doğan gerilimler azalacağından personelin güvenliği de önemli bir ölçüde sağlanmış olur.

Nötrü doğrudan topraklı yüksek gerilim sistemlerinde toprak arıza akımlarının büyük olmasına karşılık, bir yandan aşırı gerilimlerin düşük olması, diğer yandan da aşırı akımlarla çalışan korunmalar yardımıyla sistemde kalma süresi azaldığı için malzeme

korunmuş olur. Arızalı bölümler devre dışı bırakıldığı için servis kalitesi yükselir, arızanın çok hızlı temizlenmesiyle de personelin güvenliğine katkıda bulunulmuş olunur.

Yeterli bir güvenliğin elde edilmesi yalnızca topraklama ile gerçekleşmez, topraklama ile koruma sistemleri arasında koordinasyonun da sağlanması gereklidir. Sistemde iyi bir topraklamanın gerçekleşmesinin güçlüğü kadar rölelerin duyarlılığının da fazla olması önemli bir unsurdur.

Arıza merkezinde gerilimlerin tehlikeli olmayan değerlerde sınırlandırılması özellikle nötrü topraklı yüksek gerilim sistemlerinde koruyucu topraklamadan her zaman istenemez. Bu sistemlerde personelin güvenliği arızaların çok hızlı temizlenmesi ile sağlanmaya çalışılır. Burada koruyucu topraklamanın görevi üzerinden yeterli büyüklükte bir akım geçirmesi ve korumanın çok hızlı çalışmasını sağlamaktır.

Uygulamada bu şekilde sağlanan güvenliğin yeterli ve iyi olduğu görülüyor. Personel kazaları nötrü topraklı ve uygun korumalarla donatılan yüksek gerilim tesislerinde hemen hiç görülmemekte, oluşan kazaların çok az bir bölümü de nötrü yalıtılmış ve toprak akımlarının küçük olması nedeniyle bu akımların uzun süre akabildiği sistemlerde oluşmaktadır.

Yüksek gerilim elektrik şebekelerinin nötr noktasının topraklanması 3 farklı şekilde olur. Bunlar;

- Empedans Üzerinden Topraklanmış
- Yalıtılmış,
- Direkt Topraklanmış olabilir.

Nötr noktasının topraklama durumu, faz-toprak kısa devrelerinde geçecek akıma etki ettiğinden dolayı kısa devre akımının küçültülmesi için nötr noktasının empedans üzerinden topraklanması yapılmalıdır.

OG şebekelerinde toprak kısa devresi akımı 1000 A'yi geçmeyecek şekilde sınırlandırılmak durumundadır.

Öte yandan hata akımının röleler yarımıyla doğru olarak değerlendirilebilmesi için yüksek gerilimli iletim hatlarında hata akımının büyük oranda sınırlandırılması yoluna gidilmelidir.

1.13. Regresyon Analizi

Regresyon analizi, aralarında neden-sonuç ilişkisi bulunan iki ya da daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi belirlemek ve bu ilişkiyi kullanarak o konu ile ilgili tahminler veya kestirimler yapmak amacıyla kullanılan bir yöntemdir [29]. Regresyon analizinde iki ya da daha fazla değişken arasındaki ilişkiyi açıklamada matematiksel bir model kullanılır. Bu modele regresyon modeli denilmektedir. Regresyon analizinin genel olarak amaçları aşağıdaki gibidir;

- Bağımlı bir değişken üzerinde etkisi olan bağımsız değişken ile bağımlı değişken arasındaki ilişkileri açıklayan bir model ortaya koymak,
- Bir değişken üzerinde etkisi olan bir dizi değişkenin etkilerinin derecelerini ve bağımlı değişkendeki değişimi açıklamada öncelikleri belirlemek,
- Bağımlı değişken üzerinde etkisi olan bağımsız değişkenlerin en uygun değerlerini içeren ilişkiler denklemini ortaya koymaktır.

Regresyon analizi;

- Bağımlı değişken ile bağımsız değişkenler arasında ilişki olup olmadığını,
- Eğer bir ilişki varsa bu ilişkinin ne derece güçlü olduğunu,
- Bağımsız değişkenler arasında nasıl bir ilişki olduğunu,
- Bağımlı değişkene ait ileriye dönük değerlerin tahmin edilebilme olasılığını bize belirtir.

1.13.1. Basit Regresyon Modeli

Bir bağımlı bir bağımsız değişkenden oluşan modele basit regresyon modeli denilmektedir. Basit regresyon modelinin bağıntısı eşitlik (1.12)'de gösterilmiştir [29].

$$Y = \alpha + \beta x + \varepsilon \quad (1.12)$$

Eşitlik (1.12)'de;

- Y Bir hataya sahip olduğu varsayılan bağımlı değişkendir.
- X Hatasız ölçüldüğü varsayılan bağımsız değişkendir.
- α Bağımsız değişkenin hatasının sıfır olduğu andaki bağımlı değişkenin aldığı değerdir.

- β Regresyon katsayısıdır. Bağımsız değişkenin kendi birimi cinsinden 1 birim değişmesine karşılık bağımlı değişkenin kendi birimi cinsinden meydana gelecek değişme miktarıdır.
- ε Tesadüfi hata terimidir. Bu değer varsayım parametre tahminleri için değil katsayıların önem kontrolleri için gereklidir.

1.13.2. Çoklu Regresyon Modeli

Çok değişkenli regresyon analizi bir bağımlı değişken ile bununla ilişkisi olan bir dizi bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için yapılan bir analizdir [29]. Örnek olarak toprak özgül direncine rutubet ve ısı değerlerinin etkisi verilebilir. Burada bağımlı değişken toprak özgül direnci iken bağımsız değişkenler ısı ve rutubet değerleridir.

Çoklu regresyon analizinden olumlu sonuç alınabilmesi değişken parametrelerin sayısal olarak ve aynı ölçüm birimiyle ölçülmesine bağlıdır. Çoklu regresyonda hangi bağımsız değişkenin bağımlı parametreyi daha çok etkilediğini bilmek için korelasyonlara bakılır. Yüksek korelasyon güçlü doğrusal ilişkiyi gösterirken düşük korelasyon zayıf doğrusal ilişkiyi göstermektedir. Çoklu regresyon metodları;

- Enter Metodu
- İleri Doğru Seçim Metodu
- Geriye Doğru Eleme Metodu
- Adım Adım Seçme Metodudur.

Enter Metodu: Bağımsız değişkenler bir blok olarak tek adımda girilir. Buna göre değerlendirme yapılır [29].

İleri Doğru Seçim Metodu: Bu yöntemde bağımlı değişken ile en yüksek korelasyonu olan bağımsız değişken ilk olarak seçilir. Daha sonra istatistiksel analize yönelik SPSS programıyla girilen değişkenin katsayısının 0 olduğu F testi ile incelenir. Bu testle elde edilen F değeri SPSS'nin öngörülen F değeri ile karşılaştırılır [29].

Geri Doğru Seçim Metodu: İleri doğru seçim metodunun aksine bu yöntemde önce tüm bağımsız değerler seçilir, sonra sıra ile belli kriterlere göre eleme yapılır [29].

Adım Adım Seçme Metodu: Bu yöntemde ilk olarak bağımsız değişkenler seçilir. Seçimler yüksek korelasyondan düşüğe doğru yapılır. Regresyon analizine başlanabilmesinin koşulu bağımsız değişkenlerin ölçütlere uymasındır [29].

1.13.3. 1 Bağımlı 2 Bağımsız Değişken İçin Regresyon Analizi

Bir bağımlı iki bağımsız değişken regresyon modeli için bağıntı eşitlik (1.13)'te gösterilmiştir.

$$y = a_1x_1 + a_2x_2 + b \quad (1.13)$$

Eşitlik (1.13)' te;

- x_1 Ölçülen toprak ısısı değerini,
- x_2 Ölçülen toprak nem değerini,
- y Toprak özgül direnci değerini göstermektedir.

Herhangi bir andaki değerler ($i=1,2$) eşitlik (1.14)'te gösterilmiştir.

$$y_{di} = a_1x_{1i} + a_2x_{2i} + b \quad (1.14)$$

Hata ifadesi eşitlik (1.15) ve (1.16)'da gösterilmiştir.

$$\Delta_{si} = y_i - y_{di} \quad (1.15)$$

$$\Delta_{si} = [y_i - (a_1x_{1i} + a_2x_{2i} + b)] \quad (1.16)$$

Sapmaların karelerinin toplamı eşitlik (1.17)'de gösterilmiştir.

$$s = \sum_{i=1}^n [y_i - (a_1x_{1i} + a_2x_{2i} + b)]^2 \quad (1.17)$$

Hataların karelerinin toplamının minimize edilmesi için bilinmeyen a ve b değerlerine göre alınacak kısmi türevlerin sıfıra eşitlenmesi gerekir. Bu ifadeler eşitlik (1.18), (1.19) ve (1.20)'de gösterilmiştir.

$$\frac{\partial s}{\partial a_1} = \frac{\partial \sum_{i=1}^n [y_i - (a_1x_{1i} + a_2x_{2i} + b)]^2}{\partial a_1} = 0 \quad (1.18)$$

$$\frac{\partial s}{\partial a_2} = \frac{\partial \sum_{i=1}^n [y_i - (a_1x_{1i} + a_2x_{2i} + b)]^2}{\partial a_2} = 0 \quad (1.19)$$

$$\frac{\partial_s}{\partial_b} = \frac{\partial \sum_{i=1}^n [y_i - (a_1 x_{1i} + a_2 x_{2i} + b)]^2}{\partial_b} = 0 \quad (1.20)$$

Türevler alınıp ifade sıfıra eşitlenirse eşitlik (1.21), (1.22) ve (1.23) elde edilir.

$$- \sum_{i=1}^n 2[y_i - (a_1 x_{1i} + a_2 x_{2i} + b)] x_{1i} = 0 \quad (1.21)$$

$$- \sum_{i=1}^n 2[y_i - (a_1 x_{1i} + a_2 x_{2i} + b)] x_{2i} = 0 \quad (1.22)$$

$$- \sum_{i=1}^n 2[y_i - (a_1 x_{1i} + a_2 x_{2i} + b)] = 0 \quad (1.23)$$

Denklemlerde ki 2 ler sadeleştikten sonra parantezleri açıp her terim için toplam işaretini dikkate alınırsa eşitlik (1.24), (1.25) ve (1.26) elde edilir.

$$a1 \sum_{i=1}^n (x_{1i})^2 + a2 \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} + b \sum_{i=1}^n x_{1i} = \sum_{i=1}^n x_{1i}y_i \quad (1.24)$$

$$a1 \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} + a2 \sum_{i=1}^n (x_{2i})^2 + b \sum_{i=1}^n x_{2i} = \sum_{i=1}^n x_{2i}y_i \quad (1.25)$$

$$a1 \sum_{i=1}^n x_{1i} + a2 \sum_{i=1}^n x_{2i} + nb = \sum_{i=1}^n y_i \quad (1.26)$$

Bu denklemleri AX=B formunda yazılırsa aşağıdaki matris elde edilir.

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n (x_{1i})^2 & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} & \sum_{i=1}^n x_{1i} \\ \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} & \sum_{i=1}^n (x_{2i})^2 & \sum_{i=1}^n x_{2i} \\ \sum_{i=1}^n x_{1i} & \sum_{i=1}^n x_{2i} & n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a1 \\ a2 \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{1i}y_i \\ x_{2i}y_i \\ y_i \end{bmatrix}$$

Bu matris çözülerek $a1$, $a2$ ve b katsayıları bulunur.

1.14. Matlab Gui Programının Genel Özellikleri

Bu tez çalışmasında modelleme için Matlab Gui programı kullanılmıştır. Matlab Gui, Graphical User Interface (Grafik Kullanıcı Ara yüzü), MATLAB' ın ara yüz tasarlama programına verilen isimdir [30]. Programda kullanıcıların ara yüzlerini oluşturabilecekleri figür penceresi (.fig) ve bu figür penceresinde kullanılan tuşların görevlerinin belirlendiği bir m-dosya (.m) kısmı bulunur.

Çalışmada modellenmenin yanı sıra MATLAB GUI programı ile kullanıcı topraklama direnci hesabı, toprak özgül direncinin topraklama direncine etkisi, topraklayıcı uzunluğunun topraklama direncine etkisini, topraklayıcının çevrelediği alana eşit alanlı dairenin çapının topraklama direncine etkisini, toprak özgül direncine ısı ve rutubet etkisinin 2 boyutlu ve 3 boyutlu olarak gözlemlenebilmesini, iletken çapının topraklama direncine etkisini gözlemleyebilmektedir. Yapılan bu işlemlerde IEEE 80-2000 Standartına bağlı kalınmıştır.

Matlab Gui'nin çalışması 3 temel pencereden oluşur. Bunlar;

- GUI objeleri
- İşlevler.
- GUI yüzeyi.

GUI Yüzeyi: Programda kullanılan nesnelerin bulunduğu bölümdür. Bu kısımda GUI yüzey elemanları yerleştirilerek görsel tema sağlanır.

GUI Objeleri: Slider, axex, buton gibi ara yüzü oluşturan elemanların bulunduğu kısımdır. Bu kısımda ki her elemanın kendine ait bir işlevi vardır.

İşlevler: İşlevler kısmı programın en önemli bölümüdür. Bir objenin ne yapması gerektiği bu bölümde belirtilir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR, BULGULAR VE İRDELEME

2.1. Giriş

Günümüzde artan enerji gereksinimini karşılamak amacıyla birçok farklı şekilde elektrik üretilmektedir. Elektrik üretiminde gerek cihazların gerekse işletme personelinin tehlikeli dokunma ve adım gerilimlerine karşı korumak amacıyla topraklama yapılmaktadır. Topraklama direncini etkileyen en önemli parametre toprağın özgül direncidir [34]. Toprak özgül direncini de etkileyen en önemli iki parametre toprağın ısı ve rutubetidir [31] [32] [33].

Bu tez çalışması iki kısımdan oluşmaktadır. Çalışmanın ilk bölümünde, topraklama ile ilgili temel kavramlar açıklanmıştır. Genel olarak topraklama sisteminde kullanılan toprak ve topraklayıcı çeşitleri hakkında bilgi verilmiştir.

İkinci kısımda toprak özgül direncine ısı ve rutubet etkisini modellemek için çoklu regresyon yöntemi kullanılmıştır. Çoklu regresyon metodu bağımlı değişkene etki eden bağımsız değişkenleri modellemede kolaylık sağlamaktadır. Ayrıca toprak özgül direncine ısı ve rutubet etkisini 3 boyutlu olarak gözlemlemek için MATLAB programı kullanılmıştır. Kullanım kolaylığı açısından yapılan tüm işlemler MATLAB GUI programı ile bir ara yüz olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan bu ara yüz ile kullanıcı; topraklama direnci hesabı, toprak özgül direncinin topraklama direncine etkisi, topraklayıcı uzunluğunun topraklama direncine etkisini, topraklayıcının çevrelediği alana eşit alanlı dairenin çapının topraklama direncine etkisini, toprak özgül direnç değerinin hesaplanmasını, toprak özgül direncine ısı ve rutubet etkisinin 2 boyutlu ve 3 boyutlu olarak gözlemlenebilmesini, iletken çapının topraklama direncine etkisini gözlemleyebilmektedir.

Toprak özgül direncine ısı ve rutubet etkisini modellenebilmesi için ilk olarak Erzurum Atatürk Üniversitesinde bir alan belirlenmiştir. Bu alanda günlük ölçümler alınarak veriler kaydedilmiştir. Veriler topralanırken genel olarak günde 3 kez ölçüm alınmıştır. Alınan bu ölçümlerde günün aynı saatlerinde olmasına özen gösterilmiştir. Yeteri kadar veri toplandıktan sonra bu verileri işleme kısmına geçilmiştir. Bu noktada çoklu regresyon yöntemi ile toprak özgül direncinin toprak ısı ve rutubetine bağlı olarak polinom şeklinde bir ifadesi elde edilmiştir. Bu modeli daha kullanılabilir yapmak için farklı bölgelerden ölçüm alınmaya karar verilmiştir. Bu yerleri belirlerken toprağın gün

içinde sıcaklığı ne kadar süre ile aldığı ve toprak nem miktarının fazla olması gibi etkenler etkili olmuştur. Bu etkenler sonucu Erzurum Atatürk Üniversitesinde ve Erzurum Dadaşkent bölgesinde yeni yerler belirlenmiştir. Bu yerlerden veriler alınarak ana modele benzetilmeye çalışılmıştır.

2.2. Toprak Özgül Direnci Ölçümü

Ölçümler CEI 64.8, IEC 781, VDE 0413 ve EN61557-5 standartlarına göre yapılmıştır. Ölçme işlemine ölçme biriminin seçilmesi ile başlanır. Ölçme birimini seçmek için RCL tuşuna basılı tutularak döner anahtar çevrilir. Cihaz düzeltilecek ölçme biriminin seçimine izin veren ekranı gösterdiğinde yukarı ya da aşağı tuşları yardımıyla m veya ft seçilir. Ölçüm birimini kaydetmek için SAVE tuşuna basılır. Ölçüm birimi kayıt edildikten sonra 4 toprak çubuğunu aynı D mesafesinde toprağa çakılır. Deneyde kullandığımız D mesafesi 2 m' dir. Daha sonra ölçüm kablolarının 4 konnektörü (siyah, kırmızı, yeşil, mavi) cihazın ilgili terminal girişlerine (E, S, H, ES) yerleştirilir. Konnektörlerin uçları timsah kısıkaçları yardımıyla toprak çubuklarına bağlanır. Döner anahtar ρ konumuna getirilir. DIST tuşuna basılarak çubuklar arası D mesafesi belirlenir. Çubuklar arası D mesafesi belirlendikten sonra ESC tuşuna basılarak değer kaydedilir. Son olarak GO tuşuna basılarak ölçüm yapılır. Toprak özgül direncine ait örnek uygulamalar Şekil 2.1, Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Toprak özgül direncinin ölçülmesinde kullanılan ölçme aleti HT-2016 GEOTEST 2016' dır. Cihaz temel olarak potansiyel düşümü ölçme metodunu kullanmaktadır. Cihaz ile Toprak 2 tel, Toprak 3 tel ve Toprak özgül direnci ölçümleri yapılabilmektedir. Toprak özgül direncine ısı ve rutubet etkisinin modellenmesi için toprak ısı ölçüm cihazı olarak AMTAST-300, toprak rutubet miktarının ölçümü için Toprak nem, ph ve ışıkölçer 3'ü bir arada cihazı kullanılmıştır. Bu cihazlara ait teknik bilgiler Ek'ler kısmında verilmiştir.



Şekil 2.1. Üniversite 1 toprak özgül direnci ölçüm düzeneği



Şekil 2.2. Üniversite 2 toprak özgül direnci ölçüm düzeneği



Şekil 2.3. Dadaşkent bölgesi toprak özgül direnci ölçüm düzeneği

2.3. Çoklu Regresyon Yöntemi Kullanarak Modelleme

Çok değişkenli regresyon analizi bir bağımlı değişken ile bununla ilişkisi olan bir dizi bağımsız değişken arasındaki ilişkiyi ortaya koymak için yapılan bir analizdir. Örnek olarak toprak özgül direncine rutubet ve ısı değerlerinin etkisi verilebilir. Burada bağımlı değişken toprak özgül direnci iken bağımsız değişkenler ısı ve rutubet değerleridir. 1 bağımlı 2 bağımsız değişken için regresyon analizi aşağıdaki matris ile çözülmektedir.

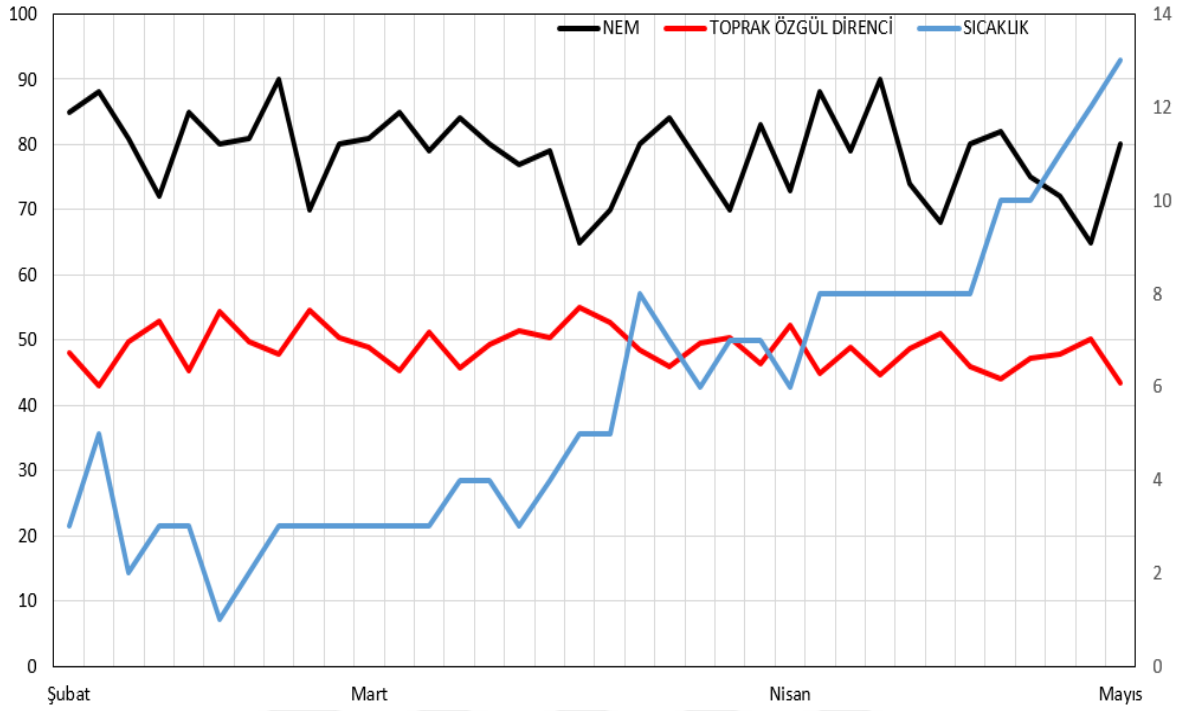
$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n (x_{1i})^2 & \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} & \sum_{i=1}^n x_{1i} \\ \sum_{i=1}^n x_{1i}x_{2i} & \sum_{i=1}^n (x_{2i})^2 & \sum_{i=1}^n x_{2i} \\ \sum_{i=1}^n x_{1i} & \sum_{i=1}^n x_{2i} & n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a1 \\ a2 \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n x_{1i}y_i \\ \sum_{i=1}^n x_{2i}y_i \\ \sum_{i=1}^n y_i \end{bmatrix}$$

Bu matriste;

- x_{1i} Ölçülen toprak ısı değeri,
- x_{2i} Ölçülen toprak rutubet miktarını,
- y_i Ölçülen toprak özgül direnci değeri,
- n Ölçüm sayısını,
- $a1$ Toprak ısı katsayısını,
- $a2$ Toprak rutubet miktarı katsayısını,
- b Çoklu regresyon metodu için oluşturulan modelin sabit katsayısını göstermektedir.

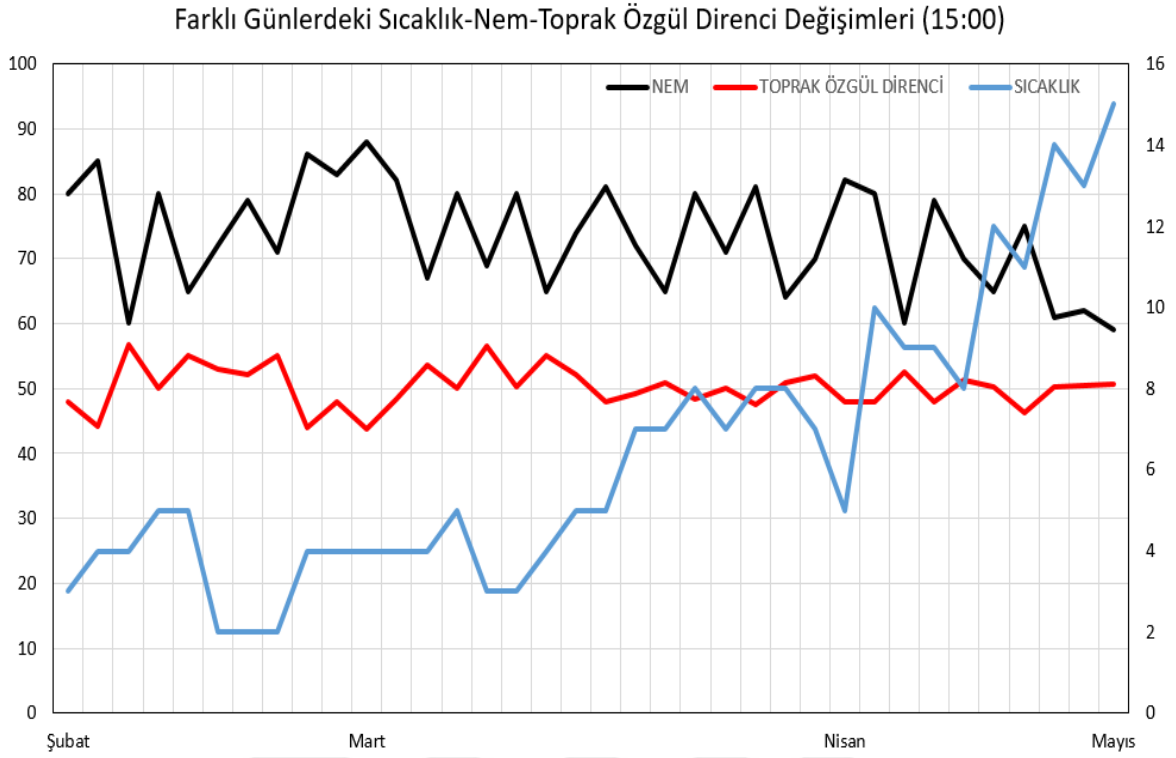
Modelleme için gereken toprak özgül direnci, toprak ısı ve toprak rutubet miktarları Ek 1' de verilmiştir. Toplanan bu veriler Atatürk Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bahçesinden alınmıştır. Veriler alınırken genel olarak günde 3 adet alınmasına özen gösterilmiştir. Veriler toplandıktan sonra modellemeyi gerçekleştirebilmek için ilk olarak matrisin elamanları bulunmuştur. $AX=B$ formunda yazılan bu matris MATLAB programı yardımıyla çözülmüş ve $a1$, $a2$, b katsayıları bulunmuştur. Ek 1'de ki verilere göre günlük toprak özgül direnci, sıcaklık ve nem değişimleri Şekil 2.4, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da verilmiştir.

Farklı Günlerdeki Sıcaklık-Nem-Toprak Özgül Direnci Değişimleri (09:00)



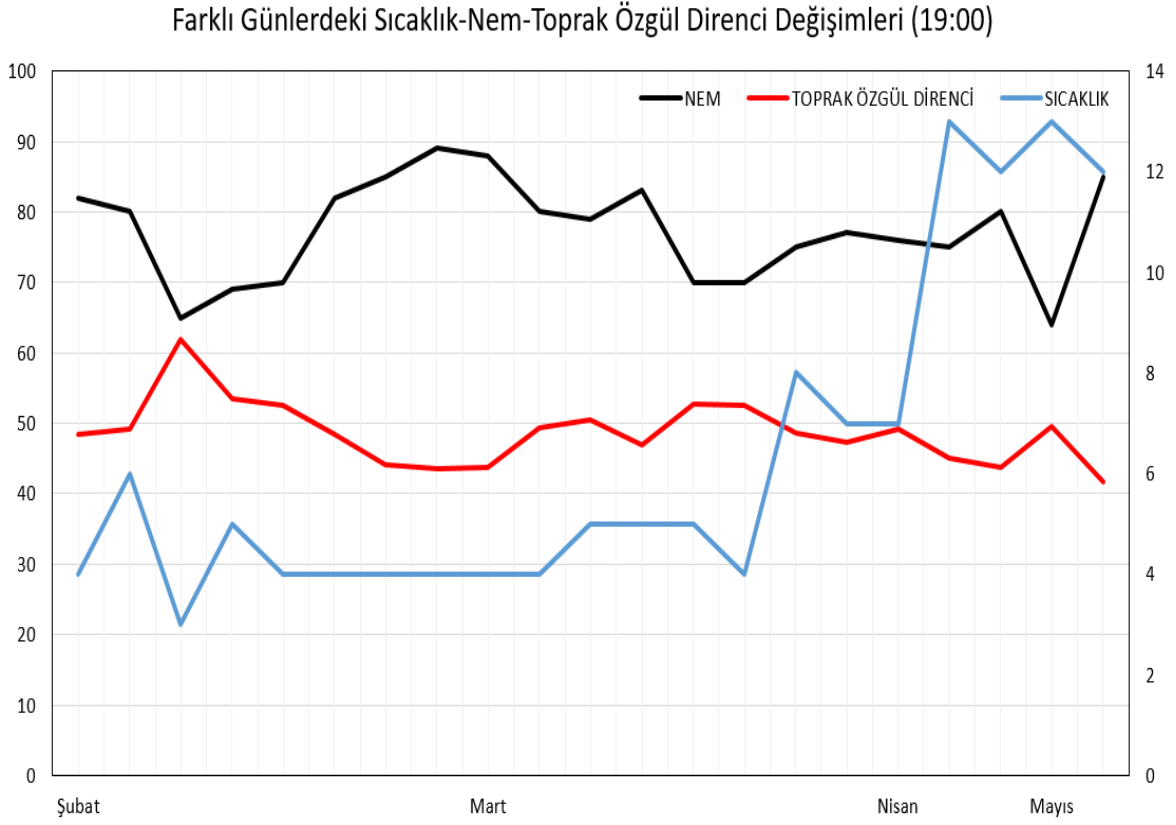
Şekil 2.4. Saat 09:00'da farklı günlerdeki sıcaklık, toprak özgül direnci ve nem değişimi

Şekil 2.4'te farklı aylarda ve farklı günlerde saat 09:00'da alınan verilerin değişimlerini göstermektedir. Siyah çizgi toprak nem miktarı değişimini, kırmızı çizgi toprak özgül direnci değişimini ve mavi çizgi ise toprak sıcaklık değeri değişimini göstermektedir. Birincil eksen (0-100) nem ve toprak özgül direnci değerlerini, ikinci eksen (0-14) ise toprak sıcaklık değerlerini göstermektedir. Şekil 2.4'ten sıcaklık değeri sabitken nem miktarıyla toprak özgül direnci arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Sıcaklık sabitken toprak nem miktarı arttıkça toprak özgül direnci değerinin azaldığı, toprak nem miktarı azaldıkça toprak özgül direnci değerinin arttığı gözlemlenmektedir. Ayrıca nem miktarı ile sıcaklık değeri birbirine yaklaştıkça toprak özgül direncinin azaldığı, nem miktarı ile sıcaklık değeri birbirinden uzaklaştıkça toprak özgül direncinin arttığı görülmektedir.



Şekil 2.5. Saat 15:00'da farklı günlerdeki sıcaklık, toprak özgül direnci ve nem değişimi

Şekil 2.5'te farklı aylarda ve farklı günlerde saat 15:00'da alınan verilerin değişimlerini göstermektedir. Siyah çizgi toprak nem miktarı değişimini, kırmızı çizgi toprak özgül direnci değişimini ve mavi çizgi ise toprak sıcaklık değeri değişimini göstermektedir. Birincil eksen (0-100) nem ve toprak özgül direnci değerlerini, ikinci eksen (0-16) ise toprak sıcaklık değerlerini göstermektedir. Şekil 2.5'ten sıcaklık değeri sabitken nem miktarıyla toprak özgül direnci arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Sıcaklık sabitken toprak nem miktarı arttıkça toprak özgül direnci değerinin azaldığı, toprak nem miktarı azaldıkça toprak özgül direnci değerinin arttığı gözlemlenmektedir. Ayrıca nem miktarı ile sıcaklık değeri birbirine yaklaştıkça toprak özgül direncinin azaldığı, nem miktarı ile sıcaklık değeri birbirinden uzaklaştıkça toprak özgül direncinin arttığı görülmektedir.



Şekil 2.6. Saat 19:00'da farklı günlerdeki sıcaklık, toprak özgül direnci ve nem değişimi

Şekil 2.6'da farklı aylarda ve farklı günlerde saat 19:00'da alınan verilerin değişimlerini göstermektedir. Siyah çizgi toprak nem miktarı değişimini, kırmızı çizgi toprak özgül direnci değişimini ve mavi çizgi ise toprak sıcaklık değeri değişimini göstermektedir. Birincil eksen (0-100) nem ve toprak özgül direnci değerlerini, ikinci eksen (0-14) ise toprak sıcaklık değerlerini göstermektedir. Şekil 2.6'dan sıcaklık değeri sabitken nem miktarıyla toprak özgül direnci arasında ters orantı olduğu görülmektedir. Sıcaklık sabitken toprak nem miktarı arttıkça toprak özgül direnci değerinin azaldığı, toprak nem miktarı azaldıkça toprak özgül direnci değerinin arttığı gözlemlenmektedir. Ayrıca nem miktarı ile sıcaklık değeri birbirine yaklaştıkça toprak özgül direncinin azaldığı, nem miktarı ile sıcaklık değeri birbirinden uzaklaştıkça toprak özgül direncinin arttığı görülmektedir.

Modelleme için 92 adet veri kullanılmıştır. Ek 1'den yararlanarak çoklu regresyon yöntemi için gerekli olan matris elemanları bulunmuştur. Bu elemanlar;

$$\sum_{i=1}^{92} x_{1i} = 558$$

$$\sum_{i=1}^{92} x_{2i} = 7044$$

$$\sum_{i=1}^{92} y_i = 4537.2$$

$$\sum_{i=1}^{92} (x_{1i})^2 = 4326$$

$$\sum_{i=1}^{92} (x_{2i})^2 = 544978$$

$$\sum_{i=1}^{92} x_{1i}x_{2i} = 42000$$

$$\sum_{i=1}^{92} x_{1i}y_i = 27194.6$$

$$\sum_{i=1}^{92} x_{2i}y_i = 345524.5$$

$$n = 92$$

Hesaplanan veriler çoklu regresyon yöntemi için verilen matriste yerine yerleştirilirse aşağıdaki matris elde edilir.

$$\begin{bmatrix} 4326 & 42000 & 558 \\ 42000 & 544978 & 7044 \\ 558 & 7044 & 92 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a1 \\ a2 \\ b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 27194.6 \\ 345524.5 \\ 4537.2 \end{bmatrix}$$

$AX = B$ formatında verilen bu matrisi çözmek için A matrisinin tersi alınıp B matrisi ile çarpılması gerekir.

$$A = \begin{bmatrix} 4326 & 42000 & 558 \\ 42000 & 544978 & 7044 \\ 558 & 7044 & 92 \end{bmatrix}$$

$$X = \begin{bmatrix} a1 \\ a2 \\ b \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 27194.6 \\ 345524.5 \\ 4537.2 \end{bmatrix}$$

$$\text{inv}(A) = \begin{bmatrix} 0.0012 & 0.0002 & -0.0187 \\ 0.0002 & -0.0002 & -0.0159 \\ -0.0187 & -0.0159 & 1.3444 \end{bmatrix}$$

$$X = \text{inv}(A).B$$

$$X = \begin{bmatrix} -0.6636 \\ -0.4153 \\ 85.1368 \end{bmatrix}$$

$a1 = -0.6636$, $a2 = -0.4153$, $b = 85.1368$ olarak bulunmuştur. Toprak özgül direncinin toprak ısı ve rutubetine göre matematiksel ifadesi eşitlik (1.27)' de gösterilmiştir. Elde edilen denklemin modele uygunluğu % 83.68' dir.

$$Y = 85.1368 - 0.6636T - 0.4153N \quad (1.27)$$

(1.27) numaralı eşitlikte;

- T Toprak ısı değeri,
- N Toprak rutubet miktarını,

- Y Toprak özgül direnci değerini göstermektedir.

Oluşturulan modeli daha kullanışlı yapmak için 2 farklı yerden ölçüm alınmıştır. 2 farklı bölgenin toprak özgül direnci, toprak ısı ve toprak rutubet miktarları Ek 2 ve Ek 3'te verilmiştir. Ölçüm sonuçları modelin doğruluğu açısından o bölgede tek bir yerden alınmıştır. Ölçüm alınan yerler Şekil 2.1, 2.2 ve 2.3'te gösterilmiştir.

2.4. İkinci Ölçüm Yerinin Ana Modele Benzetilmesi

Şekil 2.2' de gösterilen yeri ana modele benzetmek için Ek 2'de ölçülen ısı ve rutubet değerlerini eşitlik 1.27'de yerine koyup toprak özgül direnci bulunur. Daha sonra Ek 2'de ki özgül direnç değerini bulunan özgül direnç değerine bölündüğünde bir katsayı elde edilir. Bunu bütün verilere uygulayıp katsayıların ortalama değeri alındığında oluşturulan ana model ile benzetilmek istenen yer arasında bir katsayı elde edilir. Bu katsayı yardımıyla ikinci ölçüm alınan yeri ana modele benzetmiş oluruz.

Tablo 2.1 Erzurum Atatürk Üniversitesinden Alınan Ölçüm Sonuçlarının Ana Modele Benzetilmesi

Sıcaklık Değeri (°C)	Nem Miktarı (%)	Toprak Özgül Direnci($\Omega.m$)	Ana Model Toprak Özgül Direnci($\Omega.m$)	Katsayı	Yeni Model Toprak Özgül Direnci($\Omega.m$)	Yüzde Hata Oranı (%)
5	90	35.4	44.4418	0.7965	35.1224	0.784
4	96	34.4	42.6136	0.8073	34.3340	0.191
5	85	37.6	46.5183	0.8083	36.7634	2.225
8	87	34	43.6969	0.7781	34.5337	1.569
7	87	34.7	44.3605	0.7822	35.0581	1.031
5	89	37	44.8571	0.8248	35.4506	4.187
5	96	34.1	41.9500	0.8129	33.1531	2.77
5	97	33.7	41.5347	0.8114	32.8249	2.596
7	92	33	42.2840	0.7804	33.4170	1.263
7	94	33	41.4534	0.7961	32.7606	0.725
7	97	29.8	40.2075	0.7660	31.7760	6.630
10	92	31.8	40.2932	0.7892	31.8437	0.137
8	89	32.6	42.8663	0.7605	33.8772	3.917

Tablo 2.1'in devamı

7	98	29.9	39.7922	0.7514	31.4478	5.175
8	98	30.9	39.1286	0.7897	30.9233	0.075

Katsayıların ortalama değeri alınıp eşitlik 1.27 ile çarpılırsa eşitlik 1.28 elde edilir. Eşitlik 1.28 ile bulunan değerler ve yüzde hatalar Tablo 2.1'de gösterilmiştir.

$$Y = 0.7903(85.1368 - 0.6636T - 0.4153N) \quad (1.28)$$

(1.28) numaralı eşitlikte;

- T Toprak ısısı değerini,
- N Toprak rutubet miktarını,
- Y Toprak özgül direnci değerini göstermektedir.

2.5. Üçüncü Ölçüm Yerinin Ana Modele Benzetilmesi

Şekil 2.3'te gösterilen yeri ana modele benzetmek için Ek 3'te ölçülen ısı ve rutubet değerlerini eşitlik 1.27'de yerine koyup toprak özgül direnci bulunur. Daha sonra Ek 3'te ki özgül direnç değerini bulunan özgül direnç değerine bölündüğünde bir katsayı elde edilir. Bunu bütün verilere uygulayıp katsayıların ortalama değeri alındığında oluşturulan ana model ile benzetilmek istenen yer arasında bir katsayı elde edilir. Bu katsayı yardımıyla ikinci ölçüm alınan yeri ana modele benzetmiş oluruz.

Tablo 2.2 Erzurum Dadaşkent Bölgesinde Alınan Ölçüm Sonuçlarının Ana Modele Benzetilmesi

Sıcaklık Değeri (°C)	Nem Miktarı (%)	Toprak Özgül Direnci(Ω.m)	Ana Model Toprak Özgül Direnci(Ω.m)	Katsayı	Yeni Model Toprak Özgül Direnci(Ω.m)	Yüzde Hata Oranı (%)
6	91	25.4	43.3629	0.5858	22.3102	12.16
5	90	26	44.4418	0.5850	22.8653	12.05
7	80	22.5	47.2676	0.4760	24.3192	8
10	82	21.3	44.4462	0.4792	22.8676	7.3
7	92	24	42.2840	0.5676	21.7551	10.41

Tablo 2.2'nin devamı

9	90	22.9	41.7874	0.5480	21.4996	6.11
7	90	24.3	43.1146	0.5636	22.1825	8.71
7	80	25	47.2676	0.5289	24.3192	2.72
5	92	25.8	43.6112	0.5916	22.4380	13
11	80	22	44.6132	0.4931	22.9535	4.33
9	82	20.8	45.1098	0.4611	23.2090	11.5
8	89	20.9	42.8663	0.4876	22.0547	5.5
12	91	19.1	39.3813	0.4850	20.2617	6.08
9	78	21.4	46.7710	0.4575	24.0637	12.44
12	90	17.8	39.7966	0.4473	20.4754	15
10	92	20.2	40.2932	0.5013	20.7309	2.6
10	89	20.3	41.5391	0.4887	21.3719	5.28

Katsayıların ortalama değeri alınıp eşitlik 1.27 ile çarpılırsa eşitlik 1.29 elde edilir. Eşitlik 1.29 ile bulunan değerler ve yüzde hatalar Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

$$Y = 0.5145(85.1368 - 0.6636T - 0.4153N) \quad (1.29)$$

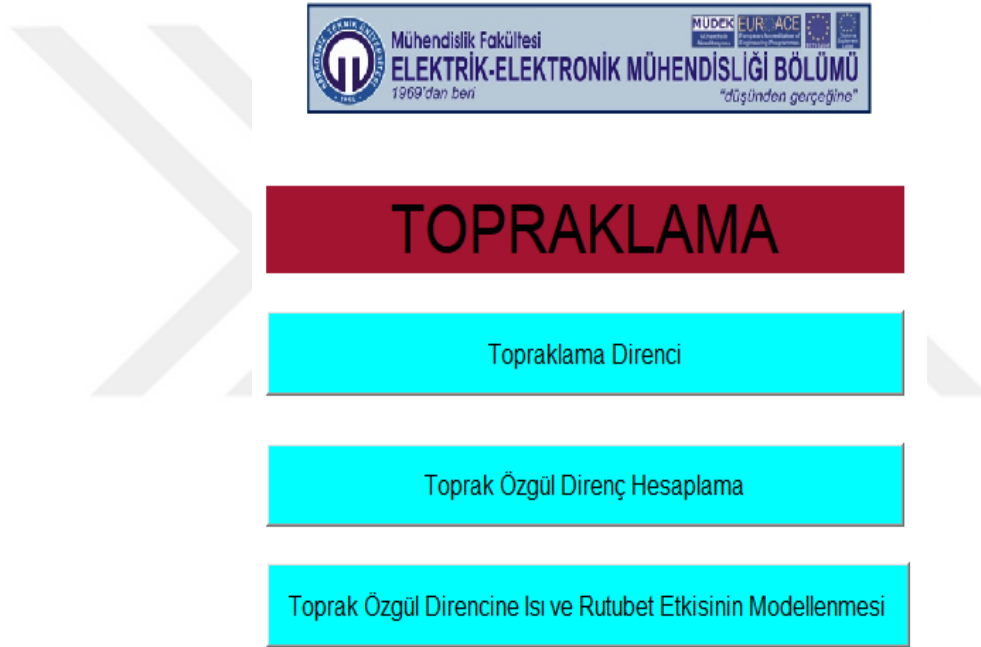
(1.29) numaralı eşitlikte;

- T Toprak ısısı değerini,
- N Toprak rutubet miktarını,
- Y Toprak özgül direnci değerini göstermektedir.

Bu kısımdaki çalışmanın temel amacı öncelikle belirlenen bir bölgeyi modellemektir. Bunun için farklı gün ve aylarda belirlenen bölgelerden ölçümler alınmıştır. Yeteri kadar ölçüm alındıktan sonra modelleme için çoklu regresyon metodu kullanılmıştır. Ana model oluştuktan sonra bu modeli daha kullanılabilir yapmak adına farklı yerlerden alınan ölçümler ana modele benzetilmeye çalışılmıştır. Alınan veriler, elde edilen sonuçlar ve yüzde hata ifadeleri ölçümler için ayrı ayrı bulunmuştur.

2.6. MATLAB GUI ile Ara Yüz Tasarımı

Bu kısımda kullanıcılar için topraklama ile ilgili bir ara yüz hazırlanmıştır. Tasarlanan bu ara yüz ile kullanıcı; topraklama direnci hesabı, toprak özgül direncinin topraklama direncine etkisi, topraklayıcı uzunluğunun topraklama direncine etkisini, topraklayıcının çevrelediği alana eşit alanlı dairenin çapının topraklama direncine etkisini, toprak özgül direnç değerinin hesaplanmasını, toprak özgül direncine ısı ve rutubet etkisinin 2 boyutlu ve 3 boyutlu olarak gözlemlenebilmesini, iletken çapının topraklama direncine etkisini. Ara yüzün ana ekranı Şekil 2.7’de gösterilmiştir.



Mehmet YILMAZ

Şekil 2.7. Arayüz ana ekran

Kullanıcı ana ekrandan topraklama direnci, toprak özgül direnç hesaplama ya da toprak özgül direncine ısı ve rutubet etkisinin modellenmesi gibi seçenekleri seçebilir. Topraklama direnci seçildiğinde Şekil 2.8’de ki ekran görülür.



Şekil 2.8. Topraklama direnci

Kullanıcı bu ekrandan topraklama direnci hesabı, toprak özdirencinin topraklama direncine etkisi, topraklayıcı uzunluğunun topraklama direncine etkisi, iletken çapının topraklama direncine etkisi ya da topraklayıcının çevrelediği eşit alanlı dairenin çapının topraklama direncine etkisini seçebilir. Topraklama direnci hesabı seçildiğinde Şekil 2.9'da ki ekran görülür.



TOPRAKLAMA DİRENCİ

TOPRAK ÖZGÜL DİRENCİ($\Omega \cdot m$)	100	ŞERİT TOPRAKLAYICI (Ω)	13.2599
TOPRAKLAYICININ UZUNLUĞU (m)	25	ÇUBUK (DERİN) TOPRAKLAYICI (Ω)	7.07123
İLETLEN ÇAPI (m)	0.0015	HALKA (RİNG) TOPRAKLAYICI (Ω)	5.74283
TOPRAKLAYICININ ÇEVRELEDİĞİ AL...	20	TEMEL TOPRAKLAMASI (Ω)	3.1831
HESAPLA		GÖZLÜ TOPRAKLAYICI (Ω)	6.5
SIFIRLA		GERİ	ANASAYFA

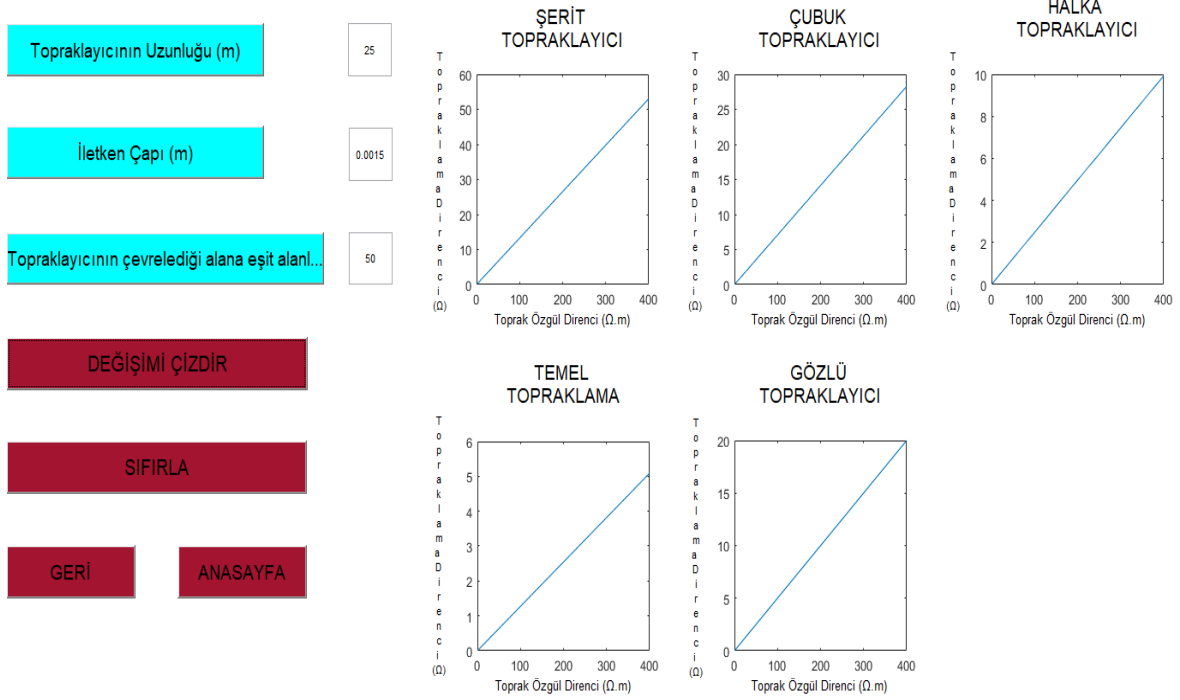
Şekil 2.9. Topraklama direnci hesabı

Burada;

- Toprak Özgül Direnci 100 $\Omega \cdot m$
- Topraklayıcının Uzunluğu 25 m
- İletken Çapı 0.0015 m
- Topraklayıcının Çevrelediği Eşit Alanlı Dairenin Çapı 20 m alınırsa topraklama direnci;
- Şerit Topraklayıcı 13.2599 Ω
- Çubuk Topraklayıcı 7.07123 Ω
- Halka Topraklayıcı 5.74283 Ω
- Temel Topraklaması 3.1831 Ω
- Gözlü Topraklayıcı 6.5 Ω olmaktadır.

Toprak özgül direncinin topraklama direncine etkisi seçildiğinde 2.10'da ki ekran görülmektedir.

TOPRAK ÖZDİRENCİNİN TOPRAKLAMA DİRENCİNE ETKİSİ



Şekil 2.10. Toprak öz direncinin topraklama direncine etkisi

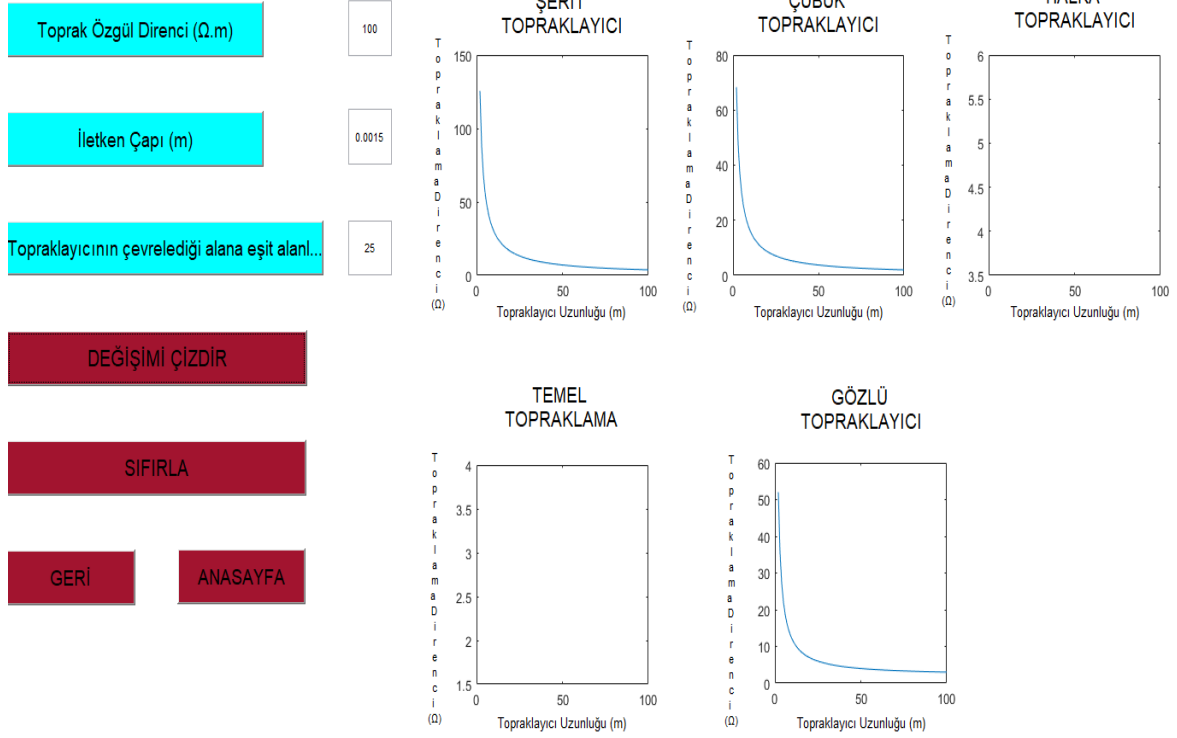
Şekil 2.10'da ki grafiklerde yatay eksen toprak özgül direncini, dikey eksen ise topraklama direncini göstermektedir. Bütün topraklayıcı türlerinde toprak özgül direnci arttığında topraklama direncinin de doğrusal olarak arttığı Şekil 2.7'den görülmektedir.

Burada;

- Topraklayıcı Uzunluğu 25 m
- İletken Çapı 0.0015 m
- Topraklayıcının Çevrelediği Eşit Alanlı Dairenin Çapı 50 m
- Toprak Özgül Direnci 0- 400 $\Omega.m$ alınmıştır.

Topraklayıcı uzunluğunun topraklama direncine etkisi seçildiğinde 2.11'de ki ekran görülmektedir.

TOPRAKLAYICININ UZUNLUĞUNUN TOPRAKLAMA DİRENCİNE ETKİSİ



Şekil 2.11. Topraklayıcı uzunluğunun topraklama direncine etkisi

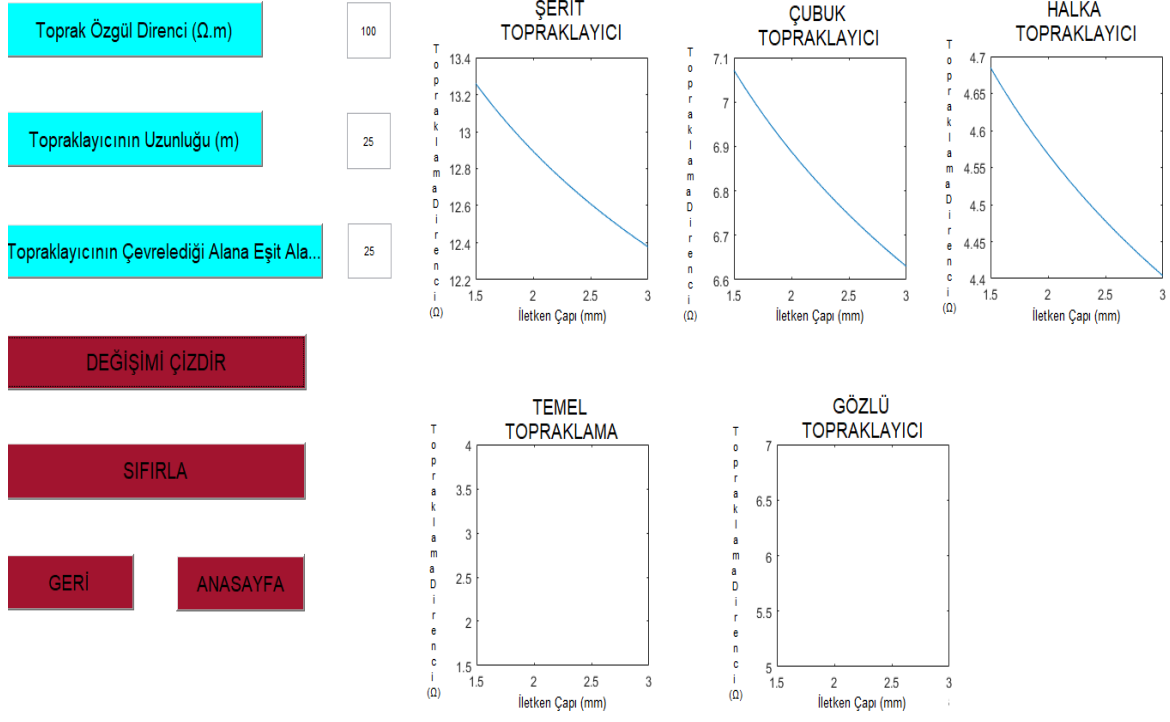
Burada;

- Toprak Özgül Direnci 100 $\Omega.m$
- İletken Çapı 0.0015 m
- Topraklayıcının Çevrelediği Eşit Alanlı Dairenin Çapı 25 m
- Topraklayıcı Uzunluğu 2- 100 m alınmıştır.

Şekil 2.11'de ki grafiklerde yatay eksen topraklayıcı uzunluğunu, dikey eksen ise topraklama direncini göstermektedir. Şerit topraklayıcı, çubuk topraklayıcı ve gözlü topraklayıcıda topraklayıcı uzunluğu arttıkça topraklama direncinin azaldığı Şekil 2.8'den görülmektedir. Topraklayıcı uzunluğunun temel topraklama ve halka topraklayıcı kullanılması durumunda topraklama direncini etkilemediği Şekil 2.11'den görülmektedir.

İletken çapının topraklama direncine etkisi seçildiğinde 2.12'de ki ekran görülmektedir.

İLETKEN ÇAPININ TOPRAKLAMA DİRENCİNE ETKİSİ



Şekil 2.12. İletken çapının topraklama direncine etkisi

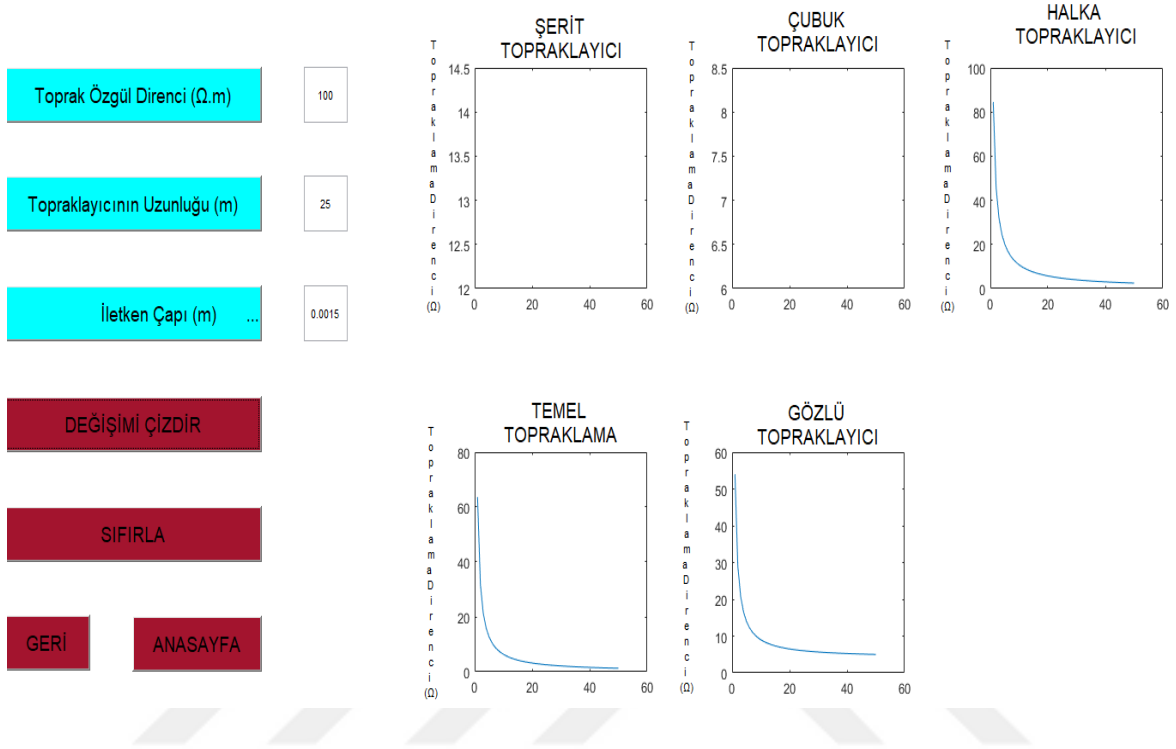
Burada;

- Toprak Özgül Direnci 100 Ω .m
- Topraklayıcının Çevrelediği Eşit Alanlı Dairenin Çapı 25 m
- Topraklayıcı Uzunluğu 25 m
- İletken Çapı 1.5-3 mm alınmıştır.

Şekil 2.12’de ki grafiklerde yatay eksen iletken çapını, dikey eksen ise topraklama direncini göstermektedir. Şerit topraklayıcı, çubuk topraklayıcı ve halka topraklayıcıda iletken çapı arttıkça topraklama direncinin azaldığı Şekil 2.12’den görülmektedir. İletken çapının temel topraklama ve gözlü topraklayıcıda topraklama direncini etkilemediği Şekil 2.12’den görülmektedir.

Topraklayıcının çevrelediği eşit alanlı dairenin çapının topraklama direncine etkisi seçildiğinde 2.13’te ki ekran görülmektedir.

TOPRAKLAYICININ ÇEVRELEDİĞİ ALANA EŞİT ALANLI DAİRENİN ÇAPININ TOPRAKLAMA DİRENCİNE ETKİSİ



Şekil 2.13. Topraklayıcının Çevrelediği Eşit Alanlı Dairenin Çapının Topraklama Direncine Etkisi

Burada;

- Toprak Özgül Direnci 100 $\Omega.m$
- Topraklayıcı Uzunluğu 25 m
- İletken Çapı 0.0015 m
- Topraklayıcının Çevrelediği Eşit Alanlı Dairenin Çapı 1-50 m alınmıştır.

Şekil 2.13'te ki grafiklerde yatay eksen topraklayıcının çevrelediği eşit alanlı dairenin çapını, dikey eksen ise topraklama direncini göstermektedir. Gözlü topraklayıcı, temel topraklama ve halka topraklayıcıda topraklayıcının çevrelediği eşit alanlı dairenin çapı arttıkça topraklama direncinin azaldığı Şekil 2.13'ten görülmektedir. Topraklayıcının çevrelediği eşit alanlı dairenin çapı şerit topraklayıcı ve çubuk topraklayıcıda topraklama direncini etkilemediği Şekil 2.13'ten görülmektedir.

Toprak özgül direnç hesaplama seçildiğinde 2.14'te ki ekran görülmektedir.

The screenshot shows a software interface for calculating soil resistivity. At the top, there is a header with logos for MÜDEK, EUR-ACE, and the University of Istanbul, along with the text 'Mühendislik Fakültesi ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ' and '1969'dan beri'. Below the header, there are two input fields: 'Toprak Sıcaklığı(°C)' with the value '5' and 'Nem Değeri(%)' with the value '70'. To the right, a blue box displays the result 'Toprak Özgül Direnci($\Omega.m$)' with the value '52.7478'. At the bottom, there are four buttons: 'SIFIRLA' (blue), 'HESAPLA' (blue), 'GERİ' (green), and 'ANASAYFA' (green).

Şekil 2.14. Toprak özgül direnci hesaplama

Toprak özgül direnci hesaplanırken eşitlik 1.27'de çoklu regresyon sonucunda oluşturulan matematiksel ifade esas alınmıştır.

Burada;

- Toprak Sıcaklığı $5\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Toprak Nem Miktarı $\% 70$ olduğunda toprak özgül direnci $52.7478\ \Omega.m$ olmaktadır.

Toprak özgül direncine ısı ve rutubet etkisinin modellenmesi seçildiğinde 2.15'te ki ekran görülmektedir.



ÜNİVERSİTE 1

ÜNİVERSİTE 2

DADAŞKENT

GERİ

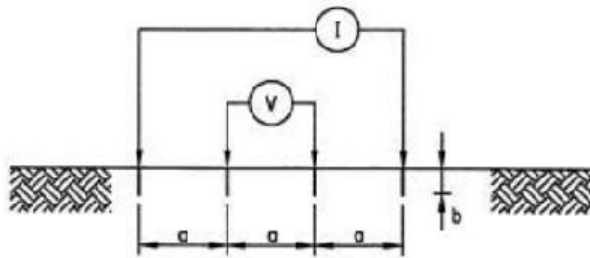
ANASAYFA

Şekil 2.15. Toprak özgül direncine ısı ve rutubet etkisinin modellenmesi

Bu aşamada 3 farklı yerden alınan veriler Matlab Gui arka planında işlenmiştir. Üniversite 1 seçildiğinde 2.16'da ki ekran görülmektedir.



WENNER METODU



GERİ

ANASAYFA

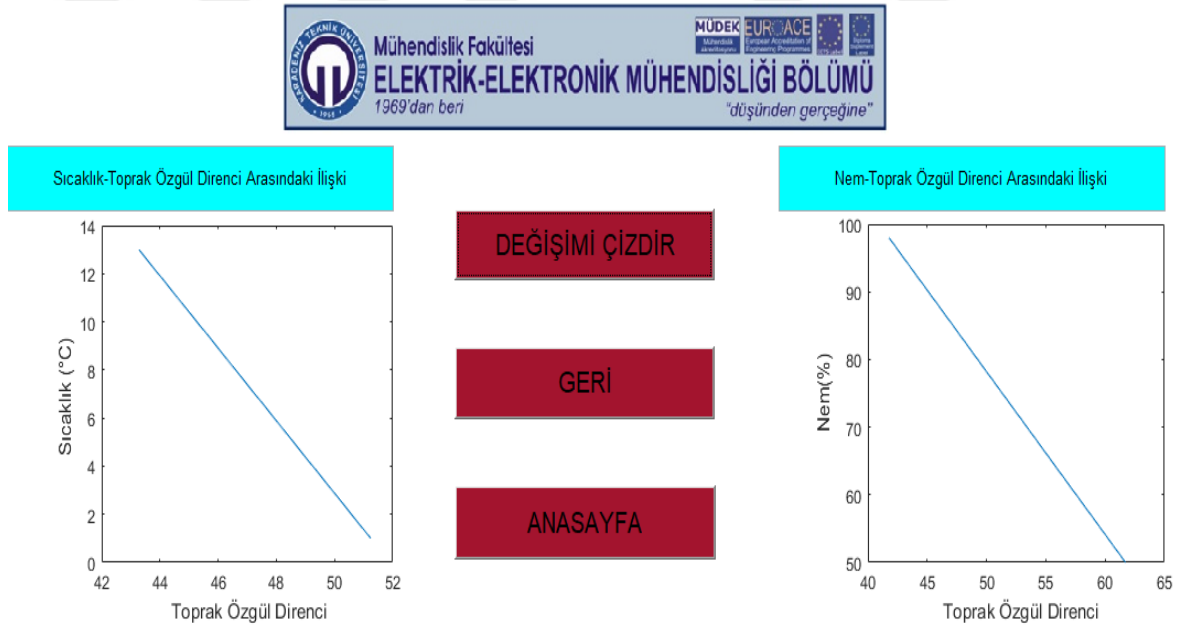
Şekil 2.16. Wenner Metodu

Wenner Metodu seçildiğinde 2.17’de ki ekran görülmektedir.



Şekil 2.17. 2 boyut ve 3 boyutlu inceleme

2 Boyutlu inceleme seçildiğinde 2.18’de ki ekran görülmektedir.

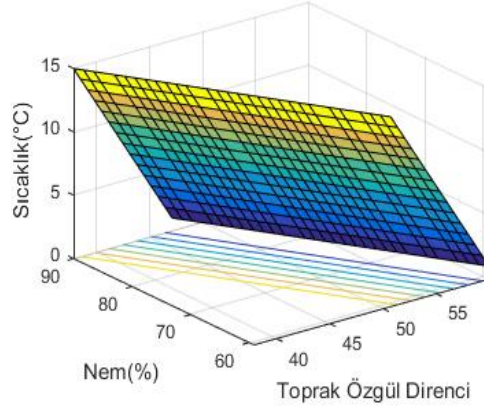


Şekil 2.18. Üniversite 1 için sıcaklık-toprak özgül direnci ve nem-toprak özgül direnci arasındaki ilişki

3 Boyutlu inceleme seçildiğinde 2.19’da ki ekran görülmektedir.

Nem-Sıcaklık-Toprak Özgül Direnci Arasındaki İlişki

3 BOYUTLU ÇİZİM



ANASAYFA

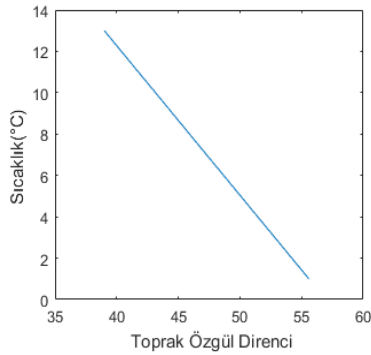
DEĞİŞİMİ ÇİZDİR

GERİ

Şekil 2.19. Üniversite 1 için sıcaklık-nem-toprak özgül direnci arasındaki ilişki

Üniversite 2 için 2 Boyutlu inceleme seçildiğinde 2.20'de ki ekran görülmektedir.

Sıcaklık-Toprak Özgül Direnci Arasındaki İlişki

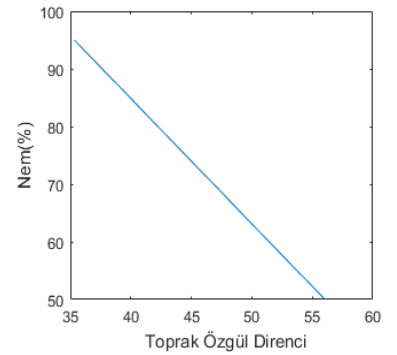


DEĞİŞİMİ ÇİZDİR

GERİ

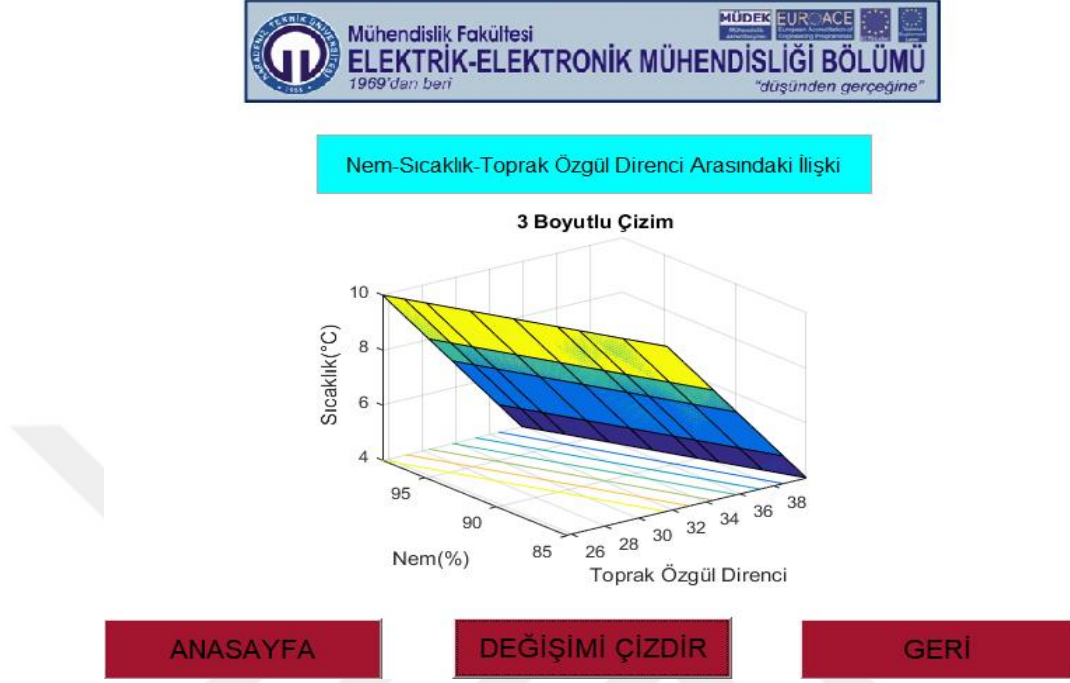
ANASAYFA

Nem-Toprak Özgül Direnci Arasındaki İlişki



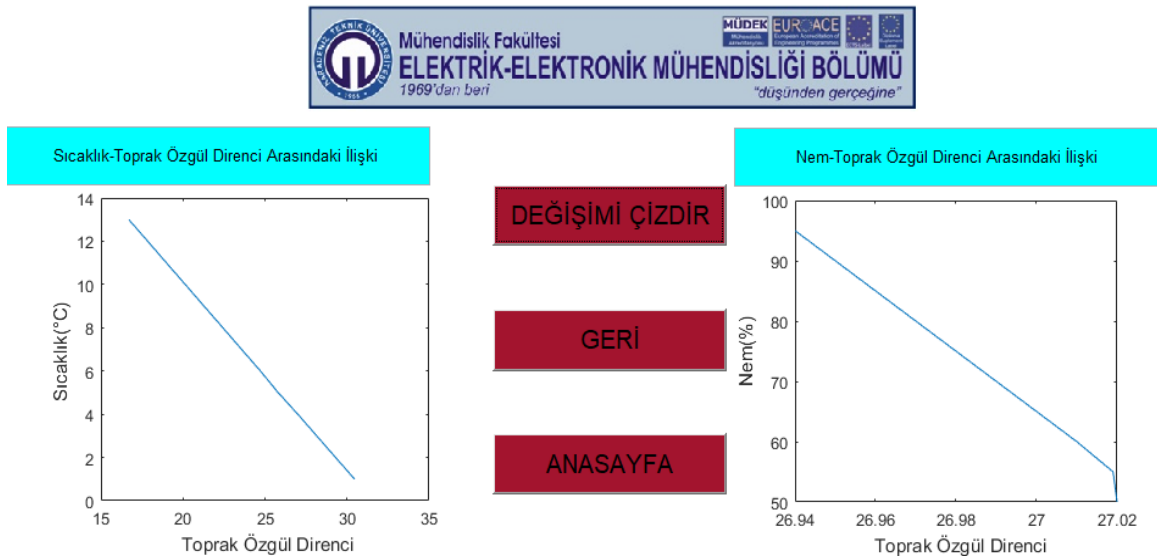
Şekil 2.21. Üniversite 2 için sıcaklık-toprak özgül direnci ve nem-toprak özgül direnci arasındaki ilişki

Üniversite 2 için 3 Boyutlu inceleme seçildiğinde 2.21’de ki ekran görülmektedir.



Şekil 2.21. Üniversite 2 için Sıcaklık-Nem-Toprak Özgül Direnci Arasındaki İlişki

Dadaşkent için 2 Boyutlu inceleme seçildiğinde 2.22’de ki ekran görülmektedir.



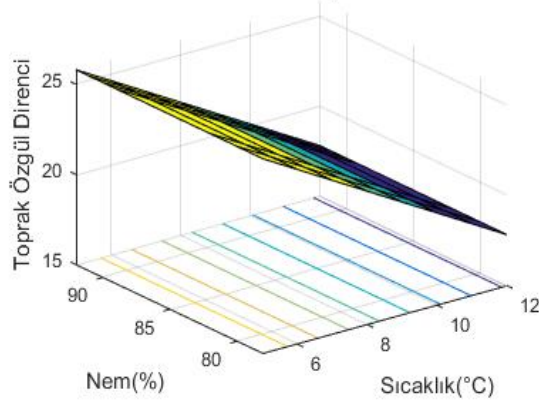
Şekil 2.22. Dadaşkent için sıcaklık-toprak özgül direnci ve nem-toprak özgül direnci arasındaki ilişki

Dadaşkent için 3 Boyutlu inceleme seçildiğinde 2.23'te ki ekran görülmektedir.



Nem-Sıcaklık-Toprak Özgül Direnci Arasındaki İlişki

3 BOYUTLU ÇİZİM



ANASAYFA

DEĞİŞİMİ ÇİZDİR

GERİ

Şekil 2.23. Dadaşkent için sıcaklık-nem-toprak özgül direnci arasındaki ilişki

Toprak özgül direncine ısı ve rutubet etkisinin 2 boyut ve 3 boyutlu çizimleri Ek 1, Ek 2 ve Ek 3' te ki verileri kullanarak yapılmıştır.

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, toprak özgül direncine toprak ısı ve rutubetinin etkisini görmek amacıyla bir model geliştirilmiştir. Bu model geliştirilirken çoklu regresyon metodu kullanılmıştır. Çoklu regresyon yardımıyla elde edilen matematiksel modelden yola çıkılarak bir MATLAB GUI ara yüzü tasarlanmıştır. Bu tasarım için gerekli olan yazılım çalışmaları MATLAB programında yapılmıştır.

Çalışmanın ilk kısmında toprak özgül direncine ısı ve rutubetin etkisini modellemek amacıyla bir alan belirlenmiştir. Belirlenen bu alandan alınan verilerden yola çıkılarak çoklu regresyon metodu yardımıyla bir model tasarlanmıştır. Tasarlanan bu model ile toprak ısı ve rutubetinin artmasının toprak özgül direncini azalttığı gözlemlenmiştir. Oluşturulan bu modeli daha kullanışlı yapmak adına farklı yerlerden ölçümler alınmıştır. Alınan bu verileri ana modele benzetmek amacıyla her bir ölçüm için bir katsayı belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen bu katsayıların ortalama değerlerini alarak yeni bir katsayı belirlenmiştir. Böylece herhangi bir yerden alınan ölçümlerin ana modele nasıl uyarlanacağı belirlenmiştir. Bunlara ait sonuçlar Tablo 2.5 ve Tablo 2.6'da verilmiştir. Aynı zamanda toprak özgül direncini toprak ısı % 61.50, toprak nem miktarı ise % 38.50 oranında azalttığı eşitlik 1.27'den çıkarılmıştır.

Çalışmanın ikinci kısmında oluşturulan ana model için MATLAB GUI programıyla bir ara yüz tasarlanmıştır. Tasarlanan bu programı ile kullanıcı; topraklama direnci hesabı, toprak özgül direncinin topraklama direncine etkisi, topraklayıcı uzunluğunun topraklama direncine etkisini, topraklayıcının çevrelediği alana eşit alanlı dairenin çapının topraklama direncine etkisini, toprak özgül direnç değerinin hesaplanmasını, toprak özgül direncine ısı ve rutubet etkisinin 2 boyutlu ve 3 boyutlu olarak gözlemlenebilmesini, iletken çapının topraklama direncine etkisini gözlemleyebilmektedir.

4. ÖNERİLER

Bu çalışmada toprak özgül direncine toprak ısı ve rutubet etkisi çoklu regresyon yöntemi kullanılarak modellenmiştir. Tasarlanan bu model ile farklı bölgelerde ki toprak özgül direnç değerlerinin bulunabilmesi için 10 farklı ölçüm değeri alınması gerekmektedir. Topraklama ile ilgili yaptığımız tüm çalışmalardan öğrencilerde faydalansın diye MATLAB GUI programıyla bir ara yüz tasarlanmıştır. Bu ara yüz ile topraklama direnci hesabı, toprak özgül direncinin topraklama direncine etkisi, topraklayıcı uzunluğunun topraklama direncine etkisini, toprak özgül direnç değerinin hesaplanmasını ve iletken çapının topraklama direncine etkisi gözlemlenebilmektedir. Bununla birlikte yapılan çalışmanın geliştirilmesi açısından aşağıda sıralanan öneriler dikkate alınabilir.

- Tasarlanan modelde toprak özgül direncine sadece ısı ve rutubet etkisi dikkate alınmıştır. Toprak özgül direncini etkileyen diğer faktörler de göz önüne alınarak modelin yeniden eğitilmesi ve testinin yapılması gerekir.
- Veri sayısı artırılarak çalışmanın doğruluğundaki değişime göre gerekli düzenlemeler yapılabilir.
- Çoklu regresyon metodu yerine Neural Fuzzy Systems, Yapay Sinir Ağları ve Genetik Algoritmalar kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak daha doğru sonuçlar elde edilebilir.
- Toprak özgül direnci, toprak ısı ve toprak rutubet değerlerinin ölçümünde daha kaliteli ve daha hassas ölçüm yapan cihazlar kullanılırsa çalışmanın doğruluğu daha da artacaktır.
- Hava sıcaklık ve nem değerinin toprak ısı ve rutubet değerine etkisi daha sonra toprak ısı ve rutubet etkisinin toprak özgül direncine etkisi ve toprak özgül direncinin topraklama direncine etkisi araştırılarak hava sıcaklık ve nem değerinin topraklama direncine etkisi modellenebilir.

5. KAYNAKLAR

1. Uğurtan, K., Alçak Gerilim Tesislerinde Topraklama , Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1984.
2. Bayraş, C., Enerji Sistemlerinde Toprak Yolundaki Akım Dağılımı ve Optimal Topraklama Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1993.
3. Çelikyay, M., Enerji Sistemlerinde Topraklama Ağlarının Bilgisayar Destekli Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1995.
4. Mürtezaoğlu, K., Yüksek Gerilim İstasyonlarında Topraklama Sistemi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1998.
5. Katipoğulları, O., Karmaşık Topraklama Sistemlerinde Topraklama Empedansının Ölçülmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli, 2003.
6. Sığircı, H. V., Elektrik Tesislerinde Topraklama Empedansı ve Topraklama Empedansını Etkileyen Faktörler, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Malatya, 2008.
7. Aydemir, M. G., Grounding Design Analysis, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2009.
8. Issı, F., Topraklama Direncinin DSPIC Kullanılarak Sabit Tutulması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2013.
9. Enser, O., Hidroelektrik Santrallerde Yöntem Karşılaştırılmalı Topraklama Empedansı Ölçümü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş, 2015.
10. Li, M., Gao,y., Zhang , T., Wu , H., Lao, X. and Chen, Z., Analysis of Soil Resistivity Characteristics Under Meteorological Conditions in Haikou City, IEEE 5th International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC-Beijing), 2017, 1-5.
11. Fengjiao, L., Jiayan , S., Yanqing , L., Yueyu , L. and Yaoxi ,W., Research on Optimizing Visual Soil Resistivity Test Method Based on Theoretical Algorithm, 2017 IEEE 5th International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC-Beijing), 2017, 1-6.
12. Q. Louw and P. Bokoro , Soil Resistivity: Field Tests and Estimation of Zero-Sequence Currents, 2017 IEEE AFRICON, 2017, 1-4.
13. Zhou, M., Wang, J., Cai, L., Fan, Y. and Zheng, Z., Laboratory Investigations on Factors Affecting Soil Electrical Resistivity and the Measurement, IEEE Transactions on Industry Applications, 51, 6, 2015, 5358-5365.

14. Coelho, V.L., Piantini, A., Altafim, R., Almaguer, H., Coleho, R., Lima, M., Boaventura, W., Paulino, J. and Nosaki, P., The influence of seasonal soil moisture on the behavior of soil resistivity and power distribution grounding systems, 2013 International Symposium on Lightning Protection (XII SIPDA) ,118, 2013, 201-208.
15. Pereira, T. M., Lima, R. A., Gomes, V. M., Gutembergue, S., Alves, A. J. and Calixto, W. P., Soil Resistivity Study and Simulation with Finite Elements, , 2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2016, 1-4.
16. Adegboyega, G.and Odeyemi, Assessment of Soil Resistivity on Grounding of Electrical Systems: A Case Study of North-East Zone, Journal of Academic and Applied Studies, 2011, 28-38.
17. Salam, A., Rahman, M., Wen, F. and Ang, S.P., Soil resistivity and ground resistance for dry and wet soil, Journal of Modern Power Systems and Clean Energy, 5, 2, 2017, 290-297
18. Xu, D., Yanhui, W. and Lihong, X.,The variation of soil resistivity space in typical slope surface in the xiaoxanshan river basin, Journal of soil, 48, 5, 2011, 912-921.
19. Bayram, M., Elekterik Tesislerinde Topraklama, İstanbul, 2000.
20. Dirlik, C., Endüstriyel Tesislerde Topraklama Uygulamaları, Yüksek LisansTezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kocaeli, 2013.
21. Xiaobo, W., Changjun, Z. and Chunlin, D., Analysis of the variation of ground resistance in season and weather, Meteorological science, 33, 6, 2013, 648-652.
22. ETTY, Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, 2001.
23. MEGEP, Mesleki Eğitim Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi, Elektrik-Elektronik Teknolojisi, Yüksek Gerilim Tesislerinde Topraklama Sistemi, Ankara, 2006.
24. Katipoğlu, O. ve Hocaoğlu, M. H., Toprak Empedansı ve Direnç Ölçme Metotlarının Karşılaştırılması, Elektrik-Elektronik, Bilgisayar Mühendisliği, 10. Ulusal Kongresi, İstanbul, 2003, 83-86.
25. Markiewicz, H. ve Klajn, A., Topraklama Sistemi Hesaplama ve Tasarım Esasları, Güç Kalitesi Uygulama Klavuzu, 2004.
26. "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE Std. 80", 2000.
27. "IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Grounding System, IEEE Std. 81", 2012.
28. <http://www.topraklama.com/> 20.03.2018.

29. Tavas, V., Yazıcıoğlu, O. ve Barat, O., Excel ve Matlab Uygulamalı Mühendisler İçin Sayısal Çözümleme, Ağustos, 2015.
30. Uzunoğlu. M., MATLAB, Türkmen Kitabevi, İstanbul, 2002.
31. Weiguo, L., The influence factors of soil resistivity and the study of measure methods, Heilongjiang Meteorology, 28, 4, 2011, 37-38.
32. Liangshan, Q., Xiaogang, L., Cuiwei, D. And Shuanglin, L., Regional soil resistivity parameter of spatial analysis software development and application, Chinese journal of corrosion and protection, 31, 1, 2011, 23-27.
33. Gangya, Z., Shunmin, L., Huizhen, S., The influence factors of soil resistivity in tarim area, Journal of Soil, 43, 1, 2006, 160-163.
34. J. K. Mitchell, Fundamentals of Soil Behavior, New York, NY, USA: Wiley, 1993, 422.
35. Chengye, L., Jialin, D., and Fang, J., The measurement of soil resistivity measurement and its analysis, Jilin meteorology, 1, 2009, 40-43.
36. Huizhen, S., Daoming, Z. and Gou, W., A few kinds of underground metal pipelines in China mainly in the soil corrosion condition and its relationship with soil properties, Journal of Soil, 03, 1992, 265-271.

6. EKLER

Ek 1.

Atatürk Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bahçesi, Toprak Isısı, Toprak Rutubet Miktarı ve Toprak Özgül Direncinin Gün ve Saat Olarak Ölçüm Sonuçları

Sıcaklık Değeri (°C)	Nem Miktarı (%)	Toprak Özgül Direnci($\Omega.m$)	Gün	Saat
3	85	48	19 Şubat 2018	09:00
3	80	47.9	19 Şubat 2018	15:00
4	82	48.4	19 Şubat 2018	19:00
5	88	43	20 Şubat 2018	09:00
4	85	44.2	20 Şubat 2018	15:00
6	80	49.2	20 Şubat 2018	19:00
2	81	49.7	21 Şubat 2018	09:00
4	60	56.7	21 Şubat 2018	15:00
3	65	62	21 Şubat 2018	19:00
3	72	52.9	22 Şubat 2018	09:00
5	80	50	22 Şubat 2018	15:00
5	69	53.5	22 Şubat 2018	19:00
3	85	45.3	23 Şubat 2018	09:00
5	65	55.1	23 Şubat 2018	15:00
4	70	52.5	23 Şubat 2018	19:00
1	80	54.4	24 Şubat 2018	09:00
2	72	53	24 Şubat 2018	12:30
2	81	49.7	25 Şubat 2018	07:30
2	79	52.2	25 Şubat 2018	12:30
3	90	47.9	26 Şubat 2018	09:00
2	71	55	26 Şubat 2018	15:00
4	82	48.4	26 Şubat 2018	19:00
3	70	54.6	27 Şubat 2018	09:00
4	86	44	27 Şubat 2018	15:00
4	85	44.2	27 Şubat 2018	19:00

Ek 1'in devamı

3	80	50.3	28 Şubat 2018	09:00
4	83	48	28 Şubat 2018	15:00
4	89	43.6	28 Şubat 2018	19:00
3	81	49	1 Mart 2018	09:00
4	88	43.7	1 Mart 2018	15:00
3	85	45.3	5 Mart 2018	09:00
4	82	48.4	5 Mart 2018	15:00
4	88	43.7	5 Mart 2018	19:00
3	79	51.2	6 Mart 2018	09:00
4	67	53.6	6 Mart 2018	15:00
4	80	49.4	6 Mart 2018	19:00
4	84	45.7	7 Mart 2018	09:00
5	80	50	7 Mart 2018	15:00
5	79	50.5	7 Mart 2018	19:00
4	80	49.4	8 Mart 2018	10:00
3	69	56.6	8 Mart 2018	14:00
3	77	51.5	12 Mart 2018	09:00
3	80	50.3	12 Mart 2018	15:00
5	83	47	12 Mart 2018	18:00
4	79	50.3	13 Mart 2018	08:00
4	65	55	13 Mart 2018	15:00
5	70	52.7	13 Mart 2018	19:00
5	65	55.1	14 Mart 2018	09:00
5	74	52.2	14 Mart 2018	15:00
4	70	52.5	14 Mart 2018	19:00
5	70	52.7	15 Mart 2018	09:00
5	81	47.9	15 Mart 2018	15:00
7	72	49.3	19 Mart 2018	15:00
8	75	48.7	19 Mart 2018	19:00
8	80	48.4	20 Mart 2018	10:00
7	65	50.8	20 Mart 2018	15:00
7	77	47.3	20 Mart 2018	18:30
7	84	46	21 Mart 2018	09:00

Ek 1'in devamı

8	80	48.4	21 Mart 2018	15:00
6	77	49.5	22 Mart 2018	09:00
7	71	50	22 Mart 2018	15:00
7	70	50.4	23 Mart 2018	09:00
8	81	47.6	23 Mart 2018	15:30
7	83	46.4	24 Mart 2018	08:00
8	64	50.9	24 Mart 2018	15:00
7	70	51.9	26 Mart 2018	15:30
6	73	52.3	3 Nisan 2018	10:00
5	82	48	4 Nisan 2018	15:00
7	76	49.2	5 Nisan 2018	17:00
8	88	45	9 Nisan 2018	09:00
10	80	48	9 Nisan 2018	15:00
8	79	49	10 Nisan 2018	11:00
8	90	44.6	11 Nisan 2018	11:00
9	60	52.5	11 Nisan 2018	15:00
8	74	48.8	12 Nisan 2018	10:00
9	79	48	13 Nisan 2018	15:00
8	70	51.3	16 Nisan 2018	15:00
8	68	51	18 Nisan 2018	11:00
8	80	46	24 Nisan 2018	10:00
13	75	45	24 Nisan 2018	17:00
10	82	44	25 Nisan 2018	10:00
12	80	43.8	25 Nisan 2018	17:00
10	75	47.3	26 Nisan 2018	10:00
11	72	47.9	27 Nisan 2018	11:00
12	65	50.2	28 Nisan 2018	12:00
11	75	46.3	29 Nisan 2018	13:00
14	61	50.2	30 Nisan 2018	14:00
13	62	50.4	1 Mayıs 2018	15:00
15	59	50.7	7 Mayıs 2018	16:00
13	64	49.6	8 Mayıs 2018	17:00
12	85	41.7	9 Mayıs 2018	18:00

Ek 1'in devamı

13	80	43.4	10 Mayıs 2018	09:00
----	----	------	---------------	-------

Ek 2.**Erzurum Atatürk Üniversitesinde Alınan Ölçüm Sonuçları**

Sıcaklık Değeri (°C)	Nem Miktarı (%)	Toprak Özgül Direnci($\Omega.m$)
5	90	35.4
4	96	34.4
5	85	34.2
8	87	34
7	87	34.7
5	89	37
5	96	34.1
5	97	33.7
7	92	33
7	94	30.8
7	97	29.8
10	92	28.4
8	89	32.6
7	98	29.9
8	98	28.4

Ek 3.**Erzurum Dadaşkent Bölgesinde Alınan Ölçüm Sonuçları**

Sıcaklık Değeri (°C)	Nem Miktarı (%)	Toprak Özgül Direnci(Ω.m)
6	91	25.4
5	90	26
7	80	22.5
10	82	19.8
7	92	24
9	90	18.6
7	90	24.3
7	80	25
5	92	25.8
11	80	19.4
9	82	20.8
8	89	20.9
12	91	19.1
9	78	21.4
12	90	17.8
10	92	20.2
10	89	20.3

Ek 4.**GEOTEST 2016 Teknik Bilgiler**

Topraklama Direnci 3 Kablo ve 2 Kablo Sistemlerinde		
Range (Ω)	Resolution(Ω)	Doğruluk
0.01÷19.99	0.01	±(2.0%rdg+3dgt)
20.0 ÷ 199.9	0.1	
200 ÷ 1999	1	

Test Akımı ≤ 12 mAAC

Açık Devre Voltajı ≤ 25 V ACTRMS

Test Frekansı 125Hz / 77.5 kHz ± 1 Hz

Toprak Özgül Direnci Ölçümünde		
Range (Ω m)	Resolution(Ω m)	Doğruluk
0.8÷19.99	0.01	±(20%rdg+3dg+)
20.0÷ 199.9	0.1	
200 ÷ 1999	1	
2.00 ÷ 19.99k	0.01k	
2.00 ÷ 125.6k	0.1k	

Test Akımı ≤ 12 mAAC

Açık Devre Voltajı ≤ 25 V ACTRMS

Test Frekansı 125Hz / 77.5 kHz ± 1 Hz

Ek 5.

AMTAST 300 Teknik Bilgiler

AMTAST-300 Teknik Bilgiler	
İsim	4 in 1 Soil Survey Instrument
Cins	AMT-300
Test Nesneleri	Gün ışığı, nem, PH değeri, sıcaklık
Güç Kaynağı	9V batarya
Otomatik Kapanma	5 dakika sonra otomatik olarak kapanmaktadır.
Ağırlık	Yaklaşık 70.5 g
Çalışma Sıcaklığı	+5°C~+40°C
Boyut Ana Ünite	122mm×63mm×36mm
Boyut Test Probu	φ5mm×200mm
Gün Işığı Ölçme Seviyeleri	LOW-, LOW, LOW+, NOR-, NOR, NOR+, HGH-, HGH, HGH+
Nem Ölçme Seviyeleri	DRY+, DRY, NOR, WET, WET+
Ph Ölçme Seviyeleri	3.5~9.0
Sıcaklık Ölçme Seviyeleri	-9°C~+50°C (16°F~122°F)

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet YILMAZ 1991 yılında Trabzon'da doğdu. 2009 yılında Trabzon Fatih Lisesinden, 2014 yılında ise Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2017 yılında Atatürk Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başlamıştır. 2014 yılında başlayan yüksek lisans eğitimi ise Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünde devam etmektedir.

